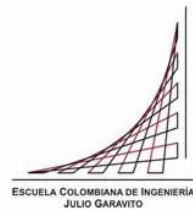


# **Maestría en Ingeniería Civil**

## **Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar con asfalto espumado**

**José Leonardo Gutiérrez Tejedor**

**Bogotá, D.C., 10 de abril de 2019**



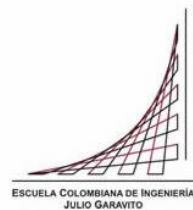
**Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de  
materiales no estándar con asfalto espumado**

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con  
énfasis en Geotecnia**

**Sandra Ximena Campagnoli Martínez**

**Director**

**Bogotá, D.C., 10 de abril de 2019**



La tesis de maestría titulada “Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar con asfalto espumado”, presentada por José Leonardo Gutiérrez Tejedor, cumple los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Geotecnia.

**Sandra Ximena Campagnoli Martínez**

Director de la tesis

**Fernando Estrada Sánchez**

Jurado

**Oscar Reyes Ortiz**

Jurado

Bogotá, D.C., mayo de 2019

## **Dedicatoria**

A Dios por darme tan bella familia, a mis padres, por su enseñanza y dedicación, a mi hermano por su compañía, a mi esposa por su apoyo incondicional y en especial a mis pequeños y queridos hijos, quienes, a través de su alegría y amor, llenan de felicidad mi vida.

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer en gran medida a la ingeniera Sandra Campagnoli, por su conocimiento, acompañamiento y amistad, lo cual permitió el desarrollo de esta investigación.

A las compañías Humberto Quintero, Ingeniería de Vías S.A.S, AA Ingeniería y Lhoist Colombia, por haber donado los materiales y así contribuir en esta investigación.

Al Ingeniero Diego Martínez, y a los laboratoristas Edgar Contreras, Marco Contreras y Osmar Tolosa, por el apoyo durante la ejecución de los ensayos.

Agradecimiento a las áreas de ingeniería ambiental, y química de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, por su colaboración en el suministro de algunos reactivos y realización de algunos ensayos.

A la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, por haberme permitido formar parte de ella, así como a los docentes que me brindaron su conocimiento y su apoyo.

## Resumen

Reconociendo la dificultad existente en la ciudad de Bogotá para encontrar materiales de calidad apropiada para su empleo en capas de base o de subbase en una estructura de pavimento, en este estudio se planteó la posibilidad de investigar la estabilización con asfalto espumado de materiales no estándar, conocidos también como marginales, los cuales no cumplen con los requerimientos de las especificaciones para la construcción de capas granulares.

Dadas las características de plasticidad que ellos exhiben (índices plásticos superiores a 10), la experiencia ha demostrado la conveniencia de un tratamiento previo, preferiblemente con cal, antes de su estabilización con la espuma de asfalto, para que sea efectiva la disminución de su susceptibilidad frente a la acción del agua y se logre incrementar su capacidad de resistir cargas sin presentar deformaciones excesivas.

Para cumplir este propósito, en Colombia se, está generalizado el empleo de cal hidratada -  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y, por las condiciones de seguridad en su manejo, se limita el uso de óxido de calcio –  $\text{CaO}$ . Sin embargo, de acuerdo con la literatura técnica, este último llenante activo presenta algunos beneficios, entre los que se destacan el menor consumo para lograr un tratamiento efectivo y la menor emisión de partículas finas durante el proceso constructivo que, en principio, harían más atractivo su empleo frente al del hidróxido de calcio.

Es por lo anterior, que en el presente estudio se comparó la efectividad en la disminución de la susceptibilidad al agua y en el incremento de la rigidez de los tratamientos con  $\text{CaO}$  y con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  junto con la estabilización con asfalto espumado, de dos materiales no estándar clasificados de acuerdo con el sistema unificado de clasificación de suelos como Gravas Arcillosas (GC) o como A-2-6 de acuerdo con la AASHTO, e identificados como PG – que corresponde a un material con índice plástico de 12, pasa el tamiz de 0,075 mm del 14%, absorción de 3% y pH de 5, y como PF que tiene un índice plástico de 20, pasa el tamiz de 0,075 mm del 18%, absorción de 5,2% y pH de 9,4.

Se seleccionaron muestras representativas, suministradas por un mismo proveedor, de Óxido de Calcio ( $\text{CaO}$ ) y de Hidróxido de Calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), con valores de cal útil vial (CUV) superiores a 79% y para cada uno de los materiales PG y PF, se establecieron, en función de la reducción del IP ( $\text{IP} < 10$ ) y del consumo inicial de cal – (*Initial Consumption of Lime* –

ICL), las concentraciones de diseño que resultaron en 2,5% y 3,0% para el CaO y el Ca(OH)<sub>2</sub>, respectivamente.

Empleando un asfalto de penetración 80/100 (1/10mm), se fabricaron espumas en planta de laboratorio WLB-10S, bajo unas condiciones de temperatura del asfalto de 140°C y concentración de agua – FWC del 3,5%, establecidas como óptimas en la caracterización de la espuma de asfalto, ya que con estas se lograron una Relación de Expansión de 15, una vida media de 9 s y un Índice de espumado de 124 s, que cumplen los valores mínimos recomendados por la *Asphalt Academy* en la *Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials. A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilised Materials - TG2, Second Edition-* mayo 2009.

Para cada material (PG o PF) se aplicaron 20 fórmulas de trabajo, que corresponden a saber: - al material sin tratamiento (denominado muestra de control), - al material tratado únicamente con los llenantes activos (CaO o Ca(OH)<sub>2</sub>) en las concentraciones establecidas de diseño de 2,5% y 3,0%, - al material tratado solo con FA por sus siglas en inglés “*foamed asphalt*” en dosificaciones de 2,4%, 2,6% y 2,8% (corresponden a la óptima teórica ± 0,2%) y - al material tratado con el llenante activo y estabilizado con FA, en las concentraciones y dosificaciones ya indicadas.

Sobre cada una de las mezclas con las diferentes fórmulas de trabajo, se fabricaron briquetas tipo Marshall de 101 mm de diámetro y 63,5 mm de alto para el ensayo de tracción indirecta, realizado sobre probetas secas (ITS<sub>dry</sub>) y sobre probetas sometidas a un proceso de inmersión (ITS<sub>wet</sub>) para evaluar la resistencia conservada (TSR) y mediante compactación vibratoria se fabricaron probetas de 100 mm de diámetro por 200 mm de alto para determinar el Mr y la resistencia al corte. Todas las muestras así fabricadas se sometieron a los procesos de curado señalados por la Asphalt Academy en la TG2.

Los materiales PG y PF sin ningún tipo de tratamiento presentaron ITS<sub>dry</sub> del orden de 200 kPa, mientras la ITS<sub>wet</sub> y la resistencia conservada –TSR, fueron nulas, lo que demostró que, dadas las condiciones de plasticidad y contenido de finos, estos materiales son altamente susceptibles al agua. La incorporación de FA dio lugar a un incremento en la ITS<sub>dry</sub> (300 kPa), mientras la ITS<sub>wet</sub> continuo nula, corroborando que se requiere un pretratamiento del material. Aun cuando la incorporación de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub> dio lugar a una ITS<sub>wet</sub> del orden de 70 kPa, este tratamiento por sí solo no es efectivo para lograr una

TSR superior al 50%. Con el uso conjunto de llenantes y FA, en el material PG se lograron ITS del orden de 400 kPa y 200 kPa en condiciones seca y húmeda respectivamente, mientras que en el material PF estas fueron de 300 kPa para la condición seca y ligeramente superiores a 100 kPa para la condición húmeda, evidenciando el beneficio del trabajo conjunto de llenantes y FA en el incremento de la resistencia y disminución de la susceptibilidad al agua. Sin embargo, dado que la  $ITS_{dry}$  se incrementa de manera importante, el incremento en la  $ITS_{wet}$  no es suficiente para compensar este aumento y lograr que la TSR supere el 50% requerido por las especificaciones. En el material PG, se pudo establecer un 2,5% de CaO conjuntamente con un 2,6% de FA para cumplir con la TSR mínima recomendada del 50%, mientras que para el material PF con ninguna de las condiciones analizadas se alcanzó este criterio, aun cuando las resistencias en seco y en húmedo presentaron valores aceptables.

En cuanto a la rigidez, la incorporación de 2,5% o 3,0% de CaO o de  $Ca(OH)_2$  a los materiales PG y PF dio lugar a un incremento en su Mr, siendo este más significativo con el uso del hidróxido (pasando el Mr de un máximo de 250 MPa en el material virgen a un poco más de 400 MPa en el material tratado). Con respecto al material sin ningún tratamiento, el empleo de FA en el material PG, no generó ningún cambio en la rigidez, mientras que en el material PF se registró un incremento importante en el rango de esfuerzos evaluados, el Mr se encontró entre 190 y 460 MPa. Este comportamiento se asocia presumiblemente con una mejor dispersión del FA en este agregado, que tiene una mayor afinidad con el asfalto y, a una mayor cantidad de arena con tamaño inferior a 1,18mm, que pudieron incidir en el comportamiento mecánico de la mezcla. Sin embargo, al realizar los tratamientos conjuntos de llenante y FA, hay un incremento importante en la rigidez resaltándose, en el material PG, el uso de 2,5% de CaO y 2,6% de FA donde el Mr se encontró entre 170 MPa y 400 MPa. Sin embargo, para el material PF no se identificó un tipo de llenante efectivo, debido a que los Mr obtenidos con cada uno de ellos y las diferentes concentraciones de FA son similares, con valores de Mr entre 300 MPa y 620 MPa, evidenciándose un incremento importante en su rigidez.

En cuanto al comportamiento del Mr con el primer invariante de esfuerzos (modelo K-  $\theta$ ), en general, a medida que se trató conjuntamente con los llenantes activos y el FA los materiales PG y PF, se encontró una disminución de la dependencia del Mr del estado de esfuerzos, con K2 comprendidos entre 0,25 y 0,35 en el material PG y entre 0,2 y 0,25 en



el material PF. Tanto en el material PG como en el PF para los tratamientos conjuntos de llenante activo y FA, usando el modelo universal, se encontró más significativa la dependencia del  $M_r$  con el cortante octaédrico que con el primer invariante de esfuerzos. Los valores de  $K_3$  se encontraron entre 0,9 y 1,3 para el material PG y entre 0,6 y 1,0 para el material PF, mientras que  $K_2$ , en la mayoría de los casos, fue inferior a 0,2 e incluso se encontraron valores de cero. Finalmente, el comportamiento del  $M_r$  está mejor representado por el modelo universal donde los  $R^2$  superan 0,85. En las mezclas con solo FA, el modelo  $K-\theta$  corresponde al de mayor ajuste, con  $R^2$  mayores a 0,8.

De acuerdo con lo observado en este estudio, se recomienda ampliamente el uso de CaO para el pretratamiento de materiales no estándar que presenten índices de plasticidad superiores a 10 y su estabilización posterior con FA. Esto se justifica, en razón a que en comparación con el  $\text{Ca(OH)}_2$ , se requiere una menor concentración para lograr en esencia un mejoramiento similar en la resistencia a la acción del agua y, mezclado conjuntamente con el FA, conseguir un incremento importante en la rigidez frente a la del material tratado únicamente con el llenante activo.

**Palabras claves:** Asfalto espumado, Oxido de calcio, Hidróxido de calcio, Modificación, Estabilización, material marginal.

## Índice general.

<b>Capítulo 1. Introducción.....</b>	<b>26</b>
1.1 Planteamiento del problema. ....	28
1.2 Necesidad de investigación. ....	29
1.3 Objetivos. ....	30
1.3.1 Objetivo general. ....	30
1.3.2 Objetivos específicos. ....	30
1.4 Metodología.....	31
1.5 Organización del trabajo de investigación.....	36
<b>Capítulo 2. Estado del Arte .....</b>	<b>38</b>
2.1 Introducción.....	38
2.2 Infraestructura de carreteras en Colombia.....	38
2.3 Contexto ambiental en Colombia.....	43
2.4 Estabilización de suelos.....	45
2.5 Tecnología del asfalto espumado .....	48
2.6 Propiedades del asfalto espumado (FA).....	52
2.6.1 Relación de expansión (ER) .....	52
2.6.2 Vida media (HL).....	53
2.6.3 Índice de espumado (FI).....	56
2.7 Parámetros que afectan el FA .....	59
2.8 Métodos actuales de medición de las propiedades de las FA.....	62
2.9 Mejoramiento de materiales no estándares (BSM-M) con la tecnología de FA. .	65
2.10 Impacto del uso de los rellenos activos en las propiedades de las BSM-M.....	75
2.11 Consideraciones de diseño.....	86
2.11.1 Suelos arcillosos.....	86
2.11.2 Modificación de los suelos con Ca(OH) <sub>2</sub> y CaO.....	88
2.11.3 Parámetros de diseño de las BSM.....	95

2.11.4	Contenido de asfalto espumado (FA).....	95
2.11.5	Contenido de humedad. ....	97
2.11.6	Mezclado de las BSM.....	100
2.11.7	Compactación de las BSM.....	101
2.11.8	Curado.....	102
2.11.9	Propiedades mecánicas de las BSM .....	106
2.12	Bibliografía.....	123
<b>Capítulo 3 – Materiales, procedimientos de laboratorio y métodos de ensayo.....</b>		<b>134</b>
3.1	Material granular virgen. ....	134
3.2	Cemento asfáltico. ....	143
3.3	Caracterización de la FA y parámetros de diseño.....	145
3.4	Caracterización de CaO y Ca(OH) <sub>2</sub> . ....	150
3.5	Modificación del agregado y parámetros de diseño. ....	152
3.6	Procedimientos de laboratorio y métodos de ensayo.....	160
3.6.1	Selección de contenido de FA. ....	160
3.6.2	Fórmulas de trabajo.....	161
3.6.3	Preparación de la mezcla y de las probetas para ITS y módulo resiliente.....	163
3.6.4	Ensayo de ITS.....	165
3.6.5	Ensayo triaxial cíclico .....	166
3.6.6	Ensayo de corte rápido.....	169
3.7	Bibliografía.....	170
<b>Capítulo 4. Resultados experimentales y análisis.....</b>		<b>171</b>
4.1	Resultados de tracción indirecta (ITS) y resistencia conservada (TSR) del material PG.....	172
4.1.1	Mezclas de Control, y mezclas con 2,5 y 3,0% de CaO o de Ca(OH) <sub>2</sub> .....	172
4.1.2	Mezclas con FA sin llenante Activo.....	175
4.1.3	Mezclas con FA y 2,5% CaO o de Ca(OH) <sub>2</sub> .....	177
4.1.4	Mezclas con FA y 3,0% de CaO o de Ca(OH) <sub>2</sub> . ....	179
4.1.5	Resumen de resultados de tracción indirecta (ITS) y resistencia conservada (TSR) del material PG. ....	181
4.2	Resultados de tracción indirecta (ITS) y resistencia conservada (TSR) del material PF. ....	185

4.2.1	Mezcla de Control, y Mezclas con 2,5 y 3,0% de CaO o de Ca(OH) <sub>2</sub> - Material PF .....	185
4.2.2	Mezclas con FA sin llenante activo. ....	187
4.2.3	Mezclas con FA y 2,5% de CaO o de Ca(OH) <sub>2</sub> . ....	190
4.2.4	Mezclas con FA y 3.0% de CaO o de Ca(OH) <sub>2</sub> - Material PF. ....	192
4.2.5	Resumen de resultados de tracción indirecta (ITS) y resistencia conservada (TSR) del material PF. ....	194
4.2.6	Comparación de las ITS <sub>dry</sub> , ITS <sub>wet</sub> y TSR de los material PG y PF. ....	198
4.3	Módulo resiliente (Mr) de las mezclas elaboradas con el material PG. ....	199
4.3.1	Resultados de Mr.....	200
4.4	Resultados de Mr del material PF.....	223
4.5	Resumen valores de Mr de los materiales PG y PF modelo K-teta.....	246
4.6	Resistencia al corte de las mezclas con el material PG. ....	249
4.7	Resistencia al corte de las mezclas con el material PF.....	251
4.8	Bibliografía.....	254
	<b>Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones. ....</b>	<b>255</b>
5.1	Conclusiones. ....	255
5.2	Recomendaciones. ....	261

## Índice de tablas

Tabla 1. Valores mínimos de ER y HL recomendados por algunos manuales de diseños de materiales estabilizados con FA. ....	56
Tabla 2 Valores deseados para el tipo de mezcla. ....	65
Tabla 3 Algunos requisitos de los agregados para SBG de las normas de ensayo INVIAS. ....	74
Tabla 4. Resultado de los Módulos comparando rellenos activos de $\text{Ca(OH)}_2$ y $\text{CaO}$ . ....	84
Tabla 5. Comparación de cal viva o cal apagada. ....	89
Tabla 6 Valores recomendados de concentración de FA a partir del valor del módulo de nivelación (GM) de Asphalt Academy. ....	96
Tabla 7. Óptimo de FA establecido por Wirtgen. ....	97
Tabla 8. Valores típicos de contenido de humedad para mezclas con FA. ....	99
Tabla 9. Recomendaciones de rangos aceptables de humedad de mezcla con FA. ....	100
Tabla 10. Condiciones de curado en seco y húmedo recomendada por algunos autores y manuales. ....	105
Tabla 11. Requisitos para la clasificación de una BSM basado en ensayos ITS de acuerdo a la metodología TG2. ....	111
Tabla 12. Modelos matemáticos de módulos resiliente. ....	116
Tabla 13. Características del material PF. ....	136
Tabla 14. Características del material PG. ....	139
Tabla 15 Principales diferencias de las características del material PF y PG ,con los valores mínimos requerido para una SBG-38. ....	142
Tabla 16 Caracterización asfalto 80/100 (1/10mm). ....	144
Tabla 17. Certificado de calidad del asfalto 80/100 (1/10 mm). ....	144
Tabla 18. Parámetros de diseño de la FA. ....	150
Tabla 19. Resultado ensayo Riedel-Weber en las mezclas de asfalto y agregados. ....	156
Tabla 20. Valores de $\text{CaO}$ y $\text{Ca(OH)}_2$ para llegar al punto de fijación o punto inicial de estabilización. ....	156
Tabla 21. Valores de $\text{CaO}$ y $\text{Ca(OH)}_2$ para alcanzar un valor de IP menor al 10%, para el material PG. ....	158
Tabla 22. Valores de $\text{CaO}$ y $\text{Ca(OH)}_2$ para alcanzar un valor de IP menor al 10%, para el material PF. ....	159
Tabla 23. Parámetros óptimos de $\text{CaO}$ y $\text{Ca(OH)}_2$ para la modificación de los materiales PF y PG para alcanzar un $\text{IP} < 10\%$ . ....	160
Tabla 24. Estimación del óptimo de asfalto teórico en función de la granulometría y tipo de material. ....	160
Tabla 25. Fórmulas de trabajo y nomenclatura de cada mezcla. ....	162

Tabla 26. Proceso de curado usado en la investigación. ....	164
Tabla 27 Valores de esfuerzos para los diferentes ensayos. ....	168
Tabla 28 Mezclas BSM y concentraciones de llenante y asfalto espumado. ....	171
Tabla 29. Resultados de $ITS_{dry}$ , $ITS_{wet}$ , y TSR de las mezclas de control y de las mezclas elaboradas con el material PG tratado con CaO o con $Ca(OH)_2$ en concentraciones del 2.5% y 3.0%. ....	173
Tabla 30 Resultados de $ITS_{dry}$ , $ITS_{wet}$ , y TSR de las mezclas elaboradas con el material PG y diferentes concentraciones de FA. ....	175
Tabla 31 Resultados de $ITS_{dry}$ , $ITS_{wet}$ , y TSR de las mezclas del material PG tratado con 2,5% de CaO o de $Ca(OH)_2$ y diferentes concentraciones de FA. ....	177
Tabla 32 Resultados de $ITS_{dry}$ , $ITS_{wet}$ , y TSR de las mezclas (de control y de las mezclas tratadas con 3,0% de CaO o de $Ca(OH)_2$ con diferentes concentraciones de FA. ....	179
Tabla 33 Resultados de $ITS_{dry}$ , $ITS_{wet}$ , y TSR de las mezclas de control y de las mezclas elaboradas con CaO o con $Ca(OH)_2$ en concentraciones del 2,5% y 3,0% - Material PF. ....	185
Tabla 34 Resultados de $ITS_{dry}$ , $ITS_{wet}$ , y TSR de la mezcla control y de las mezclas tratadas solo con FA - material PF. ....	187
Tabla 35 Resultados de $ITS_{dry}$ , $ITS_{wet}$ , y TSR de las mezclas de control y de las mezclas tratadas con 2,5% de CaO o de $Ca(OH)_2$ y diferentes concentraciones de FA - material PF. ....	190
Tabla 36 Resultados de $ITS_{dry}$ , $ITS_{wet}$ , y TSR de las mezclas de control y de las mezclas tratadas con 3,0% de CaO o de $Ca(OH)_2$ y diferentes concentraciones de FA - material PF. ....	192
Tabla 37 $ITS_{dry}$ , $ITS_{wet}$ , y TSR de las mezclas con 2,5% de CaO y 3,0% de $Ca(OH)_2$ tratado conjuntamente con diferentes concentraciones de FA, y de mezclas tratadas con 4,0% CaO y 2,8% de FA y con 2.5% de CaO, 1% de cemento y 2.8 de FA, - material PF. ....	194
Tabla 38 Mr para diferentes mezclas del material PG con los llenantes activos o con solo FA y diferentes condiciones de esfuerzo. ....	201
Tabla 39 Mr para diferentes condiciones de esfuerzos en las mezclas tratadas con 2,5% de llenante activo y estabilizada con FA. ....	203
Tabla 40 Mr para diferentes condiciones de esfuerzos de las mezclas elaboradas con 3,0% de llenante activo y diferentes concentraciones de FA. ....	206
Tabla 41 Valores de K para la ecuación constitutiva Mr vs $\theta$ para el material PG. ....	217
Tabla 42 Valores de K del modelo Universal aplicado a las mezclas con el material PG. ....	221
Tabla 43 Mr para diferentes mezclas de material PF con los llenantes activos o con solo FA y diferentes condiciones de esfuerzos. ....	224
Tabla 44 Mr para diferentes condiciones de esfuerzos en las mezclas del material PF tratado con 2.5% de llenante activo y estabilizado con FA. ....	226
Tabla 45 Mr para diferentes condiciones de esfuerzos de las mezclas del material PF elaboradas con 3,0% de llenante activo y diferentes concentraciones de FA. ....	229
Tabla 46 Valores de K para la ecuación constitutiva Mr vs $\theta$ para el material PF. ....	240

Tabla 47 Valores de K para la ecuación constitutiva  $M_r$  vs  $t_{oct}$  para el material PF..... 244

## Índice de figuras

Figura 1. Metodología del estudio. Fuente: Elaboración del autor.....	32
Figura 2. Evolución de la red vial primaria de Colombia. a) Red vial primaria año 2000 Fuente: (Gerson, 2005). b) Red vial primaria año 2018. Fuente: (INVIAS, 2018).....	39
Figura 3. Accesibilidad de las autopistas para la prosperidad, proyectado a 15 años. Fuente: (Patiño Alzate, 2016) .....	40
Figura 4. Red vial primaria secundaria y terciaria de Colombia correspondiente al año 2016. Fuente: (Cámara colombiana de infraestructura, 2016). .....	41
Figura 5. Objetivos de desarrollo sostenible 2017-2030, establecidos por las Naciones Unidas. Fuente: (Organización de las Naciones Unidas, 2017) .....	44
Figura 6. Estabilizante recomendado según la clasificación del suelo. Fuente: (Hernán et al., 1989).....	45
Figura 7. Selección del agente estabilizador según Austroads. Fuente: (Andrews, 2009).46	
Figura 8. Comportamiento de los materiales de pavimento. Fuente: (D. Collings et al., 2009) .....	46
Figura 9. Esquema cámara de expansión del asfalto espumado. Fuente: (WIRTGEN, 2016) .....	49
Figura 10. a) Boquilla de espumado y b) Sistema de espumado desarrollados por Csanyi. Fuente: (L. H. Csanyi, 1961) .....	50
Figura 11. Efectos del asfalto espumado, en el material natural. Fuente: (WIRTGEN, 2016) .....	51
Figura 12. Curvas típicas de expansión del FA medidas con láser. Fuente:(Abreu et al., 2017; Hailesilassie, Hugener, Bieder, & Partl, 2016).....	53
Figura 13. Medición de ER y HL. Fuente: (Karim, 2015) .....	54
Figura 14. (ER) y (HL) a diferentes concentraciones de agua y temperaturas. Fuente: (Abreu et al., 2017).....	54
Figura 15. Determinación de la concentración óptima de agua para espumas de asfalto, establecido por Asphalt Academy en 2009. Fuente: (D. Collings et al., 2009).....	55
Figura 16. Ciclo de vida del FA. Fuente: (K. Jenkins, 2000).....	57
Figura 17. Relación entre el valor de ERm y ERa. Fuente: (K. Jenkins, 2000).....	58
Figura 18. a) Viscosidad de la espuma en función de la ER b) área bajo la curva de colapso de la espuma para calcular el índice de espuma, a una tasa de aplicación de agua, y tiempo de descarga. (K. Jenkins, 2000) .....	58
Figura 19. Índice de espuma (FI) vs contenido de agua. Fuente: (K. Jenkins, 2000) .....	59
Figura 20. Resultados experimentales de variación de la HL y de ER con la presión de aire, a diferentes FWC, a temperatura de 140°C. Fuente: (Campagnoli, 1998) .....	61
Figura 21. a) ER y HL de un asfalto 80/100. b) ER y HL de un asfalto 60/70 para asfaltos colombianos. Fuente: (Campagnoli, Alvarez, Reyes, et al., 2018). .....	62
Figura 22. BSD a través del tiempo. Fuente: (Arega, Bhasin, Li, Newcomb, & Arambula, 2014). .....	63
Figura 23. Análisis las BSD del FA. Fuente:(Zhang, Arambula, Newcomb, Bhasin, & Little, 2015) .....	64



Figura 24. a) Medidores de UM y LDM para la caracterización de la FA. b) Medición de la expansión de la FA por medio de sensores UM y de LDM. Fuente: (Zhang et al., 2015) .	64
Figura 25. Resultados prueba Hubbard Field Stability, del profesor Csanyi a materiales no estándar plásticos. Fuente: adaptado de (Csanyi, 1960) .	66
Figura 26. Análisis de las propiedades de materiales plásticos estabilizados con FA. Fuente: (R. H. Bowering, 1970) .	67
Figura 27. Gradaciones de los materiales BSM-M estabilizados con FA a) materiales B-1, B-2, B-8, B-9, B-10, b) materiales B-1, B-3, B-11, c) materiales B-4, B-5, d) material B-1, B-6, B-7, e) materia C-1, C-2. Fuente: (lee, 1980) .	68
Figura 28. a) Estabilidad Marshall seco y, húmedo, b) HFS a BSM-M a contenidos de FA entre 4 y 5%. Fuente: Adaptado de (D. Y. Lee, 1980b) .	69
Figura 29. a) Clasificación de la idoneidad de los materiales tratados con FA, b) óptimo de FA. Fuente: (Ruckel, Acott, & Bowering, 1983) .	70
Figura 30. Rango de franjas granulométricas de los agregados estabilizados con FA establecido por Mobil Oil. Fuente: (Akeroyd & Hicks, 1988) .	71
Figura 31. Gradación actual para las BSM. Fuente: (Wirtgen Group, 2012) .	71
Figura 32. Gradaciones Wirtgen (alto, medio, bajo), AC-2, FAC-2 y SMA-2, de materiales para BSM. Fuente: (Chao & Peng, 2011) .	72
Figura 33. Límites de gradaciones de agregados para la estabilización FA. Fuente: (Leek & Jameson, 2011) .	73
Figura 34. Gradación SBG y FAM. Fuente: Elaboración del autor. .	74
Figura 35. Recomendaciones de algunas características de los agregados, para ser estabilizados con FA. Fuente: (Technikon, 2001) .	75
Figura 36. Ensayo estabilidad Marshall inmersión, material B-3 con 4% de FA, sin llenante activo, tratado con 2% de cal hidratada y 2% de cemento. Fuente: adaptación de (D. Y. Lee, 1980a) .	76
Figura 37. Tramos reciclados entre 1987 y 1988, tratados con FA y cales, en Australia. Fuente: (Akeroyd & Hicks, 1988) .	77
Figura 38. Efecto de llenantes activos con respecto al curado de las BSM. Fuente: adaptado de (Maccarrone et al., 1995) .	78
Figura 39. Ensayos de resistencia a la tracción indirecta seca ITS dry (a), húmeda ITS soaked (b) y (c) resistencia conservada (TSR), para mezclas con diferentes llenantes. Fuente: (Hodgkinson & Visser, 2004) .	79
Figura 40. Resultados de módulo resiliente de mezclas recicladas estabilizadas con asfalto espumado, tratadas con cemento (CKD- polvo de horno de cemento), cal hidratada y cenizas volcánicas. Fuente: (Halles et al., 2013) .	80
Figura 41. Naturaleza hidrofóbica de la superficie debido a la adicción de un agente activo (cal o cemento). Fuente: Adaptado de (Mathaniya Twagira, 2010) .	81
Figura 42. Interacción entre el agregado, la FA, el agua y el relleno activo. Fuente: (Mathaniya Twagira, 2010) .	81
Figura 43. a) Ensayos de ITMr, b) ITS, c). UCS en muestras estabilizadas con FA y tratadas conjuntamente con Ca(OH) <sub>2</sub> y CaO y cemento. Fuente: (Jitsangiam et al., 2012) .	83

Figura 44 Comparación del módulo seco de los materiales modificados con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y $\text{CaO}$ y estabilizados con FA. Fuente: (Jameson, 2018).....	85
Figura 45 Esquema básico de las agrupaciones moleculares de las arcillas. Fuente: (Bauzá, 2015) .....	87
Figura 46 Láminas compuestas por distintos tipos de arcilla. a) Combinación de enlaces de hidrogeno (caolinita), b) combinación de enlaces catiónicos, típica de las esmécticas. Fuente: (Bauzá, 2015) .....	87
Figura 47. Formación de una capa de agua difusa alrededor de partículas de arcilla. Fuente: (Mallela, Quintus, & Smith, 2004).....	88
Figura 48 Proceso de intercambio catiónico y de floculación debidos a la cal. a). estructura laminar con capa doble de mayor espesor (arcilla típica), b). Por intercambio iónico se reduce la capa doble c) desorden de la estructura por repulsión eléctrica e inicio del proceso de floculación, d) organización final de las partículas de arcilla por floculación. Fuente: (Beetham et al., 2013) .....	92
Figura 49. Afectación del límite plástico de los suelos con la adición de cal. Fuente: (Hilt & Davidson, 1960).....	93
Figura 50. Variación de los límites de Atterberg en el tiempo, con respecto al tratamiento de cal. Fuente: (Rogers et al., 1997).....	94
Figura 51 Influencia de la adición de cal en el pH. Fuente:(Mohd Yunus et al., 2014).....	95
Figura 52. Concepto del contenido de humedad de las mezclas de asfalto espumado y el proceso de curado de las mismas. Fuente: (Karim, 2015) .....	98
Figura 53 Mezcladoras de las plantas WLB 10 y WLB 10S. Fuente: Elaboración del autor. ....	101
Figura 54. Comportamiento de las propiedades de los BSM en diferentes etapas. Fuente: (Mathaniya Twagira, 2010) .....	102
Figura 55. Proceso de unión entre partículas de un BSM. Fuente: (Mathaniya Twagira, 2010) .....	103
Figura 56. Ensayo de ITS y UCS. Fuente:(González, 2009) .....	107
Figura 57. Distribución de los esfuerzos internos durante la prueba ITS. Fuente: (Mathaniya Twagira, 2010).....	107
Figura 58. Distribución del esfuerzo debido a la carga en una estructura de pavimento. Fuente: (ABIODUN, 2006) .....	108
Figura 59 Resultados de ITS húmeda y seca, a varias concentraciones de asfalto y llenante activo. Fuente: (Iwanski & Kowalska, 2012).....	108
Figura 60 valores de ITS en estado seco y húmedo en mezclas de asfalto espumado. Fuente: (Halles & Thenoux, 2009) .....	109
Figura 61 Resultados de ITS en proyectos de Nueva Zelanda. Fuente: adaptado de (González, 2009) .....	110
Figura 62. Definición grafica establecida por jones y otros del índice de energía de fractura. Fuente: (Jones et al., 2008) .....	113
Figura 63. Definición de carga cíclica en un ensayo triaxial. Fuente: (Norma INV E-156, 2013) .....	114

Figura 64. a) Ejemplo del sistema de una prueba triaxial cíclica, por medio del desplazamiento axial utilizando LVDT. b) Comportamiento de una carga cíclica en un ensayo triaxial. Fuente: (González, 2009).....	115
Figura 65. a) módulo resiliente en función del esfuerzo total, de la muestra control denominada (G1gau) b) Modulo resiliente en función del esfuerzo total, de la muestra con 2,0% de FA (G1eer2). Fuente: (K. Jenkins, 2000) .....	117
Figura 66. Módulo resiliente en función del esfuerzo total, en pruebas triaxiales de la mezcla de asfalto espumado con 2,0% de FA, y 0,0% de llénate activo con 1000 ciclos de acomodamiento (MGtud2). Fuente: (K. Jenkins, 2000) .....	118
Figura 67. Módulo resiliente de materiales con 8,3% de p200 de, 54% de p4,75, y un tamaño máximo nominal de 19mm (simple 1) y 5,2% de p200 de, 37% de p4,75, tamaño máximo nominal de 37,5 mm (simple 2)a concentraciones de 1%, 2,0% y 4% de FA y 2% de FA con 1% de cemento. Fuente:(K. J. Jenkins et al., 2007) .....	119
Figura 68. Ensayo de módulo resiliente en función del esfuerzo de confinamiento a diferentes materiales tratados con un relleno activo y FA. Fuente: (Halles & Thenoux, 2009) .....	120
Figura 69. Módulos resiliente en mezclas de asfalto espumado con 50% de RAP y 50% de material granular. Fuente: (Ben, 2014).....	120
Figura 70. Variación del módulo resiliente en el modelo k- $\theta$ . Fuente: (Campagnoli & Puentes, 2016). .....	121
Figura 71. Fuente material PF. Fuente: Elaboración del autor. ....	135
Figura 72. Curva granulométrica del material PF comparado con las franjas recomendadas por la metodología TG2. Fuente: elaboración del autor. ....	135
Figura 73 Relación humedad vs Densidad seca para el material PF. Fuente: Elaboración del autor.....	137
Figura 74. Fuente material PG. Fuente: Elaboración del autor.....	138
Figura 75. Curva granulométrica del material PG comparado con las franjas recomendadas por la metodología TG2. Fuente: Elaboración del autor. ....	138
Figura 76. Relación humedad vs densidad seca para el material PG. Fuente: Elaboración del autor.....	140
Figura 77. Diferencias granulométricas material PF y PG, con los criterios de máximos y mínimos de una SBG y BSM .....	141
Figura 78. Curva reológica del asfalto 80/100 (1/10 mm) normalizado. Fuente Elaboración del autor.....	145
Figura 79. Planta de FA WLB 10s Wirtgen. Fuente: Elaboración del autor. ....	146
Figura 80 Relación de ER y HL a temperaturas comprendidas entre 140°C y 170°C de un asfalto 80/100 (1/10mm). Fuente: Elaboración del autor. ....	146
Figura 81. Relación de ER y Temperatura (°C) a diferentes FWC de un asfalto 80/100 (1/10mm). Fuente Elaboración del autor. ....	147
Figura 83 Relación de HL y temperatura (°C) a diferentes FWC de un asfalto 80/100 (1/10mm). Fuente Elaboración del autor. ....	147

Figura 83. contenido óptimo de FWC para una temperatura de 140°C de un asfalto 80/100 (1/10mm). Fuente Elaboración del autor. ....	148
Figura 84. Relación de FI y FWC, a diferentes temperaturas. Para un asfalto 80/100 (1/10mm). Fuente Elaboración del autor. ....	149
Figura 85. Óptimo de FWC a una temperatura de 140°C, en función de FI. Fuente Elaboración del autor. ....	149
Figura 87 a) Curva pH vs HCL 1N para el CaO. b) curva pH vs HCL 1N para el Ca(OH) <sub>2</sub> . Fuente: Elaboración del autor. ....	151
Figura 87 Valores de CUV y material inerte de la CaO y Ca(OH) <sub>2</sub> . Fuente: Elaboración del autor. ....	152
Figura 88. a) pH vs contenido de CaO material PG. B). pH vs contenido de Ca(OH) <sub>2</sub> , material PG. Fuente: Elaboración del autor. ....	153
Figura 89. a) pH vs contenido de CaO material PF. b). pH vs contenido de Ca(OH) <sub>2</sub> material PF. Fuente: Elaboración del autor. ....	154
Figura 90. LL, LP e IP del material PG a diferentes % CaO. Fuente: Elaboración del autor. ....	157
Figura 91. LL, LP e IP del material PG a diferentes % Ca(OH) <sub>2</sub> . Fuente: Elaboración del autor. ....	157
Figura 92. LL, LP e IP del material PF a diferentes % CaO. Fuente: Elaboración del autor. ....	158
Figura 93. LL, LP e IP del material PF a diferentes % Ca(OH) <sub>2</sub> . Fuente: Elaboración del autor. ....	159
Figura 94 Diagrama del ensayo de ITS. Fuente: (Halles, 2013). ....	166
Figura 95. Carga cíclica en un ensayo triaxial cíclico. Fuente: (Halles, 2013) ....	167
Figura 96. Equipo triaxial dinámico DYNAPAVE. Fuente: Elaboración del autor. ....	167
Figura 97. Diagrama ensayo de resistencia al corte rápido. Fuente: (Halles, 2013) ....	169
Figura 98 Resultados de ITS <sub>dry</sub> , ITS <sub>wet</sub> , y TSR de las mezclas de control y de las mezclas con el material PG tratadas con CaO o con Ca(OH) <sub>2</sub> en concentraciones de 2.5% y 3.0% Fuente: Elaboración del autor. ....	173
Figura 99 a) Material control PG en acondicionamiento húmedo. b) material tratado con CaO o Ca(OH) <sub>2</sub> en acondicionamiento húmedo. Fuente: Elaboración del autor. ....	174
Figura 100 a) Briqueta tratada con solo Ca(OH) <sub>2</sub> . b) Briqueta tratada con solo CaO. Fuente: Elaboración del autor. ....	174
Figura 101 Resultados de ITS <sub>dry</sub> , ITS <sub>wet</sub> , y TSR de las mezclas tratadas solo con FA a 2,4%, 2,6% y 2,8%. Fuente: Elaboración del autor. ....	175
Figura 102 Tratamiento material PG con solo FA y solo con CaO o Ca(OH) <sub>2</sub> . Fuente: Elaboración del autor. ....	176
Figura 103 Comparación de resultados de ITS <sub>dry</sub> , ITS <sub>wet</sub> , y TSR de las mezclas, tratadas solo con FA o solo con CaO a 2,5% y 3,0% o con Ca(OH) <sub>2</sub> a 2,5% y 3,0%. Fuente: Elaboración del autor. ....	176
Figura 104 Resultados de ITS <sub>dry</sub> , ITS <sub>wet</sub> , y TSR de las mezclas tratadas con 2.5% de CaO o de Ca(OH) <sub>2</sub> y diferentes concentraciones de FA. Fuente: Elaboración del autor. ....	178

Figura 105 Resultados de $ITS_{dry}$ , $ITS_{wet}$ , y TSR de las mezclas de control y con diferentes concentraciones de FA pre-tratadas con 3,0% de CaO o de $Ca(OH)_2$ . Fuente: Elaboración del autor.....	180
Figura 106 $ITS_{dry}$ , $ITS_{wet}$ , TSR del Material PG con 2,5% de CaO y 3,0% de $Ca(OH)_2$ tratado conjuntamente con diferentes concentraciones de FA. Fuente: Elaboración del autor...	181
Figura 107 Variación $ITS_{dry}$ de las mezclas elaboradas con diferentes concentraciones de FA y 2,5% de CaO o 3,0% de $Ca(OH)_2$ del material PG. Fuente: Elaboración del autor.	182
Figura 108 Variación $ITS_{wet}$ de las mezclas elaboradas con diferentes concentraciones de FA y 2,5% de CaO o 3,0% de $Ca(OH)_2$ del material PG. Fuente: Elaboración del autor. ....	183
Figura 110 Variación TSR para el material PG tratado con 2,5% de CaO o 3,0% de $Ca(OH)_2$ conjuntamente con 0%, 2,4% 2,6% y 2,8% de FA. ....	184
Figura 110 Resultados de $ITS_{dry}$ , $ITS_{wet}$ , y TSR de las mezclas control y de las mezclas con CaO o con $Ca(OH)_2$ en concentraciones de 2,5% y 3,0% - Material PF. Fuente Elaboración del autor.....	186
Figura 111 a) Material de control PF en acondicionamiento húmedo. b) material tratado con CaO o con $Ca(OH)_2$ en acondicionamiento húmedo. Fuente: Elaboración del autor. ....	187
Figura 112 Resultados de $ITS_{dry}$ , $ITS_{wet}$ , y TSR de las mezclas tratadas solo con FA a 2,4%, 2,6% y 2,8% del material PF. Fuente: Elaboración del autor.....	188
Figura 113 Tratamiento con solo FA y con solo CaO y $Ca(OH)_2$ . Fuente: Elaboración del autor. ....	189
Figura 114 Resultados de $ITS_{dry}$ , $ITS_{wet}$ , y TSR de las mezclas tratadas individualmente con diferentes concentraciones de FA o con CaO o $Ca(OH)_2$ en dosificaciones de 2,5% y 3,0% para el material PF. Fuente Elaboración del autor. ....	189
Figura 115 Resultados de $ITS_{dry}$ , $ITS_{wet}$ , y TSR de las mezclas tratadas con 2,5% de CaO o de $Ca(OH)_2$ y diferentes concentraciones de FA del material PF. Fuente: Elaboración del autor. ....	191
Figura 116 Resultados de $ITS_{dry}$ , $ITS_{wet}$ , y TSR de las mezclas control, diferentes concentraciones de FA y pretratadas con 3,0% de CaO o de $Ca(OH)_2$ del material PF. Fuente: Elaboración del autor.....	193
Figura 117 $ITS_{dry}$ , $ITS_{wet}$ , y TSR de las mezclas con óptimos de CaO y de $Ca(OH)_2$ y diferentes concentraciones de FA y de mezclas especiales Fuente: Elaboración del autor. ....	195
Figura 118 $ITS_{dry}$ de las mezclas elaboradas con diferentes concentraciones de FA pretratadas con los óptimos de CaO o de $Ca(OH)_2$ - material PF. Fuente: Elaboración del autor. ....	196
Figura 119 $ITS_{wet}$ de las mezclas elaboradas con diferentes concentraciones de FA pretratadas con los óptimos de CaO o de $Ca(OH)_2$ - material PF. Fuente: Elaboración del autor. ....	197
Figura 120 Variación de la TSR para las mezclas con los óptimos de CaO o de $Ca(OH)_2$ tratadas conjuntamente con FA - material PF. Fuente: Elaboración del autor.....	198

Figura 121 $ITS_{dry}$ , $ITS_{wet}$ , TSR de las mezclas con 2.5% de CaO o 3.0% de $Ca(OH)_2$ tratadas conjuntamente con FA, de los materiales PG y PF. Fuente: Elaboración del autor.....	199
Figura 122 Mr obtenidos para el material virgen y tratados solo con llenante activo o con diferentes concentraciones de FA. Fuente elaboración del autor.....	202
Figura 123 Mr – $\theta$ para las mezclas elaboradas con 2,5% de llenante Activo y diferentes concentraciones de FA. Fuente: Elaboración del autor.....	205
Figura 124 Mr – $\theta$ para las mezclas elaboradas con 3,0% de llenante Activo y diferentes concentraciones de FA. Fuente: Elaboración del autor.....	207
Figura 125 Resultados de Mr Vs $\theta$ para el material PG virgen y mezclas tratadas solo con 2.5% o 3.0% de CaO o $Ca(OH)_2$ y mezclas estabilizadas con solo FA. Fuente: Elaboración del autor.....	209
Figura 126 Resultados de Mr Vs $\theta$ para el material PG virgen y para las mezclas tratadas conjuntamente con CaO y FA. Fuente: Elaboración del autor.....	210
Figura 127 Resultados de Mr - $\theta$ para las mezclas tratadas con $Ca(OH)_2$ y estabilizadas con FA. Fuente: Elaboración del autor.....	211
Figura 128 Resultados de Mr - $\theta$ para las mezclas del material original tratadas con 2,5% de CaO o de $Ca(OH)_2$ y FA. Fuente: Elaboración del autor. ....	212
Figura 129 Resultados de Mr - $\theta$ para las mezclas del material original tratadas con 3,0% de CaO o de $Ca(OH)_2$ y FA. Fuente: Elaboración del autor. ....	213
Figura 131 Resultados de Mr - $\theta$ para las mezclas elaboradas con 2,4% de FA solo o conjuntamente con un pretratamiento de CaO o de $Ca(OH)_2$ Fuente: Elaboración del autor. ....	214
Figura 131 Resultados de Mr - $\theta$ para las mezclas elaboradas con 2,6% de FA solo o conjuntamente con un pretratamiento de CaO o de $Ca(OH)_2$ Fuente: Elaboración del autor. ....	215
Figura 132 Resultados de Mr - $\theta$ para las mezclas elaboradas con 2,8% de FA solo o conjuntamente con un pretratamiento de CaO o de $Ca(OH)_2$ Fuente: Elaboración del autor. ....	215
Figura 133 Resultados de Mr Vs $\theta$ para las mezclas de material PG con la dosificación óptima de CaO o de $Ca(OH)_2$ y diferentes concentraciones de FA. Fuente: Elaboración del autor.....	216
Figura 134 Valores de K1 y K2 para la ecuación constitutiva K vs $\theta$ , correspondiente al material PG. Fuente: Elaboración del autor. ....	218
Figura 135 Resultados de Mr - $\square_{oct}$ , del Material PG con 2,5% de CaO o 3,0% de $Ca(OH)_2$ tratado conjuntamente con diferentes concentraciones de FA. Fuente: Elaboración del autor.....	220
Figura 136 Valores de K1, K2 Y k3 para la ecuación constitutiva K - $\square_{oct}$ . Fuente: Elaboración del autor.....	223
Figura 137 Mr obtenidos para el material virgen y tratados solo con llenante activo o diferentes concentraciones de FA . Fuente: Elaboración del autor.....	225

Figura 138 Mr - $\theta$ para las mezclas elaboradas con 2.5% de llenante activo y diferentes concentraciones de FA, correspondientes al material PF. Fuente: Elaboración del autor. ....	228
Figura 139 Mr Vs $\theta$ para las mezclas elaboradas con 3.0% de llenante activo y diferentes concentraciones de FA. Fuente: Elaboración del autor. ....	230
Figura 140 Resultados de Mr - $\theta$ para el material PF virgen y mezclas tratadas solo con 2.5% o 3.0% de CaO o Ca(OH) <sub>2</sub> o solo FA. Fuente Elaboración del autor. ....	232
Figura 141 Resultados de Mr - $\theta$ para el material PF tratado conjuntamente con CaO y FA. Fuente: Elaboración del autor. ....	233
Figura 142 Resultados de Mr Vs $\theta$ para las mezclas tratadas con Ca(OH) <sub>2</sub> y estabilizadas con FA. Fuente: Elaboración del autor. ....	234
Figura 143 Resultados de Mr - $\theta$ para las mezclas del material original tratadas con 2.5% de CaO o de Ca(OH) <sub>2</sub> y FA. Fuente: Elaboración del autor. ....	235
Figura 144 Resultados de Mr - $\theta$ para las mezclas del material original tratadas con 3.0% de CaO o de Ca(OH) <sub>2</sub> y FA. Fuente: Elaboración del autor. ....	236
Figura 145 Resultados de Mr - $\theta$ para las mezclas elaboradas con 2,4% de FA solo o conjuntamente con un pretratamiento de CaO o de Ca(OH) <sub>2</sub> del material PF. Fuente: Elaboración del autor. ....	237
Figura 146 Resultados de Mr - $\theta$ para las mezclas elaboradas con 2,6% de FA solo o conjuntamente con un pretratamiento de CaO o de Ca(OH) <sub>2</sub> del material PF. Fuente: Elaboración del autor. ....	237
Figura 147 Resultados de Mr - $\theta$ para las mezclas elaboradas con 2,8% de FA solo o conjuntamente con un pretratamiento de CaO o de Ca(OH) <sub>2</sub> del material PF. Fuente: Elaboración del autor. ....	238
Figura 148 Resultados de Mr Vs $\theta$ , del Material PF con 2,5% de CaO y 3,0% de Ca(OH) <sub>2</sub> tratado conjuntamente con diferentes concentraciones de FA. Fuente: Elaboración del autor. ....	239
Figura 149 Valores de K para la ecuación constitutiva Mr- $\theta$ del material PF. Fuente: Elaboración del autor. ....	241
Figura 150 Resultados de Mr Vs $t_{oct}$ , del Material PF con 2,5% de CaO y 3,0% de Ca(OH) <sub>2</sub> tratado conjuntamente con diferentes concentraciones de FA. Fuente: Elaboración del autor. ....	242
Figura 151 Valores de K para la ecuación constitutiva Mr vs $t_{oct}$ del material PF. Fuente: Elaboración del autor. ....	245
Figura 152 Mr de las mezclas tratadas solo con FA, para los materiales (a) PG, y (b) PF. Fuente: Elaboración del autor. ....	246
Figura 153 Mr de las mezclas tratadas con 2,5% de CaO, o de Ca(OH) <sub>2</sub> y estabilizadas con FA a diferentes contenidos, para los materiales (a) PG, y (b) PF. Fuente: Elaboración del autor. ....	248
Figura 154 Mr de las mezclas tratadas con 3.0% de CaO, o de Ca(OH) <sub>2</sub> y estabilizadas con FA a diferentes contenidos, para los materiales (a) PG, y (b) PF. Fuente: Elaboración del autor. ....	249

Figura 155 Resultados de resistencia al corte (a y b) y curvas esfuerzo vs deformación (c y d) de las mezclas BSM del material PG. Fuente: Elaboración del autor.....	250
Figura 157 Resultados de resistencia al corte (a y b) y curvas esfuerzo vs deformación (c y d) de las mezclas BSM del material PF. Fuente: Elaboración del autor. ....	252



## Índice de anexos

Anexo 1 Clacificacion de los agregados.....	265
Anexo 2 Caracterización de los agregados.....	273
Anexo 3 Gradaciones y proctor de diseño. ....	307
Anexo 4 Caracterización asfalto. ....	319
Anexo 5 Caracterización llenantes activos y modificación de los agregados. ....	325
Anexo 6 Calibración de planta WLB10s y caracterización de espumas de asfalto. ....	377
Anexo 7 Resultados de tracción indirecta. ....	391
Anexo 8 Resultados de módulo resiliente. ....	433
Anexo 9 Resultados de MR vs toct, para las diferentes mezclas. ....	514

## Capítulo 1. Introducción.

Los materiales estabilizados con asfalto espumado son una buena alternativa cuando no se cuenta con materiales de óptima calidad para la construcción de capas granulares de base en la estructura de pavimento. Varios países como Suráfrica, Australia, Nueva Zelanda, China, y recientemente en Norteamérica han fomentado el uso de esta técnica.

El asfalto espumado, ha ganado cada vez más aceptación como una técnica económica, principalmente por su aplicabilidad a materiales localmente disponibles. Si se compara con otros agentes estabilizantes, el asfalto espumado generalmente presenta una mayor efectividad, debido a que aporta flexibilidad a la estructura, lo que conlleva a tener un mejor comportamiento esfuerzo - deformación (Al-otaibi, 2006). Varios autores también resaltan los beneficios ambientales que trae el uso de esta técnica.

Algunos materiales no estándar, debido a que presentan una ligera plasticidad, entran en la categoría de materiales susceptibles a tratar con asfalto espumado. Autores como Ramanujam y Jones (Ramanujam & Jones, 2007) indican la necesidad de realizar una modificación de las propiedades plásticas del suelo. Para este propósito, se recomienda usar con la tecnología del asfalto espumado el Hidróxido de Calcio -  $\text{Ca(OH)}_2$  – Cal Hidratada, y en menor proporción el óxido de Calcio -  $\text{CaO}$  – Cal viva.

Actualmente Colombia presenta una cantidad significativa de explotación de caliza. Los depósitos calcáreos están presentes a lo largo del territorio nacional, principalmente en las cordilleras oriental, central, así como en la costa atlántica, abarcando un 10% del territorio nacional, con una reserva que asciende a los 18,267 millones de toneladas. En 2012 se explotaron 12 millones de toneladas de este material (Servicio Geológico Colombiano, 2012).

En Colombia existen varias empresas dedicadas a la producción de forma industrial de cal viva y cal hidratada. Algunas compañías con experiencia de más de 30 años son: PROCECAL, CALCO, DISCALBOY, PROMICAL, INVERCIONES HERRERA, y de incursión extranjera LOHIST de Bélgica, la cual hace presencia en más de 25 países incluida Colombia en el departamento del Magdalena. Estas empresas suplen la demanda actual de cal, aproximadamente de 1,09 Millones de toneladas anuales (recursos minerales de Colombia, 2015; Sistema de información minero colombiano, 2018).

Adicionalmente compañías extranjeras como el Grupo CALIDRA de México, se encuentran en apertura de la planta calteck de explotación de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y  $\text{CaO}$ , con un inversiones superiores a los 113.000 millones de pesos, donde se proyectan una producción diaria de 250 toneladas de cal viva (portafolio, 2018). La producción en el país de  $\text{CaO}$  suele ser más económica - aproximadamente un 30% que la cal hidratada (Procecal sas, 2017)

Según la National Lime Association (National Lime Association, 2007), el  $\text{CaO}$  presenta mayores ventajas para a la estabilización de suelos, en razón a que contiene entre un 20 a un 24% más de  $\text{CaO}$ , por lo que se puede utilizar en menor cantidad para obtener el mismo efecto o uno mayor que el de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Sin embargo, con la  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  se tiene una aplicabilidad más rápida, y se generan menores riesgos, pero presenta desventajas para materiales bastante arcillosos y húmedos debido a que su alto grado de finura genera grandes inconvenientes respecto a la emisión de polvo para su manejo en el campo.

Para Thenoux y otros, (Thenoux Z. & Jamet, 2013), uno de los principales factores a tener en cuenta en la estabilización de cualquier tipo de suelo es el factor climático, debido a que la mayoría de los suelos tienden a desmejorar frente a la acción del agua. Sin embargo existen ciertos aditivos como la cal que reducen esta susceptibilidad (D. Y. Lee, 1980b).

De acuerdo a datos del Banco Mundial, Colombia presenta en promedio, niveles de precipitación superiores a 3000 mm anuales, un 100% más si se compara con regiones como Norte América, Australia, Suráfrica y Europa (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2014). Recordemos que Colombia durante la ola invernal del año 2010 - 2011, el sector de la infraestructura vial fue uno de los más afectados con pérdidas que se estimaron en 2,1 billones de pesos equivalentes a un 0,59% del PIB del año 2010 (Yepes, Ramírez, Villar, & Aguilar, 2013).

Por lo anterior se resalta la necesidad dentro la investigación de evaluar el efecto del agua en la estabilización de los materiales no estándar, con el fin de tener en consideración una de las condiciones más críticas para el país. Adicionalmente, para que un material en una capa de una estructura de pavimento presente un buen comportamiento, es fundamental tener en cuenta el efecto del agua sobre su rigidez.

En cuanto a la técnica de asfalto espumado - FA "*por sus siglas en inglés Foamed Asphalt*", en Colombia su aplicación ha sido mínima, debido a diversos factores, uno de ellos es su

desconocimiento, en especial de las ventajas que presenta en la estabilización de suelos (Chavarro, 2013)

Países como Suráfrica y Australia son pioneros en el uso de esta tecnología, debido a que parten de la necesidad de optimizar sus procesos con el aprovechamiento de los recursos, teniendo en cuenta la escasez de material que cumpla una calificación adecuada (Nataatmadja, 2001; Vorobieff & Preston, 2004; Wilmot, 2006). Estos casos invitan a tener iniciativa a investigar, sobre el aprovechamiento de los recursos y la optimización de procesos.

Para Colombia no se conocen estudios o investigaciones sobre el uso de FA a materiales marginales y el efecto de un pretratamiento con la incorporación de un agente activo como la CaO o la Ca(OH)<sub>2</sub>, y su influencia en las propiedades mecánicas en condiciones críticas de humedad.

Por ello, su análisis es fundamental para el desarrollo e implementación a futuro de nuevas tecnologías que contribuyan a la optimización de recursos, diseños, además de generar una base de investigación, confianza y comprensión correcta de estas nuevas tecnologías para que a futuro se logre su implementación, situación que se espera se dé en el país. (Salazar, 2013; Sierra & Zapata, 2015)

## **1.1 Planteamiento del problema.**

No se conocen en el medio colombiano estudios recientes sobre parámetros de resistencia seca, húmeda y resistencia conservada, al igual que sobre la evaluación de la rigidez por medio de módulo resiliente, y valores de resistencia al corte, en materiales no estándares, principalmente plásticos, modificados con CaO o Ca(OH)<sub>2</sub> y estabilizados con asfalto espumado.

Su estudio y análisis es son fundamentales para incentivar el desarrollo de nuevas metodologías de construcción en el país, así como comprender el comportamiento de estos materiales no estándar frente al uso conjunto de otros agentes activos, en la modificación y posterior estabilización con asfalto espumado y así contribuir en el aumento del uso de estos materiales, principalmente en vías de bajo tráfico en el país.

Actualmente, el país apunta a un gran desarrollo de la infraestructura vial, no solo a la infraestructura primaria, si no a la infraestructura secundaria y terciaria, que genere una gran conexión de los centros económicos con el campo, por lo cual se promueve la implementación de nuevas tecnologías que ayuden a optimizar los recursos que se encuentran localmente disponibles.

Colombia, ha comenzado a incentivar el uso de nuevas metodologías, con el fin de generar métodos constructivos que resulten eficientes (Departamento administrativo de ciencia tecnología e innovación, 2012), y enfocar nuevas tecnologías que apunten a un desarrollo sostenible (Organización de las Naciones Unidas, 2017). Es así como recientemente se ha venido incentivando el uso de caucho reciclado (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016). A lo anterior se busca con esta investigación seguir contribuyendo en el país en la utilización de nuevas tecnologías, y en la optimización de los recursos existentes buscando una mayor vida y alcance a los proyectos viales.

## **1.2 Necesidad de la investigación.**

Dentro de los estándares de calidad actuales de construcción de vías en el país, no se han tenido en cuenta los recursos localmente disponibles a los cuales se les considera materiales marginales, como tampoco a algunas nuevas tecnologías enfocadas a mejorarlos. La selección de materiales disponibles localmente para construcción de estructuras de pavimentos para lograr hacerlos competentes tiene muchas ventajas potenciales.

Unas de estas ventajas es el aporte al desarrollo sostenible y el costo más bajo con respecto a la disminución del transporte de material de óptima calidad por largas distancias. Por lo tanto, es importante estudiar y comprender el comportamiento ingenieril de estos materiales estabilizados, mediante una evaluación adecuada que tenga en consideración las condiciones ambientales.

Los resultados de este estudio ayudarán al desarrollo de especificaciones o estándares, los cuales analizarán los efectos que puede causar a un agregado de baja calidad o no estándar como material de construcción de carreteras.

### **1.3 Objetivos.**

Este trabajo se lleva a cabo en la línea de pavimentos, específicamente el área de estabilización de suelos, por medio del uso de la técnica de asfalto espumado, analizando el cómo se afectan las propiedades del suelo al incorporar diferentes llenantes activos a materiales no estándar o marginales. Las normas y especificaciones técnicas colombianas vigentes no incluyen el uso de estos materiales, los cuales en muchas ocasiones se encuentran localmente disponibles.

Para lograrlo, se estudió la susceptibilidad al agua de los materiales modificados con óxido de calcio e hidróxido de calcio, tratados conjuntamente con asfalto espumado, mediante ensayos de tracción indirecta y se analizó el comportamiento mecánico de los materiales y las mezclas, en particular su rigidez con ensayos de módulo resiliente.

#### **1.3.1 Objetivo general.**

Evaluar cómo se afectan las propiedades mecánicas y la susceptibilidad frente a la acción del agua de materiales pétreos no estándar o marginales, modificados con óxido de calcio y estabilizados con asfalto espumado o modificados con hidróxido de calcio y estabilizados con asfalto espumado.

#### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Evaluar el efecto de la modificación del suelo con óxido de calcio o hidróxido de calcio sobre las propiedades finales de la estabilización con asfalto espumado.
- Evaluar la susceptibilidad al agua en las mezclas estabilizadas con asfalto espumado y pre tratadas con hidróxido de calcio o con óxido de calcio, mediante la medida de la resistencia a la tracción indirecta (ITS) sumergido/seco y compararlas.
- Evaluar los efectos frente a la rigidez, en las mezclas estabilizadas con asfalto espumado, y pre tratadas con hidróxido de calcio o con óxido de calcio, mediante la medida del módulo resiliente.

- Evaluar el efecto de los pretratamientos y la estabilización en la resistencia al corte.

#### **1.4 Metodología.**

El trabajo se realizó en cuatro etapas de tal forma de alcanzar los objetivos planteados, tomando como guía la metodología establecida en el manual de Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilised Materials - TG2 Second Edition- mayo 2009. En la Figura 1 se ilustra un diagrama de flujo de la manera como se desarrolló la investigación.

El manual TG2 presenta tres niveles de diseño de mezclas estabilizadas con asfalto espumado, basados en el tránsito: nivel 1 - tránsito menor a 3 millones de ejes equivalente, nivel 2 - menor a 6 millones de ejes equivalentes y nivel 3 mayor a 6 millones de ejes equivalentes de 80 kN.

El desarrollo de la investigación y verificación de resultados, se realizó para el nivel 1, sugerido en el TG2, es decir para el menor tránsito en consideración (Inferior a 3 millones de E.E.). Los análisis incluyen ensayos preliminares a los materiales y ensayos de tracción indirecta (ITS) en condición seca y húmeda de probetas tipo Marshall de 101 mm de diámetro.

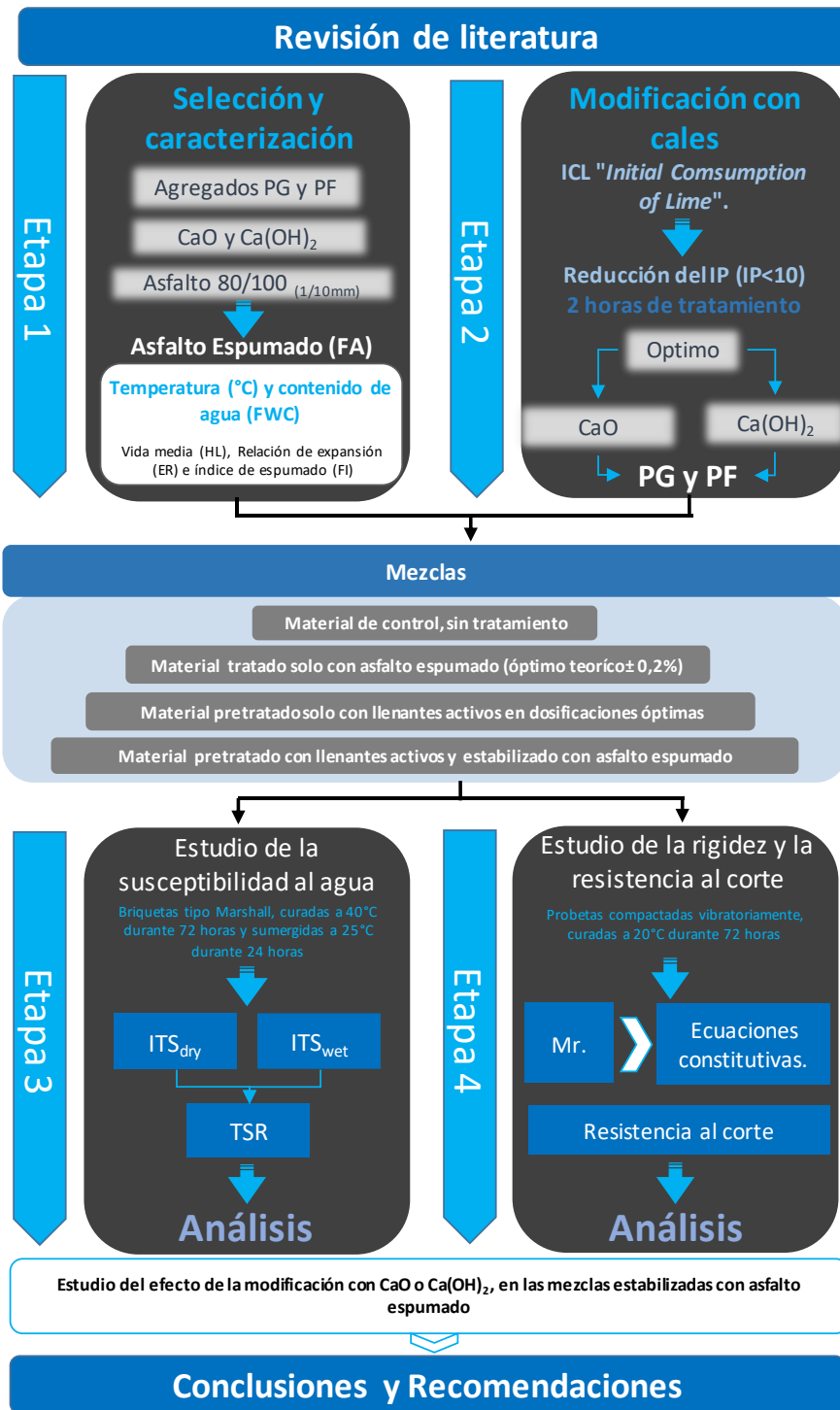


Figura 1. Metodología del estudio. Fuente: Elaboración del autor.

En forma detallada, el desarrollo de cada una de las diferentes etapas es el siguiente:



## **Etapa 1 - Selección y caracterización de materiales.**

### Materiales pétreos:

Selección y caracterización siguiendo los procedimientos y ensayos establecidos en las normas de ensayo INVIAS 2013 de dos tipos de materiales pétreos localmente disponibles en la ciudad de Bogotá o en sus proximidades, que presenten un Índice plástico - IP entre el 10 y 15 %, y entre 15 y 25%.

Los ensayos de caracterización incluyen: plasticidad, distribución granulométrica, peso específico relativo de sólidos, relación humedad – masa unitaria seca (Proctor modificado), entre otros.

### Asfalto:

Selección y caracterización, incluyendo ensayos como punto de ablandamiento, penetración, viscosidad y peso específico de un cemento asfáltico de penetración 80/100 (1/10 mm) recomendado por la metodología TG2 y en por el manual de reciclaje de la Wirtgen de 2012. Esto se debe principalmente a que los asfaltos un poco más duros pueden conducir a una dispersión más pobre, alterando el valor de expansión y vida media. Thenoux y Janet, (Thenoux Z. & Jamet, 2013), indican que los cambios no son significativos, pero estos pueden variar si no se tiene un buen seguimiento y confianza en el proveedor del producto.

La caracterización de la espuma de asfalto incluye la medida de la relación de expansión y vida media, definidas como:

- Relación de expansión: una medida de la viscosidad del asfalto espumado, calculada como la relación entre el de volumen máximo de la espuma y en relación con el volumen original del asfalto sin espumar.
- Vida media: es un parámetro que define la estabilidad de la espuma, medido como el tiempo en segundos para que esta colapse a la mitad de su volumen máximo.

El objetivo de llevar a cabo este procedimiento es definir la concentración de agua necesaria y la temperatura del asfalto para producir las mejores propiedades de la

espuma asfáltica. Wirtgen (Wirtgen Group, 2012), recomienda realizar un seguimiento a temperaturas próximas a 160 °C. En este estudio se trabajan temperaturas de 140, 150, 160 y 170 °C.

### Óxido de Calcio - CaO e Hidróxido de Calcio - Ca(OH)<sub>2</sub>

Debido a la gran variedad que presenta la composición de las cales comerciales y con el propósito de disponer de un criterio uniforme para juzgar su calidad reactiva, sobre las cales usadas en el estudio se llevará a cabo el análisis de cal útil vial de acuerdo con la norma INVIAS E-602 – 13.

### **Etapa 2 – Modificación de los materiales pétreos con CaO y Ca(OH)<sub>2</sub> y selección de sus respectivas concentraciones.**

Wirtgen (Wirtgen Group, 2012), indica que en los materiales que presenten un índice de plasticidad superior a 10, es necesario realizar una modificación con la cal hidratada, al menos (2) dos horas antes del tratamiento con asfalto espumado. Así mismo, Collings y otros (D. Collings et al., 2009) recomiendan un tratamiento previo con cal hidratada al material plástico de al menos de 2 horas, con el fin de dar un tiempo suficiente para que la modificación tenga lugar en todo el material antes del tratamiento del asfalto espumado. Estos autores también sugieren que el tiempo para la mezcla del material modificado con el asfalto espumado no debe extenderse demasiado, debido a que el llenante activo al entrar en contacto con la humedad promueve la adhesión de las partículas finas, lo que conlleva a disminuir la dispersión del asfalto espumado cuando se realice la mezcla. Para Ramanujam y otros (Ramanujam & Jones, 2007), un tratamiento previo de 2 horas con cal viva es suficiente.

Con el fin de verificar los efectos de la modificación, se evalúa el índice de plasticidad usando concentraciones de cal de 1, 2 y 3% en peso de agregado seco. Con la prueba de Hilt y Davidson (Hilt & Davidson, 1960), se establece un óptimo de consumo de cal para reducir al mínimo el índice de plasticidad, por medio de pruebas de hidrometría y adicionalmente, con la prueba de pH se tienen en cuenta el consumo de cal necesario para que el suelo comience a ganar resistencia.

La evaluación de la reducción del índice de plasticidad se realiza de acuerdo con la norma INVIAS E-604-13, la prueba de pH siguiendo la norma INVIAS E-601-13 y para la hidrometría se sigue el procedimiento establecido en la norma INVIAS E-123-13. Los anteriores ensayos permiten definir las concentraciones de CaO y  $\text{Ca(OH)}_2$ , respectivamente.

El material modificado con las concentraciones así obtenidas y sin modificar, se mezcla con tres contenidos de asfalto espumado, con las cuales se elaboran seis (6) briquetas tipo Marshall de 101 mm de diámetro y 63,5 mm de altura, compactadas con 75 golpes por cara (D. Collings et al., 2009), para un total de 90 briquetas por material.

### **Etapa 3 – Evaluación de resistencia y susceptibilidad al agua.**

La tasa de pérdida de humedad de capas recién construidas estabilizadas con asfalto espumado, juega un papel importante en el desempeño de la capa. En este periodo el material está más propenso a sufrir deformación permanente. (D. Collings et al., 2009)

Para evaluar la susceptibilidad al agua se fabrican seis (6) briquetas por muestra, se curan en un horno durante 72 horas a 40°C, verificando cada 4 horas si se ha alcanzado una masa constante. Una vez se obtenga masa constante, se dejan enfriar los especímenes hasta una temperatura 25 ° C ( $\pm 2,0$  ° C) y se les determina la densidad aparente, cuya variación no debe ser superior a 2,5%. (Wirtgen Group, 2012). Sobre las probetas así curadas, se realiza el ensayo de tracción indirecta en seco ( $\text{ITS}_{\text{dry}}$ ) (3 probetas) y en húmedo ( $\text{ITS}_{\text{wet}}$ ) (las 3 briquetas restantes) obtenidas después de inmersión en agua en baño maría a 25° C ( $\pm 2$  ° C) durante 24 horas. Con estos resultados es posible obtener la tracción indirecta retenida (TSR) o resistencia conservada (D. Collings et al., 2009). Este procedimiento se realiza a cada muestra modificada con óxido de calcio e hidróxido de calcio y a su vez por cada dosificación de asfalto, y a una muestra sin modificar, para cada material

Al final de la etapa se comparan y analizan los diferentes resultados, y se verifica si cumplen con las recomendaciones establecidas en el manual TG2 para tracción indirecta seca, tracción indirecta húmeda y TSR.

#### **Etapa 4 – Evaluación de rigidez y resistencia al corte.**

Con el fin de verificar el efecto sobre la rigidez de la estabilización con asfalto espumado y el pre-tratamiento con el CaO y con el Ca(OH)<sub>2</sub> se realizan pruebas de módulo resiliente, y de resistencia al corte.

La elaboración de las probetas se realiza de acuerdo a la metodología establecida por la TG2, donde se recomienda compactar con martillo vibratorio en 5 capas iguales, con el objeto de lograr la densidad esperada, con la ventaja de emular la orientación de las partículas después del proceso en el campo (D. Collings et al., 2009).

Para realizar los ensayos de módulo resiliente y resistencia al corte se sigue el procedimiento descrito en la norma INVIAS E-156-13 “Modulo resiliente de suelos y agregados”. Para este procedimiento se elaboran dos probetas de cada muestra modificada con CaO, Ca(OH)<sub>2</sub> y cada dosificación de asfalto. También se elaboran muestras sin modificar de cada material.

### **1.5 Organización del trabajo de investigación.**

Este estudio está dividido en 5 capítulos, siguiendo la metodología descrita anteriormente en el diagrama de flujo de la Figura 1. A continuación, se presenta una breve descripción del contenido de cada capítulo.

**Capítulo 1:** Contiene la introducción, los objetivos y la metodología seguida en el estudio.

**Capítulo 2:** En este capítulo se analizan las bondades de la tecnología de asfalto espumado, sus características y los métodos actuales de caracterización de la espuma de asfalto. Incluye una breve descripción del uso de la tecnología para la estabilización de materiales no estándar, lograda a partir de la recopilación de investigaciones y experiencias plasmadas en artículos técnicos y manuales prácticos y una descripción del diseño de mezclas, partiendo desde la modificación de los suelos, el curado, la compactación y la evaluación de sus propiedades

mecánicas, entre ellas la Resistencia a la Tracción Indirecta (ITS), el Módulo resiliente (Mr), y la resistencia al corte, así como sobre su susceptibilidad al agua.

**Capítulo 3:** En este, se presentan la caracterización y el análisis de los materiales empleados – materiales no estándar, llenantes activos y asfalto, la definición de concentraciones óptimas de llenantes y de asfalto espumado, y se indican los procedimientos seguidos para la elaboración de las mezclas y la fabricación de las probetas de ensayo.

**Capítulo 4:** Este capítulo contiene los resultados de los ensayos de tracción indirecta (ITS), resistencia conservada (TSR), resistencia al corte y módulo resiliente (Mr) junto con los análisis respectivos. Incluye las ecuaciones constitutivas del Mr obtenidas aplicando los modelos  $k-\theta$  y universal para todas las mezclas elaboradas junto con los análisis derivados.

**Capítulo 5:** Corresponde al capítulo de las conclusiones y recomendaciones más relevantes derivadas del estudio. En particular, se hacen consideraciones sobre los materiales marginales, la influencia de los llenantes activos en el proceso de modificación, así como sobre el efecto de la espuma de asfalto en el comportamiento de dichas mezclas. Se resumen las implicaciones de usar CaO o  $\text{Ca(OH)}_2$  en el tratamiento en conjunto con asfalto espumado, con base en los resultados obtenidos de ITS, TSR y módulo resiliente – Mr. Finalmente, se presentan las recomendaciones a tener en cuenta en futuras investigaciones que permitan extender este estudio con el fin de comprender la respuesta de materiales marginales al proceso de modificación con llenantes activos y estabilizados posteriormente con asfalto espumado.

**Anexos:** Finalmente, se incluyen como anexos los formularios con los datos y resultados de los ensayos de laboratorio practicados sobre todos los materiales y las mezclas elaboradas.

## Capítulo 2. Estado del Arte

### 2.1 Introducción

En este capítulo se presenta el contexto ambiental y de la infraestructura vial en Colombia, junto con la motivación del uso de tecnologías que minimicen los impactos ambientales y aporten a un desarrollo sostenible.

Igualmente, se presenta una revisión de la literatura sobre la aplicación del asfalto espumado FA, en la estabilización de materiales BSM (Bitumen Stabilized Materials) alrededor del mundo, se analiza la evolución de la tecnología centrada en el uso de materiales considerados como marginales o no estándares. Se hace especial énfasis en el análisis del efecto conjunto de aditivos como el óxido de calcio (CaO) o el hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>), en las BSM, mediante la evaluación de sus propiedades mecánicas y de resistencia al efecto adverso del agua.

Finalmente, la revisión se centra en el comportamiento mecánico de las mezclas de asfalto espumado basado en ensayos de tracción indirecta en seco (ITS<sub>dry</sub>) y húmedo (ITS<sub>wet</sub>), y resistencia conservada (TSR) y de la rigidez por medio del módulo resiliente (Mr), aplicando modelos constitutivos usualmente empleados para los BSM.

### 2.2 Infraestructura de carreteras en Colombia

De acuerdo con la Agencia Nacional de Minería, la demanda de agregados de calidad para la industria de la construcción de vías, pasó de 7,9 millones de metros cúbicos en el año 2012 a 14,5 millones de metros cúbicos en el año 2016 (Agencia nacional minera, 2016). Se estima que para los próximos años se necesitaran unos 25 millones metros cúbicos de material, esto debido principalmente a los planes de desarrollo que actualmente el gobierno está manejando.

El gobierno nacional puso en marcha en 2014 el programa de carreteras más ambicioso de la historia del país, conocido como las concesiones de cuarta generación, el cual contempla un total de 40 proyectos con una inversión cercana a

los 47 billones de pesos para la intervención de más de 7000 km (Consejo de planeación nacional, 2014), con el fin de generar una gran conectividad entre las zonas más productivas con los puertos y aeropuertos e impulsar el desarrollo económico del país. En la Figura 2 se ilustra la evolución en infraestructura vial que se ha tenido, en 18 años con la incursión de estos grandes proyectos

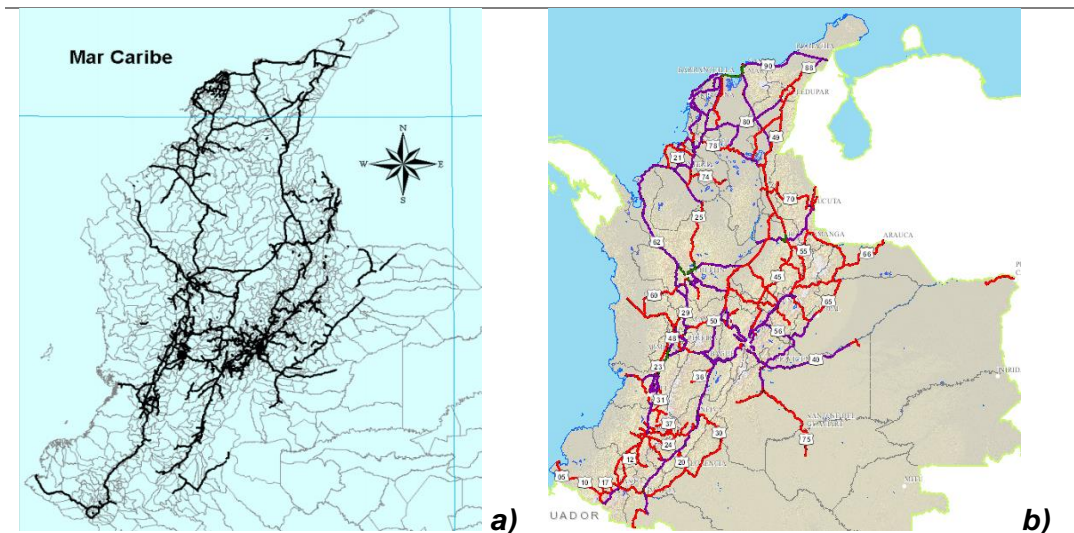


Figura 2. Evolución de la red vial primaria de Colombia. a) Red vial primaria año 2000 Fuente: (Gerson, 2005). b) Red vial primaria año 2018. Fuente: (INVIAS, 2018).

No solo esta inversión promueve el desarrollo económico del país sino, también y de forma indirecta, la implementación de nuevas tecnologías e investigaciones que ayuden a generar obras de calidad, económica y ambientalmente sostenibles, con el fin de aportar soluciones eficientes que optimicen los procesos de construcción.

Actualmente Colombia está pasando por una política de integración territorial después de vivir un conflicto interno por más de 60 años, donde el Estado quiere dinamizar la economía con el resurgimiento de la productividad de las zonas en las que, por consecuencias del conflicto, se desaceleró el crecimiento económico del país (Patiño Alzate, 2016)

Dentro del acuerdo final para la paz (Gobierno Nacional de Colombia, 2016) en el numeral 1,3,1 relacionado con infraestructura, se señala que para obtener una integración regional y mejorar la economía de las zonas apartadas, el gobierno nacional se compromete a implementar un plan nacional de vías terciarias y para su

desarrollo se tendrán en cuenta algunos criterios entre los que se resalta el uso y la aplicación de diversas soluciones tecnológicas, con el fin de garantizar que los proyectos se concreten. En la Figura 3, se observa un posible escenario de accesibilidad vial en el post-conflicto.

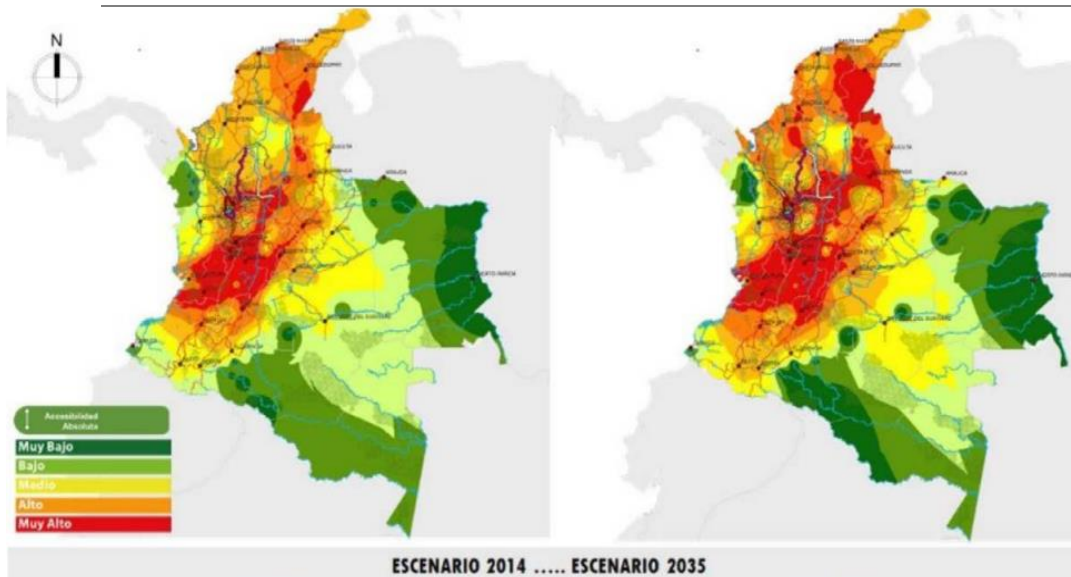


Figura 3. Accesibilidad de las autopistas para la prosperidad, proyectado a 15 años. Fuente: (Patiño Alzate, 2016)

Como se aprecia en la Figura 3, se espera una gran accesibilidad en el sureste del país y en los grandes llanos, al igual que una fuerte conectividad entre el centro, suroeste y en la parte central norte del país, (Patiño Alzate, 2016).

Con el fin de organizar de forma eficiente la red vial que logre conectar todas las regiones del país y sacarlo del atraso en infraestructura que actualmente presenta, el gobierno creó el plan intermodal 2015-2035, (Ministerio de transporte de Colombia, 2016), descrito en el documento CONPES 3857, (Departamento de planeación nacional, 2016). Como se aprecia en la Figura 4, las redes secundaria y terciaria abarcan más del 90% de las vías del país.



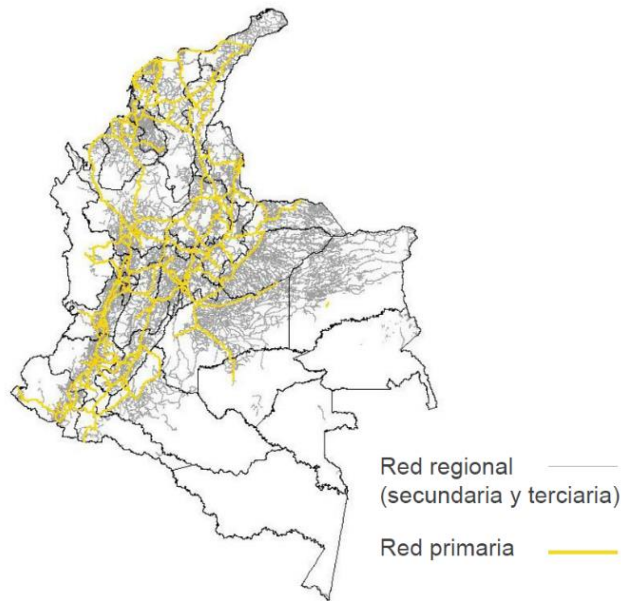


Figura 4. Red vial primaria secundaria y terciaria de Colombia correspondiente al año 2016. Fuente: (Cámara colombiana de infraestructura, 2016).

Este gran proyecto pretende generar una inversión en la red secundaria y terciaria del país, donde se deberán mejorar 142,000 km de los cuales el 24% son catalogados como trochas, 70% está sobre un terreno afirmado, y 6% se encuentra pavimentada y en proceso de rehabilitación. Así como lo indica la cámara colombiana de infraestructura (2016), los principales inconvenientes que se deben sortear en el desarrollo de este proyecto son:

- Desconocimiento de la diversidad de suelos y climas del país.
- No se reconoce la disponibilidad de materiales en la zona.
- Diseños pensados en la zona andina.
- Una metodología única impide la innovación en materiales y tecnologías.

Por lo anterior, es esencial investigar en la optimización de materiales que se encuentren cercanos a los proyectos, con el fin de mejorar sus propiedades y poder utilizarlos como una capa estructural que presente una resistencia adecuada a los efectos climáticos y de tránsito, contribuyendo de alguna forma en la reutilización de material en el sitio, lo que conlleva disminuir la explotación de materiales vírgenes y la optimización de los diseños, que al final se reflejan en una disminución de costos.

El principal problema que acarrea esta gran demanda, es que muchos de los proyectos a generar, especialmente en vías de bajos volúmenes de tránsito, se encuentran alejados de las zonas aptas para la explotación de materiales y esta dependencia de recursos de calidad, no es una solución viable económicamente.

Según Carlos Fernando Forero, presidente de la asociación ASOGRAVAS-COLOMBIA, uno de los principales inconvenientes en la construcción de carreteras, es el acceso a los materiales, puesto que un transporte que supere los 50 km del proyecto tiene implicaciones severas frente a los costos, (Vargas, 2016). Este inconveniente ya se ha presentado en proyectos anteriores, como por ejemplo en la construcción de las vías del plan 2500 donde una de las principales causas de los sobrecostos generados, fue la disponibilidad de fuentes de materiales, en la gran mayoría de los casos localizados a grandes distancias de los proyectos que dieron lugar a que muchos de ellos no alcanzaran a terminarse, (Molina Díaz, Mora Mora, & Rodríguez Cárdenas, 2010).

Es por ello que es necesario fomentar la innovación y la formulación de soluciones alternativas, como el desarrollo de técnicas de estabilización utilizando recursos disponibles localmente. Esta técnica es aplicada en muchos países desarrollados, los cuales han prestado atención a utilizar agregados no estándar con el fin de superar los problemas de escasez de agregados calificados y optimizar los costos del proyecto (Karim, 2015)

Colombia comenzó la búsqueda de la optimización de los materiales para la construcción a través de la convocatoria de COLCIENCIAS # 543 de 2012 (Departamento administrativo de ciencia tecnología e innovación, 2012), la cual busca nuevas metodologías que ayuden a la recuperación y mejoramiento de la red terciaria, basándose en tres factores a atacar: 1) susceptibilidad al agua. 2) generación de polvo, 3) costos de construcción. Todo lo anterior con el fin de generar una estructura estable que sea resistente a la acción del tránsito y de lluvias o de sequía, y así aportar al desarrollo del país.

## 2.3 Contexto ambiental en Colombia.

En los próximos años se buscará generar una gran inversión en la construcción de vías en Colombia, y uno de los principales aspectos a atender es minimizar la afectación al medio ambiente, (Organización de las Naciones Unidas, 2017).

La infraestructura vial es esencial para el desarrollo de un país, pero a su vez esta área es una de las que más genera impacto al medio ambiente, por lo que las prácticas de hoy en día se deben enfocar a la sostenibilidad de la mano del desarrollo, (Quintero, 2016).

El desarrollo sostenible no implica solo generar planes de mitigación, sino generar ideas, investigación y otras metodologías o estrategias que ayuden a la renovación de recursos, y aprovechamiento de los mismos, (Sanchez, 2002).

Se define como desarrollo sostenible:

*“el que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de la vida y al bienestar social, sin agotar la base de los recursos naturales renovables en que se sustentan, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho a las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades”*

Si bien Colombia establece el desarrollo sostenible enfocado a la protección de los recursos, siempre y cuando conduzca al crecimiento económico del país, también en el desarrollo sostenible, se fomenta el uso de buenas prácticas apoyadas en la innovación y la tecnología, (Sanchez, 2002). Dentro del enfoque de desarrollo sostenible, es esencial involucrar tres aspectos fundamentales en el país:

- Fomentar incentivos en el uso de las buenas prácticas ambientales.
- Fomentar el uso de tecnología verde en los procesos.
- Fomentar la investigación de metodologías que favorezcan el aprovechamiento sostenible.

Así es posible impulsar la protección del medio ambiente y reducir las afectaciones al aire, la flora y la fauna, al recurso hídrico, la minería y generar una disminución de los desechos, entre otros aspectos.

En 2016, las Naciones Unidas establecieron 17 objetivos, como se muestra en la Figura 5, que apuntan a la protección del planeta. Uno de ellos está asociado con la infraestructura e innovación y el consumo sostenible, el cual invita a encontrar soluciones con la ayuda de la investigación e innovación científica y al buen uso de los recursos naturales, apoyados en buenas prácticas (Organización de las Naciones Unidas, 2017).



Figura 5. Objetivos de desarrollo sostenible 2017-2030, establecidos por las Naciones Unidas. Fuente: (Organización de las Naciones Unidas, 2017)

Mediante el decreto 3570, el Ministerio del Medio ambiente y desarrollo sostenible de Colombia invita a la gestión ambiental y a la gestión de los recursos naturales renovables, con su recuperación, orientación, conservación, manejo y aprovechamiento sostenible (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).

Con el fin de implementar políticas, planes, métodos y procedimientos dirigidos al desarrollo sostenible, en el país es necesario generar opciones diferentes a los métodos convencionales de construcción y rehabilitación de pavimentos para lograr menores índices de emisión de gases y consumo energético (Beach et al., 2010).

## 2.4 Estabilización de suelos

Hay principalmente tres agentes estabilizantes de los suelos o agregados: 1). Químicos, 2). Cementantes y 3). Ligantes. Como se muestra en la Figura 6 su uso se establece en función del contenido de finos y del índice de plasticidad, recomendándose agentes cementantes como el cemento y la cal cuando se tiene una alta presencia de materiales arcillosos, (Hernán, Echeverría, & Thenoux, 1989).

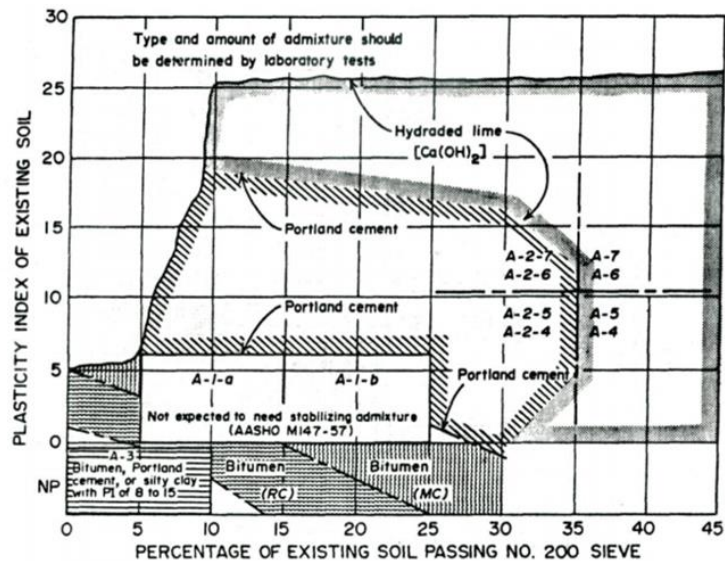


Figura 6. Estabilizante recomendado según la clasificación del suelo. Fuente: (Hernán et al., 1989)

La Asociación de carreteras Australiana - *Austroads*, propone la guía de estabilización de suelos que se muestra en la Figura 7, con base en la cantidad de material que pasa el tamiz No. 4 (4,8 mm) y del índice de plasticidad – IP, (Jameson, 2018).

En la guía de estabilización TG2 de la Asphalt Academy, se presenta una gráfica como la mostrada en la Figura 8, en donde se indica como varía la rigidez y la flexibilidad, en función del contenido de asfalto y de los agentes cementantes ((D. Collings et al., 2009)

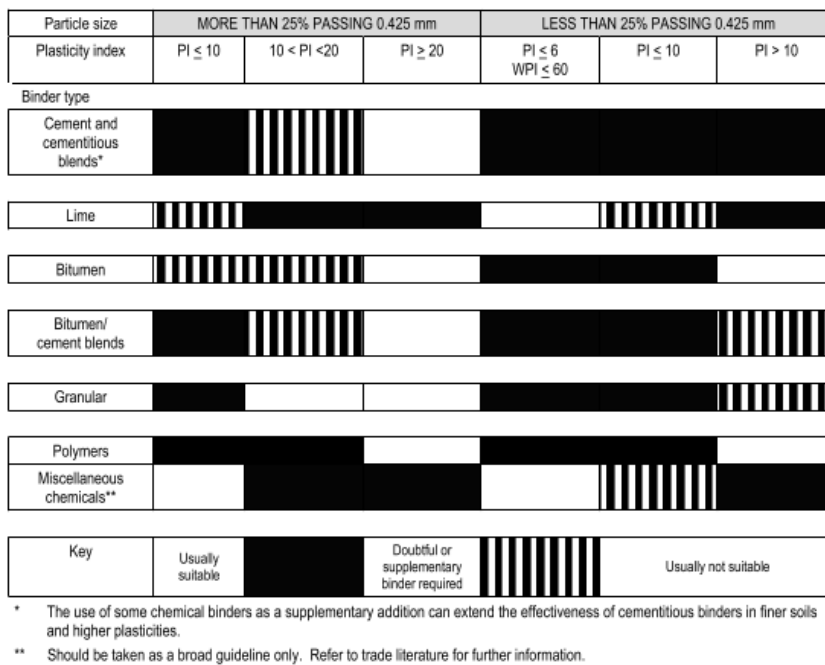


Figura 7. Selección del agente estabilizador según Austroads. Fuente: (Andrews, 2009).

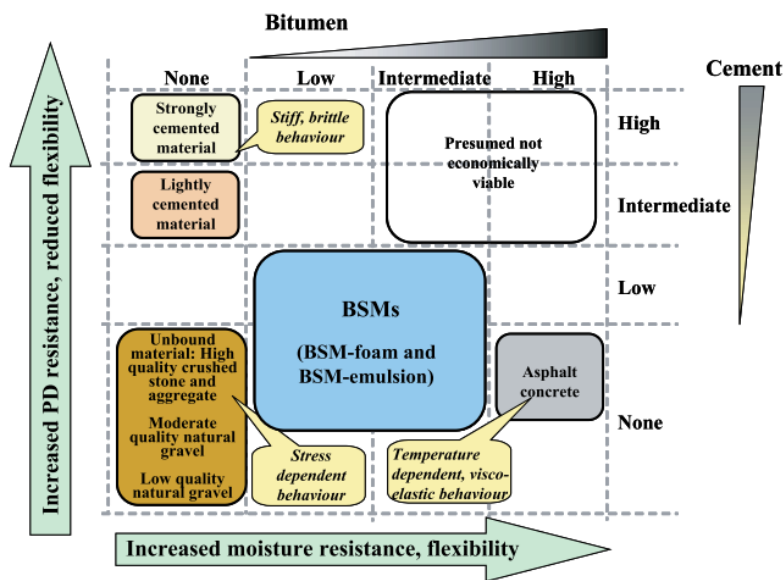


Figura 8. Comportamiento de los materiales de pavimento. Fuente: (D. Collings et al., 2009)

Hernán y otros (Hernán et al., 1989) indican que la unión entre el agregado y el asfalto presenta un comportamiento favorable si se compara a otros agentes estabilizantes, debido a que estos forman una estructura más flexible y con mejores

propiedades a la fatiga (ver Figura 8) y no sufren el fenómeno de fisuración por contracción asociado a la estabilización con cemento, cal, y cenizas (Karim, 2015).

Actualmente hay dos tipos de agentes estabilizantes bituminosos: La emulsión de asfalto (AE por su siglas en inglés “asphalt emulsion”) y los FA, estos agentes estabilizadores aumentan sustancialmente la cohesión del material, generando puentes entre el agregado grueso y fino, llegando a presentar una matriz flexible de la mezcla de los materiales.

La AE es una dispersión de asfalto en agua, típicamente 60% de asfalto con respecto al peso total de la emulsión y 40 por ciento de agua, que se logra con emulsificantes (Shojaei, Ismail, & Rehan, 2015). El proceso de ruptura tiene que ocurrir para que se desarrolle la adherencia, esta ruptura o *breaking* es el proceso de eliminar una cantidad de agua por evaporación para poder liberar el asfalto en una película delgada que busca unir a las partículas de suelo (Ronald & Luis, 2016).

Los beneficios de la AE se destacan más como agente de tratamiento en condiciones ideales de tiempo “seco” y de calidad del material, ya que estas condiciones aceleran el proceso de evaporación y reducen la probabilidad de que se produzca alguna alteración durante la ruptura. Hodgkinson y Visser (Hodgkinson & Visser, 2004) sugieren el uso de AE como agente estabilizador, siempre y cuando se realice un análisis de la adhesión con los materiales pétreos en condiciones húmedas.(Brown & Needham, 2000)

Otro factor a tener en cuenta con las AE; es el proceso de ruptura, la cual tiene que suceder para que se desarrolle la adherencia, este proceso implica la eliminación progresiva del agua a través de la evaporación, y así liberar el asfalto para formar la película adhesiva, con el fin de mantener juntas las partículas del agregado (Montepara, 2001). este proceso se suele afectar principalmente en climas húmedos, y es aquí donde muchos autores las descartan, ya que afecta el proceso de evaporación y se genera mayores riesgos en la estabilización (Shojaei et al., 2015).

Además, se deberá tener en cuenta que no se presenten lluvias durante el proceso de rotura, ya que la lluvia lavaría la AE de los agregados. Adicionalmente se requiere

un análisis del tipo de emulsión catiónica o aniónica a utilizar(Oruc, Celik, & Akpınar, 2007), este depende del agregado que se vaya a utilizar, sea alcalino o ácido(Shojaei et al., 2015)

El FA se obtiene si se inyecta agua fría al asfalto caliente, en un dispositivo especial tal como una cámara de expansión. El agua al entrar en contacto con el asfalto caliente, se transforma en vapor que es encapsulado por miles de pequeñas burbujas de asfalto reduciendo así su viscosidad, y logrando un área mayor de cobertura con el agregado fino (D. Collings et al., 2009).

Las mezclas con FA se comportan de igual manera que los materiales granulares con fricción interna de las partículas entre sí, sin embargo, con una cohesión y una solidez considerablemente más altas. Según Jenkins (K. Jenkins, 2000) los beneficios del uso de FA, por lo cual saca una pequeña ventaja con respecto a las AE son:

- Conservación de la energía. Esto se debe a que el proceso se puede aplicar a materiales húmedos en el sitio.
- Idoneidad de los tipos de agregados - presenta mayor afinidad con diferentes tipos de rocas y suelos, si se compara con la emulsión asfáltica.
- Menos envejecimiento del asfalto.
- Menos problemas de compactación y humedad.
- Es aplicable a materiales marginales.
- Menor desperdicio, debido a su beneficio de aplicación con material marginal, lo que da lugar a la optimización de los recursos locales o materiales clasificados como marginales en la producción de agregados, lo que genera menor impacto al medio ambiente, al eliminar el desperdicio de recursos no renovables.

## **2.5 Tecnología del asfalto espumado**

Los avances tecnológicos y con la búsqueda de beneficios económicos y medioambientales, el uso del FA como agente estabilizador se ha vuelto cada vez más popular y presenta mayor auge. El FA se dispersa de manera no continua,



principalmente en el material fino, formando una masilla de asfalto y creando pequeñas conexiones o puentes entre los materiales de mayor tamaño, siendo esta la característica principal de los BSM.

El FA es un proceso por el cual el asfalto caliente se mezcla con aire y agua fría, esto hace que el asfalto se expanda rápidamente y forme la espuma de asfalto. El asfalto deberá tener un temperatura comprendida entre los 140 a 190 ° C, combinándose con aire y agua a una temperatura de 15 a 20°C en una cámara de expansión y se expulsa a través de la boquilla espumante (Ver Figura 9) (D. Collings et al., 2009).



Figura 9. Esquema cámara de expansión del asfalto espumado. Fuente: (WIRTGEN, 2016)

Esta mezcla producirá, una expansión del volumen inicial del asfalto, que será aproximadamente 20 veces más,(Thenoux Z. & Jamet, 2013). La expansión surge cuando las gotas de agua fría toman contacto con el asfalto caliente, se produce un intercambio de energía, lo que eleva la temperatura del agua transformándola en vapor que genera una expansión explosiva del asfalto que posteriormente colapsa recuperando su volumen inicial.

El potencial del asfalto espumado, fue evaluado por primera vez hace más de 60 años por el Doctor Ladis H. Csanyi, del laboratorio de investigación del asfalto de la estación experimental de ingeniería de la universidad estatal de IOWA. En su

investigación, Csanyi inyectó con éxito vapor en el asfalto caliente para crear una masa espumante (L. H. Csanyi, 1961)

La principal inspiración de Csanyi en desarrollar la tecnología de FA fue debido a que en el estado de IOWA en Estados Unidos, predomina material natural marginal, conformado principalmente por loess, de arenas finas con matrices arcillosas, por lo cual la *Iowa Highway Research Board*, patrocinó una intensa investigación con el propósito de desarrollar métodos nuevos y efectivos para poder utilizar los materiales disponibles de la región, debido a que los diseños y métodos de preparación de la mezcla en Estados Unidos que se tenían en ese momento no contemplaban los materiales que no cumplieran especificaciones (Csanyi, 1960).

Csanyi intentó con diversos agentes inyectados al asfalto como agua, aire y vapor, optando por este último. Según Lee (D. Y. Lee, 1980b) asistente del Csanyi la opción de vapor se escogió en el estudio principalmente porque en las plantas de asfalto, de aquel entonces, se tenían calderas para mantener caliente el asfalto y el sistema de tuberías, por ello su aplicación era más viable para los proyectos.

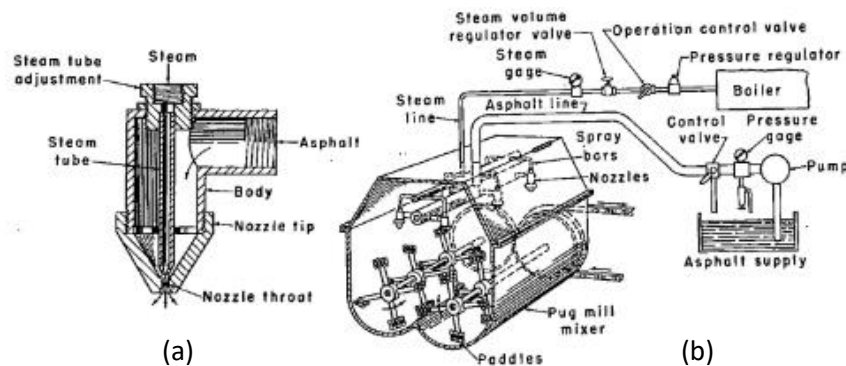


Figura 10. a) Boquilla de espumado y b) Sistema de espumado desarrollados por Csanyi. Fuente: (L. H. Csanyi, 1961)

El procedimiento consistía, en una boquilla como se muestra en la Figura 10a, en la cual se manejaban presiones de atomizado de 40 PSI y el asfalto a altas temperaturas, normalmente de 160°C. El agregado también se calentaba a la temperatura del asfalto, el cual se encontraba en una cámara de dispersión como se muestra en la Figura 10b, donde se mezclaban con el asfalto espumado.

El Dr. Csanyi descubrió que dentro de la vida estable, el cual es el tiempo en que la espuma mantiene su volumen antes de colapsar a su volumen original, esta podría mezclarse con los suelos que denomino no aptos, de tal forma que cubriera en mayor cantidad el material fino para generar de esta forma una cohesión (ver Figura 11) , y así mejorar las propiedades mecánicas de la estructura y con ello producir un buen material de construcción de carreteras con el aprovechamiento de materiales locales (D. Y. Lee, 1980b)

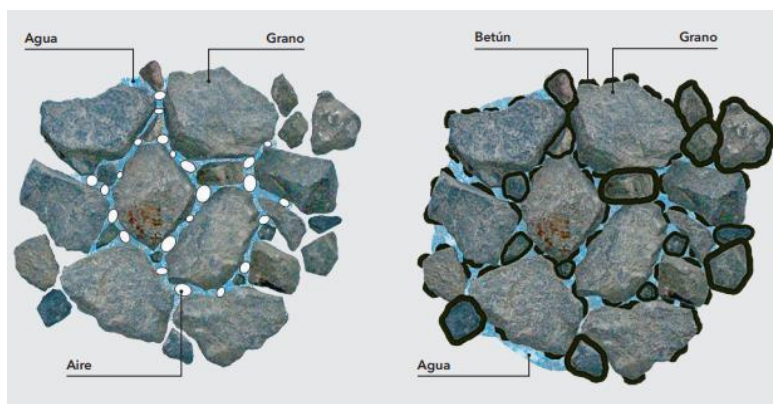


Figura 11. Efectos del asfalto espumado, en el material natural. Fuente: (WIRTGEN, 2016)

Posteriormente Mobil Oil adquiere en 1968 la patente del sistema desarrollado por Csanyi, modificando el sistema años posteriores, por la inyección de agua fría dentro del asfalto (Muthen, 1999). Años siguientes el investigador Lee (D. Y. Lee, 1980b), concluyo que el cambio del vapor por agua no afecta la producción de espuma.

A partir de 1991, luego del vencimiento de la patente, comienza el auge de la tecnología de FA, desarrollando productos que incluyen esta tecnología. Una de las principales empresas promotoras de la tecnología es Wirtgen de Alemania, fabricando plantas de laboratorio, máquinas recicladoras y plantas de campo, al igual que guías y manuales, los cuales se continúan utilizando para la realización de los diseños de las BSM.(Karim, 2015).

## 2.6 Propiedades del asfalto espumado (FA)

El FA presenta una estabilidad muy baja que colapsa a los pocos segundos por lo que se requiere una mezcla vigorosa para dispersar el asfalto mientras esta en forma de espuma en los agregados. Las propiedades que las que se evalúa este comportamiento son, la relación de expansión (ER), (por sus siglas en ingles *Expansion ratio*) y la vida media (HL), (por sus siglas en inglés *half life*), (Andrews, 2009; B. D. Collings, 1997; Jameson, 2018)

Jenkins (K. Jenkins, 2000), después de un estudio intensivo de las características de formación de la espuma, evidencio que la caracterización de FA, a través de estos dos parámetros, definen solo un punto en el espacio – Volumen - tiempo, por lo que son insuficientes para conocer las verdaderas bondades de la FA. De su investigación estableció un parámetro de análisis que abarcara toda la expansión y posterior colapso de la FA, y a este parámetro lo denominó índice de espumado o FI ( por sus siglas en inglés *foam index*).

Actualmente existen diferentes parámetros para evaluar la calidad de un FA, que pueden ser evaluados mediante técnicas no invasivas. Algunos de estos parámetros incluyen la distribución del tamaño de burbujas (BSD), (por sus siglas en inglés *Bubbles size Distribution*) también el índice de área superficial (SAI), (por sus siglas en ingles *Surface Area Index*) las dos desarrolladas por el profesor Ozturk. (Ozturk, 2013), o el índice de velocidad de colapso valor K, donde se establece la zona semi estable de las burbujas, durante el proceso de colapso. (Campagnoli, Alvarez, Reyes, & Estupiñan, 2018; Newcomb, Arambula, Yin, & Zhang, 2015) . Utilizados como principales indicadores de calidad cuando se emplea el FA en la fabricación de mezclas tibias.

### 2.6.1 Relación de expansión (ER)

La ER está determinada por la relación entre el volumen de asfalto en condición de espuma ( $V_t$ ) en un instante  $t$ , y el volumen de asfalto original ( $V_o$ ) (Andrews, 2009; B. D. Collings, 1997; K. Jenkins, 2000; Wirtgen Group, 2012)

$$ER = \frac{V_t}{V_o}$$

( 2.1 )

La relación entre ER y el tiempo da una curva a la que Jenkins denominó curva de colapso o curva de decaimiento. Algunas curvas de colapso típicas se observa en la Figura 12

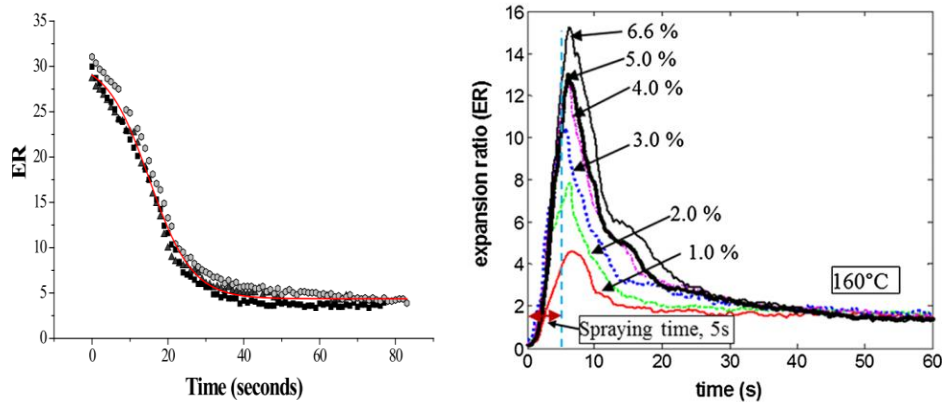


Figura 12. Curvas típicas de expansión del FA medidas con láser. Fuente:(Abreu et al., 2017; Hailesilassie, Hugener, Bieder, & Partl, 2016)

Como lo indica Ozturk (Ozturk, 2013), al tener una alta relación de expansión es indicativo de una baja viscosidad, lo que produce un material más trabajable para recubrir las partículas de agregado particularmente las partículas finas.

El tipo de asfalto, y esencialmente la viscosidad juegan un papel importante en la relación de expansión, al igual que la temperatura y la concentración de agua. (Hailesilassie et al., 2016; K. Jenkins, 2000; Ozturk, 2013).

### 2.6.2 Vida media (HL)

La HL es el tiempo que transcurre desde que la FA alcanza su volumen máximo hasta que su volumen colapsa a la mitad. (Andrews, 2009; D. Collings et al., 2009; K. Jenkins, 2000; Wirtgen Group, 2012). Representa la estabilidad de la FA que proporcionara interacciones superficiales efectivas entre las partículas de agregado. En la Figura 13 observamos los conceptos en conjunto de la HL y ER.

Leek y Jamenson (Leek & Jameson, 2011) indican que la vida media es el tiempo que permite que las partículas más finas del agregado interactúen con el asfalto mientras este se encuentra en condición de espuma y se forme una mezcla homogénea.

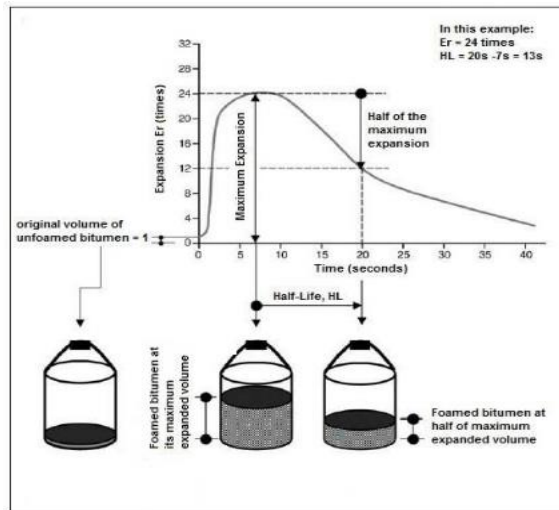


Figura 13. Medición de ER y HL. Fuente: (Karim, 2015)

La ER y HL se ven afectados por tres factores fundamentales; como es la temperatura (ver Figura 14), la concentración de agua inyectada (FWC) (por sus siglas en inglés *Foaming Water Content*) y la presión de aire. De acuerdo con Collings y otros (D. Collings et al., 2009), las concentraciones de agua para las FA se encuentran entre 2% al 5%, para obtener altas ER y HL (ver Figura 14)

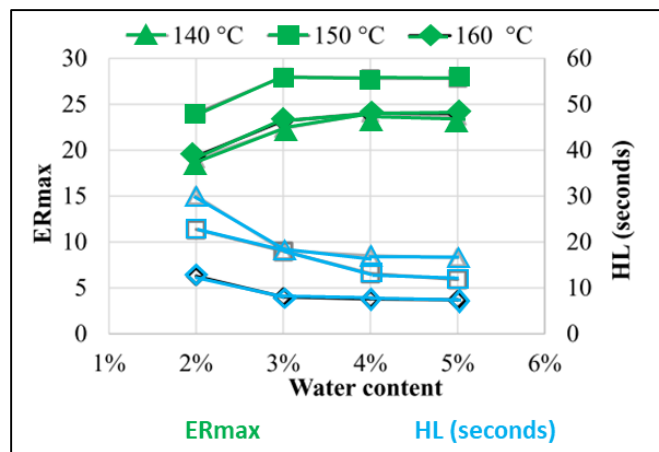


Figura 14. (ER) y (HL) a diferentes concentraciones de agua y temperaturas. Fuente: (Abreu et al., 2017)

Las FWC afectan tanto a la ER como a la HL, a medida que se aumenta la concentración de agua aumenta la ER, pero la HL disminuye, mientras que para la HL en función de la temperatura (ver Figura 14) a 160°C, se presenta la menor relación de expansión.

Collings y otros (D. Collings et al., 2009) grafican los dos parámetros ER y HL en función de FWC, (ver Figura 15). La selección de la concentración óptima de agua que satisface los valores mínimos recomendados de ER y HL, se obtiene como se muestra en la Figura 15.(Andrews, 2009; D. Collings et al., 2009; Wirtgen Group, 2012).

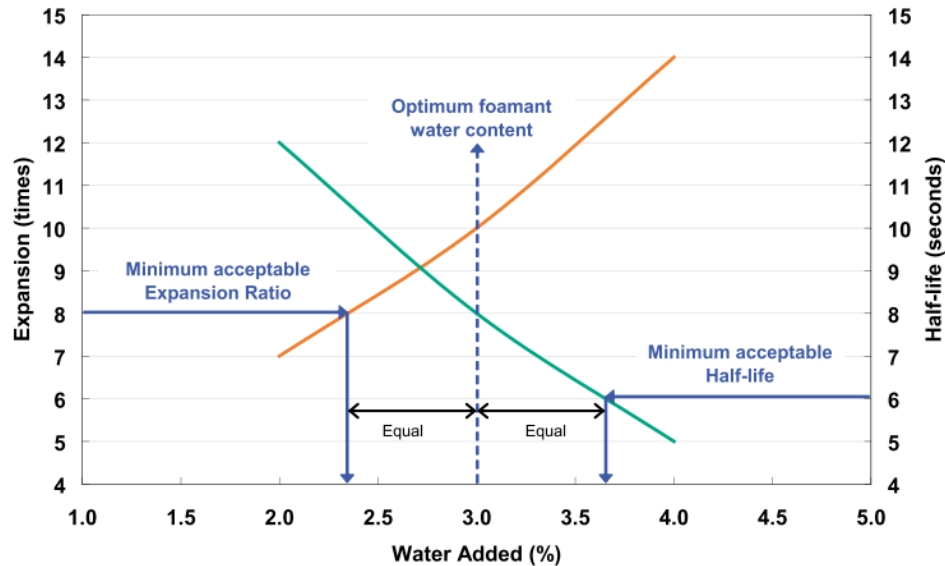


Figura 15. Determinación de la concentración óptima de agua para espumas de asfalto, establecido por Asphalt Academy en 2009. Fuente: (D. Collings et al., 2009)

Diversos manuales como Wirtgen, Asphalt Academy y Austroads, recomiendan unos valores mínimos de ER y HL, como se observa en la Tabla 1. (D. Collings et al., 2009; Jameson, 2018; Karim, 2015; Ramanujam & Jones, 2007) indican que los valores de ER y HL oscilan debido a la variabilidad que se tiene en los asfalto.

Tabla 1. Valores mínimos de ER y HL recomendados por algunos manuales de diseños de materiales estabilizados con FA.

Manual -año	ER	HL (s)
Australia-Nueva Zelanda y Queensland - 2009	15	30
Australia-Queensland 2008	12	45
Surafrica-Asphalt Academy 2009 (agregados de 10°C a 15°C)	10	6
Surafrica-Asphalt Academy 2009 (agregados mayores a 15°C)	8	6
Alemania-wirtgen 2009 (agregados mayores a 15°C)	10	8
Alemania-wirtgen 2009 (agregados mayores a 15°C)	8	6

Fuente: Elaboración del autor.

Como se observa en la Tabla 1, los valores de ER varían de un valor de 8 a 10 en la mayoría de los manuales, de igual forma la HL, varía entre 6 s y 8 s. Lamentablemente ninguno de estos autores establecen, el porqué de dichos valores, cada uno de ellos indica que se obtiene la mejor calidad de la espuma en expansión y estabilidad

Algunos autores como Mutthen (Muthen, 1999), en el manual CSIR de 1998, establece una espuma de calidad con valores de ER mínimos de 10 y HL de 12 s, posteriormente Jenkins (K. Jenkins, 2000) por medio de análisis de índices de espumado- FI, adopta estos valores como aceptables en la caracterización de asfaltos espumados.

### 2.6.3 Índice de espumado (FI).

Para Jenkins (K. Jenkins, 2000), los criterios ER y HL son insuficientes para una caracterización correcta del FA, ya que no se tiene en cuenta todo el comportamiento de colapso, por lo que propone un modelo de comportamiento análogo a la velocidad de desintegración isotopos, establecido por Hutchinson (1959), como el descrito por la ecuación ( 2.2 ):



$$ER(t) = ERm * e^{\frac{-Ln2}{HL} * t}$$

( 2.2 )

Donde:

- ER(t): Relación de expansión en función del tiempo luego de la descarga de la espuma de asfalto.
- ERm: máxima relación de expansión luego que termine la descarga.
- t: tiempo en segundo medido desde el momento que termina la descarga de la espuma.

Es necesario tener en cuenta la espuma que se genera durante el periodo de descarga, como se muestra en la Figura 16, ya que su omisión tiene una influencia significativa cuando se presentan vidas medias bajas.

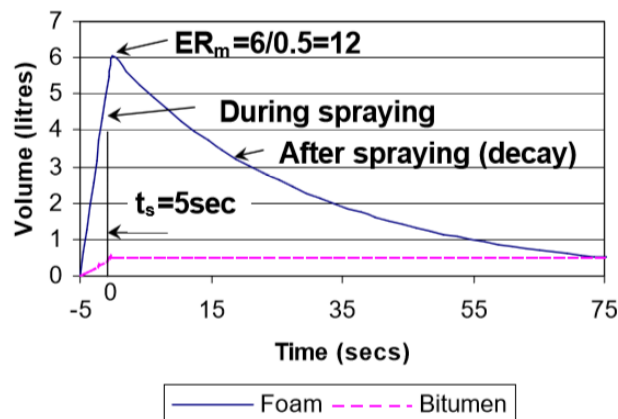


Figura 16. Ciclo de vida del FA. Fuente: (K. Jenkins, 2000)

De acuerdo con la Figura 16, la relación de expansión máxima medida (ERa) no es igual a la relación máxima real (ERm) de la FA. Para diferentes tiempos de descarga de la espuma y de HL en la Figura 17, es posible determinar el parámetro “C”, con el cual se puede estimar la expansión real de la espuma haciendo viable la aplicación del modelo de Hutchinson (1959).

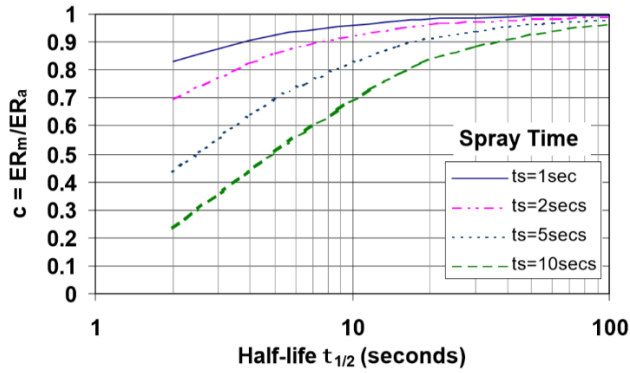


Figura 17. Relación entre el valor de ERm y ERa. Fuente: (K. Jenkins, 2000)

Para lograr un adecuado cubrimiento del agregado por el asfalto, la espuma debe tener una viscosidad comprendida entre 0,2 y 0,55 Pa.s, por lo que para esta condición es necesaria una ER mínima de 4, como se muestra en la Figura 18 (a) (K. Jenkins, 2000)

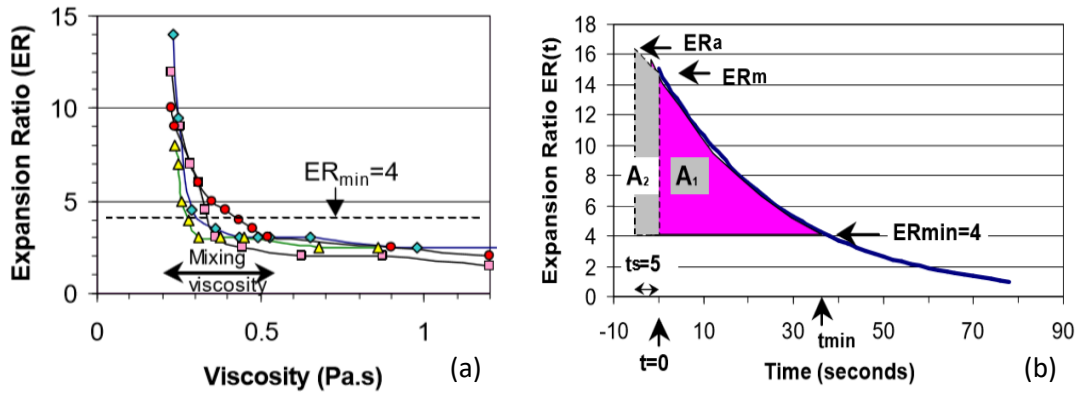


Figura 18. a) Viscosidad de la espuma en función de la ER b) área bajo la curva de colapso de la espuma para calcular el índice de espuma, a una tasa de aplicación de agua, y tiempo de descarga. (K. Jenkins, 2000)

La ecuación ( 2.3 ) permite estimar el Índice de espumado (FI) de una espuma a partir del modelo propuesto por Jenkins, que define el área comprendida entre la curva de colapso y una ER de 4:

$$FI = \frac{-HL}{\ln 2} * \left( 4 - ERm - 4 \ln \left( \frac{4}{ERm} \right) \right) + \left( \left( \frac{1+c}{2c} \right) * ERm - 4 \right) * ts \quad (2.3)$$

Jenkins estableció un total de 6 curvas de decaimiento para las FA (K. Jenkins, 2000), que han servido de base para estudios posteriores de caracterización de espumas de asfalto.

A partir de los valores de FI, se puede estimar la FWC óptima o de aditivos promotores de espumado, considerando que entre más alto sea este, se tiene mayor energía disponible para la dispersión de la espuma en los agregados, como se muestra en la Figura 19.

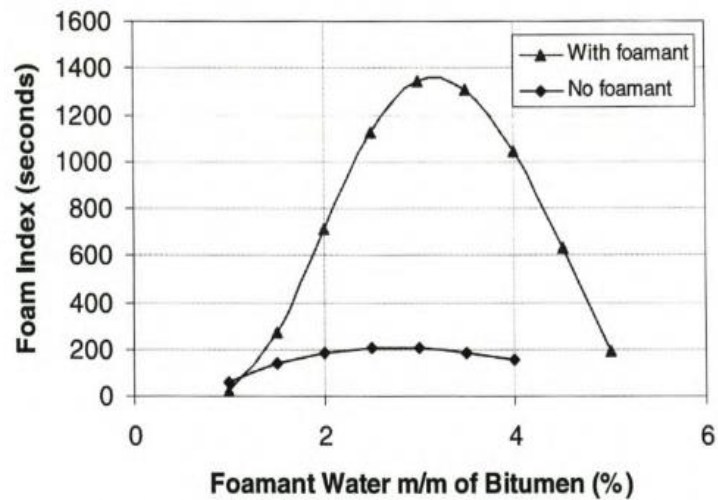


Figura 19. Índice de espuma (FI) vs contenido de agua. Fuente: (K. Jenkins, 2000)

## 2.7 Parámetros que afectan el FA

Varios autores (D. Collings et al., 2009; K. Jenkins, 2000; Ramanujam & Jones, 2007; Smith, 2006) indican algunos factores que influyen en la ER y la HL, como son: cantidad de agua inyectada, tipo de asfalto, presión de agua, presión de aire y temperatura del asfalto.

### Cantidad de agua inyectada

La FWC juega un papel fundamental en la calidad de la FA. Investigaciones realizadas por Abreu y otros (Abreu et al., 2017), indican que FWC comprendidas entre 1,5% y 3% se emplean usualmente en Suráfrica mientras que en proyectos en Australia las FWC son típicamente superiores al 3%. Esta variación en el FWC como lo indica Saleh (Saleh, 2004) depende principalmente de la viscosidad del asfalto.

## **Características del asfalto**

La calidad del asfalto y en particular su viscosidad afectan los valores de la ER y de la HL. Autores como Leek y Jameson (Leek & Jameson, 2011), indican que un asfalto poco viscoso tiene propiedades espumantes superiores y se dispersa mejor en el agregado fino.

Abel y Hines en 1978 (Leek & Jameson, 2011), encontraron que los asfaltos de menor viscosidad espuman más fácilmente que los de mayor viscosidad, dando lugar a espumas con mayores ER y HL. Sin embargo, según Jenkins, asfaltos con una mayor viscosidad pueden llegar a cubrir bien los agregados cuando se les espuma. (K. Jenkins, 2000)

## **Presión de agua y presión de aire.**

Otro factor que afecta los valores de ER y HL son las presiones de agua y aire que se inyectan durante el espumado, autores como Kim y Hosin (2007), en su manual *“manual de laboratorio para la producción de mezclas frías in situ usando la metodología de asfalto espumado”* indica valores de presión de agua de 58Psi, y presión de agua de agua de 72 Psi, de igual forma indica que la presión de agua debe ser mayor 14,5 Psi (Kim & Hosin, 2007), de igual forma el reporte *“roperties of Foamed Asphalt for Warm Mix Asphalt Applications”* de Nercomb (Newcomb et al., 2015) indica una presión conjunta de agua más aire de 72 Psi.

Campagnoli et al (Campagnoli, 1998) , analizó las espumas producidas con asfaltos Colombianos de penetración 60/70 y 80/100 (1/10 mm), variando presiones de agua, el FWC y la temperatura, en una planta de laboratorio Wirtgen WLB 10. En el estudio se observó que el material presenta el mejor comportamiento de ER y HL, de aire de 3,5 bares (50 Psi) (ver Figura 20), de acuerdo a lo establecido por Kim y Hosin (2007) se tiene una presión de agua mayor, con valores promedio de 4,5 bares (70Psi) y a una presión conjunta del sistema de agua más aire de 4 bares (60 Psi). (Campagnoli, Alvarez, Reyes, et al., 2018)

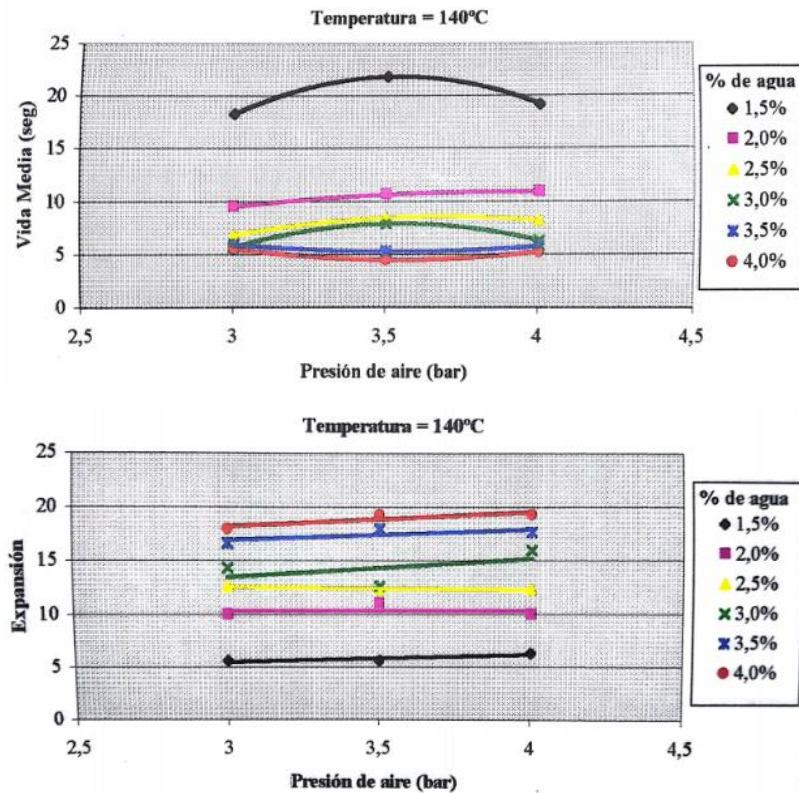


Figura 20. Resultados experimentales de variación de la HL y de ER con la presión de aire, a diferentes FWC, a temperatura de 140°C. Fuente: (Campagnoli, 1998)

En la Figura 20, observamos que a medida que se aumenta el contenido de agua la ER aumenta, y la HL decrece, aun cuando al aumentar la presión del aire entre 3 y 4 bares el cambio no es significativo.

### Temperatura.

Estudios de Collings, Jenkins y en el manual de la Wirtgen recomiendan temperaturas entre 140°C a 170°C para fabricar un buen FA, aun cuando típicamente se encuentra en la bibliografía relacionada, temperaturas de FA de 160°C y 170°C con las que se producen espumas de mejor calidad que a temperaturas de 140°C o 150°C. (Ver Figura 14) (D. Collings et al., 2009; K. Jenkins, 2000; Wirtgen Group, 2012)

Investigaciones recientes muestran que estas consideraciones no son tan precisas y que dependen de diversos factores como el tipo de asfalto y del proceso de

refinación entre otras. En la investigación realizada por Campagnoli y otros (Campagnoli, Alvarez, Reyes-ortiz, et al., 2018), se evidencia que para los asfalto colombianos no resultan válidas las afirmaciones respecto a la temperatura comprendidas entre 160 y 170°C.

En la Figura 21, observamos dos tipos de asfaltos clasificados según su penetración como 80-100 y 60-70 (1/10 mm). Para ambas condiciones se observa que a bajas temperaturas (140°C), se pueden lograr mayores ER y el efecto sobre la HL no resulta significativo.

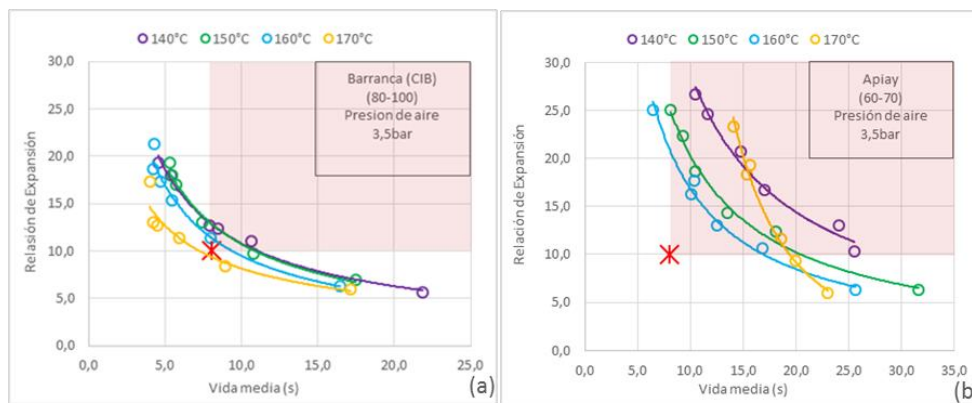


Figura 21. a) ER y HL de un asfalto 80/100. b) ER y HL de un asfalto 60/70 para asfaltos colombianos. Fuente: (Campagnoli, Alvarez, Reyes, et al., 2018).

## 2.8 Métodos actuales de medición de las propiedades de las FA

Actualmente existen diferentes metodologías de caracterización de la FA. La más utilizada es la caracterización por medio de la varilla graduada, esta se encuentra referenciada en los manuales actuales de los BSM (Andrews, 2009; D. Collings et al., 2009; Wirtgen Group, 2012). El método consiste en determinar a partir de una varilla graduada, la altura máxima después de la descarga (ER<sub>m</sub>), mientras que para HL esta se determina a partir de un tiempo cero (0) en ER<sub>m</sub>, y hasta que alcance la mitad de la ER<sub>m</sub>, medida en segundos.

Actualmente se desarrollan otros métodos no invasivos que persiguen mejorar la caracterización típica con la varilla, debido a que con esta se presenta gran variabilidad por su dependencia del operador que realiza el ensayo. Los métodos se

basan en análisis de áreas, o alturas durante la fabricación de la FA, con técnicas como análisis de imagen, o laser.

El análisis de imagen consiste en tomar diferentes fotografías o videos durante el colapso de la FA, que se procesan posteriormente, analizando cómo va cambiando la altura de la espuma a través del tiempo, para determinar de esta manera la curva de colapso de la FA. La técnica también es utilizada para determinar la distribución de los tamaños de las burbujas (BSD por sus siglas en inglés “*bubble size distribution*”) (ver Figura 22) (Ozturk, 2013)

El analizar el tamaño de las burbujas es fundamental, debido a que están relacionadas con la capacidad del asfalto para cubrir al agregado durante el proceso de mezcla, así como con la trabajabilidad. Un mayor rango en los diámetros de las burbujas aumenta la probabilidad de tener un buen cubrimiento de todos los tamaños de las partículas de agregado.

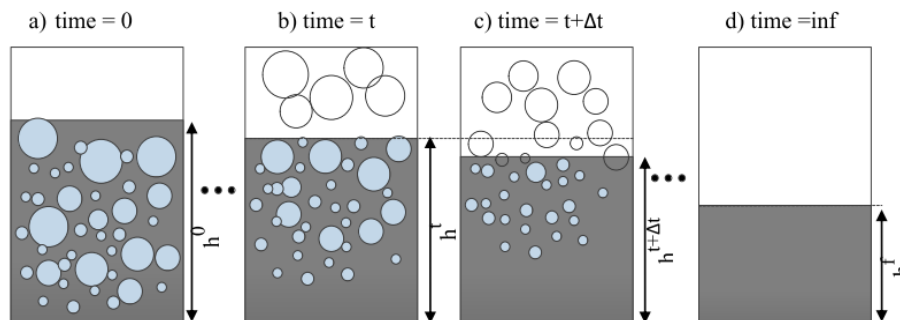


Figura 22. BSD a través del tiempo. Fuente: (Arega, Bhasin, Li, Newcomb, & Arambula, 2014).

Según Ozturk (Ozturk, 2013), los tamaños más pequeños de burbujas, colapsan mucho más despacio que los de mayor tamaño, por lo que la HL tiende a aumentar (Figura ). De manera general se encontró que el tamaño de burbuja aumenta a medida que aumenta el FWC, lo cual ayuda a mejorar el cubrimiento al tenerse espumas con mayor ER, sin embargo, la HL será menor. (Arega et al., 2014)

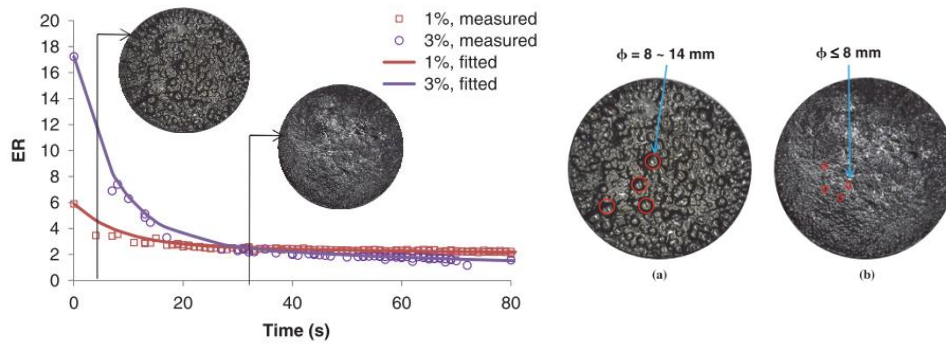


Figura 23. Análisis las BSD del FA. Fuente:(Zhang, Arambula, Newcomb, Bhasin, & Little, 2015)

Varios autores (Arega et al., 2014; Zhang et al., 2015) indican otra forma eficiente de caracterizar la FA que se realiza con la ayuda de un medidor laser (LDM) o ultrasónicos (UM) (ver Figura 24 a). Estos medidores permiten encontrar el comportamiento de la expansión en función del tiempo, para definir la curva de decaimiento o colapso (ver Figura 24 b), y así determinar de forma más precisa el FI (K. Jenkins, 2000)

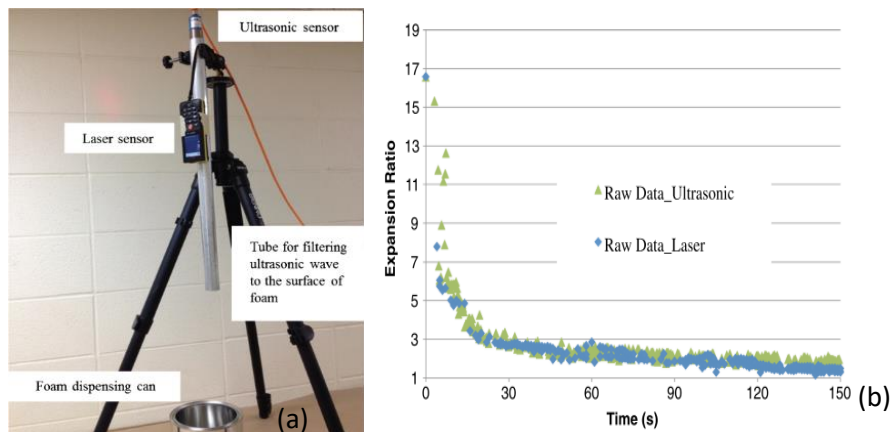


Figura 24. a) Medidores de UM y LDM para la caracterización de la FA. b) Medición de la expansión de la FA por medio de sensores UM y de LDM. Fuente: (Zhang et al., 2015)

La principal diferencia entre los dos métodos como lo establece Arega y otros (Arega et al., 2014) es que el sensor UM mide en un área aproximada de 100mm de diámetro, mientras que el sensor LDM en una zona de aproximadamente 1 mm de diámetro. El sensor UM es capaz de recolectar datos con mayor frecuencia



(aproximadamente 10 puntos por segundo), mientras que el sensor laser recolecta los datos cada segundo.

## 2.9 Mejoramiento de materiales no estándares (BSM-M) con la tecnología de FA.

El FA se ha empleado para tratar materiales que bien pueden ser producto de reciclado, materiales granulares y recientemente, materiales no estándares también conocidos como marginales (BSM-M por sus siglas en ingles "*Bitumen Stabilized Marginal Materials*"), principalmente en Australia, algunos países de Europa, Estados Unidos, China y en zonas más áridas como en África y Arabia Saudita.(Adam O'Callaghan, 2014). Recientemente ha ganado mayor reconocimiento en regiones como Tailandia, Hong Kong, Indonesia y Malacia. Sin embargo, los lugares con mayor aplicabilidad donde ya se cuenta con especificaciones al respecto corresponden a Sudáfrica, Australia y Estados Unidos (Karim, 2015).

Jenkins (K. Jenkins, 2000), estableció algunos requisitos deseados para la estabilización de suelos, al igual que para otras aplicaciones como las que se muestran en la tabla 2, en función del FI de la FA. (Ver Tabla 2; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Tabla 2 Valores deseados para el tipo de mezcla.

<b>Tipos de mezclas de asfalto espumado n</b>	<b>Valores mínimos recomendados de FI</b>
Tratamiento superficial	131
Mezclas frías	164
RAP y mezclas tibias	180
encapsulamiento	257

Fuente: (K. Jenkins, 2000)

La aplicación de FA en materiales no estándar tiene como objetivo modificar y mejorar los materiales de pavimento de carreteras de baja calidad para que puedan

funcionar de manera similar a los materiales convencionales. La técnica de FA en BSM-M, inició con éxito en Australia y Sudáfrica, motivados por el hecho de usar materiales localmente disponibles, no necesariamente aptos para la construcción de carreteras (Little & Button, 1983)

Csanyi (L. H. Csanyi, 1961) investigó mezclas de materiales no convencionales como arenas finas con matriz arcillosa del 38%, material marginal con 60% de matriz granular arcillosa y 40% de cenizas y gravas finas, gravas gruesas, (todas con una matriz arcillosa) y 8% de FA, realizando ensayos de estabilidad con el aparato Hubbard Field (HFS) (ver Figura 25). Los resultados obtenidos mostraron de forma preliminar la viabilidad del uso del FA en la estabilización de materiales no estándar, mejorando las propiedades físicas. Csanyi concluyó que todas las mezclas, las cuales eran consideradas como BSM-M por no cumplir algunos estándares de calidad, al tratarlas con FA fueron catalogadas como adecuadas para formar parte de una capa en una estructura de pavimento con tránsito medio a alto.

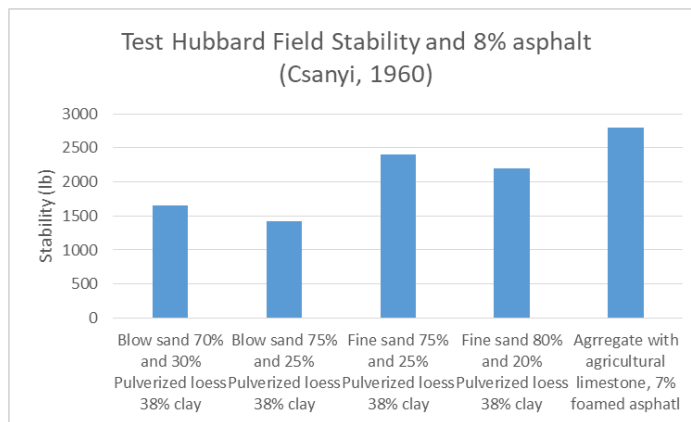


Figura 25. Resultados prueba Hubbard Field Stability, del profesor Csanyi a materiales no estándar plásticos. Fuente: adaptado de (Csanyi, 1960).

Csanyi (L. H. Csanyi, 1961), encontró que los BSM-M con materiales bien gradados entre los tamices de 4,75mm y 0,075mm, presentaran mejor resistencia.

Bowering (R. H. Bowering, 1970), enfocó su análisis de BSM-M principalmente a arenas, con altos índices de plasticidad (IP). Se realizaron pruebas de valores de resistencia (R-V), estabilidad relativa (R-S), compresión confinada (UCS), ensayo

de cohesión (C), ensayo de permeabilidad de california (P), resistencia sumergida de california (S). (Ver Figura 26)

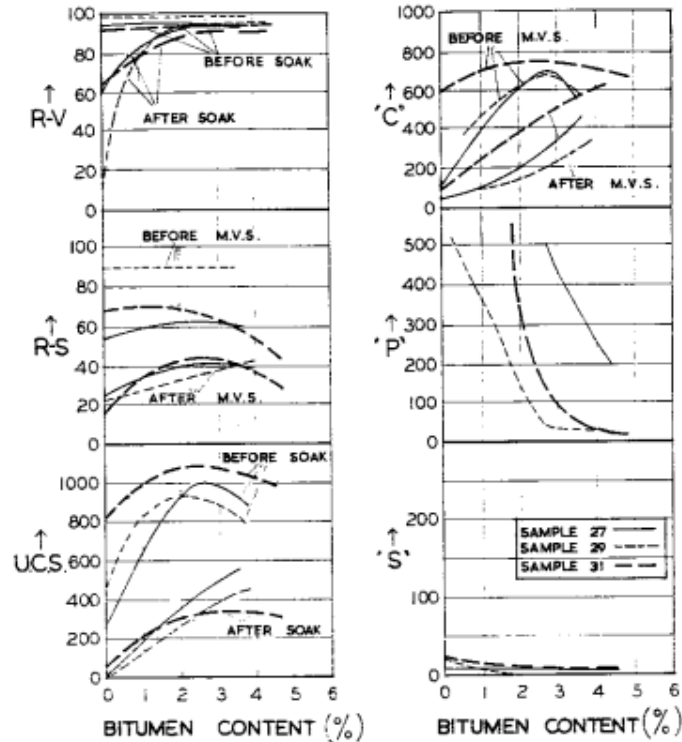


Figura 26. Análisis de las propiedades de materiales plásticos estabilizados con FA. Fuente: (R. H. Bowering, 1970)

Todos los materiales tratados con FA presentaron una mejoría significativa en cada una de estas propiedades. Adicionalmente estableció que el IP juega un papel importante en la resistencia de las BSM, ya el material con mayor IP presentó menor resistencia en condiciones húmedas. Por lo anterior Bowering sugiere analizar el comportamiento de las BSM en la condición húmeda (R. H. Bowering, 1970). Investigaciones posteriores de Bowering, en gravas plásticas demostró también su idoneidad para tratarse con FA, recomendando un IP menor a 10 para matrices grava-arcillosas. (R. Bowering & Martin, 1976).

Bowering y Martin al igual que Lee (R. Bowering & Martin, 1976; D. Y. Lee, 1980a), confirmaron que los materiales arcillosos al ser tratados con FA presentan una leve mejoría si se comparan con las condiciones iniciales de los mismos, pero esta

mejoría no llega a ser la deseada, por lo que recomiendan un IP máximo del 8% para que sea viable el tratamiento.

Lee (D. Y. Lee, 1980) profundizó la investigación del uso de FA en BSM-M, analizando un total de 15 materiales, clasificados como: loess plásticos (A-7-6) - (B-1), arenas limpias (A-1-b) - (B-2, B-4), arena limosa (A-2-4) - (B-3), gravas limpias (A-1-b)- (B-4), triturado arcilloso (A-2-4) - (B-5), y mezclas entre los materiales plásticos con las arenas, gravas y triturados (B-7, B-8, B-9, B-10, B-11), Además, se obtuvieron dos materiales existentes de la superficie de la carretera los cuales los denomino (C-1), suelo arcilloso (A-6) y (C2), arenas arcillosos (A-2-6).

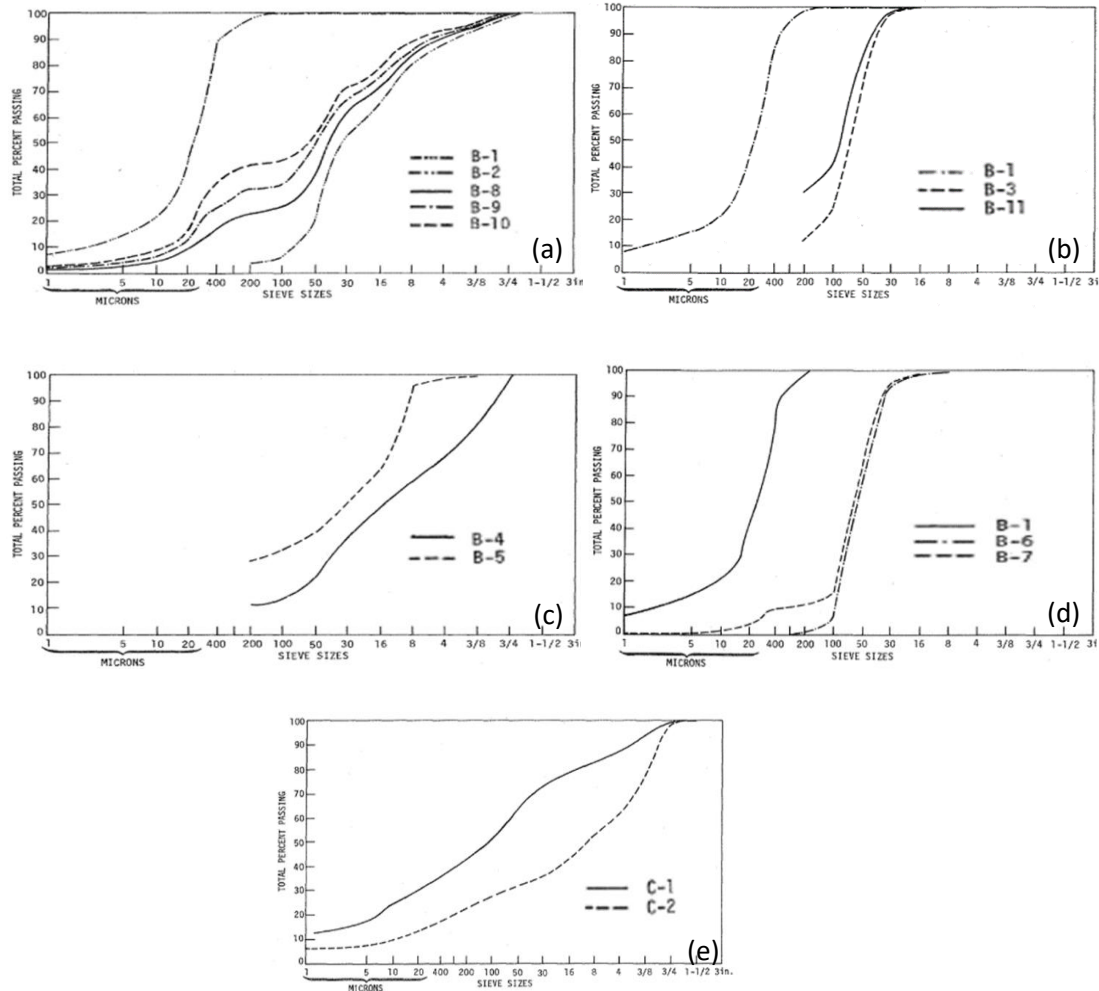


Figura 27. Gradaciones de los materiales BSM-M estabilizados con FA a) materiales B-1,B-2, B-8, B-9, B-10, b) materiales B-1, B-3, B-11, c) materiales B-4, B-5, d) material B-1, B-6, B-7, e) materia C-1, C-2. Fuente: (lee, 1980).

En la Figura 27 se presentan las gradaciones analizadas dentro de la investigación del profesor lee. La gran mayoría de los materiales tienen un porcentaje elevado de finos, con un rango entre el 10 y el 30%. Los materiales identificados como (B-8, B-9, B10), presentan la mejor distribución granulométrica, mientras que los materiales (B-1, C-1, y C-2), la mayor cantidad de material arcilloso. Los materiales se mezclaron con concentraciones de FA entre 4 y 5% y se realizaron ensayos de estabilidad Marshall, inmersión y HFS, (ver Figura 28)

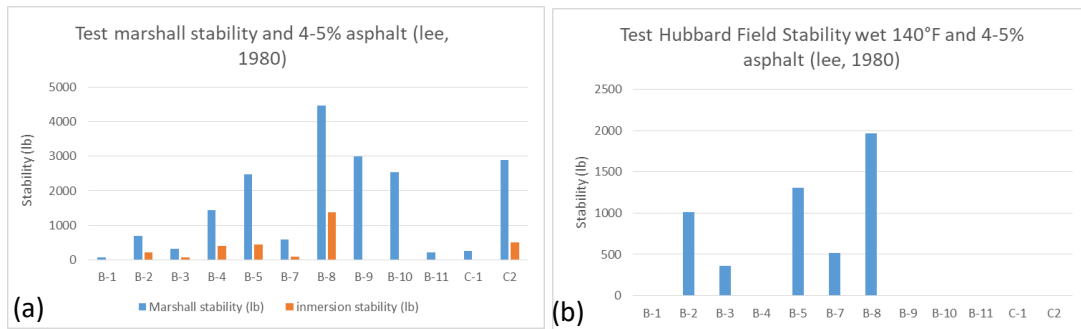


Figura 28. a) Estabilidad Marshall seco y, húmedo, b) HFS a BSM-M a contenidos de FA entre 4 y 5%. Fuente: Adaptado de (D. Y. Lee, 1980b)

Lee (D. Y. Lee, 1980b) concluyo que para la mayoría de las BSM la resistencia en condición húmeda fue baja, y en condición seca alta, los resultados le sugirieren evaluar las BSM en BSM-M, frente a la susceptibilidad al agua y no en condición seca. También se indica que en los BSM-M, las mejores propiedades se obtienen cuando los contenidos de finos se encuentran entre el 10 y el 20%.

Estos resultados fueron acotados posteriormente por Little y Button (Little & Button, 1983), quienes sugirieron un contenido de finos entre el 5 y el 14%. Estos mismos autores, evaluaron la rigidez de arenas y gravas bien y mal gradadas tratadas con FA. La arena bien gradada presentó un incremento de alrededor del 20% en la rigidez, si se le compara con el material mal gradado con contenido apreciable de finos. Desde el punto de vista estructural, los autores llegan a la conclusión de que el material mal gradado no presenta las mismas condiciones de rigidez que el material bien gradado, pero puede ser usado como un material de BG o SBG, ya que cumple con los parámetros mínimos de diseño, establecido por el método AASHTO.(Acott & Myburgh, 1983; Little & Button, 1983)

Ese mismo año Ruckel y otros (Ruckel, Acott, & Bowering, 1983), a partir de las anteriores investigaciones, establecen los primeros criterios de diseño y clasificación de material para el uso de FA (ver Figura 29 a), al igual que el contenido óptimo de asfalto a partir del contenido de finos (ver Figura 29 b). Dentro de la clasificación incluyen piedra triturada, roca, arena de grava, arena limosa, grava arenosa, escoria, áridos recuperados, residuos de mineral, incluyendo materiales plásticos.

Soil type	Suitability for Foamed Mix	Optimum Bitumen Content (% m/m)	Comments
Well graded gravel, little or no fines	Good	2.0 – 2.5	Permeable (improve with crushed fraction)
Well graded gravel + some clayey silt	Good	2.0 – 4.0	Permeable (improve with crushed fraction)
Well graded gravel + sandy silt	Good	2.0 – 4.0	Permeable (improve with crushed fraction)
Poorly graded gravel + sandy clay	Good	2.5 – 3.0	Low permeab. (improve with crushed fraction)
Clayey gravel	Poor	4.0 – 6.0	Improve with lime
Well graded sand	Fair	4.0 – 5.0	Needs filler
Well graded silty sand	Good	2.5 – 4.0	
Poorly graded silty sand	Poor	3.0 – 4.5	Use lower pen bitumen, add filler
Poorly graded sand	Fair	2.5 – 5.0	Needs filler
Silty sand	Good	2.5 – 4.5	
Slightly clayey, silty sand	Good	4.0	
Clayey sand	Poor	4.0 – 6.0	Needs small % lime
	Good	3.0 – 4.0	After lime modification

(a)

% Passing 4.75 mm sieve	% Passing 0.075 mm sieve	(%) Foamed bitumen content
< 50 (gravels)	3 – 5	3
	5 – 7	3.5
	7.5 – 10	4
	> 10	4.5
> 50 (sands)	3 – 5	3.5
	5 – 7.5	4
	7.5 – 10	4.5
	> 10	5

(b)

Figura 29. a) Clasificación de la idoneidad de los materiales tratados con FA, b) óptimo de FA. Fuente: (Ruckel, Acott, & Bowering, 1983)

Posteriormente Akeroyd y Hicks (Akeroyd & Hicks, 1988), establecen las pautas para gradaciones de agregados para las BSM, donde indican tres zonas (ver Figura 30), siendo la zona A la adecuada y donde se van a obtener los mejores valores de resistencia con un contenido de finos menor al 20%, y la zona B donde incluyen la gran mayoría de BSM-M, que pueden ser tratados o son susceptibles al tratamiento con FA con un contenido de finos menor al 35%.

Lancaster y otros (Lancaster, Mcartur, & Warwick, 1994), sugirien trabajar con materiales con un IP menor al 12%, antes de realizar cualquier adición de algún aditivo. Se verifico que materiales estabilizados con FA con un IP superior a este

valor generaban pérdida de estabilidad y una disminución de la rigidez al igual que de resistencia.

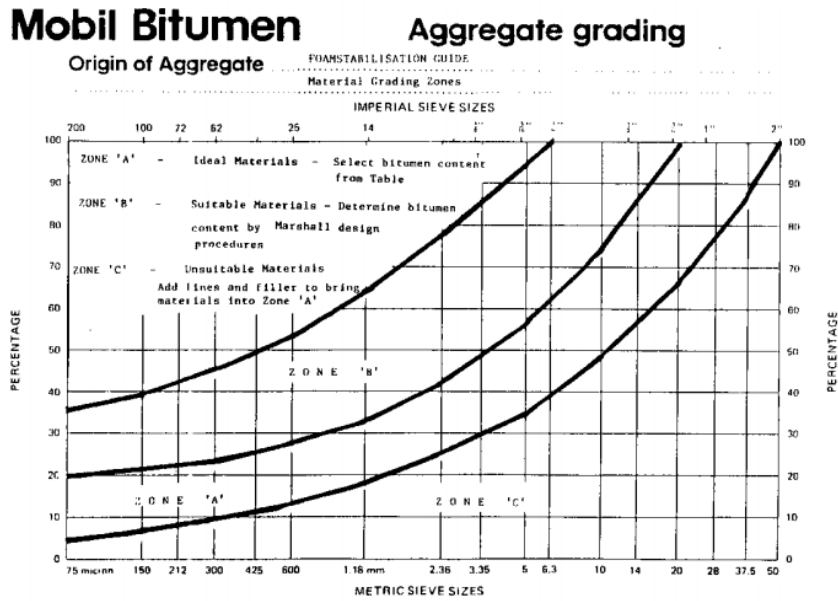


Figura 30. Rango de franjas granulométricas de los agregados estabilizados con FA establecido por Mobil Oil. Fuente: (Akeroyd & Hicks, 1988)

Actualmente estas zonas se ajustaron para obtener un mejor comportamiento de los materiales estabilizados con FA, (ver Figura 31)

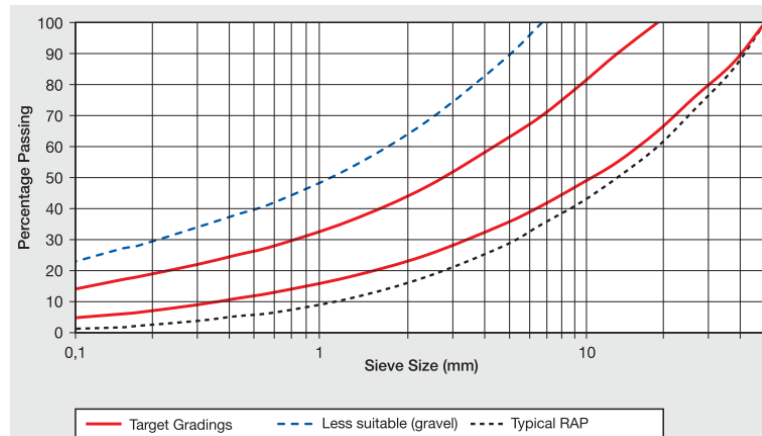


Figura 31. Gradación actual para las BSM. Fuente: (Wirtgen Group, 2012)

Como observamos en la Figura 31, la gran diferencia que presenta con la de Akeroyd y Hicks es que el contenido de finos para la zona B se reduce a un 20% al igual que para la zona A, la cual se establece un porcentaje del 12%.

Chao y Peng (Chao-hui & Peng, 2011), analizaron tres tipos de BSM-M, con las gradaciones que se muestran en la Figura 32 - gradación discontinua SMA-2, gradación gruesa, con adición de finos FAC-2, y una gradación control AC-2, comparados con materiales con las gradaciones más gruesas, intermedia y fina establecidas por Wirtgen.

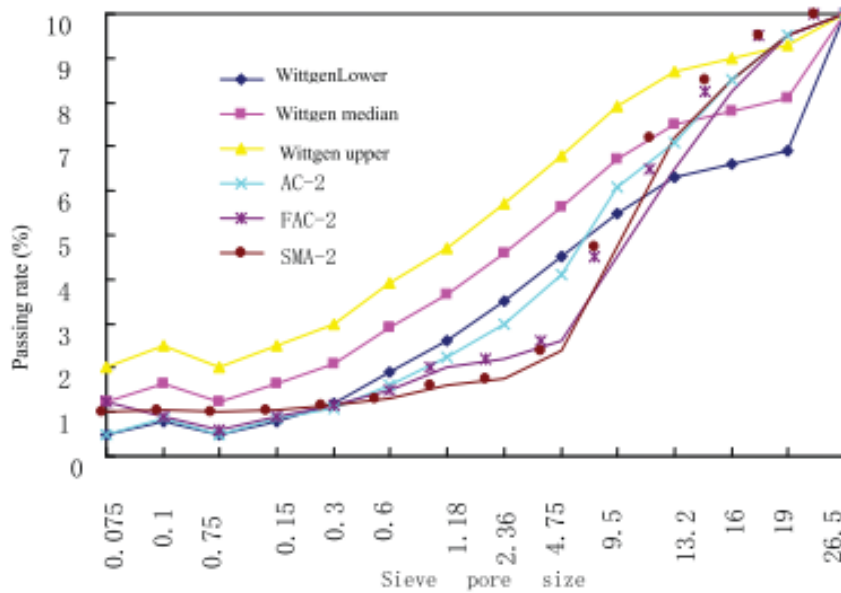


Figura 32. Gradaciones Wirtgen (alto, medio, bajo), AC-2, FAC-2 y SMA-2, de materiales para BSM. Fuente: (Chao & Peng, 2011)

Dentro del estudio se encontró que la fluctuación del material que pasa el tamiz 1.18mm deberá controlarse estrictamente debido a que estas afectan la resistencia mecánica de las BSM-M. También se encontró que las variaciones en el material que pasa el tamiz de 0,075mm no generan grandes cambios en la resistencia mecánica de las mezclas a diferencia del material que pasa el tamiz 1,18mm.

De acuerdo a Chao y Peng (Chao-hui & Peng, 2011) las propiedades mecánicas se ven gravemente afectadas, pero también se resalta que para bajos volúmenes de tránsito la ganancia de resistencia es aceptable si se compara con la estabilidad y resistencia inicial del material sin tratamiento, llegando a considerarse apto. Estos mismos investigadores, sugieren entre un 5 y un 12% de material que pase tamiz de 0,075mm para que resulte adecuado su tratamiento con FA mejor comportamiento, especialmente en la condición húmeda de las briquetas.



En la actualidad, se tienen manuales que orientan el uso de FA a una amplia gama de materiales, entre los que cabe citar el manual TG2 de 2009 de la Asphalt Academic de Sudáfrica (D. Collings et al., 2009), el manual de diseño y estabilización de New Zelandia (Alabaster, Patrick, Arampamoorthy, & Gonzalez, 2013), la guía australiana de estabilización de materiales de Austroads (Andrews, 2009), y el departamento de vías y caminos de Queensland (QDTMR), (Jameson, 2018), a continuación en la Figura 33, observamos algunas variaciones de algunos parámetros granulométricos para las BSM.

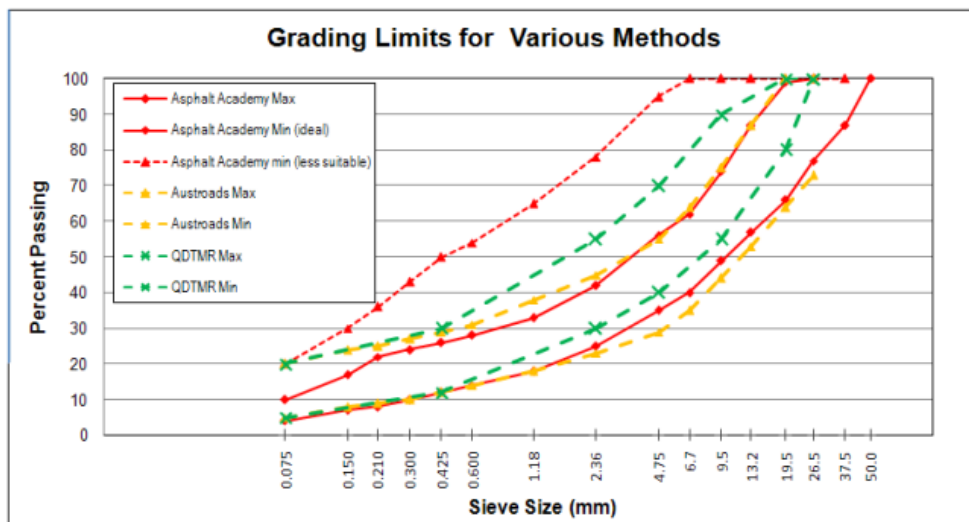


Figura 33. Límites de gradaciones de agregados para la estabilización FA. Fuente: (Leek & Jameson, 2011)

Diversos autores consideran que un BSM-M, es el cual no cumple con la especificación sobre calidad referente a su país, en Colombia las especificaciones están regidas por el instituto nacional de vías INVIAS, con el fin de comparar los resultados de la caracterización de los materiales de este trabajo, se tomaran las especificaciones referentes a un material de sub-base granular (SBG), el cual es comúnmente utilizado en vías de bajo tráfico vehicular, los requisitos relevantes de la SBG se presentan a continuación en la Figura 34 y la Tabla 3.

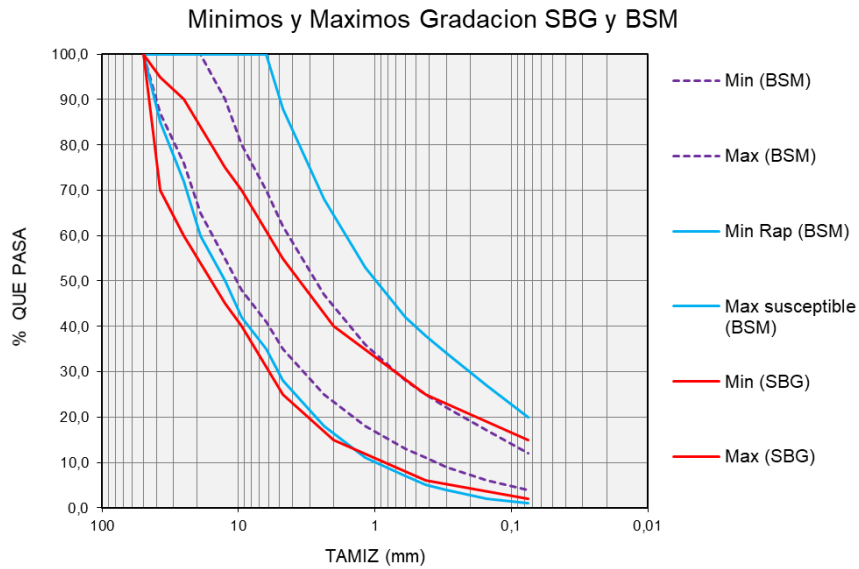


Figura 34. Gradación SBG y FAM. Fuente: Elaboración del autor.

Tabla 3 Algunos requisitos de los agregados para SBG de las normas de ensayo INVIAS.

Característica	Valor
Desgaste por abrasión en equipo micro-deval (máximo %)	30
Limite líquido (máximo %)	25
Índice de plasticidad (máximo %)	6
Equivalente de arena (mínimo %)	25
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznable (máximo %)	2
Relación % que pasa tamiz 0,075mm y tamiz 0,425mm (máximo)	0,66

Fuente: Elaboración del autor.

Jenkins, (K. Jenkins, 2000) establece algunos parámetros a tener en cuenta para la estabilización de agregados con FA, como un IP máximo de 10, aun cuando el material puede ser tratado con FA hasta un IP de 15, siempre y cuando se utilice algún aditivo modificador de las plasticidad. (Technikon, 2001).

Parameter	Limits
Particle size	53 mm (max)
Grading modulus	1.8 (min)
Plasticity Index	10* (max)
Fine fraction (<0.075 mm)	5% (min) 15% (max)
Natural soaked CBR at 93% Mod AASHTO	20 (min)

Figura 35. Recomendaciones de algunas características de los agregados, para ser estabilizados con FA. Fuente: (Technikon, 2001)

Las metodologías actuales de los BSM referidas por la Asphalt Academy, Austroads, (QDTMR), recomiendan un IP máximo de 10, debido a que la presencia de arcilla disminuye la adherencia con el asfalto y por lo tanto la resistencia de las BSM en condiciones húmedas (D. Collings et al., 2009; Leek & Jameson, 2011).

## 2.10 Impacto del uso de los rellenos activos en las propiedades de las BSM-M.

Lee analizó la inclusión de aditivos activos como la cal, en los BSM. (D. Y. Lee, 1980a), buscando estabilizar loess plásticos del estado de Iowa, de tal forma de poder disponer de ellos en una estructura de pavimento.

En la Figura 36, se muestran los resultados de estabilidad después de inmersión en agua de un material arenoso con un alto contenido de arcillas (B-3), tratado solo con 4% FA o con esta misma concentración de FA y 2% de cal o con 2% de cemento. Se observa que el material tratado con FA y cal presenta una mejora sustancial en su estabilidad frente a los otros dos. A partir de esta investigación Ruckel y otros (Ruckel et al., 1983), indicaron en su clasificación de suelos tratables para FA, la necesidad de adicionar cal para mejorar las propiedades de las BSM especialmente en materiales que presenten un alto contenido de arcillas. Lee (D. Y. Lee, 1980a) sugiere un límite máximo de IP de 12 antes de ser tratado con cal.

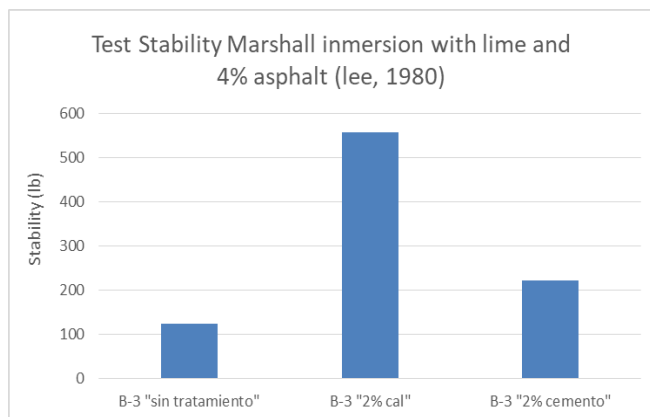


Figura 36. Ensayo estabilidad Marshall inmersión, material B-3 con 4% de FA, sin llenante activo, tratado con 2% de cal hidratada y 2% de cemento. Fuente: adaptación de (D. Y. Lee, 1980a)

En ese mismo año investigadores como Acott, Myburgh, Little y otros (Acott & Myburgh, 1983; Little, Button, & Epps, 1983), verificaron la efectividad del uso de cal y cemento en los BSM, principalmente en el valor de resistencia en condiciones húmedas, e indicaron que los BSM con un IP mayor a 8 presentan un buen comportamiento mecánico al ser tratados con un agente activo.

Akeroyd y Hicks (Akeroyd & Hicks, 1988), establecieron la primera recomendación en el uso de cal alrededor del 1% en mezclas BSM, para materiales que presenten una cantidad de finos bastante baja y que se sospeche que el material presenta un alto IP ( ver Figura 37). Finalmente Lancaster y Muthen (Lancaster et al., 1994; Muthen, 1999) respaldaron la afirmación del profesor Lee indicando un límite máximo del IP de 12 antes de que sea necesaria la modificación con cal.

AUTHORITY	LOCATION	TRAFFIC	DEPTH	BITUMEN	LIME	GRANITE DUST
East Sussex C.C.	Bishops Lane Robertsbridge	Rural	125mm	3.5%	—	—
			150mm	4.0%	—	—
Gravesham B.C. Kent	Valley Drive Gravesend	Urban	200mm	3.5%	—	—
East Sussex C.C.	Freezeland Rd/Bexhill	Rural	200mm	4.0%	—	—
	Dorsel Road/Bexhill	Urban	200mm	4.0%	—	—
	Everley Rd/Bexhill	Urban	200mm	4.0%	—	—
	Pebsham Lane/Bexhill	Urban	200mm	4.0%	—	—
Grampian R.C.	A941 Elgin	Rural	200mm	2.0%	—	20%
Shropshire C.C.	Moss Lane/Whixall	Rural	200mm	3.0%	—	20%
Rochester upon Medway C.C., Kent	Knight Road/Strood Priory Road/Strood	2160 cv/d 2180 cv/d	300mm	4.0%	1%	—
			300mm	4.0%	1%	—
Dartford B.C., Kent (Energy Efficiency Office Project)	Lunedale Road/Dartford	130 cv/d	150mm	3.5%	1%	—
Swale B.C. Kent	Roman Road/Faversham	Urban	150mm	4.2%	1%	—
	Park Road/Sittingbourne	Urban	140mm	4.1%	1%	—
Dartford B.C. Kent	Park Road/Dartford	1000 cv/d	300mm	4.0%	1%	—

Figura 37. Tramos reciclados entre 1987 y 1988, tratados con FA y cales, en Australia. Fuente: (Akeroyd & Hicks, 1988)

Varios investigadores (Franco & Wood, 1983; Maccarrone, Holleran, & Ky, 1995) analizaron el cambio de rigidez por medio del módulo resiliente en condiciones secas y húmedas y la susceptibilidad a la humedad de las BSM (ver Figura 38). Se realizó una prueba con diferentes rellenos activos como: Nil (roca triturada fina 6%), CWFD (Polvo de concreto), Lime (cal hidratada), y cemento, todos curados a 60°C en horno, los resultados arrojados demostraron que los materiales CWFD y la cal hidratada aumentaron la velocidad de curado.

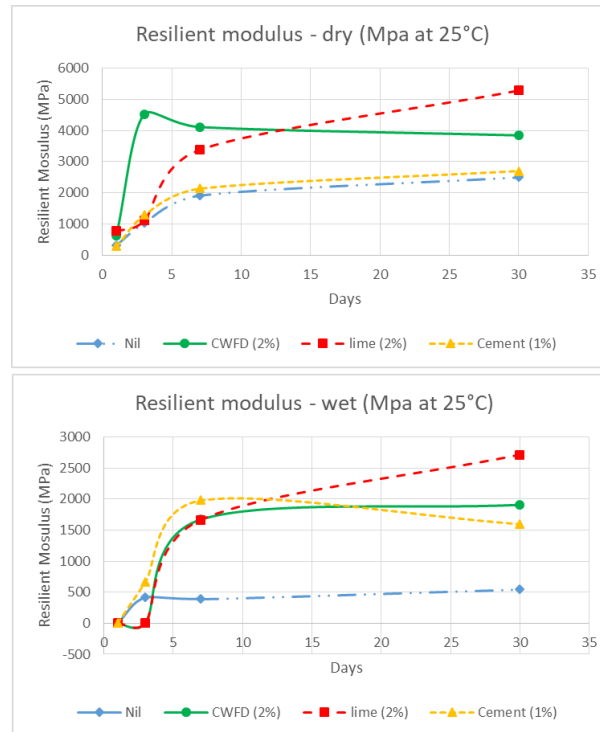


Figura 38. Efecto de llenantes activos con respecto al curado de las BSM. Fuente: adaptado de (Maccarrone et al., 1995).

Los BSM tratados con cal aumentan su módulo a medida que transcurren los días de curado. Se observa que la cal hidratada presenta un mejor comportamiento que el cemento, a edades tempranas de curado. Por lo anterior, Maccarrone y otros (Maccarrone et al., 1995), recomiendan para vías de alto tráfico la adición de un aditivo, ya sea el polvo de concreto o la cal hidratada con el fin de obtener las mejores valores de resistencia a edades tempranas. La adición de estos aditivos ayudaran a disminuir el IP y mejorara el curado de las muestras a edades tempranas.

Collings (B. D. Collings, 1997), también indica la eficiencia del uso de la cal para mejorar la adhesión entre el material y el asfalto. Este aspecto también lo resalta Muthen, quien recomienda la adición entre 1 o 2 % de cal con el fin de ayudar a mejorar la adherencia del asfalto al agregado (Muthen, 1999).

En investigaciones de Hodgkinson y Visser (Hodgkinson & Visser, 2004), analizaron la eficiencia de varios agentes estabilizantes al tratarlos conjuntamente con FA, estos agentes fueron: la cal hidratada (CEM IIAL), cemento (CEM II I), Cenizas

volcánicas (CEM II AV), escoria de alto horno (GBFS) y polvo de roca dolomita (ROCK FLOUR), estas muestras fueron comparadas con el tratamiento con solo FA (CEM II BV,) y una muestra natural (NO FILLER), en análisis se realizó por medio de ensayos mecánicos de tracción indirecta ITS, en condiciones húmedas y seca, al igual se analizó la resistencia conservada. (ver Figura 39)

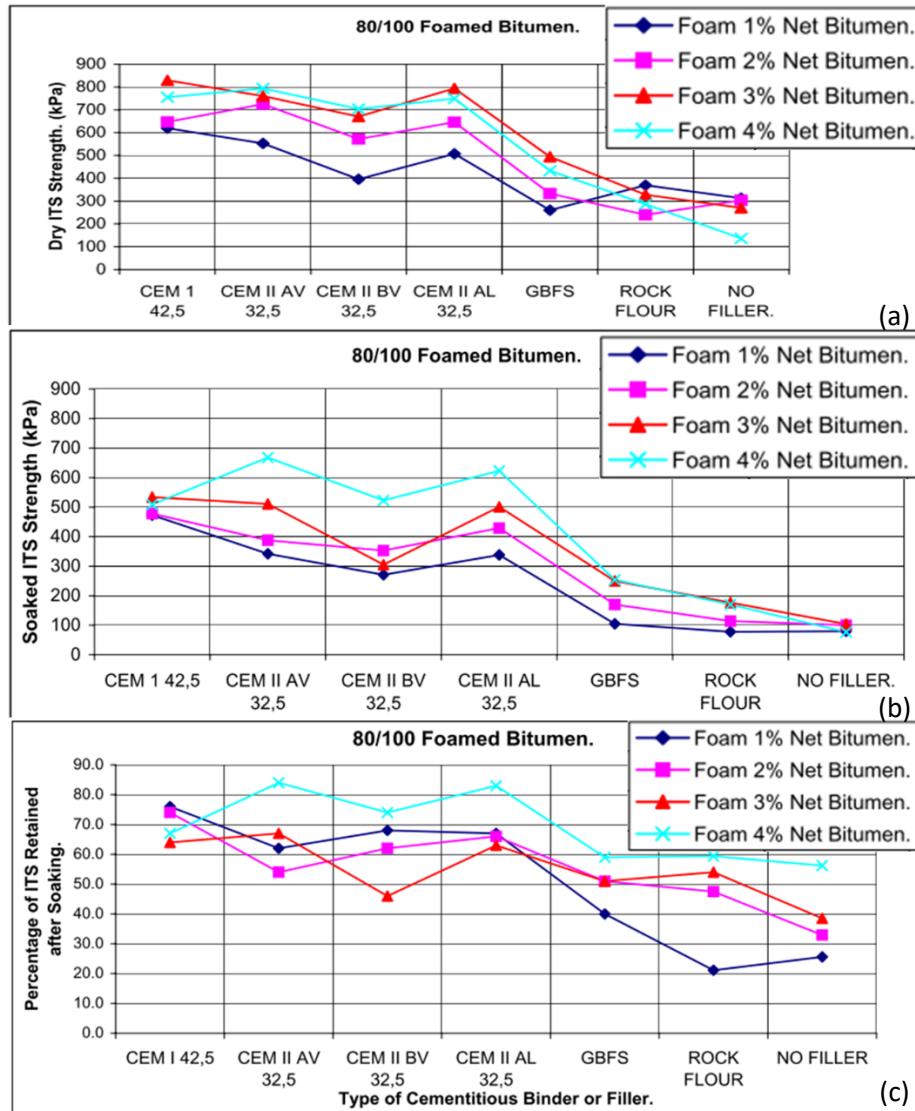


Figura 39. Ensayos de resistencia a la tracción indirecta seca ITS dry (a), húmeda ITS soaked (b) y (c) resistencia conservada (TSR), para mezclas con diferentes llenantes. Fuente: (Hodgkinson & Visser, 2004)

Hodgkinson y Visser, (Hodgkinson & Visser, 2004) indicaron la eficiencia en mayor medida de los agentes estabilizantes de la cal y el cemento, adicionalmente

demonstraron, que la adición de FA y cal mejoran significativamente los BSM-M, generando un incremento del doble en la resistencia húmeda (ITSwet), si se compara con el material sin ningún tratamiento. Long y Theyse (Long & Theyse “, 2004), corroboraron los resultados de Hodgkinson y Visser.

Halles y otros (Halles, Thenoux, & González, 2013) corroboraron lo realizado por Long y Theyse, en los BSM tratados con FA y cal, analizando la rigidez de las mezclas en pruebas triaxiales con carga repetida. La ganancia del módulo fue del doble en las mezclas tratadas con Cal frente a las del material tratado solo con FA. (Figura 40).

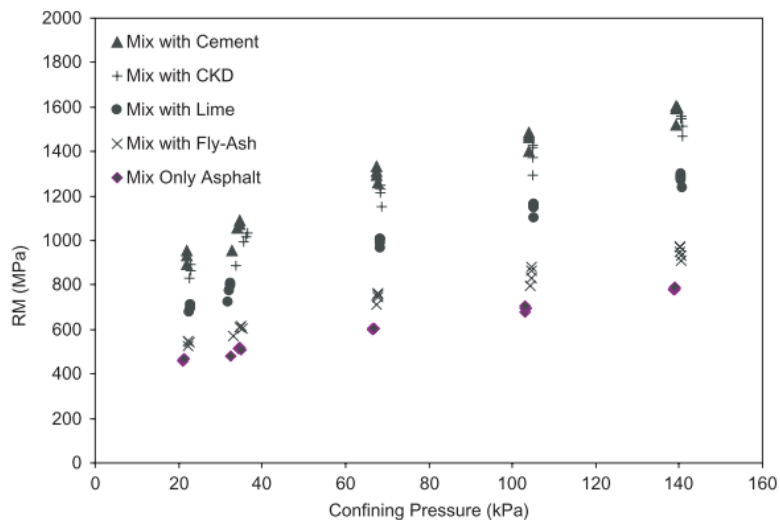


Figura 40. Resultados de módulo resiliente de mezclas recicladas estabilizadas con asfalto espumado, tratadas con cemento (CKD- polvo de horno de cemento), cal hidratada y cenizas volcánicas. Fuente: (Halles et al., 2013)

Varios autores (Asi, 2001; Asi, Abdul, Amoudi, Khan, & Siddiqi, 2002; Hodgkinson & Visser, 2004; K. Jenkins, 2000), indican que la mejora de las propiedades de las BSM mediante la adición de pequeñas dosis de relleno activo, no solo afecta la plasticidad del material, sino que también influye en dar una mejor tasa de coalescencia del asfalto después de la compactación, la durabilidad del BSM, mejora la viscosidad del aglutinante, la adherencia del asfalto, ayuda al endurecimiento del asfalto a edades tempranas, a la dispersión de la FA, y mejora la rigidez inicial del material. Hallazgos similares fueron reportados por (L.-J. Ebels



& Jenkins, 2007; Hodgkinson & Visser, 2004; Khweir, 2007; Ramanujam & Jones, 2007; Smith, 2006).

Mathaniya (Mathaniya Twagira, 2010), indica que los iones de calcio libre ( $\text{Ca}^{+}$ ) además del hidróxido ionizado ( $\text{OH}^{-}$ ), presentan beneficios importantes en las mezclas BSM, donde la reacción generada por el hidróxido alcalino liberado ( $\text{OH}^{-}$ ) eleva el pH de la masilla de asfalto, lo que genera un incremento en las cargas positivas, impulsando la adherencia con los agregados. (Ver Figura 41)



Figura 41. Naturaleza hidrofóbica de la superficie debido a la adición de un agente activo (cal o cemento). Fuente: Adaptado de (Mathaniya Twagira, 2010)

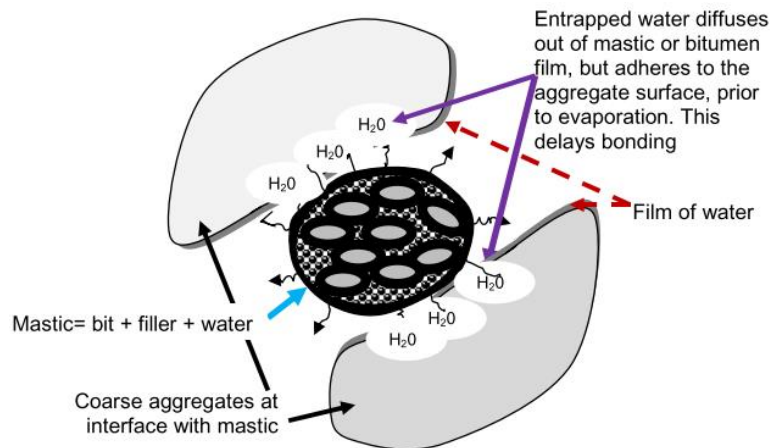


Figura 42. Interacción entre el agregado, la FA, el agua y el relleno activo. Fuente: (Mathaniya Twagira, 2010)

Mathaniya (Mathaniya Twagira, 2010) investigó, a nivel microscópico, el comportamiento del llenante activo en la masilla de asfalto espumado (ver Figura 42). El agua atrapada en esta masilla, hidrata el llenante activo libre generando algunos beneficios, entre los que se resaltan:

- 1) Limitación de la difusión de agua a través de la masilla.
- 2) Se crea una pasta de cemento - ( $C_3S_2H_3$ ) que rigidiza la masilla de asfalto, mejorando la resistencia al daño por humedad después de la hidratación, promoviendo así el aumento de la resistencia temprana.
- 3) Durante la hidratación del llenante activo en la masilla se genera calor. Esta acción termodinámica y electrocinética influye en la absorción de la fracción polar del asfalto.

Ramanujan y Jones, (Ramanujam & Jones, 2007) indicaron que para tratar los materiales con un IP “apreciable” en materiales BSM-M, es necesario realizar un pretratamiento preferiblemente con cal, así ayudara a flocular y aglomerar los finos de arcilla. El tiempo entre la adición de la cal y la dispersión de la FA, debe limitarse a 2 horas para asegurar una compactación adecuada y no afectar las propiedades.

El uso del óxido de calcio ( $CaO$ ) en los BSM es bajo. Hay referencia de su aplicación en materiales reciclados de base y RAP en Australia, en razón a que es más económica, genera menos polvo durante la instalación, y mejora la resistencia frente a la acción del agua (Ramanujam & Jones, 2007).

Jitsangiam y otros (Jitsangiam, Huan, Siripun, Leek, & Nikraz, 2012) analizaron el efecto del uso de  $Ca(OH)_2$  y de  $CaO$  en arenas no plásticas, donde se encontraron ITS en promedio menores a 100 kPa, valores de módulo resiliente (ITMR) entre 100 y 400 MPa y de compresión inconfiada (USC) menores a 150 kPa. Finalmente, no se encontró diferencia significativa entre el  $CaO$  y el  $Ca(OH)_2$ , aun cuando se observó que a medida que se aumenta el contenido de llenante activo se gana mayor resistencia con el  $CaO$ , pero este cambio no es significativo. Cabe resaltar que en la BSM con cemento se presenta una ganancia en resistencia significativa si se compara con los otros dos agentes estabilizantes. (ver Figura 43)

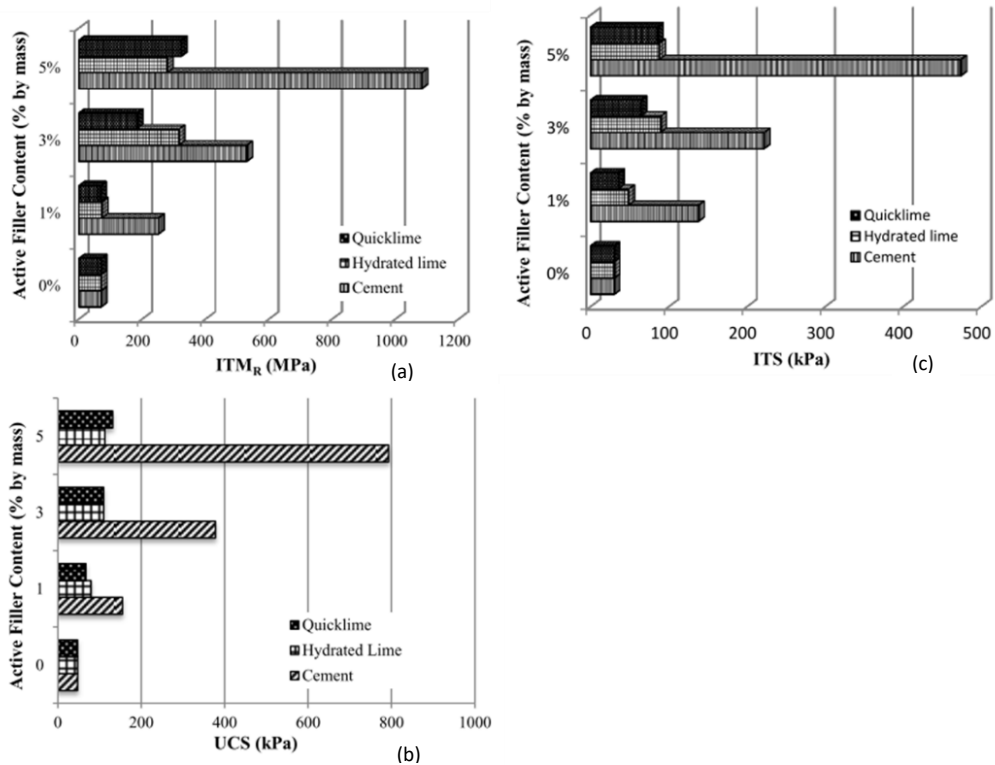


Figura 43. a) Ensayos de ITMr, b) ITS, c). UCS en muestras estabilizadas con FA y tratadas conjuntamente con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y  $\text{CaO}$  y cemento. Fuente: (Jitsangiam et al., 2012)

Jameson (Jameson, 2018) realizó un análisis comparativo sobre la eficiencia del  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y del  $\text{CaO}$  en los BSM, utilizando roca triturada de alta calidad. El material con un contenido de FA del 3,5% se mezcló con 2% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y se comparó su comportamiento con esta misma concentración de FA y 1,6% de  $\text{CaO}$ . Los módulos en condición seca y húmeda, medidos en ensayos de ITS son los que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultado de los Módulos comparando rellenos activos de  $\text{Ca(OH)}_2$  y  $\text{CaO}$ .

Mix	Lime activity as $\text{Ca(OH)}_2$	Sample	Moisture content (%)	Dry density <sup>(1)</sup> ( $\text{t/m}^3$ )	Initial modulus (MPa)	Cured dry modulus (MPa)	Cured wet modulus (MPa)
3.5% bitumen and 2% hydrated lime	93	H1	4.7	2.117	549	4138	2529
		H2	4.7	2.114	518	4334	2410
		H3	4.7	2.111	571	3780	2241
		<b>Mean</b>	<b>4.7</b>	<b>2.11</b>	<b>546</b>	<b>4084</b>	<b>2393</b>
3.5% bitumen and 1.6% quicklime	119	Q1	4.8	2.058	275	1916	1367
		Q2	4.8	2.056	271	1980	1511
		Q3	4.8	2.059	257	1948	1439
		<b>Mean</b>	<b>4.8</b>	<b>2.06</b>	<b>268</b>	<b>1948</b>	<b>1439</b>

Fuente: (Jameson, 2018)

Aun cuando los módulos del material seco tratado con la  $\text{Ca(OH)}_2$  dan mayores que los obtenidos con el  $\text{CaO}$ , en condición húmeda, el material tratado con  $\text{CaO}$  presenta una menor susceptibilidad frente a la acción del agua, reflejándose en una TSR del 75%, mientras que con el  $\text{Ca(OH)}_2$  la TSR es del 60%.

Jameson (Jameson, 2018), también compara los valores de los módulos en condición seca con la densidad seca del material (Figura 44). En este caso, las muestras con  $\text{CaO}$  presentan en promedio una densidad seca 3% más baja que la de las preparadas con  $\text{Ca(OH)}_2$ , con una reducción del módulo en seco de alrededor de un 30 a 40%. Si no se tiene un buen manejo de la hidratación del  $\text{CaO}$  antes de la mezcla con FA y de la compactación, se puede producir carbonatación y expansión localizada.

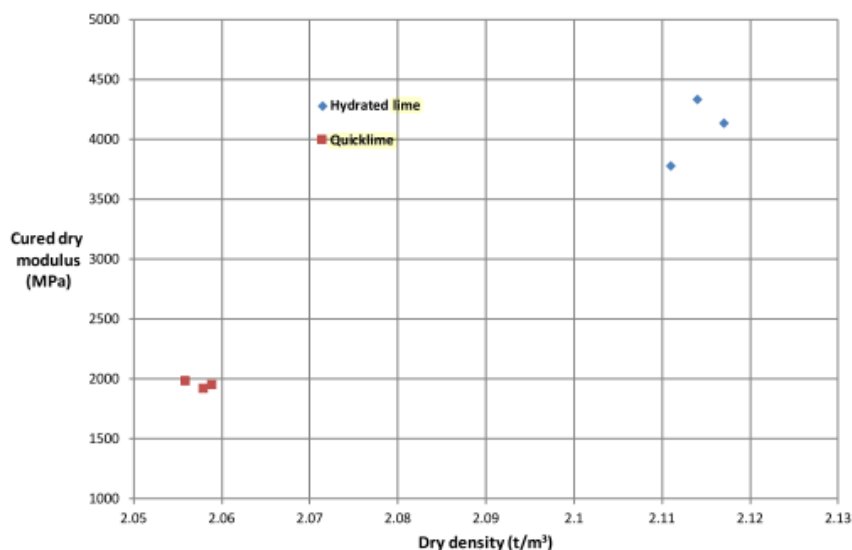


Figura 44 Comparación del módulo seco de los materiales modificados con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y  $\text{CaO}$  y estabilizados con FA. Fuente: (Jameson, 2018)

Varias guías difieren sobre el contenido máximo de llenante activo en los BSM. La TG2 establece un valor máximo de 1% de relleno activo, mientras que Austroads, de 1,5% con el fin de evitar fisuración del material. (Austroads, 2013; D. Collings et al., 2009; Wirtgen Group, 2012). Actualmente en los BSM se prefieren el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y el cemento, en lugar del  $\text{CaO}$ , debido a que al ser más finos presentan una dispersión más íntima con los agregados (Mathaniya Twagira, 2010)

En general el empleo de los FA va acompañado con llenantes activos (Adam O'Callaghan, 2014; Al-otaibi, 2006; B. D. Collings, 1997; D. Collings et al., 2009; Jameson, 2018; K. Jenkins, 2000; Jones, Fu, & Havey, 2008; Karim, 2015; Lawrence W. Cole, Shevlin, Tutokey, & Beeghly, 2007; Leek & Jameson, 2011; Ramanujam & Jones, 2007). Países como Suráfrica, Australia, nueva Zelanda, son pioneros en la aplicación de esta tecnología en conjunto con llenantes activos usados con el propósito de reducir problemas de consumo energético, emisión de gases y explotación de materiales (K. Jenkins, 2000; Nataatmadja, 2001; Vorobieff & Preston, 2004; Wilmot, 2006).

Es evidente por la naturaleza catalítica del cemento que una alta adición de cemento podría no mejorar aún más estas reacciones. En su lugar, dará como resultado la cementación de toda la matriz de la mezcla, que a su vez influirá en la formación de

grietas. Del mismo modo, una alta adición de aglutinante (espuma o emulsión) con un déficit de relleno en la espuma BSM causará que el betún se forme una bola y se producirá una menor rigidez debido a la falta de relleno atrapado y cemento. El betún sin refuerzo se volverá más susceptible a la temperatura.

## **2.11 Consideraciones de diseño.**

Los principales criterios de diseño han sido establecidos con base en experiencias realizadas principalmente en Suráfrica. Un ejemplo de estas es la guía de estabilización que contiene el informe CR-98/07 de 1998, - “procedimiento de diseño de mezclas” (Muthen, 1999), o la TG2 de la Asphalt Academy del año 2009 – “Guía técnica: materiales estabilizados con asfalto”.

En esta última guía se señala que el tratamiento con FA de materiales no estándar o marginales, es particularmente desafiante debido a que ellos se ven gravemente afectados en condiciones húmedas. Uno de los pasos principales para poder utilizar estos materiales con FA, es modificarlos previamente con llenantes activos.

### **2.11.1 Suelos arcillosos.**

Como se indicó en el numeral 2.9, se recomienda tratar con Cal los materiales que presentan un IP superior a 10, (Ramanujam & Jones, 2007).

Las arcillas son minerales que contienen en su estructura importantes cantidades de sílice o de alúmina y otros elementos de sustitución como el hierro y el magnesio, (ver Figura 45). Las estructuras se combinan entre ellas, para formar estructuras laminares.

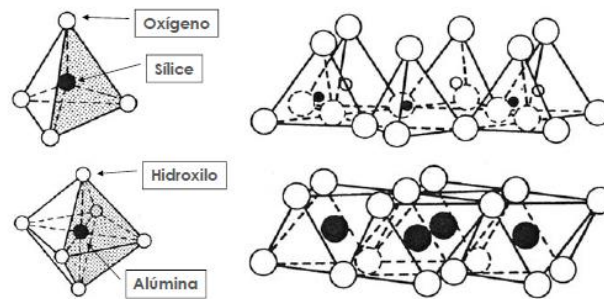


Figura 45 Esquema básico de las agrupaciones moleculares de las arcillas. Fuente: (Bauzá, 2015)

Estas estructuras laminares en teoría pueden extenderse, y son las más representativas de los suelos arcillosos, por la combinación de cationes y aniones (ver Figura 46). Las estructuras que forman arcillas no son eléctricamente neutras y presentan un desequilibrio de cargas debido a sus unidades elementales (Bell, 1996). Debido a la sustitución de iones de sílice o aluminio por otro más afín de menor carga, también da lugar a una diferencia de cargas que se refleja en una carga negativa en la superficie de la lámina (Bauzá, 2015).

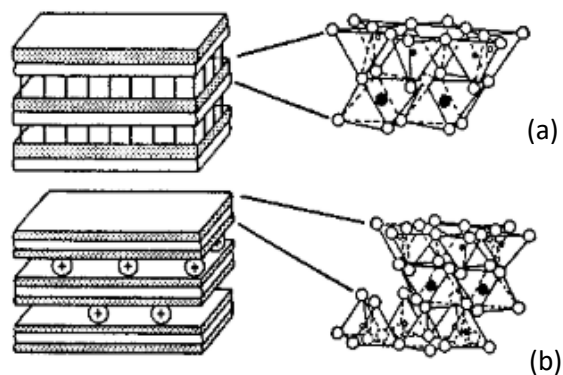


Figura 46 Láminas compuestas por distintos tipos de arcilla. a) Combinación de enlaces de hidrogeno (caolinita), b) combinación de enlaces catiónicos, típica de las esmécticas. Fuente: (Bauzá, 2015)

Estos fenómenos de desequilibrio eléctrico en las unidades elementales y el intercambio iónico, se equilibra o neutraliza mediante la atracción de cationes externos que se sitúan en la superficie de los minerales arcillosos o entre las láminas, si estos minerales se encuentran en un medio con presencia de agua libre, esta tiende por osmosis a aproximarse a la superficie de la arcilla (Castelló, 2015), Finalmente se consigue que los cationes se dispersen en este entorno, aumentando

progresivamente en dirección perpendicular hacia su superficie, lo que crea una especie de doble capa, siendo la carga negativa la de la superficie y la positiva proporcionada por la agrupación de los cationes cerca de la superficie, como se observa en la Figura 47.

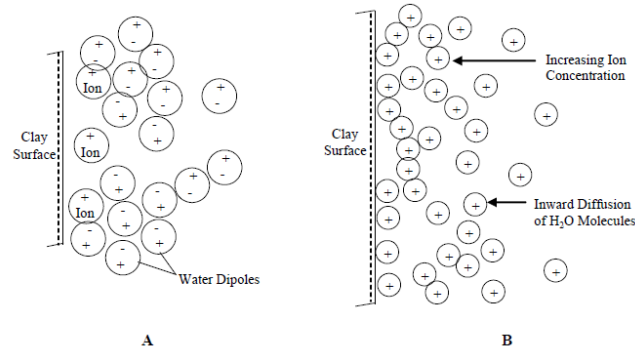
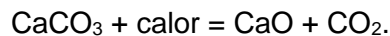


Figura 47. Formación de una capa de agua difusa alrededor de partículas de arcilla. Fuente: (Mallela, Quintus, & Smith, 2004).

### 2.11.2 Modificación de los suelos con Ca(OH)<sub>2</sub> y CaO.

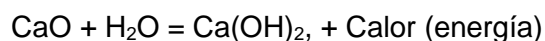
Las cales son compuestos de óxido de calcio (CaO) o de hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>), o de óxido de magnesio (MgO) o hidróxido de magnesio (Mg(OH)<sub>2</sub>), que se obtienen a partir de la calcinación de minerales calizos (CaCO<sub>3</sub>) o dolomíticos (MgCO<sub>3</sub>), y también suelen contener óxidos de silicio (SiO<sub>2</sub>), hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y aluminio(AlO<sub>2</sub>).

En el proceso de calcinación se generan dos componentes; óxido de calcio (CaO) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) o óxido de calcio y magnesio (CaO MgO), y a estos tipos de cales se les conoce como activas o vivas.



A partir de estos óxidos se desprenden otros subproductos durante un proceso de hidratación, si se le añade agua suficiente se genera Ca(OH)<sub>2</sub> o hidróxido de magnesio, Mg(OH)<sub>2</sub>. El producto de esta reacción se le denomina cal apagada.





Una de las principales diferencias entre las cales activas y las apagadas, es que las activas, por su composición química, presentan mayor concentración del principio activo por unidad de peso, si se compara con las apagadas, debido a que estas contienen en su estructura una molécula extra de agua que no aporta ventajas a la activación (Bauzá, 2015).

Esta diferencia se puede cuantificar ya que el peso molecular aproximado de CaO es de 56, siendo todo óxido de calcio y la Ca(OH)<sub>2</sub>, tiene un peso molecular de 74. Lo anterior nos indica que es indispensable aplicar 32% más de Ca(OH)<sub>2</sub> con el fin de mantener la misma proporción que la CaO. (Bell, 1996)

En la Tabla 5 se indican algunas ventajas y desventajas del uso de cales activas y cales apagadas:

Tabla 5. Comparación de cal viva o cal apagada.

Tipo	Ventajas	Desventajas
CaO	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mayor proporción de CaO</li> <li>Aplicación más rápida</li> <li>Uso en Suelos muy húmedos.</li> <li>Ahorra costos de transporte</li> <li>Suele ser más económica.</li> <li>Mayor densidad aparente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicación peligrosa (de forma manual)</li> <li>Requiere una cantidad mayor de agua.</li> <li>Material ligeramente inestable.</li> </ul>
Ca(OH) <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presenta menores riesgos en la manipulación.</li> <li>Aplicación más rápida.</li> <li>Contacto más íntimo con las partículas de arcilla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Requiere mayor proporción si se compara con la cal activa</li> <li>Genera mayor cantidad de polvo debido a su finura.</li> <li>Menor densidad aparente.</li> </ul>

Fuente: Elaboración del autor.

La National Lime Association (National Lime Association, 2001), resalta los efectos positivos de la utilización de Ca(OH)<sub>2</sub> o CaO, en la estabilización de suelos especialmente los suelos arcillosos, entre los que se encuentran la reducción del IP, la retención de la humedad, y aumento de la estabilidad de la estructura.

El CaO presenta un mayor efecto que el  $\text{Ca(OH)}_2$  ayudando a obtener mayores resistencias a corto y largo plazo (Bell, 1993). Posteriormente varios autores (Olinic & Olinic, 2016; Wilson, 2011), han comprobado que el CaO, presenta aproximadamente un 30% más de eficacia en la estabilización de suelos especialmente de suelos con un alto contenido de plasticidad.

Autores como Amadi y otros (Amadi & Okeiyi, 2017; Onyelowe & Okofofor, 2012) realizaron comparaciones entre el uso de  $\text{Ca(OH)}_2$  y CaO en la estabilización de suelos, donde el CaO produjo una reducción de la plasticidad de 1,4 veces menos de la producida por la  $\text{Ca(OH)}_2$ , y mayores resistencias. En general, para los autores el CaO demostró un mayor rendimiento respecto al  $\text{Ca(OH)}_2$

El uso industrial de la cal en la técnica de estabilización de suelos comenzó en los años 1950 en Estados Unidos, cuando ingenieros de las autopistas de Texas se dieron cuenta de la eficacia de la cal en la agricultura, y su viabilidad en la aplicación en las vías con materiales no estándar (Matalucci, 1960). Durante los años 50 Clare y otros (Clare & Cruchley, 1957) demostraron en su laboratorio el potencial del uso de  $\text{Ca(OH)}_2$  entre el 2% al 5%, con un incremento en la resistencia de forma significativa y una disminución de la plasticidad del suelo.

Mukhtar y Alcover (Al-Mukhtar, Lasledj, & Alcover, 2010) indicaron una línea de efectos principales en la interacción suelo y cal, las cuales se dividen en dos; la primera es una reacción a corto plazo la cual también se le denomina modificación, en donde interviene el intercambio catiónico, la floculación de las partículas de arcilla y la reducción de cantidad de agua absorbida por la arcilla, y la segunda es una reacción a largo plazo que produce la estabilización y solidificación a lo que se le denomina reacciones puzolánicas, esto quiere decir que se obtiene ganancia de resistencia en el tiempo.

De acuerdo Bauza (Bauzá, 2015), se pueden definir una serie de diferencias entre la modificación y la estabilización:

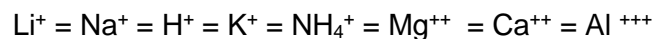
- La primera de ellas es su carácter temporal ya que las modificaciones de las texturas son casi inmediatas, mientras que la modificación de la resistencia suele conllevar un mayor tiempo

- La segunda diferencia corresponde a que la modificación es aplicable a casi todo tipo de suelos arcillosos, mientras que las mejoras por resistencia se producen de mayor a menor medida o no llegan a ocurrir, esto depende principalmente de la mineralogía de los suelos.
- La tercera está relacionada con la afinidad del suelo por la cal, es decir, los iones son adsorbidos por los minerales arcillosos lo que genera el proceso de modificación y no están disponibles para las reacciones puzolánicas hasta que esta afinidad esté satisfecha (Boardman, Rogers, & Glendinning, 2001).

Según Eades y otros (Eades & Grim, 1960) cuando la cal toma contacto con las arcillas los cationes de calcio tienden a reemplazar a aquellos otros que están absorbidos en la superficie de sus partículas, y dispersos en la capa doble. Este proceso se le denominó intercambio catiónico o valencia de los cationes (Diamond, 1963).

Autores como L. Ebels (L. Ebels, 2008), indican que este intercambio catiónico se presenta más rápidamente en las partículas de arcilla, lo que resulta en una reducción rápida del límite líquido y del índice de plasticidad.

Bauza (Bauzá, 2015), establece una línea de jerarquía de intercambio catiónico que ocurre en función de la valencia de los cationes donde “=” indica “es sustituido por”



De acuerdo a la anterior expresión, a mayor concentración de cationes, estos producirán una mayor sustitución de los inferiores (Beetham et al., 2013)

Mohd, Ouhadi y otros (Mohd Yunus et al., 2014; Ouhadi, Yong, Amiri, & Ouhadi, 2014), indican que al producirse este intercambio catiónico, se reduce la capa doble, se consigue que se aproximen las partículas y generando nuevas fuerzas de atracción entre ellas. Eades y otros (Eades & Grim, 1960) denominan a esta atracción de las partículas de arcilla como floculación o aglomeración.

Este fenómeno de floculación tiene una gran consecuencia en la estructura del suelo arcilloso, donde la estructura laminar de las arcillas con su doble capa, presentan

una alineación separada (Figura 48-a), al adicionarle los iones de calcio, la doble capa de agua se ve reducida (ver Figura 48-b), esta reducción se presenta de forma difusa, lo que da como resultado la repulsión de las cargas similares y se comienza a generar la reagrupación (ver Figura 48-c), al final se da el proceso de floculación donde las partículas presentaran una mejor agrupación, generando un leve rozamiento entre ellas (Figura 48-d), dando lugar a que se sustituya el comportamiento plástico por uno más fiable, cercano al comportamiento de suelos granulares. (Bauzá, 2015)

Este proceso de floculación es el principal responsable de la modificación de las propiedades de ingeniería de los suelos arcillosos cuando se tratan con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  o  $\text{CaO}$ . (Bell, 1996)

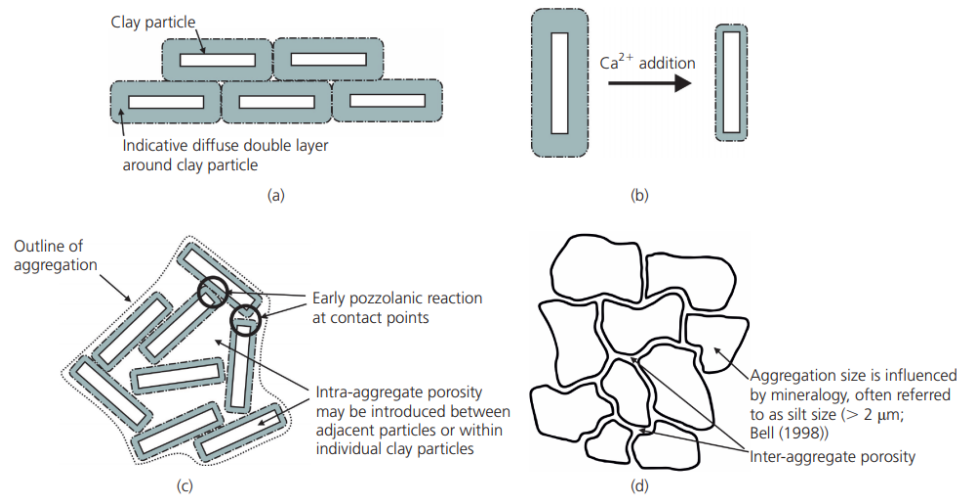


Figura 48 Proceso de intercambio catiónico y de floculación debidos a la cal. a). estructura laminar con capa doble de mayor espesor (arcilla típica), b). Por intercambio iónico se reduce la capa doble c) desorden de la estructura por repulsión eléctrica e inicio del proceso de floculación, d) organización final de las partículas de arcilla por floculación. Fuente: (Beetham et al., 2013)

El punto máximo donde se satisfacen los iones absorbidos por la cal y a partir del cual comienzan las relaciones puzolanicas, se ha denominado punto de fijación de cal y fue postulado por Hilt y Davidson (Hilt & Davidson, 1960). En este se establece la máxima modificación del límite plástico (ver Figura 49). Este se encuentra normalmente entre el 1 y 3 % de cal del peso seco del suelo (Bell, 1996; Castelló, 2015; Mohd Yunus et al., 2014).

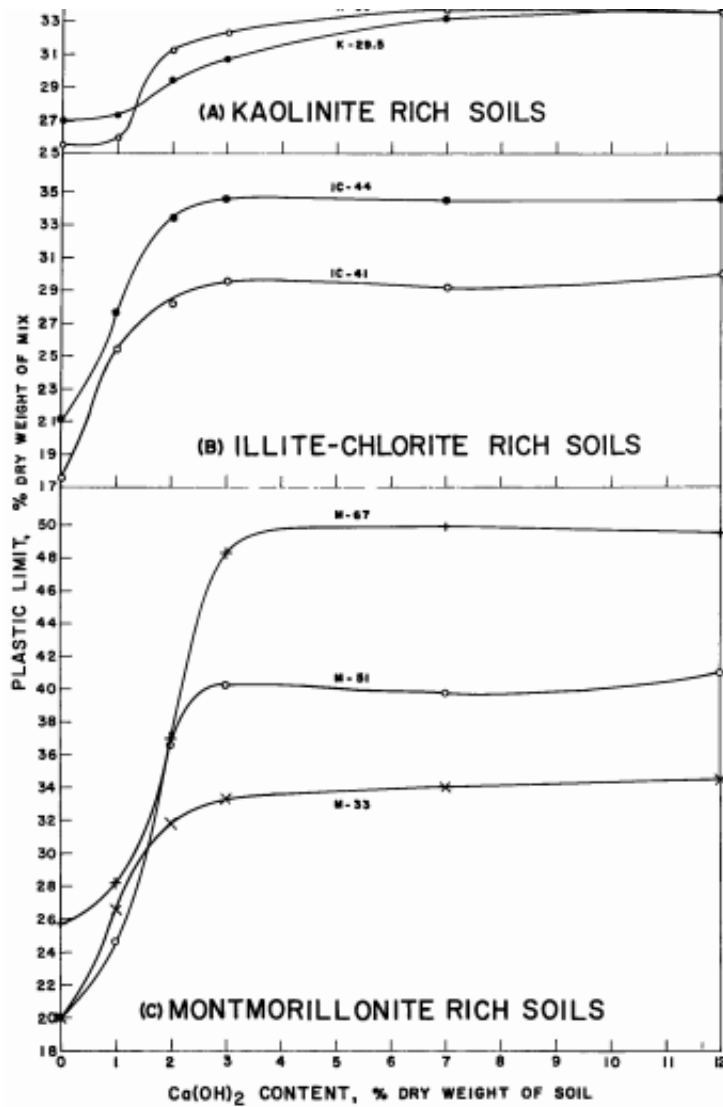


Figura 49. Afectación del límite plástico de los suelos con la adición de cal. Fuente: (Hilt & Davidson, 1960)

Hilt y Davidson (Hilt & Davidson, 1960) encontraron que el límite plástico presenta un máximo de modificación en función del contenido de arcilla, por lo anterior establecieron la expresión, dada por la ecuación ( 2.4 ) propuestas por Hilt y Davidson (Hilt & Davidson, 1960) .

$$\text{Optimo de cal para máximo limite plastico} = \frac{\% \text{ que pasa 2 micras}}{35} + 1,25 \quad (2.4)$$

Estudios posteriores de Rogers y otros (Rogers, Miht, Glendinning, & Roff, 1997) corroboraron este comportamiento. También se observó que la modificación de un suelo arcilloso se da en las primeras 6 horas, y posteriormente la modificación de los límites es despreciable (ver Figura 50), cabe resaltar que estas variables dependen de la mineralogía y el la calidad de la cal para reaccionar con el suelo. (Castelló, 2015).

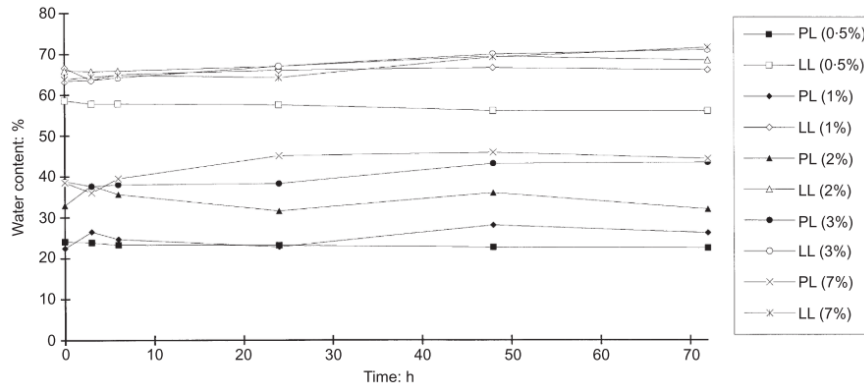


Figura 50. Variación de los límites de Atterberg en el tiempo, con respecto al tratamiento de cal. Fuente: (Rogers et al., 1997)

Eades, Grim y Castello (Castelló, 2015; Eades & Grim, 1960) indica que el intercambio catiónico es medible en presencia de altos valores de pH. Davidson (1965) propuso un pH mínimo de 12,4 (ver Figura 51) para que tuviera lugar una reacción puzolánica, con el fin de establecer el porcentaje mínimo para que se comience el proceso de estabilización de un suelo (Gallage, Cochrane, & Ramanujam, 2012), actualmente este test es recomendado por la National Lime Association para conocer el punto máximo de modificación o mínimo de estabilización.

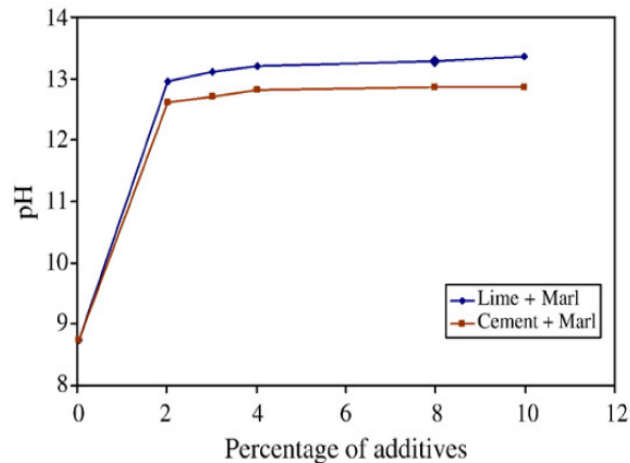


Figura 51 Influencia de la adición de cal en el pH. Fuente:(Mohd Yunus et al., 2014)

Con base a lo anterior manuales de los BSM, como Wirtgen, Austroads y TG2, recomiendan este ensayo para poder modificar los suelos antes de ser estabilizados con FA. Estudios actuales han indicado que estas reacciones tienen un mayor efecto en condiciones de temperaturas altas en el proceso de curado (Al-Mukhtar et al., 2010).

De acuerdo con la National Lime Association (National Lime Association, 2006) actualmente la tecnología ha ayudado a solventar inconvenientes relacionados con la seguridad en el uso de estos llenantes, involucrando vehículos especiales que ayudan al transporte y dispersión de forma adecuada y segura.

### 2.11.3 Parámetros de diseño de las BSM

Los comportamientos de las BSM se ven afectados por los parámetros de fabricación. A continuación se resaltan algunos de los parámetros más importantes para la elaboración del diseño de los BSM, establecidos por Jenkins (Jenkins, 2000), y posteriormente plasmados en los manuales TG2 y en la guía de estabilización de suelos de Austroads (Austroads, 2013; D. Collings et al., 2009).

### 2.11.4 Contenido de asfalto espumado (FA).

Diversos estudios indican que el contenido de FA, se puede evaluar a partir del contenido de finos y de material arenoso que tenga el suelo. En el manual TG2, los

valores de contenido de asfalto se indican típicamente entre 1,7 y 2,5%. (D. Collings et al., 2009), pero no hay pautas en cuanto a la determinación del contenido óptimo de asfalto. El método que establece está en función a un módulo de clasificación, pero no define el significado de este término, y este es mencionado por algunos autores, pero no está referenciado en el manual TG2. (D. Collings et al., 2009)

De acuerdo a Sunarjono (Sunarjono, 2008) mediante la ecuación XX se puede estimar un módulo de gradación, GM a partir del cual es posible establecer el contenido de asfalto óptimo (ver ecuación ( 2.5 )):

$$GM = \frac{(p2+p425+p075)}{100} \quad ( 2.5 )$$

Dónde: P2, P425 y P075 son los porcentajes retenidos en los tamices de 2,0 mm, 0,425 mm y 0,075mm respectivamente.

En la Tabla 6 se muestran los contenidos de asfalto en función del GM para diferentes materiales.

Tabla 6 Valores recomendados de concentración de FA a partir del valor del módulo de nivelación (GM) de Asphalt Academy.

Material type	100% Reclaimed asphalt pavement (RAP)	Granular materials or blends grading modulus > 2	Granular materials or blends grading modulus < 2
Recommended percentage of residual bitumen (%)	2.0	2.5	3.0

Fuente: (D. Collings et al., 2009)

La compañía Wirtgen en el año 2012, (Wirtgen Group, 2012) establece un valor del óptimo de FA en función del valor GM de la metodología TG2 y de Ramanujam and Jones (ver Tabla 7) (Ramanujam & Jones, 2007).



Tabla 7. Óptimo de FA establecido por Wirtgen.

Guidelines for estimating optimum foamed bitumen addition			
Fraction passing 0.075 mm sieve (%)	Foamed bitumen addition (% by mass of dry aggregate)		Typical type of material
	Fraction passing 4.75 mm sieve		
	< 50%	> 50%	
< 4	2.0	2.0	Recycled asphalt (RA/RAP)
4 – 7	2.2	2.4	RA/Graded crushed stone/ Natural gravel/blends
7 – 10	2.4	2.8	
> 10	2.6	3.2	Gravels/sands

Fuente: (Wirtgen Group, 2012)

Los finos juegan un papel importante en el contenido de FA. La espuma de asfalto encapsula los finos en la mezcla y crea una masilla que genera puentes de unión con el agregado grueso, (Karim, 2015). Sin embargo esta clasificación no se puede tomar a la ligera debido a que este valor también depende del porcentaje de absorción de los agregados. (Sunarjono, 2008).

### 2.11.5 Contenido de humedad.

El contenido de humedad de la mezcla de asfalto espumado es la cantidad de agua que se agregará previamente a los agregados antes de mezclarlos con el FA. Es un criterio de diseño importante de los BSM debido a las siguientes razones (K. Jenkins, 2000):

- Actúa como un medio para la dispersión del FA, al separar las partículas del agregado fino, como se representa de manera esquemática en la Figura 52.
- Ayuda a mejorar la compactación, logrando una reorganización de las partículas y la reducción de los vacíos, para alcanzar un cierto grado de densificación.

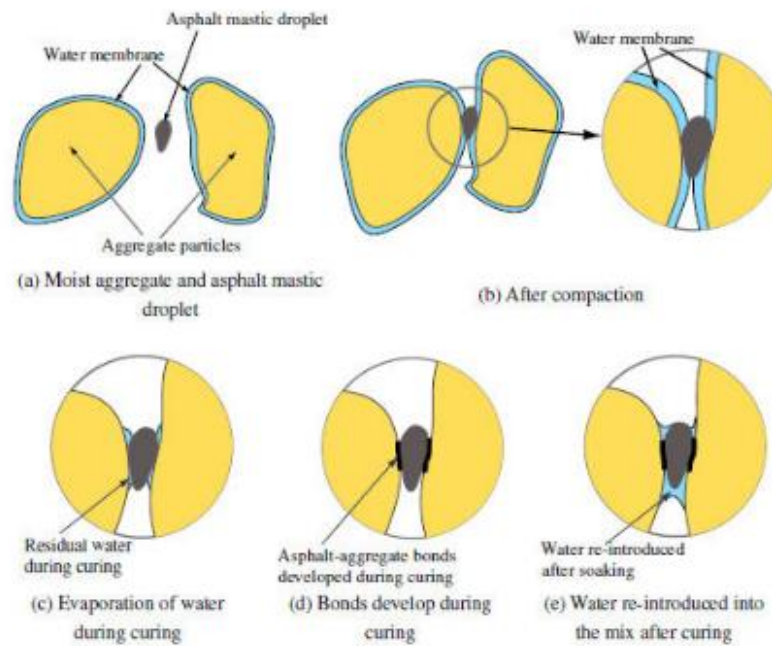


Figura 52. Concepto del contenido de humedad de las mezclas de asfalto espumado y el proceso de curado de las mismas. Fuente: (Karim, 2015)

La humedad depende del nivel de compactación a utilizar, cuanto mayor sea, menor será la humedad y el contenido de llenante (Maccarrone, S., Holleran G., Leonard, D. J. and Hey, 1994). También el contenido de humedad del agregado durante el mezclado influirá en el contenido de asfalto de la mezcla. Si el contenido de humedad disminuye, el contenido de asfalto aumenta (Sunarjono, 2008).

Se han propuesto varias versiones para determinar el contenido de humedad, algunas de ellas se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores típicos de contenido de humedad para mezclas con FA.

<b>Método o propuesta</b>	<b>Concepto</b>
Fluff point method (1983)	Desarrollado por la compañía Mobil oil, es la humedad en el agregado cuando tiene un máximo volumen, y es aproximadamente del 70 al 80% de la humedad óptima obtenida en un ensayo de Proctor modificado (Ruckel et al., 1983)
Water Application (1980)	Lee establece un valor entre el 65 y el 85% de la humedad óptima para la mezcla del FA con los agregados(D. Y. Lee, 1980a)
Sakr and Manke concept (SMC) (1985)	Este concepto tiene en cuenta el Proctor modificado (PM), el contenido de finos (PF) y el contenido de asfalto (CA) como se describe en la ecuación ( 2.6 ) (Sunarjono, 2008) $\% SMC = 8,92 + 1,42PM + 0,4PF - 0,39CA$ ( 2.6 )
High moisture concept method (2001)	Jenkins en el año 2002 aplica este método debido a que el bajo contenido de humedad produce una mezcla de baja calidad, por ello estableció un nivel por encima del óptimo aproximadamente entre el 1 y 2%, posteriormente se deja secar para compactar al contenido óptimo de humedad (K. J. Jenkins & Van de Ven, 2001)
Wirtgen Concept (2004)	Este método utiliza un óptimo de compactación y trabajabilidad (OCC), que es igual al contenido óptimo (OCC) reducido por un contenido de agua de reducción (Wreduc) el cual depende del valor de OMC:(Sunarjono, 2008) $OCC = OMC - WCreduc$ cuando $WCreduc = 0$ (para $OMC < 2\%$ ) $WCreduc = 0,3OMC - 0,6$ (proctor modificado) $WCreduc = 0,4OMC - 0,8$ (proctor estandar)
Sunarjono (2008)	Estableció un valor del 70% de la humedad óptima.(Sunarjono, 2008)
Manual TG2 (2009), y Manual Wirtgen (2012)	Establecen un 75% de la humedad óptima(D. Collings et al., 2009; Wirtgen Group, 2012)

Fuente: Recopilación del autor.

Estudios más recientes establecen un rango de humedad en función del contenido de finos para una buena distribución del FA como los que se indican en la Tabla 9 (Xu, Hao, Ma, & Liu, 2012).

Tabla 9. Recomendaciones de rangos aceptables de humedad de mezcla con FA.

<b>Contenido de finos (%)</b>	<b>Rango aceptable del contenido de humedad de mezcla. (% del optimo)</b>	<b>Optimo recomendado (W% del optimo determinado del ensayo de pretor modificado)</b>
5-10%	70-80	75
10-15%	70-80	80
15-20%	70-85	80

Fuente: (Xu et al., 2012)

Hay que tener en cuenta que para el CaO es necesario incrementar el contenido de humedad, con el fin de activarlo. Por recomendaciones de la National Lime Association, (National Lime Association, 2006), se requiere un 32% de su peso para poder activarla.

### **2.11.6 Mezclado de las BSM**

El método para mezclar las FA con los agregados es importante ya que solo se dispone de un tiempo antes de que la espuma colapse y regrese a su estado altamente viscoso. (Leek & Jameson, 2011).

De acuerdo con el manual de la TG2, antes de inyectar el FA se mezclan los agregados, el llenante activo y el agua inicial, en alguna de las mezcladoras Wirtgen (ver Figura 53) durante 10 segundos. Se recoge la mezcla en bolsas, que se sellan y se dejan en reposo durante 2 horas (Ramanujam & Jones, 2007). Posteriormente se inyecta el FA y se continua la mezcla durante 30 segundos más, y para finalizar se completa con el agua faltante para obtener la humedad optima, mezclando por 30 segundos adicionales.



Figura 53 Mezcladoras de las plantas WLB 10 y WLB 10S. Fuente: Elaboración del autor.

### 2.11.7 Compactación de las BSM

Una técnica apropiada de compactación de laboratorio no solo debe lograr el contenido de vacíos esperado en el campo y la densidad seca máxima, sino también, en la medida de lo posible, emular la orientación de las partículas.

Dentro de los procesos de compactación en laboratorio de los BSM, se identifican dos métodos:

- Martillo Marshall.
- Compactación vibratoria.

El martillo Marshall puede usarse para preparar muestras, para ensayos de ITS. El manual TG2 recomienda trabajar con una masa de 1200 gramos de material en un molde Marshall y compactarla aplicando 75 golpes por cada cara. (D. Collings et al., 2009)

Constanty y otros (D. Collings et al., 2009; Constantyn Kelfkens, 2008), han demostrado que la utilización del martillo vibratorio, como método de compactación en laboratorio, es eficiente para representar las condiciones de compactación en campo. El manual TG2 recalca que cuando no se disponga de martillo vibratorio

puede usarse la compactación Marshall y esta se debe usar principalmente en vías de bajo tráfico vehicular.(D. Collings et al., 2009)

De acuerdo al INVIAS, referente a la norma INV E 156-13 - Modulo resiliente anexo A, recomienda la compactación vibratoria en un total de 5 capas, y un plazo máximo de 5 días para realizar el ensayo, colocando las briquetas en bolsas selladas para evitar que pierdan humedad y obtener el modulo inicial de los BSM.

### 2.11.8 Curado

El curado se puede describir como el proceso en que las moléculas de agua escapan del BSM durante el periodo inmediatamente posterior a la colocación y compactación.(K. Jenkins, 2000). Mathaniya (Mathaniya Twagira, 2010), establece diferentes etapas de vida de una BSM, donde en la etapa de curado es la única donde el material gana resistencia, ( ver Figura 54)

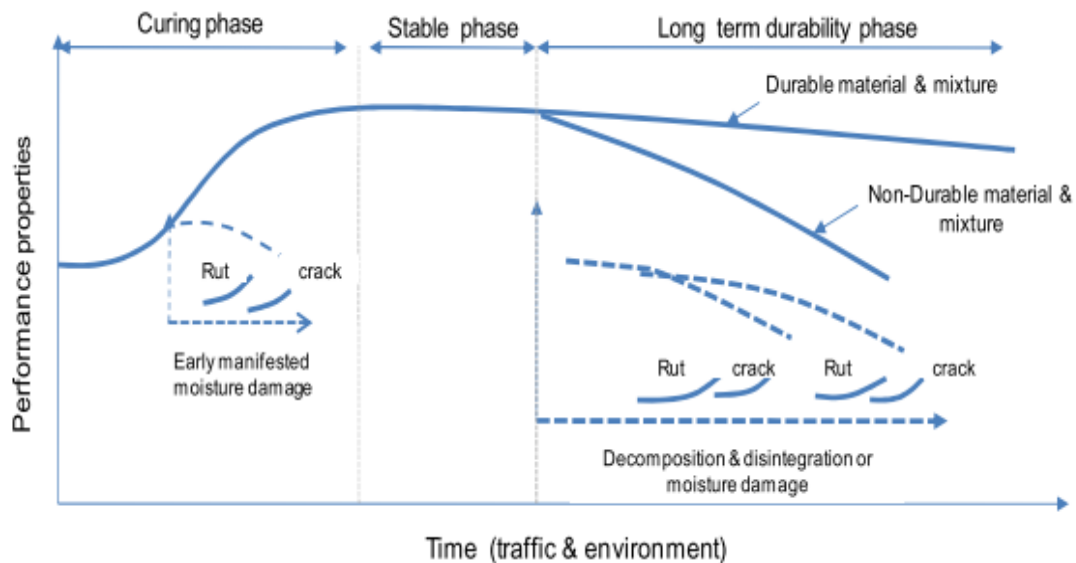


Figura 54. Comportamiento de las propiedades de los BSM en diferentes etapas. Fuente: (Mathaniya Twagira, 2010)

Mathaniya dentro del curado de los BSM, ocurren cuatro principales etapas (ver Figura 55) la primera corresponde al proceso de dispersión y cubrimiento durante la mezcla, donde el material fino y el agua forman una masilla; en una segunda etapa ocurre el proceso de compactación y humectación, en este proceso se expulsa

agua, a través de la masilla y se facilita la evaporación, en esta etapa se comienzan a generar los primeros enlaces entre el agregado y la masilla.

En la tercera etapa ocurre la evaporación y el endurecimiento de la masilla, la evaporación comienza, donde el agua expulsada de la mezcla y la que se encuentra adherida a la superficie de agregado comienza a evaporarse, y finalmente en la última etapa se genera una humedad de equilibrio y se establecen completamente los enlaces, los cuales generaran la resistencia de los BSM.

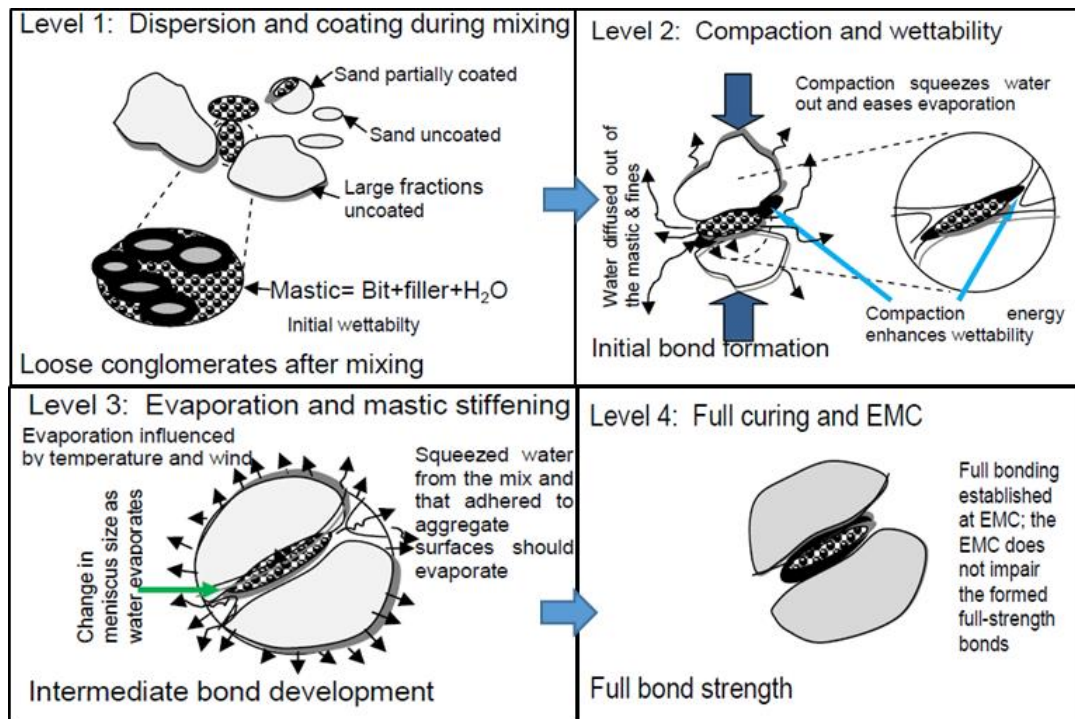


Figura 55. Proceso de unión entre partículas de un BSM. Fuente: (Mathaniya Twagira, 2010)

Karim (Karim, 2015) indica que la velocidad de la pérdida de humedad es fundamental en las primeras etapas y esta puede verse influenciada por la temperatura, el nivel de humedad en el ambiente y la velocidad del viento local. El desarrollo gradual del proceso de curado hace que la fase inicial de la vida de un BSM, sea crítica. Si el curado fue ineficiente o incompleto, podría tener lugar una alteración prematura del pavimento.

Lo que se busca en el laboratorio es tratar de aproximarse a las condiciones de curado en campo el cual toma un tiempo considerable, llegando a alcanzar varios

meses (Leek & Jameson, 2011). El método de laboratorio busca acelerar el proceso de curado con el fin de emular las condiciones de campo a largo plazo.

Varios investigadores, y manuales establecen una serie de protocolos de curado de laboratorio simulando las condiciones climáticas de estaciones secas y húmedas, de sus regiones. A continuación en la Tabla 10, observaremos el periodo de curado designado, considerando el clima, las condiciones climáticas adversas, las prácticas de construcción y la vida del pavimento.



Tabla 10. Condiciones de curado en seco y húmedo recomendada por algunos autores y manuales.

<b>Referencia</b>	<b>Condición de curado seco</b>
Halles y Thenoux (2009)	Curado a 40°C durante 72 horas. Indica condición simulada a largo plazo
Asphalt Academy (2009)	1) Se cura sin sellar a 60°C hasta humedad de equilibrio 2) Las briquetas se sellan en una bolsa y se curan durante 72 horas en un horno a 40°C 3) Se cura durante 24 horas a 25°C sin sellar, seguido de 48 horas sellado a una temperatura de 40°C, Tracción indirecta 3 días a 40°C
Fu y otros (2010)	Se extrae inmediatamente del molde después de la compactación seguido de curado sin sellar durante 7 días a 40°C. indica condición simulada a largo plazo
Departamento de Queensland (2010)	Las briquetas se curan por tres días a una temperatura de 40°C durante 3 días. Indica medición de rigidez a mediano plazo de 3 a 6 meses después de la construcción.
Huan y otros (2010)	Curado y sellado durante 7 días a temperatura ambiente (25°C). Indica condición simulada en Australia
Gonzalez y otros (2011)	Muestras selladas a temperatura ambiente, a 20°C durante 14 días. Indica condición simulada a campo en Nueva Zelanda
Austroroads (2013)	Las briquetas se curan durante tres días a 60°C para analizar la condición crítica máxima seca
<b>Referencia</b>	<b>Condición de curado en húmedo</b>
Saleh (2006) Fu	Sumergido en baño de agua a 25°C durante 5 días (a intervalos de 24 horas)
Asphalt Academy (2009)	Se sumergen durante 24 horas. A una temperatura de 25°C
Departamento de Queensland (2010)	Se sumergen bajo agua durante 10 minutos aplicando vacío de 95KPa.
Jenkins (2011)	Sumergidas en baño de agua a 25 ° C durante 24 horas
Austroroads (2013)	Las briquetas se sumergen en el agua durante 1 día ( no especifica la temperatura).

Fuente: Recopilación del autor.

La Asphalt Academy en el manual TG2, describe tres métodos de curar los BSM que arrojan diferentes resultados y comportamientos si se les compara con las condiciones de servicio.(D. Collings et al., 2009). Karim (Karim, 2015) recalca que el proceso de curado, se deberá diseñar acorde a las condiciones climáticas de cada país.

### **2.11.9 Propiedades mecánicas de las BSM**

Actualmente es bien aceptado que los BSM presentan comportamientos similares si se comparan con materiales granulares no ligados, pero con una fuerza cohesiva mejorada y una sensibilidad a la humedad reducida.(Halles Arévalo, 2013)

Debido a ello la resistencia, el módulo elástico y la resistencia a la deformación permanente de las BSM dependen del estado de esfuerzo, por lo que los análisis de la respuesta mecánica son por medio del módulo resiliente medido en ensayos triaxiales. (L.-J. Ebels & Jenkins, 2007; Jones et al., 2008).

Por otro lado los BSM pueden soportar esfuerzos de tracción (Long & Theyse “, 2004; Mathaniya Twagira, 2010; Ramanujam & Jones, 2007) que es característica típica de los materiales ligados.

#### **Tracción indirecta y compresión inconfiada.**

Actualmente existen dos pruebas estándar normalizadas por los manuales, donde analizan el esfuerzo máximo que soportaran los BSM. Estas pruebas son la ITS por sus siglas en inglés (“*Indirect Tensile Strength*”) y la UCS por sus siglas en inglés (“*Unconfined Compressive Strength Tests*”) (ver Figura 56).

De acuerdo a Collings y otros (D. Collings et al., 2009), las dimensiones de las muestras de ITS son normalmente de 100 o 150 mm de diámetro y 63,5 mm de altura. Mientras que las muestras de UCS son de 150 mm de diámetro y 125 mm de altura. Las briquetas de ITS están inducidas a una carga que genera un esfuerzo a tracción horizontal en el centro de la muestra, (ver Figura 57).(González, 2009).

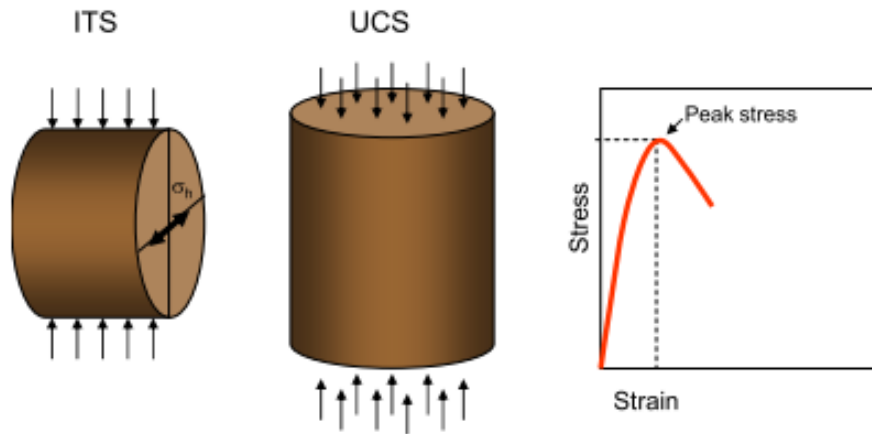


Figura 56. Ensayo de ITS y UCS. Fuente:(González, 2009)

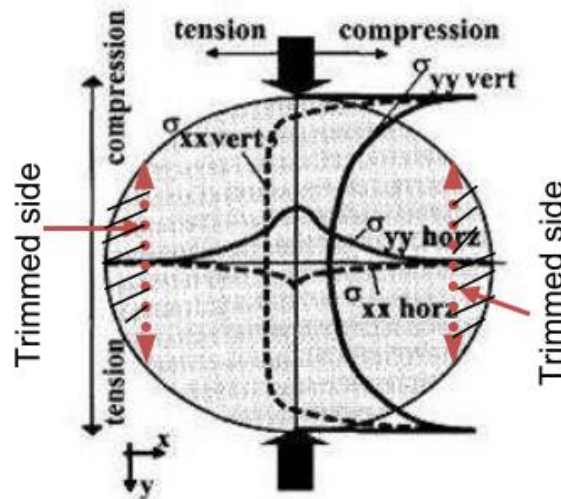


Figura 57. Distribución de los esfuerzos internos durante la prueba ITS. Fuente: (Mathaniya Twagira, 2010)

La prueba de ITS evalúa la resistencia y las propiedades de la fluencia de las mezclas compactadas, por medio de un análisis de carga máxima en caso de falla o de energía pico, teniendo en cuenta las deformaciones verticales y horizontales. (ver Figura 57).

Los requisitos más importantes de un pavimento es la capacidad de soportar las cargas del tráfico y distribuirlas de modo que no excedan la resistencia del material (ABIODUN, 2006). El análisis de la resistencia se realiza por medio de ensayos entre

los que se encuentran los ensayos de compresión confinada (UCS) y los de tracción indirecta (ITS) ( Figura 58).

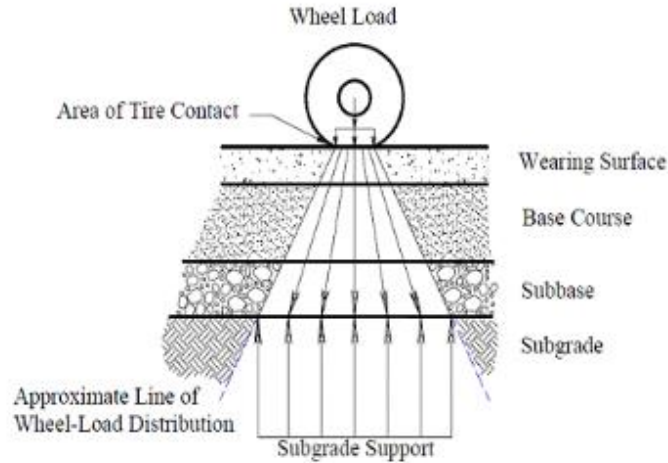


Figura 58. Distribución del esfuerzo debido a la carga en una estructura de pavimento. Fuente: (ABIODUN, 2006)

Las pruebas de ITS y UCS han sido aplicadas ampliamente por diversos investigadores en los BSM.(D. Collings et al., 2009; Leek, 2011). Iwanski y Kowalska (Iwanski & Kowalska, 2012), estudiaron el efecto sobre los valores de ITS a bajas temperaturas de un material granular con un contenido de finos del 9% y a valores de FA entre 2 y 3,5% (ver Figura 59)

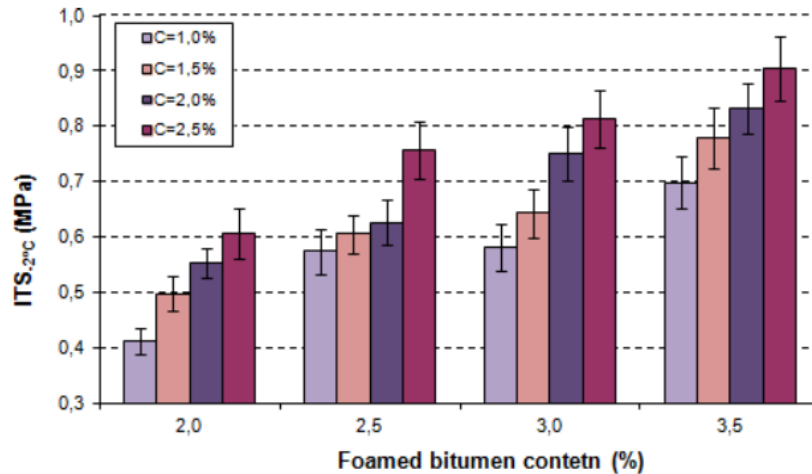


Figura 59 Resultados de ITS húmeda y seca, a varias concentraciones de asfalto y llenante activo. Fuente: (Iwanski & Kowalska, 2012)

En la Figura 59, se observa el efecto del FA, donde a medida que se aumenta la resistencia a la tracción aumenta, al incrementar un 1,5% del llenante activo, aumenta en 20% el valor de ITS. Posteriormente resultados reportados por Long y Ventura (González, 2009), indican que para las pruebas de UCS y ITS en un material estabilizado con una concentración de FA de 2,5% y 0%, para un contenido de cemento fijo del 1%, indican un aumento de la resistencia en los ensayos de UCS y ITS del 4,% y del 9,3%.

Halles y Thenoux (Halles & Thenoux, 2009), realizaron un estudio para evaluar el grado de influencia que tiene el llenante activo en las propiedades de los BSM, por medio de análisis de ITS húmedo, sumergidas en agua durante 24 horas a 25°C, con contenido de FA fijado en 0% y 3% , analizando diferentes tipos de relleno activo como cemento, cal , cenizas y polvo de concreto con contenidos entre 0 y 3%, donde observo una leve mejoría de la resistencia. (ver Figura 60)

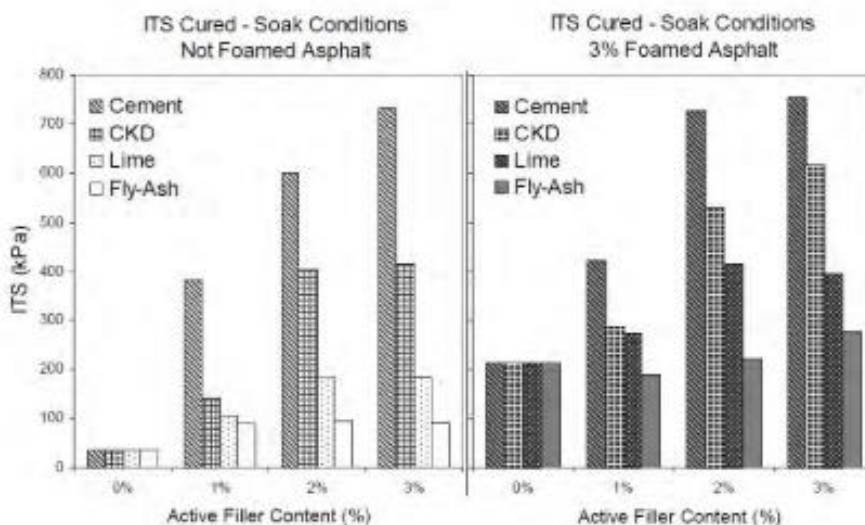


Figura 60 valores de ITS en estado seco y húmedo en mezclas de asfalto espumado. Fuente: (Halles & Thenoux, 2009)

Halles y Thenoux (Halles & Thenoux, 2009) de igual forma observaron que los valores de ITS aumentaron alrededor del 200% a medida que se aumentó el FA. Browne (Browne, 2008) al igual que halles y Thenoux, (Browne, 2008) indican un aumento en la resistencia de las BSM, analizadas con ITS húmeda, mientras que autores como Frobel y Hallet (González, 2009) indican una disminución del ITS en

condición seca, aproximadamente del 10% por cada aumento del 1% de FA, (ver Figura 61).

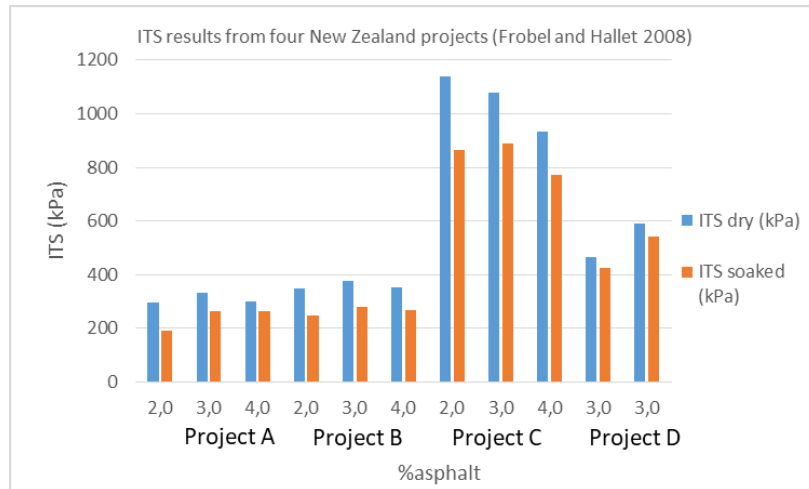


Figura 61 Resultados de ITS en proyectos de Nueva Zelanda. Fuente: adaptado de (González, 2009)

Hasta la fecha, el programa de investigación más exhaustivo sobre BSM en ITS se llevó a cabo en Sudáfrica entre 2004 y 2009.(Wirtgen Group, 2012). Este trabajo culminó con la publicación de manual TG2 donde utiliza los resultados de pruebas de resistencia como ITS y triaxiales para clasificar el BSM en tres categorías:

- Clase 1 BSM: Materiales con alta resistencia al corte Estos materiales son adecuados para la construcción de capa base en pavimentos con una capacidad estructural superior a 3 millones de ejes.
- Clase 2 BSM: Materiales con resistencia al corte moderada. Estos materiales son adecuados para la construcción de capas base para pavimentos con una capacidad estructural de menos de 3 millones de ejes.
- Clase 3 BSM: consiste en mezcla con contenidos de material fino, con matrices de gravas y arenas, estabilizados con asfalto, cumple como base granular para un tráfico de diseño menor a 1 millón de ejes.

La siguiente tabla, resume los requisitos para clasificar un BSM basado en ensayos de ITS:

Tabla 11. Requisitos para la clasificación de una BSM basado en ensayos ITS de acuerdo a la metodología TG2

Clase 1	Clase 1	Clase 2	Clase 3	No adecuado
Matriz principal. del material	Rap, grabas y arenas bien gradadas	grabas y arenas bien gradadas	Mezclas de materiales Grava natural Materiales marginales	Pobres gravas Materiales plásticos Suelos
ITS <sub>dry</sub> (kPa)	>225	175 a 225	125 a 1755	<125
ITS <sub>wet</sub> (kPa)	>100	75 a 100	50 a 75	<50

Fuente: Adaptado de (D. Collings et al., 2009)

Otro criterio tenido en cuenta en la metodología TG2, solicita verificar la resistencia conservada o TSR, este criterio no lo establece como un parámetro de clasificación de los BSM, pero si indica su utilidad para distinguir materiales problemáticos.

Si el valor de TSR es menor a 50% es indicativo que el material presenta una gran afectación al cambio de humedad. El valor de TSR deben ser tomado con bastante prudencia como lo indica Karim (Karim, 2015), ya que este se basa en un análisis de condiciones extremas, donde es recomendado realizarlo, teniendo en cuenta las condiciones de la región donde se va aplicar la BSM.

La determinación del valor de ITS, se realiza con una prensa que pueda aplicar una carga monotónica a una velocidad de 50,8mm/min, de acuerdo al manual TG2 (D. Collings et al., 2009). El cálculo de ITS y de la relación de resistencia a la tracción o resistencia a la tracción retenida TSR se describe en la ( 2.7 ) de resistencia de la tracción indirecta y ( 2.8 ) resistencia a la tracción retenida.

$$resistencia\ a\ la\ traccion\ indirecta = \frac{2 * Pmax}{\pi * D * H} * 1000000 \quad (2.7)$$

Donde:

- ITS= resistencia a la tracción indirecta (kPa)
- P= carga máxima aplicada en (kN)
- H= altura promedio de la muestra (mm)
- D= diámetro promedio de la muestra (mm)
- 

$$TSR = \frac{ITS\ wet}{ITS\ dry} * 100$$

( 2.8 )

Donde:

- TSR=Resistencia ala tracción retenida (%)
- ITS dry=Resistencia a la tracción indirecta seca (kPa)
- ITS wet=Resistencia a la tracción indirecta húmeda (kPa)

Jones y otros (Jones et al., 2008), evaluaron el efecto del contenido de FA en los BSM, por medio de pruebas ITS, utilizando el concepto de índice de energía de fractura, que se definió como el área bajo la curva en función de la carga y el desplazamiento de un ensayo de ITS (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), medida en julios (J). Por lo tanto, la energía de fractura se puede considerar como un índice perfecto para cuantificar la resistencia a la tensión de los BSM. (Halles Arévalo, 2013; Jones et al., 2008).



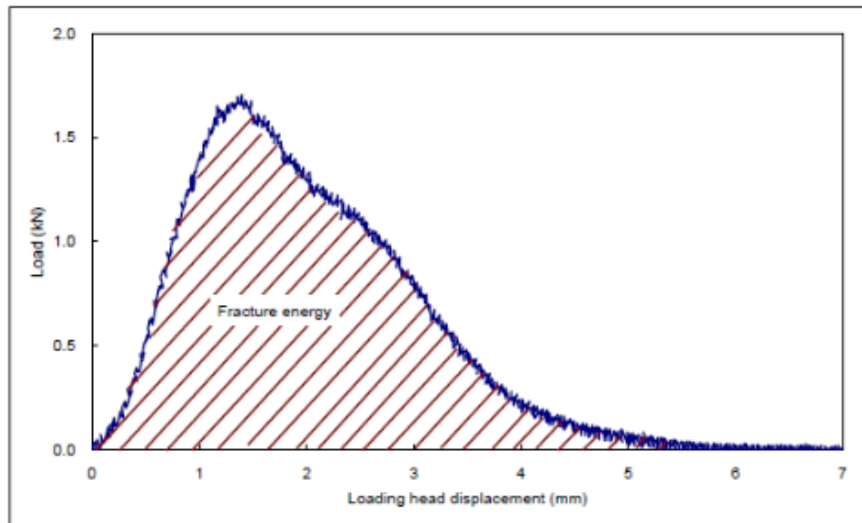


Figura 62. Definición grafica establecida por Jones y otros del índice de energía de fractura. Fuente: (Jones et al., 2008)

### **Módulo resiliente**

Los materiales que conforman los pavimentos, son sometidos a ciclos de carga y descarga, lo que genera dentro de las capas de pavimento deformaciones recuperables y permanentes (Sabogal, 2009). Es por ello que en la ingeniería de vías, se han venido desarrollando estudios con el fin de comprender el comportamiento elastoplástico que experimentan los materiales y esta evaluación se realiza por medio de ensayos de módulo resiliente (Alexander, Quintana, & Lizcano, 2007)

Cuando hablamos de módulo resiliente hay que entender que este es la relación del esfuerzo desviador y la correspondiente deformación axial recuperable, es decir cuando un material la carga es retirada, tiende a recuperar parte de la deformación inducida, esta capacidad de recuperación de dicho material se le denomina la resiliencia de los materiales. (ver Figura 64 b) (Rondón, Reyes, & Sánchez Cotte, 2012)

En 1981 the Asphalt Institute presento en su documento MS-1 un método de diseño de espesores para pavimento asfálticos, en el cual se recomienda usar el módulo resiliente para la evaluación de la sub-rasante. En 1986 AASHTO publicó un nuevo

método de diseño para estructuras de pavimento, basándose en el módulo resiliente, de la estructura de pavimento con una posterior actualización en 1993. (Vidal & Osorio, 2012).

Para Colombia el Instituto Nacional de Vías INVIAS, establece el manual de diseño de pavimentos con medios y altos volúmenes de tránsito de 1998, basándose en la metodología de la AASTHO de 1993, por lo cual asumió muchos de los parámetros de diseños allí establecidos. (Sabogal, 2009).

Jenkins (K. Jenkins, 2000) indica que dentro del rango elástico, la historia de tensiones no afecta la respuesta del material. Una selección de magnitudes de esfuerzos, en función del confinamiento y desviador que cumplan la primera condición, permite analizar este comportamiento. La única limitante es que la prueba está ligada a un cierto número de repeticiones de carga, es decir que está restringido a la deformación permanente.

El ensayo triaxial cíclico, (ver Figura 64 a), genera cargas cíclicas, ajustando el desviador a diferentes cargas, esta carga máxima es conformada por una carga monotonica o de contacto y una carga desviadora o carga cíclica (ver Figura 63) (González, 2009). Un ejemplo del montaje de la prueba triaxial cíclica la observamos en la Figura 64 a.

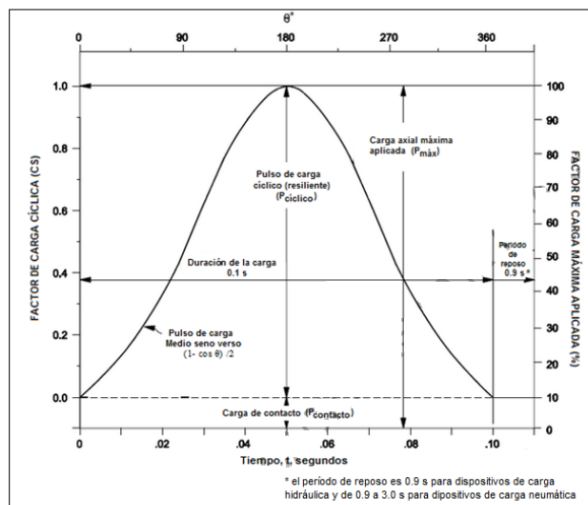


Figura 63. Definición de carga cíclica en un ensayo triaxial. Fuente: (Norma INV E-156, 2013)

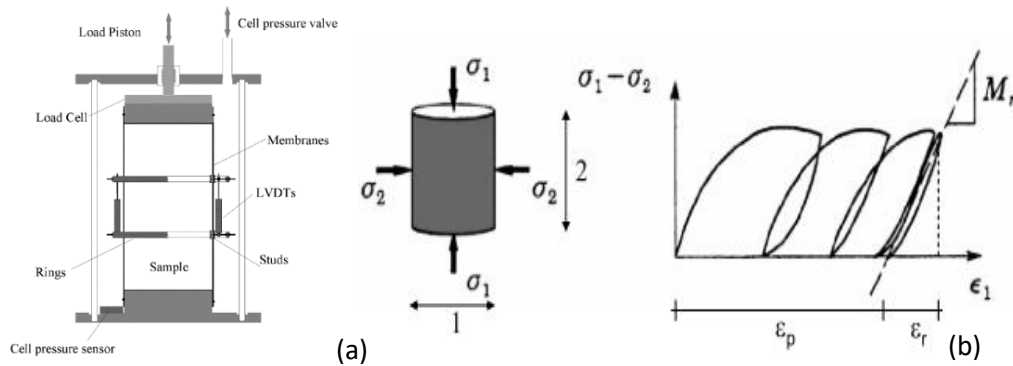


Figura 64. a) Ejemplo del sistema de una prueba triaxial cíclica, por medio del desplazamiento axial utilizando LVDT. b) Comportamiento de una carga cíclica en un ensayo triaxial. Fuente: (González, 2009)

De acuerdo a la norma INV 156-2013, el módulo resiliente se obtiene a partir de la tensión elástica recuperable o deformación axial resiliente ( $\epsilon_r$ ), y el esfuerzo cíclico ( $\sigma_s$ ) como se observa en la ecuación ( 2.9 )

$$M_r = \frac{\sigma_s}{\epsilon_r} \quad ( 2.9 )$$

Es bien conocido que los materiales granulares utilizados en pavimentos flexibles exhiben una dependencia de su rigidez al estado de esfuerzos al cual el material está sometido (Acuña, 2010), esta dependencia direccional del comportamiento resiliente puede ser representado adecuadamente con funciones exponenciales dependientes del estado de esfuerzos. En la Tabla 12 se resumen los distintos modelos desarrollados por algunos autores y guías:

Tabla 12. Modelos matemáticos de módulos resiliente.

Modelos matemáticos	Referencia
$Mr = k1 * \left(\frac{\sigma_3}{Pa}\right)^{K2}$	Dunlap (1963), modelo en función de la presión de confinamiento. Enfocado a arenas y gravas en estado seco y saturado
$Mr = k1 * \left(\frac{\theta}{Pa}\right)^{K2}$	Seed y Uzan (1967) modelo en función de los esfuerzos principales, por medio del invariante de esfuerzos ( $\theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$ ), se expresa en una escala log-log, este modelo no tiene en cuenta los efectos del esfuerzo cortante
$Mr = k1 * \left(\frac{\sigma_d}{Pa}\right)^{K2}$	Moossazadeh y Witezak (1981), modelo en función del esfuerzo desviador ( $\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$ ), fue desarrollado principalmente para materiales arcillosos
$Mr = k3 * \left(\frac{\theta}{Pa}\right)^{K4} * \left(\frac{\sigma_d}{Pa}\right)^{K5}$	May y Witezak (1981), modelo en función del esfuerzo desviador y del invariante de esfuerzos, fue desarrollado con el fin de tener en cuenta el máximo esfuerzo cortante ( $t_m = \sigma_d / 2$ ).
$Mr = k1 * pa * \left(\frac{\theta}{Pa}\right)^{K2} * \left(\frac{t_{oct}}{Pa}\right)^{K3}$	Witezak y Uzan (1985), modelo en función del esfuerzo octaédrico. $t_{oct} = \frac{1}{3} * \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$
$Mr = k1 * pa * \left(\frac{\theta}{Pa}\right)^{K2} * \left(\frac{t_{oct}}{Pa} + 1\right)^{K3}$	MEPDG (2002) - proyecto 1-28 NCHRP, aplicable para todos tipos de materiales no ligados, desde arcillas a base granulares.
$Mr = k1 * \left(\frac{\sigma_3}{Pa} + 1\right)^{K2} * \left(\frac{\sigma_d}{Pa} + 1\right)^{K3}$	UKTC de Ni, Hopkins y Sun (2002), modelo en función del esfuerzo de confinamiento y del desviador, aplicable para materiales granulares.
$\log \frac{Mr}{Pa} = k1 + (k2 * \log \frac{\theta}{pa}) + (k3 * \log \frac{t_{oct}}{pa}) + (k4 * \left(\log \frac{t_{oct}}{pa}\right)^2)$	LTPP (2002), modelo de un programa de desempeño a largo plazo, es una versión modificada del modelo universal.

Fuente: Recopilación del autor.

### Modelo K - $\theta$

Este modelo fue propuesto por Seed y Uzan (ver ), es un modelo no lineal del módulo elástico (Pérez & Rodríguez, 2002), y se encuentra en función de la suma los esfuerzos principales o invariante de tensiones.

$$Mr = K1 * \theta^{K2}$$

( 2.10 )

Donde:

- $\theta$ : es la suma de los esfuerzos principales ( $\sigma_1 + 2\sigma_3$ ).
- $K_1$  y  $k_2$ : Son constantes experimentales.

Estas constantes dependen del material principalmente en función de la densidad, (Fu, Steven, Jones, & Harvey, 2009; Pérez & Rodríguez, 2002).

De acuerdo a resultados mostrados por Garnica y otros (Garnica, Gómez, Pérez, Martínez, & Chávez, 2004) este modelo en materiales de base granular presenta una buena correlación de los datos con  $R^2$  superiores a 0,95, mientras en los materiales parcialmente ligados como los son los BSM, como lo indica Jenkins al utilizar este modelo (K. Jenkins, 2000), presentan coeficientes de correlación  $R^2$  que varían desde 0,73 a 0,97 y con valores de  $k_1$  que varían entre 48 y 132 y de  $k_2$  entre 0,20 a 0,33 (ver Figura 65 y Figura 66), lo que demuestra que el modelo muestra comportamientos aceptables para los BSM.

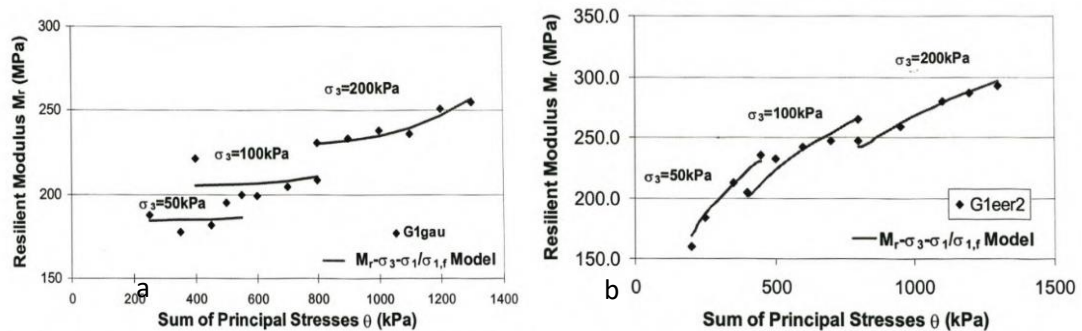


Figura 65. a) módulo resiliente en función del esfuerzo total, de la muestra control denominada (G1gau) b) Modulo resiliente en función del esfuerzo total, de la muestra con 2,0% de FA (G1eer2). Fuente: (K. Jenkins, 2000)

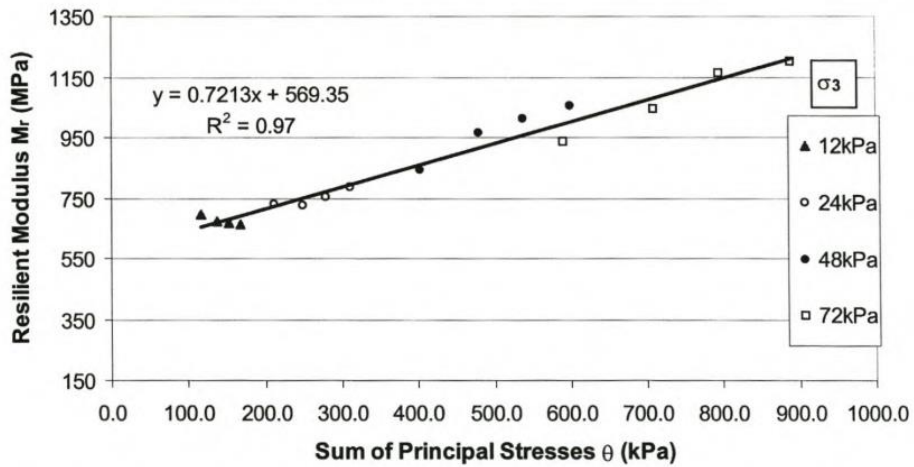


Figura 66. Módulo resiliente en función del esfuerzo total, en pruebas triaxiales de la mezcla de asfalto espumado con 2,0% de FA, y 0,0% de llénate activo con 1000 ciclos de acomodamiento (MGtud2). Fuente: (K. Jenkins, 2000)

Jenkins y otros (K. J. Jenkins, Long, & Ebels, 2007) encontraron valores de correlación de los datos entre 0,86 y 0,94, con valores de  $k_1$  entre 48 y 133 y  $k_2$  entre 0,32 y 0,33, en muestras con 25% de RAP, lo anterior dio mayor aceptabilidad en el uso de este modelo para analizar el comportamiento de los BSM. (ver Figura 67).

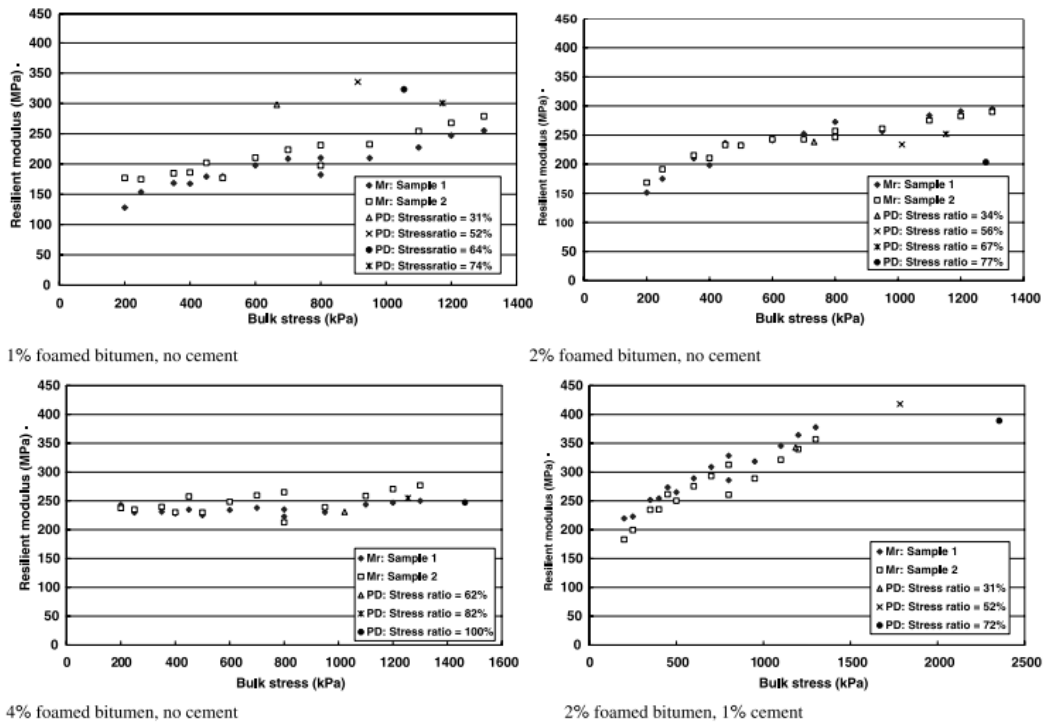


Figura 67. Módulo resiliente de materiales con 8,3% de p200 de, 54% de p4,75, y un tamaño máximo nominal de 19mm (simple 1) y 5,2% de p200 de, 37% de p4,75, tamaño máximo nominal de 37,5 mm (simple 2) a concentraciones de 1%, 2,0% y 4% de FA y 2% de FA con 1% de cemento. Fuente:(K. J. Jenkins et al., 2007)

Halles y Thenoux (Halles & Thenoux, 2009) analizaron el comportamiento resiliente de los BSM, donde mostraron un coeficiente de correlación superior a 0,8. También señalaron que la llenante activo, mejora en gran medida el módulo resiliente, especialmente el cemento y la cal, al compararlo con una muestra control. (ver Figura 68)

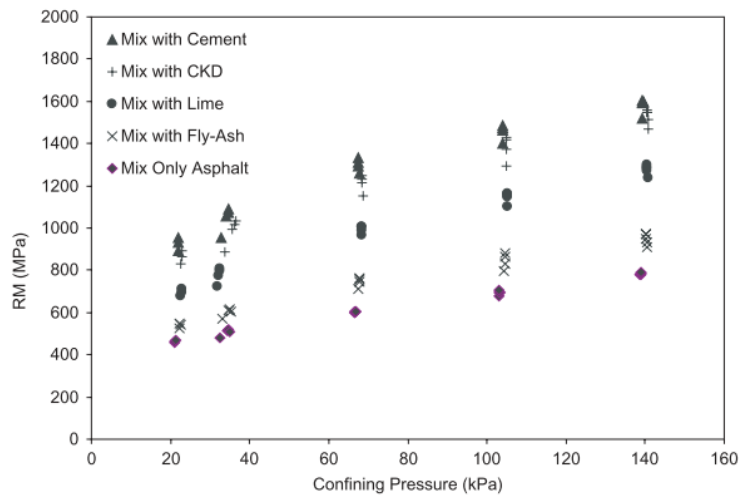


Figura 68. Ensayo de módulo resiliente en función del esfuerzo de confinamiento a diferentes materiales tratados con un relleno activo y FA. Fuente: (Halles & Thenoux, 2009)

González (González, 2009), trabajo BSM, con porcentajes de RAP alrededor del 25% y 75% de material granular con 3% de FA, encontrando valores de modulo entre 350 y 500 MPa. Ese mismo año en materiales granulares Fu y otros (Fu et al., 2009), reportan valores de módulo entre 400 y 800 MPa. En años posteriores investigadores como Ben (Ben, 2014) reporta valores de módulo resiliente entre 300 y 700KPa en materiales 50% rap y 50% material granular, tratados con 2,1% asfalto espumado y 1% de cemento y un material 100% granular con módulos entre 700 y 100 KPa, utilizando el modelo k-  $\theta$ . (ver Figura 69)

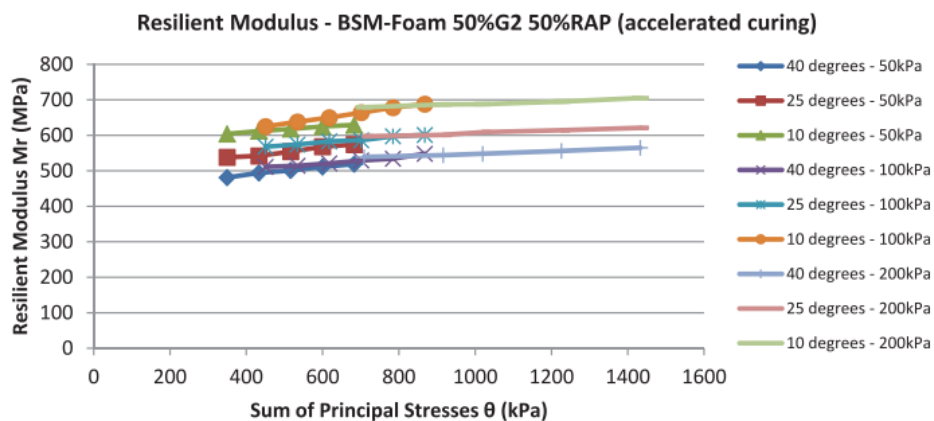


Figura 69. Módulos resiliente en mezclas de asfalto espumado con 50% de RAP y 50% de material granular. Fuente: (Ben, 2014).



Campagnoli y puentes (Campagnoli & Puentes, 2016), en muestras con contenidos de RAP comprendidos entre (21 y 55%), bases estabilizadas con emulsión (BE ) con valores entre el (30 y 64%) y 15% de material granular de dos fuentes diferentes, con contenidos promedio de asfalto espumado de 2,4% y 1% de cal hidratada, (ver Figura 70), y utilizando el modelo (k-  $\theta$ ), encontraron valores de R2 superiores a 0,97, y valores de k1 entre 43 a 184 y valores de k2 entre 0,12 y 0,38

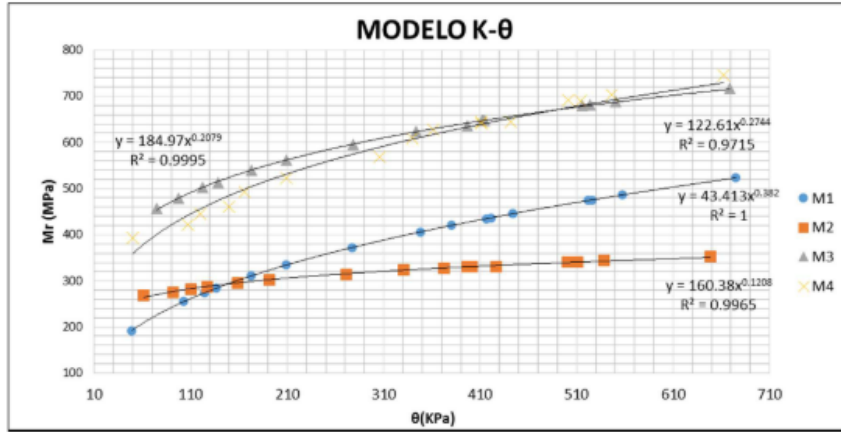


Figura 70. Variación del módulo resiliente en el modelo k-  $\theta$ . Fuente: (Campagnoli & Puentes, 2016).

### Modelo cortante octaédrico.

Este modelo fue propuesto por Witezak y Uzan, y posteriormente modificado por el MEPDG, con el fin de ampliar su aplicabilidad a varios materiales, (ver ), este modelo a diferencia del anterior, considera adicionalmente el cortante octaédrico

$$Mr = K1 * Pa \left( \frac{\theta}{Pa} \right)^{k2} * \left( \frac{\tau_{oct}}{Pa} + 1 \right)^{k3} \quad ( 2.11 )$$

Donde:

- Pa: Presión atmosférica. Normalmente de 100 kPa
- t: duración de los pulsos de carga.
- $\theta$ : suma de los esfuerzos principales ( $\sigma_1 + 2\sigma_3$ ).

- $t_{oct} = \frac{1}{3} * \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$  o  $\sqrt{\frac{2}{3} * \sigma_d}$

Fu y otros (Fu et al., 2009) indican que el módulo resiliente de las BSM también depende de los niveles de tensión aplicados o tensión equivalente, por lo cual para las BSM recomienda usar el modelo del cortante octaédrico. En su investigación encontró valores de k1 de 4600, k2 entre 0,15 y 0,32 con R2 de 0,7 a 0,96, principalmente en mezclas con contenidos de RAP 25% y material granular del 75% con un contenido de FA del 3%.

Campagnoli y puentes (Campagnoli & Puentes, 2016), aplicando el modelo de MEPDG, encontraron valores de R2 para el cortante octaédrico mayores a 0,94, y para el primer invariante de esfuerzos entre 0,84 y 0,87, y con valores de k1 entre 300 y 1300, k2 entre 0,002 y 0,009 y k3 0,1 y 0,5.

## 2.12 Bibliografía.

- Abiodun, S. (2014). Cold in-Place Recycling With Expanded Asphalt Mix (CIREAM). Retrieved from <https://qspace.library.queensu.ca/handle/1974/11706>
- Abreu, L., Oliveira, J., Silva, H., Silva, C., Palha, D., & Fonseca, P. (2017). Foamed bitumen: an alternative way of producing asphalt mixtures. *Ciência & Tecnologia Dos Materiais*, 29(1), e198–e203. <https://doi.org/10.1016/j.ctmat.2016.07.004>
- Acott, S. M., & MYBURGH, P. A. (1983). Design and Performance Study of Sand Bases Treated with Foamed Asphalt. *Transportation Research Record*, (898), 290–296. Retrieved from [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=DESIGN+AND+PERFORMANCE+STUDY+OF+SAND+BASES+TREATED+WITH+FOAMED+ASPHALT&author=S.+Acott&author=P.+MYBURGH&publication\\_year=1983](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=DESIGN+AND+PERFORMANCE+STUDY+OF+SAND+BASES+TREATED+WITH+FOAMED+ASPHALT&author=S.+Acott&author=P.+MYBURGH&publication_year=1983)
- Acuña, M. jimenez. (2010). *Implementacion del ensayo de modulo resiliente en bases granulares para pavimento* (p. 12). p. 12.
- Adam O'Callaghan. (2014). *An Analysis of Roadbase Materials used in Foamed Bitumen Stabilisation*. (October), 110.
- Agencia nacional minera. (2016). Regalías y Contraprestaciones Económicas. Retrieved from <https://www.anm.gov.co/regalias-contraprestaciones-economicas>
- Akeroyd, F. M. L., & Hicks, B. J. (1988). Foamed Bitumen Road Recycling. *Highways Croydon*, Vol. 56, pp. 42–43, 45.
- Al-Mukhtar, M., Lasledj, A., & Alcover, J.-F. F. (2010). Behaviour and mineralogy changes in lime-treated expansive soil at 50°C. *Applied Clay Science*, 50(2), 199–203. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2010.07.023>
- Al-otaibi, & Al-otaibi, F. A. (2006). *An assessment of the possibility of stabilising Sabkha soils using oil lake residue - reuse of waste materials*. (August), 332. Retrieved from <https://orca.cf.ac.uk/56046/1/U584799.pdf>
- Alabaster, D., Patrick, J., Arampamoorthy, H., & Gonzalez, A. (2013). *The design of stabilised pavements in New Zealand February 2013*. (February), 195.
- Alexander, H., Quintana, R., Lizcano, F. R., & Rondón Quintana, H., & Reyes Lizcano, F. (2007). Comportamiento resiliente de materiales granulares en pavimentos flexibles: estado del conocimiento. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín Revista Ingenierías*, 6(11), 65–90. Retrieved from <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/206>
- Amadi, A. A., & Okeiyi, A. (2017). Use of quick and hydrated lime in stabilization of lateritic soil: comparative analysis of laboratory data. *International Journal of Geo-Engineering*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40703-017-0041-3>
- Arega, Z. A., Bhasin, A., Li, W., Newcomb, D. E., & Arambula, E. (2014). Characteristics of Asphalt Binders Foamed in the Laboratory to Produce Warm Mix Asphalt. *Journal of*

*Materials in Civil Engineering*, 26(11), 04014078.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000981](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000981)

- Asi, I. M., Abdul, H. I., Amoudi, O. S., Khan, M. I., & Siddiqi, Z. (2002). Stabilization of dune sand using foamed asphalt. *Geotechnical Testing Journal*, 25(2), 168–176. <https://doi.org/10.1520/GTJ11360J>
- Asi, I. M. (2001). Stress-Strain-Temperature Relationship for Structural Steel. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 13(5), 371–379. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2001\)13](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2001)13)
- Austrroads. (2013). *Guide to Pavement Technology Part 4D: Stabilised Materials*. 62. Retrieved from <https://austrroads.com.au/publications/pavement/agpt04d>
- Baghini, M. S., Ismail, A., & Bin Karim, M. R. (2015). Evaluation of cement-treated mixtures with slow setting bitumen emulsion as base course material for road pavements. *Construction and Building Materials*, 94, 323–336. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.057>
- Bauzá, D. (2015). *El tratamiento de los suelos evolucion a largo plazo ante comportamiento mecanico y arcillosos con cal*.
- Beetham, P., Dijkstra, T., Dixon, N., Fleming, P., Hutchison, E. I. R., & Bateman, J. (2013). Lime stabilisation for earthworks: A UK perspective. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Bell, F. G. (1996). Lime stabilization of clay minerals and soils. *Engineering Geology*, 42(4), 223–237. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(96\)00028-2](https://doi.org/10.1016/0013-7952(96)00028-2)
- Ben, M. D. (2014). *HIRESILIENT RESPONSE AND PERFORMANCE OF BITUMEN STABILIZED MATERIALS WITH FOAM INCORPORATING RECLAIMED ASPHALT*. (January), 375. <https://doi.org/https://scholar.sun.ac.za/handle/10019.1/86376>
- Beach, L., Cross, S. A., Kearney, E. R., Justus, H. G., Chesner, W. H., & Investigators, P. (2010). Cold-in-place recycling in new york state. Chesner Engineering, P.C., (6764), 33.
- Botasso et al., Botasso, H. G., Rebollo, O. R., Soengas, C. J., Balige, M., Bisio, A., & Berardo, A. (2011). METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN EN LA INCORPORACIÓN DE PROMOTORES DE ADHERENCIA EN CEMENTOS ASFÁLTICOS. *XVI CILA Congreoso Ilbro-Latinoamericano de Asfalto*, 1–12. Retrieved from [https://lemac.frp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/2011\\_Evaluacion-Promotores-de-Adherencia\\_XVI-CILA\\_IBP2395\\_11.pdf](https://lemac.frp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/2011_Evaluacion-Promotores-de-Adherencia_XVI-CILA_IBP2395_11.pdf)
- Bowering, R. H. (1970). Properties and Behaviour of Foamed Bitumen Mixtures for Road Building. *5th Australian Road Research Board Conference*, pp. 38–57.
- Bowering, R., & Martin, C. (1976). Foamed bitumen production and application of mixtures evaluation and performance of pavements. *Association of Asphalt Paving Technologists ...*, p. 453–477. <https://doi.org/Volume 45>.

- Brown, S. F., & Needham, D. (2000). A Study of Cement Modified Bitumen Emulsion Mixtures Professor S F Brown 1 and Dr D Needham 2. *Paper Offered for the 2000 Annual Meeting of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 1–22. Retrieved from <http://eprints.nottingham.ac.uk/11101/1/319925.pdf>
- Browne, A. (2008). *Foamed Bitumen Stabilisation in New Zealand – A Performance Review and Lessons Learnt*.
- Campagnoli, S. X. (1998). *Evaluacion de las características de espumado de los asfaltos colombianos* (p. 164). p. 164.
- Campagnoli, S. X., Alvarez, A. E., Reyes-ortiz, O. J., Estupiñan, E., Militar, U., & Granada, N. (2018). An Overview on the Quality of the Foams Produced Using Colombian Asphalts. *Simposio Colombiano Sobre Pavimentos*, pp. 1–13.
- Campagnoli, S. X., Alvarez, A. E., Reyes, O. J., & Estupiñan, E. (2018). Una Mirada a la Calidad de las Espumas de Asfaltos Colombianos. *XXI Simposio Colombiano Sobre Ingenieria de Pavimentos*, p. 13.
- Campagnoli, S. X., & Puentes, D. S. (2016). Módulo resiliente de materiales estabilizados con asfalto espumado Foame. *Corasfaltos*, 11.
- Castelló, J. D. B. (2015). *El Tratamiento De Los Suelos Arcillosos Con Cal. Comportamiento Mecánico Y Evolución a Largo Plazo Ante Cambios De Humedad*. Universidad de Sevilla.
- Chao-hui, W., & Peng, W. (2011). Influence analysis of foamed asphalt mixture gradation based on mechanical properties. *International Conference on Electric Technology and Civil Engineering (ICETCE)*, 6016–6021. Lushan, China: 2011 International Conference on Electric Technology and Civil Engineering (ICETCE).
- Chavarro, S. (2013). *Estado de la práctica en el uso de asfalto espumado en Colombia*. Universidad de los Andes.
- Clare, K. E., & Cruchley, A. E. (1957). Laboratory Experiments in The Stabilization of Clays With Hydrated Lime. *Géotechnique*, 7(2), 97–111. <https://doi.org/10.1680/geot.1957.7.2.97>
- Collings, B. D. (1997). *Another asphalt application joins the ranks*. (June).
- Collings, D., Hughes, M., Grobler, J., Jenkins, K., Jooste, F., Long, F., & Thompson, H. (2009). *Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials* (Vol. 2).
- Consejo de planeacion nacional. (2014). Bases del Plan Nacional de Desarrollo.
- Constantyn Kelfkens, R. W. (2008). *Vibratory Hammer Compaction Of Bitumin Stabilized Materials*. (December), 165.
- Cross, S. A., Chesner, W. H., Edward, R., & Henry, G. (2010). Cold-In-Place Recycling In New York State. In *Chesner Engineering, P.C*. Retrieved from [https://www.dot.ny.gov/divisions/engineering/technical-services/trans-r-and-d-repository/C-06-21 Final Report - July 2010.pdf](https://www.dot.ny.gov/divisions/engineering/technical-services/trans-r-and-d-repository/C-06-21%20Final%20Report%20-%20July%202010.pdf)

- D. Y. Lee. (1980a). Treating Iowa's Marginal Aggregates and Soils by Foamix Process. *Highway Division, Iowa Department of Transportation and Iowa Highway Research Board*, 1(4), 88. Retrieved from <http://publications.iowa.gov/17337/>
- D. Y. Lee. (1980b). *treating iowas marginal agregates and soils by foamix process*.
- Departamento administrativo de ciencia tecnología e innovación. *colciencias* 543. , (2012).
- Departamento de planeacion nacional. *Conpes 3857 lineamientos de política para la gestión de la red terciaria*. , (2016).
- Diamond, S. (2006). Transformation of Clay Minerals by Calcium Hydroxide Attack. *Clays and Clay Minerals*, 12(1), 359–379. <https://doi.org/10.1346/ccmn.1963.0120134>
- Eades, J., & Grim, R. (1960). Reaction of hydrated lime with pure clay mineral in soil stabilization. *Highway Research Board*, 262(8), 51–63. Retrieved from <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrbulletin/262/262-005.pdf>
- Ebels, L.-J., & Jenkins, K. J. (2007). Mix design of bitumen stabilised materials: Best practice and considerations for classification. *Proceedings of the 9th Conference on ...*, (September), 213–232.
- Ebels, L. (2008). *Characterisation of Material Properties and Behaviour of Cold Bituminous Mixtures for Road Pavements*.
- Franco, C., & Wood, E. (1983). Stabilisation with foamed asphalt of aggregates commonly used in low volume roads. *Transportation Research Board.*, 898, 297–302.
- Fu, P., Steven, B. D., Jones, D., & Harvey, J. T. (2009). Relating Laboratory Foamed Asphalt Mix Resilient Modulus Tests to Field Measurements. *Road Materials and Pavement Design*, 10(1), 155–185. <https://doi.org/10.1080/14680629.2009.9690186>
- Fu, P., Jones, D., & Harvey, J. T. (2010). Micromechanics of the Effects of Mixing Moisture on Foamed Asphalt Mix Properties. *Jornal of Materials in Civil Engineering*, 22(October), 985–995.
- Gallage, C., Cochrane, M., & Ramanujam, J. (2012). Effects of lime content and amelioration period in double lime application on the strength of lime treated expansive sub-grade soils. *Advances in Transportation Geotechnics* 2, 99–104. <https://doi.org/10.1201/b12754-9>
- Garnica, P., Gómez, J. A., Pérez, A., Martínez, G., Chávez, J. A., & Garnica, Gómez, Pérez, Martínez, & C. (2004). *MÓDULOS DE RESILIENCIA DE AGREGADOS PROVENIENTES DE ROCAS ALTAMENTE INTEMPERIZADAS*. (256), 106. Retrieved from <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnicapt256.pdf>
- Gobierno Nacional; FARC-EP. Acuerdo final para la negociación de una paz estable y duradera. , comision para la paz § (2016).
- Gonzalez, A. A. (2009). *An Expperimental Study of The Deformational and Performance Characteristics of Foamed Bitumen Stabilised Pavements* (Vol. 1). Retrieved from

<https://ir.canterbury.ac.nz/handle/10092/3285>

- González, J. I. (2013). Minería en Colombia. *Revista de Economía Institucional*, 15(28), 389–391. Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0124-59962013000100020&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-59962013000100020&lng=en&nrm=iso&tlng=es).
- Grupo de regalías y contraprestaciones económicas. (2016). Regalías y Contraprestaciones Económicas. Retrieved from Agencia Nacional Minera ANM website: [https://www.anm.gov.co/?q=regalias-contraprestaciones-economicas&field\\_tipo\\_de\\_regal\\_a\\_y\\_o\\_contra\\_value=ProduccionNacionalMinerales](https://www.anm.gov.co/?q=regalias-contraprestaciones-economicas&field_tipo_de_regal_a_y_o_contra_value=ProduccionNacionalMinerales)
- Hailesilassie, B. W., Hugener, M., Bieder, A., & Partl, M. N. (2016). New experimental methods for characterizing formation and decay of foam bitumen. *Materials and Structures*, 49(6), 2439–2454. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0659-6>
- Halles Arévalo, F. A. (2013). Stiffness Evolution Mechanism of Recycled Mixes With Foamed Bitumen and Cement. *Trb*, 9, 189. Retrieved from <https://repositorio.uc.cl/bitstream/handle/11534/4961/000619510.pdf;sequence=1>
- Halles, F. A., & Thenoux, G. Z. (2009). Degree of Influence of Active Fillers on Properties of Recycled Mixes with Foamed Asphalt. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2095(1), 127–135. <https://doi.org/10.3141/2095-13>
- Halles, F., Thenoux, G., & González, Á. (2013). Stiffness Evolution of Granular Materials Stabilized with Foamed Bitumen and Cement. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2363(1), 105–112. <https://doi.org/10.3141/2363-12>
- Hernán, S. T., Echeverría G., G., & Thenoux Z., G. (2004). Estabilización química de suelos: aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos. *Revista de Ingeniería de Construcción*, (6), 24. <https://doi.org/10.7764/ricuc.0.6.323>
- Hilt, G. H., & Davidson, D. T. (1960). Lime Fixation in Clayey soils. *Highway Research Bulletin*, 262(1), 20–36. Retrieved from <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrbulletin/262/262-002.pdf>
- Hodgkinson, A., & Visser, A. T. (2004). The role of fillers and cementitious binders when recycling with foamed bitumen or bitumen emulsion. *8th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa (CAPSA'04)*, (September), CD-ROM.
- invias. (2013). *Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras* (p. 930). p. 930.
- Iwanski, M., & Kowalska, A. C. (n.d.). *Experimental Study of Water and Frost Resistance of Foamed Bitumen Mixes in the Cold Recycling Technology*. (June 2012), 13–15.
- Jameson, G. (2018). Design and Performance of Foamed Bitumen Stabilised Pavements. In *Autroroads Technical Report AP-T336-18*.
- Jenkins, K. (2000). *Mix design considerations for cold and half-warm bituminous mixes with*

*emphasis on foamed bitumen.*

- Jenkins, K. J., Long, F. M., & Ebels, L. J. (2007). Foamed bitumen mixes Shear performance? *International Journal of Pavement Engineering*, 8(2), 85–98. <https://doi.org/10.1080/10298430601149718>
- Jenkins, K. J., & Van de Ven, M. (2001). Guidelines for the Mix Design and Performance Prediction of Foamed Bitumen Mixes. *20th South African Transport Conference South Africa, 'Meeting the Transport Challenges in Southern Africa,'* (July), 12.
- Jitsangiam, Huan, Siripun, Leek, & N., Jitsangiam, P., Huan, Y., Siripun, K., Leek, C., & Nikraz, H. (2012). Effect of binder content and active filler selection on foamed bitumen mixtures: Western Australian experience. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 5(6), 411–418. Retrieved from [http://www.ijprt.org.tw/files/sample/V5N6\(411-418\).pdf](http://www.ijprt.org.tw/files/sample/V5N6(411-418).pdf)
- Jones, D., Fu, P., & Havey, J. (2008). Full-Depth Pavement Reclamation with Foamed Asphalt: Final Report. *University of California*, 34(5), 535–556. <https://doi.org/10.1007/s11116-007-9132-x>
- Karim, H. Abdul. (2015). *Foamed bitumen stabilised sandstone aggregates*.
- Kumar, S. (2004). Evaluation Asphalt-aggregate bond and stripping potential.
- Khweir, K. (2007). Performance of foamed bitumen-stabilised mixtures. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*, 160(2), 67–72. <https://doi.org/10.1680/tran.2007.160.2.67>
- Kim, Y., & Hosin, L. (2007). *Manual of Laboratory Mix Design Procedure for Cold In-place Recycling using Foamed Asphalt (CIR-foam)* (p. 14). p. 14.
- L. H. Csanyi. (1961). BITUMINOUS MIXES PREPARED WITH FOAMED ASPHALT. *Iowa Engineering Experiment Station*, 189, 62. Retrieved from [http://publications.iowa.gov/22015/1/IADOT\\_IHRB\\_Bulletin\\_18\\_Bituminous\\_Mixes\\_Prepared\\_Foam\\_Aspphalt\\_1960.pdf](http://publications.iowa.gov/22015/1/IADOT_IHRB_Bulletin_18_Bituminous_Mixes_Prepared_Foam_Aspphalt_1960.pdf)
- Lancaster, J., McArthur, L., & Warwick, R. (1994). *vicroads experience with foamed bitumen stabilisation* (pp. 193–211). pp. 193–211.
- Lawrence W. Cole, P. E., Shevlin, T., Tutokey, S., & Beeghly, J. (2007). *The Effects of Various Lime Products for Soil Drying*. 10. Retrieved from <http://www.carmeusena.com/sites/default/files/brochures/construction/tr3-soil-drying.pdf>
- Leek, C. (2011). In Situ Foamed Bitumen Stabilisation. *20th Australian Road Research Board Conference*, 133–142.
- Leek, C., & Jameson, G. (2011). *AUSTROADS Technical Report: Review of Foamed Bitumen Stabilisation Mix Design Methods*.
- Lilli, Felix Juan. (1965). Criterio de calidad y bases para la adquisición de cales destinadas a la corrección y estabilización de suelos. *Dirección de Vialidad*, 48, 56.



- Little, D. N. (2000). Evaluation of structural properties of lime stabilized soils and aggregates. *The National Lime Association*, 3(March), 1–16.
- Little, D. N., & Button, J. W. (1983). *Stabilization of Marginal Aggregates with Foamed Asphalt*. 1(2).
- Little, D. N., Button, J. W., & Epps, J. A. (1983). Structural Properties of Laboratory Mixtures Containing Foamed Asphalt and Marginal Aggregates. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 911(1), 104–113. Retrieved from <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1983/911/911-015.pdf>
- Long, F. M., & Theyse “, H. L. (2004). Mechanistic empirical structural design models for foamed and emulsified bitumen treated materials. *8th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa*, (September), 553–568.
- Maccarrone, S., Holleran G., Leonard, D. J. and Hey, S. (1994). Pavement recycling with foamed asphalt. *17th ARRB Conference Part 3.*, pp. 349–365.
- Maccarrone, S., Holleran, G., & Ky, A. (1995). Cold asphalt systems as an alternative to hot mix. *AAPA International Asphalt Conference*.
- Mallela, J., Quintus, H. Von, & Smith, K. L. (2004). Consideration of Lime-Stabilized Layers in Mechanistic-Empirical Pavement Design. *Journal*, 61820(June), 5.
- Matalucci, R. V. (1960). *Laboratory Experiments in the Stabilization of Clay with Gypsum*. 57.
- Mathaniya Twagira, E. (2010). *Influence of Durability Properties on Performance of Bitumen Stabilized Materials*. (January), 285. <https://doi.org/10.3963/j.issn.1671-4431.2010.17.046>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). Desarrollo sostenible.
- Ministerio de transporte de colombia. (2016). Plan maestro de transporte intermodal.
- Molina Díaz, C. A., Mora Mora, Y. S., & Rodríguez Cárdenas, L. G. (2010). Causas de los sobrecostos generados en la construcción de las vías del Plan 2500. *Revista N3 Ingenieros Militares Investigación En Ingeniería Militar y Civil*, 3(2145–3144), 31–37.
- Montepara, a. (2001). *Second International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control July 29 – August 1 , 2001 of Asphalt Pavement Cold-Stabilized*. 1–13.
- Montoya, D. M., Reyes, G. A., & Montoya Arenas & Torres Reyes. (2005). *GEOLOGÍA DE LA SABANA DE BOGOTÁ*. 104. Retrieved from [https://choconta.files.wordpress.com/2007/12/informe\\_geologia\\_sabana\\_bta.pdf](https://choconta.files.wordpress.com/2007/12/informe_geologia_sabana_bta.pdf)
- Muthen, K. M. (1999). *Foamed Asphalt Mixes Mix Design Procedure*. Retrieved from <https://www.viastrade.it/letteratura/bitume/MUTHEN MIX DESIGN.pdf>
- Nataatmadja, A. (2001). Some Characteristics of Foamed Bitumen Mixes. *Transportation Research Board*, 1767(01), 120–125. <https://doi.org/10.3141/1767-15>

- National Lime Association. (2001). Using Lime for Soil Stabilization and Modification. In *the National Lime Association* (Vol. 1). Arlington, Virginia, U.S.
- National Lime Association. (2006). *Manual de estabilización de suelo tratado con cal. Estabilización y modificación con cal* (Vol. 326, p. 46). Vol. 326, p. 46. Arlington, Virginia, U.S: National Lime Association.
- National Lime Association. (2007). Lime Terminology, Standards & Properties. In *National Lime Association*. Retrieved from [https://www.lime.org/documents/publications/free\\_downloads/fact-properties2007rev.pdf](https://www.lime.org/documents/publications/free_downloads/fact-properties2007rev.pdf)
- Newcomb, D. E., Arambula, E., Yin, F., & Zhang, J. (2015). *REPORT 807 Properties of Foamed Asphalt for Warm Mix Asphalt Applications*.
- Nicolas, M. (2013). *Seguimiento y control de calidad. Rehabilitacion Ruta Prov. A-174*.
- Olinic, T., & Olinic, E. (2016). The effect of quicklime satabilization on soil properties. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 10(September), 444–451. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.09.013>
- Onyelowe, K. C., & Okofo, F. O. (2012). Geochemistry of Soil Stabilization. *ARP Journal of Earth Sciences*, 1(1), 32–35.
- Organización de las Naciones Unidas. (2017). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2014). *Promedio de precipitaciones (mm anuales)*.
- Oruc, S., Celik, F., & Akpinar, M., Oruc, S., Celik, F., & Akpinar, M. V. (2007). Effect of Cement on Emulsified Asphalt Mixtures. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 16(5), 578–583. <https://doi.org/10.1007/s11665-007-9095-2>
- Ouhadi, V. R., Yong, R. N., Amiri, M., & Ouhadi, M. H. (2014). Pozzolanic consolidation of stabilized soft clays. *Applied Clay Science*, 95, 111–118. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.03.020>
- Ozturk, H. (2013). *Quantification of quality of foamed warm mix asphalt binders and mixtures*. 232.
- Patiño Alzate, B. M. (2016). Proyectos de infraestructura vial e integración territorial. *Bitácora Urbano Territorial*, 26(2), 79. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v26n2.57431>
- Pardo, S. (2018). Ecuaciones constitutivas de módulo resiliente para materiales tratados con asfalto espumado.
- portafolio. (2018). Caltek, el nuevo negocio de cementos Argos. Portafolio-El Tiempo, 1. Retrieved from <https://www.portafolio.co/negocios/empresas/caltek-el-nuevo-negocio-de-cementos-argos-514460>
- Pavimentos, R. D. E., & Econ, V. (2015). *Estudio de las ventajas económicas del reciclaje en frío IN SITU de pavimentos asfálticos*. 86.

- Pérez, I. P., & Rodríguez, L. M. (2002). Ecuaciones constitutivas de modulo resiliente en zahorra. *Universidad Politécnica de Madrid*.
- Poh, K. (2001). Stress-Strain-Temperature Relationship for Structural Steel. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 13(5), 371–379. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2001\)13](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2001)13)
- portafolio. (2018). Caltek, el nuevo negocio de cementos Argos. *Portafolio-El Tiempo*, 1. Retrieved from <https://www.portafolio.co/negocios/empresas/caltek-el-nuevo-negocio-de-cementos-argos-514460>
- Procecal sas. (2017). *Costo de la cal en colombia* (p. 2). p. 2.
- Quintero, J. D. (2016). Guía de buenas prácticas para carreteras ambientalmente amigables. In L. A. conservation Council (Ed.), *The Nature Conservancy*. Retrieved from [http://fcds.org.co/site/wp-content/uploads/2018/09/carreteras-ambientalmente-amigables\\_WEB\\_02\\_2016-1.pdf](http://fcds.org.co/site/wp-content/uploads/2018/09/carreteras-ambientalmente-amigables_WEB_02_2016-1.pdf)
- Quintus, H. Von, & Smith, K. L. (2004). *Consideration of Lime-Stabilized Layers in Mechanistic-Empirical Pavement Design*. 61820(June).
- Ramanujam, J. M., & Jones, J. D. (2007). Characterization of foamed-bitumen stabilisation. *International Journal of Pavement Engineering*, 8(2), 111–122. <https://doi.org/10.1080/10298430601149676>
- Rogers, C. D. F. D. F., Roff, T. E. . E. J., Miht, M., Glendinning, S., & Roff, T. E. . E. J. (1997). Lime Modification of Clay Soils for Construction Expediency. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Geotechnical Engineering*, 125(4), 242–249. <https://doi.org/10.1680/igeng.1997.29660>
- Ronald, M., & Luis, F. P. (2016). Asphalt emulsions formulation: State-of-the-art and dependency of formulation on emulsions properties. *Construction and Building Materials*, 123, 162–173. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.129>
- Rondón, H. A., Reyes, F. A., Sánchez Cotte, E., & Rondón, R., & S. C. (2012). Comportamiento resiliente de materiales finogranulares en subrasantes. *Tecnura*, 16(Octubre), 173–184. Retrieved from <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/download/6830/8414/>
- Ruckel, P. J., Acott, S. M., & Bowering, R. H. (1983). Foamed-Asphalt Paving Mixtures: Preparation of Design Mixes and Treatment of Test Specimens. *Transportation Research Record*, Vol. 911, pp. 88–95.
- Sabogal, F. (2009). Curso basico de diseño de pavimentos, escuela colombiana de ingenieria julio garavito modulo 12.
- Salazar, A. A. (2013). *Propuesta de una guía de rehabilitación de pavimentos flexibles mediante el reciclaje in situ en frio* (Universidad de los Andes). Retrieved from <http://repositorio.uniandes.edu.co/xmlui/1992/11366>
- Saleh, M. F. (2004). New Zealand Experience with Foam Bitumen Stabilization.

*Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1868(1), 40–49. <https://doi.org/10.3141/1868-05>

Sanchez, G. (2002). Desarrollo y medio ambiente: una mirada a Colombia. *Fundacion Universitaria Autonoma de Colombia*, 1(1), 80–98.

servicio geologico colombiano. (2015). visor atlas geologico de colombia.

Sistema de informacion minero colombiano. (2018). produccion de calizas.

Shojaei, M., Ismail, A., & Rehan, M. (2015). Evaluation of cement-treated mixtures with slow setting bitumen emulsion as base course material for road pavements. *Construction and Building Materials*, 94(July), 323–336. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.057>

Sierra, H. A. R., & Zapata, S. A. S. (2015). Estudio de las Ventajas Económicas del Reciclaje en frío in situ de pavimentos asfálticos. Universidad de Medellín.

Smith, B. S. (2006). Design and Construction of Pavements in Cold Regions: State of the Practice. *All Theses and Dissertations*, 1111, 179. Retrieved from <https://scholarsarchive.byu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2110&context=etd>

Sri Sunarjono. (2008). *THE INFLUENCE OF COLD-MIX ASPHALT PROPERTIES*.

Technikon, P. (2001). *A study into the mechanical properties of foamed bituminous stabilised materials*. (November).

Thenoux Z., G., & Jamet, A. (2013). Summary for Policymakers. In Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed.), *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis* (Vol. 53, pp. 1–30). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Vaca, M. T. (2012). *La caliza en Colombia: Geología, Recursos, Calidad y potencial*. (1. ed., p. 407). 1. ed., p. 407. Retrieved from <https://searchworks.stanford.edu/view/10192452>

Vargas Núñez, P. (2016). La Edad de Oro de los Materiales de Construcción. *Portafolio*, p. 1. Retrieved from <http://www.portafolio.co/economia/infraestructura/edad-oro-materiales-construccion-155176>

Vidal, J., & Osorio, R., Vidal, J., & Osorio, R. (2012). Módulo Resiliente de Suelos Finogranulares. *Revista Universidad Eafit*, 125(125), 63–71. Retrieved from <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/download/957/862/>

Vorobieff, G., & Preston, N. (2004). Bitumen Stabilisation—An Australian Perspective. *NZIHT Stabilisation of Road Pavements Seminar*, (June), 1–19. Retrieved from <http://www.auststab.com.au/pdf/tp33.pdf>

Wilmot, T. D. (2006). The Importance of Stabilization Techniques for Pavement Construction. *Research into Practice: 22nd ARRB Conference*, (October), 11. Retrieved from <http://worldcat.org/isbn/1876592494>

Wilson, P. L. (2011). *Effectiveness of lime stabilisation on reactive soil for main roads*.

(October), 90.

WIRTGEN. (2016). *Betún espumado*.

Wirtgen Group, & Wirtgen. (2012). *Wirtgen Cold Recycling Technology*. 367.

Xu, J.-Z., Hao, P.-W., Ma, Y.-F., & Liu, N. (2012). Study on the optimization design of mixing moisture content in foamed asphalt mix. *Materials and Structures*, 45(7), 1071–1085. <https://doi.org/10.1617/s11527-011-9817-7>

Yepes, T., Ramírez, J., Villar, L., & Aguilar, J. (2013). Infraestructura de transporte en Colombia. In *Cuadernos Fedesarrollo* (Vol. 46). Colombia: Centro de investigación económico y social - Fedesarrollo.

Yunus, N. Z. M., Wanatowski, D., Stace, R., Marto, A., Abdullah, R. A., & Mashros, N. (2014). A short review of the factors influenced lime-clay reactions. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 19(X), 8305–8318. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/265511540\\_A\\_Short\\_Review\\_of\\_the\\_Factors\\_Influencing\\_Lime-Clay\\_Reactions](https://www.researchgate.net/publication/265511540_A_Short_Review_of_the_Factors_Influencing_Lime-Clay_Reactions)

Zhang, J., Arambula, E., Newcomb, D., Bhasin, A., & Little, D. (2015). Effects of Asphalt Source, Asphalt Grade, and Inclusion of Additives on Asphalt Foaming Characteristics. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2505(2505), 76–83. <https://doi.org/10.3141/2505-10>

## **Capítulo 3 – Materiales, procedimientos de laboratorio y métodos de ensayo**

En este capítulo se presenta la caracterización de los agregados, de los llenantes activos ( $\text{CaO}$  y  $\text{Ca(OH)}_2$ ), y del asfalto, usados en la elaboración de las mezclas, basándose principalmente en la normativa colombiana del Instituto Nacional de Vías - INVIAS, con el fin de conocer las características principales y así clasificar su idoneidad en el uso de esta investigación. En este capítulo se incluye:

- La selección y caracterización de los materiales: material granular virgen, llenantes activos y cemento asfáltico.
- Caracterización de la FA.
- Modificación de los agregados con  $\text{CaO}$  y  $\text{Ca(OH)}_2$ .

### **3.1 Material granular virgen.**

Se seleccionaron dos tipos de materiales pétreos, con finos de tipo arcilloso, con la identificación, localización y características que se indican a continuación.

#### **Granular 1 - PF**

Identificado como material (PF), proviene, del municipio de Samacá, en el departamento de Boyacá, ubicada a 140 kilómetros de Bogotá. El yacimiento está conformado principalmente por shales, calizas, fosforitas, cherts, cuarzoarenitas e illitas (servicio geológico colombiano, 2015), debido a esta variedad de rocas, durante el proceso de trituración y selección, se produce una cantidad considerable de material el cual no es apto, debido a que no cumple los estándares de calidad exigidos por el Instituto Nacional de Vías. (INVIAS, 2013) y este material lo tomaremos para su análisis en el proceso de estabilización con FA y llenantes activos.



Figura 71. Fuente material PF. Fuente: Elaboración del autor.

### Caracterización material PF.

La granulometría del material PF, se realizó bajo los lineamientos de la norma INVIAS 213-2013. Aun cuando el material presenta un alto contenido de finos (fracción inferior a 0.075 mm) se encuentra dentro de la recomendada en el manual TG2 para los BSM.

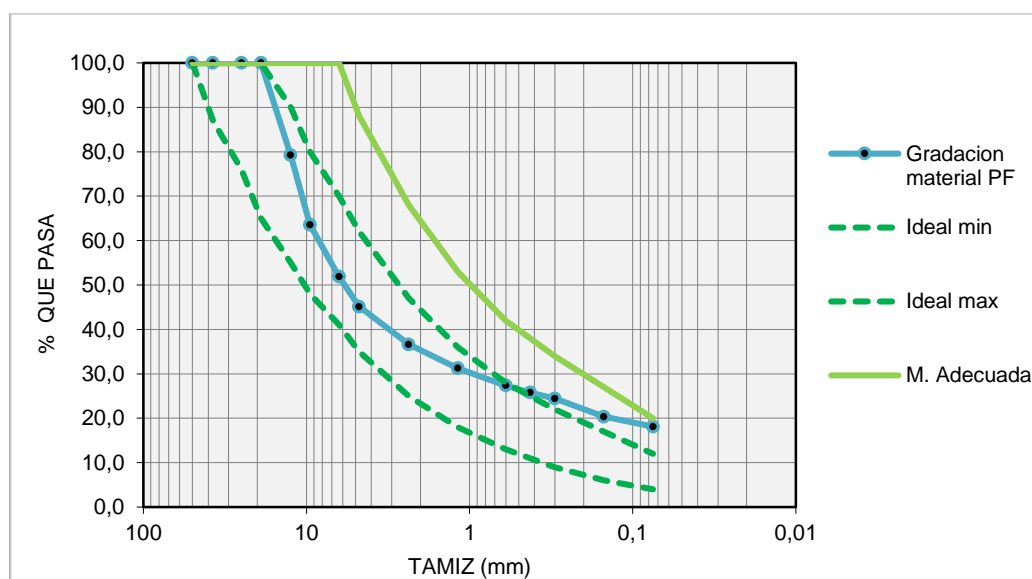


Figura 72. Curva granulométrica del material PF comparado con las franjas recomendadas por la metodología TG2. Fuente: elaboración del autor.

Siguiendo los lineamientos de la norma INVIAS del año 2013, se realizan ensayos de caracterización del material virgen, con el fin de analizar el cumplimiento con los estándares de calidad, en la Tabla 13 se resumen los resultados de cada ensayo:

Tabla 13. Características del material PF.

Ensayo	Norma INVIAS - 2013	Resultado
Clasificación SUCS	102	GC
Clasificación AASHTO	-	A-2-6
Tamaño máximo del agregado (mm)	213	19mm
Material pasa tamiz #4(4,75mm)	213	39 %
Material pasa tamiz #200(0,075mm)	213	19%
Cantidad de arcilla - AASHTO (<0,002mm) (%)	123	5,1%
Gravedad específica	222/223	2,712
Absorción (%)	222/223	3,6%
Límite líquido (%)	125	35
Límite plástico (%)	126	16
Índice de plasticidad (%)	-	19
Equivalente de arena (%)	133	15%
Azul de metileno (mg/g)	235	12
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznable en gruesos (%)	211	0,03%
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznable en finos (%)	211	0,96%
Materia orgánica por ignición	121	1,6%
Degradación por abrasión en el equipo micro-deval (%)	218	37%
Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10% de finos (kN)	224	100 kN
Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10% de finos (relación húmedo/seco) (%)	224	68%

Fuente: Elaboración del autor

Según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), el material clasifica como grava arcillosa - GC, y por la clasificación AASHTO como A-2-6. De acuerdo con la normativa colombiana, este material se podría utilizar solo como material de terraplén y rellenos para suelos adecuados.



Para el material PF también se obtuvo la relación entre la densidad seca y la humedad óptima de compactación, el procedimiento se realizó bajo los lineamientos de la norma INV E 142-13 “Relaciones de humedad – peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación)” de acuerdo con la norma INV E 142-13, obtenida para el material PF se muestra en la Figura 73

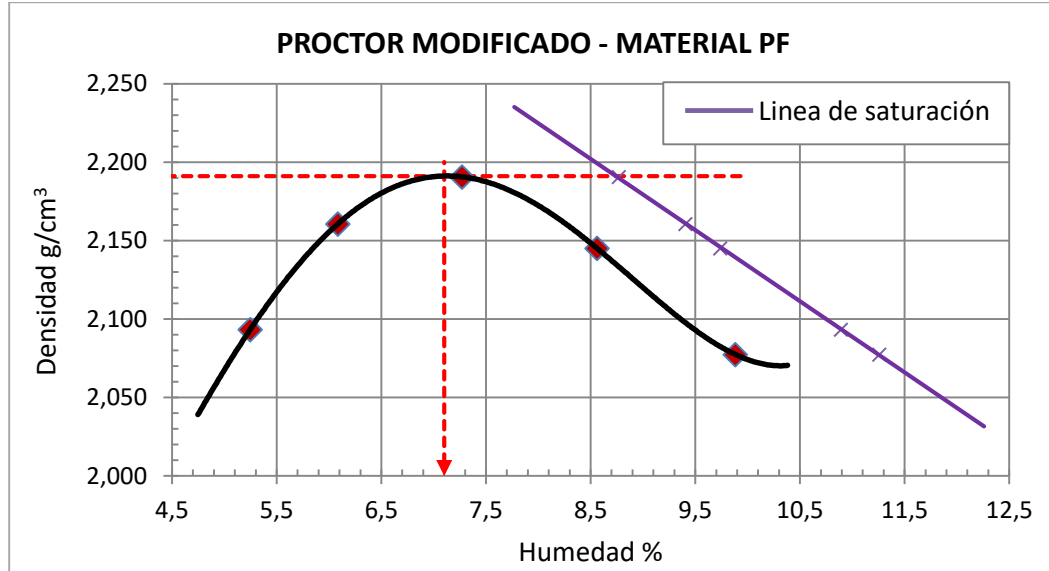


Figura 73 Relación humedad vs Densidad seca para el material PF. Fuente: Elaboración del autor.

En la Figura 73, se observa que el material PF presenta una máxima densidad seca de 2,191 g/cm<sup>3</sup> y una humedad óptima de 7,1%.

**Granular 2 - PG:**

Identificado como material PG, proviene del municipio de Mondoñedo, del departamento de Cundinamarca, a 33 kilómetros de Bogotá. De acuerdo con Montoya y Reyes (Montoya Arenas & Torres Reyes, 2005) en la zona se presentan areniscas y limolitas, con material cuarzoso de grado muy fino, y en menor cantidad de minerales de arcilla. En esta zona se produce gran cantidad de material denominado recebo con el que se abastece la ciudad de Bogotá D.C.



Figura 74. Fuente material PG. Fuente: Elaboración del autor.

### Caracterización material PG.

La granulometría del material PG, se realizó bajo los lineamientos de la norma INVIAS 213-2013. El material presenta una gradación discontinua entre los tamices de abertura 1mm y 0.2 mm, aun cuando se encuentra dentro de la franja granulométrica recomendada en el manual TG2 para los BSM.

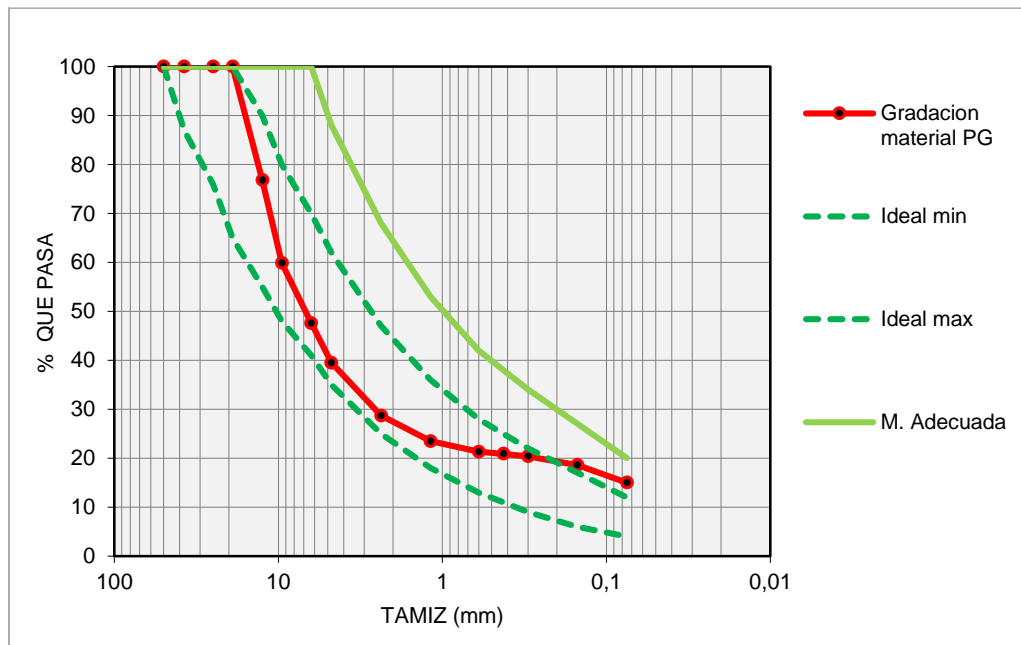


Figura 75. Curva granulométrica del material PG comparado con las franjas recomendadas por la metodología TG2. Fuente: Elaboración del autor.

Como observamos en la Figura 75, este material también cumple para ser tratados con FA, con un incremento al final pero que entra dentro de la zona adecuada. Al igual que para el anterior material, al material PG se le realizó la caracterización de acuerdo a la norma INVIAS, con el fin de analizar si el material se categoriza como un material no estándar, en la Tabla 14 se resumen los resultados de cada ensayo:

Tabla 14. Características del material PG.

Ensayo	Norma INVIAS - 2013	Resultado
Clasificación SUCS	102	GC
Clasificación AASHTO	-	A-2-6
Tamaño máximo del agregado (mm)	213	19mm
Material pasa tamiz #4(4,75mm)	213	32%
Material pasa tamiz #200(0,075mm)	213	14%
Cantidad de arcilla - AASHTO (<0,002mm) (%)	123	4,2%
Gravedad específica	222/223	2,570
Absorción (%)	222/223	5,1%
Límite líquido (%)	125	29%
Límite plástico (%)	126	17%
Índice de plasticidad (%)	-	12%
Equivalente de arena (%)	133	16%
Azul de metileno (mg/g)	235	5
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznable en gruesos (%)	211	0,01%
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznable en finos (%)	211	0,59%
Materia orgánica por ignición	121	1,7%
Degradación por abrasión en el equipo micro-deval (%)	218	25%
Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10% de finos (kN)	224	155 kN
Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10% de finos (relación húmedo/seco) (%)	224	80%

Fuente: Elaboración del autor.

Como se observa en la Tabla 14, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), el material se clasifica como unas gravas arcillosas, y por la clasificación AASHTO, no recomienda su uso como material para carreteras, aunque presenta un índice de plasticidad menor que el material PF, este sigue siendo alto.

Para el material PG también se obtuvo la relación entre la densidad seca y la humedad óptima de compactación, el procedimiento se realizó bajo los lineamientos de la norma INV E 142-13 "Relaciones de humedad – peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación)" la Figura 76 muestra la curva de humedad vs densidad seca

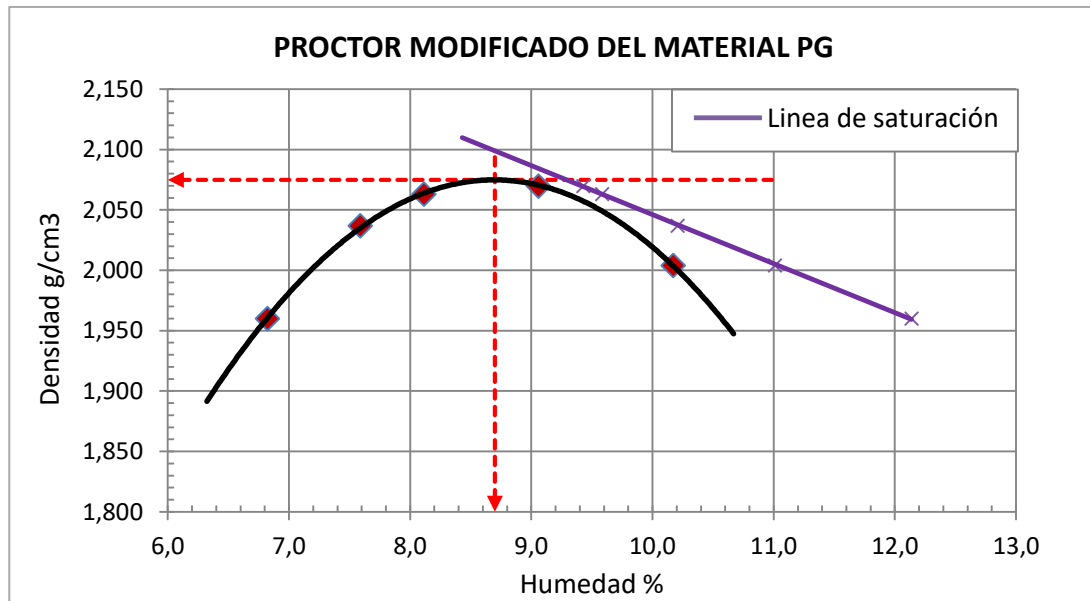


Figura 76. Relación humedad vs densidad seca para el material PG. Fuente: Elaboración del autor.

En la Figura 76, se observa que el material PF presenta una máxima densidad seca de 2,065 g/cm<sup>3</sup> y una humedad óptima de 8,7%. Estos valores son importantes para la elaboración de las probetas para los diferentes ensayos mecánicos de las BSM.

Con el fin de conocer si los materiales PF y PG se catalogan como materiales no estándar en el uso de pavimento, estos se comparan con los estándares de una

sub-base granular (SBG) para una clase A, debido a que este material es comúnmente utilizado en estructuras de menor envergadura, bajo las especificaciones establecida por el INVIAS, esta verificación se dará en granulometría (ver Figura 77) y sus características principales como se observa en la Tabla 15

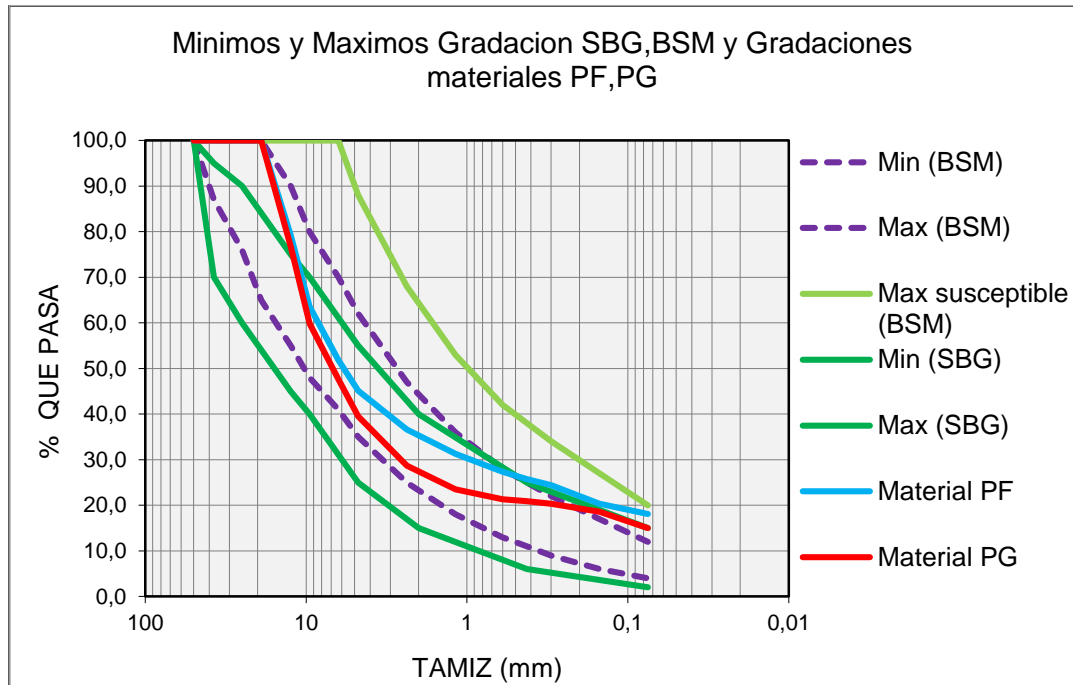


Figura 77. Diferencias granulométricas material PF y PG, con los criterios de máximos y mínimos de una SBG y BSM

Como observamos en la Figura 77, los dos materiales por gradaciones no cumplen para una SBG 38, principalmente por el contenido de finos de los materiales PG y PF, de igual forma el material PG presenta un mayor contenido de materiales comprendido entre los tamices #4 (4,75 mm) y #40 (0,425 mm), con un contenido de finos muy similar.

Tabla 15 Principales diferencias de las características del material PF y PG ,con los valores mínimos requerido para una SBG-38.

<b>Ensayo</b>	<b>Especificación INVIAS 320 -13</b>	<b>Material PF</b>	<b>Material PG</b>
Gravedad especifica (INV E 222/223-13)	N/A	2,712	2,570
Absorción (%), (INV E 222/223-13)	N/A	3,6%	5,1%
Limite liquido (%),(INV E 125-13)	25	35%	29%
Índice de plasticidad (%),(INV E 125/126-13)	6	19%	12%
Equivalente de arena (%),(INV E 13313)	25	15%	16%
Azul de metileno,(mg/g) (INV E 235-13)	N/A	12	5
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznable en gruesos (%),(INV E 211-13)	2	0,03%	0,01%
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznable en finos (%),(INV E 211-13)	2	0,96%	0,59%
Materia orgánica por ignición, (INV E 121-13)	N/A	1,6%	1,7%
Degradación por abrasión en el equipo micro-deval (%), (INV E 218-13)	30	37%	25%
Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10% de finos (kN), (INV E 224-13)	N/A	100 kN	155 kN
Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10% de finos (relación húmedo/seco) (%),(INV E 224-13)	N/A	62%	80%

Fuente: Elaboración del autor.

Al analizar los valores observados en la Tabla 15, los dos materiales no cumplen con el criterio mínimo de calidad en algunos ensayos. Importante resaltar que el material PF presenta mayor susceptibilidad al gua ya que en ensayos de micro-deval, se pierde un 37% de desgaste, al igual en la evaluación e la resistencia la

cual da menor a un 75% si se compara con una base granular (BG) de la especificación 330-13. De igual forma ambos materiales presentan una elevada absorción, más el material PG, Adicionalmente el material PF presenta mayor actividad de las arcillas debido a que este presenta un valor de 12 mg/g en el ensayo de azul de metileno, y el material

En general los materiales al evaluarlos no clasificarían como materiales idóneos, si se toma como base la especificación 320-13 de la SBG, debido a factores desde su contenido de finos, índice de plasticidad, desgaste y resistencia, mientras para la guía TG2, establece que estos materiales son susceptibles a la estabilización con FA, siempre y cuando se maneje una plasticidad del material inferior al 10%.

### **3.2 Cemento asfáltico.**

El cemento asfáltico utilizado en la investigación es de una penetración 60/70  $_{1/10\text{mm}}$  de la refinería de Barrancabermeja. En la Tabla 17 observamos los ensayos de control de calidad, suministrados por el proveedor con el fin de corroborar los datos suministrados se realizaron algunos ensayos control como se observa en la Tabla 16 adicionalmente, se presentan las curvas de viscosidad – temperatura en la Figura 78.

Tabla 16 Caracterización asfalto 80/100 (1/10mm).

Propiedad	Unidad	Norma de ensayo	Resultado
Penetración (25°C, 100g, 5 s)	0,1mm	INV E 706	95,3
Punto de Ablandamiento	°C	INV E 712	47,6
Índice de penetración	-	INV E 724	-0,1
Peso específico	Kg/m <sup>3</sup>	INV E 707	1010
Viscosidad absoluta (60°C)	cP	INV E 717	212833
Viscosidad a 90°C	cP	INV E 717	8250
Viscosidad a 135°C	cP	INV E 717	417
Viscosidad a 150°C	cP	INV E 717	201
Viscosidad a 160°C	cP	INV E 717	134

Fuente: Elaboración del autor.

Tabla 17. Certificado de calidad del asfalto 80/100 (1/10 mm).

Características	Unidad	Norma de ensayo	Resultado
Penetración (25°C, 100g, 5 s)	0,1 mm	INV E 706	95,3
Punto de Ablandamiento	°C	INV E 712	45,1
Índice de penetración	-	INV E 724	-0,91
Viscosidad absoluta (60°C)	cP	INV E 716	196000
Ductilidad a 25°C	cm	INV E 702	>100
Solubilidad en tricloroetileno	%	INV E 713	99,62
Contenido de agua	%	INV E 704	0
Punto de ignición mediante copa abierta de cleveland	°C	INV E 709	268
Contenido de parafinas	%	INV E 718	1,7
Peso específico 25°C	Kg/m <sup>3</sup>	INV E 707	1011,12
Pérdida de masa por calentamiento en película delgada en movimiento (163°C, 85 minutos)	%	INV E 720	0,268
Penetración del residuo luego de la pérdida por calentamiento (INV E 720), en % de la penetración original	%	INV E 706	56,34
Incremento en el punto de ablandamiento luego de la pérdida por calentamiento en película delgada en movimiento	°C	INV E 712	8,8
Índice de envejecimiento	-	INV E 716/717	3,12
Viscosidad a 100°C	cP	INV E 717	2400
Viscosidad a 135°C	cP	INV E 717	286,1
Viscosidad a 150°C	cP	INV E 717	148,1
Viscosidad a 160°C	cP	INV E 717	100,5

Fuente. Suministrados por el proveedor.



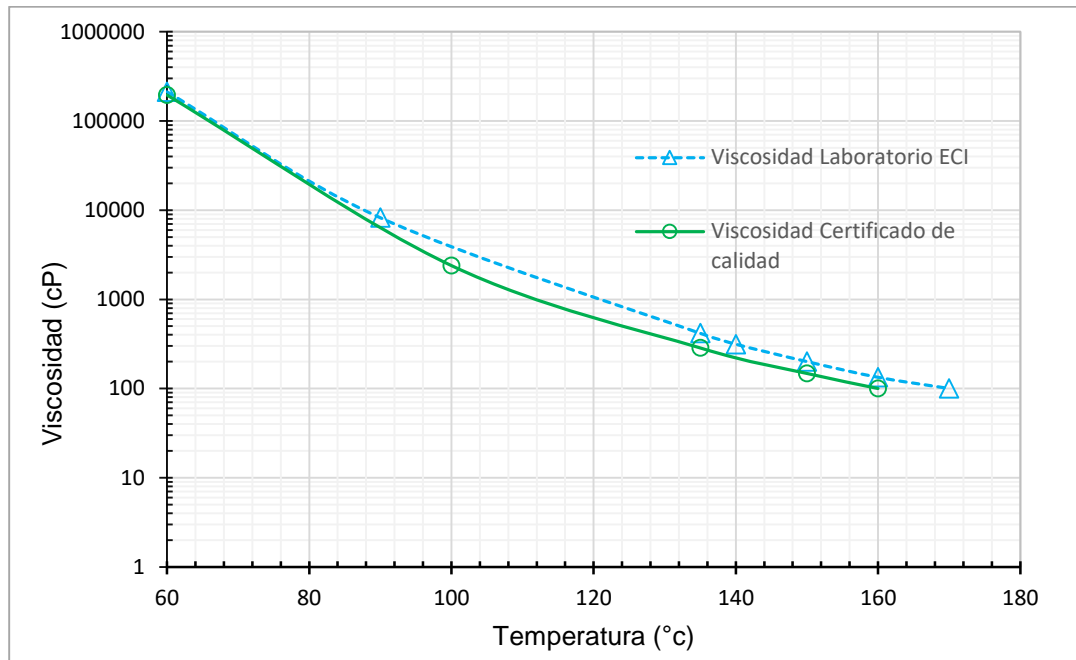


Figura 78. Curva reológica del asfalto 80/100 (1/10 mm) normalizado. Fuente Elaboración del autor.

Como observamos Tabla 16 y Figura 78, el asfalto cumple con las características establecida por el INVIAS, como asfalto 80/100, al comparar la caracterización del asfalto con el certificado suministrado por el proveedor (ver Tabla 17), no se presenta ninguna diferencia, por lo cual corrobora que el asfalto se encuentra dentro del rango seleccionado para este trabajo.

### 3.3 Caracterización de la FA y parámetros de diseño.

Para obtener un buen comportamiento de las BSM es necesario tener una buena caracterización de la FA, en esta caracterización se busca obtener la mejor relación de ER y HL. El proceso de espumado se realizó en la planta WLB 10s de Wirtgen (ver Figura 79) esta planta cuenta con la tecnología suficiente para controlar la temperatura, el caudal, y las presiones de agua y aire del sistema, y dosificación del asfalto.



Figura 79. Planta de FA WLB 10s Wirtgen. Fuente: Elaboración del autor.

Para establecer los porcentajes óptimos de agua y temperatura, a la cual se presentan las mejores relaciones de ER y HL, se realizaron pruebas variando el FWC de 2,5%, 3,5% y 4,5% con temperaturas de 140°C, 150°C, 160°C y 170°C con el fin de evaluar los resultados obtenidos, estos se analizarán utilizando los valores mínimos, para ER de 10 y HL de 6, de acuerdo a la metodología TG-2, para agregados a temperaturas entre 10°C a 25°C (ver Figura 80)

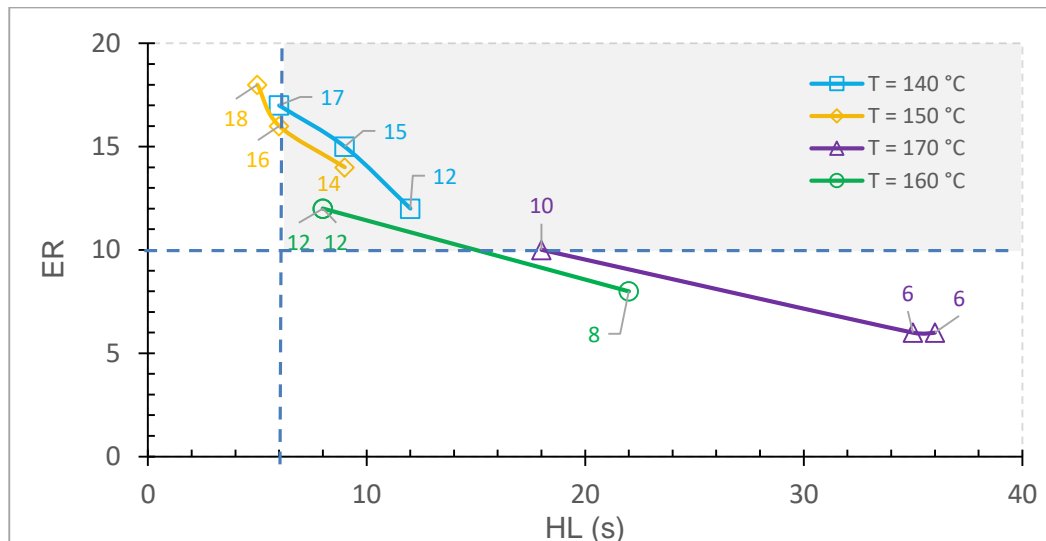


Figura 80 Relación de ER y HL a temperaturas comprendidas entre 140°C y 170°C de un asfalto 80/100 (1/10mm). Fuente: Elaboración del autor.

En la Figura 80, observamos la relación entre el ER y HL, de las diferentes temperaturas, y el área sombreada son los valores que dentro de lo recomendado por la metodología TG-2 cumplen con el criterio, para la temperatura de 140°C y 150°C son las que presentan el mejor relación de HL y ER , Con el fin de definir mejor este comportamiento de la FA a estas temperaturas se realizaron análisis con respecto a las variables ER, HL, como se observa en la Figura 81 y Figura 82.

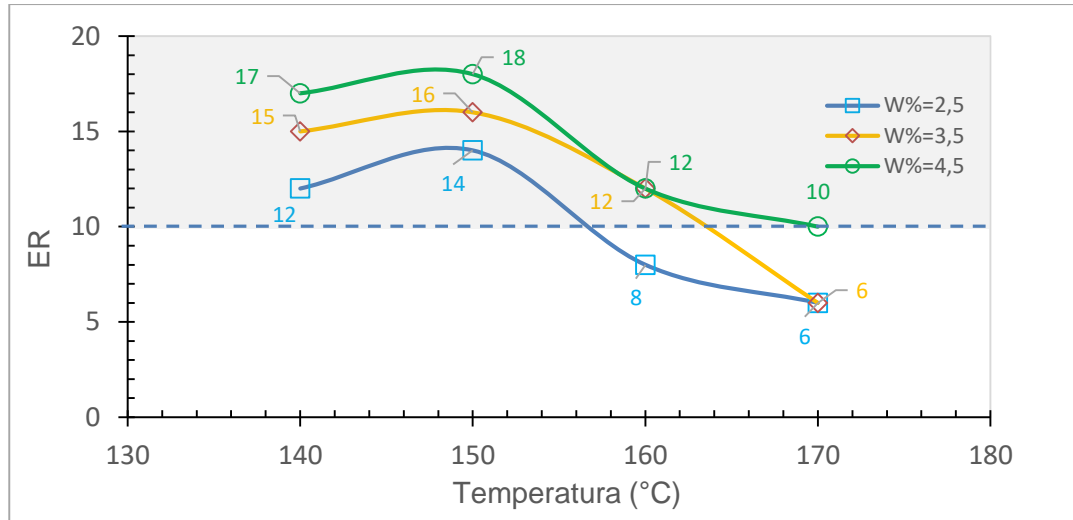


Figura 81. Relación de ER y Temperatura (°C) a diferentes FWC de un asfalto 80/100 (1/10mm). Fuente Elaboración del autor.

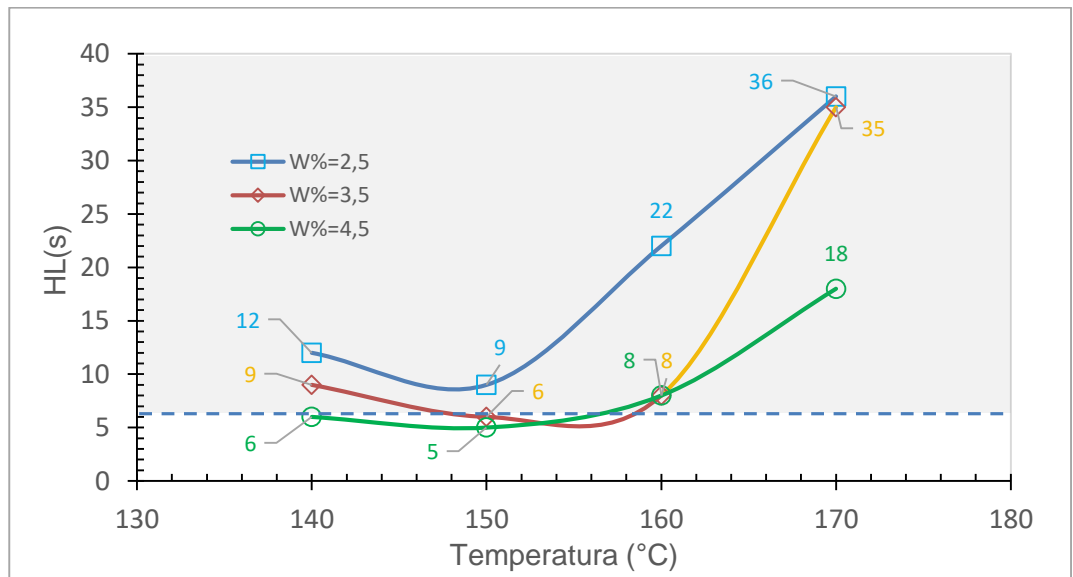


Figura 82 Relación de HL y temperatura (°C) a diferentes FWC de un asfalto 80/100 (1/10mm). Fuente Elaboración del autor.

En la Figura 81, la ER se ve afectada a medida que se aumenta la temperatura, especialmente a temperaturas superiores a 150°C y es más estable entre temperaturas de 140 a 150°C, también se puede observar un efecto significativo, cuando el FA se produce a diferentes FWC, a medida que este aumenta el ER aumenta y no se ve afectado con la temperatura.

Respecto a HL como observamos en la Figura 82, esta se ve afectada tanto por los cambios de temperatura y el FWD, se presenta HL estables en temperaturas de 140°C y 150°C, ligeramente mayor a una temperatura de 140°C.

Al analizar la Figura 80, Figura 81 y Figura 82 y tomando el criterio de la metodología TG2 nos indica que a una temperatura de 140°C se establece la mejor relación entre ER y HL, por lo cual a partir de esta temperatura se analizara el FWC como se observa en la Figura 83

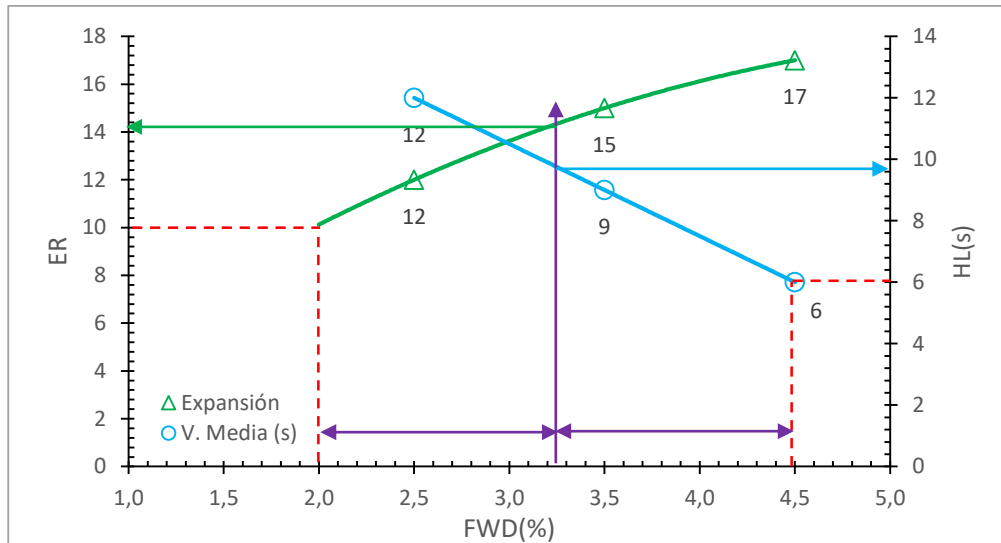


Figura 83. contenido óptimo de FWC para una temperatura de 140°C de un asfalto 80/100 (1/10mm). Fuente Elaboración del autor.

Tomando los valores de ER mínimo de 10 y HL de 6 establecidos por la guía TG2, como se observa en la Figura 83 se encuentra que el óptimo de FWC es de 3,3%, con una ER de 14 y HL de 10 para este FWC.

Adicionalmente se realizó análisis de FI, para verificar si el valore de FWC calculado de acuerdo a la metodología TG2, es el correcto, en la Figura 84 se observa los diferentes valores de FI, calculado de acuerdo con lo establecido por Jenkins

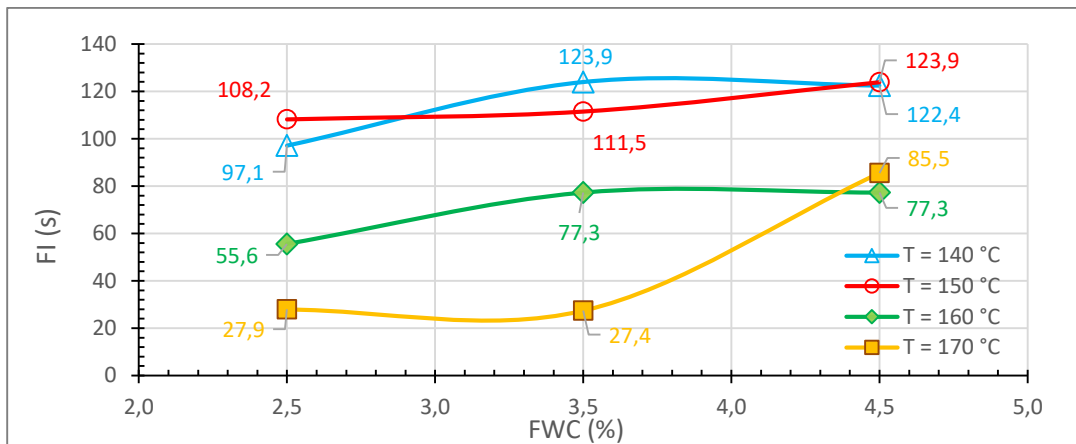


Figura 84. Relación de FI y FWC, a diferentes temperaturas. Para un asfalto 80/100 (1/10mm). Fuente Elaboración del autor.

Como observamos en la Figura 84, efectivamente a bajas temperaturas para el asfalto 80/100 (1/10mm), presenta mayor FI, el comportamiento, del FI con respecto al FWC no es lineal, y presenta variación si la analizamos en las diferentes temperaturas, para una temperatura de 140°C presenta el mayor FI. En la Figura 85, analizamos el FI para un valor de FWC óptimo de 3,25%, de acuerdo a la metodología TG2 y el valor optimo obtenido para el mayor FI.

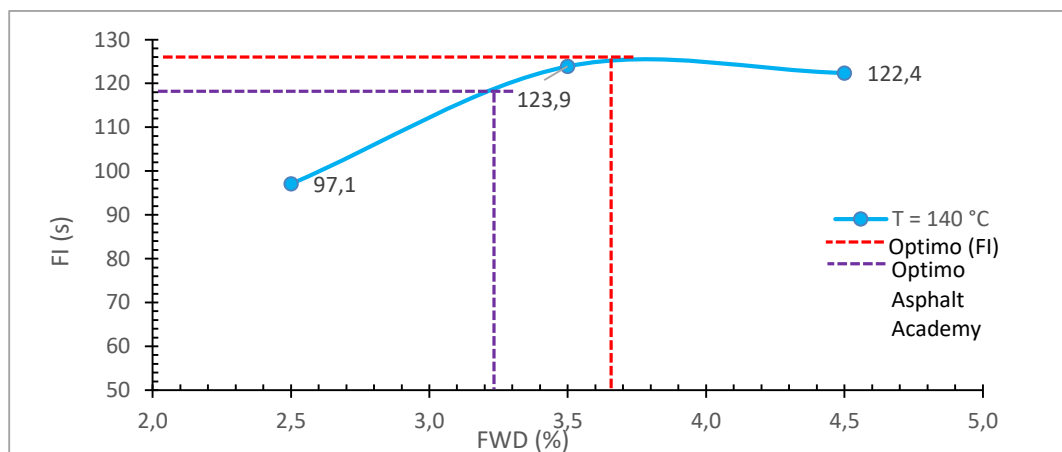


Figura 85. Óptimo de FWC a una temperatura de 140°C, en función de FI. Fuente Elaboración del autor.

En la Figura 85, observamos que a una temperatura de 140°C se obtiene un máximo de FI de 127 segundos, para un óptimo de agua de 3,7%, mientras que para un óptimo de 3,25% para la metodología TG2 se obtiene un FI de 118s. A partir de lo anterior, en la Tabla 18 se resumen los parámetros de diseños seleccionados.

Tabla 18. Parámetros de diseño de la FA.

Parámetros.	Valores
Temperatura	140°C
FWC	3,5%
ER	15
HL	9 s
FI	124 s

Fuente Elaboración del autor.

### 3.4 Caracterización de CaO y Ca(OH)<sub>2</sub>.

El CaO y Ca(OH)<sub>2</sub>, se caracterizó con el fin de conocer sus propiedades de reacción químicas y físicas con el suelo, y disponer de un criterio uniforme para poder comparar la capacidad de cada una de ellas. Este análisis se realiza de acuerdo con la norma de ensayo INV E 602 – 13 “*Determinación del contenido de cal útil vial (CUV) en una cal comercial*” cuyos resultados se observan en la Figura 86 . El CaO y Ca(OH)<sub>2</sub> se seleccionaron de proveedores del mercado local.

En la Figura 86, se muestra la variación de pH con respecto al consumo de ácido clorhídrico (HCL) a 1 normal, criterio establecido por Feliz Lilli en 1965 (Lilli, 1965), donde a mayor consumo de HCL para llegar pH7 es indicativo que el material es más calcio, el CUV, se obtiene de las siguientes expresiones para CaO por medio de la ecuación ( 3.1 ) y Ca(OH)<sub>2</sub> por medio de la ecuación ( 3.2 ):

$$CaO = \frac{0,028 * n * N1}{3} * 100 \quad (3.1)$$

$$Ca(OH)2 = \frac{0,037 * n * N1}{3} * 100 \quad (3.2)$$

Donde:

N: Cantidad de solución de HCL consumida hasta un pH de 7

N1: Normalidad de la solución acida.

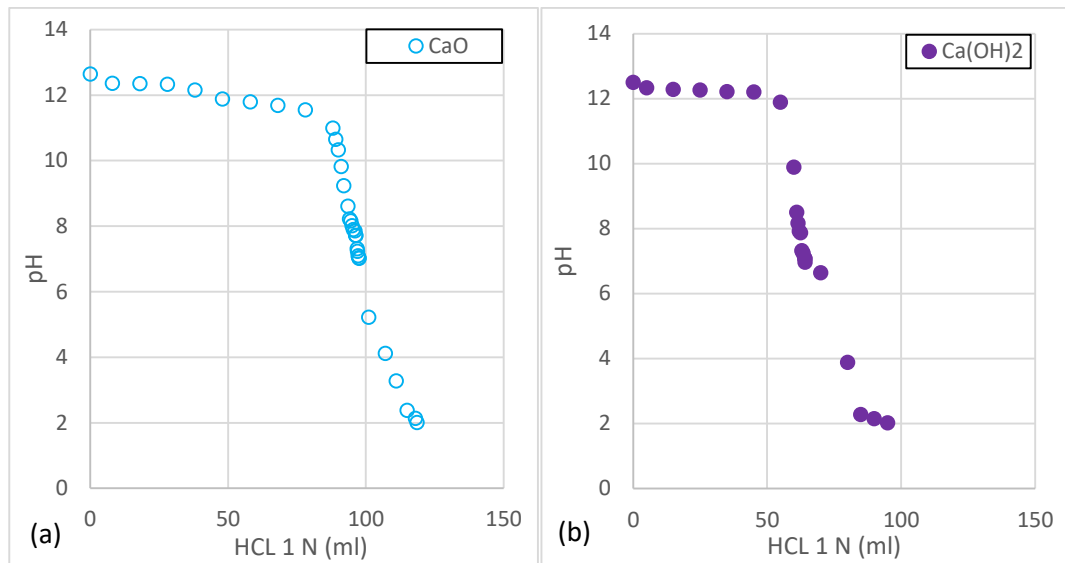


Figura 86 a) Curva pH vs HCL 1N para el CaO. b) curva pH vs HCL 1N para el Ca(OH)<sub>2</sub>. Fuente: Elaboración del autor.

Este porcentaje de CUV, es el porcentaje de cal que es capaz de reaccionar con el suelo, adicionalmente la cal en forma de carbonatos, sulfatos u otros compuestos no son capaces de reaccionar con el suelo, esta cantidad de material inerte se obtiene de la siguiente expresión:

$$CaCO_3 = \frac{0,05 * [(m - n) * N1 - N2 * L]}{3} * 100$$

( 3.3 )

Donde:

M: cantidad total acumulada de solución de HCL consumida hasta alcanzar pH igual a 2.

L: cantidad de solución de Na(OH) consumida para el retorno a pH igual a 7.

N2: Normalidad de la solución básica.

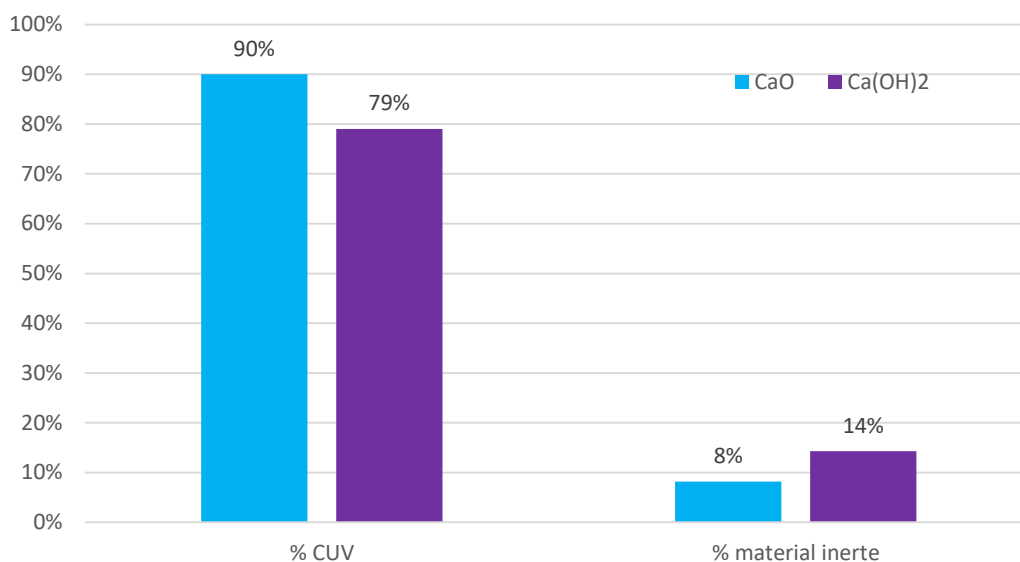


Figura 87 Valores de CUV y material inerte de la CaO y Ca(OH)<sub>2</sub>. Fuente: Elaboración del autor.

Como detalla en la Figura 87 para el CaO presenta mayor cantidad de material para reaccionar con el suelo, esto es un indicativo que los porcentajes de modificación del suelo van a ser menores si se comparan con los de Ca(OH)<sub>2</sub>, de igual forma presenta menor cantidad de material inerte.

Para el INVIAS (invias, 2013), no establece porcentajes mínimos de aceptación a partir del ensayo de cal útil vial, tomando como referencia el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), considera que las cales con valores de CUV superiores a 65%, son aceptables para la modificación y estabilización de un suelo (Nicolas, 2013).

### 3.5 Modificación del agregado y parámetros de diseño.

Se analizó la proporción necesario de CaO y Ca(OH)<sub>2</sub> necesaria para estabilizar un suelo y establecer el rango máximo de modificación o punto de fijacion, siguiendo las recomendaciones de la norma INV E 601 "Estimación de la proporción de cal necesaria para la estabilización de un suelos a partir de la medida del pH", a partir de este rango se analizara la máxima modificación de los límites de Aterberg, siguiendo las recomendaciones de las normas INV 603-13 "Preparacio de mezclas de suelo-cal empleando una mezcladora mecánico en el laboratorio" y INV E



604" Adición de cal para reducir el índice de plasticidad de un suelo" con el fin así conocer las óptimos de  $\text{CaO}$  y  $\text{Ca(OH)}_2$

De acuerdo a la INV E 601- el objetivo es estimar el menor porcentaje de  $\text{CaO}$  y  $\text{Ca(OH)}_2$  que dé lugar a un pH de 12,4. Se utilizaron mezclas de materiales PG y PF a contenidos de  $\text{CaO}$  y  $\text{Ca(OH)}_2$  de 0%, 2%, 3%, 4%, 5%, y 6%, en 100 ml de agua destilad, en la Figura 88 se observan los resultados para el material PG y en la Figura 89 para el material PF.

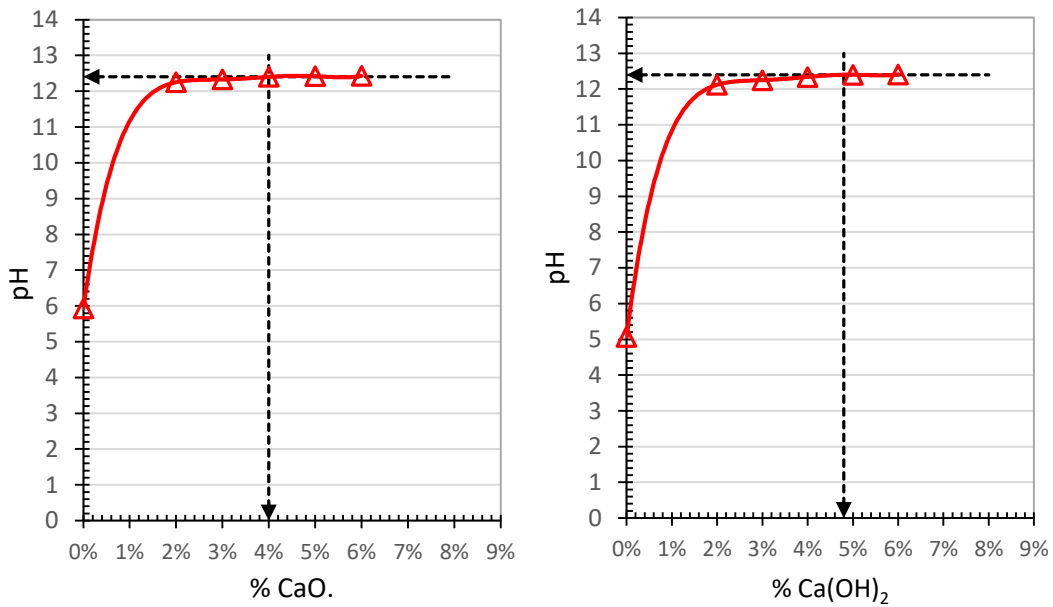


Figura 88. a) pH vs contenido de  $\text{CaO}$  material PG. B). pH vs contenido de  $\text{Ca(OH)}_2$ , material PG. Fuente: Elaboración del autor.

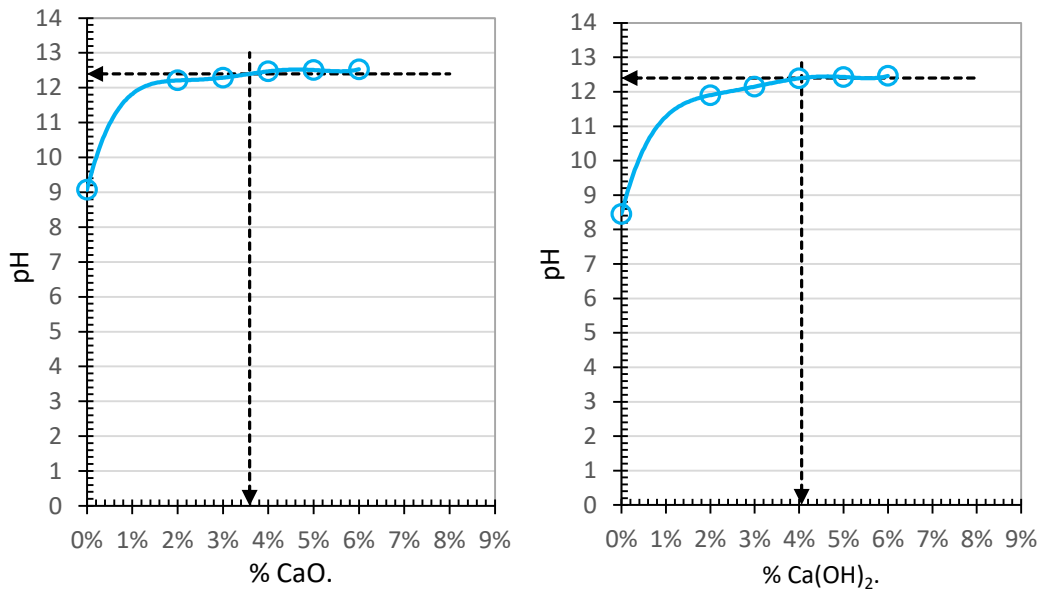


Figura 89. a) pH vs contenido de CaO material PF. b). pH vs contenido de Ca(OH)<sub>2</sub> material PF. Fuente: Elaboración del autor.

Al observar la Figura 88 y Figura 89, los valores para el punto inicial de estabilización no son muy diferentes, estos se encuentran entre el 3,5% y 4,0% para el CaO y del 4,0% al 5,0% para el Ca(OH)<sub>2</sub>, como primera medida el CaO requiere menor cantidad de material para reaccionar con el suelo si se compara con el Ca(OH)<sub>2</sub>.

De acuerdo a los resultados que se obtuvieron del ensayo de pH, los agregados se clasificarían desde el punto de vista químico-mineralógico como ácidos para el material PG (pH<7), lo que indica que la superficie tiende a cargarse negativamente (-) y básicos (pH>7) para el material PF, lo que indica que la superficie tiende a cargarse (+). (Botasso et al., 2011).

Aun cuando el ensayo de pH puede dar indicios de la composición química de los materiales, un análisis del contenido de óxido de silicio "SiO<sub>2</sub>" puede ayudar a caracterizarlos de mejor manera. Si el contenido de SiO<sub>2</sub> es mayor al 66% se está en presencia de un agregado ácido (-) y si este se encuentra entre 55 y 66%, se tiene un agregado intermedio y, por último, si el contenido de SiO<sub>2</sub> es inferior a 55% el agregado es de carácter básico (+). (Kumar, 2004)

Si se trata de un agregado básico o calizo (+) en este caso tentativamente el material PF, se está en presencia de unas moléculas de carbonato de calcio - CaCO<sub>3</sub>, que

siempre tendrán superficies minerales que en presencia de agua se ionizan, provocando el origen de cargas positivas (+) en la superficie de los mismos. Si en cambio se tiene un agregado ácido (-) conformado principalmente por átomos de silicio rodeados por átomos de oxígeno y cationes metálicos, en este caso presumiblemente el material PG, este en presencia de agua estos se ionizan cargándose negativamente (-).

Se considera que los asfaltos, originados principalmente por presencia de grupos ácidos, presentan una tendencia a cargarse negativamente en presencia de agua (Botasso et al., 2011). De allí, es natural deducir que los áridos calizos o básicos (+) presentan naturalmente mejor adherencia con los asfaltos. Este aspecto está vinculado a las fuerzas intermoleculares de carácter electrostático que tendrán una fuerte incidencia en la capacidad de mojado de cualquier sustancia que lo intente hacer, sea el agua o el asfalto. (Botasso et al., 2011)

Kumar (Kumar, 2004) afirmó que los componentes ácidos del asfalto reaccionan en mejor medida con los componentes básicos de los agregados formando sales insolubles en agua y promoviendo naturalmente la adherencia, mientras que con los materiales ácidos esta reacción es más débil con los asfaltos.

Debido a los resultados que se obtuvieron con respecto a la naturaleza ácida (PG) y básica (PF) de los materiales utilizados en este estudio, se vio la necesidad de corroborar la adherencia de los materiales con el asfalto 80/100 (1/10mm), utilizado en este estudio. Lo anterior se analizó por medio del ensayo adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos por el método Riedel-Weber, de acuerdo con la Norma INV E 774-13. Aunque este ensayo no modele las condiciones del material BSM, el ensayo es muy eficaz por su rigor, por lo cual es un buen indicativo para determinar si el material presenta problemas de adherencia.

Tabla 19. Resultado ensayo Riedel-Weber en las mezclas de asfalto y agregados.

Ensayo	Resultado material PG	Resultado material PF	Mezclas densas en caliente (MDC) Art.450
Riedel-Weber (INV E 774-13) Índice de 1 a 10	3	9	Mínimo 4

Fuente: Elaboración del autor.

Como se ve en la Tabla 19, el material PG presenta problemas de adherencia con el asfalto (índice de 3) mientras que el material PF es menos susceptible a presentar el fenómeno de stripping en presencia de agua, es decir tiene mejor adherencia (índice de 9). Con el fin de tener un orden de magnitud, estos resultados se compararon con el valor mínimo de 4 especificado por el INVIAS (invias, 2013) para una mezcla densa en caliente. Estos resultados podrían afectar el desempeño mecánico de las mezclas elaboradas con estos materiales, como se describe en el capítulo número 4.

Finalmente en la Tabla 20, se resumen los porcentajes obtenidos, respecto al punto inicial de estabilización para los materiales PG y PF respecto a CaO y Ca(OH)<sub>2</sub>.

Tabla 20. Valores de CaO y Ca(OH)<sub>2</sub> para llegar al punto de fijación o punto inicial de estabilización

Material	Porcentajes óptimos de cal para estabilización	
	CaO	Ca(OH) <sub>2</sub>
PG	4,0%	4,8%
PF	3,6%	4,1%

Fuente: Elaboración del autor.

Con los valores anteriores se estableció los rangos de máximos modificación del suelo, y donde comienza su proceso de estabilización, utilizando el CaO y Ca(OH)<sub>2</sub>, con dichos valores y siguiendo la metodología de las normas INV 603 y 604, se realizó el análisis del comportamiento de los límites dentro de este rango.

Siguiendo las recomendaciones de las normas INV 603 y 604, el material utilizado de CaO y Ca(OH)<sub>2</sub>, es un material que pase un tamiz de 0,425 mm (#40). Se elaboraron 10 muestras de mezclas de suelo y cal, donde en el rango de modificación se realizaron incrementos de 0,5%, y en el rango de estabilización

incrementos de 2%, la cantidad de agua que se añadió fue la necesaria para llevar el material a una consistencia cercana al límite plástico, este porcentaje de agua se obtuvo de la caracterización inicial de los materiales, este proceso se realizó para los dos materiales.

Para determinar los límites de Atterberg se siguieron las recomendaciones de la norma INV E 125 "Determinación del límite líquido (LL) de los suelos" y 126 "Limite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP) de los suelos". A continuación en la Figura 90 y Figura 91 se observa el comportamiento de los límites con respecto al contenido de CaO y Ca(OH)<sub>2</sub> correspondiente al material PG.

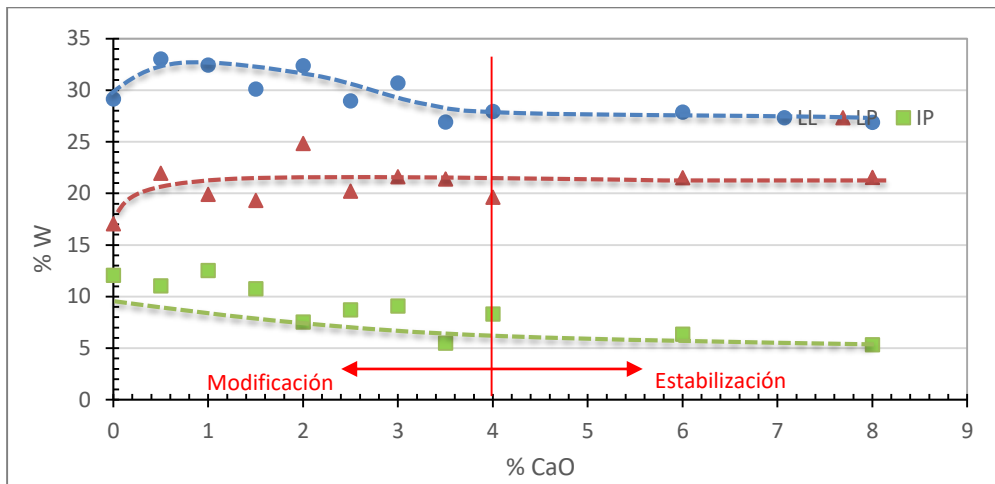


Figura 90. LL, LP e IP del material PG a diferentes % CaO. Fuente: Elaboración del autor

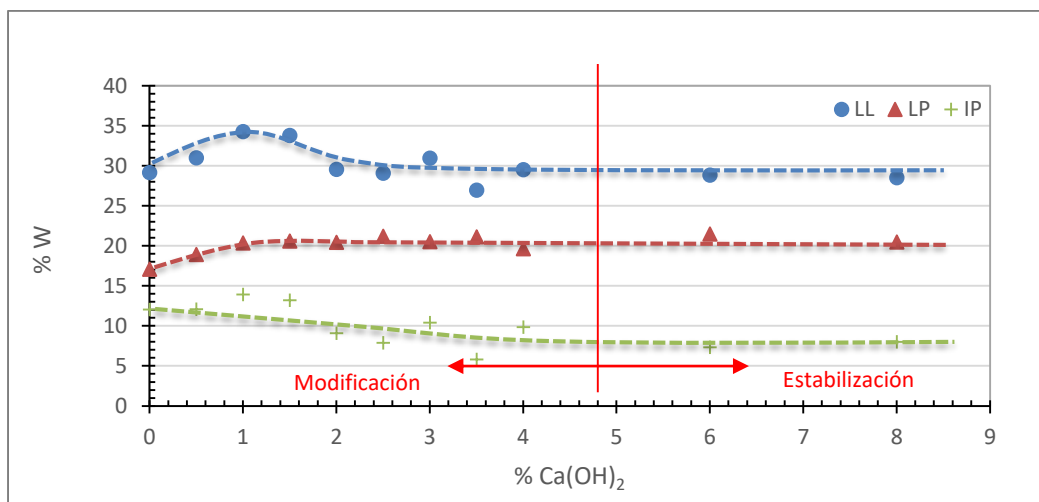


Figura 91. LL, LP e IP del material PG a diferentes % Ca(OH)<sub>2</sub>. Fuente: Elaboración del autor.

Como se evidencia en la Figura 90 y Figura 91, el material PG en un estado inicial presenta un IP del 12%, con un LL del 29% y un LP del 17%, con la adición de CaO y Ca(OH)<sub>2</sub>, el material presenta un ligero incremento en el LL, posteriormente una caída y se mantiene constante, mientras que el LP incrementa en las primeras etapas y posteriormente se mantiene constante, mientras el IP decrece.

De acuerdo a la metodología TG2, un material se puede estabilizar con FA, siempre y cuando esté presente un valor inferior al 10% de IP. En la siguiente tabla se observan los valores obtenidos para el material PG, respecto a CaO y Ca(OH)<sub>2</sub>.

Tabla 21. Valores de CaO y Ca(OH)<sub>2</sub> para alcanzar un valor de IP menor al 10%, para el material PG.

Material	CaO	Ca(OH) <sub>2</sub>
PG	1,5%	2,5%

Fuente: Elaboración del autor.

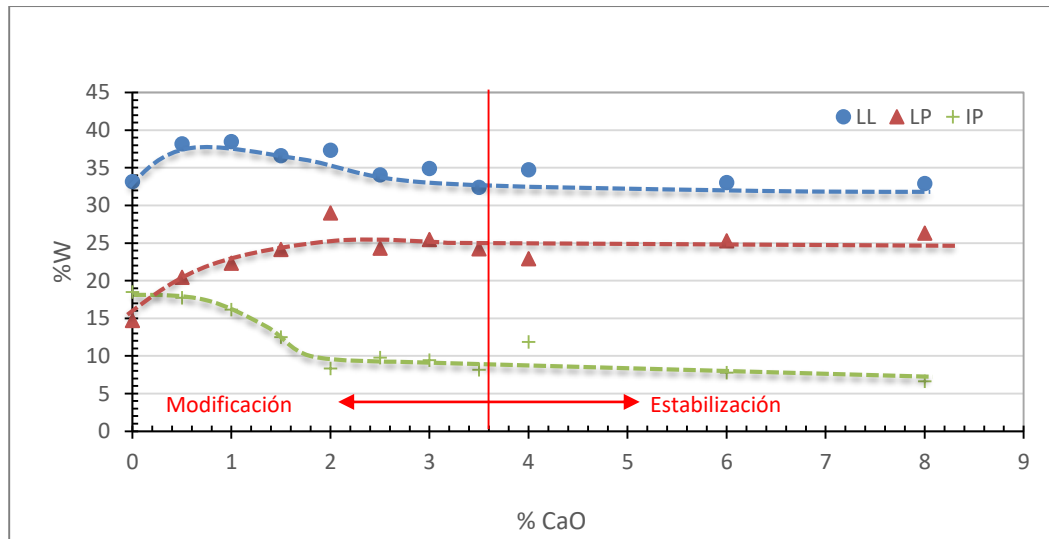


Figura 92. LL, LP e IP del material PF a diferentes % CaO. Fuente: Elaboración del autor.

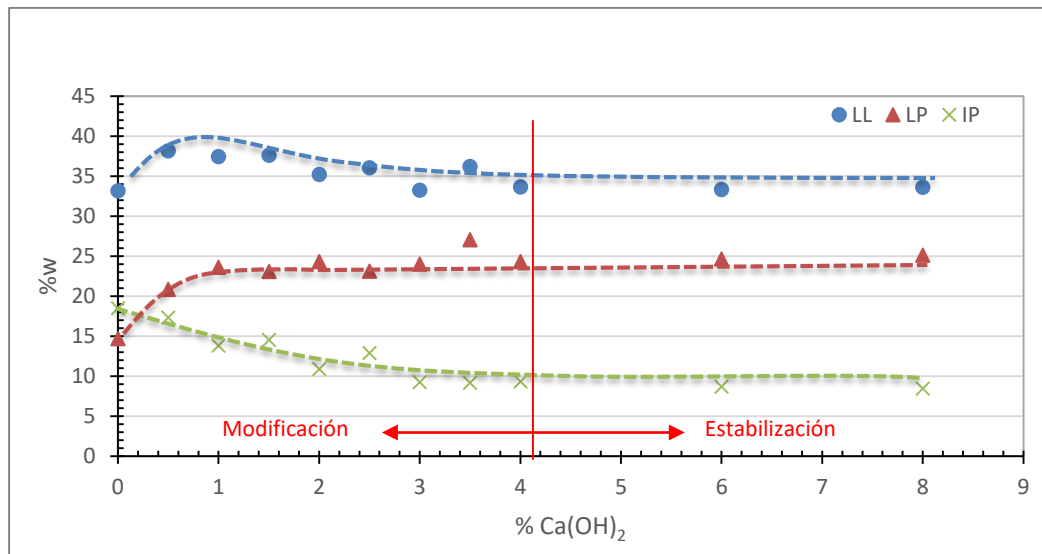


Figura 93. LL, LP e IP del material PF a diferentes % Ca(OH)<sub>2</sub>. Fuente: Elaboración del autor.

Como se observa en la Figura 92 y Figura 93, presenta en un estado natural el material presenta un LL de 34%, LP del 15%, y un IP alrededor del 19%, debido a que este material presenta un IP mucho mayor que el material PG, es necesario mayor cantidad de CaO y Ca(OH)<sub>2</sub> para poder tener un IP menor a 10%, y así poder estabilizarlo con FA, de acuerdo a la metodología TG2, en la siguiente tabla se observan los resultado que se obtuvieron para cumplir con este criterio.

Tabla 22. Valores de CaO y Ca(OH)<sub>2</sub> para alcanzar un valor de IP menor al 10%, para el material PF.

Material	CaO	Ca(OH) <sub>2</sub>
PF	2,3%	2,8%

Fuente: Elaboración del autor.

Con el fin de poder volver comprobables los resultados de los materiales PG y PF, los parámetros óptimos de CaO y Ca(OH)<sub>2</sub>, se ajustaron a los valores observados en la Tabla 23.

Tabla 23. Parámetros óptimos de CaO y Ca(OH)<sub>2</sub> para la modificación de los materiales PF y PG para alcanzar un IP < 10%.

Materiales	Porcentajes que se obtiene un valor de IP < 10%	
	CaO	Ca(OH) <sub>2</sub>
PG	2,5%	3,0%
PF		

Fuente: Elaboración del autor.

### 3.6 Procedimientos de laboratorio y métodos de ensayo

#### 3.6.1 Selección de contenido de FA.

Para esta investigación la selección del contenido de asfalto, se realiza por medio del asfalto teórico que recomienda la guía de diseño Wirtgen. Como se observa en la Tabla 24, el valor de asfalto óptimo teórico es de 2,6% de la masa seca total del agregado, por lo que se elaborarán las mezclas con esta concentración y con más o menos 0,2% de este valor, es decir con 2,4% y 2,8%.

Tabla 24. Estimación del óptimo de asfalto teórico en función de la granulometría y tipo de material.

Guidelines for estimating optimum foamed bitumen addition			
Fraction passing 0.075 mm sieve (%)	Foamed bitumen addition (% by mass of dry aggregate)		Typical type of material
	Fraction passing 4.75 mm sieve		
	< 50%	> 50%	
< 4	2.0	2.0	Recycled asphalt (RA/RAP)
4 – 7	2.2	2.4	RA/Graded crushed stone/ Natural gravel/blends
7 – 10	2.4	2.8	
> 10	2.6	3.2	Gravels/sands

Fuente: (Wirtgen, 2012)



### 3.6.2 Fórmulas de trabajo.

Para cada material (PG y PF) se elaboraron mezclas para un total, en cada uno, de 20 fórmulas de trabajo, como siguen: - muestra de control o material virgen (S) sin ningún tratamiento, - mezclas tratadas únicamente con cada uno de los llenantes activos e identificadas como SM1-SM2 en el caso del tratamiento con 2,5 y 3,0% de CaO y SM3-SM4 para 2,5 y 3,0% de  $\text{Ca(OH)}_2$ , - mezclas con FA (FA-S) en concentraciones de 2,4%, 2,6% y 2,8%, - materiales pretratados con CaO a 2,5% y 3,0% (FA-V2,5 y FA-V3,0) o con  $\text{Ca(OH)}_2$  a 2,5% y 3,0% (FA-M2,5 y FA-M3,0) y estabilizadas con FA. En la Tabla 25 se observa las variables y la nomenclatura que se le dio a cada una de ellas

Tabla 25. Fórmulas de trabajo y nomenclatura de cada mezcla.

	<b>Muestra control</b>	<b>SM-1</b>	<b>SM-2</b>	<b>SM-3</b>	<b>SM-4</b>	<b>BSM-5</b>			<b>BSM-6</b>		
Identificación básica	<b>S</b>	<b>V2,5</b>	<b>V3,0</b>	<b>M2,5</b>	<b>M3,0</b>	<b>FA-S</b>			<b>FA-V2,5</b>		
Llenante %	0%	2,5%	3,0%	2,5%	3,0%	0%			CaO 2,5%		
Asfalto %	0%	0%	0%	0%	0%	2,4%	2,6%	2,8%	2,4%	2,6%	2,8%
Material PG	PG/FA0,0-S0,0	PG/FA0,0-V2,5	PG/FA0,0-V3,0	PG/FA0,0-M2,5	PG/FA0,0-M3,0	PG/FA2,4-S0,0	PG/FA2,6-S0,0	PG/FA2,8-S0,0	PG/FA2,4-V2,5	PG/FA2,6-V2,5	PG/FA2,8-V2,5
Material PF	PF/FA0,0-S0,0	PF/FA0,0-V2,5	PF/FA0,0-V2,5	PF/FA0,0-M2,5	PF/FA0,0-M3,0	PF/FA2,4-S0,0	PF/FA2,6-S0,0	PF/FA2,8-S0,0	PF/FA2,4-V2,5	PF/FA2,6-V2,5	PF/FA2,8-V2,5

	<b>BSM-7</b>			<b>BSM-8</b>			<b>BSM-9</b>		
Identificación básica	<b>FA-M2,5</b>			<b>FA-V3,0</b>			<b>FA-M3,0</b>		
Llenante %	Ca(OH) <sub>2</sub> 2,5%			CaO 3,0%			Ca(OH) <sub>2</sub> 3,0%		
Asfalto %	2,4%	2,6%	2,8%	2,4%	2,6%	2,8%	2,4%	2,6%	2,8%
Material PG	PG/FA2,4-M2,5	PG/FA2,6-M2,5	PG/FA2,8-M2,5	PG/FA2,4-V3,0	PG/FA2,6-V3,0	PG/FA2,8-V3,0	PG/FA2,4-M3,0	PG/FA2,6-M3,0	PG/FA2,8-M3,0
Material PF	PF/FA2,4-M2,5	PF/FA2,6-M2,5	PF/FA2,8-M2,5	PF/FA2,4-V3,0	PF/FA2,6-V3,0	PF/FA2,8-V3,0	PF/FA2,4-M3,0	PF/FA2,6-M3,0	PF/FA2,8-M3,0

Fuente: Elaboración del autor.

### **3.6.3 Preparación de la mezcla y de las probetas para ITS y módulo resiliente.**

Las muestras realizadas, se fabricaron con la humedad óptima y la densidad seca máxima, las cuales fueron obtenidas del ensayo INV E 142 “*Relación de humedad – peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación)*” (ver resultados en la Figura 73 y Figura 76).

De acuerdo a la bibliografía las muestras se les realiza un pre-tratamiento previo con CaO o Ca(OH)<sub>2</sub>, con el fin de disminuir la plasticidad para que los materiales PG y PF pueda se estabilizados con FA, el tiempo recomendado de pretratamiento es de 2 horas (Ramanujam & Jones, 2007), la dosificación de agua en este pretratamiento, se realiza de acuerdo a lo establecido en la guía TG2, adicionalmente para el CaO , se le adiciona un 32% más de agua más como lo recomienda la National Lime Association.(National Lime Association, 2006), a partir de la humedad optima que se indicó en el capítulo 3.1.

#### **3.6.3.1 Compactación.**

De acuerdo a la guía TG2 las probetas de ITS se compactaron siguiendo la metodología Marshall, de 75 golpes por cara y de diámetro de 100mm y de 63,5mm de altura, adicionalmente la guía establece un mínimo de 6 briquetas por mezcla para análisis de ITS, ya que 3 son para una condición seca y otras tres para una condición saturado, y así analizar TSR.

Para las muestras de módulo resiliente, se compactaron con equipo vibratorio, bajo los lineamientos de la norma INV 156-13 “*Módulo resiliente en suelos y agregados*”, el diámetro de los especímenes fue de 100 mm y 200 mm de altura, el proceso de compactación se realizó en 5 capas cada una de ellas de 40 mm, verificando el cumplimiento de esta altura en cada capa compactada, entre cada capa se escarifico con el objetivo de asegurar la uniformidad entre capas.

### 3.6.3.2 Curado.

Para las muestras para ensayo de ITS se curaron de acuerdo a lo establecido por Asphalt Academy, como se observó en el capítulo 2, mientras para las muestras de módulo resiliente (Mr) se curan a temperatura ambiente durante 72 horas, en bolsas plásticas verificando previamente si estas presentaron pérdidas de humedad, si presentaron perdidas mayores a 0,5% durante el proceso de curado esta será descartada. La Tabla 26 muestra detalles del procedimiento de curado utilizado.

En los dos casos las muestras se sacaron inmediatamente de los moldes después de la compactación y se inicia el proceso de curado inmediatamente.

Tabla 26. Proceso de curado usado en la investigación.

Ensayo	Condición	Descripción	Guía/Norma.
ITS	Seca	Las muestras se secan al horno a 40°C durante 72 horas.	Asphalt Academy Guia TG2-2009
	Húmeda	Las muestras se secan al horno a 40°C durante 72 horas, luego se sumergen a 25°C durante 24 horas.	Asphalt Academy Guia TG2-2009
Mr	Fresco	El espécimen se sellan en bolsas plásticas durante 72 horas a temperatura ambiente	INV E 156-2013

Fuente: Elaboración del autor.

Es importante conocer el contenido de humedad en el ensayo de ITS seca, (Karim, 2015), con el fin de evaluar el método de curado en seco usado en esta investigación, este se calcula de acuerdo a la ecuación

$$w\%Curado = \frac{Wh - Ws}{Ws} 100\%$$

( 3.4 )

Donde:

$W\%_{\text{curado}}$ : Es el contenido de humedad en estado seco del ensayo de  $ITS_{\text{dry}}$

$W_h$ : Es la masa de la muestra después de las 72 horas a 40°C.

$W_s$ : Es la masa de la muestra después de 16 horas a 110°C.

### 3.6.4 Ensayo de ITS

La resistencia a la tracción indirecta (ITS), como ya observamos en el capítulo 2, esta es una prueba estándar que involucra una carga monotonica, hasta la tensión máximo, la cual se produce en el centro de la muestra (ver Figura 94). El valor de ITS se define como la tensión de tracción máxima aplicada a las muestras durante la prueba, la carga se controla por un desplazamiento a una velocidad de 50mm/min, y se reporta la carga máxima de falla en Newtons (N) y el valor de ITS se reporta en kilopascales (kPa). En la presente investigación se analizó un total de 48 para muestras secas y 48 para muestras húmedas, para cada material, los ensayos e ejecuto en la maquina universal versa tester, el cálculo de ITS se realizó como se observa en la siguiente ecuación:

$$ITS(\text{dry o Wet}) = \frac{2 * P}{\pi * h * d} * 10000 \quad (3.5)$$

Donde:

$ITS_{\text{dry}}$  = Resistencia a la tracción indirecta seca (kPa).

$ITS_{\text{wet}}$  = Resistencia a la tracción indirecta humeda (kPa).

$P$  = Máxima carga aplicada (kN).

$h$  = Altura Promedio de probeta (cm).

$d$  = Diámetro de la briqueta (cm).

El análisis de la resistencia a la tracción indirecta retenida (TSR), se calcula, con la ecuación que se muestra a continuación:

$$TSR = \frac{\text{Promedio ITS wet}}{\text{Promedio ITS dry}} * 100$$

( 3.6 )

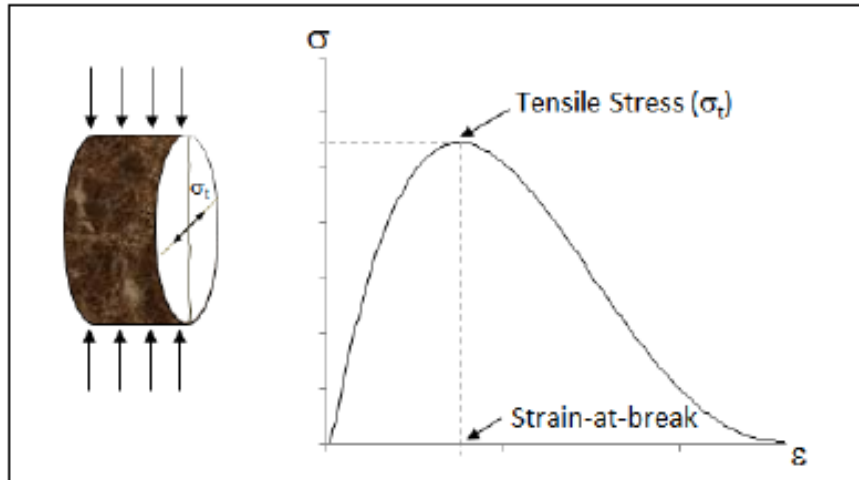


Figura 94 Diagrama del ensayo de ITS. Fuente: (Halles, 2013).

### 3.6.5 Ensayo triaxial cíclico

Es esta prueba consiste en aplicar una carga cíclica por debajo de la falla. En la Figura 96 se muestra el equipo triaxial utilizado para esta investigación y la captura de los datos. En el ensayo se lleva la muestra a diferentes combinaciones de presiones de confinamiento y esfuerzo desviador a un número determinado de ciclos, esto parámetros se tomaron de acuerdo a la norma INV 156-13 (ver Tabla 27)

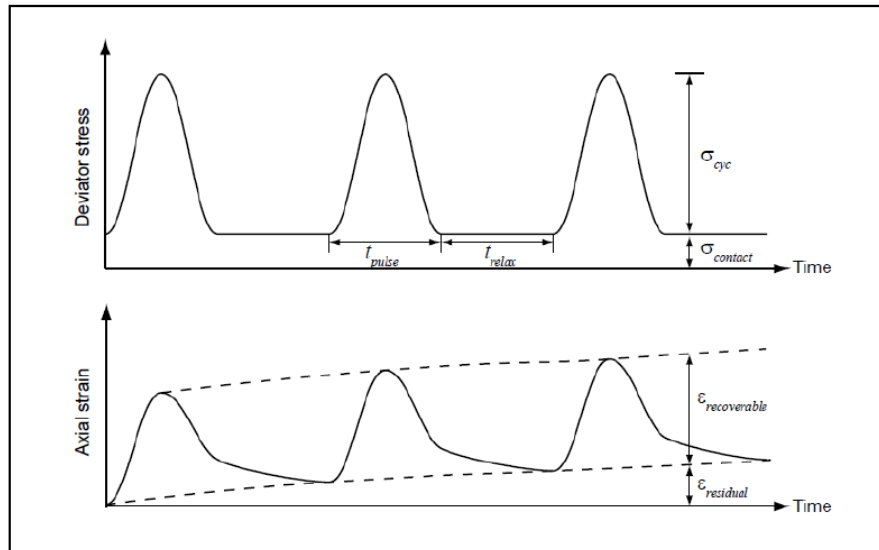


Figura 95. Carga cíclica en un ensayo triaxial cíclico. Fuente: (Halles, 2013)



Figura 96. Equipo triaxial dinámico DYNAPAVE. Fuente: Elaboración del autor.

Tabla 27 Valores de esfuerzos para los diferentes ensayos.

Secuencia No	Esfuerzo axial maximo		Esfuerzo axial maximo		Esfuerzo axial maximo		Esfuerzo axial maximo		Numero de aplicaicones de carga
	S <sub>3</sub>		S <sub>max</sub>		S <sub>ciclico</sub>		0,1 S <sub>max</sub>		
	kPa	lbf/pg <sup>2</sup>	kPa	lbf/pg <sup>2</sup>	kPa	lbf/pg <sup>2</sup>	kPa	lbf/pg <sup>2</sup>	
0	103,4	15	103,4	15	93,1	13,5	10,3	1,5	500-1000
1	20,7	3	20,7	3	18,6	2,7	2,1	3,0	100
2	20,7	3	41,4	6	37,3	5,4	4,1	6,0	100
3	20,7	3	62,1	9	55,9	8,1	6,2	9,0	100
4	34,5	5	34,5	5	31,0	4,5	3,5	5,0	100
5	34,5	5	68,9	10	62,0	9,0	6,9	1,0	100
6	34,5	5	103,4	15	93,1	13,5	10,3	1,5	100
7	68,9	10	68,9	10	62,0	9,0	6,9	1,0	100
8	68,9	10	137,9	20	124,1	18,0	13,8	2,0	100
9	68,9	10	206,8	30	186,1	27,0	20,7	3,0	100
10	103,4	15	68,9	10	62,0	9,0	6,9	1,0	100
11	103,4	15	103,4	15	93,1	13,5	10,3	1,5	100
12	103,4	15	206,8	30	186,1	27,0	20,7	3,0	100
13	137,9	20	103,4	15	93,1	13,5	10,3	1,5	100
14	137,9	20	137,9	20	124,1	18,0	13,8	2,0	100
15	137,9	20	275,8	40	248,2	36,0	27,6	4,0	100

Fuente: Adaptación de la (tabla INV 156-2 del año 2013)

En la presente investigación y como la configuración de valores de la Tabla 27, se analizó en conjunto un total de 20 mezclas de BSM (dos por muestra) para cada material, se colocó a las muestras una membrana látex con el fin de reducir la influencia de los vacíos de are en las BSM.

Se usó un pulso de carga de 0,1s, seguido por un periodo de reposo de 0,9s, y la forma de carga fue Haversine, en ningún momento las muestras presentaron una deformación superior al 5%, lo anterior de acuerdo a la norma INV E 156-13.

A partir de los cálculos suministrados por el sistema de adquisición de datos análogos de la DYNAPAVE, se promediaron los últimos 5 pulsos, y se registran las deformaciones resiliente al igual que el esfuerzo cíclico, a partir de estos datos se calcula el módulo resiliente:

$$Mr = \frac{\sigma_c}{\epsilon_r} = \frac{\text{Esfuerzo ciclico}}{\text{deformacion unitaria axial resiliente}}$$

( 3.7 )



Con el fin de evaluar el comportamiento de la rigidez de las BSM, y a partir de los datos obtenidos del ensayo de módulo resiliente, este se analizó por medio de las ecuaciones constitutivas, del modelo de  $K-\theta$ , y el modelo de cortante octaédrico, como observamos en el capítulo 2.

### 3.6.6 Ensayo de corte rápido

Debido a que el ensayo de módulo resiliente es un ensayo no destructivo, en esta investigación se analizará la resistencia al corte máxima de las muestras frente a una carga axial hasta la falla de las muestras de módulo resiliente (ver Figura 97). La norma INV E 156-13 indica que para realizar una prueba rápida de corte, se debe aplicar una presión de cámara de 34,5 kPa (5 lbf/pg<sup>2</sup>) a una velocidad de 1% de la deformación por minuto.

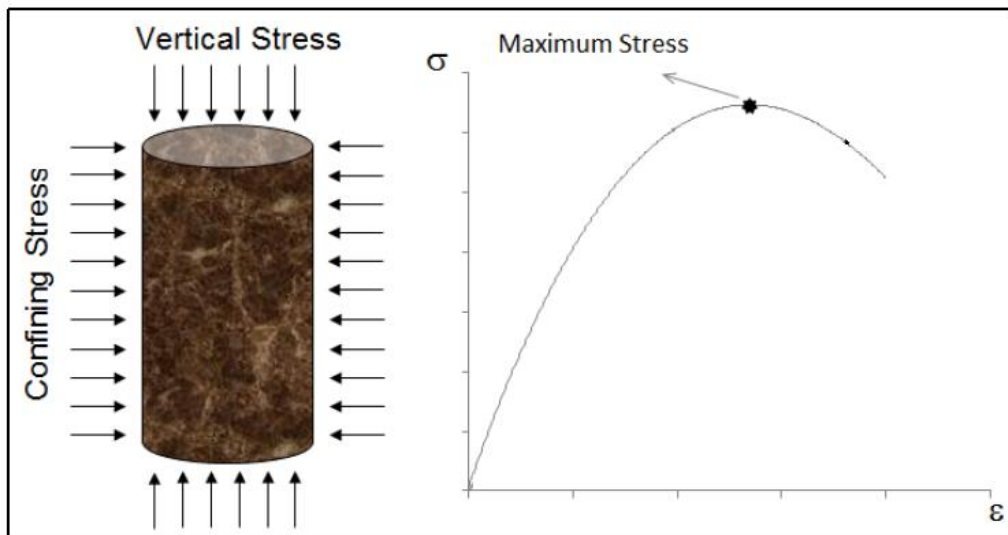


Figura 97. Diagrama ensayo de resistencia al corte rápido. Fuente: (Halles, 2013)

En el ensayo se considera que falla la muestra si se cumple alguno de los siguientes criterios: (1) que la carga decaiga con un incremento de la deformación, (2) si se alcanza el 5% de la deformación o (3) se alcance la capacidad máxima de la celda de carga.

Para esta prueba se analizaron en conjunto un total de 16 mezclas de BSM (dos por muestra) para cada material, la falla que se presentó en todas las muestras fue la

falla (1), durante el ensayo se presentaron altas deformaciones a bajos incrementos de carga, debido a la acomodación del pisto y del material en la cara superior, pero no pudieron a la integridad de la muestra

### 3.7 Bibliografía.

- Botasso et al., Botasso, H. G., Rebollo, O. R., Soengas, C. J., Balige, M., Bisio, A., & Berardo, A. (2011). METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN EN LA INCORPORACIÓN DE PROMOTORES DE ADHERENCIA EN CEMENTOS ASFÁLTICOS. *XVI CILA Congreoso Iibro-Latinoamericano de Asfalto*, 1–12. Retrieved from [https://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/2011\\_Evaluacion-Promotores-de-Adherencia\\_XVI-CILA\\_IBP2395\\_11.pdf](https://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/2011_Evaluacion-Promotores-de-Adherencia_XVI-CILA_IBP2395_11.pdf)
- Collings, D., Hughes, M., Grobler, J., Jenkins, K., Jooste, F., Long, F., & Thompson, H. (2009). *Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials* (Vol. 2).
- invias. (2013). *Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras* (p. 930). p. 930.
- Jenkins, K. (2000). *Mix design considerations for cold and half-warm bituminous mixes with emphasis on foamed bitumen*.
- Kumar, S. (2004). Evaluation Asphalt-aggregate bond and stripping potential.
- National Lime Association. (2006). *Manual de estabilización de suelo tratado con cal. Estabilización y modificación con cal* (Vol. 326, p. 46). Vol. 326, p. 46. Arlington, Virginia, U.S: National Lime Association.
- Nicolas, M. (2013). *Seguimiento y control de calidad. Rehabilitacion Ruta Prov. A-174*.
- Ramanujam, J. M., & Jones, J. D. (2007). Characterization of foamed-bitumen stabilisation. *International Journal of Pavement Engineering*, 8(2), 111–122. <https://doi.org/10.1080/10298430601149676>
- Wirtgen Group, & Wirtgen. (2012). *Wirtgen Cold Recycling Technology*. 367.

## Capítulo 4. Resultados experimentales y análisis.

En este capítulo se presentan los resultados de los ensayos de tracción indirecta (ITS), resistencia conservada (TSR), Modulo resiliente (Mr), y resistencia al corte, realizados a los materiales PG y PF. En la Tabla 28 se resume la nomenclatura usada, la cual incluye – las primeras dos letras que corresponden al tipo de material granular (Grueso - PG o Fino - PF), seguida de la espuma de asfalto (FA) y su concentración y finalmente, del tipo de llenante activo - donde V corresponde al Oxido de Calcio (CaO) y M al Hidróxido de Calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) y S sin llenante activo, con la concentración usada del mismo.

A manera de ejemplo PF/FA2,4-V2,5 corresponde a la muestra elaborada con material granular fino, 2,4% de espuma de asfalto y 2,5% de CaO (Todos los porcentajes expresados con base al peso seco de agregados)

Tabla 28 Mezclas BSM y concentraciones de llenante y asfalto espumado.

Material PG				Material PF			
Mezcla	#	% L	% FA	Mezcla	#	% LL	% FA
PG/FA0,0-S0,0	5	0%	0%	PF/FA0,0-S0,0	5	0%	0%
PG/FA0,0-V2,5	18	2,5%V	0%	PF/FA0,0-V2,5	21	2,5%V	0%
PG/FA0,0-V3,0	9	3,0%V	0%	PF/FA0,0-V3,0	11	3,0%V	0%
PG/FA0,0-M2,5	8	2,5%M	0%	PF/FA0,0-M2,5	51	2,5%M	0%
PG/FA0,0-M3,0	16	3,0%M	0%	PF/FA0,0-M3,0	20	3,0%M	0%
PG/FA2,4-S0,0	81	0%	2,4%	PF/FA2,4-S0,0	86	0%	2,4%
PG/FA2,6-S0,0	82	0%	2,6%	PF/FA2,6-S0,0	87	0%	2,6%
PG/FA2,8-S0,0	83	0%	2,8%	PF/FA2,8-S0,0	88	0%	2,8%
PG/FA2,4-V2,5	20	2,5%V	2,4%	PF/FA2,4-V2,5	16	2,5%V	2,4%
PG/FA2,6-V2,5	21	2,5%V	2,6%	PF/FA2,6-V2,5	17	2,5%V	2,6%
PG/FA2,8-V2,5	22	2,5%V	2,8%	PF/FA2,8-V2,5	18	2,5%V	2,8%
PG/FA2,4-M2,5	13	2,5%M	2,4%	PF/FA2,4-M2,5	10	2,5%M	2,4%
PG/FA2,6-M2,5	14	2,5%M	2,6%	PF/FA2,6-M2,5	11	2,5%M	2,6%
PG/FA2,8-M2,5	15	2,5%M	2,8%	PF/FA2,8-M2,5	12	2,5%M	2,8%
PG/FA2,4-V3,0	40	3,0%V	2,4%	PF/FA2,4-V3,0	36	3,0%V	2,4%
PG/FA2,6- V3,0	41	3,0%V	2,6%	PF/FA2,6- V3,0	37	3,0%V	2,6%
PG/FA2,8- V3,0	42	3,0%V	2,8%	PF/FA2,8- V3,0	38	3,0%V	2,8%
PG/FA2,4-M3,0	30	3,0%M	2,4%	PF/FA2,4-M3,0	46	3,0%M	2,4%
PG/FA2,6- M3,0	31	3,0%M	2,6%	PF/FA2,6- M3,0	47	3,0%M	2,6%
PG/FA2,8- M3,0	32	3,0%M	2,8%	PF/FA2,8- M3,0	48	3,0%M	2,8%

*#: referencia de briqueta, L: Llenante, FA: Asfalto espumado, S: sin tratamiento con cal, V:CaO, M:Ca(OH)<sub>2</sub>*

Fuente: Elaboración del autor.

A continuación, se presentan y analizan los resultados para cada diseño de mezcla con diferentes contenidos de FA y contenidos de llenante mineral y la incidencia de estos en el comportamiento de los parámetros de resistencia mecánica. Al finalizar el capítulo se presenta una comparación de los parámetros analizados entre los dos materiales.

#### **4.1 Resultados de tracción indirecta (ITS) y resistencia conservada (TSR) del material PG**

Como se observó en el capítulo 3 las probetas de ITS se compactaron siguiendo la metodología Marshall, de 75 golpes por cara y de diámetro de 100mm y de 63,5mm de altura, el proceso de curado se siguieron los lineamientos establecidos por Asphalt Academy. Por cada mezcla se fabricaron 6 briquetas (3 para  $ITS_{dry}$  y las restantes para  $ITS_{wet}$ ), finalmente el promedio de las briquetas para  $ITS_{dry}$  y  $ITS_{wet}$  es el valor mostrado a continuación.

##### **4.1.1 Mezclas de Control, y mezclas con 2,5 y 3,0% de CaO o de $Ca(OH)_2$ .**

Se denominaron mezclas de control a las elaboradas con el material virgen, es decir, sin adición de cal, ni de asfalto espumado.

En la Tabla 29 y en la Figura 98, se presentan los resultados de los ensayos de tracción indirecta seca ( $ITS_{dry}$ ), tracción indirecta húmeda ( $ITS_{wet}$ ) y la resistencia conservada (TSR), para la mezcla control (PG/S), la mezcla con 2,5% de CaO (PG/V2,5), la mezcla con 3,0% de CaO (PG/V3,0), la mezcla con 2,5% de  $Ca(OH)_2$  (PG/M2,5) y la Mezcla con 3,0% de  $Ca(OH)_2$  (PG/M3,0).

Tabla 29. Resultados de  $ITS_{dry}$ ,  $ITS_{wet}$ , y TSR de las mezclas de control y de las mezclas elaboradas con el material PG tratado con CaO o con  $Ca(OH)_2$  en concentraciones del 2.5% y 3.0%.

.Mezcla	Briquetas Secas		Briquetas Húmedas		TSR	W% de curado
	$\rho_d$	$ITS_{dry}$	$\rho_d$	$ITS_{wet}$		
	g/cm <sup>3</sup>	kPa	g/cm <sup>3</sup>	kPa		
PG/FA0,0-S0,0	2,111	212	2,102	0	0,0	0,60
PG/FA0,0-V2,5	2,065	261	2,060	77	29,5	0,67
PG/FA0,0-V3,0	2,074	290	2,059	87	30,0	0,74
PG/FA0,0-M2,5	2,090	319	2,099	94	29,5	0,69
PG/FA0,0-M3,0	2,077	322	2,097	97	30,1	0,67

Fuente: Elaboración del autor.

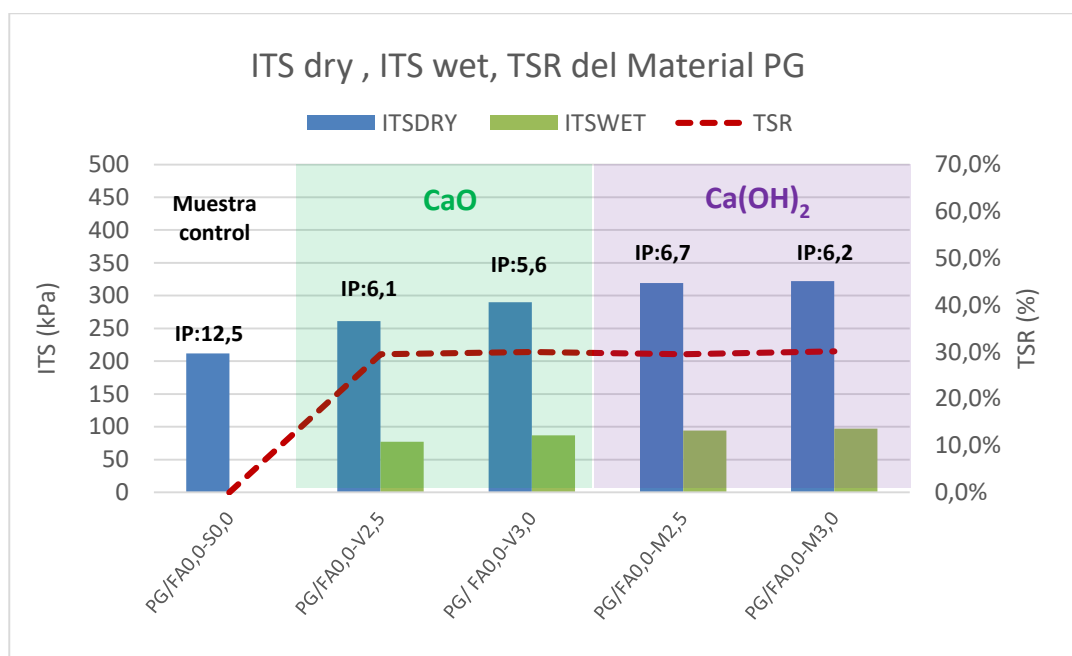


Figura 98 Resultados de  $ITS_{dry}$ ,  $ITS_{wet}$ , y TSR de las mezclas de control y de las mezclas con el material PG tratadas con CaO o con  $Ca(OH)_2$  en concentraciones de 2.5% y 3.0% Fuente: Elaboración del autor.

De acuerdo con estos resultados, se puede observar que la muestra control fabricada con el agregado sin ningún tratamiento (PG/FA0,0-S0,0), es altamente susceptible al agua (ver Figura 99(a)), y que a medida que el material es tratado con CaO o con  $Ca(OH)_2$ , su resistencia húmeda aumenta, siendo para el  $Ca(OH)_2$  ligeramente mayor que para el CaO, tanto en condiciones húmedas como en secas.

Adicionalmente se observa que no hay un cambio significativo en la resistencia seca y húmeda si se aumenta el contenido de CaO o de  $\text{Ca(OH)}_2$  de 2,5% a 3,0%.

En la Figura 99 (b), se aprecia que la presencia de Cal colabora con la integridad de la probeta en agua, aun cuando las resistencias conservadas (TSR) no superan el 30%, siendo similares para los dos tipos de cales evaluadas.



Figura 99 a) Material control PG en acondicionamiento húmedo. b) material tratado con CaO o  $\text{Ca(OH)}_2$  en acondicionamiento húmedo. Fuente: Elaboración del autor.



Figura 100 a) Briqueta tratada con solo  $\text{Ca(OH)}_2$ . b) Briqueta tratada con solo CaO. Fuente: Elaboración del autor.

En la Figura 100 se observa la muestras tratadas con  $\text{Ca(OH)}_2$  y CaO, donde la muestra tratada solo con  $\text{Ca(OH)}_2$  (ver Figura 100 a) , no se observa acumulación de cal, esto debido a su grado de finura, mientras que las muestras tratadas con CaO (ver Figura 100 b) presentan pequeñas manchas de acumulación de cal esto debido a que presenta tamaños de granos más grandes que la  $\text{Ca(OH)}_2$ .

#### 4.1.2 Mezclas con FA sin llenante Activo.

En la Tabla 30 y en la Figura 101, se presentan los resultados de los ensayos de tracción indirecta seca ( $ITS_{dry}$ ), tracción indirecta húmeda ( $ITS_{wet}$ ) y la resistencia conservada (TSR), para la mezcla tratada solo con asfalto espumado (FA) en concentraciones del 2,4%, 2,6% y 2,8%.

Tabla 30 Resultados de  $ITS_{dry}$ ,  $ITS_{wet}$ , y TSR de las mezclas elaboradas con el material PG y diferentes concentraciones de FA.

Mezcla	Briquetas Secas		Briquetas Húmedas		TSR	W% de curado
	$\rho_d$	$ITS_{dry}$	$\rho_d$	$ITS_{wet}$		
	g/cm <sup>3</sup>	kPa	g/cm <sup>3</sup>	kPa		
control	2,111	212	2,102	0	0,0	0,60
PG/FA2,4-S0,0	2,090	307	2,084	0	0,0	0,63
PG/FA2,6-S0,0	2,079	312	2,090	0	0,0	0,69
PG/FA2,8-S0,0	2,095	314	2,090	0	0,0	0,63

Fuente: Elaboración del autor.

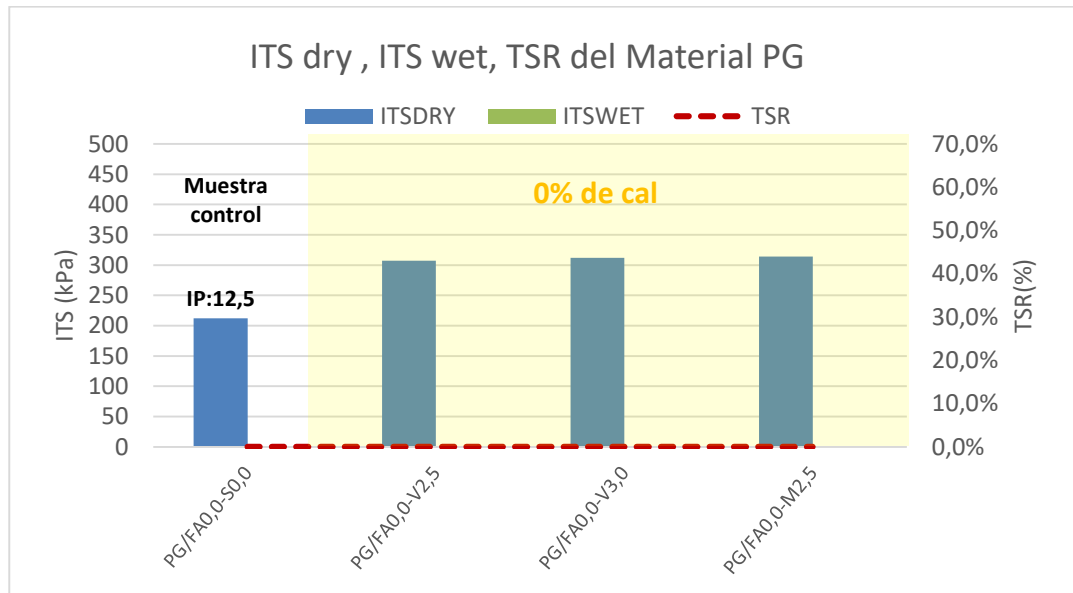


Figura 101 Resultados de  $ITS_{dry}$ ,  $ITS_{wet}$ , y TSR de las mezclas tratadas solo con FA a 2,4%, 2,6% y 2,8%. Fuente: Elaboración del autor.

En la Figura 102, se observa los tratamientos individuales de CaO, Ca(OH)<sub>2</sub>, y solo con FA, durante el curado húmedo de 24 Horas a 25°C, donde se evidencia que

efectivamente que el tratamiento con solo FA, no es eficiente en materiales plásticos.

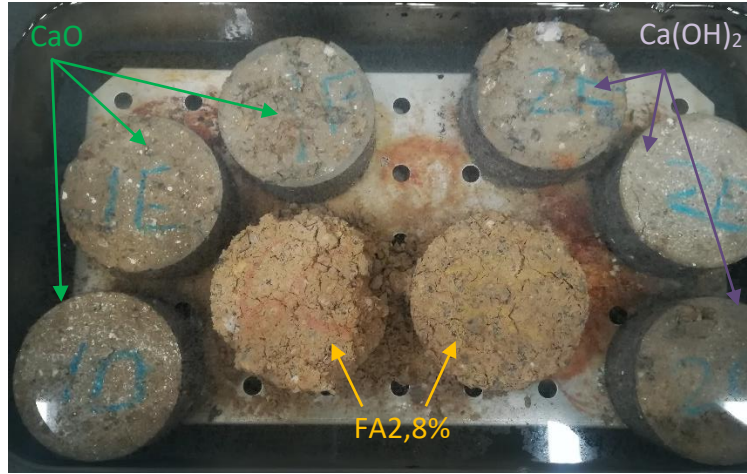


Figura 102 Tratamiento material PG con solo FA y solo con CaO o Ca(OH)<sub>2</sub>. Fuente: Elaboración del autor.

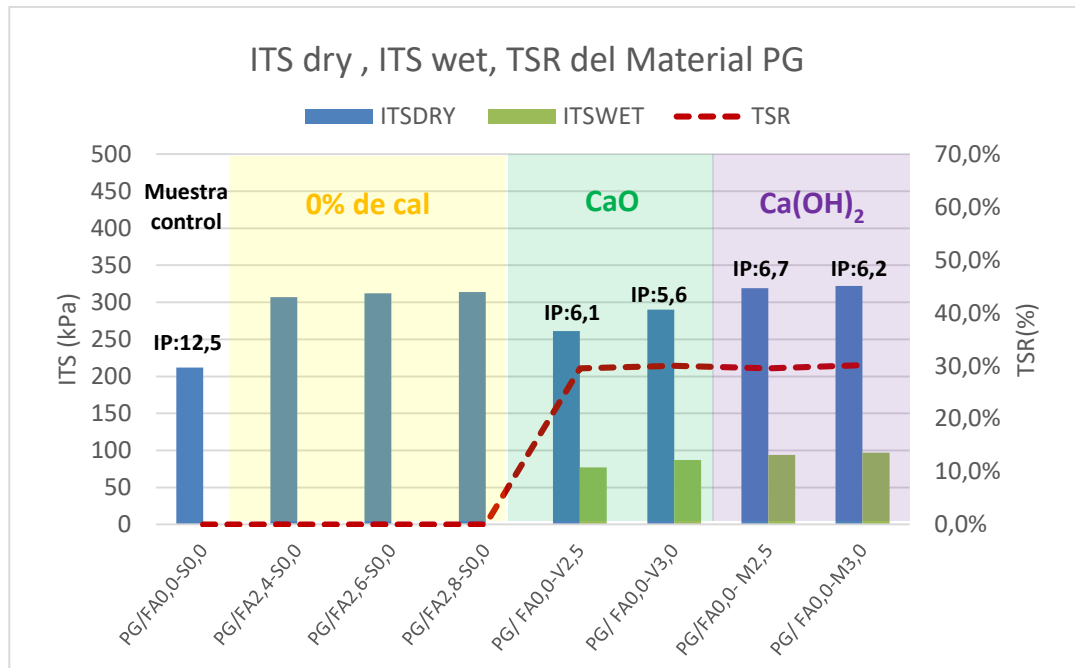


Figura 103 Comparación de resultados de ITS<sub>dry</sub>, ITS<sub>wet</sub>, y TSR de las mezclas, tratadas solo con FA o solo con CaO a 2,5% y 3,0% o con Ca(OH)<sub>2</sub> a 2,5% y 3,0%. Fuente: Elaboración del autor.

Como puede apreciarse en la Figura 103, el material PG al tratarlo con las diferentes concentraciones de FA presenta un incremento en la ITS<sub>dry</sub>, con respecto al material de control (pasa de 200 kPa al orden de 300 kPa) y no se observa prácticamente



ninguna variación en esta resistencia con el incremento en la concentración de FA (de 2,4% a 2,8%). Por otro lado, las resistencias en seco con solo FA son equiparables a las alcanzadas con el  $\text{Ca(OH)}_2$  y ligeramente superiores a las obtenidas con el tratamiento con CaO. Sin embargo, la resistencia conservada (TSR) con FA es nula, mostrando, como era de esperarse una alta susceptibilidad al agua y por lo tanto necesidad de un pretratamiento del material con Cal.

#### 4.1.3 Mezclas con FA y 2,5% CaO o de $\text{Ca(OH)}_2$

En la Tabla 31 y en la Figura 104, se presentan los resultados de los ensayos de tracción indirecta seca ( $\text{ITS}_{\text{dry}}$ ), tracción indirecta húmeda ( $\text{ITS}_{\text{wet}}$ ) y la resistencia conservada (TSR), para las mezclas elaboradas con 2,5% CaO o de  $\text{Ca(OH)}_2$  y tratadas conjuntamente con FA en concentraciones del 2,4% 2,6% o 2,8%.

Tabla 31 Resultados de  $\text{ITS}_{\text{dry}}$ ,  $\text{ITS}_{\text{wet}}$ , y TSR de las mezclas del material PG tratado con 2,5% de CaO o de  $\text{Ca(OH)}_2$  y diferentes concentraciones de FA.

Mezcla	Briquetas Secas		Briquetas Húmedas		TSR	W% de curado
	$\rho_d$	$\text{ITS}_{\text{dry}}$	$\rho_d$	$\text{ITS}_{\text{wet}}$		
	$\text{g/cm}^3$	kPa	$\text{g/cm}^3$	kPa		
<b>Control</b>	2,111	212	2,102	0	0,0	0,60
<b>PG/FA2,4-V2,5</b>	2,082	430	2,069	203	47,2	0,76
<b>PG/FA2,6-V2,5</b>	2,083	444	2,080	249	56,1	0,73
<b>PG/FA2,8-V2,5</b>	2,090	402	2,088	191	47,5	0,81
<b>PG/FA2,4-M2,5</b>	2,050	344	2,063	161	46,8	0,70
<b>PG/FA2,6-M2,5</b>	2,058	365	2,050	177	48,5	0,71
<b>PG/FA2,8-M2,5</b>	2,064	366	2,053	181	49,5	0,75

Fuente: Elaboración del autor.

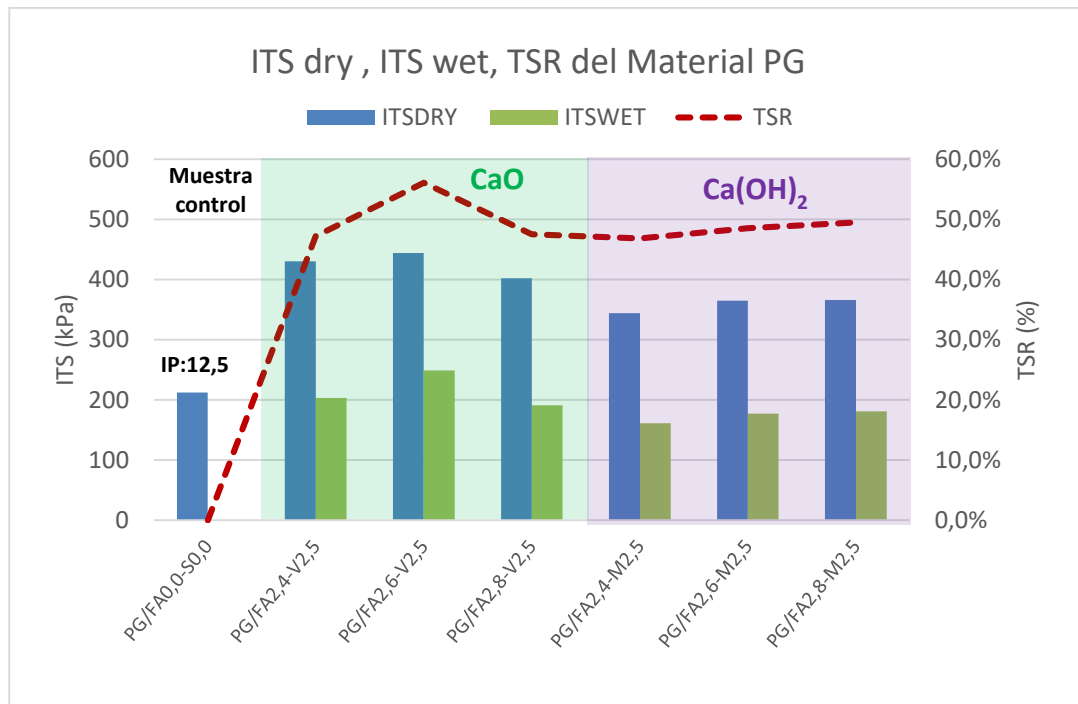


Figura 104 Resultados de ITS<sub>dry</sub>, ITS<sub>wet</sub>, y TSR de las mezclas tratadas con 2.5% de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub> y diferentes concentraciones de FA. Fuente: Elaboración del autor.

Como se desprende de estos resultados, se evidencia un incremento significativo en las resistencias en seco, en húmedo y de las resistencias conservadas cuando se realizó el pretratamiento con 2,5% de CaO o con 2,5% de Ca(OH)<sub>2</sub>, y se incorporó el FA. En general con el CaO se presentaron las mayores resistencias en seco (ITS<sub>dry</sub>) las cuales superan los 400 kPa y resistencias en húmedo (ITS<sub>wet</sub>) que son del orden de 200 kPa, alcanzándose con este llenante y una concentración de FA del 2,6% una resistencia conservada (TSR) superior al 50%. Con el 2,5% de Ca(OH)<sub>2</sub>, y las diferentes concentraciones de FA, aun cuando se alcanzan resistencias en seco y en húmedo aceptables (superiores a 250 kPa y 100 kPa respectivamente), las resistencias conservadas no superan el 40%.

De acuerdo con los resultados obtenidos podría proponerse como fórmula de trabajo del material PG un pretratamiento con 2,5% de CaO y la estabilización con 2,6% de FA, de tal forma que se tiene una ITS<sub>dry</sub> del orden de 444 kPa, una ITS<sub>wet</sub> de 249 kPa y una TSR del 56%.

#### 4.1.4 Mezclas con FA y 3,0% de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub>.

En la Tabla 32 y en la Figura 105, se presentan los resultados de los ensayos de tracción indirecta seca (ITS<sub>dry</sub>), tracción indirecta húmeda (ITS<sub>wet</sub>) y la resistencia conservada (TSR), para las mezclas tratadas con 3,0% de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub>, estabilizadas con FA en concentraciones de 2,4% , 2,6% y 2,8% .

Tabla 32 Resultados de ITS<sub>dry</sub>, ITS<sub>wet</sub>, y TSR de las mezclas (de control y de las mezclas tratadas con 3,0% de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub> con diferentes concentraciones de FA.

Mezcla	Briquetas Secas		Briquetas Húmedas		TSR	W% de curadoS
	$\rho_d$	ITS <sub>dry</sub>	$\rho_d$	ITS <sub>wet</sub>		
	g/cm <sup>3</sup>	kPa	g/cm <sup>3</sup>	kPa		
<b>Control</b>	2,111	212	2,102	0	0,0	0,60
<b>PG/FA2,4-V3,0</b>	2,087	444	2,083	185	42,6	0,76
<b>PG/FA2,6- V3,0</b>	2,075	429	2,086	204	48,7	0,73
<b>PG/FA2,8- V3,0</b>	2,087	441	2,080	184	42,7	0,81
<b>PG/FA2,4-M3,0</b>	2,090	432	2,085	197	45,6	0,53
<b>PG/FA2,6- M3,0</b>	2,088	422	2,085	196	46,4	0,55
<b>PG/FA2,8- M3,0</b>	2,095	386	2,081	158	40,9	0,56

Fuente: Elaboración del autor.

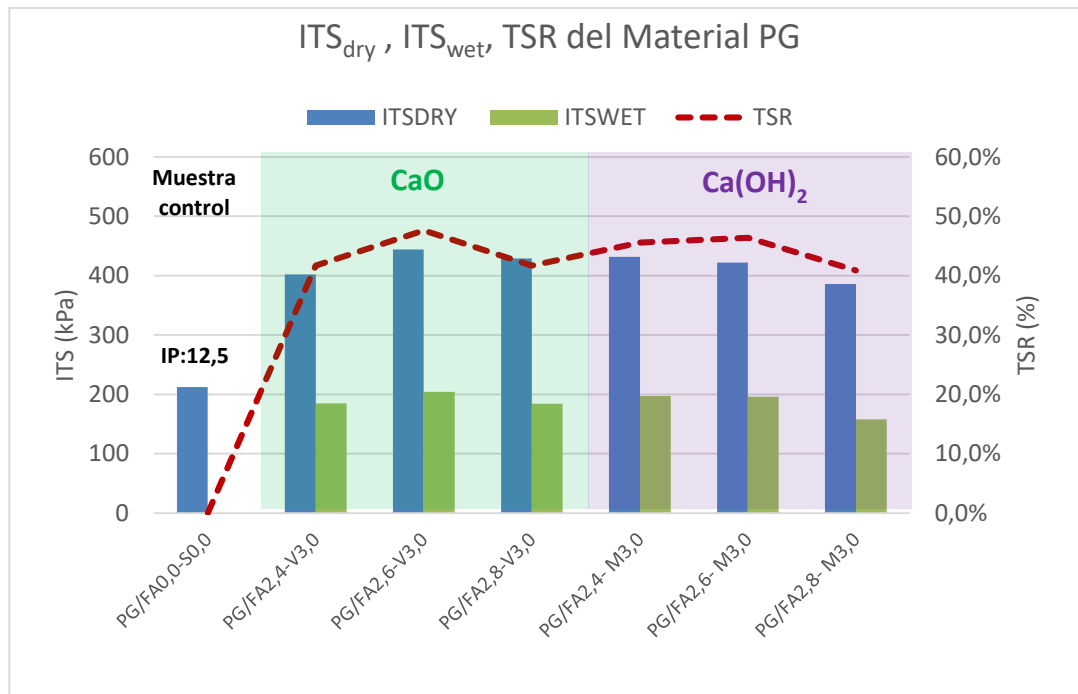


Figura 105 Resultados de ITS<sub>dry</sub>, ITS<sub>wet</sub>, y TSR de las mezclas de control y con diferentes concentraciones de FA pre-tratadas con 3,0% de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub>. Fuente: Elaboración del autor.

Como se observa en la Figura 105, en este caso, para concentraciones de llenante activo del 3,0%, las ITS<sub>dry</sub> de las mezclas tratadas con Ca(OH)<sub>2</sub> son equiparables a las elaboradas con la misma concentración de CaO. Se aprecia un incremento en estas (ITS<sub>dry</sub>) cuando se incrementa la concentración de Ca(OH)<sub>2</sub> de 2,5% a 3,0%, superando en la mayoría de los casos los 400 kPa, incremento que no se evidencia cuando se trabaja con las diferentes concentraciones del CaO. Nuevamente se encuentra una concentración de FA óptima del 2,6% cuando se trabaja con CaO, aun cuando la TSR no supera el 50%. Para todas las condiciones evaluadas, se obtienen valores superiores a los mínimos recomendados por la experiencia Sudafricana de ITS<sub>dry</sub> de 250 kPa y de ITS<sub>wet</sub> de 100 kPa, pero las TSR varían en el orden de 40% al 48%.

#### 4.1.5 Resumen de resultados de tracción indirecta (ITS) y resistencia conservada (TSR) del material PG.

En la Figura 106, se comparan los resultados para el material PG, modificados con 2,5% de CaO y 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub>, y tratados conjuntamente con FA, estos porcentaje son comparados debido a que en ellos se obtiene la mayor reducción del índice de plasticidad del material, es decir, corresponden a los óptimos tal y como se analizó en el capítulo 3.

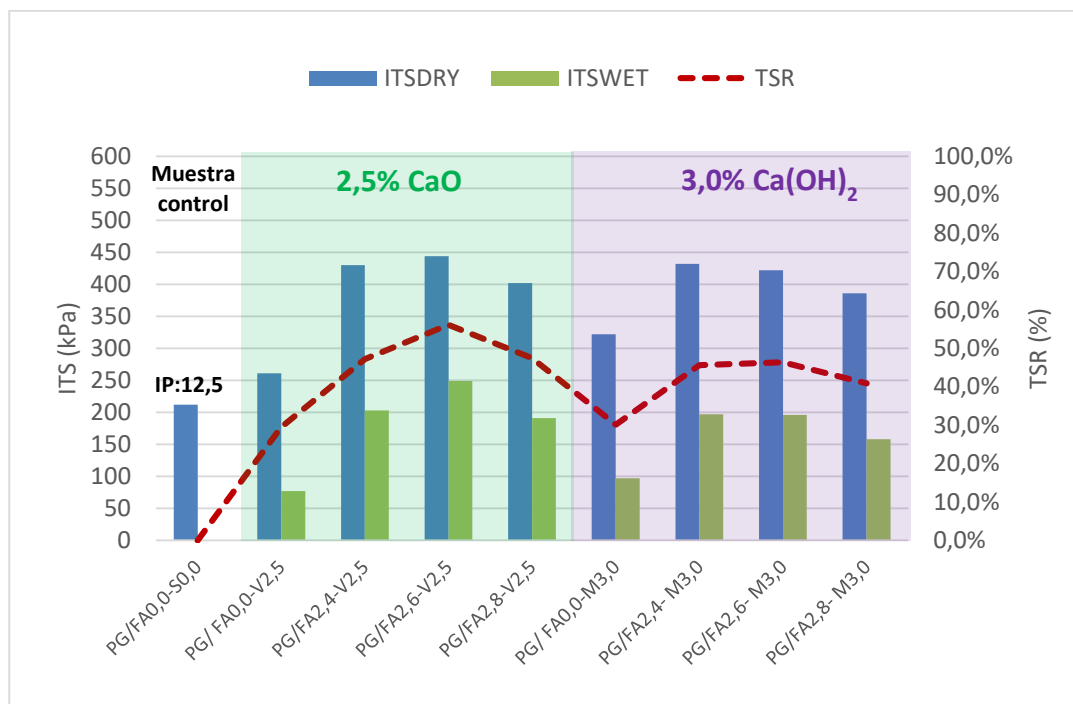


Figura 106 ITS<sub>dry</sub>, ITS<sub>wet</sub>, TSR del Material PG con 2,5% de CaO y 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub> tratado conjuntamente con diferentes concentraciones de FA. Fuente: Elaboración del autor.

En la Figura 106, se observa que a pesar de tener una mayor concentración de Ca(OH)<sub>2</sub>, con este no se supera la resistencia a la tracción indirecta en condición seca o húmeda del material tratado con 2,5% de CaO. Adicionalmente, la variación con el incremento de FA, no significó un aumento considerable en la resistencia, la cual se mantiene en un rango entre 380 y 450 kPa. De igual forma los TSR obtenidos con la concentración del 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub>, en general no superan las obtenidas con 2,5% de CaO. El material modificado solo con CaO o con Ca(OH)<sub>2</sub> en general

aporta un 30% en la resistencia conservada (TSR), y al tratarlo conjuntamente con FA esta se incrementa adicionalmente en un 24% aproximadamente.

Como se indicó en el capítulo 3, el material PG se clasificó como ácido, de acuerdo con los resultados del ensayo de pH. Esta condición, es importante tenerla en cuenta y diferentes investigadores, como Kumar (Kumar, 2004), señala que la química y la mineralogía de la superficie del agregado, desempeñan un papel significativo en la adherencia con el asfalto, y sugiere que el asfalto se adhiere mejor a los agregados básicos que los agregados ácidos, lo que influye en la susceptibilidad frente al agua.

De acuerdo con la Asphalt Academy y la Wirtgen , (D. Collings et al., 2009; Wirtgen Group, 2012) las mezclas de asfalto espumado BSM, se clasifican en tres clases, dependiendo de la calidad del material y del tráfico de diseño, siendo la BSM 1 las que presentan las mejores propiedades de resistencia, las BSM 2 resistencias intermedias y las BSM 3 las que exhiben resistencias deficientes.

Para este tipo de BSM, la Asphalt academy en el año 2009 estableció, un criterio en función de la resistencia a la tracción indirecta seca y húmeda, cumpliendo estos dos valores se categorizan las mezclas de asfalto espumado. En las siguientes figuras, se muestra la clasificación de las diferentes mezclas elaboradas teniendo en cuenta los criterios propuestos por esta agencia.

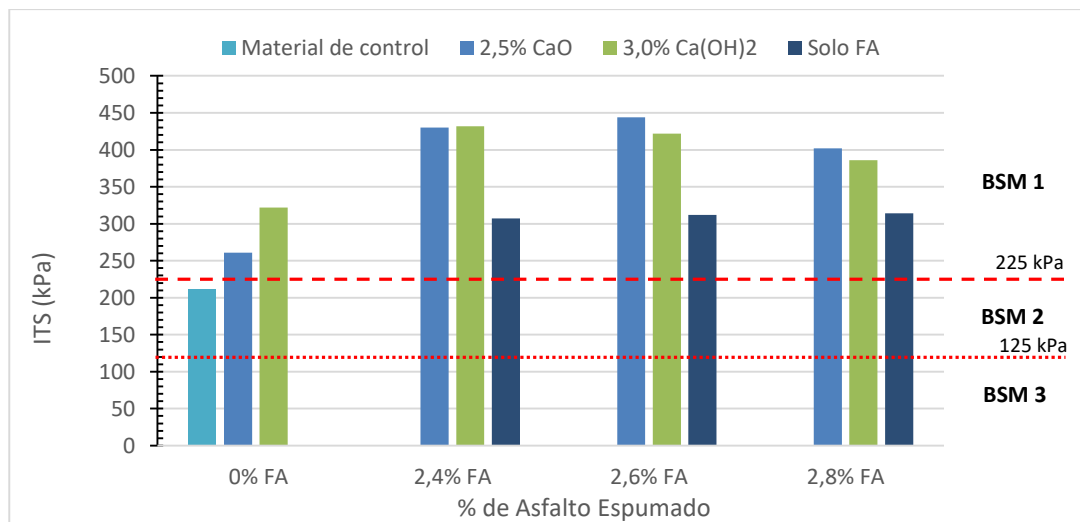


Figura 107 Variación  $ITS_{dry}$  de las mezclas elaboradas con diferentes concentraciones de FA y 2,5% de CaO o 3,0% de  $Ca(OH)_2$  del material PG. Fuente: Elaboración del autor.

En la Figura 107, se observa que para las mezclas pre-tratadas con CaO o Ca(OH)<sub>2</sub> y estabilizadas con FA, al igual que las estabilizadas con solo FA o tratadas solo con CaO o con Ca(OH)<sub>2</sub>, cumplen con el criterio de ITS<sub>dry</sub> para clasificar como BSM1, lo que es indicativo de que el material estabilizado presenta una resistencia elevada a la tracción.

Lo anterior se debe a que la humedad de curado en seco de las muestras presenta valores inferiores al uno (1%), lo que genera un incremento significativo en la resistencia, especialmente en muestras que presenten un ligero comportamiento plástico (IP<10).

Por otra parte, el material de control, clasifica como BSM 2, con propiedades adecuadas de resistencia para menores tráficos.

Para tener la clasificación real de los materiales tratados se debe verificar también el criterio de resistencia a la tracción en condición húmeda; estos valores los observamos en la Figura 108

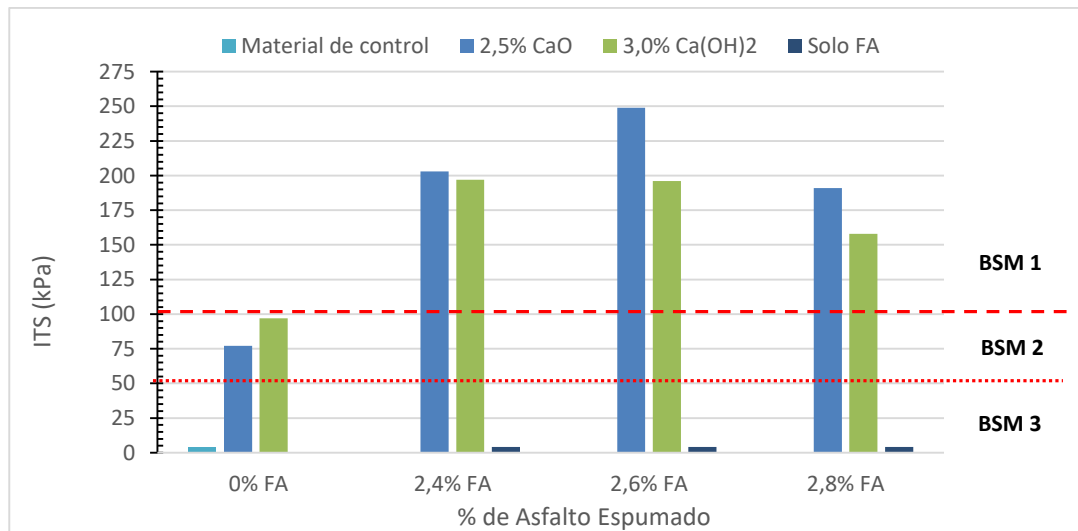


Figura 108 Variación ITS<sub>wet</sub> de las mezclas elaboradas con diferentes concentraciones de FA y 2,5% de CaO o 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub> del material PG. Fuente: Elaboración del autor.

En la Figura 108, se muestran las resistencias en condición húmeda - ITS<sub>wet</sub> para las diferentes mezclas elaboradas con el material PG. De esta figura es claro que, el material virgen es altamente susceptible al agua y, que la incorporación de solo

los llenantes activos, aun cuando colabora con el mejoramiento de la resistencia en condición húmeda del material virgen, la categoría de la estabilización pasa de BSM1 (obtenida en condición seca) a BSM 2. La sola incorporación de FA sin la adición de llenantes activos, no resulta viable y se requiere el pretratamiento bien sea con el CaO o con el Ca(OH)<sub>2</sub>, para mantener la clasificación de la estabilización en la categoría BSM1 y disminuir de esta manera la susceptibilidad al agua del material virgen.

Asphalt Academy y Wirtgen (D. Collings et al., 2009; Wirtgen Group, 2012), establecen que es indispensable analizar la capacidad de conservar la resistencia frente a cambios en las condiciones climáticas por lo que recomiendan que los BSM deben tener un TSR superior a 50%. En la Figura 109, se presentan los resultados de TSR para las mezclas elaboradas con las diferentes concentraciones de FA y 2,5% de CaO o 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub>. Como se observa en esta figura, únicamente la mezcla modificada con 2,5% de CaO y estabilizada con 2,6% de FA cumple con esta condición, en tanto que con las demás mezclas se alcanzan valores de TSR que en promedio son del orden del 48%. Por otro lado, también se evidencia que el cambio del contenido de FA, no tiene incidencia significativa en los valores de TSR.

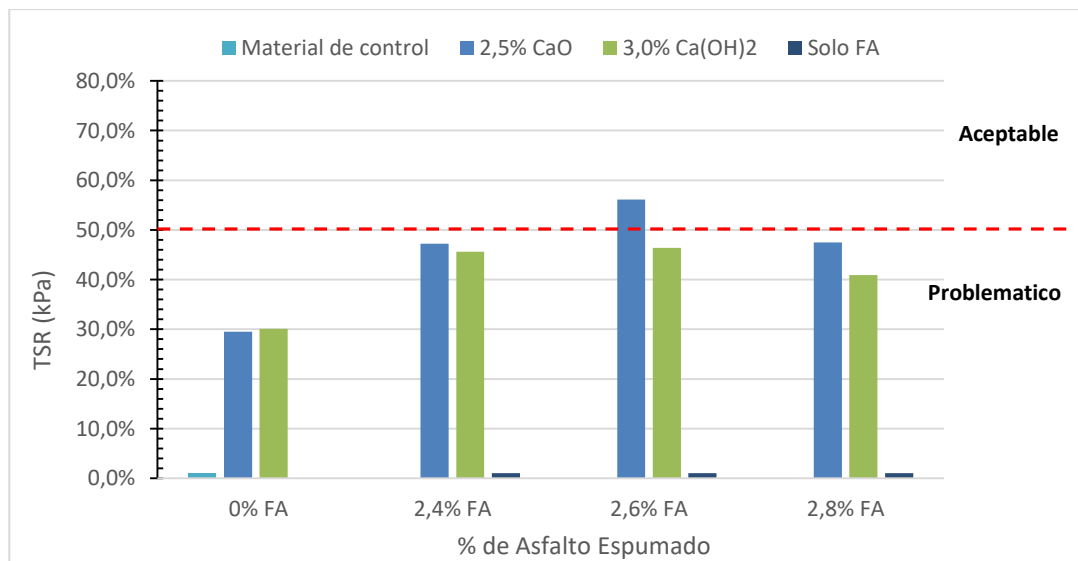


Figura 109 Variación TSR para el material PG tratado con 2,5% de CaO o 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub> conjuntamente con 0%, 2,4% 2,6% y 2,8% de FA.



Karim (Karim, 2015), indica que este criterio no se debe tomar como un parámetro de clasificación si no de verificación, debido a que la resistencia conservada depende en primera medida de las condiciones climáticas de donde se va a instalar, y estas se deberán analizar por medio de procesos de curado acordes con la región.

## 4.2 Resultados de tracción indirecta (ITS) y resistencia conservada (TSR) del material PF.

### 4.2.1 Mezcla de Control, y Mezclas con 2,5 y 3,0% de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub> - Material PF.

En la Tabla 33 y en la Figura 110 , se presentan los resultados de los ensayos de tracción indirecta seca (ITS<sub>dry</sub>), tracción indirecta húmeda (ITS<sub>wet</sub>) y la resistencia conservada (TSR), para la mezcla control (PF/S), la mezcla con 2,5% de CaO (PF/V2,5), mezcla con 3,0% de CaO (PF/V3,0), mezcla con 2,5% de Ca(OH)<sub>2</sub> (PF/M2,5), la Mezcla con 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub> (PF/M3,0).

Tabla 33 Resultados de ITS<sub>dry</sub>, ITS<sub>wet</sub>, y TSR de las mezclas de control y de las mezclas elaboradas con CaO o con Ca(OH)<sub>2</sub> en concentraciones del 2,5% y 3,0% - Material PF.

Mezcla	Briquetas Secas		Briquetas Húmedas		TSR	W% de curado
	$\rho_d$	ITS <sub>dry</sub>	$\rho_d$	ITS <sub>wet</sub>		
	g/cm <sup>3</sup>	kPa	g/cm <sup>3</sup>	kPa		
PG/FA0,0-S0,0	2,188	227	2,176	0	0,0	1,37
PF/FA0,0-V2,5	2,175	296	2,182	77	26,0	1,61
PF/FA0,0-V3,0	2,171	304	2,155	62	20,4	1,60
PF/FA0,0-M2,5	2,171	304	2,189	50	16,4	1,27
PF/FA0,0-M3,0	2,186	348	2,177	63	18,1	1,29

Fuente: Elaboración del autor.

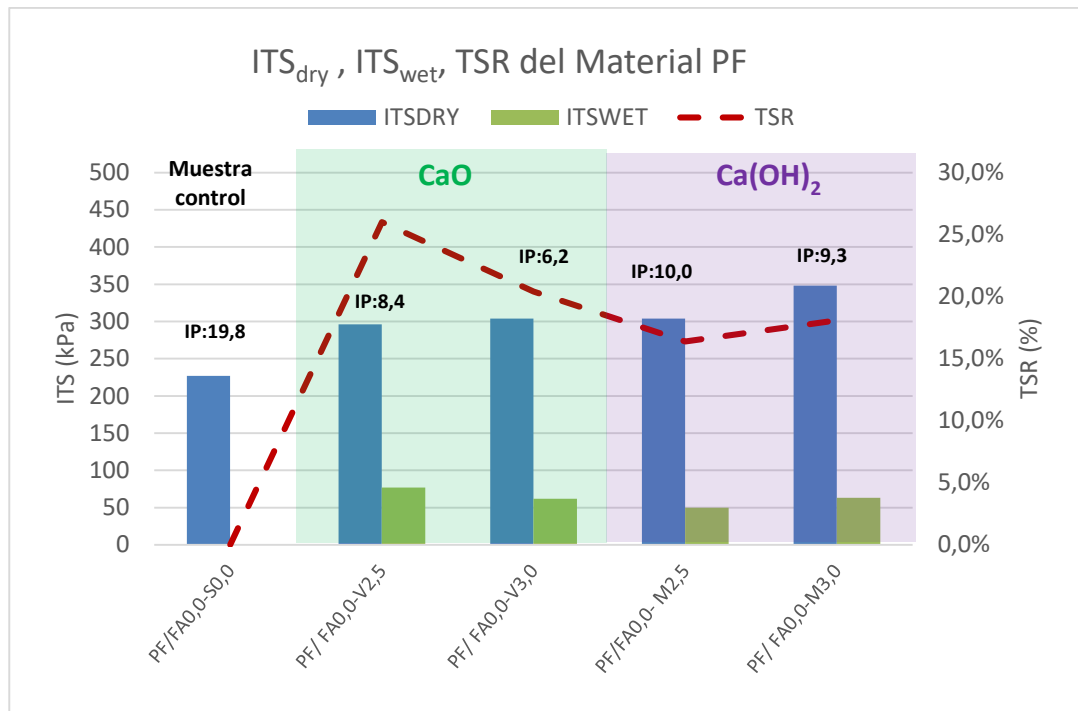


Figura 110 Resultados de ITS<sub>dry</sub>, ITS<sub>wet</sub>, y TSR de las mezclas control y de las mezclas con CaO o con Ca(OH)<sub>2</sub> en concentraciones de 2,5% y 3,0% - Material PF. Fuente Elaboración del autor.

En la Figura 110, se puede observar que la muestra control fabricada con el agregado sin ningún tratamiento (PF/FA0,0-S0,0), es susceptible al agua (ver Figura 111 a), y a media que el material es tratado con CaO o con Ca(OH)<sub>2</sub>, disminuye su índice de plasticidad mientras que su resistencia húmeda aumenta, siendo ligeramente mayor la obtenida en la muestra tratada con 2,5% de CaO. Se observa que con el incremento de CaO de 2.5% a 3.0% no se presentan cambios en las resistencias, mientras que para el caso del Ca(OH)<sub>2</sub> hay un incremento en la resistencia seca, aun cuando en la resistencia húmeda este cambio no es apreciable.

El IP presenta mayor reducción al tratar el material PF con CaO. Sin embargo, esta ligera variación en la plasticidad no afectó la resistencia en condiciones húmeda ni seca. En la Figura 111 se aprecia que la presencia del cal colabora con la integridad de la probeta en el agua, aun cuando las resistencias conservadas continúan siendo bajas - para el tratamiento con CaO se alcanza una TSR del 25%, mientras que con el Ca(OH)<sub>2</sub> esta es tan solo del 18%, ligeramente menor que con el material PG.



Figura 111 a) Material de control PF en acondicionamiento húmedo. b) material tratado con CaO o con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  en acondicionamiento húmedo. Fuente: Elaboración del autor.

#### 4.2.2 Mezclas con FA sin llenante activo.

En la Tabla 34 y en la Figura 112, se presentan los resultados de los ensayos de tracción indirecta seca ( $\text{ITS}_{\text{dry}}$ ), tracción indirecta húmeda ( $\text{ITS}_{\text{wet}}$ ) y resistencia conservada (TSR), para las mezclas del material PF tratado solo con FA, en concentraciones del 2,4% 2,6% y 2,8% .

Tabla 34 Resultados de  $\text{ITS}_{\text{dry}}$ ,  $\text{ITS}_{\text{wet}}$ , y TSR de la mezcla control y de las mezclas tratadas solo con FA - material PF.

Mezcla	Briquetas Secas		Briquetas Húmedas		TSR	W% de curado
	$\rho_d$	$\text{ITS}_{\text{dry}}$	$\rho_d$	$\text{ITS}_{\text{wet}}$		
	$\text{g/cm}^3$	kPa	$\text{g/cm}^3$	kPa		
<b>control</b>	2,188	227	2,176	0	0,0	1,37
<b>PF/FA 2,4-S0,0</b>	2,168	282	2,171	0	0,0	1,43
<b>PF/FA 2,6-S0,0</b>	2,154	290	2,174	0	0,0	1,37
<b>PF/FA 2,8-S0,0</b>	2,149	322	2,181	0	0,0	1,42

Fuente: Elaboración del autor.

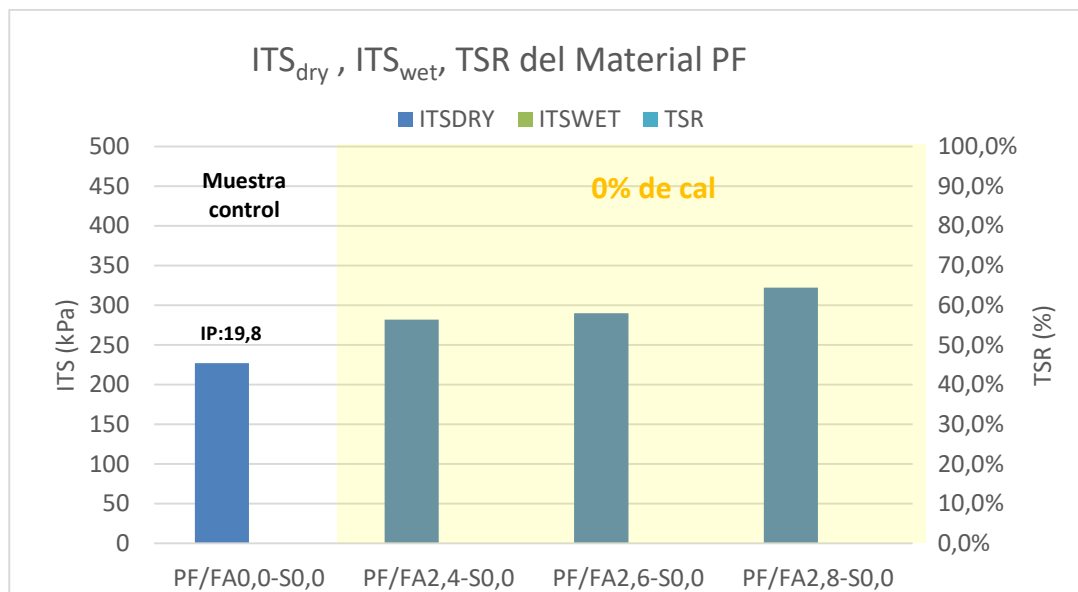


Figura 112 Resultados de  $ITS_{dry}$ ,  $ITS_{wet}$ , y TSR de las mezclas tratadas solo con FA a 2,4%, 2,6% y 2,8% del material PF. Fuente: Elaboración del autor.

Como se observa en la Figura 112, el material PF al tratarlo con las diferentes concentraciones de FA, presenta un incremento en la ITS seca con respecto al material control (pasa de 230 kPa al orden de 300 kPa), se observa que a medida que se incrementa la concentración de FA (de 2,4% a 2,8%) se va generando incrementos en el ITS seco. Sin embargo, con el tratamiento con FA, no se logra disminuir la alta susceptibilidad al agua que presenta el material PF, desintegrándose las probetas durante el proceso de inmersión en agua.

En la Figura 113, se observa el comportamiento de las probetas elaboradas con las mezclas del material PF y CaO,  $Ca(OH)_2$ , o FA, durante el proceso de acondicionamiento en húmedo de 24 horas a 25°C. Se evidencia que el tratamiento con solo FA no mejora la integridad de las probetas, lo que indica que este agente no es eficiente en materiales plásticos, como era de esperarse. El tratamiento individual con CaO o con  $Ca(OH)_2$  del material PG, tal como se mostró en la Figura 102, dio lugar a una mejor integridad en las muestras con respecto a lo exhibido para el material PF – en este caso las muestras se aprecian ligeramente más afectadas por el acondicionamiento húmedo.

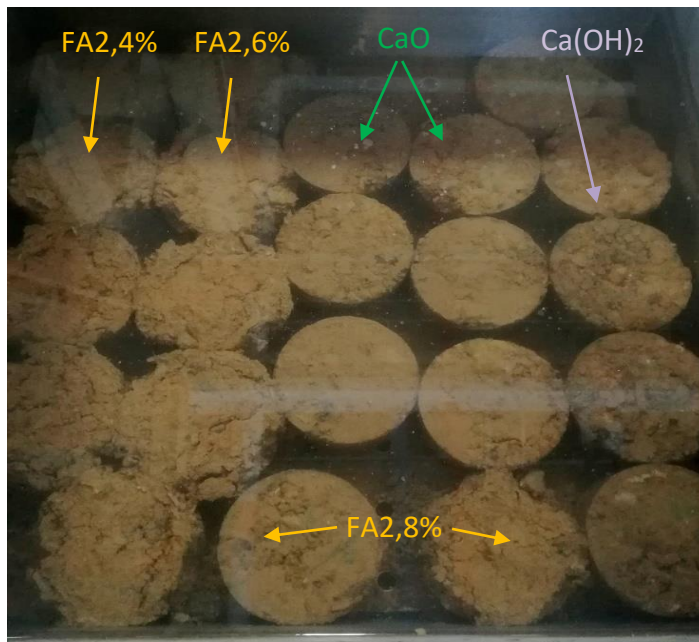


Figura 113 Tratamiento con solo FA y con solo CaO y Ca(OH)<sub>2</sub>. Fuente: Elaboración del autor.

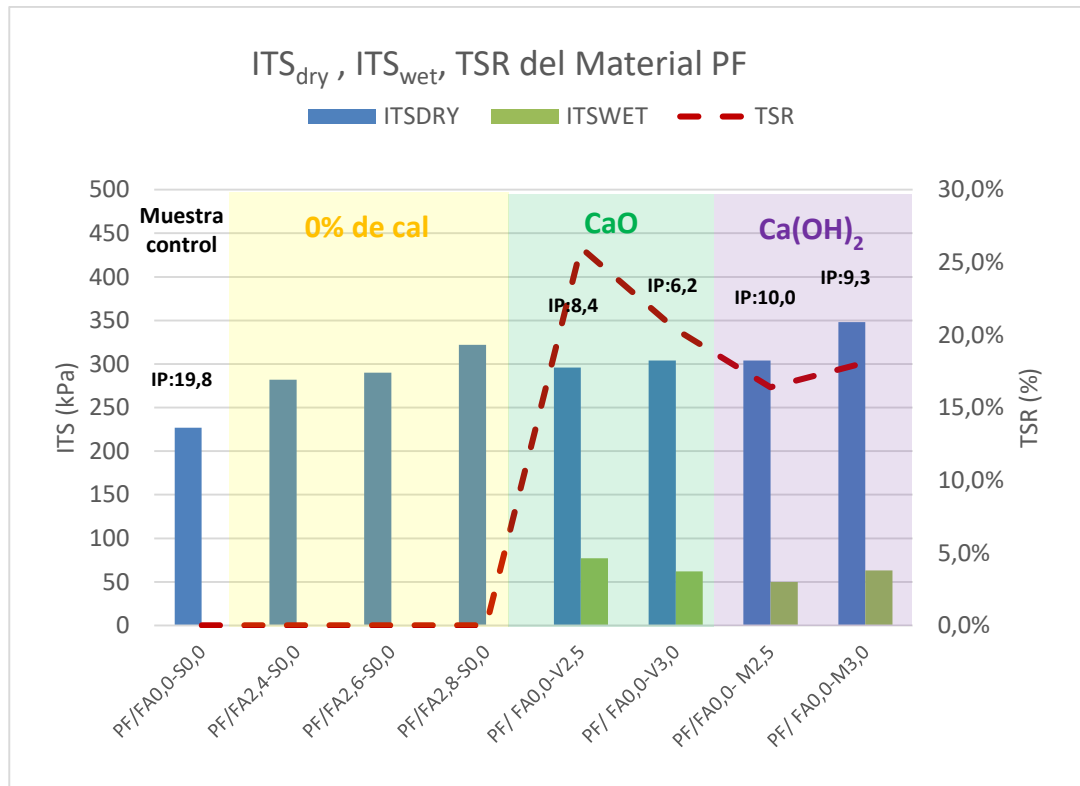


Figura 114 Resultados de ITS<sub>dry</sub>, ITS<sub>wet</sub>, y TSR de las mezclas tratadas individualmente con diferentes concentraciones de FA o con CaO o Ca(OH)<sub>2</sub> en dosificaciones de 2,5% y 3,0% para el material PF. Fuente Elaboración del autor.

Como se observa en la Figura 114, la resistencias en seco de los materiales tratados con FA, son equiparables con las resistencias en seco del material tratado solo con CaO o con Ca(OH)<sub>2</sub>. Sin embargo, la resistencia conservada (TSR) con FA es nula, evidenciándose la necesidad de un pretratamiento de material con cal.

#### 4.2.3 Mezclas con FA y 2,5% de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub>.

En la Tabla 35 y en la Figura 115, se presentan los resultados de los ensayos de tracción indirecta seca (ITS<sub>dry</sub>), tracción indirecta húmeda (ITS<sub>wet</sub>) y la resistencia conservada (TSR), para la mezcla del material PF con 2,5% CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub> conjuntamente con FA en concentraciones de 2,4% 2,6% o 2,8%.

Tabla 35 Resultados de ITS<sub>dry</sub>, ITS<sub>wet</sub>, y TSR de las mezclas de control y de las mezclas tratadas con 2,5% de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub> y diferentes concentraciones de FA - material PF.

Mezcla	Briquetas Secas		Briquetas Húmedas		TSR	W% de curado
	$\rho_d$	ITS <sub>dry</sub>	$\rho_d$	ITS <sub>wet</sub>		
	g/cm <sup>3</sup>	kPa	g/cm <sup>3</sup>	kPa	%	%
<b>control</b>	2,188	227	2,176	0	0,0	0,60
<b>PF/FA2,4-V2,5</b>	2,155	307	2,162	120	39,1	0,72
<b>PF/FA2,6-V2,5</b>	2,123	306	2,126	120	39,2	1,70
<b>PF/FA2,8-V2,5</b>	2,126	288	2,142	125	43,4	1,30
<b>PF/FA2,4-M2,5</b>	2,129	245	2,115	91	37,1	1,30
<b>PF/FA2,6-M2,5</b>	2,144	226	2,109	75	33,2	1,33
<b>PF/FA2,8-M2,5</b>	2,118	275	2,149	95	34,5	1,33

Fuente: Elaboración del autor.

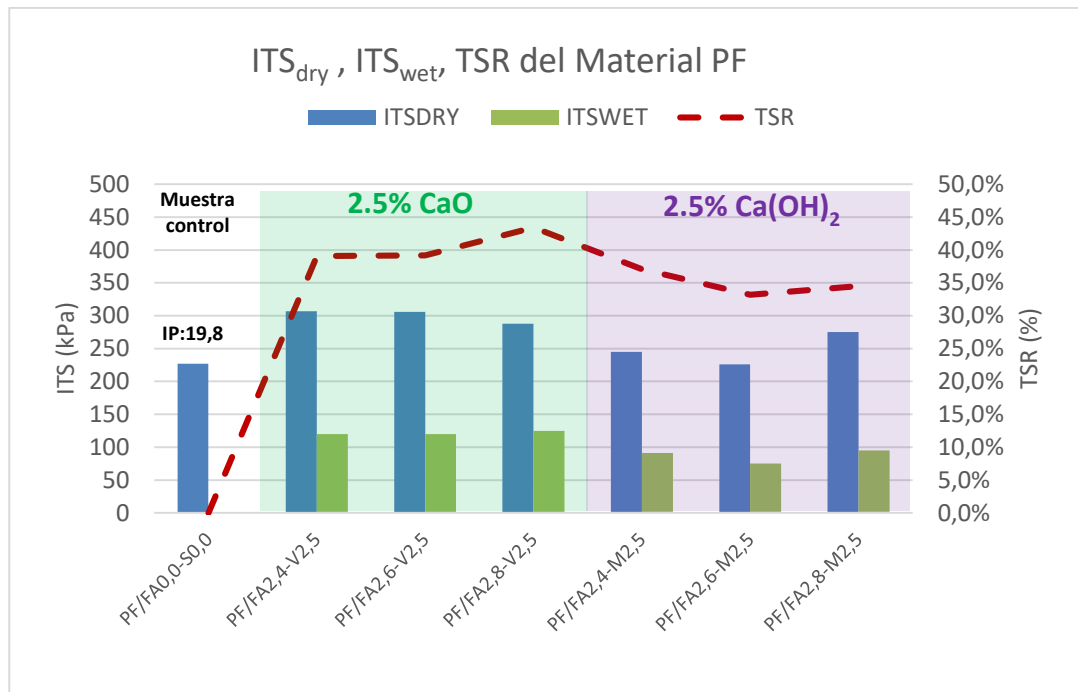


Figura 115 Resultados de ITS<sub>dry</sub>, ITS<sub>wet</sub>, y TSR de las mezclas tratadas con 2,5% de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub> y diferentes concentraciones de FA del material PF. Fuente: Elaboración del autor.

Como se evidencia de los resultados, se presenta un incremento de la resistencia húmeda y por lo tanto de las resistencias conservadas al pretratar el material con cualquiera de los llenantes activos y estabilizarlo con FA. En general, con el CaO se obtienen resistencias en seco (ITS<sub>dry</sub>) ligeramente superiores, alcanzando valores del orden de 300 kPa y resistencias en húmedo (ITS<sub>wet</sub>) de 140 kPa, sin presentarse efecto en las resistencias con la variación en la concentración de FA. El valor máximo de resistencia conservada (TSR) es de alrededor del 43%, en las mezclas en las que se usó una concentración de FA del 2,8%. Con 2,5% de Ca(OH)<sub>2</sub> para las diferentes concentraciones de FA, las resistencias en seco y en húmedo no superan los valores recomendados por la experiencia Sudafricana de 250 kPa y 100kPa, respectivamente, y las resistencias conservadas (TSR) no superan el 40%.

Con estos resultados es evidente que para el tratamiento del material PF, se obtienen los mejores resultados de resistencias con un pretratamiento con 2.5% de CaO y una estabilización con 2.8% de FA, pero de acuerdo con el Asphalt Academy, este material no alcanzaría el criterio de estabilización debido a que el valor de resistencia conservada (TSR) no cumple con el criterio mínimo de 50%.

#### 4.2.4 Mezclas con FA y 3.0% de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub> - Material PF.

En la Tabla 36 y en la Figura 116, se presentan los resultados de los ensayos de tracción indirecta seca (ITS<sub>dry</sub>), tracción indirecta húmeda (ITS<sub>wet</sub>) y la resistencia conservada (TSR), para las mezclas con 3,0% CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub>, estabilizadas con FA en concentraciones de 2.4%, 2,6% y 2,8%.

Tabla 36 Resultados de ITS<sub>dry</sub>, ITS<sub>wet</sub>, y TSR de las mezclas de control y de las mezclas tratadas con 3,0% de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub> y diferentes concentraciones de FA - material PF.

Mezcla	Briquetas Secas		Briquetas Húmedas		TSR	W% de curadoS
	$\rho_d$	ITS <sub>dry</sub>	$\rho_d$	ITS <sub>wet</sub>		
	g/cm <sup>3</sup>	kPa	g/cm <sup>3</sup>	kPa		
<b>Control</b>	2,188	227	2,176	0	0,0	0,60
<b>PF/FA2,4-V3,0</b>	2,133	321	2,142	101	31,5	1,44
<b>PF/FA2,6- V3,0</b>	2,158	342	2,146	117	34,2	1,51
<b>PF/FA2,8- V3,0</b>	2,141	340	2,133	126	37,1	1,41
<b>PF/FA2,4-M3,0</b>	2,141	324	2,155	101	31,2	1,09
<b>PF/FA2,6- M3,0</b>	2,138	376	2,131	103	27,4	1,07
<b>PF/FA2,8- M3,0</b>	2,149	375	2,150	133	35,5	0,55

Fuente: Elaboración del autor.



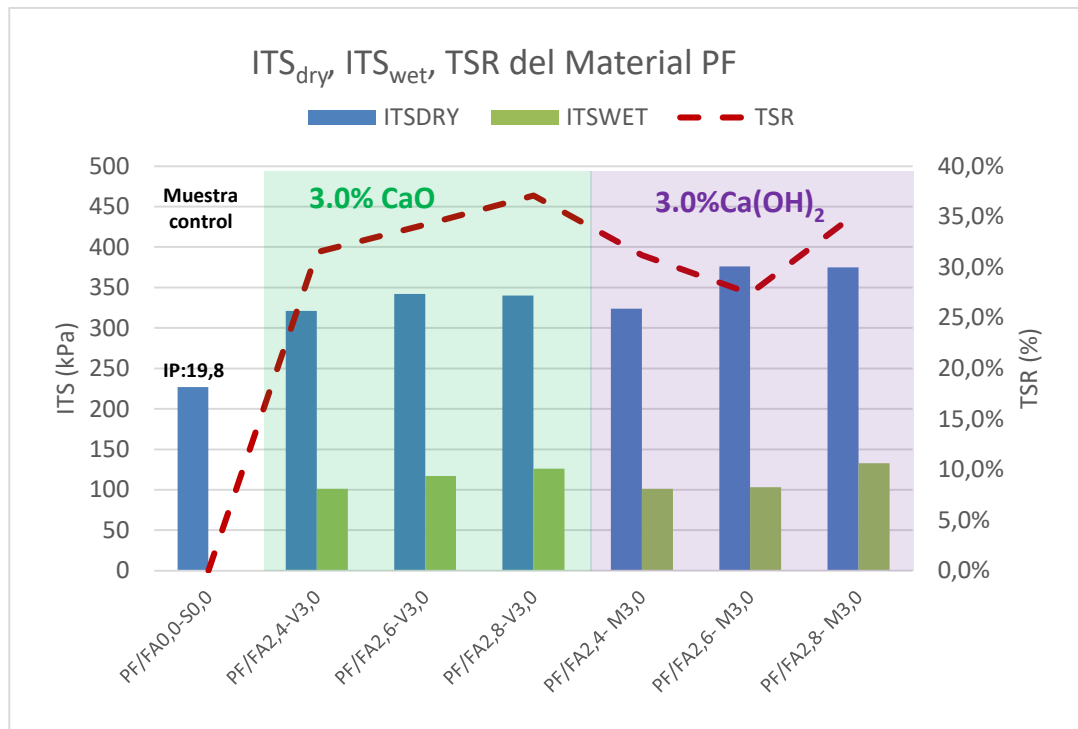


Figura 116 Resultados de ITS<sub>dry</sub>, ITS<sub>wet</sub>, y TSR de las mezclas control, diferentes concentraciones de FA y pretratadas con 3,0% de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub> del material PF. Fuente: Elaboración del autor.

Para concentraciones de llenante activo del 3.0%, las ITS<sub>dry</sub> de las mezclas tratadas con Ca(OH)<sub>2</sub>, son mayores a las tratadas con CaO . Se aprecia un incremento significativo en la resistencia seca (ITS<sub>dry</sub>), cuando se incrementa la concentración de Ca(OH)<sub>2</sub> de 2,5% a 3,0%, superando en la mayoría de los casos los 350 kPa, incremento que no se evidencia cuando se trabaja con las diferentes concentraciones de CaO. Nuevamente, se encuentra una concentración óptima de 2.8% de FA tanto para el tratamiento con CaO como para el tratamiento con Ca(OH)<sub>2</sub>, aun cuando el TSR no supera el 50%. Finalmente, para todas las condiciones evaluadas se obtienen valores superiores a los mínimos recomendados por la experiencia Sudafricana de ITS<sub>dry</sub> de 250 kPa y de ITS<sub>wet</sub> de 100kPa, pero los valores de TSR varían entre 30 y 40%

#### 4.2.5 Resumen de resultados de tracción indirecta (ITS) y resistencia conservada (TSR) del material PF.

En la Tabla 37 y en la Figura 117, se comparan los resultados para el material PF modificados con 2,5% de CaO y 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub> y tratados conjuntamente con FA. Estas dosificaciones de los agentes activos son comparados debido a que con ellos se obtuvo la mayor reducción del índice de plasticidad del material, es decir corresponden a los óptimos, tal como se analizó en el capítulo 3.

Adicionalmente debido a que el material PF no se logró estabilizar, se buscó incrementar el contenido de CaO a un 4,0%, con 2,8% de FA (PF/FA2,8-V4.0), e incluir un 1.0% de cemento más 2,5% CaO y 2,8% de FA (PF/FA2.8-V2.5+C1.0), los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 37 y en la Figura 117.

Figura 117 ITS<sub>dry</sub>, ITS<sub>wet</sub>, y TSR de las mezclas con óptimos de CaO y de Ca(OH)<sub>2</sub> y diferentes concentraciones de FA y de mezclas especiales Fuente: Elaboración del autor.

Tabla 37 ITS<sub>dry</sub>, ITS<sub>wet</sub>, y TSR de las mezclas con 2,5% de CaO y 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub> tratado conjuntamente con diferentes concentraciones de FA, y de mezclas tratadas con 4,0% CaO y 2,8% de FA y con 2.5% de CaO, 1% de cemento y 2.8 de FA, - material PF.

Mezcla	Briquetas Secas		Briquetas Húmedas		TSR	W% de curado
	ρ <sub>d</sub>	ITS <sub>dry</sub>	ρ <sub>d</sub>	ITS <sub>wet</sub>		
	g/cm <sup>3</sup>	kPa	g/cm <sup>3</sup>	kPa		
<b>PF/FA0,0-S0,0</b>	2,188	227	2,176	0	0,0	0,60
<b>PF/FA2,4-V2,5</b>	2,155	307	2,162	120	39,1	0,72
<b>PF/FA2,6- V2,5</b>	2,123	306	2,126	120	39,2	1,70
<b>PF/FA2,8- V2,5</b>	2,126	288	2,142	125	43,4	1,30
<b>PF/FA2,8-V4,0</b>	2,101	275	2,092	121	44,0	1,44
<b>PF/FA2,8-V2,5 + C1,0</b>	2,138	363	2,138	143	39,4	1,31
<b>PF/FA2,4-M3,0</b>	2,141	324	2,155	101	31,2	1,09
<b>PF/FA2,6- M3,0</b>	2,138	376	2,131	103	27,4	1,07
<b>PF/FA2,8- M3,0</b>	2,149	375	2,150	133	35,5	0,55

Fuente: Elaboración del autor.

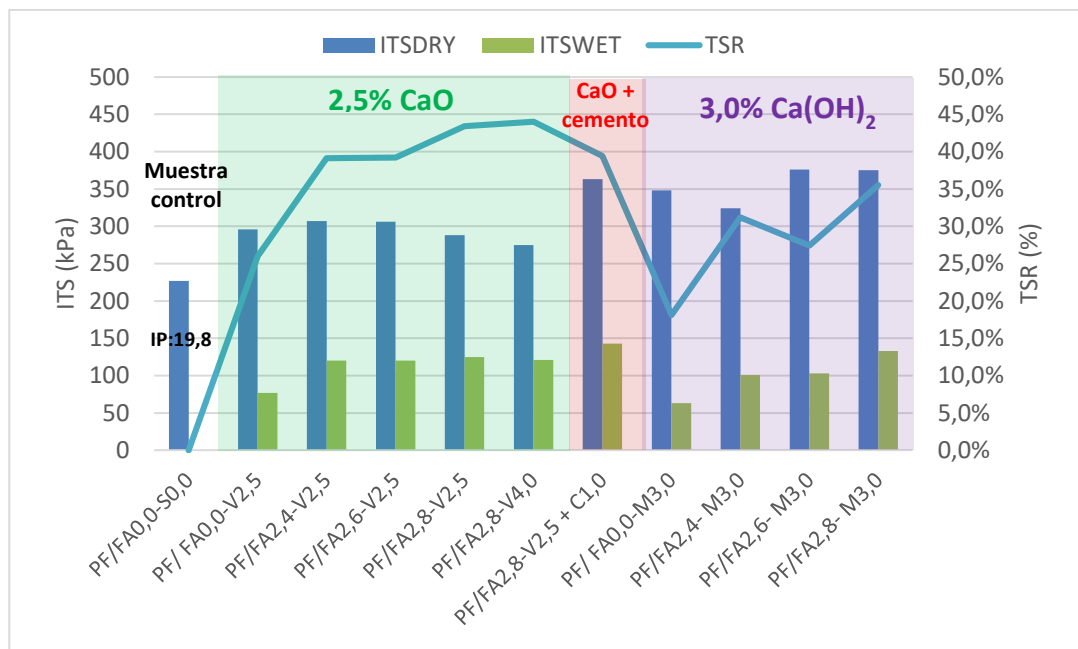


Figura 117 ITS<sub>dry</sub>, ITS<sub>wet</sub>, y TSR de las mezclas con óptimos de CaO y de Ca(OH)<sub>2</sub> y diferentes concentraciones de FA y de mezclas especiales Fuente: Elaboración del autor.

En la Figura 117, se observa nuevamente que con el tratamiento con CaO, a pesar de tener una menor concentración, se supera la resistencia húmeda con respecto a la obtenida con el Ca(OH)<sub>2</sub>. Cabe resaltar que el material tratado con Ca(OH)<sub>2</sub> presenta una ITS<sub>dry</sub> mayor. Adicionalmente, con ambos tratamientos, el incremento de FA no significó un aumento en las ITS. Las TSR con 3.0% de Ca(OH)<sub>2</sub>, en general no superan las obtenidas con 2.5% de CaO.

En general, se puede decir que el tratamiento del material PF con CaO y FA da lugar a una mayor resistencia conservada y que el FA ayuda a mejorar la ITS<sub>wet</sub> del material.

En búsqueda de dar cumplimiento a lo establecido por la Asphalt Academy y poder estabilizar el material PF, se aumentó el contenido de CaO a un 4,0% arrojando como resultado que no se mejora la ITS<sub>wet</sub> del material. Otra alternativa evaluada fue la adición del 1,0% de cemento, en conjunto con CaO y FA, encontrándose que la resistencia seca mejoro drásticamente, pero la tasa de resistencia ganada en la resistencia humedad fue mucho menor, lo que generó una disminución del valor de resistencia conservada (TSR).

En la Figura 118 se muestra la clasificación de las mezclas del material PF de acuerdo con los criterios establecidos por la Asphalt Academy.

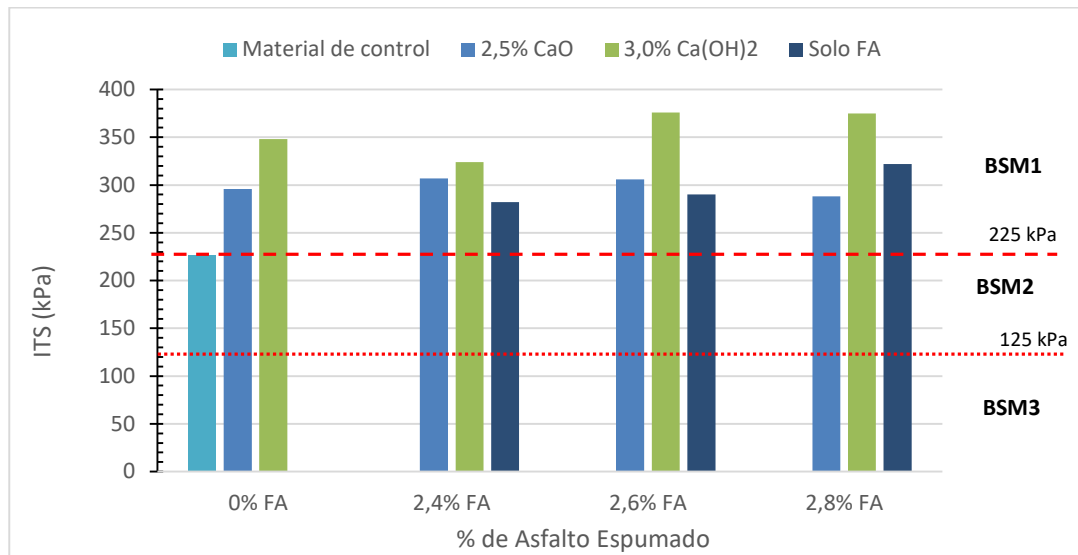


Figura 118  $ITS_{dry}$  de las mezclas elaboradas con diferentes concentraciones de FA pretratadas con los óptimos de CaO o de  $Ca(OH)_2$  - material PF. Fuente: Elaboración del autor.

Como se observa en la Figura 118, todos los tratamientos del material PF analizados, cumplen el criterio de  $ITS_{dry}$  y clasifican como BSM1, mejorando la clasificación del material virgen sin ningún tratamiento que clasifica como BSM2.

Para tener en cuenta la clasificación de los materiales tratados también se debe verificar el criterio de resistencia en condición húmeda, estos valores los observamos en la Figura 119.

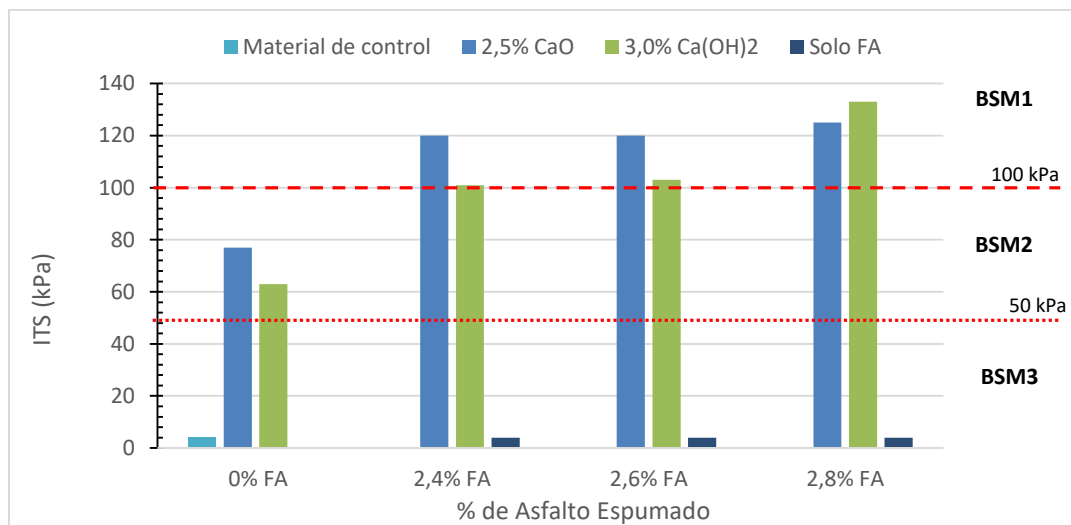


Figura 119  $ITS_{wet}$  de las mezclas elaboradas con diferentes concentraciones de FA pretratadas con los óptimos de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub> - material PF. Fuente: Elaboración del autor.

En la Figura 119, se muestran las  $ITS_{wet}$  para las diferentes mezclas elaboradas con el material PF. Al observar la figura es claro que el material es altamente susceptible al agua y que la incorporación de los llenantes, aunque colabora con la mejora de la resistencia húmeda, no es suficiente para su optimización y las mezclas clasifican en la categoría BSM2. El empleo de FA sin llenante activos no resulta viable y se requiere el pretratamiento bien sea con el CaO o con Ca(OH)<sub>2</sub>, para mantener la clasificación como BSM2.

Al analizar los valores del tratamiento en conjunto entre 2,5% de CaO o 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub>, la mezcla tratada con 2,5% CaO tiene mayor resistencia húmeda que el material tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>, el cual escasamente llega alcanzar los 100 kPa. Finalmente se establece que el cambio en el contenido de FA no altera la resistencia del material.

En la Figura 120 se presentan los resultados de TSR para las mezclas elaboradas con las diferentes concentraciones de FA y 2,5% de CaO o 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub>. Se puede apreciar que con ninguna de las mezclas se logran TSR superiores al 50% siendo en promedio del 40% para el tratamiento con CaO, y del 30% para el tratamiento con 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub>. Lo anterior demuestra que a pesar de que no se cumple el criterio establecido por la Asphalt Academy, el tratamiento con CaO aporta

un 10% más en la resistencia conservada, en comparación con el material  $\text{Ca(OH)}_2$ . Por otro lado, también se evidencia que el cambio del contenido de FA, no tiene incidencia significativa en los valores de TSR.

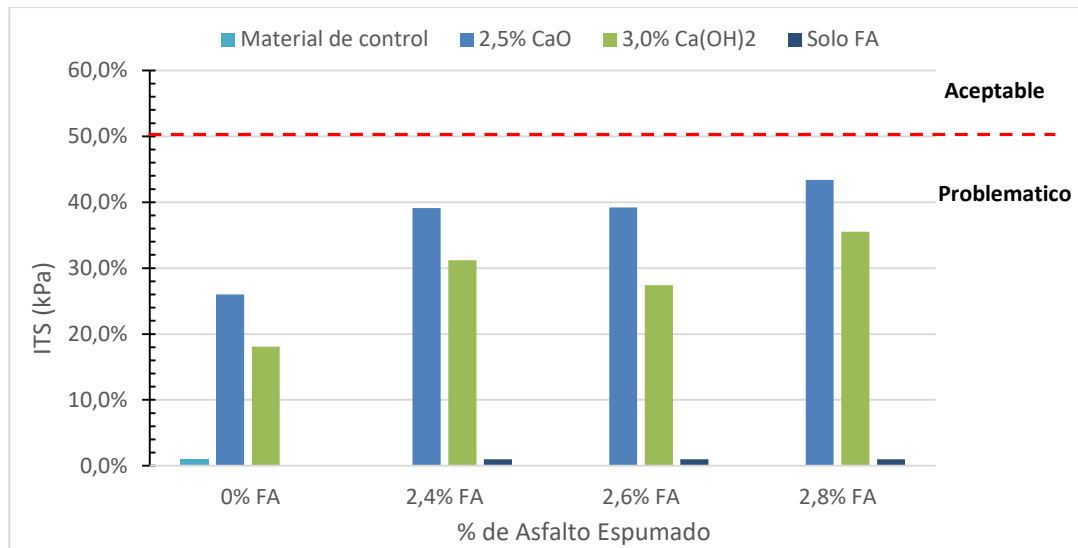


Figura 120 Variación de la TSR para las mezclas con los óptimos de CaO o de  $\text{Ca(OH)}_2$  tratadas conjuntamente con FA - material PF. Fuente: Elaboración del autor.

#### 4.2.6 Comparación de las $\text{ITS}_{\text{dry}}$ , $\text{ITS}_{\text{wet}}$ y TSR de los material PG y PF.

A continuación, se comparan los resultados de los material PF y PG, con respecto a los valores de resistencia seca ( $\text{ITS}_{\text{dry}}$ ), resistencia húmeda ( $\text{ITS}_{\text{wet}}$ ) y resistencia conservada (TSR), como se observa en la Figura 121.

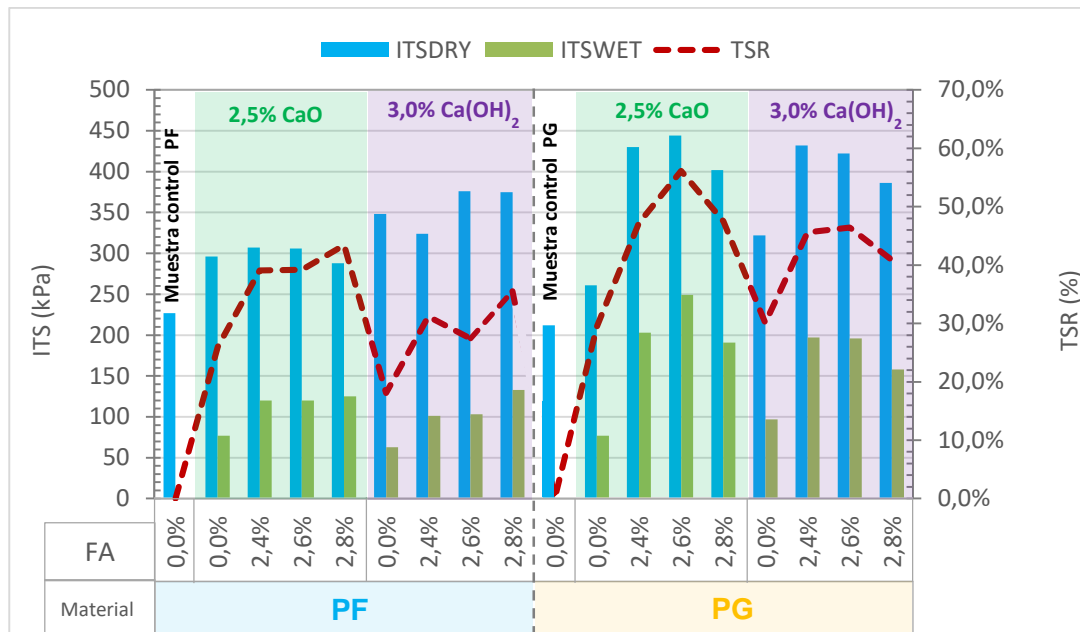


Figura 121 ITS<sub>dry</sub>, ITS<sub>wet</sub>, TSR de las mezclas con 2.5% de CaO o 3.0% de Ca(OH)<sub>2</sub> tratadas conjuntamente con FA, de los materiales PG y PF. Fuente: Elaboración del autor

Aunque no es tan representativo el cambio de la resistencia entre los agentes modificadores CaO y Ca(OH)<sub>2</sub>, se observa que con el CaO en conjunto con el FA se tiene un mejor desempeño frente al agua en ambos materiales.

Respecto a las resistencias secas las del material PG son mayores debido presumiblemente a que presenta una mejor distribución y proporción arenas (Ver capítulo 3), que según Chao y Peng (Chao-hui & Peng, 2011), afecta la resistencia mecánica de las BSM-M.

#### 4.3 Módulo resiliente (Mr) de las mezclas elaboradas con el material PG.

El módulo resiliente (Mr) se midió a diferentes niveles de presiones de confinamiento y esfuerzos desviadores, con el fin de determinar su valor en función de las condiciones de esfuerzos, en otras palabras, obtener las ecuaciones constitutivas que definan el comportamiento del Mr en las mezclas elaboradas.

Se fabricaron dos probetas por cada combinación de llenante activo y concentración de FA (ver Tabla 28), para analizar la confiabilidad de los resultados; las pruebas se ejecutaron bajo la norma de ensayo INV E 156 – 2013 "Módulo resiliente de suelos

y agregados”, sobre probetas de 100mm de diámetro y 200mm de altura, compactadas, por método vibratorio, con la humedad óptima, admitiéndose una máxima variación de  $\pm 1\%$ , hasta alcanzar, en promedio, se logró el 97% de la densidad seca máxima del proctor modificado. Las probetas se ensayaron después de 3 días de tener una misma condición de curado.

Los resultados de Mr permitieron evaluar el comportamiento de la rigidez y la dependencia de esfuerzos usando dos modelos: Modelo K- $\theta$  propuesto por Seed y otros (1967), y el modelo cortante octaédrico, de Witczak y Uzan (1985), y posteriormente modificado en la Mechanistic Empirical Pavement Design Guide “MEPDG” (2001). Estos modelos actualmente son los más aplicados en la evaluación del comportamiento de los materiales no ligados, y se están usando para evaluarlos materiales semi-ligados, como resultan ser los BSM, con muy buenos resultados. (Halles & Thenoux, 2009).

#### **4.3.1 Resultados de Mr.**

En la Tabla 38 se presentan los resultados del Mr del material PG tratado solo con CaO o con  $\text{Ca(OH)}_2$  en concentraciones del 2,5% y 3,0%, y solo con FA en concentraciones de 2,4, 2,6 y 2,8%. Igualmente se presentan los resultados del material virgen sin ningún tratamiento (muestra de control), con propósitos comparativos que permitan evaluar las modificaciones o afectaciones a la rigidez con la incorporación de los llenantes activos o del FA usados como únicos agentes estabilizadores.



Tabla 38 Mr para diferentes mezclas del material PG con los llenantes activos o con solo FA y diferentes condiciones de esfuerzo.

Esfuerzo máximo ((kPa)		20	41	62	34	68	103	68	137	206	68	103	206	103	137	275
Presión de confinamiento (kPa)		20	20	20,7	34	34	34	68	68	68	103	103	103	137	137	137
PG/FA0,0-S0,0	P1	76	85	98	86	109	129	119	165	194	145	153	209	179	184	267
	P2	69	86	98	84	109	129	116	164	194	124	149	209	172	183	258
PG/FA2,4-S0,0	P1	69	80	94	89	109	128	127	134	147	173	162	179	213	206	201
PG/FA2,6-S0,0	P1	58	75	93	78	105	129	138	169	202	160	164	216	187	194	194
PG/FA2,8-S0,0	P1	70	79	97	86	112	134	133	172	202	149	166	218	179	198	201
PG/FA0,0-V2,5	P1	78	114	122	87	128	149	134	185	244	144	176	252	180	205	248
	P2	70	83	104	87	116	139	129	172	220	145	167	249	191	218	236
PG/FA0,0-V3,0	P1	73	98	116	108	138	162	167	215	252	187	211	280	236	262	268
	P2	88	101	118	101	134	157	148	198	232	156	181	253	208	231	223
PG/FA0,0-M2,5	P1	84	104	125	111	139	161	156	196	228	164	183	251	207	232	232
	P2	93	100	122	107	137	162	149	193	225	152	171	239	183	210	206
PG/FA0,0-M3,0	P1	135	133	146	135	162	183	178	219	275	200	231	311	247	278	276
	P2	157	163	178	164	191	213	202	249	290	210	244	325	259	289	290

P1: Probeta 1 – P2: Probeta 2 – “Los valores de los Mr están en MPa”

Fuente: Elaboración del autor.

Como se observa de los valores consignados en la Tabla 38, el Mr del material sin tratamiento alguno, es decir del material virgen, (PG/FA0,0-S0,0) varía entre 70 y 270 MPa y, la incorporación de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub> no afecta significativamente el Mr en el rango de esfuerzos evaluado. Para las diferentes concentraciones de FA usadas, se aprecia una ligera disminución en la rigidez de las mezclas, obteniendo Mr que oscilan entre 70 MPa y 200 MPa y, de igual forma, no se aprecia ninguna diferencia significativa en el Mr al incrementar el contenido de asfalto como se puede ver en la Figura 122 (b).

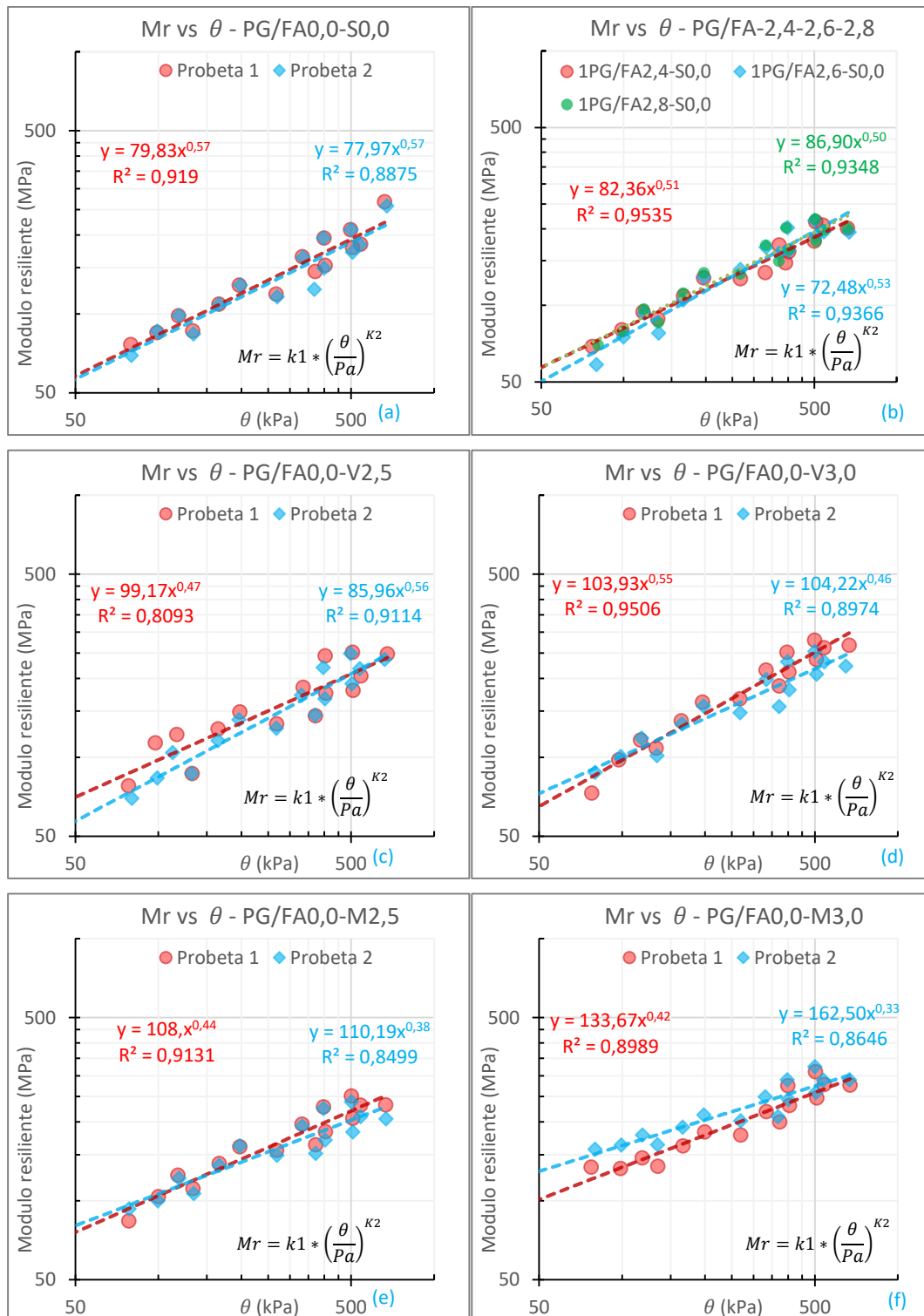


Figura 122 Mr obtenidos para el material virgen y tratados solo con llenante activo o con diferentes concentraciones de FA. Fuente elaboración del autor.

En general los R2 que se encontraron (superiores a 0,8), muestran una buena relación entre el Mr y el primer invariante de esfuerzos, apreciándose la dependencia del Mr del nivel de confinamiento.

Los valores del Mr para las mezclas pretradas con los llenantes activos en una concentración del 2,5% y luego estabilizadas con FA se presentan en la Tabla 39 Para estas diferentes condiciones de mezcla, los Mr varían entre un mínimo de 61 MPa (corresponde a la mezcla elaborada con la mayor concentración de FA y 2,5% de Ca(OH)<sub>2</sub>) y un máximo de 425 MPa (obtenido en la mezcla elaborada con una concentración de FA del 2,6% y un contenido de CaO del 2,5%). Los valores de Mr en general, son ligeramente inferiores a los reportados en otros estudios de estabilización con FA, sin embargo, es importante aclarar que en dichos estudios los materiales tratados corresponden principalmente a materiales obtenidos de procesos de reciclaje de pavimentos existentes que cumplen con los requerimientos óptimos para los BSM establecidos por la Asphalt Academy.(L.-J. Ebels & Jenkins, 2007)

Tabla 39 Mr para diferentes condiciones de esfuerzos en las mezclas tratadas con 2,5% de llenante activo y estabilizada con FA.

Esfuerzo máximo (kPa)		20	41	62	34	68	103	68	137	206	68	103	206	103	137	275
Presión de confinamiento (kPa)		20	20	20,7	34	34	34	68	68	68	103	103	103	137	137	137
PG/FA2,4-M2,5	P1	137	129	141	137	152	184	169	212	250	203	210	265	226	241	280
	P2	91	115	135	117	155	177	171	218	240	184	206	269	227	257	303
PG/FA2,6-M2,5	P1	88	114	135	117	156	180	168	223	249	170	205	277	217	255	317
	P2	103	122	140	128	160	186	175	236	260	170	206	292	214	258	329
PG/FA2,8-M2,5	P1	61	98	126	98	145	171	161	216	243	163	198	268	212	243	238
	P2	93	112	132	117	152	176	171	225	252	183	208	277	224	252	317
PG/FA2,4-V2,5	P1	177	172	185	183	198	243	220	273	305	224	237	321	259	282	370
	P2	108	143	175	144	194	225	208	270	300	196	231	327	246	289	380
PG/FA2,6-V2,5	P1	176	184	209	188	227	256	228	295	323	216	253	351	260	301	402
	P2	164	174	200	175	219	245	227	297	335	225	263	374	269	319	422
PG/FA2,8-V2,5	P1	147	156	177	161	192	217	200	257	302	219	248	331	268	302	385
	P2	129	140	156	139	166	190	182	236	265	168	192	277	200	227	315

P1: Probeta 1 – P2: Probeta 2 – “Los valores de las probetas están en MPa”

Fuente: Elaboración del autor.

En la Figura 123 se presenta los comportamientos del Mr, frente al primer invariante de esfuerzos, exhibidos en las mezclas que tienen pretratamiento con los llenantes activos e incorporan FA. Nuevamente, en general se obtienen R2 superiores a 0,8 lo que muestra una dependencia del Mr con el nivel de confinamiento.

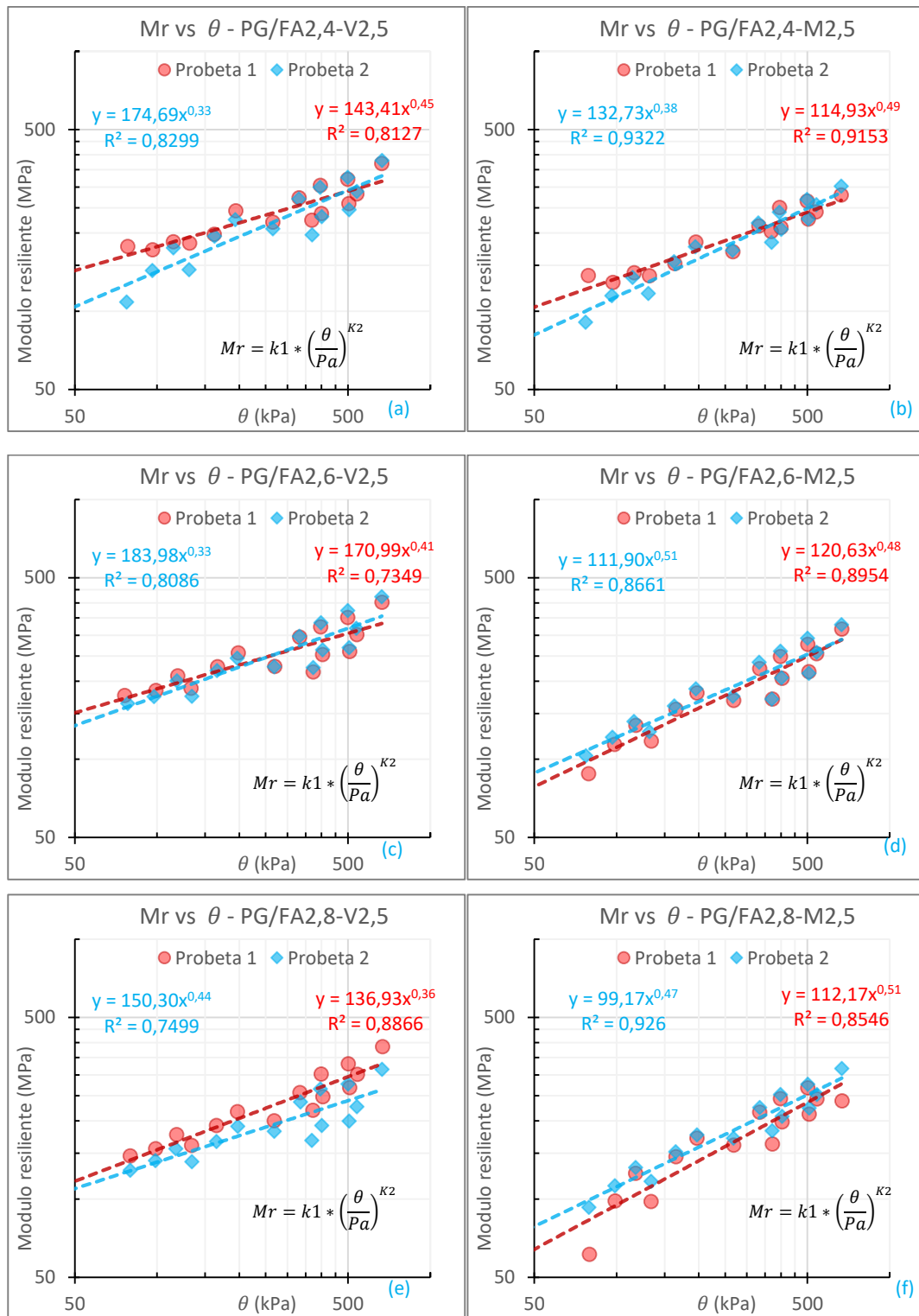


Figura 123 Mr –  $\theta$  para las mezclas elaboradas con 2,5% de llenante Activo y diferentes concentraciones de FA. Fuente: Elaboración del autor.

Los valores del Mr para las mezclas pretradas con los llenantes activos en una concentración del 3,0% y luego estabilizadas con FA se presentan en la Tabla 40. Para estas diferentes condiciones de mezcla, los Mr varían entre un mínimo de 120 MPa (que corresponde a la mezcla elaborada con la mayor concentración de FA y 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub>) y 405 MPa (obtenido en la mezcla elaborada con una concentración de FA del 2,6% y un contenido de CaO del 3,0%). Nuevamente, se obtienen condiciones equiparables en comportamiento de los llenantes activos independientemente de su concentración – Con el CaO se rigidizan más las mezclas y con la mayor concentración de Fa y el Ca(OH)<sub>2</sub> se obtienen mezclas más flexibles.

Tabla 40 Mr para diferentes condiciones de esfuerzos de las mezclas elaboradas con 3,0% de llenante activo y diferentes concentraciones de FA.

Esfuerzo máximo (kPa)		20	41	62	34	68	103	68	137	206	68	103	206	103	137	275
Presión de confinamiento (kPa)		20	20	20,7	34	34	34	68	68	68	103	103	103	137	137	137
PG/FA2,4-M3,0	P1	131	154	177	151	192	219	195	256	288	188	219	305	227	266	355
	P2	248	230	239	255	257	268	277	312	323	270	287	355	309	332	401
PG/FA2,6-M3,0	P1	124	133	162	132	175	208	176	242	280	174	209	298	209	243	348
	P2	172	182	201	193	222	242	247	288	308	253	275	342	298	327	382
PG/FA2,8-M3,0	P1	172	185	202	186	219	243	230	282	298	213	244	323	255	292	368
	P2	203	185	193	191	205	219	210	249	285	212	234	316	248	281	366
PG/FA2,4-V3,0	P1	195	201	215	207	231	257	246	282	302	244	260	324	278	302	362
	P2	130	158	190	156	206	240	208	275	318	211	252	350	269	315	405
PG/FA2,6-V3,0	P1	160	167	190	172	205	229	208	266	312	203	235	332	243	279	380
	P2	167	175	193	181	209	231	210	255	285	204	225	312	242	270	363
PG/FA2,8-V3,0	P1	134	165	199	161	214	247	206	272	312	182	221	334	222	265	383
	P2	185	191	210	187	224	251	233	288	320	226	256	346	263	298	375

P1: Probeta 1 – P2: Probeta 2 – “Los valores de las probetas están en MPa”

Fuente: Elaboración del autor.

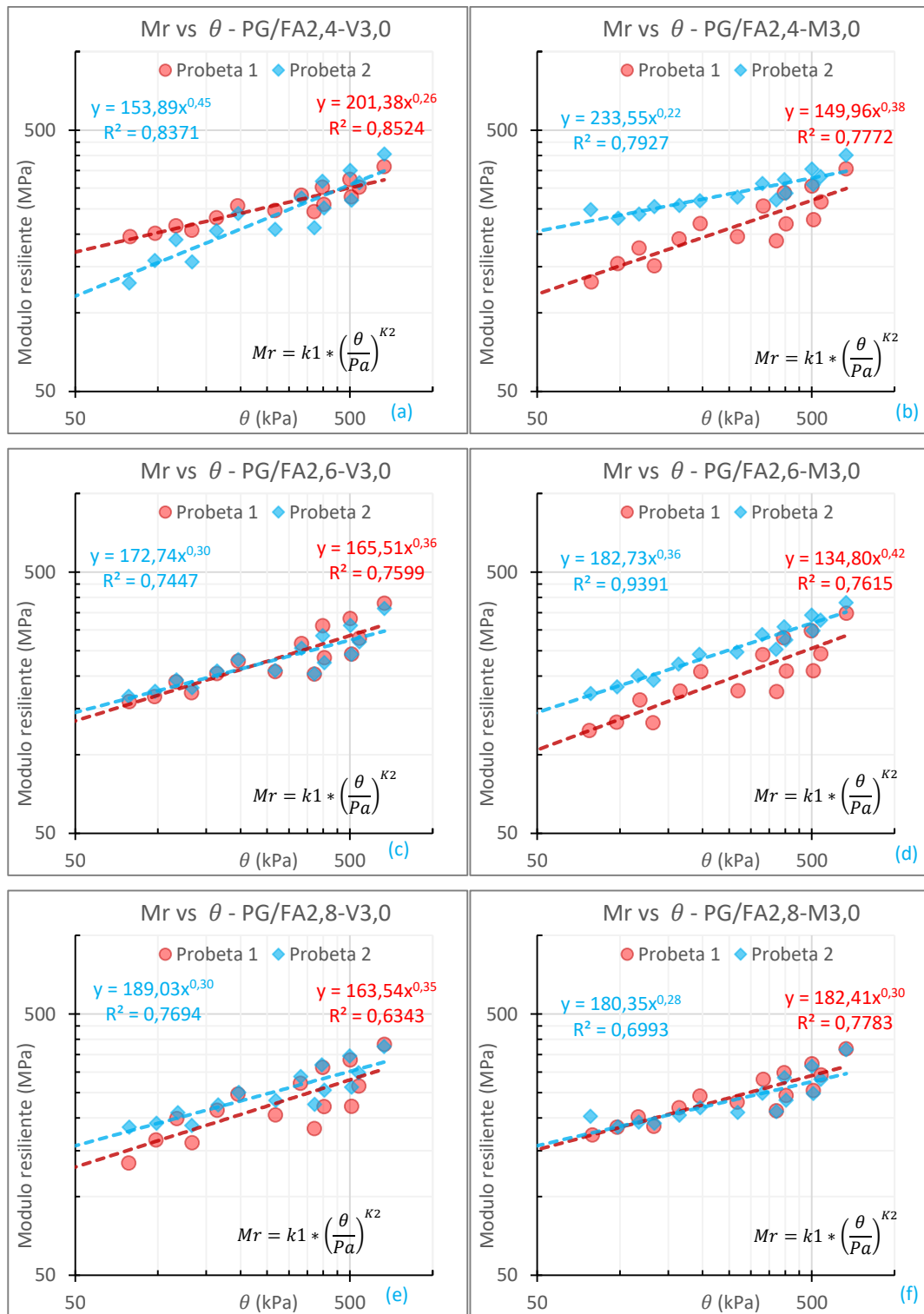


Figura 124 Mr –  $\theta$  para las mezclas elaboradas con 3,0% de llenante Activo y diferentes concentraciones de FA. Fuente: Elaboración del autor.

En este caso, se presenta menor relación entre el Mr y el primer invariante de esfuerzos con valores de R2 variando entre 0.6 y 0.85. Lo anterior evidencia que al incrementar el contenido a 3,0% de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub>, la correlación de los datos con el modelo tiende a disminuir. Adicionalmente, se comienza a generar una mayor dispersión de los datos, especialmente en el tratamiento con Ca(OH)<sub>2</sub> a bajos contenidos de FA.

### **Ecuaciones constitutivas para material PG.**

Por medio de un análisis estadístico del ensayo de módulo resiliente y la aplicación de la metodología de mínima diferencias cuadradas, se obtuvieron los valores de K1, K2 y K3 para el modelo K- $\theta$  y modelo K-cortante octaédrico.

El primer modelo analizado es el modelo K- $\theta$ , donde este relaciona la dependencia del Mr con el primer invariante de esfuerzos, por lo que a partir de la correlación entre estos dos valores se pueden obtener los valores de K1 y K2.

En la Figura 125, se observan los resultados del Mr en función del primer invariante de esfuerzos, correspondientes a los tratamientos individuales con CaO o con Ca(OH)<sub>2</sub> y el tratamiento individual con FA en concentraciones de 2,4, 2,6 y 2,8%.



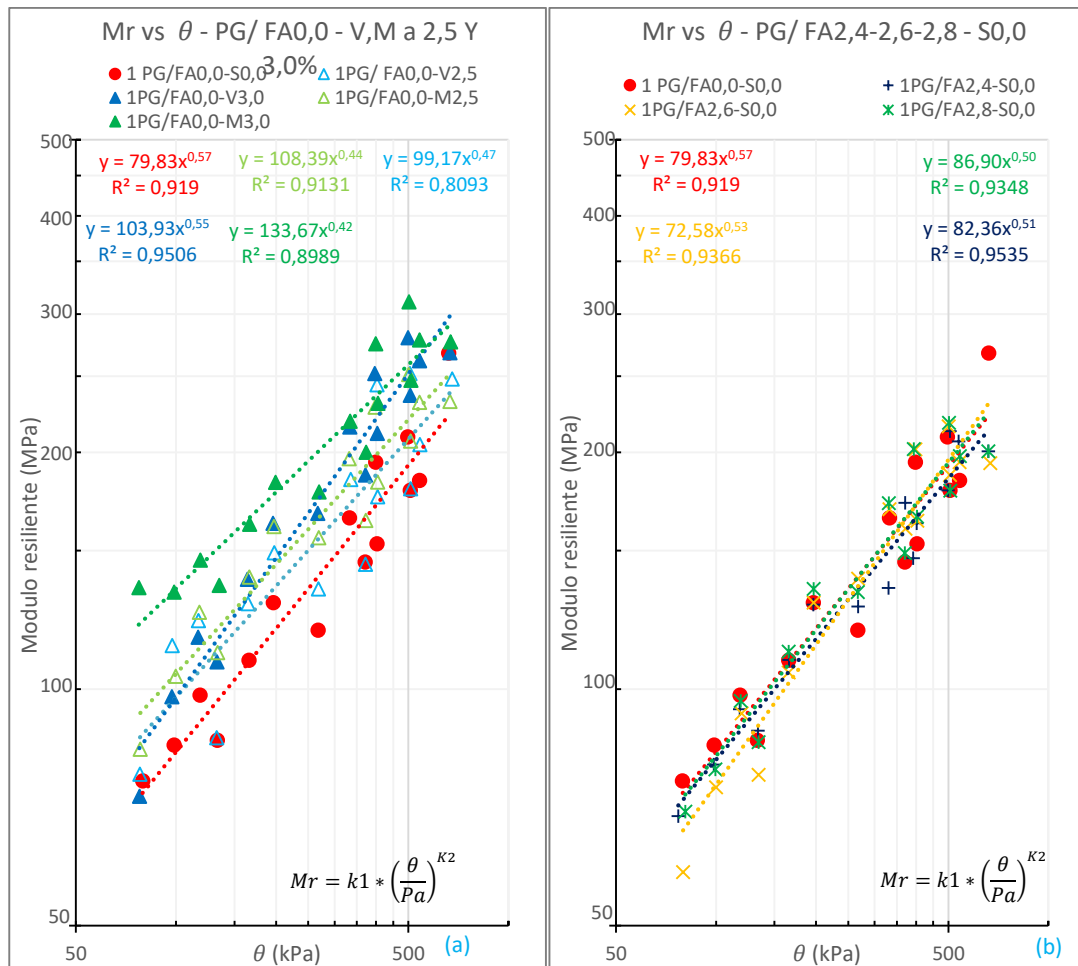


Figura 125 Resultados de Mr Vs  $\theta$  para el material PG virgen y mezclas tratadas solo con 2.5% o 3.0% de CaO o Ca(OH)<sub>2</sub> y mezclas estabilizadas con solo FA. Fuente: Elaboración del autor.

En la Figura 125 (a) se observa que al tratar el material con 2,5% o 3.0% de Cal, bien sea CaO o Ca(OH)<sub>2</sub>, se incrementa la rigidez de las mezclas (Valores de k1 mayores), aun cuando la dependencia de los esfuerzos, permanece relativamente igual (k2 prácticamente los mismos). En términos generales, se puede decir que con el Ca(OH)<sub>2</sub> en una concentración del 3.0% se encontraron los mayores Mr en el rango de esfuerzos evaluados. En cuanto a la adición de solo FA, para la estabilización del material, se observa en la Figura 125(b) que, comparado con el material virgen o sin tratamiento, prácticamente no se presenta ningún efecto en el Mr, manteniéndose la misma rigidez y la misma dependencia del estado de esfuerzos, para todas las concentraciones de FA trabajadas. Es decir se tienen valores similares de k1 y k2, como se muestra en Tabla 41.

En la Figura 126, se observan los resultados de Mr en función del primer invariante de esfuerzos, correspondientes a las mezclas elaboradas con CaO en concentración del 2,5% o del 3,0% y estabilizadas con FA (2,4, 2,6 y 2,8%).

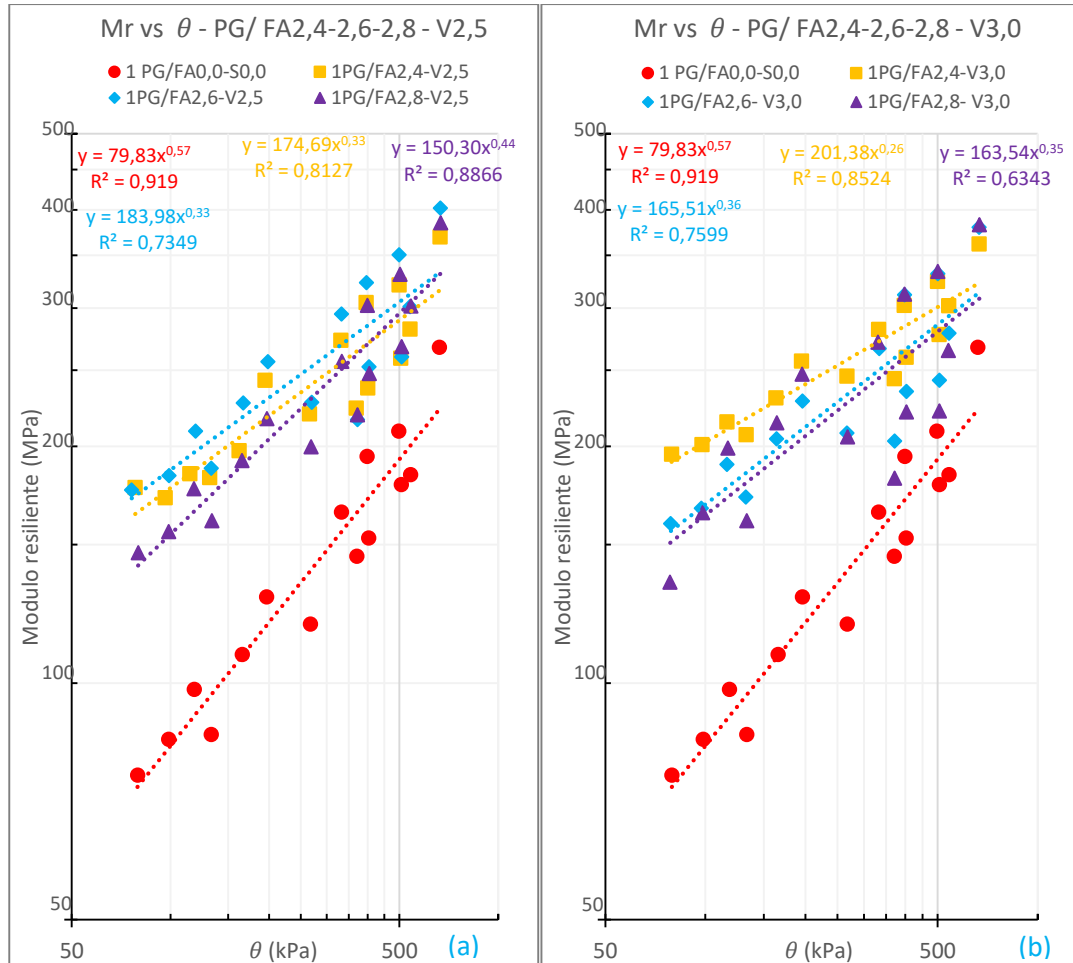


Figura 126 Resultados de Mr Vs  $\theta$  para el material PG virgen y para las mezclas tratadas conjuntamente con CaO y FA. Fuente: Elaboración del autor.

Como se aprecia en la Figura 126 el incremento en la dosificación del CaO de 2,5% a 3,0% para las diferentes concentraciones de FA usadas, no da lugar a una variación significativa en los Mr de las mezclas, en el rango de esfuerzos evaluado, obteniéndose Mr que van desde los 150 MPa hasta el orden de 400 MPa. A bajos niveles de esfuerzos se evidencia un ligero efecto de la concentración de FA en el Mr. Sin embargo, a los mayores niveles de esfuerzo, se obtienen módulos muy próximos, independientemente de la concentración de asfalto. Por otro lado, podría decirse que en el material tratado con CaO y FA se presenta una menor

dependencia del  $M_r$  del estado de esfuerzos frente al del material original, pero, sin embargo, en general esta diferencia no es significativa. Los valores de  $K_1$  y  $K_2$  de este modelo se presentan en Tabla 41.

En la Figura 127, se muestran los resultados de  $M_r$  en función del primer invariante de esfuerzos, correspondientes al material PG pre-tratado con 2,5% o 3,0% de  $\text{Ca(OH)}_2$  y estabilizado usando diferentes concentraciones de FA.

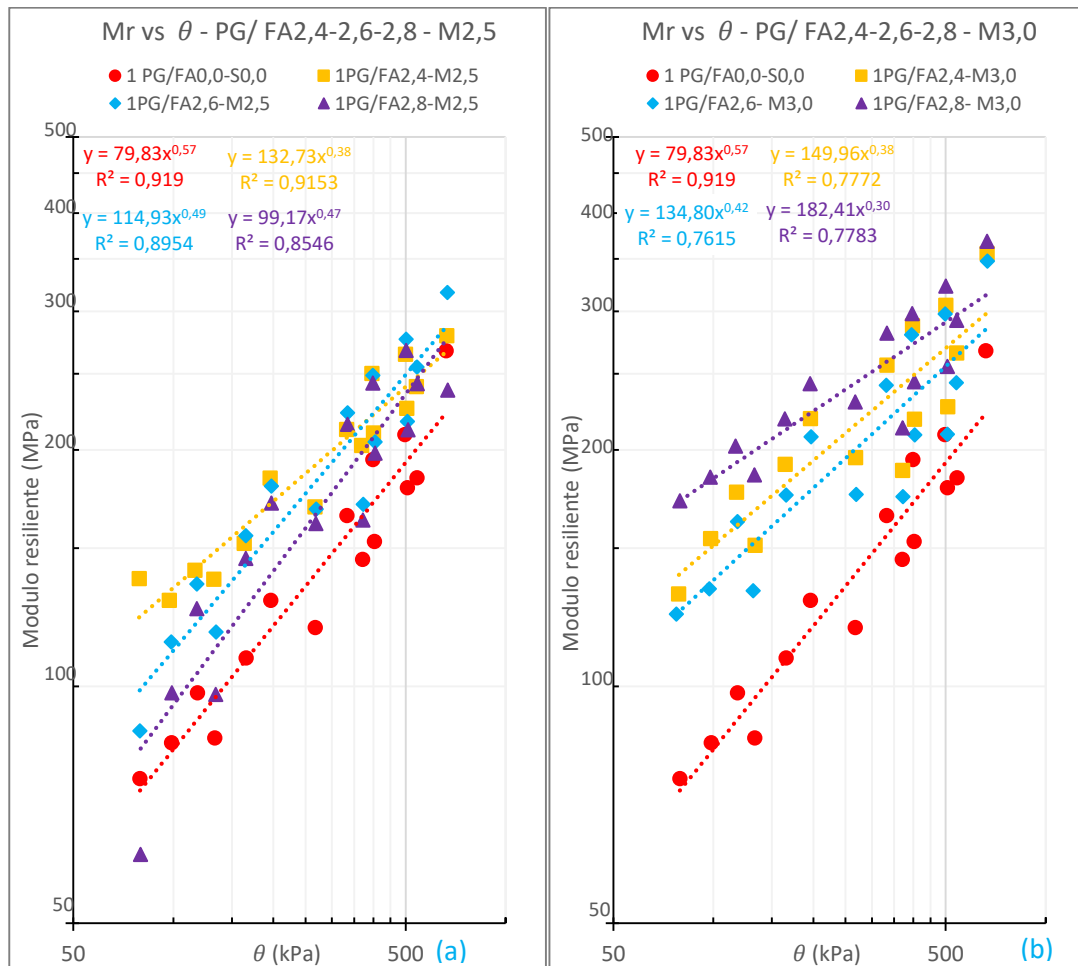


Figura 127 Resultados de  $M_r - \theta$  para las mezclas tratadas con  $\text{Ca(OH)}_2$  y estabilizadas con FA. Fuente: Elaboración del autor.

Como se desprende de los resultados consignados en esta Figura 127, el uso de  $\text{Ca(OH)}_2$  en la concentración del 3,0%, establecida como óptima, conjuntamente con FA, incrementa la rigidez de las mezclas con respecto al material original, en mayor medida de lo que sucede cuando se usa la menor concentración de  $\text{Ca(OH)}_2$ . En el

primer caso, los  $M_r$  varían entre un mínimo de 120 MPa y máximo 350 MPa, mientras que en las que se usó 2,5% de  $\text{Ca(OH)}_2$  el rango de  $M_r$  se encontró entre 80 MPa y 300 MPa. Por otro lado, también se aprecia una ligera disminución en la dependencia de esfuerzos en las mezclas fabricadas con FA y 3,0% de  $\text{Ca(OH)}_2$ , mientras que en las elaboradas con 2,5% de este llenante el comportamiento es similar al del material original sin ningún tipo de tratamiento. Los valores de  $K_1$  y  $K_2$  se presentan en la Tabla 41.

En la Figura 128, se presentan los resultados del  $M_r$  en función del primer invariante de esfuerzos, correspondientes a las mezclas del material PG tratadas con 2,5% de  $\text{Ca(OH)}_2$  o de  $\text{CaO}$  y diferentes concentraciones de FA.

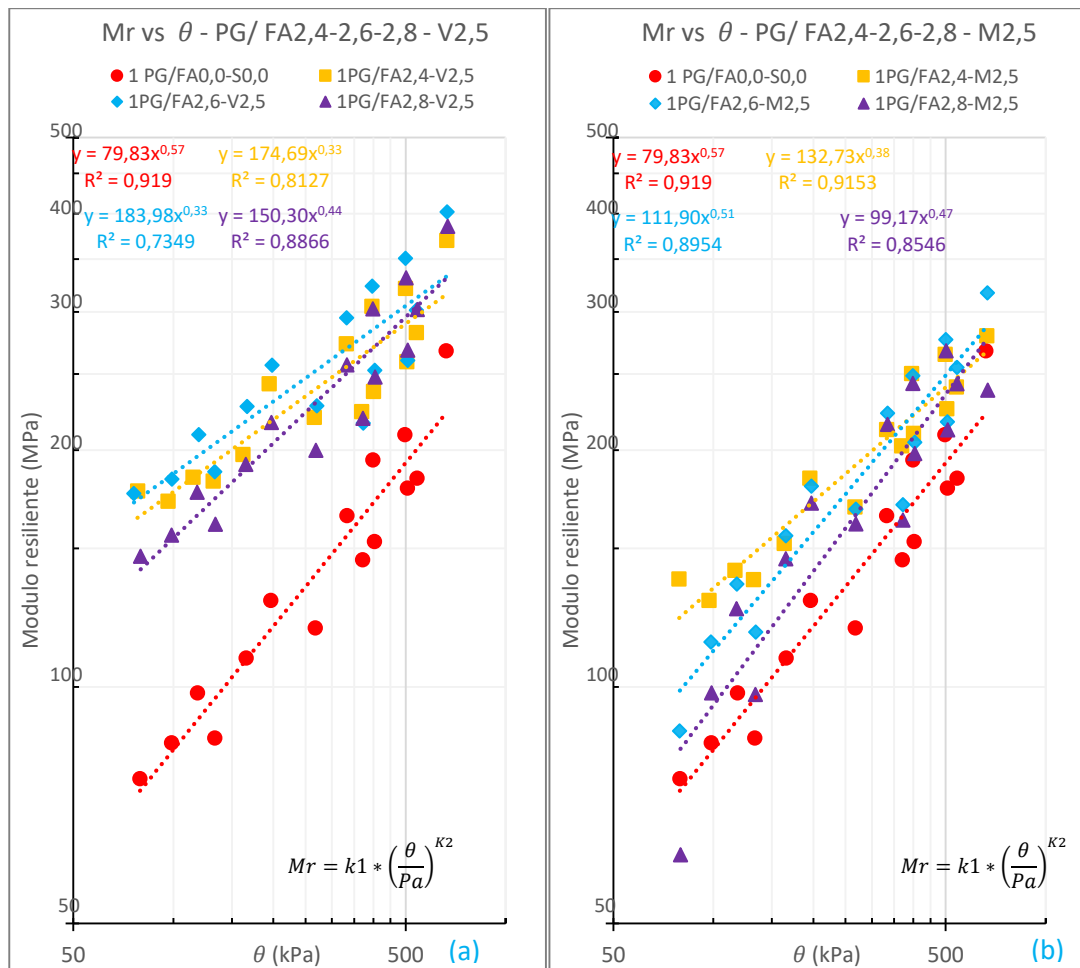


Figura 128 Resultados de  $M_r - \theta$  para las mezclas del material original tratadas con 2,5% de  $\text{CaO}$  o de  $\text{Ca(OH)}_2$  y FA. Fuente: Elaboración del autor.

De los resultados consignados en la Figura 128 es claro que con el llenante activo CaO en su concentración óptima (2,5%), se logra mayor aumento en la rigidez de las mezclas frente al material original y frente al de las mezclas tratadas con  $\text{Ca(OH)}_2$  en la misma concentración, la cual cabe resaltar que es inferior a la establecida como óptima para este llenante de (3,0%).

Para ambos tipos de llenantes, se aprecia el efecto de la concentración de FA en el Mr a bajos niveles de esfuerzos, mientras que a los mayores niveles de esfuerzos evaluados el efecto de la concentración del FA prácticamente desaparece.

En la Figura 129, se presentan los resultados de Mr en función del primer invariante de esfuerzos, correspondientes a las mezclas del material PG tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$  o con CaO en una concentración del 3,0% y FA en concentraciones del 2,4, 2,6 y 2,8%.

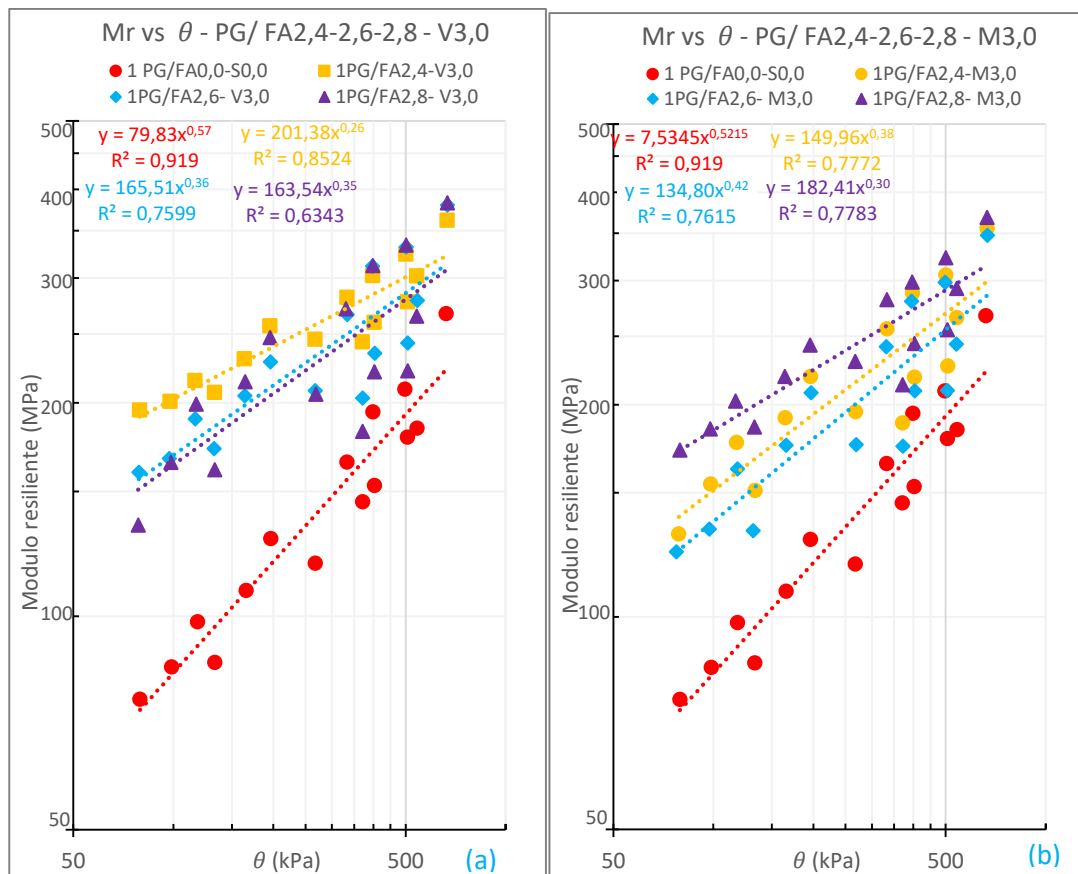


Figura 129 Resultados de Mr -  $\theta$  para las mezclas del material original tratadas con 3,0% de CaO o de  $\text{Ca(OH)}_2$  y FA. Fuente: Elaboración del autor.

Como se aprecia en la Figura 129, aun cuando la dosificación de 3% de llenante activo, corresponde al óptimo previamente establecido para el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , el incremento en el Mr para las diferentes concentraciones de FA y diferentes niveles de esfuerzo, es inferior al registrado en las mezclas con la misma dosificación de CaO y las diferentes concentraciones de FA. En otras palabras, estos resultados evidencian que el CaO es más efectivo para lograr una mayor rigidez en las mezclas, mezclado conjuntamente con FA.

En la Figura 130, Figura 131 y Figura 132 se muestra el comportamiento del Mr frente al primer invariante de esfuerzos, para cada concentración de FA de tal forma que sea posible visualizar el efecto del FA solo y del FA conjuntamente con cada uno de los llenantes activos evaluados – CaO y  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , sobre la rigidez del material PG. De manera general, se evidencia en todas las mezclas con las diferentes concentraciones de FA, un mayor efecto en la rigidez (incremento) con el uso del CaO frente a las obtenidas con el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , independientemente de la dosificación empleada de este llenante activo (2,5% o 3%). Como ya se mencionó, el uso del FA por sí solo, sin ningún pretratamiento del material con el llenante, no resulta viable.

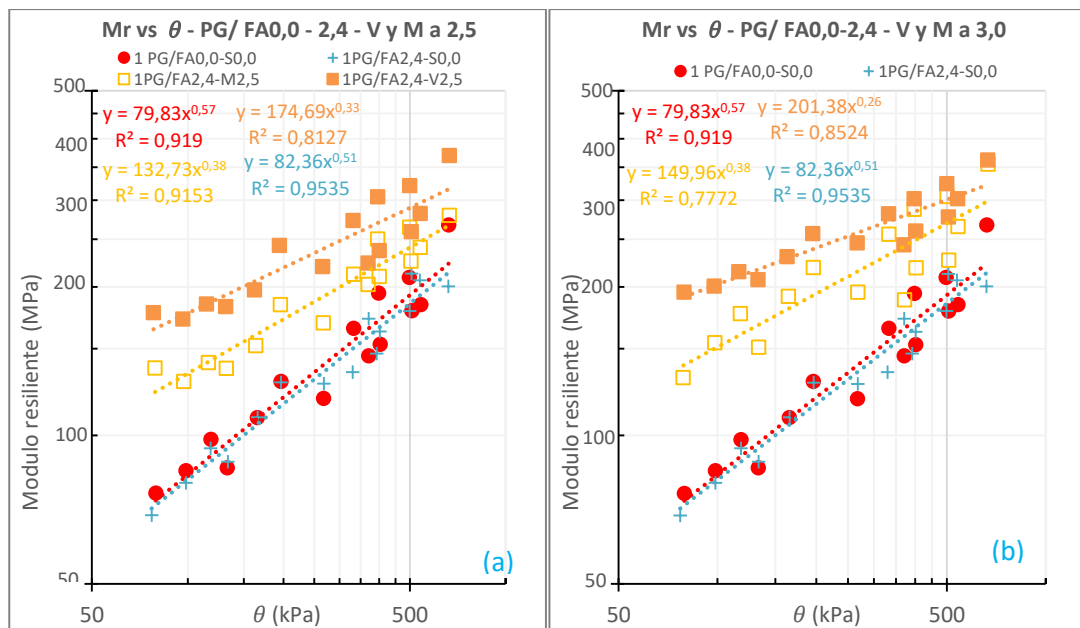


Figura 130 Resultados de Mr -  $\theta$  para las mezclas elaboradas con 2,4% de FA solo o conjuntamente con un pretratamiento de CaO o de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  Fuente: Elaboración del autor.

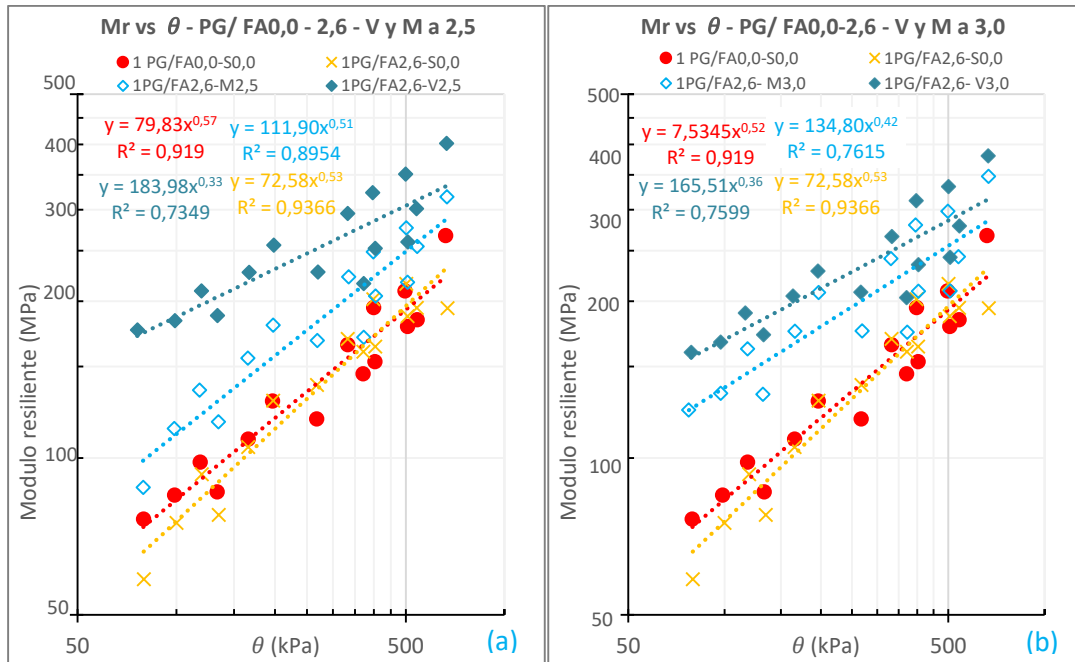


Figura 131 Resultados de Mr -  $\theta$  para las mezclas elaboradas con 2,6% de FA solo o conjuntamente con un pretratamiento de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub> Fuente: Elaboración del autor.

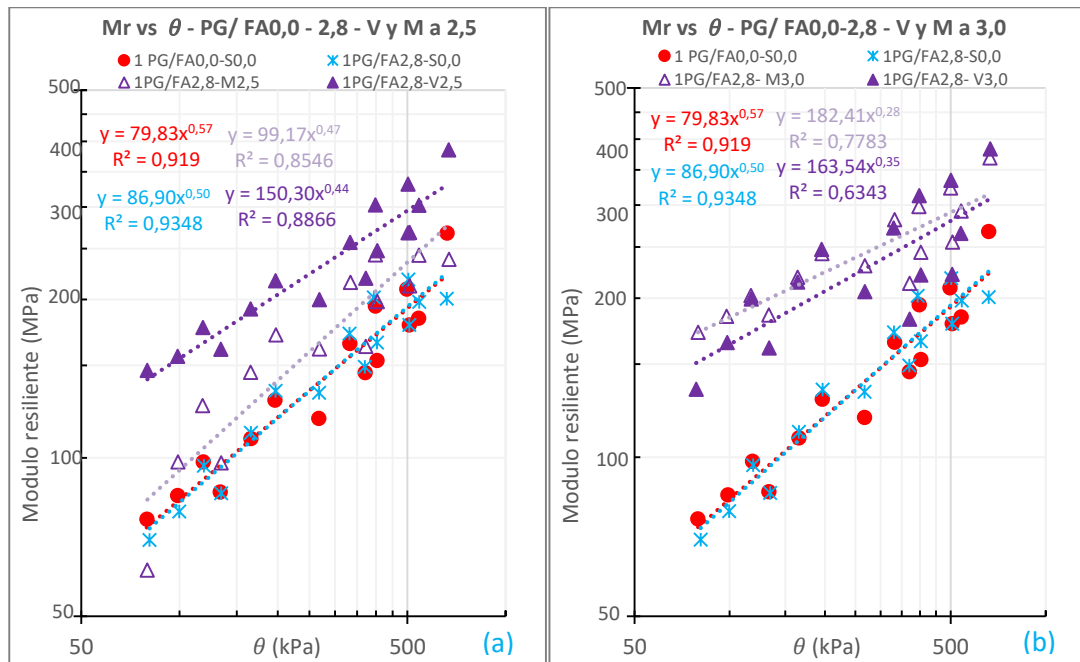


Figura 132 Resultados de Mr -  $\theta$  para las mezclas elaboradas con 2,8% de FA solo o conjuntamente con un pretratamiento de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub> Fuente: Elaboración del autor.

En la Figura 133, se comparan los resultados para el material PG, modificado con 2,5% de CaO o 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub>, y tratados conjuntamente con FA. Estos porcentajes son comparados debido a que con ellos se obtiene la mayor reducción del índice de plasticidad del material, es decir, corresponden a los óptimos, tal y como se analizó en el capítulo 3.

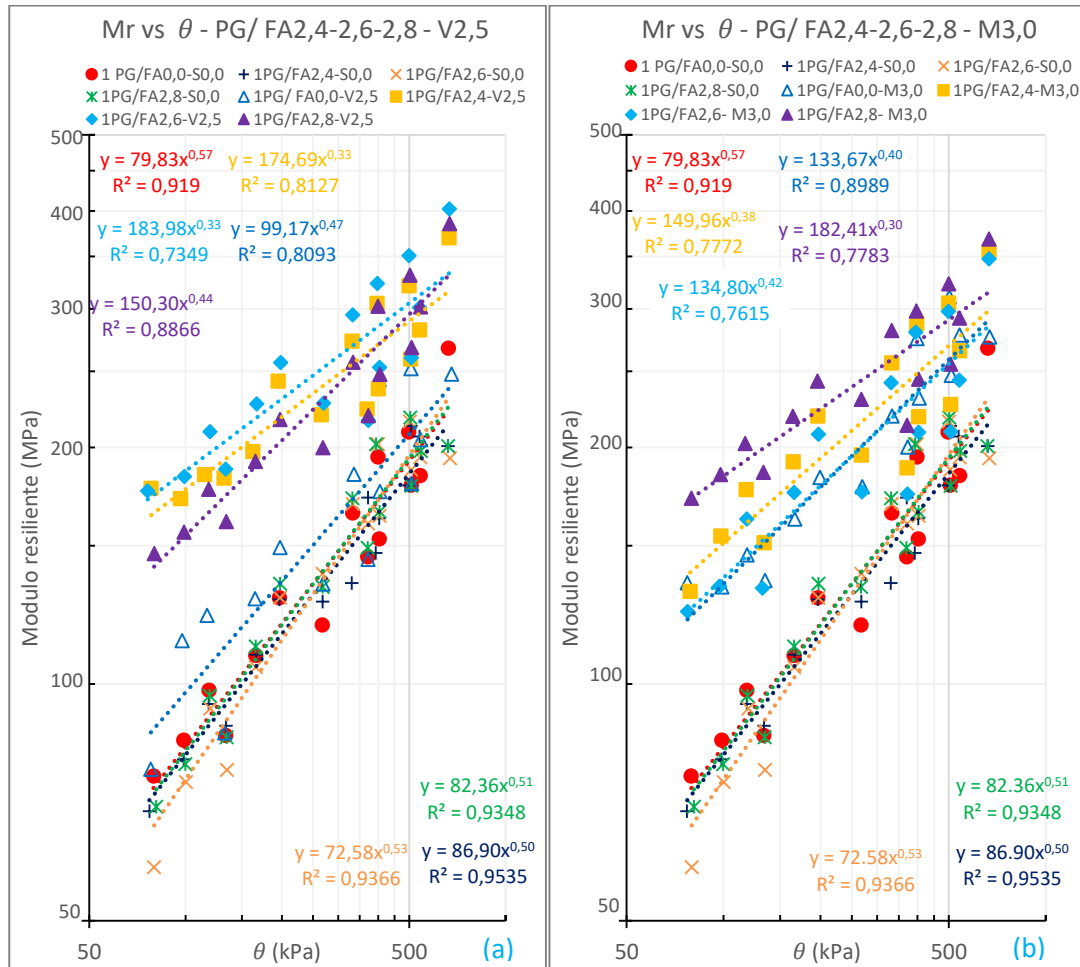


Figura 133 Resultados de Mr Vs  $\theta$  para las mezclas de material PG con la dosificación óptima de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub> y diferentes concentraciones de FA. Fuente: Elaboración del autor

En la Figura 133 se comparan los Mr obtenidos en las mezclas elaboradas con el óptimo de CaO (2,5%) o de Ca(OH)<sub>2</sub> (3,0%) y diferentes concentraciones de FA. Como se desprende de estas figuras, el empleo de CaO y FA, no siempre da lugar a una mayor rigidez en las mezclas, en todo el rango de invariante de esfuerzos frente a la de las mezclas elaboradas con la concentración establecida como óptima



de  $\text{Ca(OH)}_2$  y las mismas concentraciones de FA. En todo caso, cabe resaltar que ambos tratamientos mejoran la condición del material virgen, sin ningún tipo de tratamiento (PG/FA0,0-S0,0) – siendo este mejoramiento considerable con el uso de 3% de  $\text{Ca(OH)}_2$  (Figura 133 (a) y (b)).

Adicionalmente, se observa que el incremento en la concentración de FA, afecta en mayor medida al material tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$ . Lo anterior se presume que es debido a que el llenante activo, en este caso el  $\text{Ca(OH)}_2$  es más fino, lo cual ayuda a que se presente un contacto más íntimo entre los dos agentes, afectando la dispersión de la espuma de asfalto, y el proceso de curado.

En la Tabla 41 se presenta un resumen de los valores obtenidos de las constantes experimentales K1 y K2 del modelo  $k-\theta$  para cada una de las probetas fabricadas con las diferentes mezclas y el material PG.

Tabla 41 Valores de K para la ecuación constitutiva  $M_r$  vs  $\theta$  para el material PG.

Muestra control	K1	K2						
	79,83	0,57						
	77,97	0,57						
%Fa	0%		2.4%		2.6%		2.8%	
Tratamientos/Constantes	K1	K2	K1	K2	K1	K2	K1	K2
Solo FA	-		82,36	0,51	72,58	0,53	86,90	0,50
2.5% CaO	99,17	0,47	174,69	0,33	183,98	0,33	150,30	0,44
	85,96	0,56	143,41	0,45	170,99	0,41	136,93	0,36
2.5% $\text{Ca(OH)}_2$	108,39	0,44	132,73	0,38	111,90	0,51	99,17	0,47
	110,19	0,38	114,93	0,49	120,63	0,48	112,17	0,51
3.0% CaO	103,93	0,55	201,38	0,26	165,51	0,36	163,54	0,35
	104,22	0,46	153,89	0,45	172,74	0,30	189,03	0,30
3.0% $\text{Ca(OH)}_2$	133,67	0,42	149,96	0,38	134,80	0,42	182,41	0,30
	162,50	0,33	233,55	0,22	182,73	0,36	180,35	0,28

Fuente: Elaboración del autor.

De acuerdo con los resultados consignados en la Tabla 41, aplicando el modelo  $K-\theta$  se obtienen valores de K1 que varían desde un poco más de 75 MPa para la mezcla de control, es decir, el material PG sin ningún tratamiento, hasta un orden de 180 MPa. Es claro de los datos consignados en esta tabla, que la sola incorporación de FA no tiene prácticamente efecto sobre la rigidez, ni sobre la dependencia de esfuerzos del material original (valores de K1 aproximadamente de 80 MPa y de K2 del orden de 0,51, que son muy similares a los del material sin

ningún tipo de tratamiento). Esto mismo sucede al tratar el material con un 2,5% de CaO - es decir, no hay un cambio significativo en la rigidez ni en la dependencia del estado de esfuerzos. Mientras que el tratamiento con el 3% de  $\text{Ca(OH)}_2$  dio lugar a un mayor aumento en el Mr del material y se disminuyó ligeramente la dependencia de esfuerzos (K1 promedio de 140 MPa y K2 del orden de 0,38). También, es posible apreciar de los resultados consignados en esta tabla que, de manera general, con las mayores concentraciones de los llenantes activos –CaO o  $\text{Ca(OH)}_2$  – (3%) y las diferentes concentraciones de FA, se tiende a disminuir, en mayor medida, la dependencia del estado de esfuerzos del material original.

Estas mismas apreciaciones se pueden derivar de la figura 134, donde se hace evidente nuevamente la poca o nula incidencia del FA en la dependencia del estado de esfuerzos del material original y un efecto prácticamente despreciable en su rigidez. También es notoria la afectación de la rigidez del material con la incorporación de solo 3,0% de  $\text{Ca(OH)}_2$  o con 3,0% de CaO y 2.4% de FA. Aun cuando no se tiene claramente una tendencia bien definida, en términos generales se puede decir que a medida que se incrementa el llenante activo y la concentración de FA se tienen mezclas menos dependientes del estado de esfuerzos si se les compara con el material virgen, sin ningún tratamiento.

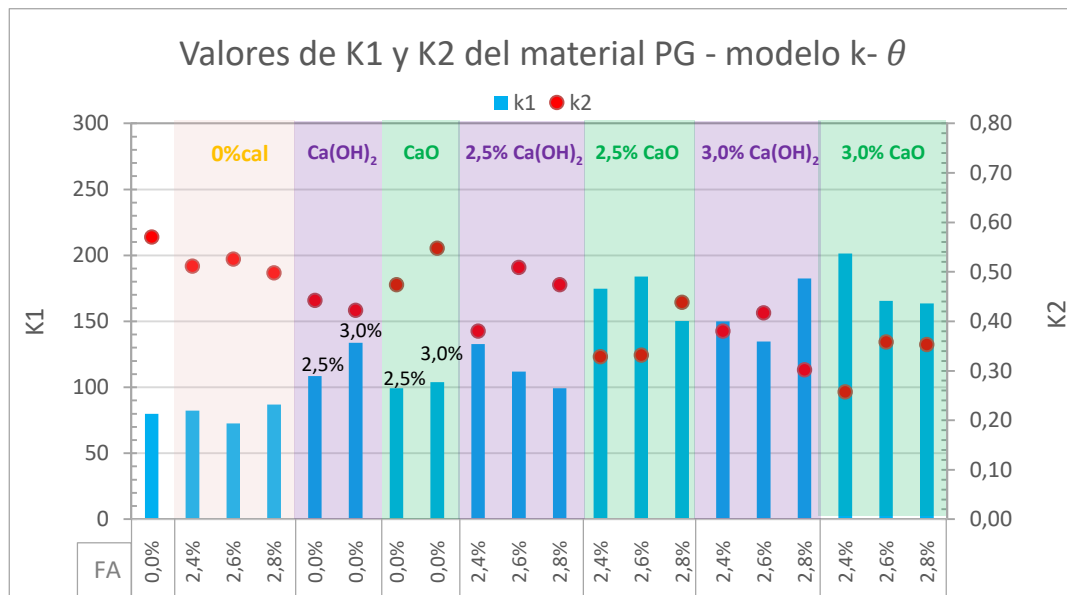


Figura 134 Valores de K1 y K2 para la ecuación constitutiva K vs θ, correspondiente al material PG. Fuente: Elaboración del autor.

### **Modelo (MEPDG) cortante octaédrico.**

El segundo modelo analizado corresponde al modelo K -  $\tau_{oct}$ , establecido por Uzan y posteriormente modificado por el MEPDG en el año 2002, conocido como modelo Universal. A continuación, se analiza la dependencia del Mr del material con respecto al cortante octaédrico y, finalmente se establece la ecuación constitutiva del modelo respectivo.

Para propósito de análisis general y a manera de resumen de comportamiento representativo, solo se presenta en la Figura 135 la variación del Mr frente al  $\tau_{oct}$  de las mezclas tratadas con FA, o con las diferentes dosificaciones de FA y las concentraciones establecidas como óptimas de CaO (2,5%) o de Ca(OH)<sub>2</sub> (3%), comparando con la muestra de control.

At tratar el material solo con FA, en general, este no afecta ni su rigidez ni la dependencia del cortante octaédrico. Cabe resaltar que a diferencia de los tratamientos individuales con CaO y Ca(OH)<sub>2</sub>, con el tratamiento con solo FA se presenta una mayor dispersión de los datos del Mr con respecto al cortante octaédrico, obteniéndose R<sup>2</sup> bajos y del orden de 0,43, mientras que para el tratamiento con 2,5% de Ca(OH)<sub>2</sub> se observa una menor rigidez y una mayor dependencia del cortante octaédrico.

Al incrementar a un 3,0% de CaO o 3,0%Ca(OH)<sub>2</sub> en el tratamiento en conjunto con FA, se continua con una buena correlación del modelo con respecto al cortante octaédrico y una menor relación con el invariante de esfuerzos

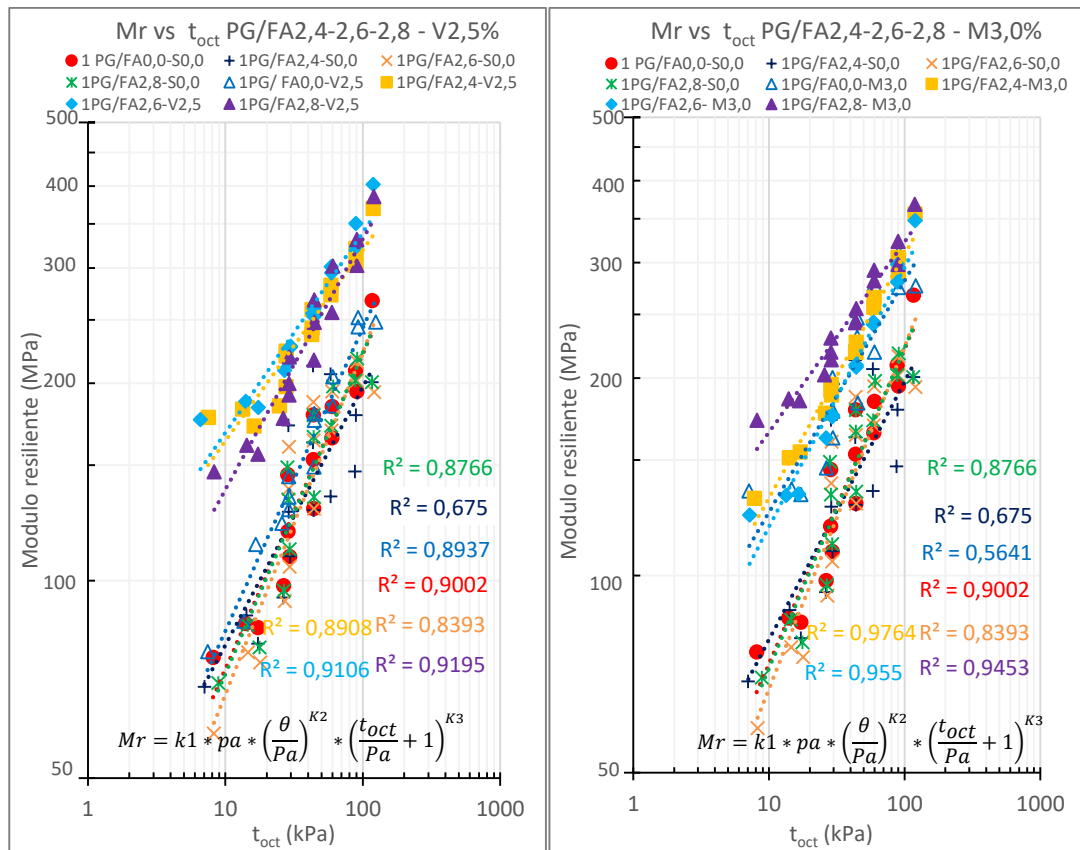


Figura 135 Resultados de Mr -  $\tau_{oct}$ , del Material PG con 2,5% de CaO o 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub> tratado conjuntamente con diferentes concentraciones de FA. Fuente: Elaboración del autor

Para las diferentes condiciones de mezcla, en el anexo F, se presentan las tendencias de comportamiento del Mr con el  $t_{oct}$  y en la Tabla 42. Se resumen los valores de K1, K2 y K3 obtenidos al aplicar el modelo universal a las diferentes mezclas realizadas con el material PG.

Tabla 42 Valores de K del modelo Universal aplicado a las mezclas con el material PG.

Muestra control	K1	K2	K3									
	731	0,32	0,84									
	718	0,29	0,90									
%Fa	0%			2.4%			2.6%			2.8%		
Tratamientos /Constantes	K1	K2	K3	K1	K2	K3	K1	K2	K3	K1	K2	K3
Solo FA	-			807	0,51	0,00	702	0,47	0,16	824	0,38	0,38
2.5% CaO	1099	0,23	0,49	1576	0,11	0,80	1614	0,06	1,01	1371	0,22	0,77
	1271	0,28	0,26	1295	0,18	0,95	1519	0,14	0,98	1200	0,07	1,07
2.5% Ca(OH) <sub>2</sub>	907	0,20	0,91	1243	0,25	0,47	1028	0,28	0,77	907	0,20	0,91
	806	0,37	0,63	1077	0,33	0,55	1094	0,21	0,91	1037	0,31	0,70
3.0% CaO	1028	0,28	0,77	1326	0,09	1,02	1178	0,08	1,18	1636	0,08	0,81
	1521	0,21	0,45	2157	0,09	0,5	1710	0,23	0,45	1609	0,06	0,83
3.0% Ca(OH) <sub>2</sub>	996	0,45	0,31	1857	0,11	0,56	1457	0,07	1,05	1399	0,00	1,29
	970	0,31	0,54	1389	0,18	0,92	1532	0,05	0,91	1686	0,07	0,85

Fuente: Elaboración del autor.

Como se desprende de los datos consignados en la Tabla 42, las mezclas del material PG con solo FA, en principio muestran una mayor dependencia del estado de esfuerzos, la cual va disminuyendo a medida que la concentración de FA aumenta. Con el empleo conjunto de FA y llenante activo a medida que se incrementan sus concentraciones, de manera general disminuye la dependencia del estado de esfuerzos del Mr mientras se incrementa la dependencia del  $t_{oct}$ , los valores de K2 llegan a ser muy próximos a cero mientras que los de K3 pueden superar la unidad. Sin embargo, estas tendencias de comportamiento no están claramente definidas.

En la Figura 136 se muestran gráficamente los resultados obtenidos de K1, K2 y K3 del modelo Universal, aplicado a las mezclas elaboradas con las diferentes llenantes activos y Fa en diferentes concentraciones. Aplicando el modelo K-  $\tau_{oct}$  se tienen valores de K1 que varía entre 700 y 1600, en promedio, correspondiendo el valor más alto a las mezclas elaboradas con 2,8% de FA tratadas conjuntamente con 3,0% de  $Ca(OH)_2$ , y el valor más bajo al tratamiento con solo 2,6% de FA. Los valores de K2 varían entre 0,00 y 0,5 lo que indica la baja dependencia de la invariante de esfuerzo, mientras que los de K3 se encuentran entre 0,20 y 1,30 lo que muestra una mayor dependencia del  $\tau_{oct}$ . Estos resultados concuerdan con los reportados por otros autores como, Campagnoli y Pardo. (Campagnoli & Puentes, 2016; Pardo, 2018). Autores como Jones y Fu (Fu, Jones, & Harvey, 2010; Jones et al., 2008) observaron en materiales arenosos que a medida que se aumenta el cortante octaédrico el módulo resiliente disminuye reportando valores de K3 entre -0,10 y -0,20.

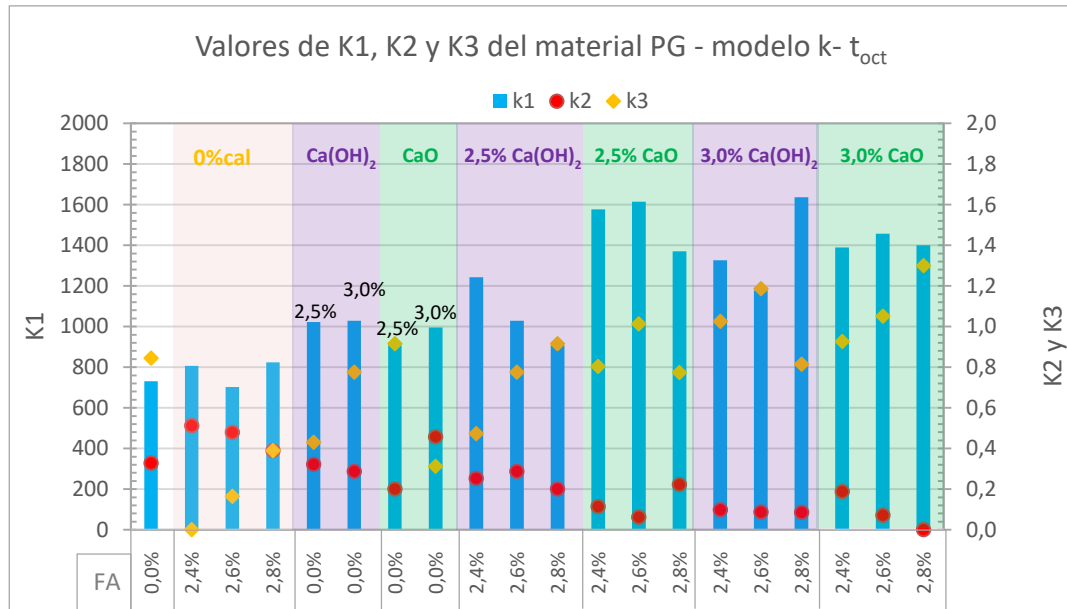


Figura 136 Valores de K1, K2 Y k3 para la ecuación constitutiva K -  $\tau_{oct}$ . Fuente: Elaboración del autor.

#### 4.4 Resultados de Mr del material PF.

En la Tabla 43 se presentan los resultados de Mr del material PF tratado con CaO o con Ca(OH)<sub>2</sub> en concentraciones de 2.5% o 3,0%, así como con solo FA en concentraciones de 2.4, 2.6 y 2.8%. Adicionalmente, con propósito comparativo que permitan evaluar las modificaciones o afectaciones a la rigidez con la incorporación de los llenante activos o del FA, se muestran los resultados de Mr obtenidos sobre las probetas elaboradas con el material virgen, sin ningún tratamiento, denominadas muestras de control.

Tabla 43 Mr para diferentes mezclas de material PF con los llenantes activos o con solo FA y diferentes condiciones de esfuerzos.

Esfuerzo máximo ((kPa)		20	41	62	34	68	103	68	137	206	68	103	206	103	137	275
Presión de confinamiento (kPa)		20	20	20,7	34	34	34	68	68	68	103	103	103	137	137	137
PF/FA0,0-S0,0	P1	77	75	105	76	137	143	118	169	213	128	142	217	166	223	199
	P2	78	71	85	74	89	142	98	194	207	113	137	200	156	187	214
PF/FA2,4-S0,0	P1	149	175	203	165	210	232	213	254	276	249	259	288	270	278	260
PF/FA2,6-S0,0	P1	199	218	246	225	255	286	301	325	340	388	359	358	397	375	323
PF/FA2,8-S0,0	P1	186	193	218	222	238	252	341	321	322	440	392	363	466	432	344
PF/FA0,0-V2,5	P1	104	116	131	120	137	167	147	187	231	171	178	249	201	216	220
	P2	115	135	148	132	157	183	162	211	245	198	207	260	238	242	239
PF/FA0,0-V3,0	P1	214	173	172	189	186	215	209	252	297	281	263	316	289	296	281
	P2	147	132	138	167	164	178	216	227	246	250	246	282	289	296	258
PF/FA0,0-M2,5	P1	146	128	134	146	144	165	166	200	222	174	185	193	212	243	238
	P2	127	114	136	123	154	182	169	213	247	174	194	261	206	230	230
PF/FA0,0-M3,0	P1	276	263	282	277	281	296	291	309	323	312	313	344	348	348	313
	P2	239	235	247	243	258	286	280	299	350	305	309	373	348	359	339

**P1: Probeta 1 – P2: Probeta 2 – “Los valores de Mr están en MPa”**

Fuente: Elaboración del autor.

De acuerdo con los valores del Mr consignados en la Tabla 43, para el material virgen, es decir sin ningún tratamiento, (PF/FA0,0-S0,0) este varía entre 70 y del orden de 200 MPa, en el rango de esfuerzos de cámara y desviadores evaluados. El tratamiento del material PF con CaO o con Ca(OH)<sub>2</sub> da lugar a un incremento en el Mr encontrándose que con el aumento de la concentración de llenante de 2,5% a 3,0% se presenta un incremento en la rigidez de las mezclas, que se considera significativo con respecto a la condición del material original (Mr que supera los 300 MPa, en especial cuando se usa el Ca(OH)<sub>2</sub>). Para las muestras elaboradas con diferentes concentraciones de FA, sin el empleo de llenante, se aprecia un incremento importante en el Mr, alcanzándose valores que superan los 350 MPa – superiores incluso a los obtenidos para el material tratado con cal. Igualmente, se observa que un incremento en 0,2% de FA se refleja en un cambio en la rigidez del material, como se observa en la tabla 43 y en la Figura 137 (b).



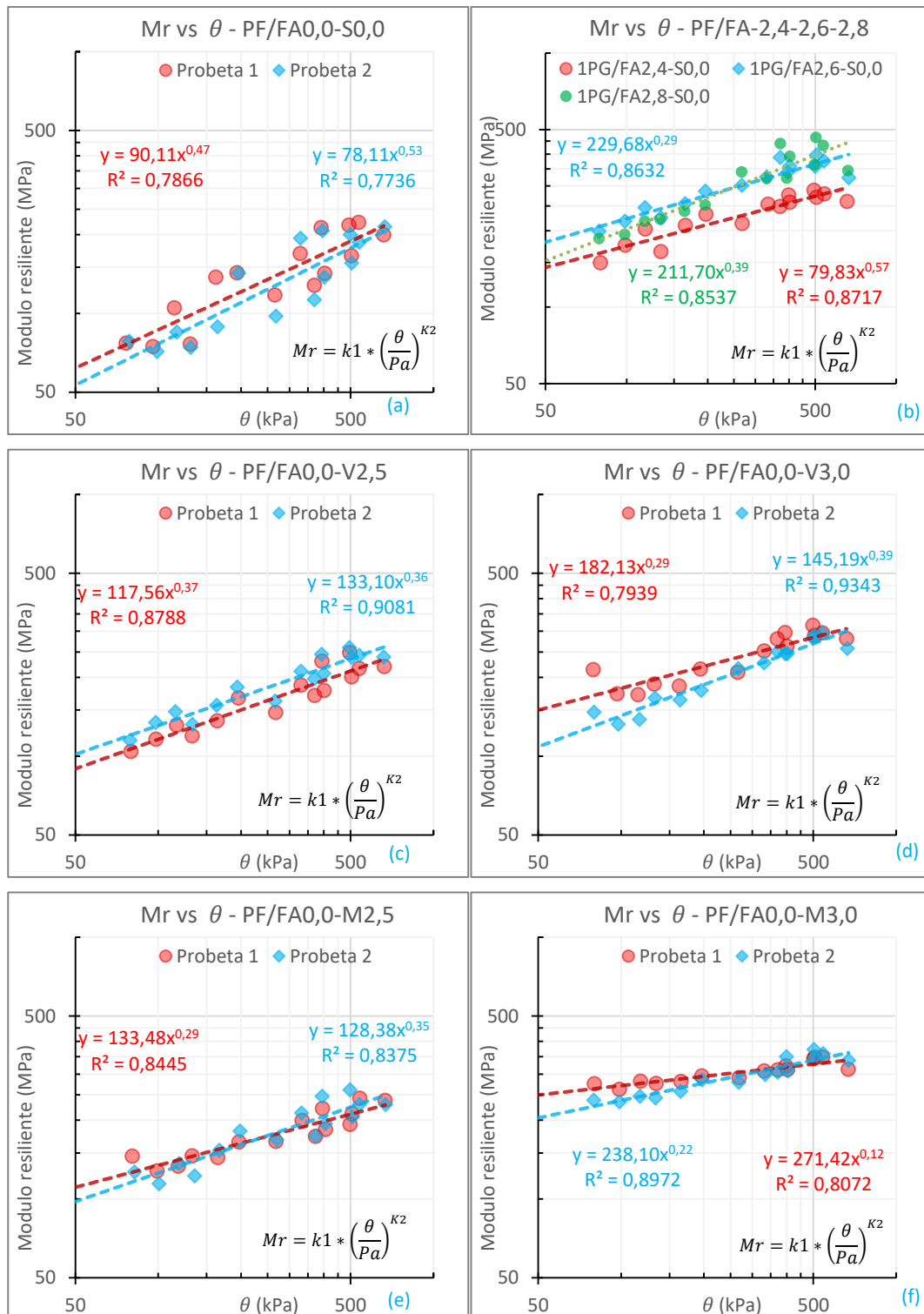


Figura 137 Mr obtenidos para el material virgen y tratados solo con llenante activo o diferentes concentraciones de FA . Fuente: Elaboración del autor.

Como se observa en la Figura 137 en general los valores de R2 obtenidos son superiores a 0,8, lo que indica una buena relación entre el Mr y el primer invariante de esfuerzos.

En la Tabla 44, se presentan los resultados de Mr obtenidos en probetas elaboradas con las diferentes mezclas del material PF tratado con 2,5% de llenante activo (CaO o Ca(OH)<sub>2</sub>) y diferentes concentraciones de FA.

Tabla 44 Mr para diferentes condiciones de esfuerzos en las mezclas del material PF tratado con 2.5% de llenante activo y estabilizado con FA.

Esfuerzo máximo (kPa)		20	41	62	34	68	103	68	137	206	68	103	206	103	137	275
Presión de confinamiento (kPa)		20	20	20,7	34	34	34	68	68	68	103	103	103	137	137	137
PF/FA2,4-M2,5	P1	148	186	240	164	259	292	257	333	388	269	319	414	342	386	354
	P2	134	180	212	179	228	256	226	292	340	247	274	363	285	322	301
PF/FA2,6-M2,5	P1	239	249	265	249	279	297	269	311	342	236	268	362	280	314	353
	P2	247	254	276	264	278	296	282	311	344	271	292	368	310	339	319
PF/FA2,8-M2,5	P1	284	293	325	287	338	358	341	392	405	353	382	433	399	432	394
	P2	234	238	273	240	292	333	300	369	382	358	376	407	392	409	408
PF/FA2,4-V2,5	P1	249	273	295	261	309	371	305	401	445	316	329	453	333	388	510
	P2	305	328	355	319	359	401	352	455	495	359	398	501	389	427	525
PF/FA2,6-V2,5	P1	282	306	349	319	359	412	367	440	493	367	408	506	428	465	529
	P2	250	279	297	266	303	348	333	399	447	336	357	452	369	402	467
PF/FA2,8-V2,5	P1	287	309	349	313	372	448	370	486	556	531	420	574	434	496	622
	P2	340	288	316	302	330	395	374	463	531	363	407	542	413	461	574

P1: Probeta 1 – P2: Probeta 2 – “Los valores de Mr en MPa”

Fuente: Elaboración del autor.

En la Tabla 44, se observa que los valores de Mr para los diferentes tipos de mezclas varían entre un mínimo de 130 MPa (correspondiente a la mezcla elaborada con una concentración de Ca(OH)<sub>2</sub> del 2,5% y de FA del 2,4% ), y un máximo de 630 MPa (para las mezclas elaboradas con 2,8% de CaO y 2,8% de FA).

Los valores del Mr del material tratado con CaO se encuentra dentro de los rangos encontrados en diferentes estudios para materiales estabilizados con FA, superando los Mr obtenidos con el empleo de Ca(OH)<sub>2</sub>, y los encontrados en este estudio para el material PG. Es importante aclarar que en varios estudios, los valores de Mr reportados corresponden a los de materiales obtenidos de procesos de reciclaje de

pavimentos existentes que cumplen con los requerimientos para los BSM establecidos por la Asphalt Academy.(L.-J. Ebels & Jenkins, 2007).

En la Figura 138 se presentan los comportamientos del Mr, frente al primer invariante de esfuerzos, que se obtuvieron en las mezclas que tienen pretratamiento con los llenantes activos y estabilizados con diferentes concentraciones de FA.

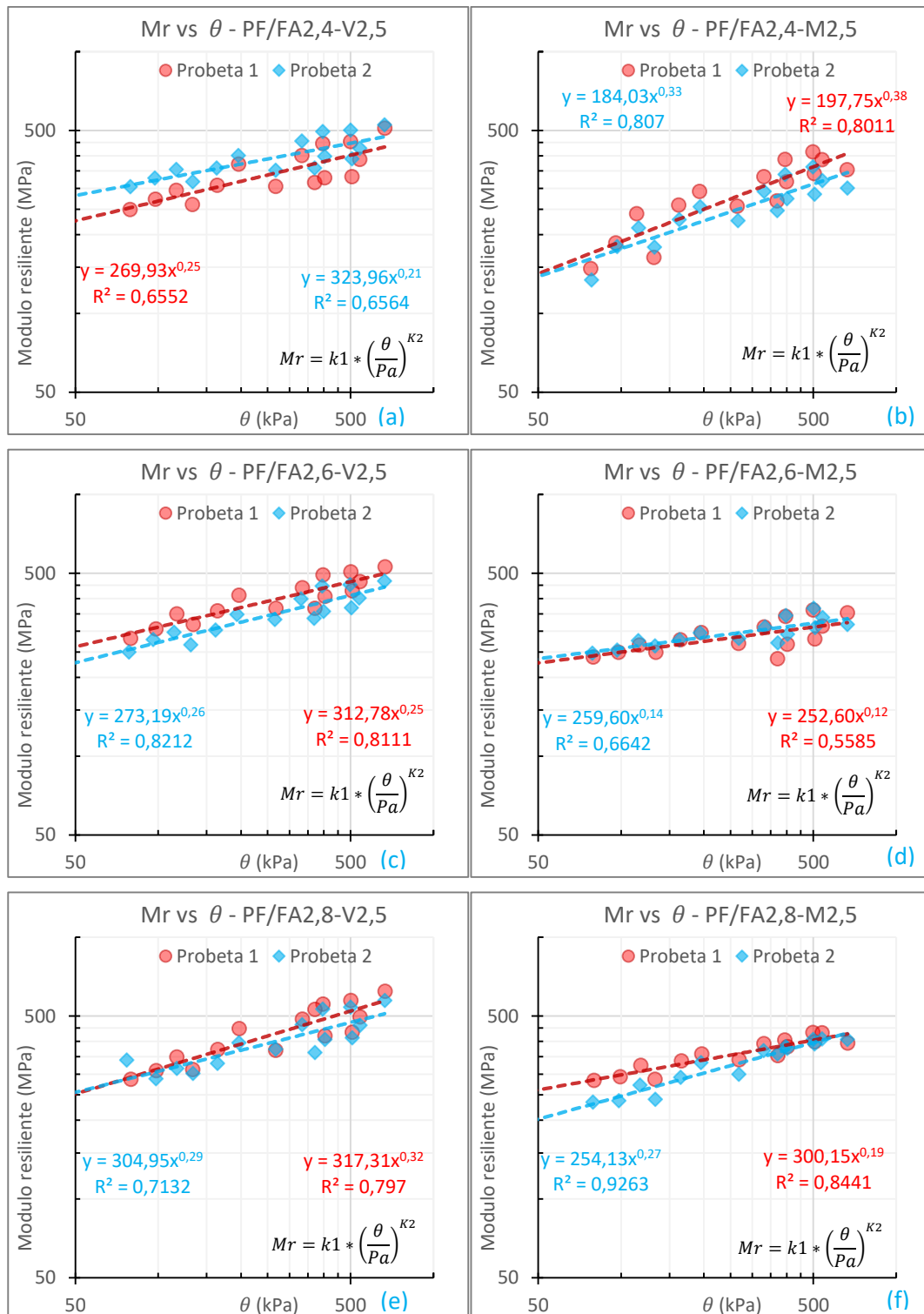


Figura 138 Mr -  $\theta$  para las mezclas elaboradas con 2.5% de llenante activo y diferentes concentraciones de FA, correspondientes al material PF. Fuente: Elaboración del autor.

En la Figura 138, se evidencia que en general para las mezclas analizadas se presenta una adecuada relación entre el Mr y el primer invariante de esfuerzos con R2, en promedio superior a 0,8. Por otro lado, en esta misma figura, se puede visualizar de manera más clara que el tratamiento del material PF con CaO y las diferentes concentraciones de FA es más efectivo en el incremento de la rigidez del material que el uso del Ca(OH)<sub>2</sub>.

Los Mr para las mezclas pre-tratadas con los llenantes activos con una concentración del 3,0% y luego estabilizadas con FA se presentan en la Tabla 45 y en la figura 139 se presentan las relaciones entre Mr y el primer invariante de esfuerzos para estas mismas mezclas.

Tabla 45 Mr para diferentes condiciones de esfuerzos de las mezclas del material PF elaboradas con 3,0% de llenante activo y diferentes concentraciones de FA.

Esfuerzo máximo (kPa)		20	41	62	34	68	103	68	137	206	68	103	206	103	137	275
Presión de confinamiento (kPa)		20	20	20,7	34	34	34	68	68	68	103	103	103	137	137	137
PF/FA2,4-M3,0	P1	260	285	314	283	327	403	337	410	513	311	357	533	358	423	581
	P2	231	205	242	270	303	398	341	393	436	309	334	450	331	376	486
PF/FA2,6-M3,0	P1	252	257	269	254	284	306	265	395	434	305	334	437	332	368	475
	P2	209	280	324	275	335	366	332	378	412	327	357	421	349	377	457
PF/FA2,8-M3,0	P1	281	356	416	357	454	492	455	548	599	491	468	605	475	549	631
	P2	359	384	412	438	430	469	585	645	736	515	561	709	552	601	761
PF/FA2,4-V3,0	P1	262	269	292	282	308	356	308	371	415	296	326	434	326	364	470
	P2	322	335	333	352	343	377	366	414	463	396	410	480	433	445	525
PF/FA2,6-V3,0	P1	297	288	307	302	328	374	345	410	452	365	371	479	402	427	530
	P2	325	331	352	322	373	422	385	451	512	380	404	538	429	482	580
PF/FA2,8-V3,0	P1	330	315	347	332	359	393	355	411	457	374	391	471	394	414	527
	P2	342	351	377	363	390	439	403	460	509	436	461	530	482	512	562

P1: Probeta 1 – P2: Probeta 2 – “Los valores de las probetas están en MPa”

Fuente: Elaboración del autor.

Para las diferentes tipos de mezclas que se muestran en la Tabla 45, los Mr varían entre un mínimo del orden de 200 MPa (mezcla elaborada con 2,6% de FA y 3.0% de Ca(OH)<sub>2</sub>) y 760 MPa (corresponde a la mezcla elaborada con 2,8% de FA y 3.0% Ca(OH)<sub>2</sub>).

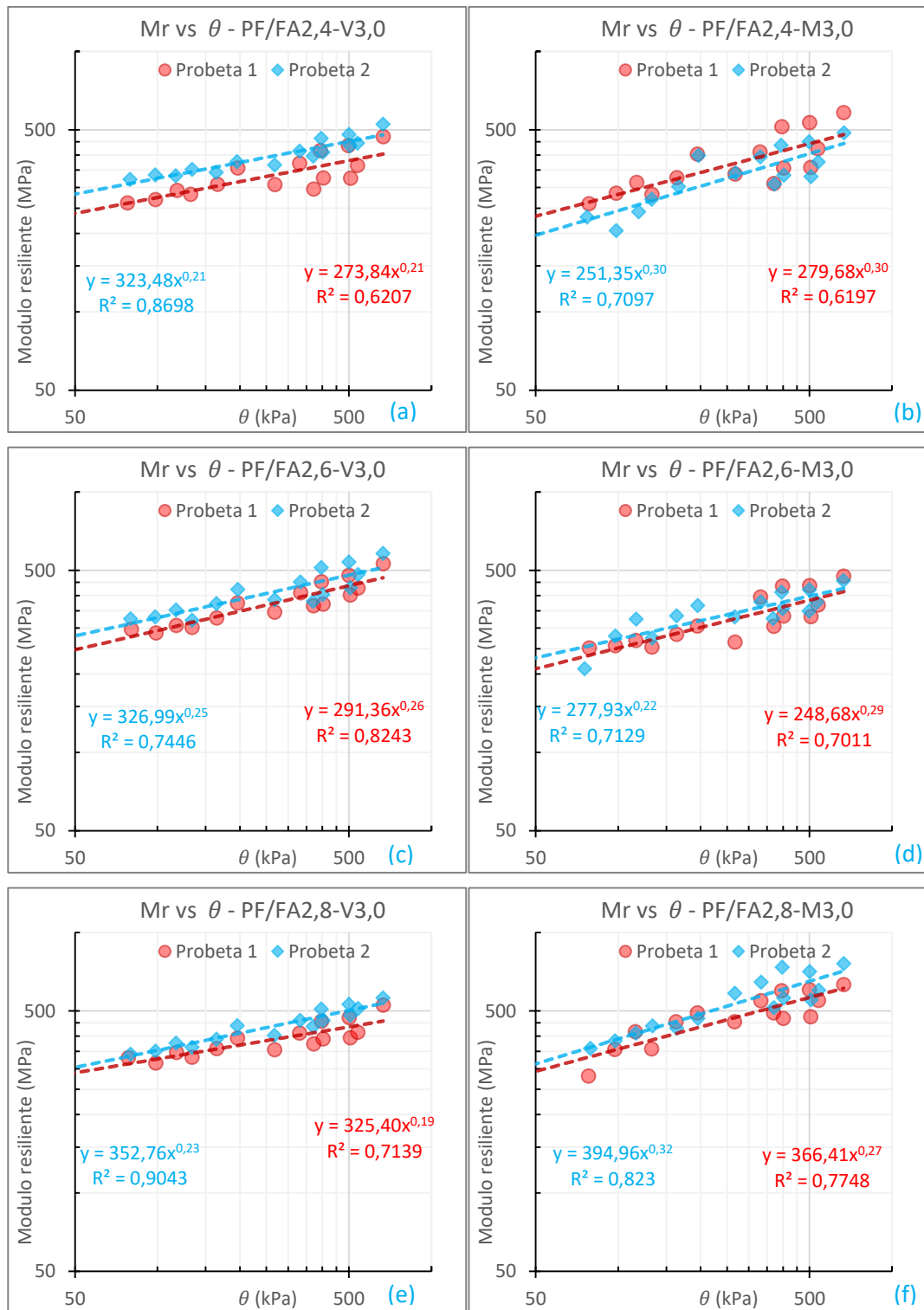


Figura 139 Mr Vs  $\theta$  para las mezclas elaboradas con 3.0% de llenante activo y diferentes concentraciones de FA. Fuente: Elaboración del autor.

Como se observa en la Figura 139, nuevamente en general, el CaO es más efectivo que el Ca(OH)<sub>2</sub> en el incremento de la rigidez del material para bajos niveles de confinamiento y concentraciones de Fa del 2,4% y 2,6%. Sin embargo, para un FA del 2,8%, el anterior comportamiento no se cumple, obteniéndose mejores resultados en la rigidización del material con el Ca(OH)<sub>2</sub>. Por otro lado, los R2 obtenidos para la relación entre el Mr y el primer invariante de esfuerzos, son en general superiores a 0,7.

### **Ecuaciones constitutivas para el material PF.**

Por medio de un análisis estadístico del ensayo de Mr y la aplicación de la metodología de mínima diferencias cuadradas, se obtuvieron los valores de K1 y K2 para el modelo K- $\theta$  y K1, K2 y K3 para el modelo K-cortante octaédrico o modelo universal.

En la Figura 140, se presentan las gráficas Mr-  $\theta$  correspondientes a los tratamientos individuales con CaO y Ca(OH)<sub>2</sub> y al tratamiento individual con concentraciones de FA del 2,4, 2,6 y 2,8% para el material PF.

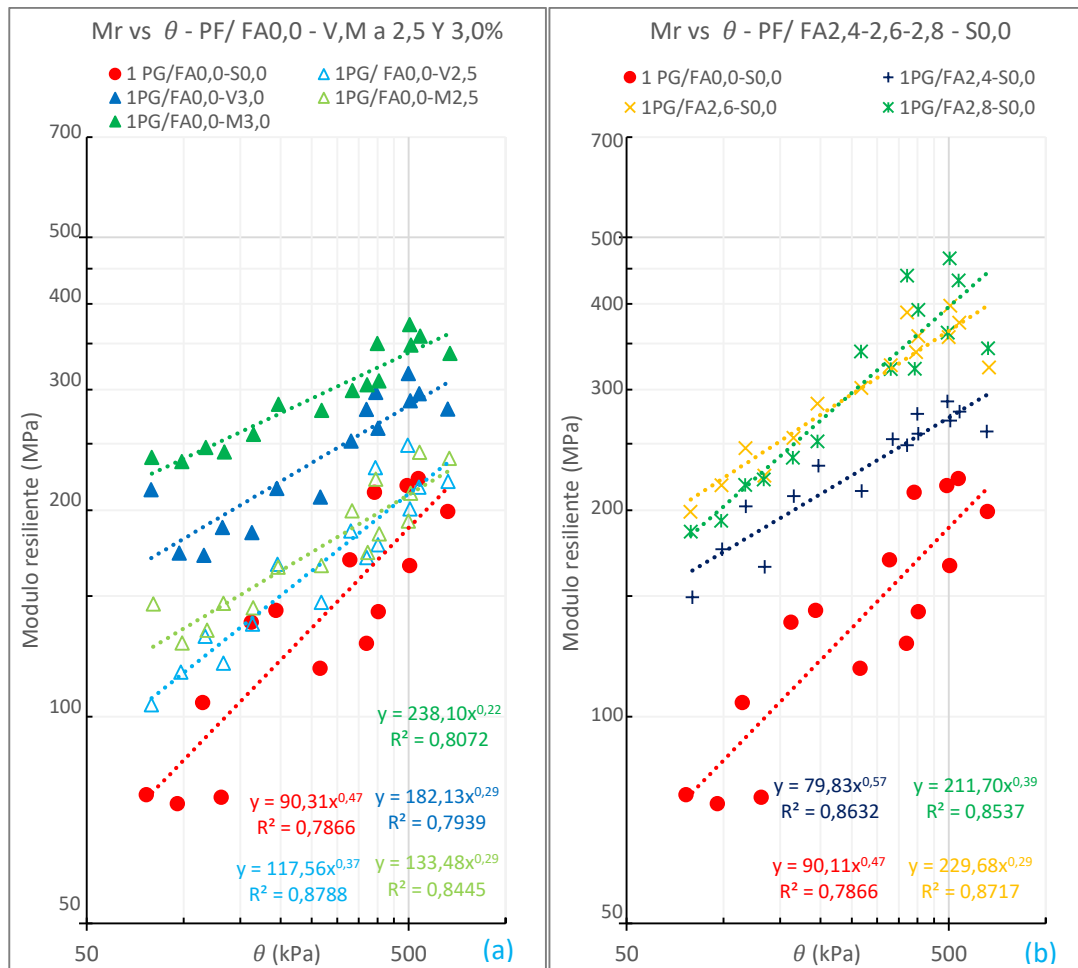


Figura 140 Resultados de Mr -  $\theta$  para el material PF virgen y mezclas tratadas solo con 2.5% o 3.0% de CaO o Ca(OH)<sub>2</sub> o solo FA. Fuente Elaboración del autor.

En la Figura 140 (a), se observa que al tratar el material con 2.5% o 3.0% ya sea de CaO o Ca(OH)<sub>2</sub>, se incrementa la rigidez de la mezcla (K1 mayores), siendo el incremento más alto para la mayor concentración del llenante y en especial para el Ca(OH)<sub>2</sub>. Por otro lado, en estos casos, se tiene una menor dependencia del primer invariante de esfuerzos (valor de K2). Con la adición de solo FA (ver Figura 140(b)) también se presenta un incremento en la rigidez del material (valores de K1), siendo este más significativo a mayores niveles de confinamiento, incluso alcanzando Mr superiores a los obtenidos con el solo uso de los llenantes activos, particularmente para las mezclas elaboradas con 2,6 y 2,8% de FA. A medida que se trata el material con FA se presenta una disminución en la dependencia del primer invariante de esfuerzos (menor K2).



En la Figura 141, se presentan los resultados de Mr en función del primer invariante de esfuerzos, correspondientes a las mezclas elaboradas con CaO en concentraciones del 2,5% o de 3,0% y estabilizadas con FA (2.4, 2.6, 2.8%).

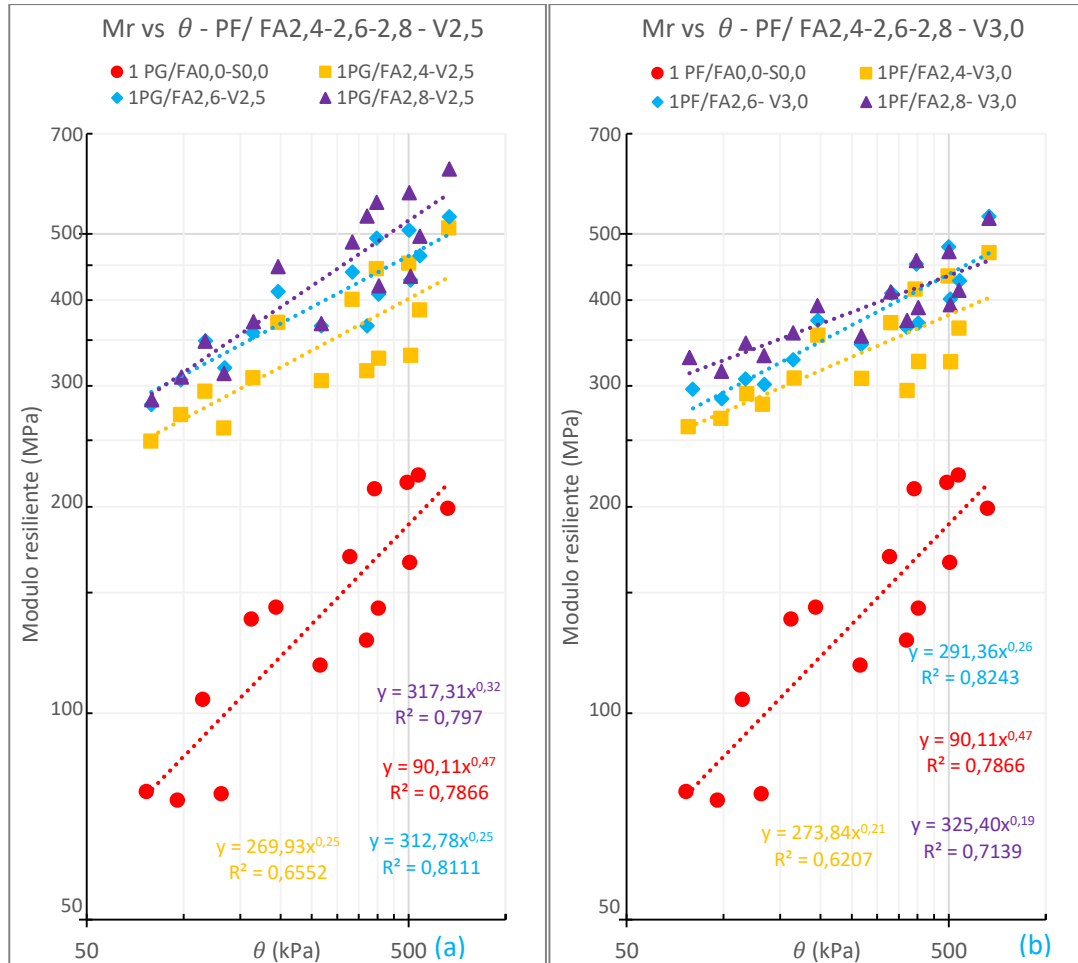


Figura 141 Resultados de Mr -  $\theta$  para el material PF tratado conjuntamente con CaO y FA. Fuente: Elaboración del autor.

Como se aprecia en la Figura 141, un 2.5% de CaO y diferentes concentraciones de FA, resultan más efectivos para incrementar la rigidez del material PF encontrándose a los mayores niveles de confinamiento Mr que llegan a ser del orden de 650 MPa con concentraciones de FA de 2,8%. Adicionalmente, se observa que al incrementar el contenido de CaO de 2,5% a 3,0% se disminuye la dependencia del primer invariante de esfuerzos frente al material original. Los valores de K1 y K2 de este modelo se presentan en la Tabla 46.

En la Figura 142, se muestran los resultados de Mr en función del primer invariante de esfuerzos, correspondientes al material PF pre-tratado con 2,5% o 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub> y estabilizado usando diferentes concentraciones de FA.

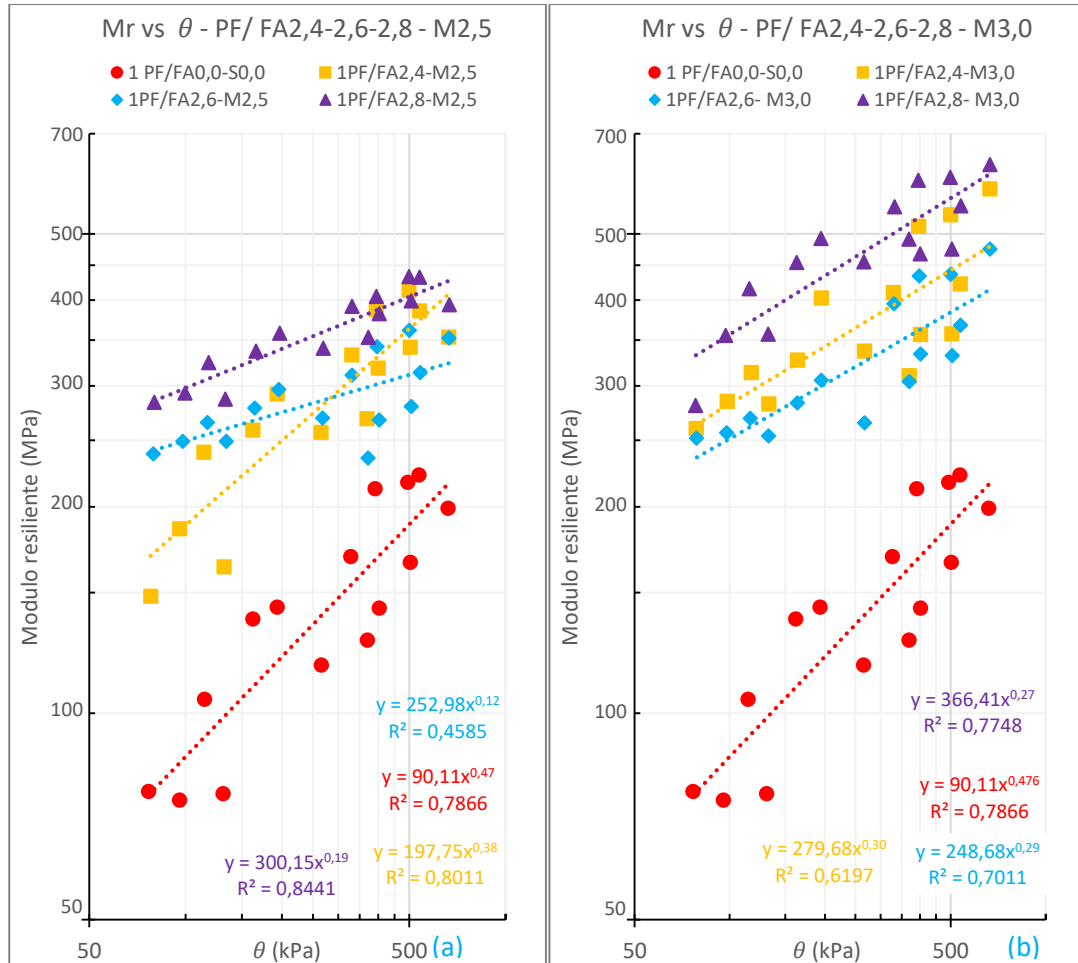


Figura 142 Resultados de Mr Vs  $\theta$  para las mezclas tratadas con Ca(OH)<sub>2</sub> y estabilizadas con FA. Fuente: Elaboración del autor.

De acuerdo con lo mostrado en la Figura 142, las mezclas tratadas con el 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub>, valor establecido como optimo (ver capítulo 3), presentaron mayor rigidez, o, en otras palabras, los Mr encontrados resultaron superiores frente a los obtenidos para las mezclas tratadas con 2,5% de este llenante activo. Adicionalmente, se logra apreciar el efecto en la rigidez de la mezcla con la variación de tan solo un 0,2% en la concentración de FA, obteniéndose los mayores Mr con la más alta concentración usada de FA (2,8%). Los valores de K1 y K2 del modelo se presentan en la Tabla 46.

En la Figura 143, se presentan los resultados del Mr en función del primer invariante de esfuerzos, correspondientes a las mezclas del material PF tratadas con 2,5% de  $\text{Ca(OH)}_2$  o de CaO y diferentes concentraciones de FA.

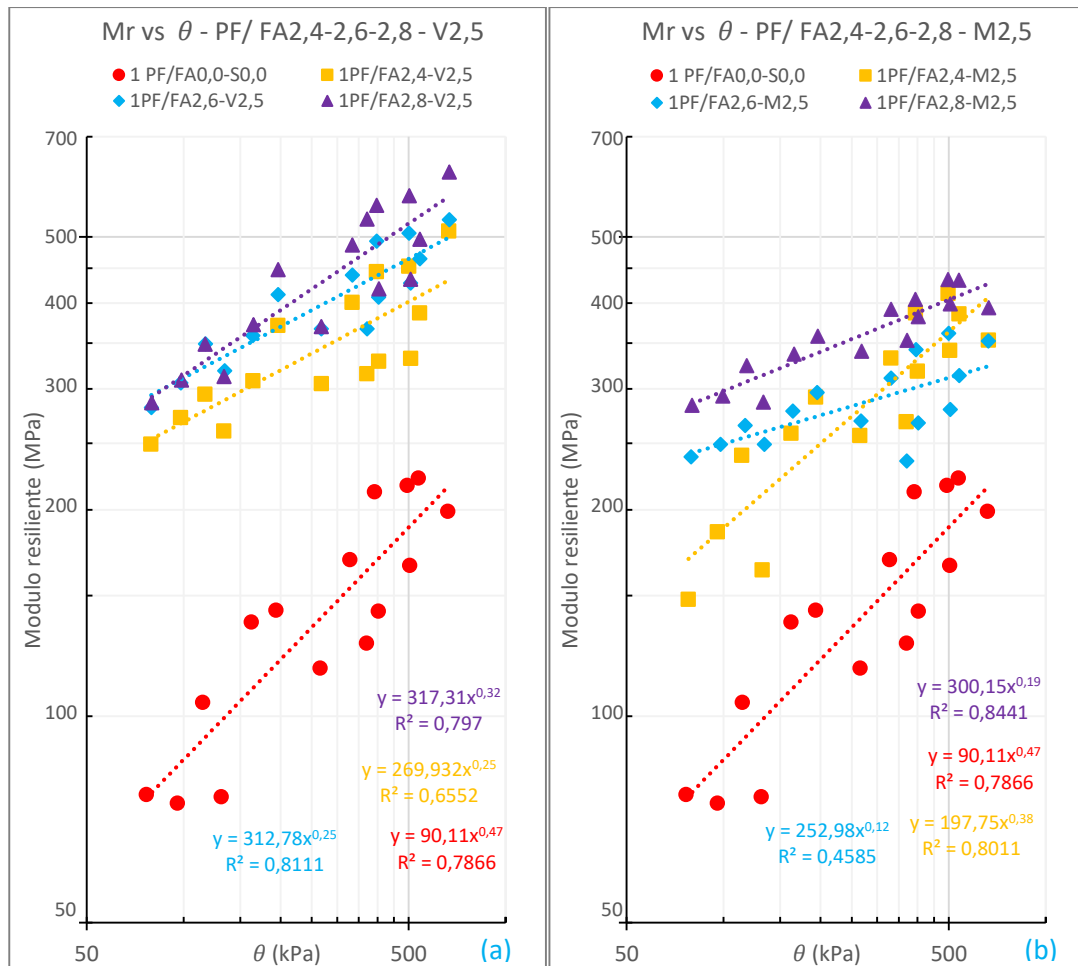


Figura 143 Resultados de Mr -  $\theta$  para las mezclas del material original tratadas con 2.5% de CaO o de  $\text{Ca(OH)}_2$  y FA. Fuente: Elaboración del autor.

Dados los resultados consignados en la Figura 143 se vuelve a establecer al igual que para el material PG, que con el llenante activo CaO en su concentración óptima (2,5%), se logra un mayor aumento en la rigidez de las mezclas frente al material original y frente al de las mezclas tratadas con  $\text{Ca(OH)}_2$  en la misma concentración, recordemos que el valor óptimo para este llenante activo es del 3,0%.

En la Figura 144, se presentan los resultados de Mr en función del primer invariante de esfuerzos, correspondiente a las mezclas del material PF tratado con  $\text{Ca(OH)}_2$

o con CaO en una concentración del 3,0% y FA en concentraciones del 2,4, 2,6 y 2,8%.

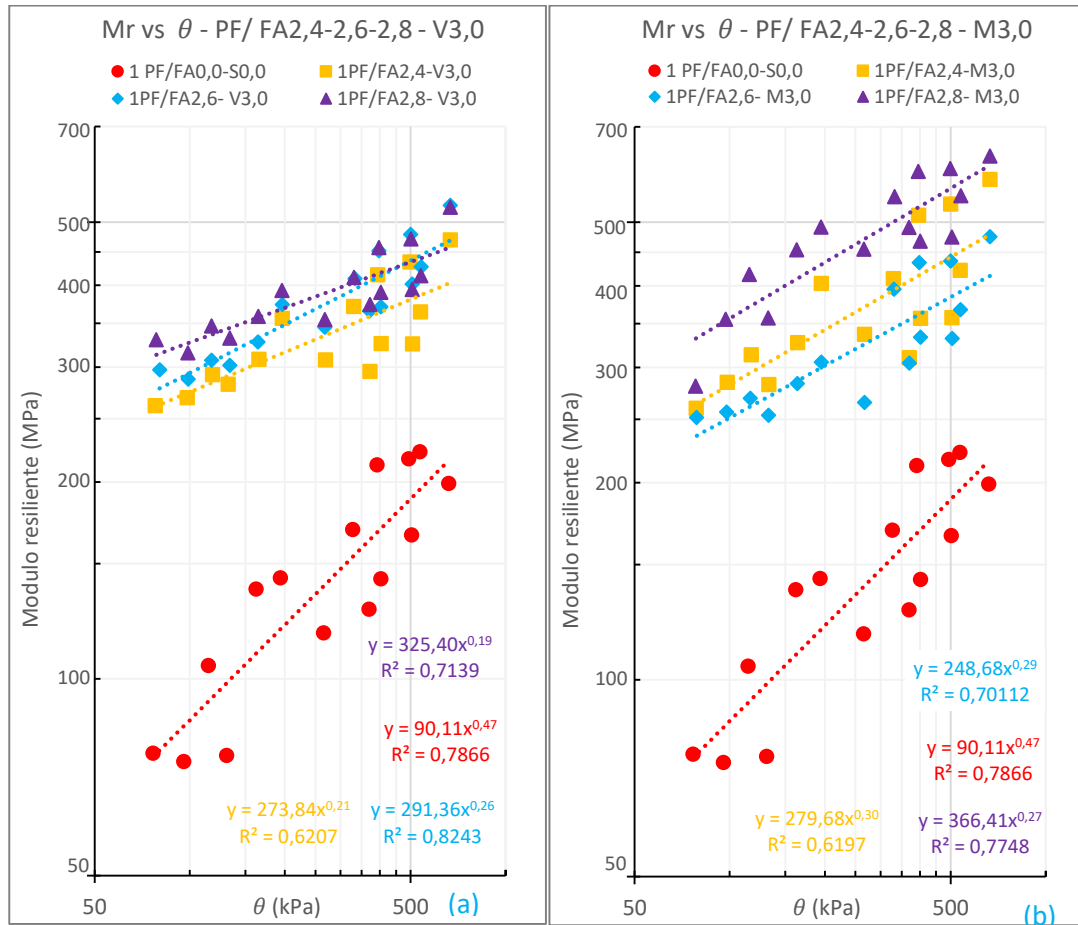


Figura 144 Resultados de Mr -  $\theta$  para las mezclas del material original tratadas con 3.0% de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub> y FA. Fuente: Elaboración del autor.

En la Figura 144, es claro que con el llenante activo Ca(OH)<sub>2</sub>, en su concentración óptima (3.0%), se logra el mayor aumento de la rigidez de las mezclas frente al material original y frente al de las mezclas tratadas con CaO en la misma concentración y que con el cambio en el contenido de FA el Mr se afecta en mayor medida, presentando menor dependencia del primer invariante de esfuerzos.

En la Figura 145, Figura 146 y Figura 147 se muestra el comportamiento del Mr frente al primer invariante de esfuerzos, para cada concentración de FA de tal forma que sea posible visualizar el efecto del FA solo y del FA conjuntamente con cada uno de los llenante activos - CaO y Ca(OH)<sub>2</sub>, sobre la rigidez del material PF.

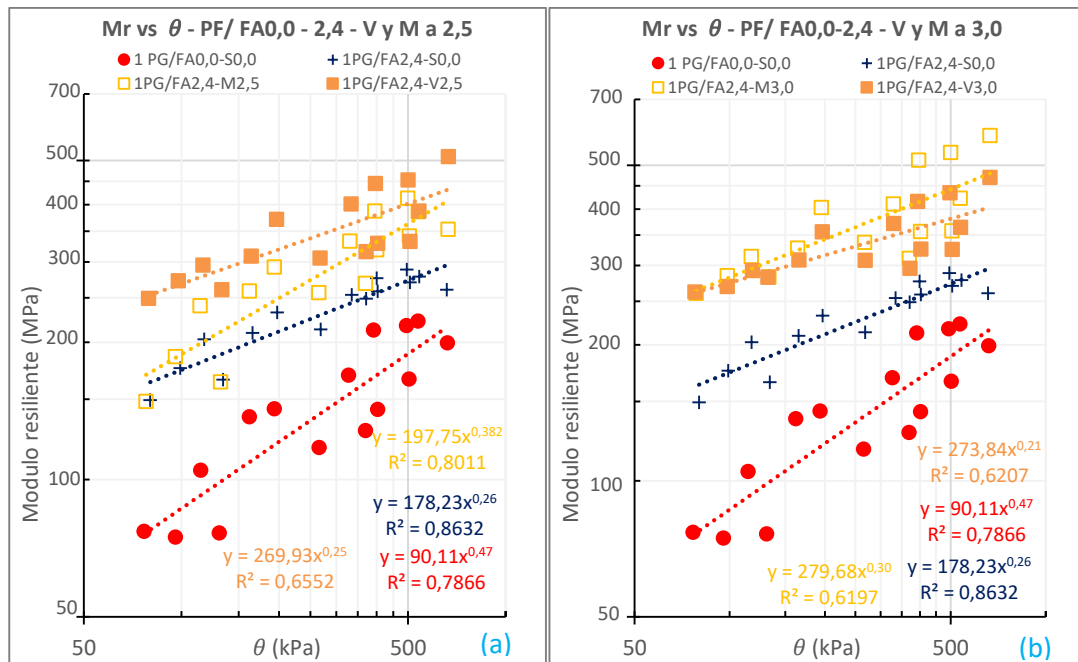


Figura 145 Resultados de Mr -  $\theta$  para las mezclas elaboradas con 2,4% de FA solo o conjuntamente con un pretratamiento de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub> del material PF. Fuente: Elaboración del autor.

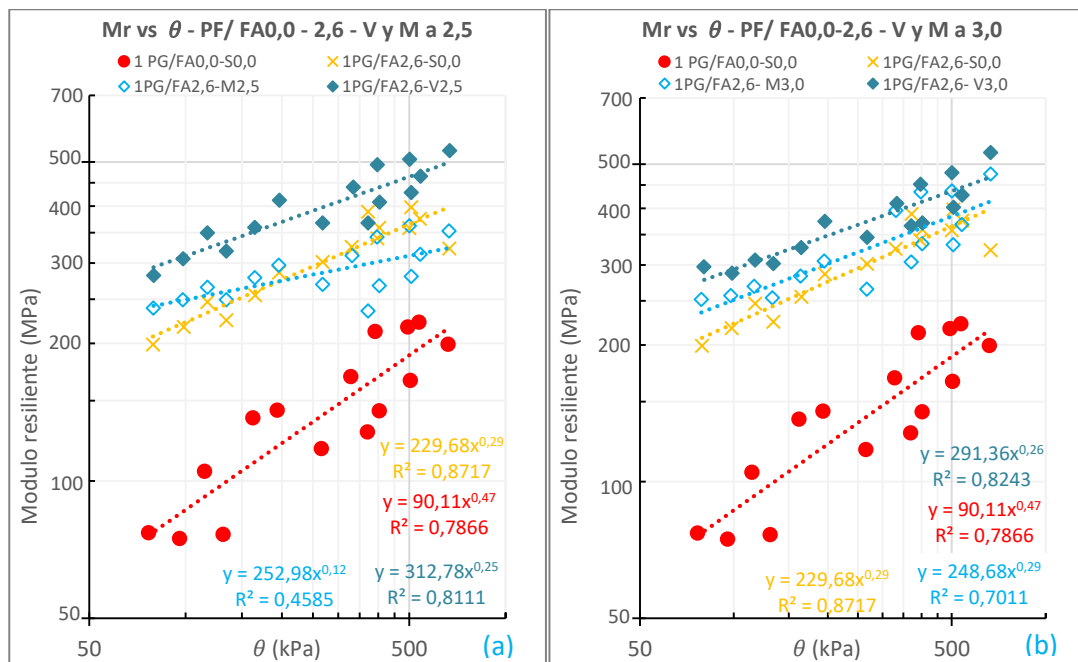


Figura 146 Resultados de Mr -  $\theta$  para las mezclas elaboradas con 2,6% de FA solo o conjuntamente con un pretratamiento de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub> del material PF. Fuente: Elaboración del autor.

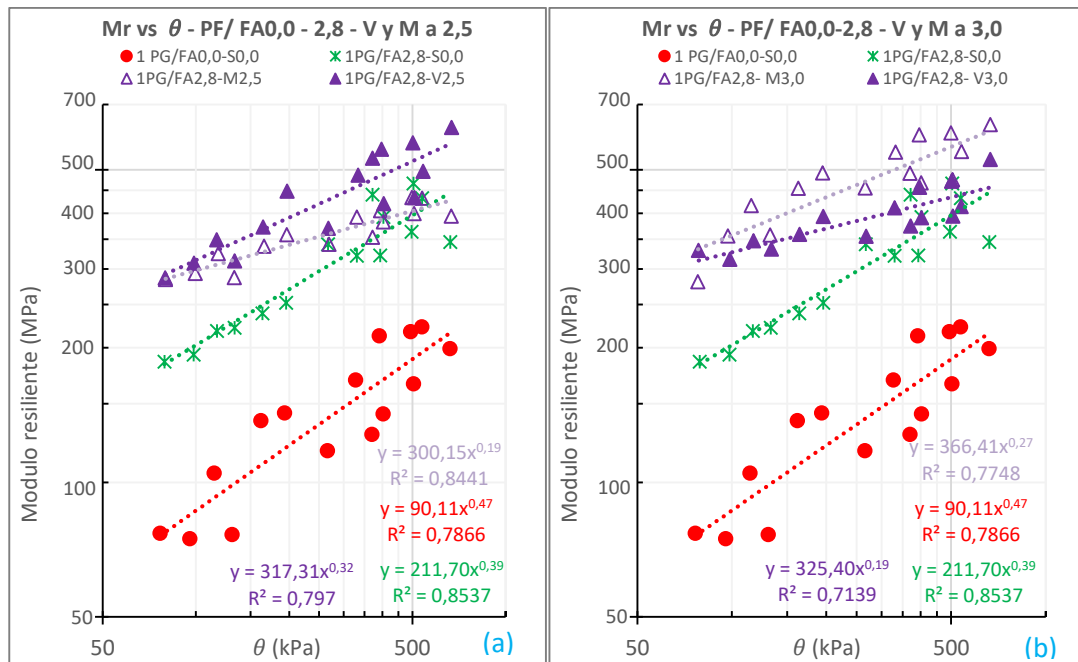


Figura 147 Resultados de Mr -  $\theta$  para las mezclas elaboradas con 2,8% de FA solo o conjuntamente con un pretratamiento de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub> del material PF. Fuente: Elaboración del autor.

De manera general, se evidencia en todas las mezclas tratadas solo con FA , un incremento importante en la rigidez del material PF y con el pretratamiento con los llenantes activos se logra un aumento adicional, en especial con el uso del CaO cuando su dosificación es del 2,5%. Por otro lado, la incorporación de solo FA no afecta significativamente la dependencia del Mr del estado de esfuerzos, con respecto al del material original, notándose también que con la adición de los llenantes activos conjuntamente con FA, se presenta una ligera disminución en esta dependencia.

En la Figura 148, se comparan los resultados para el material PF, modificados con 2,5% de CaO y 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub>, y tratados conjuntamente con FA. Estos porcentajes de cada uno de los llenantes son comparados debido a que con ellos se obtuvo la mayor reducción del índice de plasticidad del material, es decir, corresponden a los óptimos, tal y como se analizó en el capítulo 3.

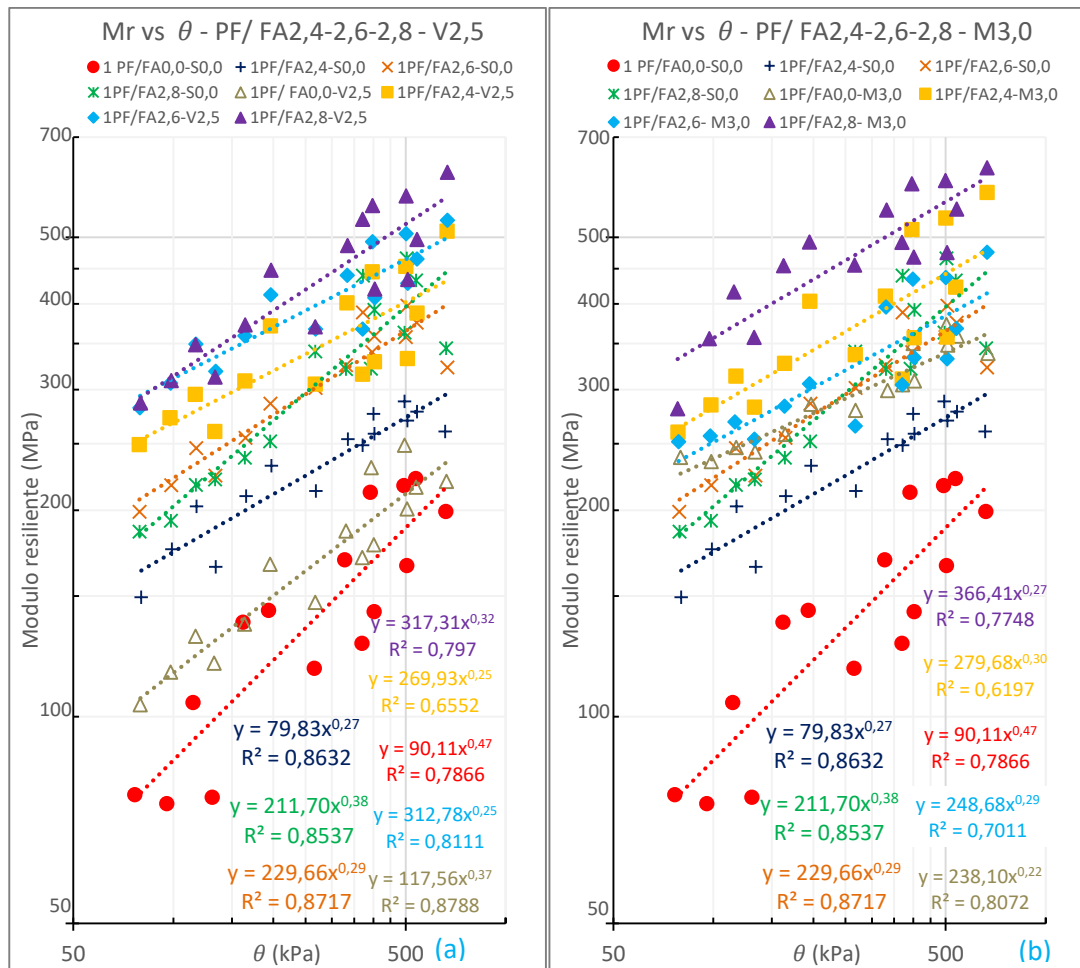


Figura 148 Resultados de Mr Vs  $\theta$ , del Material PF con 2,5% de CaO y 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub> tratado conjuntamente con diferentes concentraciones de FA. Fuente: Elaboración del autor

De los gráficos presentados en la Figura 148 para las concentraciones óptimas de cada llenante activo de observa que en general con ambos tratamientos se logran incrementos importantes en la rigidez del material. El óptimo de CaO (2,5%) es menos efectivo en este aspecto que el óptimo de Ca(OH)<sub>2</sub> (3,0%), siendo los resultados equiparables cuando se mezclan cada uno de estos llenantes, en sus dosificaciones óptimas, con las diferentes concentraciones de FA.

Adicionalmente, el incrementó de 0,2% de FA afecta en mayor medida al material tratado con Ca(OH)<sub>2</sub>. Finalmente, se propone de acuerdo a los resultados encontrados, la viabilidad de usar ya sea CaO o Ca(OH)<sub>2</sub> con 2,8% de FA en el

tratamiento del material PF, debido a que con ellos se obtienen los más altos Mr en el rango de esfuerzos evaluados.

En la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** y en la figura 149, se presentan los valores de K1 y K2 determinados a partir de los resultados del ensayo de Mr realizado sobre las 2 probetas de cada una de las mezclas de BSM para el material PF.

Tabla 46 Valores de K para la ecuación constitutiva Mr vs  $\theta$  para el material PF.

Muestra control	K1	K2						
	90,11	0,47						
	78,11	0,53						
%Fa	0%		2.4%		2.6%		2.8%	
Tratamientos/Constantes	K1	K2	K1	K2	K1	K2	K1	K2
Solo FA	-		179,83	0,26	229,68	0,29	211,70	0,39
2.5% CaO	117,56	0,37	269,93	0,25	312,78	0,25	317,31	0,32
	133,10	0,36	323,96	0,21	273,19	0,25	304,95	0,29
2.5% Ca(OH) <sub>2</sub>	133,48	0,29	197,75	0,38	252,98	0,12	300,15	0,19
	128,38	0,35	184,03	0,33	259,60	0,14	254,13	0,27
3.0% CaO	182,13	0,29	273,84	0,21	291,36	0,26	325,40	0,19
	145,19	0,39	323,48	0,21	326,99	0,25	352,76	0,23
3.0% Ca(OH) <sub>2</sub>	271,42	0,12	279,68	0,30	248,68	0,29	366,41	0,27
	238,10	0,22	251,35	0,30	277,93	0,22	394,96	0,22

Fuente: Elaboración del autor.

Como se desprende de los datos consignados en la tabla 46 y en la figura 149, los valores más altos de K1 se encontraron en las mezclas tratadas con 2,8% de FA y 3,0 de Ca(OH)<sub>2</sub>, y los valores más bajos de K2 para las mezclas elaboradas con 2,6% de FA y 2,5% de Ca(OH)<sub>2</sub>.



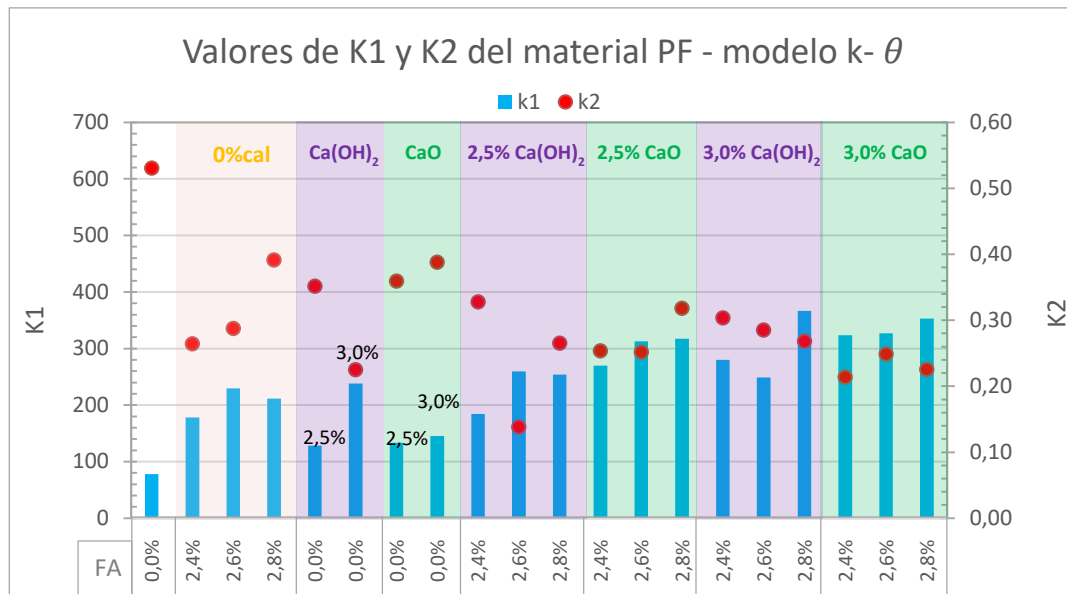


Figura 149 Valores de K para la ecuación constitutiva  $M_r - \theta$  del material PF. Fuente: Elaboración del autor.

En general, no se aprecia una tendencia claramente definida en los valores de K1 a medida que se incrementa la concentración de FA. Por otro lado, a medida que se incrementa la concentración de FA los valores de K2 aumentan ligeramente (de 0,26 a 0,39) mostrando un comportamiento contrario a lo esperado, que sería la disminución de la dependencia del  $M_r$  del estado de esfuerzos, aun cuando teniendo en cuenta las concentraciones e incrementos en el contenido de asfalto tan bajos, este comportamiento no resulta concluyente. La influencia en la rigidez (variación en el valor de K1) con la variación en el contenido de FA es más notoria cuando se usa el  $Ca(OH)_2$ , en especial en una concentración del 2,5%. Y finalmente, de manera general, sin tenerse una tendencia definida, se observa que con el tratamiento conjunto con los llenantes activos y el FA se disminuye la dependencia del  $M_r$  del estado de esfuerzos, pasando de valores de K2 del orden de 0,5 en el material sin ningún tratamiento a valores que se encuentran en promedio entre 0,2 y 0,3.

### Modelo (MEPDG) cortante octaédrico.

El segundo modelo analizado corresponde al modelo  $K - t_{oct}$ , establecido por Uzan y posteriormente modificado por MEPDG en el año 2002 conocido como el modelo universal.

En la Figura 150, se pueden apreciar las tendencias de variación del Mr con el  $t_{oct}$  para el tratamiento del material PF con los llenantes activos en sus concentraciones óptimas y las diferentes concentraciones de FA evaluadas. Como se desprende de lo consignado en esta figura, en términos generales, el Mr aumenta con el incremento del  $t_{oct}$ . La dependencia del Mr del  $t_{oct}$  es ligeramente menor en las mezclas tratadas si se les compara con el material original.

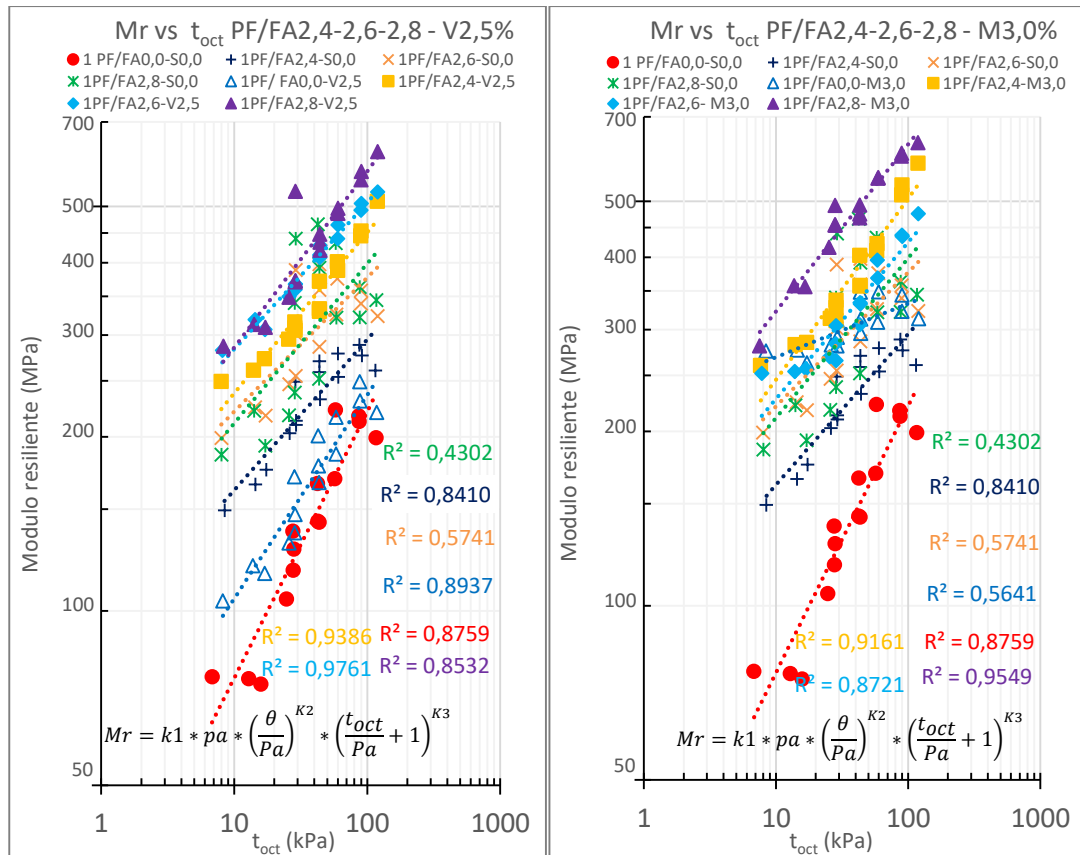


Figura 150 Resultados de Mr Vs  $t_{oct}$ , del Material PF con 2,5% de CaO y 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub> tratado conjuntamente con diferentes concentraciones de FA. Fuente: Elaboración del autor

Se observó un comportamiento, considerado anómalo porque se aparta de las tendencias encontradas para las diferentes mezclas elaboradas, con el uso de 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub>; en este caso particular, aun cuando se tiene una mayor dispersión en los resultados (R2 del orden de 0.5) se presenta la menor dependencia del Mr con el  $t_{oct}$ . Igualmente, para una concentración de FA del 2,8% no se encontró una

relación entre el  $M_r$  y el  $t_{oct}$ , - R2 de 0.43, lo cual se corrobora en el modelo Universal, donde se obtuvo un  $K_3$  igual a 0.

En la Tabla 47 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y en la Figura 151 se resumen los valores de  $K_1$ ,  $K_2$  y  $K_3$  encontrados al aplicar el modelo universal para determinar el  $M_r$  del material PF con los diferentes tratamientos. Como se desprende de los datos consignados en la tabla y en la figura, de manera general, a medida que se incrementa el contenido de FA en el material con y sin pretratamiento con los llenantes activos en sus diferentes concentraciones, la tendencia es a disminuir la dependencia del  $M_r$  con el incremento del  $t_{oct}$  (menores valores de  $K_3$ ). En estas mismas condiciones, se tiene muy baja a nula dependencia del  $M_r$  del primer invariante de esfuerzos, encontrándose valores de  $K_2$  de cero o muy cercanos a este.

El tratamiento con solo los llenantes activos, conlleva una disminución de la dependencia del  $M_r$  del  $t_{oct}$  con el incremento en su dosificación de 2.5% a 3.0% (disminución de  $K_3$ ) manteniéndose prácticamente igual la dependencia del  $M_r$  con el primer invariante de esfuerzos ( $K_2$  similares).

Tabla 47 Valores de K para la ecuación constitutiva Mr vs t<sub>oct</sub> para el material PF.

Muestra control	K1	K2	K3									
	1643	0,15	0,31									
	1689	0,13	0,41									
%Fa	0%			2.4%			2.6%			2.8%		
Tratamientos /Constantes	K1	K2	K3	K1	K2	K3	K1	K2	K3	K1	K2	K3
Solo FA	-			1346	0,30	0,29	718	0,29	0,90	2075	0,39	0,00
2.5% CaO	1099	0,23	0,49	2346	0,00	1,00	2867	0,09	0,60	2913	0,15	0,61
	1271	0,28	0,26	2894	0,00	0,80	2606	0,09	0,62	2721	0,06	0,84
2.5% Ca(OH) <sub>2</sub>	1278	0,23	0,21	1870	0,26	0,41	2226	0,00	0,64	2892	0,15	0,14
	1196	0,21	0,49	1729	0,20	0,43	2438	0,04	0,36	2431	0,26	0,09
3.0% CaO	1778	0,27	0,03	2398	0,00	1,16	2211	0,04	0,90	3368	0,11	0,59
	1423	0,38	0,00	2242	0,08	0,83	2550	0,07	0,58	3602	0,14	0,65
3.0% Ca(OH) <sub>2</sub>	2661	0,12	0,00	2411	0,00	0,86	2660	0,09	0,62	2955	0,02	0,63
	2303	0,19	0,12	3022	0,11	0,40	2946	0,05	0,74	3319	0,13	0,75

Fuente: Elaboración del autor.

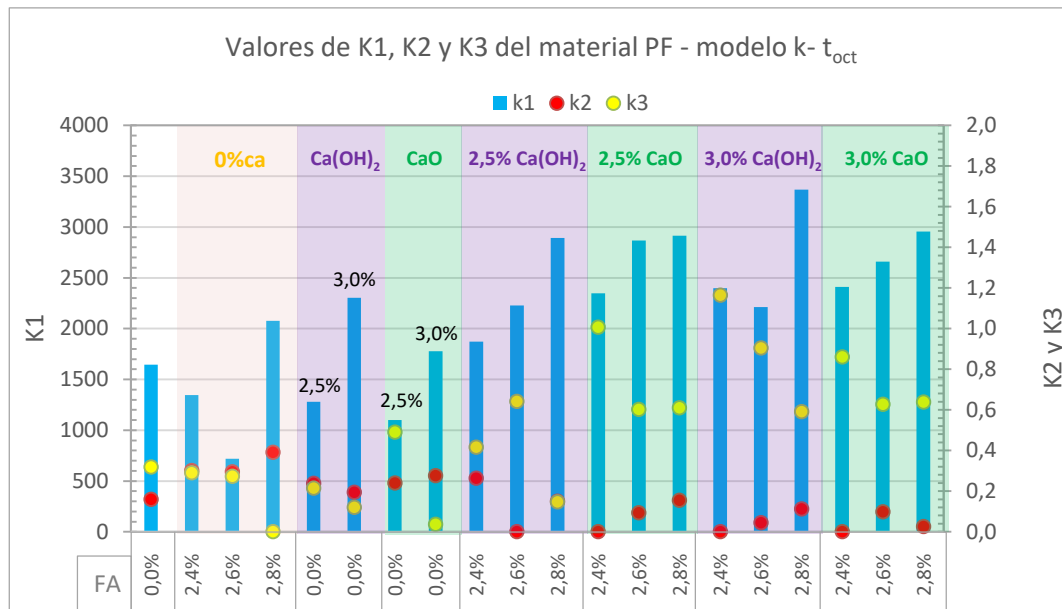


Figura 151 Valores de K para la ecuación constitutiva  $M_r$  vs  $t_{oct}$  del material PF. Fuente: Elaboración del autor.

A medida que el material es tratado conjuntamente, se observa una buena correlación del módulo resiliente con respecto al cortante octaédrico, con valores de  $R_2$  superior a 0,8.

Los valores de  $K_1$  varían entre algo más de 700 y 3600, correspondiendo el valor más bajo al de la mezcla elaborada solo con FA en una concentración del 2,6% y el valor más alto al de la mezcla del material PF pretratada con 3,0% de  $Ca(OH)_2$  y estabilizada con 2,8% de FA.  $K_2$  varía entre 0,00 y 0,26 lo que indica la baja dependencia del  $M_r$  del primer invariante de esfuerzos, mientras que  $K_3$  se encuentra entre 0,09 y 1,20 lo que muestra una mayor dependencia del  $t_{oct}$ . Este comportamiento también se evidencia en el material PG, lo que permite concluir que el tratamiento de la plasticidad con los llenantes activos, la variación de la absorción y la composición químico-mineralógica del material no cambia significativamente el comportamiento del  $M_r$  frente al  $t_{oct}$ . Estos resultados también los presentan los estudios realizados por Pardo, Campagnoli y Puentes (Campagnoli & Puentes, 2016; Pardo, 2018), pero en muestras de RAP y materiales bien gradados, que se apartan de los analizados en este estudio que corresponden en términos generales a materiales marginales.

Finalmente, para el material PF, teniendo en cuenta los resultados encontrados aplicando los modelos constitutivos es posible concluir el modelo universal es el de mejor ajuste, con R2 superiores a 0,9. Estos resultados concuerdan con los encontrados en el material PG y los presentados en otros estudios como los de Fu, Jones y Campagnoli. (Campagnoli & Puentes, 2016; Fu, 2009).

#### 4.5 Resumen valores de Mr de los materiales PG y PF modelo K-teta.

A continuación, se compararán los resultados del Mr obtenidos para los diferentes tratamientos y mezclas con el material PG y con el material PF. En la Figura 152, se realiza la comparación en función del contenido de FA.

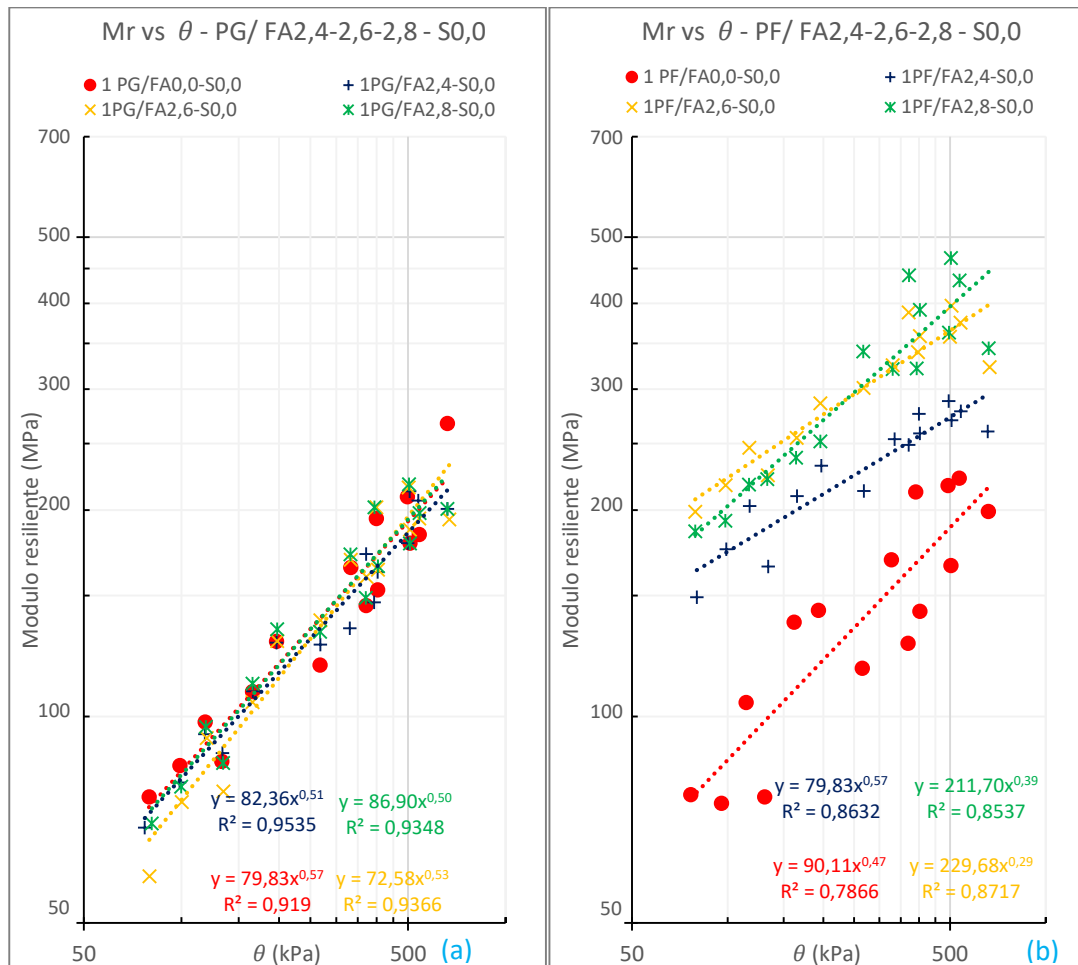


Figura 152 Mr de las mezclas tratadas solo con FA, para los materiales (a) PG, y (b) PF. Fuente: Elaboración del autor.

Como se desprende de los resultados consignados en esta figura, el material PG presenta una mayor rigidez que el material PF y la adición de FA no lo afecta, se presume que se debe principalmente a la mayor absorción del material PG ( 5,1%), mientras que en el material PF es de un 3,0%. Mientras que, el efecto del FA en la rigidez del material PF es significativo. En este caso, se presume que este comportamiento se debe al carácter básico del material que está conformado principalmente por carbonatos, donde el asfalto es más propenso a generar una buena adhesión.

En la tesis de Kumar titulada "*Evaluation of asphalt aggregate bond and stripping potential*" (Kumar, 2004), se demuestra que la química y la mineralogía de la superficie del agregado desempeña un papel significativo en la adherencia del asfalto, sugiriendo que el asfalto se adhiere mejor a los agregados básicos que a los agregados ácidos y para poder entender un poco mejor esta característica, se mencionó en el capítulo 3 la influencia de la naturaleza de los agregados en una mezcla con el ligante asfáltico.

Figura 153 se observan los resultados del Mr de las muestras tratadas con 2,5% de CaO (concentración óptima) y diferentes dosificaciones de FA, tanto del material PG como del material PF. Es claro en esta figura que el CaO tiene un efecto ligeramente mayor en la rigidez del material PF frente al que se presenta en el material PG y que nuevamente, con la adición conjunta de FA, se presenta un efecto considerable en el Mr.

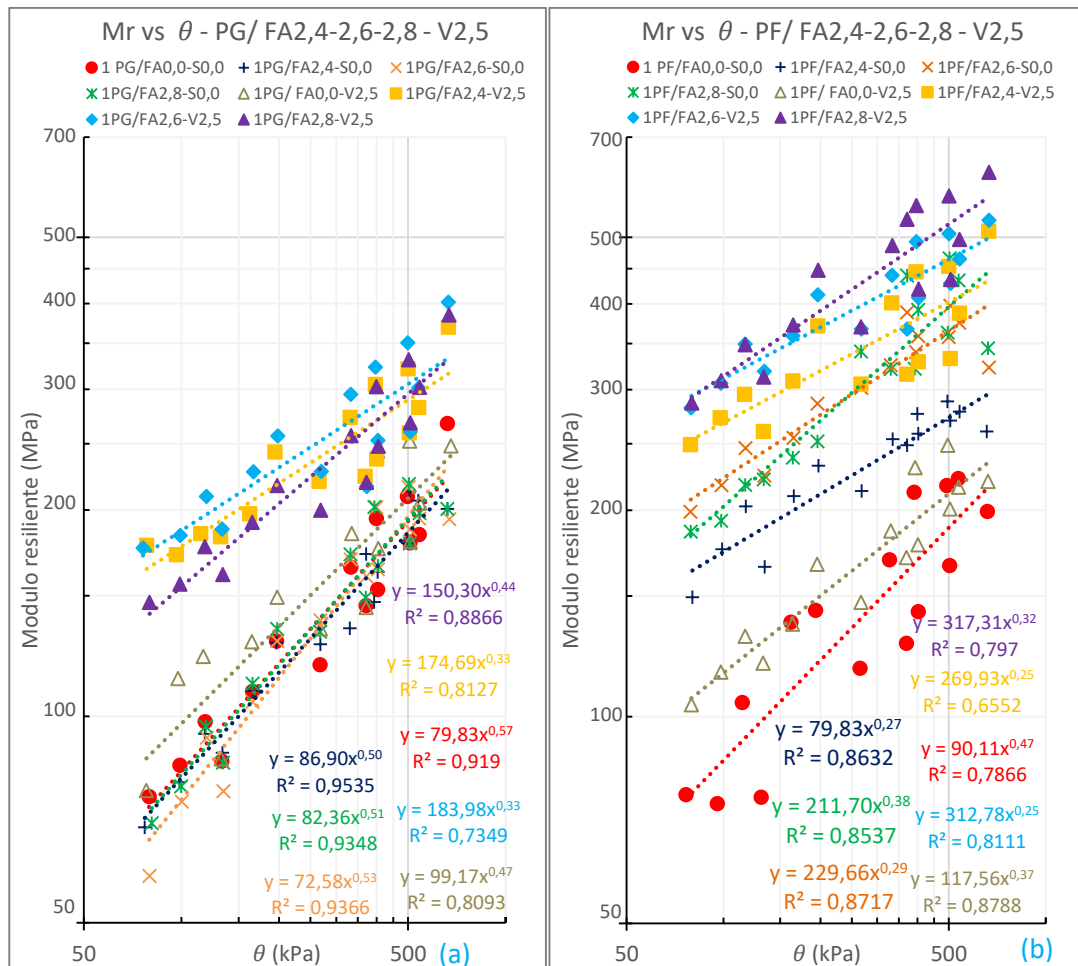


Figura 153 Mr de las mezclas tratadas con 2,5% de CaO, o de Ca(OH)<sub>2</sub> y estabilizadas con FA a diferentes contenidos, para los materiales (a) PG, y (b) PF. Fuente: Elaboración del autor.

El material PG presenta valores de K2 de 0,3 a 0,4 y para el material PF entre 0,2 y 0,3, lo que es indicativo que la rigidez del material PG es más dependiente del invariante de esfuerzos que el material PF.

En la Figura 154, se observan los resultados del Mr de las mezclas tratadas con 3,0% de Ca(OH)<sub>2</sub> (Concentración óptima) y diferentes dosificaciones de FA, tanto para el material PG como para el material PF. Nuevamente se observa que el efecto en el Mr es más considerable con los tratamientos del material PF que con los del material PG.



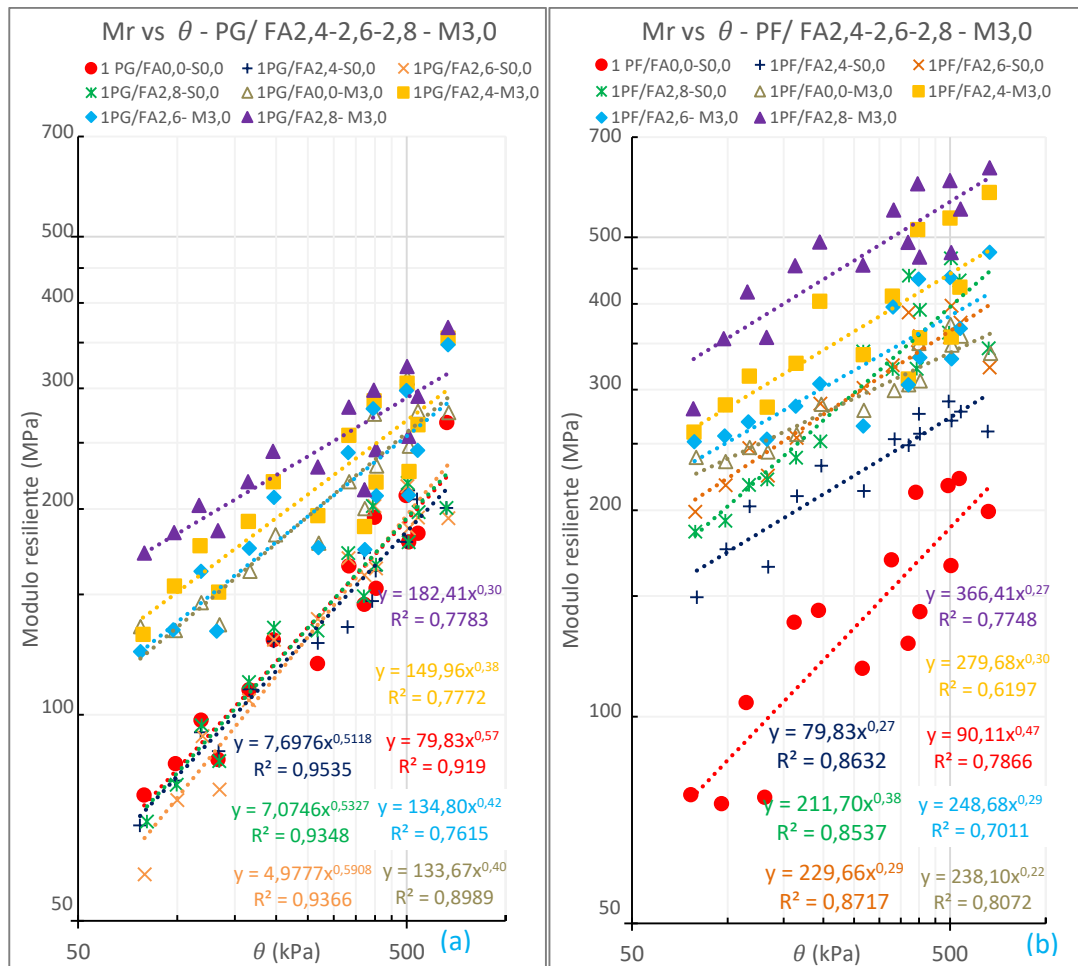


Figura 154 Mr de las mezclas tratadas con 3.0% de CaO, o de Ca(OH)<sub>2</sub> y estabilizadas con FA a diferentes contenidos, para los materiales (a) PG, y (b) PF. Fuente: Elaboración del autor.

Lo anterior evidencia que el tratamiento con Ca(OH)<sub>2</sub>, no presenta una buena afinidad con el tratamiento con FA en los materiales plásticos. Es decir, el tratamiento en conjunto con estos agentes ligeramente supera el modulo del tratamiento individual.

#### 4.6 Resistencia al corte de las mezclas con el material PG.

Por medio del ensayo triaxial, siguiendo la metodología descrita en el capítulo 3, se analizó la resistencia al corte ( $q_u$ ), de las diferentes mezclas del material PG con los agentes estabilizadores. En la Figura 155, se muestran los resultados y las curvas de esfuerzo - deformación para cada mezcla para una presión de confinamiento de 34,5 kPa.

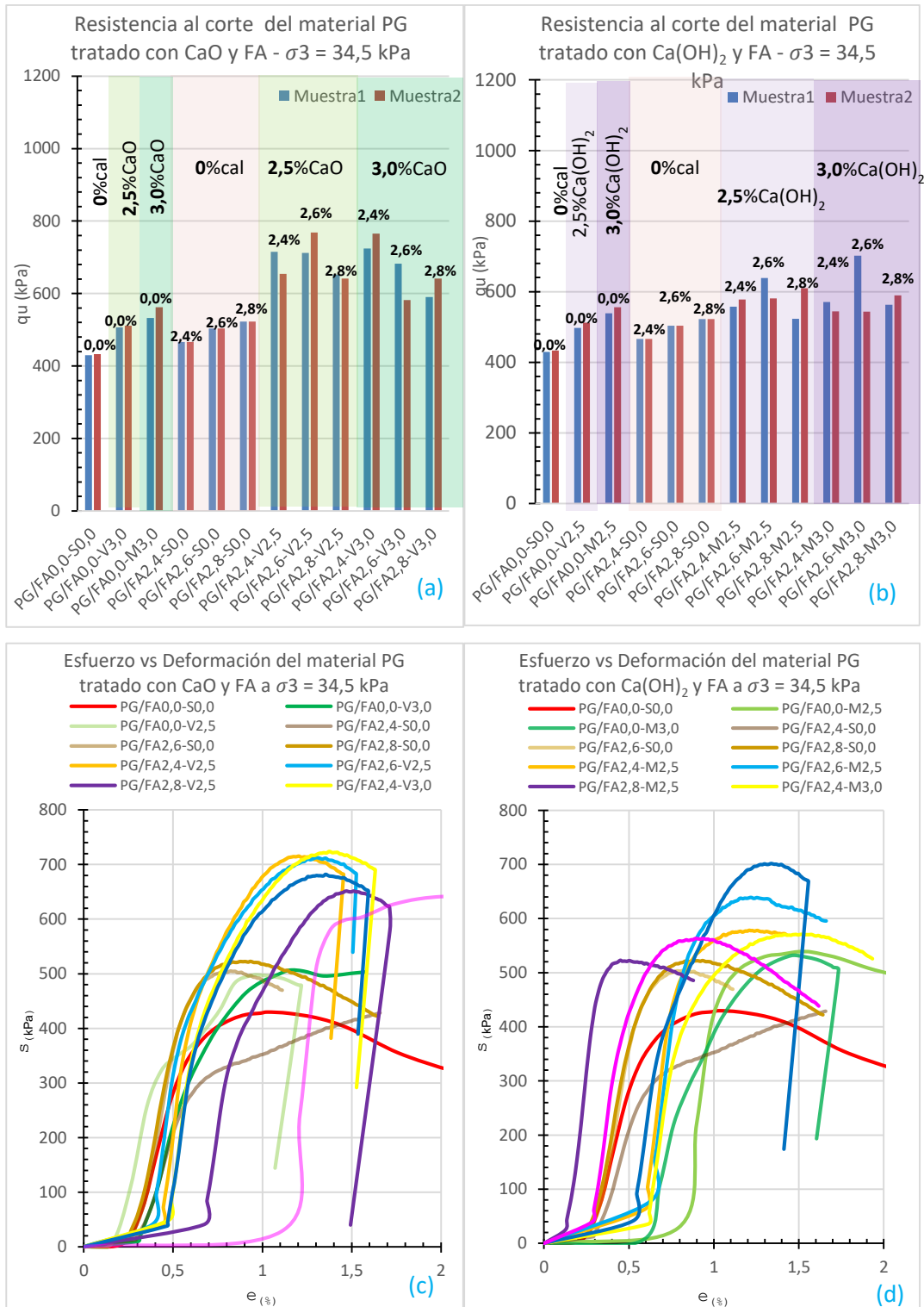


Figura 155 Resultados de resistencia al corte (a y b) y curvas esfuerzo vs deformación (c y d) de las mezclas BSM del material PG. Fuente: Elaboración del autor.

Como se observa en la Figura 155 con el empleo conjunto de los llenantes activos, en sus concentraciones óptimas, y del FA se logra un incremento en la resistencia al corte del material sin ningún tratamiento, siendo este más significativo con el uso del CaO con el que se alcanzan resistencias que superan los 600 kPa, siendo la del material original del orden de 400 kPa.

El empleo de solo FA, aun cuando da lugar a una mejoría de la resistencia a medida que su concentración se incrementa, esta no resulta significativa, siendo en este caso más efectivo el uso de los solo llenantes, bien sea de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub>. Lo anterior corrobora la conveniencia del pretratamiento con los llenantes activos en materiales que presentan plasticidad para luego complementar su tratamiento con la adición de FA. Finalmente, con una mirada rápida a los gráficos esfuerzo – deformación de la figura 155, es posible observar que los módulos tangentes iniciales no se afectan significativamente con la adición de los diferentes agentes, ya sea empleados de manera independiente o conjuntamente.

#### **4.7 Resistencia al corte de las mezclas con el material PF.**

Al igual que para el material PG, por medio del ensayo triaxial, siguiendo la metodología descrita en el capítulo 3, se analizó la resistencia al corte ( $q_u$ ), de las diferentes mezclas elaboradas con el material PF y los agentes estabilizadores. En la Figura 156, se muestran los resultados y las curvas de esfuerzo - deformación para cada mezcla para una presión de confinamiento de 34,5 kPa

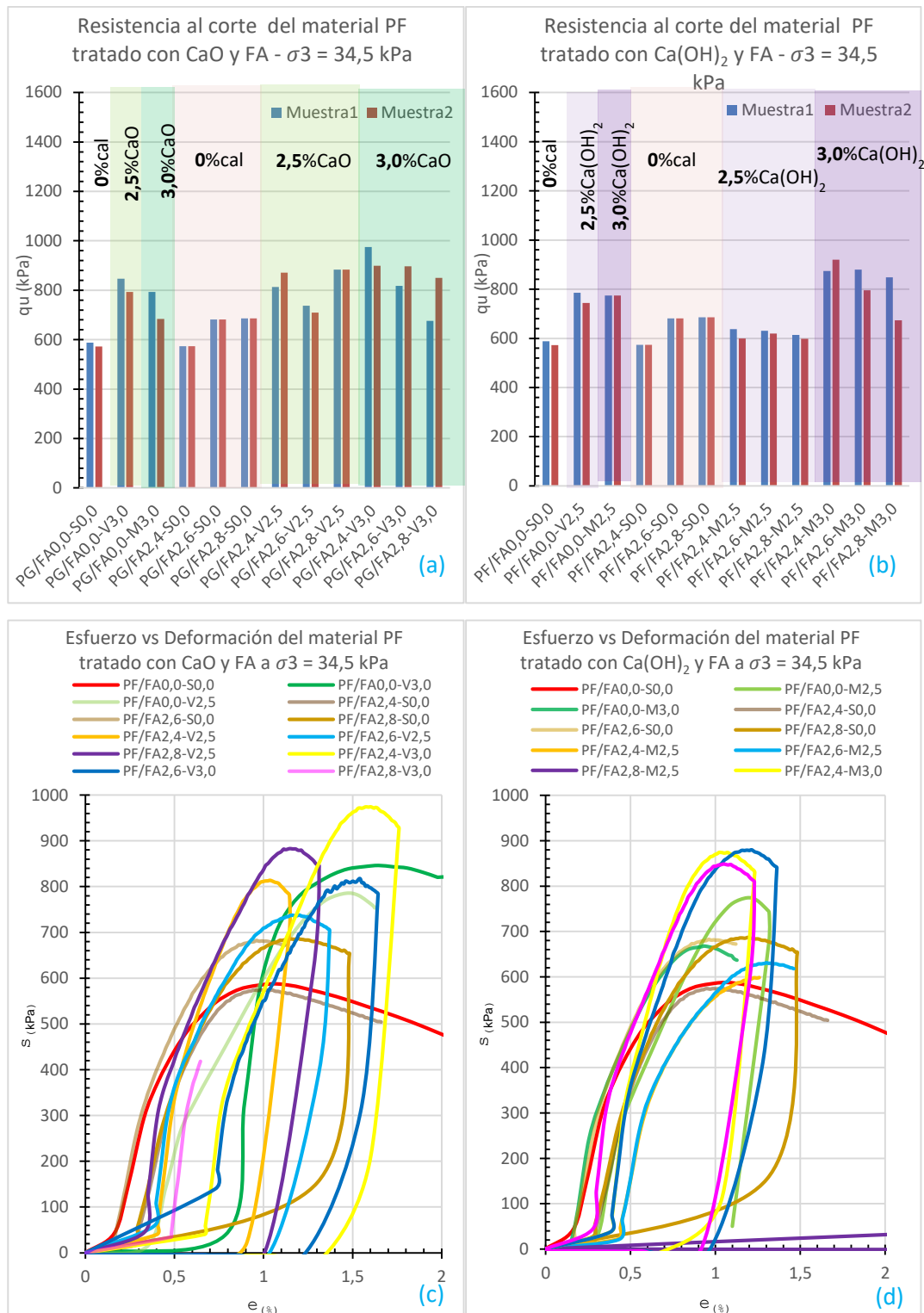


Figura 156 Resultados de resistencia al corte (a y b) y curvas esfuerzo vs deformación (c y d) de las mezclas BSM del material PF. Fuente: Elaboración del autor.

Como se desprende de los datos y gráficos presentados en la Figura 156 para el material PF, en términos generales, se puede decir, que resulta más efectivo el empleo de solo los llenantes activos para lograr un incremento en la resistencia al corte del material original. El uso, bien sea de CaO o de Ca(OH)<sub>2</sub>, en cualquiera de sus dosificaciones, da lugar a mezclas con resistencias equiparables y próximas a los 800 kPa, que superan a la alcanzada por el material sin ningún tipo de tratamiento, la cual es de 600 kPa.

El uso conjunto de los llenantes con FA, no representa incrementos significativos en la resistencia al corte y, particularmente en el caso del Ca(OH)<sub>2</sub>, usado en una concentración de 2.5% (que no corresponde a la óptima), se obtienen menores resistencias cuando se emplea este llenante conjuntamente con el FA, i se les compara con las obtenidas con el tratamiento del material con solo el llenante activo. En otras palabras, si lo que se persigue es únicamente aumentar la resistencia al corte del material, en principio, no sería necesaria la adición de FA al material tratado con el llenante. Finalmente, al igual que para el material PG, con una mirada rápida a los gráficos esfuerzo – deformación de la figura 156, también es posible observar que los módulos tangentes iniciales no se afectan significativamente con la adición de los diferentes agentes, ya sea empleados de manera independiente o conjuntamente.

## 4.8 Bibliografía.

- Campagnoli, S. X., & Puentes, D. S. (2016). Módulo resiliente de materiales estabilizados con asfalto espumado Foame. *Corasfaltos*, 11.
- Chao-hui, W., & Peng, W. (2011). Influence analysis of foamed asphalt mixture gradation based on mechanical properties. *International Conference on Electric Technology and Civil Engineering (ICETCE)*, 6016–6021. Lushan, China: 2011 International Conference on Electric Technology and Civil Engineering (ICETCE).
- Collings, D., Hughes, M., Grobler, J., Jenkins, K., Jooste, F., Long, F., & Thompson, H. (2009). *Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials* (Vol. 2).
- Ebels, L.-J., & Jenkins, K. J. (2007). Mix design of bitumen stabilised materials: Best practice and considerations for classification. *Proceedings of the 9th Conference on ...*, (September), 213–232.
- Halles, F. A., & Thenoux, G. Z. (2009). Degree of Influence of Active Fillers on Properties of Recycled Mixes with Foamed Asphalt. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2095(1), 127–135. <https://doi.org/10.3141/2095-13>
- Fu, P., Steven, B. D., Jones, D., & Harvey, J. T. (2009). Relating Laboratory Foamed Asphalt Mix Resilient Modulus Tests to Field Measurements. *Road Materials and Pavement Design*, 10(1), 155–185. <https://doi.org/10.1080/14680629.2009.9690186>
- Fu, P., Jones, D., & Harvey, J. T. (2010). Micromechanics of the Effects of Mixing Moisture on Foamed Asphalt Mix Properties. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(October), 985–995.
- invias. (2013). *Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras* (p. 930). p. 930.
- Jones, D., Fu, P., & Havey, J. (2008). Full-Depth Pavement Reclamation with Foamed Asphalt: Final Report. *University of California*, 34(5), 535–556. <https://doi.org/10.1007/s11116-007-9132-x>
- Karim, H. Abdul. (2015). *Foamed bitumen stabilised sandstone aggregates*.
- Kumar, S. (2004). Evaluation Asphalt-aggregate bond and stripping potential.
- Pardo, S. (2018). Ecuaciones constitutivas de módulo resiliente para materiales tratados con asfalto espumado.
- Wirtgen Group, & Wirtgen. (2012). *Wirtgen Cold Recycling Technology*. 367.

## Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones.

En este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones más relevantes, derivadas del estudio. En particular, se hacen consideraciones sobre los materiales marginales, la influencia de los llenantes activos en el proceso de modificación, así como sobre el efecto de las propiedades de las espumas de asfalto en el comportamiento de dichas mezclas. Se incluyen conclusiones acerca de las implicaciones de usar CaO o Ca(OH)<sub>2</sub> en el tratamiento en conjunto con asfalto espumado, con base en los resultados obtenidos de ITS, TSR y Módulo resiliente – Mr.

Finalmente, se presentan las recomendaciones a tener en cuenta en futuras investigaciones que permitan extender este estudio con el fin de comprender la respuesta de materiales marginales al proceso de modificación con llenantes activos y estabilizados posteriormente con asfalto espumado.

### 5.1 Conclusiones.

- Se evaluaron dos materiales no estándar, que se encuentran disponibles localmente en la sabana de Bogotá, identificados como PG y PF, en razón de su diferenciación en cuanto a la proporción de tamaños gruesos y finos. Aun cuando las granulometrías no se ajustan a los límites recomendados como ideales por la *Asphalt Academy* en la TG2, se encuentran dentro los límites de materiales susceptibles al tratamiento con FA. Los materiales presentan plasticidades (IP) de 12 y 20 respectivamente y diferencias respecto a la absorción (5,1% y 3,0%), pH del agregado (5 y 9,2) y cantidad de arena comprendida entre los tamices de 4,75 mm y 0,3 mm (5% y 11%), aspectos que se presumen tuvieron algún efecto en los resultados obtenidos.
- Los materiales pétreos se trataron con dos tipos de llenantes activos - Oxido de calcio (CaO) con una cal útil vial (CUV) del 90% e Hidróxido de Calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>), con una CUV del 79%. Las concentraciones óptimas fueron establecidas a partir de ensayos de punto de fijación de la cal “*the initial consumption of lime*” (ICL), y de la reducción del IP, buscando en este último caso, alcanzar un valor inferior a 10. De esta manera, para el material PG se encontraron concentraciones de 1,5% del CaO y del 2,8% Ca(OH)<sub>2</sub> y para el material PF estas fueron del 2,3% y 3,0%,

respectivamente. Con el CaO se requieren menores concentraciones para lograr la máxima modificación en el suelo, lo cual era de esperarse por la mayor CUV de este llenante.

- Para el estudio se usó un asfalto 80/100 (1/10mm) procedente de la refinería de Barrancabermeja, cuyas características generales cumplieron con las especificaciones INVIAS. Sobre este asfalto y los agregados bajo estudio, se realizó la prueba de adherencia mediante el ensayo Riedel-Weber, obteniéndose un desprendimiento de 3 para el material PG y de 9 para el material PF, siendo por lo tanto estos resultados indicativos de una mayor afinidad del material PF con el asfalto – posiblemente por tener un carácter básico ( $\text{pH} > 7$ ).
- La espuma de asfalto fue elaborada en planta de laboratorio WLB-10S a una temperatura del asfalto de  $140^{\circ}\text{C}$  y una concentración de agua - FWC de 3,5%, donde se obtuvieron una ER de 15 y una HL de 9 s, que satisfacen los valores mínimos recomendados por la *Asphalt Academy* en la TG2 de 10 y 6 s, respectivamente. Sin embargo, el valor de índice de espumado (FI) de 124 s es inferior al valor recomendado de 164 s, lo que puede influir en los resultados obtenidos.
- Siguiendo los procedimientos de mezcla, compactación y curado establecidos por la experiencia Sudafricana en el TG2, se fabricaron, con los materiales PG y PF, probetas para ensayos de ITS, Mr y resistencia al corte con las dosificaciones seleccionadas de los llenantes activos - 2,5% y 3,0% y concentraciones de FA de 2,4%, 2,6% y 2,8%.

### ***Evaluación de ITS y TSR de los materiales tratados***

- De manera general, el tratamiento de ambos materiales (PG o PF) con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  o con CaO, dio lugar a un incremento en la  $\text{ITS}_{\text{dry}}$ , siendo esta para el material PG, sin ningún tratamiento, de 210 kPa y para el material PF de 230 kPa. Con solo la adición de los llenantes activos se lograron  $\text{ITS}_{\text{dry}}$  próximos a 250 kPa. En cuanto a la  $\text{ITS}_{\text{wet}}$ , se debe anotar que fue nula en los dos materiales sin ningún tratamiento, cuyas probetas se desintegraron durante la inmersión, mientras que con el uso de los llenantes activos se alcanzaron  $\text{ITS}_{\text{wet}}$  del orden de 70 kPa, inferiores a los 100 kPa recomendados por la experiencia Sudafricana en el manual TG2. Es decir que con



la adición de los llenantes, se logró una disminución en la susceptibilidad al agua de los materiales, más sin embargo, los TSR no superaron en ningún caso el 50%.

- El uso de solo FA no resultó eficiente en el tratamiento de los materiales PG y PF. Aun cuando con las diferentes concentraciones de FA analizadas se obtienen  $ITS_{dry}$  equiparables a las obtenidas con el uso de solo llenante activo, en este caso no se presentó ninguna mejoría en la susceptibilidad al agua, desintegrándose también las probetas cuando fueron sometidas a inmersión.
- El tratamiento conjunto de llenantes y FA tiene un efecto significativo en la ITS tanto seca ( $ITS_{dry}$  del orden de 400 kPa) como húmeda ( $ITS_{wet}$  del orden de 200 kPa), en el material PG, logrando una TSR superior al 50% con el uso de 2,5% de CaO y 2,6% de FA. Aun cuando para el material PF, también el uso conjunto de llenantes y FA favorece la resistencia al agua del material ( $ITS_{wet}$  que superan ligeramente los 100 kPa y TSR entre 30% y 40%), su efecto no fue tan significativo como el observado en el material PG.
- Como se evidencio, tanto en el material PG como en el Material PF, los valores de resistencia seca ( $ITS_{dry}$ ) y sumergida ( $ITS_{wet}$ ), superaron en gran medida los mínimos recomendados por la experiencia sudafricana.
- Las diferentes concentraciones evaluadas de cada uno de los llenantes activos (2,5% y 3,0%) no dieron lugar a un cambio significativo en las ITS tanto en condición seca como en húmeda. Sin embargo, es posible establecer la concentración óptima de llenante del 2,5% para el CaO y del 3,0% para el  $Ca(OH)_2$ , corroborando los resultados de ICL con IP inferiores a 10, obtenidos en la caracterización.

### ***Módulos resilientes y ecuaciones constitutivas***

- Los materiales PF y PG, sin ningún tratamiento, fueron tomados como muestras de control con el objeto de evaluar el efecto sobre sus propiedades de rigidez de cada uno de los llenantes, en sus diferentes concentraciones, del FA en sus diferentes dosificaciones y de los llenantes conjuntamente con el FA. De esta manera, en el rango de esfuerzos desviadores y presiones de confinamiento evaluados, para el material PG, sin ningún tratamiento, se encontraron  $M_r$  comprendidos entre 70 MPa y 250 MPa y valores de K, para el modelo K- $\theta$  de K1 de 100 y K2 de 0,57 y para el modelo universal de K1 de 730, K2 de 0,30 y K3 de 0,84, mientras que para el

material PF los  $M_r$  se encontraron entre 70 MPa y 200 MPa y los valores de K, para el modelo K- $\theta$  de K1 de 80 y K2 de 0,53 y para el modelo universal de K1 igual a 1680, K2 de 0,15 y K3 de 0,31. Estos resultados muestran que el material PG presenta una mayor dependencia del estado de confinamiento frente al material PF, aun cuando sus rigideces son relativamente similares.

- Los tratamientos de los materiales PG y PF con los llenantes activos, en cualquiera de sus dosificaciones (2,5% o 3,0%), dieron lugar a un incremento en su rigidez, siendo este más significativo para el material PF con el uso de 3,0% de  $\text{Ca(OH)}_2$ , lográndose  $M_r$  de 270 MPa a 370 MPa, en el rango de esfuerzos analizados. Por otro lado, el menor incremento en el  $M_r$  se encontró con el uso de 2,5% de CaO en el material PG encontrándose este en un rango entre 80 MPa y 250 MPa.
- En ambos materiales PG y PF, el tratamiento con los llenantes activos dio lugar a una ligera disminución en la dependencia del estado de esfuerzos, siendo esta más significativa con el empleo del 3,0% de  $\text{Ca(OH)}_2$  en el material PF, donde el K2 del modelo K- $\theta$ , se encontró del orden de 0,22. Para el modelo universal se evidencia que a medida que se trata el material con los llenantes activos se mantiene la dependencia del  $M_r$  del estado de esfuerzos aun cuando esta disminuye con el incremento en el cortante octaédrico. Nuevamente esta variación es más significativa con el empleo de 3,0% de  $\text{Ca(OH)}_2$  en el material PF, donde se encontraron valores de K2 de 0,19 y de K3 de 0,12.
- El empleo de solo FA, en sus diferentes concentraciones, en el material PG, no dio lugar a cambios significativos en la rigidez del material, encontrándose  $M_r$  entre 60 MPa y 200 MPa. Sin embargo, en el material PF si se evidenció un incremento significativo en la rigidez con la incorporación y el aumento de las concentraciones FA, llegando alcanzar  $M_r$  entre 190 MPa y 460 MPa con 2.8% de FA. Este comportamiento presumiblemente se asocia con una mejor dispersión del FA en este agregado, que tiene una mayor afinidad con el asfalto, como se pudo establecer en el ensayo de adherencia de Riedel Weber y, a una mayor cantidad de arenas con tamaño inferior a 1.18mm, que puede incidir en el comportamiento mecánico de la mezcla.
- En ambos materiales, el tratamiento con FA generó una leve disminución de la dependencia del  $M_r$  del estado de esfuerzos, llegando a ser equiparables con los

tratamientos con solo los llenantes activos, encontrándose valores de  $K_2$  del orden de 0,5 para el material PG y de 0,3 para el material PF. Respecto al modelo universal, para el material PG se evidencia una disminución de la dependencia del  $M_r$  con el cortante octaédrico obteniéndose valores de  $K_3$  menores a 0,4, mientras que la dependencia del primer invariante de esfuerzos aumenta ligeramente ( $K_2$  del orden de 0,5) a diferencia con el material PF en el cual se presentó un leve aumento de la dependencia del  $M_r$  con el primer invariante de esfuerzos, mientras que esta dependencia se mantuvo con el cortante octaédrico ( $K_3$  del orden de 0,3).

- En los materiales PG y PF, al realizar el tratamiento en conjunto con los llenantes activos  $\text{CaO}$  o  $\text{Ca(OH)}_2$  y las diferentes concentraciones de FA, se generó un aumento en la rigidez con respecto a la obtenida con los tratamientos individuales. Se resalta que este aumento es más significativo cuando se emplearon las concentraciones óptimas de los llenantes activos (2,5% de  $\text{CaO}$  y 3,0% de  $\text{Ca(OH)}_2$ ). En el material PG, el uso de 2,5% de  $\text{CaO}$  y 2,6% de FA, resultó más efectivo en el incremento del  $M_r$  (170 MPa a 400 MPa), mientras que en el material PF, no es posible establecer un tipo de llenante más efectivo, debido a que los  $M_r$  obtenidos con cada uno de ellos y las diferentes concentraciones de FA son similares. Sin embargo, se resalta que en el material PF el tratamiento conjunto de llenante activo y FA dio lugar, para altos niveles de esfuerzos, a  $M_r$  del orden de 620 MPa, es decir, se logran alcanzar rigideces equiparables a las obtenidas en materiales más competentes como por ejemplo bases estabilizadas con cemento o reciclados que contienen RAP y que han sido reportados en la literatura.
- En cuanto al comportamiento del  $M_r$  con el primer invariante de esfuerzos (modelo  $K-\theta$ ), en general, a medida que se tratan conjuntamente con los llenantes activos y el FA los materiales PG y PF, se disminuye la dependencia del  $M_r$  con el estado de esfuerzos, con  $K_2$  comprendidos entre 0,25 y 0,35 en el material PG y entre 0,2 y 0,25 en el material PF.
- Tanto en el material PG como el material PF, usando el modelo universal, se encontró para los tratamientos conjuntos de llenantes activos y FA, un aumento en la dependencia del  $M_r$  con el cortante octaédrico y una disminución con el primer invariante de esfuerzos. Los valores de  $K_3$  se encontraron entre 0,9 y 1,3 para el material PG y entre 0,6 y 1,0 para el material PF, mientras que  $K_2$ , en la mayoría de

los casos, fue inferior a 0,2 e incluso se tienen valores de cero, lo que es indicativo de que no se tienen dependencia del Mr con este parámetro.

- El tratamiento en conjunto de FA con el llenante activo  $\text{Ca(OH)}_2$ , en ambas concentraciones (2,5% y 3,0%), solo generó un leve beneficio en la rigidez ya ganada con el tratamiento con solo  $\text{Ca(OH)}_2$ , suceso contrario a lo que se evidenció con el tratamiento con  $\text{CaO}$ , con el que se obtuvo un leve incremento en la rigidez y aun aumento considerable de esta con el tratamiento en conjunto con FA. Se presume que este comportamiento se debe a que el  $\text{CaO}$  presenta una mayor afectación en las propiedades de la mezcla, que se da especialmente durante el proceso de curado con la interacción del llenante con el agua de mezclado y de compactación y con el asfalto dentro de la masilla. Como se indicó, autores como Mathaniya (Mathaniya, 2010), encontraron que durante el proceso de curado el llenante activo acelera la expulsión de agua y mejora la adherencia del agregado con el asfalto, produciéndose un endurecimiento de la masilla y disminuyéndose el tiempo de curado. Aun cuando, inicialmente se evidencia que el  $\text{CaO}$  aporta mejores interacciones con el FA durante el proceso de curado, es indispensable continuar con la investigación de estas interacciones.
- En general en los materiales PG y PF con todos los tratamientos, excluyendo el uso de solo FA, el comportamiento del Mr está mejor representado por el modelo universal donde los  $R^2$  fueron superiores a 0,85. En las mezclas con el tratamiento con solo FA, el modelo  $K-\theta$  corresponde al de mayor ajuste, con  $R^2$  superiores a 0,8.
- Se resalta que en las mezclas evaluadas se observó un comportamiento de endurecimiento con el incremento en el cortante octaédrico, en todo el rango de esfuerzos analizados, es decir, se encontró un valor de  $k_3$  positivo en el modelo universal. La naturaleza positiva de esta constante experimental contrasta con la mayoría de valores reportados como negativos para materiales granulares. Sin embargo, se considera que las ecuaciones constitutivas desarrolladas en este estudio, independientemente del número limitado de muestras, sirven de base para estimar órdenes de magnitud del Mr para diferentes estados de esfuerzos y tipos de tratamiento.

### **Resistencia al corte.**

- En los materiales PG y PF, el uso en conjunto de llenantes activos y FA no es efectivo en el incremento de la resistencia al corte. Es decir, con el empleo de solo los llenantes activos, bien sea CaO o Ca(OH)<sub>2</sub>, se obtienen resistencias similares a las logradas con los tratamientos en conjunto que son del orden de 600 kPa para el material PG y de 800 kPa para el material PF, concluyendo que si lo que se persigue es únicamente aumentar la resistencia al corte del material, en principio, no sería necesaria la adición de FA.

Finalmente, de acuerdo con lo observado en este estudio, se recomienda ampliamente el uso de CaO para el pretratamiento de materiales no estándar que presentan índices de plasticidad superiores a 10, debido a que, frente al Ca(OH)<sub>2</sub>, se requiere una menor concentración para lograr en esencia un mejoramiento similar en la resistencia a la acción del agua y, mezclado conjuntamente con el FA, lograr un incremento importante en la rigidez frente a la del material tratado únicamente con el llenante activo.

### **5.2 Recomendaciones.**

- Aun cuando para el desarrollo del presente estudio se trabajó con un asfalto de penetración 80/100 (1/10mm), es recomendable darle continuidad evaluando, para los mismos materiales pétreos, el efecto de otro tipo de asfalto, como puede ser uno de penetración 60/70 (1/10mm), el cual ha correspondido al que presenta mejores características de espumado, de acuerdo con las experiencias realizadas en los laboratorios de Suelos y Pavimentos de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Adicionalmente, incorporar en la evaluación de las características de la espuma las curvas de colapso y el índice de espumado - FI, determinado a partir de ellas.
- En la especificación Argentina – IRAM 1628, se recomienda el uso del ensayo de cal útil vial para establecer la concentración de cal efectiva, que está normalizada en un mínimo del 65% para los procesos de estabilización de suelos. Aun cuando en este estudio, las cales usadas cumplieron con este requerimiento, se recomienda incluirlo en las especificaciones de las agencias viales del país, como son el Instituto Nacional de Vías y el IDU.

- Para futuros estudios, se recomienda medir la temperatura de los agregados antes de incorporar el asfalto espumado. Esto puede resultar de especial importancia cuando se trabaja con el CaO y tener efecto en los comportamientos observados del Mr.
- Resulta de vital importancia separar los agregados por tamaño para construir y mantener una misma distribución granulométrica en todas las muestras de ensayo, de tal forma de que sean comparables y así disminuir las posibles variaciones en los resultados, debidas a este factor.
- La compactación vibratoria de las probetas de 100mm de diámetro y 200mm de altura debe realizarse asegurando siempre la densidad seca máxima del proctor modificado. Lo anterior se realiza verificando el cumplimiento de la altura por capa, por lo cual el tiempo de compactación cambiará y no será constante.
- Aun cuando en este estudio se realizó un ajuste granulométrico para mantener el porcentaje de grava y trabajar con la fracción de agregado con tamaño menor a 19 mm y así poder elaborar las probetas de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura, se recomienda para futuros estudios, trabajar con probetas de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, para no tener que hacer este ajuste y cumplir con la relación entre el diámetro de la probeta y el tamaño máximo del agregado de 3 a 1.
- Se considera importante realizar investigaciones sobre el proceso de curado, de tal forma que este sea aplicable a diferentes condiciones ambientales que se presentan en Colombia, es decir, que los procesos de laboratorio se encuentren acordes con las condiciones que se darán en el campo para este tipo de mezclas.
- Se considera necesario revisar el criterio de resistencia conservada -TSR, teniendo en cuenta que en este estudio las resistencias en seco ( $ITS_{dry}$ ) superaron en gran medida los valores mínimos recomendados y, aun cuando se evidenció una mejoría en las resistencias después de inmersión en agua, superando el mínimo recomendado por la experiencia, esta no resultó suficiente para compensar el incremento logrado en seco y así alcanzar la TSR recomendada de mínimo el 50%.
- A un cuando en el presente estudio se observó una mejoría considerable en la rigidez con la incorporación a los materiales pétreos de los llenantes y el FA, se considera que es indispensable analizar este comportamiento en condiciones críticas, que se pueden lograr después del proceso de inmersión en agua.


- Se sugiere analizar la importancia de la adherencia en los materiales semi-ligados, como son los analizados en este estudio, así como evaluar el efecto de la composición química y mineralógica de los agregados sobre el comportamiento mecánico de los mismos.
- Se recomienda estudiar si el comportamiento mecánico de las mezclas de BSM, correlaciona con el contenido de material que pasa el tamiz de 1,18mm, más que con el contenido de finos, como lo indica Chao y Peng, (Chao y Peng , 2011).
- Finalmente, futuras investigaciones pueden abarcar el tratamiento con CaO, Ca(OH)<sub>2</sub> y FA de otros tipos de materiales no estándar, para así establecer, en la medida de lo posible, correlaciones del Mr, específicamente de las constantes experimentales de los modelos constitutivos (valores de K) con las propiedades índice y otras características de los materiales, que sirvan de base para incorporar los análisis mecanicistas en el diseño de pavimentos de vías de bajos volúmenes de tránsito donde los recursos para la ejecución de ensayos de Mr son bastante limitados.

## **Anexos**



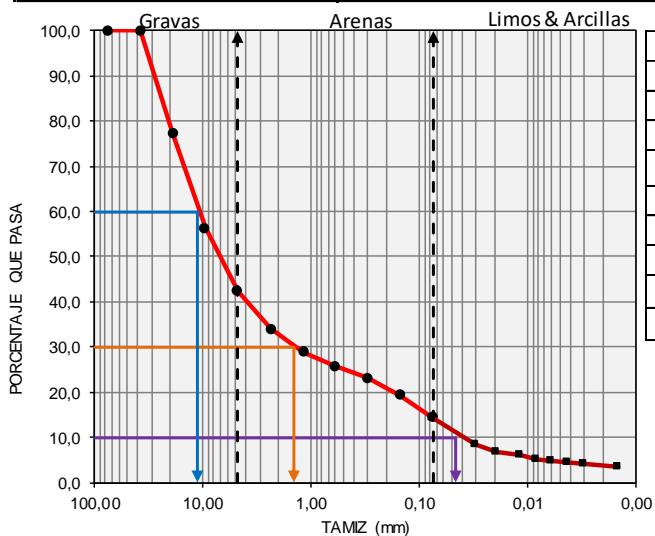
## Anexo 1 Clasificación de los agregados.

### Clasificación SUCS, suelos PG.

	<b>CLASIFICACION DE SUELOS</b>	
	Unified Soil Classification System (USCS) I.N.V. E – 181	

<b>Identificación (descripción):</b>	Material granular PG		
<b>Procedencia (localización):</b>	Mondoñedo-Mosquera-cundinamarca-Colombia.	<b>Fecha:</b>	10/07/2017


GRADACIÓN POR TAMIZADO							Coeficientes de uniformidad y curvatura	
P1=	7395,0	P2=	6353					
Tamiz mm	Tamiz "	Peso Retenido	% Retenido	% Pasa	Retenido Acumula	% Retenido Parcial		
75,00	3"	0	0,0	100,0	0,0	0,0	Pasa tamiz # 4 (4,75 mm)	<b>42,4 %</b>
37,50	1 1/2"	0	0,0	100,0	0,0	0,0	Pasa tamiz # 200 (0,075 mm)	<b>14,4 %</b>
19,00	3/4"	1.688,6	22,8	77,2	22,8	22,8	<b>D60</b>	11,183 mm
9,50	3/8"	1.542,7	20,9	56,3	43,7	20,9	<b>D30</b>	1,451 mm
4,75	No. 4	1.028,3	13,9	42,4	57,6	13,9	<b>D10</b>	0,046 mm
2,36	No. 8	625,8	8,5	33,9	66,1	8,5	Coeficiente de uniformidad (Cu)	
1,18	No. 16	378,0	5,1	28,8	71,2	5,1	$Cu = \frac{D60}{D10} = 243,6$	
0,600	No. 30	229,8	3,1	25,7	74,3	3,1	Coeficiente de curvatura (Cc)	
0,300	No. 50	189,1	2,6	23,2	76,8	2,6	$Cc = \frac{D30^2}{D60 * D10} = 4,10$	
0,150	No. 100	282,6	3,8	19,3	80,7	3,8	Cu > 6 (Arena) Cu > 4 (Grava)	
0,075	No. 200	368,7	5,0	14,4	85,6	5,0	3 > Cc > 1	
Fondo	P-200	18,8	0,3	14,1	86	0,3		
Lavado pasa N°200		1042,0	14,1	0,0	100	14,1		
Total		6352,4	% Perdida material		0,009			



GRADACION POR HIDROMETRIA	
Tamaño (mm)	% Pasa
0,031	8,5
0,020	6,7
0,012	6,0
0,008	5,3
0,006	4,9
0,004	4,5
0,003	4,2
0,001	3,3

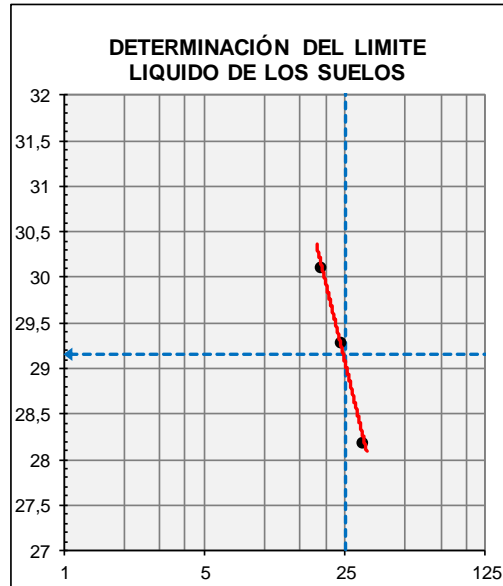
Presencia de contenido de materia orgánica:	no
Suelos muy orgánicos:	no

## Clasificación SUCS, suelos PG.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>CLASIFICACION DE SUELOS</b>		
	Unified Soil Classification System (USCS) I.N.V. E – 181		

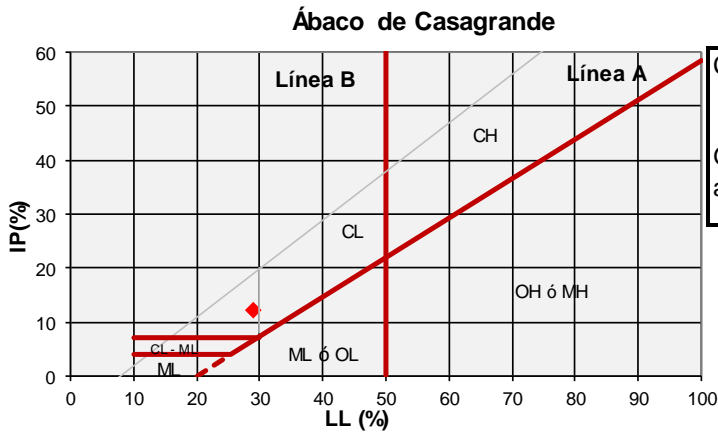
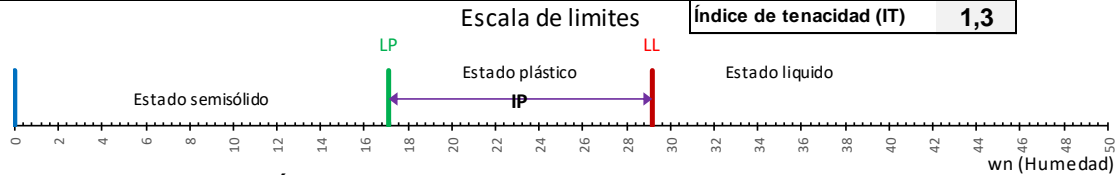
Identificación (descripción):	Material granular PG		
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-cundinamarca-Colombia.	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	10/07/2017

LIMITE LIQUIDO			
No. Recipiente	59	120	70
# Golpes	19	24	31
M Recipiente (0,01g)	11,25	7,61	11,21
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	19,63	14,85	18,03
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	17,69	13,21	16,53
M agua (0,01g)	1,94	1,64	1,50
M material seco (0,01g)	6,44	5,6	5,32
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>30,12</b>	<b>29,29</b>	<b>28,20</b>



LIMITE PLÁSTICO		
No. Recipiente	A4	119
M Recipiente (0,01g)	10,68	7,09
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	16,92	13,88
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	16	12,9
M agua (0,01g)	0,92	0,98
M material seco (0,01g)	5,32	5,81
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>17,29</b>	<b>16,87</b>

Humedad natural (Wn) %	<b>3,4</b>		
Limite liquido (LL)	<b>29,1</b>	Limite Plástico (LP)	<b>17,1</b>
Índice de plasticidad (IP)	<b>12,1</b>	Índice de fluidez (IF)	<b>9,1</b>
Índice de consistencia (IC)	<b>2,13</b>	Índice de liquidez (IL)	<b>-1,1</b>
		Índice de tenacidad (IT)	<b>1,3</b>



Clasificación:  
**GC**  
Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.

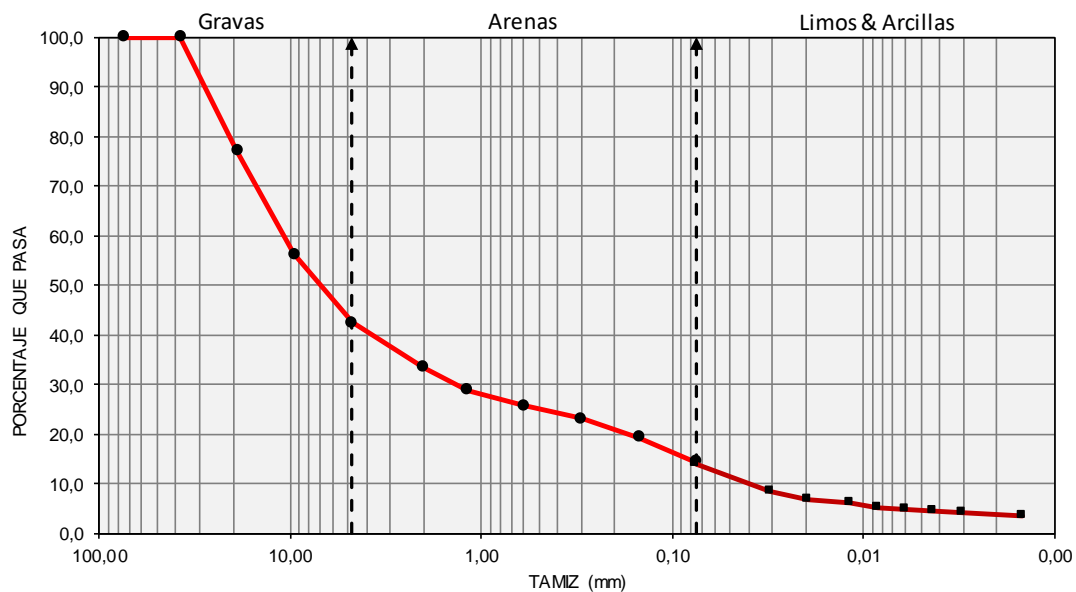
## Clasificación AASHTO, suelos PG.

	<b>CLASIFICACION DE SUELOS</b>	
	The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) I.N.V. E – 180	

<b>Identificación (descripción):</b>	Material granular PG		
<b>Procedencia (localización):</b>	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	<b>Fecha:</b>	20/06/2017

GRADACIÓN POR TAMIZADO						
P1=	7395,0	P2=		6353		
Tamiz mm	Tamiz "	Peso Retenido	% Retenido	% Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial
75,00	3"	0	0,0	100,0	0,0	0,0
37,50	1 1/2"	0	0,0	100,0	0,0	0,0
19,00	3/4"	1.688,6	22,8	77,2	22,8	22,8
9,50	3/8"	1.542,7	20,9	56,3	43,7	20,9
4,75	No. 4	1.028,3	13,9	42,4	57,6	13,9
2,00	No. 10	665,8	9,0	33,4	66,6	9,0
1,18	No. 16	338,0	4,6	28,8	71,2	4,6
0,600	No. 30	229,8	3,1	25,7	74,3	3,1
0,300	No. 40	189,1	2,6	23,2	76,8	2,6
0,150	No. 100	282,6	3,8	19,3	80,7	3,8
0,075	No. 200	368,7	5,0	14,4	85,6	5,0
Fondo	P-200	18,8	0,3	14,1	86	0,3
Lavado pasa N°200		1042,0	14,1	0,0	100	14,1
<b>Total</b>		<b>6352,4</b>		<b>% Perdida material</b>		<b>0,009</b>

GRADACION POR HIDROMETRIA	
Tamaño (mm)	% Pasa
0,031	8,5
0,020	6,7
0,012	6,0
0,008	5,3
0,006	4,9
0,004	4,5
0,003	4,2
0,001	3,3

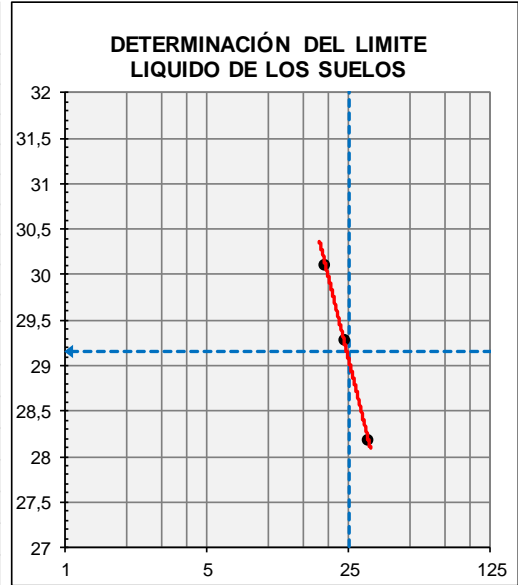


## Clasificación AASHTO, suelos PG.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>CLASIFICACION DE SUELOS</b>	
	The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) I.N.V. E – 180	

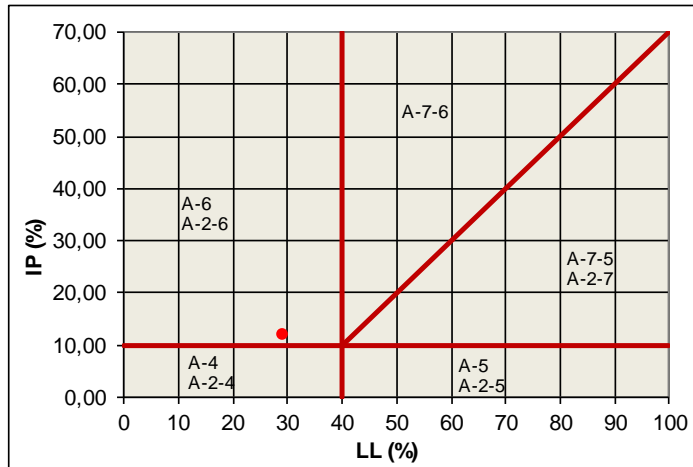
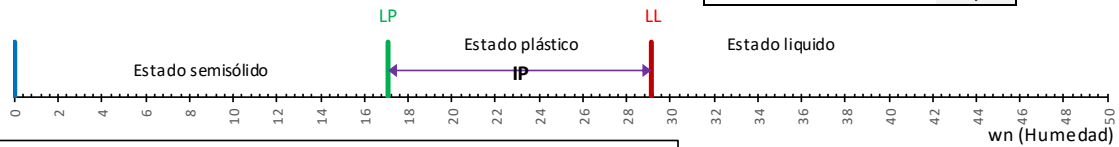
<b>Identificación (descripción):</b>	Material granular PG		
<b>Procedencia (localización):</b>	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca Colombia.	<b>Método:</b>	<b>A</b>
		<b>Fecha:</b>	20/06/2017

LIMITE LIQUIDO			
No. Recipiente	59	120	70
# Golpes	19	24	31
M Recipiente (0,01g)	11,25	7,61	11,21
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	19,63	14,85	18,03
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	17,69	13,21	16,53
M agua (0,01g)	1,94	1,64	1,50
M material seco (0,01g)	6,44	5,6	5,32
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>30,12</b>	<b>29,29</b>	<b>28,20</b>



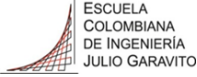
LIMITE PLÁSTICO		
No. Recipiente	A4	119
M Recipiente (0,01g)	10,68	7,09
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	16,92	13,88
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	16	12,9
M agua (0,01g)	0,92	0,98
M material seco (0,01g)	5,32	5,81
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>17,29</b>	<b>16,87</b>

<b>Humedad natural (Wn) %</b>	<b>3,4</b>		
<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>29,1</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>17,1</b>
		<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>12,1</b>
<b>Índice de consistencia (IC)</b>	<b>2,13</b>	<b>Índice de liquidez (IL)</b>	<b>-1,1</b>
		<b>Índice de fluidez (IF)</b>	<b>9,1</b>
		<b>Índice de tenacidad (IT)</b>	<b>1,3</b>



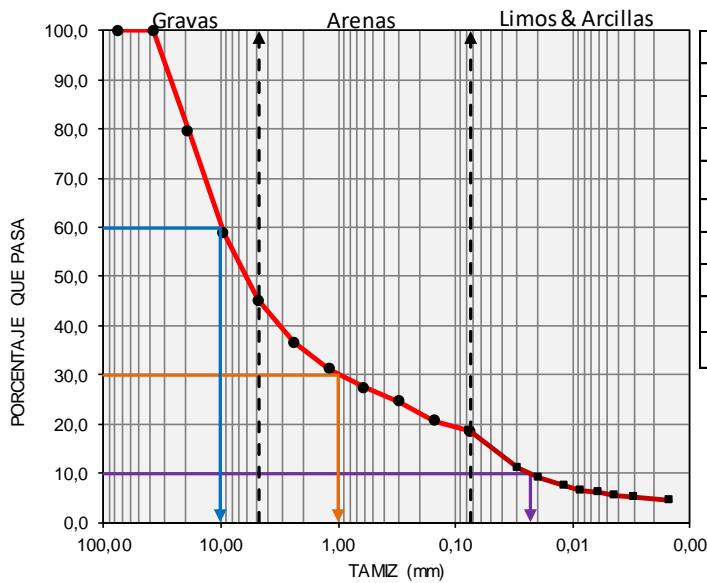
<b>Clasificación:</b>
<b>A-2-6.(0)</b>
Índice de grupo 0
Material granular
A-2-6 Gravas y arenas arcillosas limosas
Comportamiento de Regular a Deficiente

## Clasificación SUCS, suelos PF.

	<b>CLASIFICACION DE SUELOS</b>	
	Unified Soil Classification System (USCS) I.N.V. E – 181	

<b>Identificación (descripción):</b>	Material granular PF		
<b>Procedencia (localización):</b>	Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia	<b>Fecha:</b>	20/06/2017


GRADACIÓN POR TAMIZADO							Coeficientes de uniformidad y curvatura	
P1=	5212,0	P2=		4256				
Tamiz mm	Tamiz "	Peso Retenido	% Retenido	% Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial		
75,00	3"	0	0,0	100,0	0,0	0,0	Pasa tamiz # 4 (4,75 mm)	<b>45,1 %</b>
37,50	1 1/2"	0	0,0	100,0	0,0	0,0	Pasa tamiz # 200 (0,075 mm)	<b>18,4 %</b>
19,00	3/4"	1.056,7	20,3	79,7	20,3	20,3	<b>D60</b> 10,016 mm <b>D30</b> 0,995 mm <b>D10</b> 0,023 mm	
9,50	3/8"	1.087,2	20,9	58,9	41,1	20,9		
4,75	No. 4	718,0	13,8	45,1	54,9	13,8		
2,36	No. 8	442,6	8,5	36,6	63,4	8,5	Coeficiente de uniformidad (Cu)	
1,18	No. 16	279,0	5,4	31,2	68,8	5,4	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad 437,1$	
0,600	No. 30	203,1	3,9	27,3	72,7	3,9	Coeficiente de curvatura (Cc)	
0,300	No. 50	143,3	2,7	24,6	75,4	2,7	$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}} \quad 4,31$	
0,150	No. 100	204,9	3,9	20,7	79,3	3,9	Cu>6 (Arena) Cu>4 (Grava)	
0,075	No. 200	115,9	2,2	18,4	81,6	2,2	3>Cc>1	
Fondo	P-200	5,0	0,1	18,3	82	0,1		
Lavado pasa N°200		956,0	18,3	0,0	100	18,3		
Total		4255,7	% Perdida material		0,007			



GRADACION POR HIDROMETRIA	
Tamaño (mm)	% Pasa
0,029	10,9
0,019	9,2
0,012	7,3
0,008	6,4
0,006	6,0
0,004	5,6
0,003	5,1
0,001	4,6

Presencia de contenido de materia orgánica:	no
Suelos muy orgánicos:	no

# Clasificación SUCS, suelos PF.

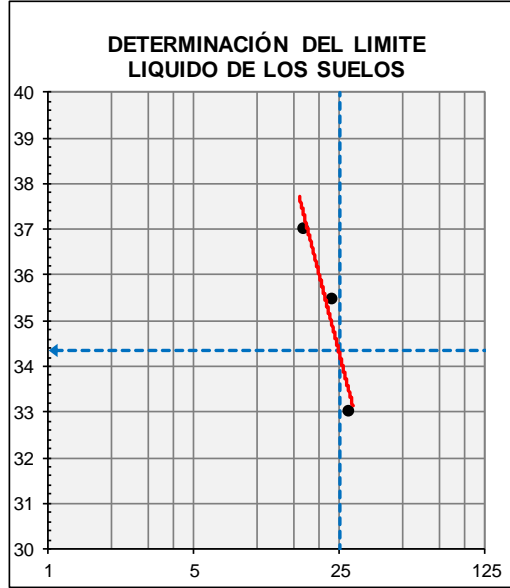
 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>CLASIFICACION DE SUELOS</b>			
	Unified Soil Classification System (USCS) I.N.V. E – 181			

<b>Identificación (descripción):</b>	Material granular PF		
<b>Procedencia (localización):</b>	Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia	<b>Método:</b>	<b>A</b>
		<b>Fecha:</b>	20/06/2017

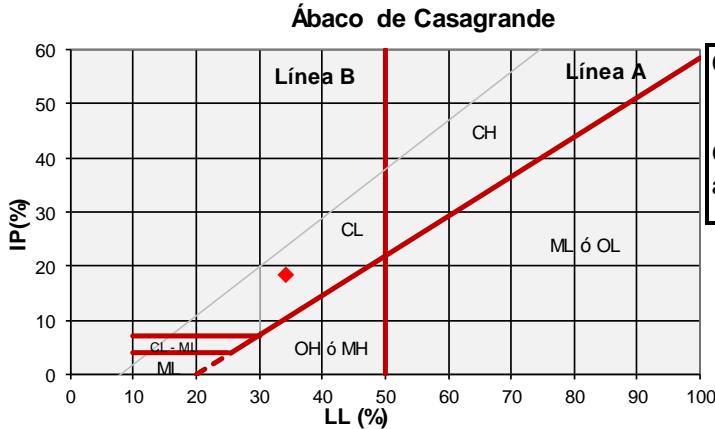
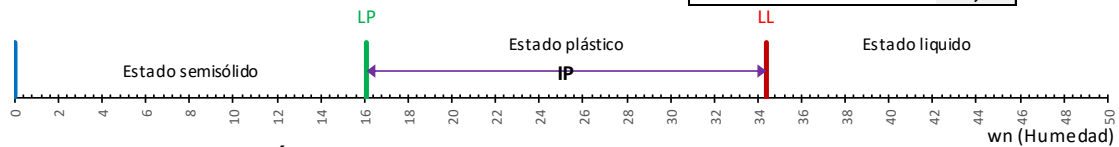
LIMITE LIQUIDO			
No. Recipiente	5	22	61
# Golpes	17	23	28
M Recipiente (0,01g)	4,92	4,39	4,17
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	11,47	8,93	11,7
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	9,7	7,74	9,83
M agua (0,01g)	1,77	1,19	1,87
M material seco (0,01g)	4,78	3,35	5,66
% Contenido de humedad (0,01%)	37,03	35,52	33,04

LIMITE PLÁSTICO		
No. Recipiente	22	12
M Recipiente (0,01g)	3,19	7,17
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	10,93	14,74
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	9,85	13,7
M agua (0,01g)	1,08	1,04
M material seco (0,01g)	6,66	6,53
% Contenido de humedad (0,01%)	16,22	15,93

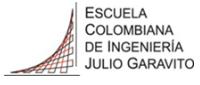


Humedad natural (Wn) %	4,4		
Limite liquido (LL)	34,4	Limite Plástico (LP)	16,1
Índice de consistencia (IC)	1,64	Índice de liquidez (IL)	-0,6
		Índice de plasticidad (IP)	18,3
		Índice de fluidez (IF)	18,4
		Índice de tenacidad (IT)	1,0



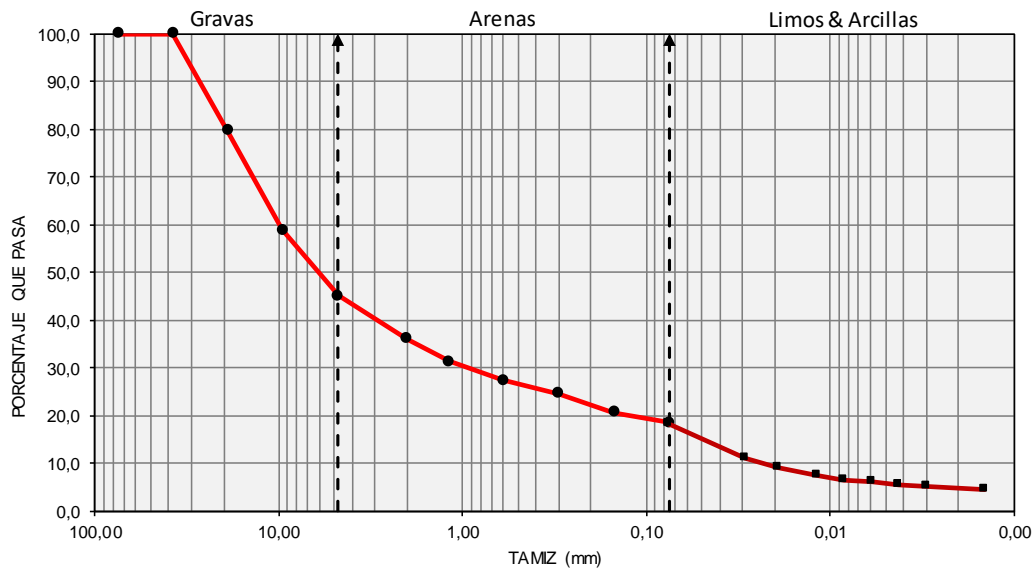
**Clasificación:**  
**GC**  
Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.

## Clasificación AASHTO, suelos PF.

	<b>CLASIFICACION DE SUELOS</b>		
	The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) I.N.V. E – 180		
<b>Identificación (descripción):</b>	Material granular material PF		
<b>Procedencia (localización):</b>	Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia	<b>Fecha:</b>	20/06/2017

GRADACIÓN POR TAMIZADO						
P1=	5212,0	P2=		4256		
Tamiz mm	Tamiz "	Peso Retenido	% Retenido	% Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial
75,00	3"	0	0,0	100,0	0,0	0,0
37,50	1 1/2"	0	0,0	100,0	0,0	0,0
19,00	3/4"	1.056,7	20,3	79,7	20,3	20,3
9,50	3/8"	1.087,2	20,9	58,9	41,1	20,9
4,75	No. 4	718,0	13,8	45,1	54,9	13,8
2,00	No. 10	472,6	9,1	36,0	64,0	9,1
1,18	No. 16	249,0	4,8	31,2	68,8	4,8
0,600	No. 30	203,1	3,9	27,3	72,7	3,9
0,300	No. 40	143,3	2,7	24,6	75,4	2,7
0,150	No. 100	204,9	3,9	20,7	79,3	3,9
0,075	No. 200	115,9	2,2	18,4	81,6	2,2
Fondo	P-200	5,0	0,1	18,3	82	0,1
Lavado pasa N°200		956,0	18,3	0,0	100	18,3
Total		4255,7		% Perdida material		0,007

GRADACION POR HIDROMETRIA	
Tamaño (mm)	% Pasa
0,029	10,9
0,019	9,2
0,012	7,3
0,008	6,4
0,006	6,0
0,004	5,6
0,003	5,1
0,001	4,6

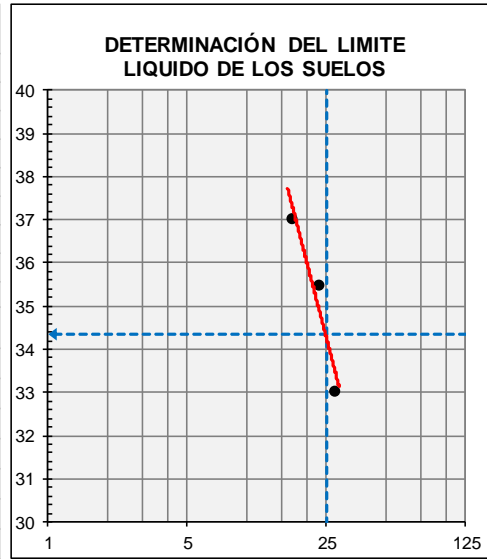


# Clasificación AASHTO, suelos PF.

	<b>CLASIFICACION DE SUELOS</b>		
	The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) I.N.V. E – 180		

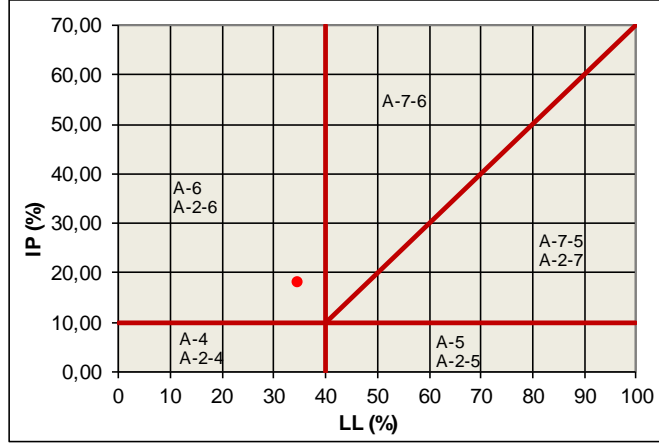
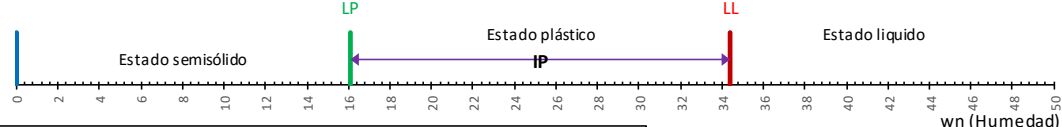
<b>Identificación (descripción):</b>	Material granular material PF		
<b>Procedencia (localización):</b>	Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia	<b>Método:</b>	<b>A</b>
		<b>Fecha:</b>	20/06/2017

LIMITE LIQUIDO			
<b>No. Recipiente</b>	5	22	61
<b># Golpes</b>	17	23	28
<b>M Recipiente (0,01g)</b>	4,92	4,39	4,17
<b>M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)</b>	11,47	8,93	11,7
<b>M Recipiente + suelo Seco (0,01g)</b>	9,7	7,74	9,83
<b>M agua (0,01g)</b>	1,77	1,19	1,87
<b>M material seco (0,01g)</b>	4,78	3,35	5,66
<b>% Contenido de humedad (0,01%)</b>	<b>37,03</b>	<b>35,52</b>	<b>33,04</b>



LIMITE PLÁSTICO			
<b>No. Recipiente</b>	22	12	
<b>M Recipiente (0,01g)</b>	3,19	7,17	
<b>M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)</b>	10,93	14,74	
<b>M Recipiente + suelo Seco (0,01g)</b>	9,85	13,7	
<b>M agua (0,01g)</b>	1,08	1,04	
<b>M material seco (0,01g)</b>	6,66	6,53	
<b>% Contenido de humedad (0,01%)</b>	<b>16,22</b>	<b>15,93</b>	

<b>Humedad natural (Wn) %</b>	<b>4,4</b>			
<b>Límite líquido (LL)</b>	<b>34,4</b>	<b>Límite Plástico (LP)</b>	<b>16,1</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b> <b>18,3</b>
<b>Índice de consistencia (IC)</b>	<b>1,64</b>	<b>Índice de liquidez (IL)</b>	<b>-0,6</b>	<b>Índice de fluidez (IF)</b> <b>18,4</b>
				<b>Índice de tenacidad (IT)</b> <b>1,0</b>



**Clasificación:**

**A-2-6.(0)**


Índice de grupo 0

Material granular  
A-2-6 Gravas y arenas arcillosas limosas  
Comportamiento de Regular a Deficiente

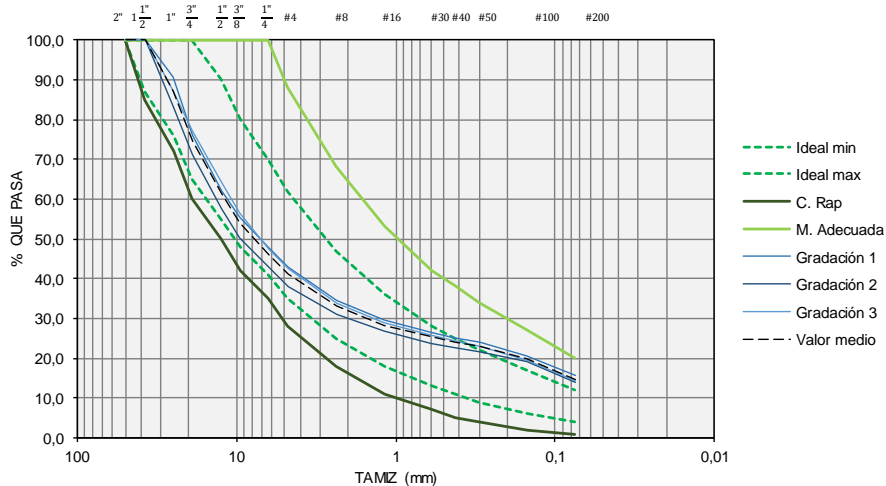


## Anexo 2 Caracterización de los agregados.

### Material PG.- Gradación

	<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS Y DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N° 200 EN LOS AGREGADOS PÉTREOS MEDIANTE LAVADO.</b> I.N.V E- 213 y I.N.V E-214		
Identificación (descripción):	<b>Material de Recebo - PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Fecha:	<b>6 de Junio de 2017</b>

Tendencia granulométrica.					Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials (TG2) Asphalt Academy 2009			
					Recomendada		M. Adecuada	C. Rap
Gradaciones		Gradación 1	Gradación 2	Gradación 3	Min	Max	Max	Min
50	2"	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
37,5	1 1/2"	100,0	100,0	100,0	87,0	100,0	100,0	85,0
25	1"	90,5	83,4	87,2	76,0	100,0	100,0	72,0
19	3/4"	75,8	71,0	77,2	65,0	100,0	100,0	60,0
12,5	1/2"	62,0	57,4	64,3	55,0	90,0	100,0	50,0
9,5	3/8"	55,4	50,1	56,3	48,0	80,0	100,0	42,0
6,3	1/4"	47,7	42,8	47,5	41,0	70,0	100,0	35,0
4,75	No. 4	42,8	37,9	42,4	35,0	62,0	88,0	28,0
2,36	No. 8	34,6	30,9	33,9	25,0	47,0	68,0	18,0
1,18	No. 16	29,6	26,7	28,8	18,0	36,0	53,0	11,0
0,6	No. 30	26,4	23,9	25,7	13,0	28,0	42,0	7,0
0,425	No. 40	25,2	22,8	24,4	11,0	25,0	38,0	5,0
0,3	No. 50	23,9	21,6	23,2	9,0	22,0	34,0	4,0
0,15	No. 100	20,6	19,2	19,3	6,0	17,0	27,0	2,0
0,075	No. 200	15,6	14,0	14,4	4,0	12,0	20,0	1,0
Fondo	P-200	0,0	0,0	0,0				



<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PG. - Hidrometria

	<b>DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS</b>	
	INV E-123-13	

Identificación (descripción):	<b>Material de Recebo - PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Fecha:	<b>6 de Junio de 2017</b>

### HIDROMETRIA

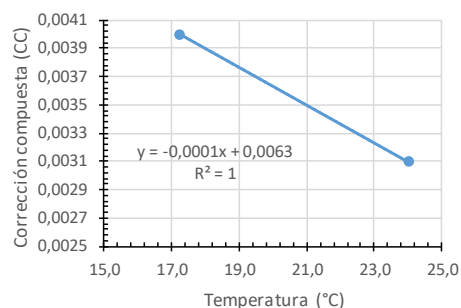
Datos de inicio	
Tipo de hidrómetro	151 H
pH solución de hexametafosfato de sodio = 8 a 9	8,55
Tipo de material utilizado en el ensayo (Pt)	P200
Msa utilizada en el ensayo secado al aire (Msa) (0,01g)	65,00

Factor de corrección por humedad higroscópica (Ch)	
Masa necesaria (0,01g)	<b>10-15.</b>
# de Recipiente	crisol3
M recipiente (0,1g)	141,5
M recipiente + Muestra Húmeda (0,1g)	151,1
M recipiente + Muestra Seca (0,1g)	151,0
Peso del Agua (0,1g)	0,1
Peso del Material Seco (0,1g)	9,5
Húmeda higroscópica W (0,1%)	1,1%
Factor de corrección por humedad higroscópica (Ch)	<b>0,9895</b>

\* Para este caso como se utiliza una muestra p200 el porcentaje que pasa es el 100%.

\*\* para la constante (L) esta es tomada de la ecuación indicada en el #7,3,3,1 en la nota 14 de la norma INV E-123-13 para un hidrómetro 151H

Corrección compuesta para la lectura del hidrómetro		
Rango temperaturas (0,1°C)	17,2	24,0
Lectura de la solución de hexametafosfato de sodio	1,004	1,0031
Corrección compuesta (Cc)	0,0040	0,0031



Porcentajes de suelo en suspensión inicial	
Masa seca al horno = (Msa)*(Ch)	64,32
Porcentaje que pasa tamiz de evaluación = (Pt)*	<b>14,65</b>
Masa muestra total (W)	<b>438,99</b>
Gravedad específica de las partículas del suelo, Gs (G)	2,65
Gravedad específica de la solución (G1)	1,000
Constante (L)**	365,85

Tiempo (min)	Lectura inicial, (g/cm3)	Temperatura, °C	Corrección compuesta	Lectura corregida (g/cm3)	Porcentajes de suelo en suspensión	Constante k	Profundidad efectiva L (mm)	Diámetro de las partículas de suelo (mm)
2	1,027	19	0,0038	1,023	8,50	0,0044	92	0,030
5	1,022	20	0,0036	1,018	6,72	0,0043	105	0,020
15	1,020	20	0,0036	1,016	5,99	0,0043	110	0,012
30	1,018	20	0,0036	1,014	5,26	0,0043	115	0,008
60	1,017	20	0,0036	1,013	4,89	0,0043	118	0,006
120	1,016	20	0,0036	1,012	4,53	0,0043	121	0,004
250	1,015	21	0,0035	1,012	4,21	0,0043	123	0,003
1140	1,013	18	0,0039	1,009	3,33	0,0044	129	0,001

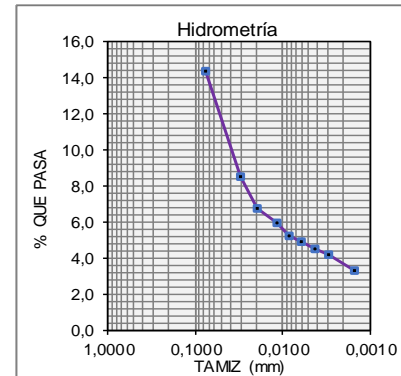
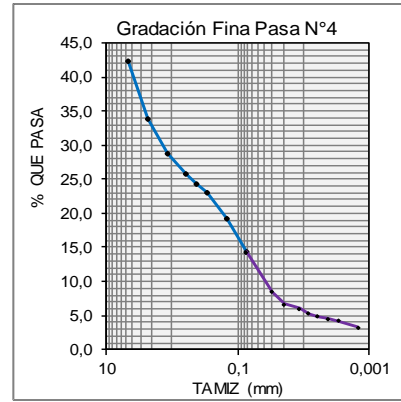
# Caracterización material PG. - Hidrometría

	<b>DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS</b>	
	INV E-123-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	<b>Material de Recebo - AA Ingeniería.</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	<b>Fecha:</b>	<b>6 de Junio de 2017</b>

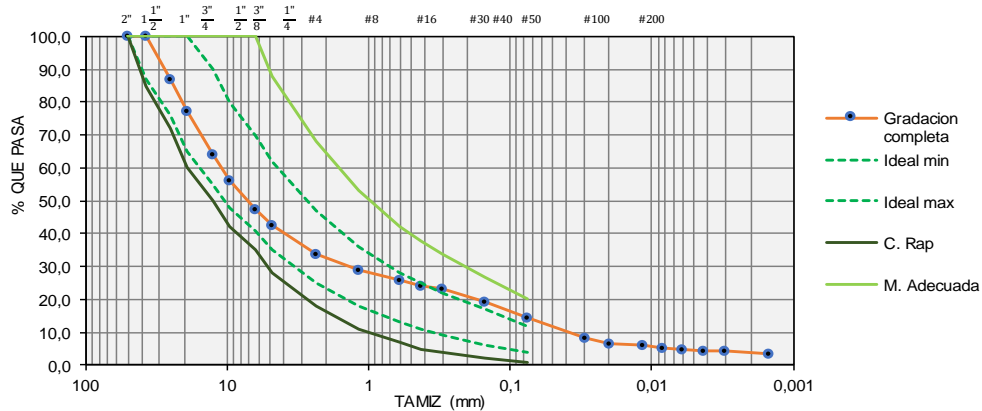
## HIDROMETRÍA

Granulometría completa				
Tipo		Tamizado	Hidrometría	Total
Tamaño		% que pasa	% que pasa	% que pasa
50	2"	100,0	-	100,0
37,5	1 1/2"	100,0	-	100,0
25	1"	87,2	-	87,2
19	3/4"	77,2	-	77,2
12,5	1/2"	64,3	-	64,3
9,5	3/8"	56,3	-	56,3
6,3	1/4"	47,5	-	47,5
4,75	No. 4	42,4	-	42,4
2,36	No. 8	33,9	-	33,9
1,18	No. 16	28,8	-	28,8
0,6	No. 30	25,7	-	25,7
0,425	No. 40	24,4	-	24,4
0,300	No. 50	23,2	-	23,2
0,150	No. 100	19,3	-	19,3
0,0750	No. 200	14,4	-	14,4
0,0298	-	-	8,502	8,50
0,0197	-	-	6,721	6,72
0,0116	-	-	5,989	5,99
0,0084	-	-	5,257	5,26
0,0060	-	-	4,892	4,89
0,0043	-	-	4,526	4,53
0,0030	-	-	4,208	4,21
0,0015	-	-	3,331	3,33



Nota 1: Toda el agua utilizada fue destilada o desmineralizada  
 Nota 2 se utilizo un aparato de dispersión mecánico de alta velocidad  
 Nota 3: el hidrómetro se calibro a una temperatura de 20°C

### Gradación completa



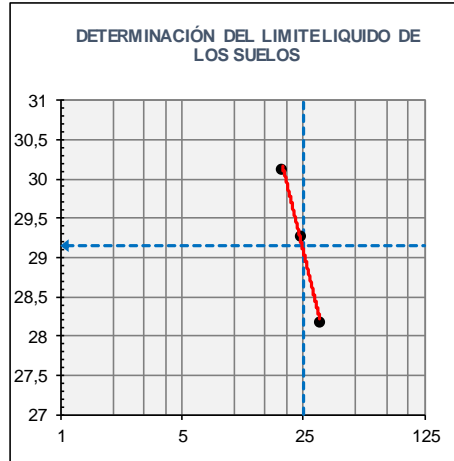
<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PG. - Limites

	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>	
	I.N.V. E-125 Y I.N.V. E-126	

Identificación (descripción):	Material de Recebo -Material PG		
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Método:	A
		Fecha:	7 de Junio de 2017

DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
N° Recipiente	59	120	70
Golpes	19	24	31
Peso tara	11,25	7,61	11,21
Peso tara +material húmedo	19,63	14,85	18,03
Peso tara +material seca	17,69	13,21	16,53
Peso del agua	1,94	1,64	1,50
Peso material seco	6,44	5,6	5,32
% de humedad	30,12	29,29	28,20



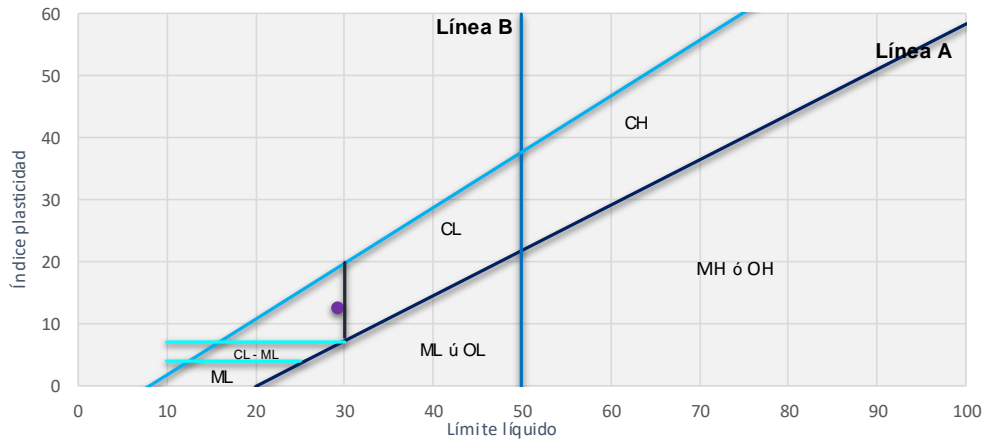
DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
N° Recipiente	A4	119
Peso tara	10,68	7,09
Peso tara +material húmedo	16,87	13,86
Peso tara +material seca	16	12,9
Peso del agua	0,87	0,96
Peso material seco	5,32	5,81
% de humedad	16,35	16,52

Humedad natural (Wn) %	4,4				
Límite líquido (LL)	29,1	Límite Plástico (LP)	16,4	Índice de plasticidad (IP)	12,7
Índice de consistencia (IC)	1,95	Índice de liquidez (IL)	-0,9	Índice de fluidez (IF)	9,1
				Índice de tenacidad (IT)	1,4

Escala de límites

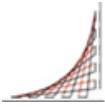


Abaco de Casagrande

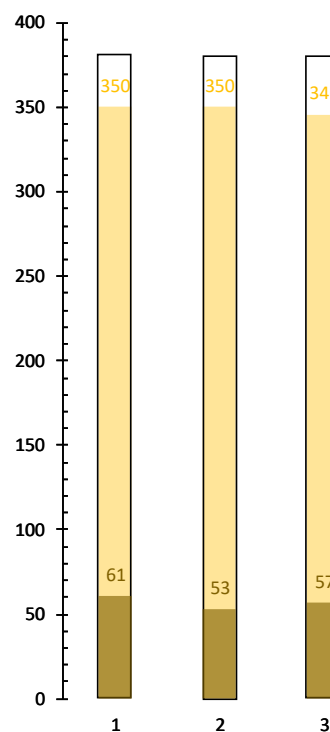


Proyecto:	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
Autor:	Leonardo Gutiérrez Tejedor	Directora:	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PG. – Equivalente de arena.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>EQUIBALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO.</b>		
	I.N.V E- 133		
<b>Identificación (descripción):</b>	<b>Material de Recebo - Material PG</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	<b>Fecha:</b>	<b>8 de Junio de 2017</b>

Probeta numero #	1	2	3
Lectura de la arcilla (mm)	350	350	346
Lectura de la Pesa (mm)	315	307	311
Altura de la pesa (mm)	254	254	254
Lectura de la arena (mm)	61	53	57
Equivalente de arena (%)	17	15	16
Promedio (%)	<b>16</b>		



Método: procedimiento, B norma invias de ensayo 133 de 2013.

Método de agitador mecánico se utilizo en la realización del ensayo.

Nota: La muestra se preparo con el material que pasa el tamiz # 4 y se removieron los finos adheridos al material retenido en el tamiz #4 y se junto al material que paso el tamiz #4.

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PG. – Partículas deleznales.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES EN LOS AGREGADOS.		
	I.N.V E- 211		

Identificación (descripción):	Material de Recebo - Material PG		
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha:	7 de Junio de 2017

### AGREGADO GRUESO

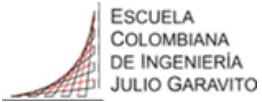
Tamaño de las partículas entre los tamices	M mínimo de la muestra (0,1g)	Granulometría Original (%)	#	Tara (0,1g)	M muestra de ensayo (0,1g)	Tamiz para remover residuos de terrones	M muestra retenida en el tamiz (0.1g)	% Terrones de arcilla y partículas deleznales en cada fracción	Ponderación
> 1 1/2" >37,5 mm	5000	0,00%	1	0	0	#4 4,75 mm	0	0,00%	0,000%
1 1/2" - 3/4" 35,5 - 19,0 mm	3000	24,15%	1	264,1	3416,3	#4 4,75 mm	3245,4	5,42%	0,013%
3/4" - 3/8" 19,0 - 9,5 mm	2000	20,50%	2	261	2590,1	#4 4,75 mm	2522,7	2,89%	0,006%
3/8" - #4" 9,5- 4,75 mm	1000	12,56%	101	280,8	1465,1	#8 2,36 mm	1379,4	7,24%	0,009%
<b>Promedio</b>									<b>0,01%</b>

### AGREGADO FINO

Tamaño de las partículas entre los tamices	M mínimo de la muestra (0,1g)	#	Tara (0,1g)	M muestra de ensayo (0,1g)	Tamiz para remover residuos de terrones	M muestra retenida en el tamiz (0.1g)	% Terrones de arcilla y partículas deleznales en cada fracción
#4 - #16 4,75mm - 1,18mm	25	25	118,6	270,8	#20 8,50 um	269,9	0,59%
<b>Promedio</b>							<b>0,59%</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PG. – Contenido de Humedad.

	<b>DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO -AGREGADO</b>		
	I.N.V E- 122		
<b>Identificación (descripción):</b>	<b>Material de Recebo - Material PG</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	<b>Fecha:</b>	<b>6 de Junio de 2017</b>

### CONTENIDO DE HUMEDAD

	Espécimen 1	Espécimen 2
# de Recipiente	Gris pequeño 1	Gris grande 2
M recipiente (0,1g)	281,0	376,2
M recipiente + Muestra Húmeda (0,1g)	7656,0	7984,0
M recipiente + Muestra Seca (0,1g)	7406,0	7738,0
Peso del Agua (0,1g)	250,0	246,0
Peso del Material Seco (0,1g)	7125,0	7361,8
Húmeda W (0,1%)	3,5%	3,3%

Nota 1: El método utilizados el método B con lectura de agua de 0,1%, descrito en la norma INVIAS 122 de 2013.

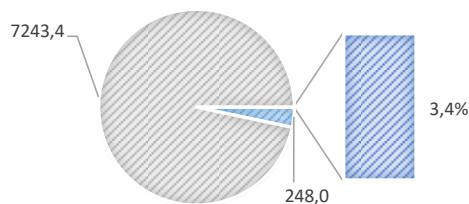
Nota 2: La masa mínima se tomo de acuerdo al examen visual del tamaño máximo del suelo, el tamaño máximo fue de 1 1/2"

Nota 3: No se descarto material durante el ensayo.

Nota 4: se utilizo una temperatura de secado de 110± 5° °c


## (%) HÚMEDA NATURAL

■ Agua (g) ■ Material (g) ■ W (%) Húmeda



<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PG. – Contenido de materia orgánica.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ORGÁNICO DE UN SUELO MEDIANTE EL ENSAYO DE PÉRDIDA POR IGNICIÓN  I.N.V E- 121		
	Identificación (descripción): <b>Material de Recebo - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Fecha:	<b>6 de Junio de 2017</b>

### CONTENIDO ORGANICO

	Espécimen #1
M Muestra secada a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ (0,01g)	10-40 g
TEMPERATURA ( $^\circ\text{C}$ )	$450 \pm 10^\circ$
TIEMPO (Horas)	6 horas
# de crisol.	# 1
M Crisol (0,01g)	395,80
M Crisol +suelo secado al horno antes de la ignición (0,01g)	431,70
M Crisol +suelo secado al horno después de la ignición (0,01g)	431,10
<b>% de Materia Orgánica (0,1%)</b>	<b>1,7%</b>



**Antes (Ignición.)**



**Después (Ignición.)**

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

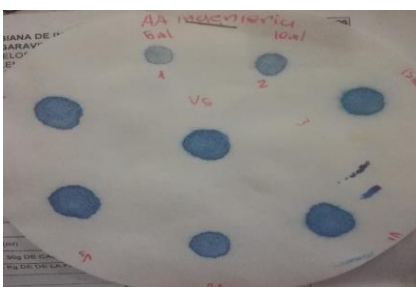
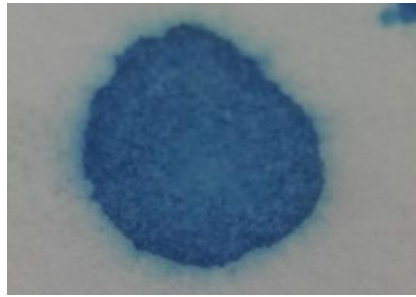


## Caracterización material PG. – Valor de azul de metileno

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>VALOR DE AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS</b>  I.N.V E- 235
---	---

<b>Identificación (descripción):</b>	<b>Material de Recebo - Material PG</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	<b>Fecha:</b>	<b>6 de Junio de 2017</b>

### VALOR DE AZUL DE METILENO MATERIAL PASA TAMIZ #200

		Especimen 1		
M de la muestra seca de ensayo (1g) a $110 \pm 5^\circ \text{C}$	30.0 $\pm$ 0.1 g			
Diámetro de la gota sobre el papel filtro.	8 a 12mm			
Vaso precipitado	500 $\pm$ 5 ml			
Velocidad agitar inicial (rpm)	600 $\pm$ 60 rpm			
Agitado inicial (min)	5 min			
Dosis añadida por mezcla	5 ml			
Velocidad agitar final (rpm)	400 $\pm$ 40 rpm			
Agitado final (min)	1 min			
Se mantenga la aureola	5 min			
<b>M1</b> de la muestra seca de ensayo (1g)	30			
<b>V1</b> Volumen total añadido de la solución (ml)	15			
<b>VA</b> valor de azul de metileno en (mg) de azul por gramo de material seco pasa tamiz #200	5			
<b>Resultado</b>			<b>Positivo: aureola en 5 min de 1 mm,</b>	

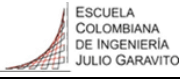
Nota1: No se utilizó caolinita debido a que se satisface la cantidad de finos para el ensayo tamiz #200.

Nota 2: Posteriormente de registrar la aureola inicial a los 5 min se siguió verificando con 4 aureolas cada min para confirmar el valor.

Nota 3: La solución se de azul de metileno de 10 mg/l se preparo de acuerdo al anexo b de la norma INVIAS de Ensayo # 235 del 2013.

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PG. – Proctor modificado

		<b>RELACIONES HUMEDAD - PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYOS MODIFICADO DE COMPACTACION)</b> INV E - 142 - 13				
Identificación (descripción):		Material de Recebo - AA Ingeniería.				
Procedencia (localización):		Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.			Fecha:	6 de Junio de 2017
CALCULO DE PESOS UNITARIOS (HUMEDO Y SECO)						
MUESTRA N°	1	2	3	4	5	
Masa del molde (Mm) (g)	6419	6419	6419	6419	6419	
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2126	2126	2126	2126	2126	
Mm+suelo húmedo (g)	10519	10849	11085	11105	10982	
Masa del suelo húmedo (g)	4100	4430	4666	4686	4563	
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1,929	2,084	2,195	2,204	2,146	
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,859	1,966	2,036	2,005	1,931	
DATOS DE INCREMENTOS						
Masa suelo húmedo (g)	5813	5801	5800	5801	5820	
Incremento (%)	0%	2%	4%	6%	8%	
Humedad asumida (%)	3,60%	5,60%	7,60%	9,60%	11,60%	
Agua adicionada (g)	0,00	111,99	223,95	335,98	449,44	
DATOS DE HUMEDAD						
Recipiente N°	1	2	3	5	300	
Masa del recipiente (Mr) (g)	109,1	118,0	116,3	118,5	119,8	
Mr+Peso suelo húmedo (g)	545,2	821,3	797,2	975,4	1546,2	
Mr+Peso suelo seco (g)	529,4	781,7	747,8	897,8	1403,1	
Masa Agua (g)	15,8	39,6	49,4	77,6	143,1	
Masa del suelo seco (g)	420,3	663,7	631,5	779,3	1283,3	
Masa del suelo húmedo (g)	436,1	703,3	680,9	856,9	1426,4	
Humedad de compactación (%)	3,8	6,0	7,8	10,0	11,2	
DATOS PARA SATURACION						
GS del suelo	2,575					
CALCULO DE HUMEDAD INICIAL						
# de Recipiente	#L19					
M recipiente (Mr) (g)	118,5					
Mr + Muestra Húmeda (g)	478,7					
Mr + Muestra Seca (g)	466,2					
Peso del Agua (g)	12,5					
Peso del Material Seco (g)	347,7					
Peso del Material húmedo (g)	360,2					
Húmeda inicial W (%)	3,60%					
DATOS DE CORRECCION HUMEDADES						
Recipiente N° material fino.	#1					
Recipiente N° material grueso.	#15					
Masa del recipiente material fino (g)	771					
Masa del recipiente material grueso (g)	685					
Masa Húmeda - fracción fina (Mmf).	35074					
Masa Húmeda - fracción Gruesa (Mmg).	9137					
Masa seca - fracción fina (Mdf).	33814					
Masa seca - fracción gruesa (Mdg).	8952					
Humedad fracción Fina (%).	3,81%					
Humedad fracción Grueso (%).	2,07%					
DATOS DE CORRECCION						
Porcentaje fracción fina (Pfe)(%)	79,1%					
Porcentaje fracción gruesa (Pfg)(%)	20,9%					
Gravedad específica Gruesos (Gm)	2,404					
Peso unitario seco fino (df) (kN/m <sup>3</sup> )	18,22	19,27	19,95	19,65	18,93	
HUMEDAD natural corregida (Cw) (%)	3,45%					
Humedad Corregida (Cw)	3,0	4,7	6,2	7,9	8,8	
Peso unitario seco corregido del material total (fe+fg) kn/m <sup>3</sup>	19,1	20,0	20,6	20,4	19,7	
DENSIDAD SECA CORREGIDA gr/cm <sup>3</sup>	1,951	2,044	2,103	2,077	2,014	
DENSIDAD SECA CORREGIDA lbf/pie <sup>3</sup>	121,8	127,6	131,3	129,6	125,7	
CURVA DE SATURACION (OPCIONAL)						
Muestra	1	2	3	4	5	
Saturación	12,33	10,01	8,64	9,24	10,74	
Densidad máxima (g/cm <sup>3</sup> ):	2,107		Humedad optima:		6,7	
Densidad máxima (lbf/pie <sup>3</sup> ):	131,5					

## Caracterización material PG. – Gs de los sobretamaños (Proctor).

	<b>DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO</b> INV E-223-13	

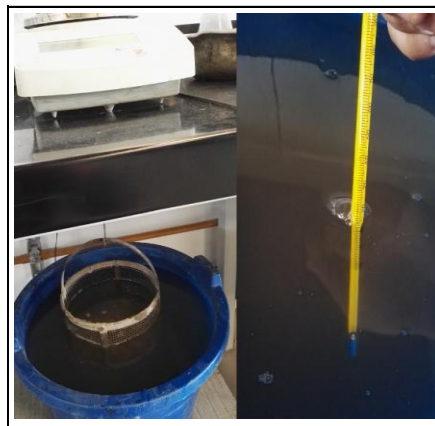
<b>Identificación (descripción):</b>	<b>Material de Recebo - Material PG</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	<b>Fecha:</b>	<b>6 de Junio de 2017</b>

Muestra.	
Tamaño máximo nominal	3/4"
Masa mínima de muestra de ensayo	2000g



Ensayo.	
Masa del platón, (g)	261
Masa al aire de la muestra seca al horno, (g) (A)	4269
Masa al aire de la muestra saturada y superficialmente seca, (g) (B)	4420
Masa aparente de la muestra saturada en agua, (g) (C)	2581

Cálculos densidad relativa.	
Densidad relativa (gravedad específica) seca al horno (SH)(Sd)	2,322
Densidad relativa (gravedad específica) SSS(Ss)	2,404
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) (sa)	2,530



Cálculos densidad.	
Densidad en condición seca al horno (SH) kg/m3	2316
Densidad en condición saturada y superficialmente seca (SSS) kg/m3	2398
Densidad aparente, kg/m3	2523
Absorción, % (A)	3,5


Verificación					
<b>Ss</b>	2,404	<b>Sa</b>	2,530	<b>A</b>	3,5
				<b>A</b>	3,5

**Nota 1:** Se removieron las partículas menores a 4,75mm (No. 4) mediante tamizado en seco y lavado.

**Nota 2:** No se retuvo mas del 15% en el tamiz de 1 1/2

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PG. – Gs del material pasa tamiz 0.075mm.

	<b>DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS DE LOS SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL, EMPLEANDO UN PICNÓMETRO CON AGUA</b>		
	INV E-128-13		
<b>Identificación (descripción):</b>	<b>Material de Recebo - Material PG</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	<b>Fecha:</b>	6 de Junio de 2017

Calibración picnómetro					
N° Ensayo	1	2	3	4	5
N <sub>o</sub> picnómetro	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Masa del picnómetro (Mp) (0,01g)	150,10	150,12	150,13	150,13	150,12
<b>Masa promedio del picnómetro seco (Mpr)</b>	150,12				
<b>Desviación estándar &lt; 0,02g</b>	0,01				
Mp+agua a temperatura de calibración (Mpw,c) (0,01g)	648,51	648,50	648,53	648,53	648,51
Temperatura de calibración (0,1 C°)	19,1	19,2	19,1	19,2	19,1
<b>Promedio temperatura de calibración (0,1 °C)</b>	19,0				
<b>Densidad del agua a la temperatura de calibración, (g/cm<sup>3</sup>)</b>	0,99841				
Volumen calibrado del picnómetro (cm <sup>3</sup> )	499,2	499,2	499,2	499,2	499,2
<b>Promedio Volumen de calibración (Vp) (cm<sup>3</sup>)</b>	499,2				
<b>Desviación estándar &lt; 0,05 cm<sup>3</sup></b>	0,01				

Ensayo	
Picnómetro + agua + suelo (M <sub>pw,s,t</sub> ) (0,01g)	679,30
Temperatura de ensayo (T <sub>t</sub> ) (0,1 °C)	21,0
Masa del picnómetro lleno de agua a temperatura de ensayo (M <sub>pw,t</sub> ) = Mp(+0,06g)	648,32

Masa el suelo seco	
Masa del recipiente (M <sub>r</sub> ) (0,01g)	108,52
M <sub>r</sub> + suelo seco (M <sub>rs</sub> ) (0,01g)	158,41
Masa suelo seco (M <sub>s</sub> )	49,89

Resultado	
Gravedad específica a temperatura de ensayo (G <sub>t</sub> ) (M <sub>s</sub> /(M <sub>pw,t</sub> - (M <sub>pw,s,t</sub> -M <sub>s</sub> )) g/cm <sup>3</sup> )	2,639
Factor de corrección basado en temperatura del agua (k)	0,99979
Peso específico del suelo a G <sub>s20°C</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	2,638

Nota 1: Agua desairada por bomba de vacío # 6,2,2 invias e 128-13

Nota 2: Para el ensayo se utilizo el método A, como lo indica la norma INV E-128-07

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PG. – Gs del material arenoso.

	<b>DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</b> <b>INV E-222-13</b>	
---	---	--

Identificación (descripción):	<b>Material de Recebo - Material PG</b>	
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Fecha: <b>6 de Junio de 2017</b>

Calibración picnómetro	
Masa del picnómetro + agua destilada (0,1g) (B)	648,3
Temperatura de calibración = 23± 2°C (0,1 °C)	21,0

Ensayo	
Masa del picnómetro + agua + suelo (0,1g) (C.)	938,7
Temperatura de ensayo = 23± 2°C (0,1 °C)	21,0
Masa de la muestra saturada y superficialmente seca (0,1g) (S)	500,1
Masa al aire de la muestra seca al horno (0,1g) (A)	468,9



Densidad relativa	
Densidad relativa (gravedad específica) seca al horno (SH) (Sd)	2,236
Densidad relativa (gravedad específica) saturada superficialmente seca (SSS) (Ss)	2,385
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) (Sa)	2,627



Densidad	
Densidad en condición seca al horno (SH) (kg/m <sup>3</sup> )	2230
Densidad en condición saturada y superficialmente seca (SSS) (kg/m <sup>3</sup> )	2379
Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	2620
Absorción, (0,1%) (A)	6,7

Verificación					
Ss	2,385	Sa	2,627	A	6,7
				A	6,7

Nota 1: Secado realizado con secador de acuerdo a la norma INV E-222-13

Nota 2: Se realizo prueba del cono para verificar la condición saturada y superficialmente seca. INV E-222-13

Nota 3: Se realizo el procedimiento gravimétrico INV E 222-13

Nota 4: Se utilizo agua desairada por bomba de vacío # 6,2,2 INV E 222-13

Nota 5: Para la temperatura de ensayo se normalizo a 23 ± 2° C en baño maría INV E 222-13

Nota 6: El material se seco a una temperatura de 110 ± 5°C, dejando enfriar a temperatura ambiente aproximadamente una hora y media INV E-222-13

Nota 7: Se calculo la masa del picnómetro+ agua normalizada a una temperatura de 23±2°C INV E-222-13

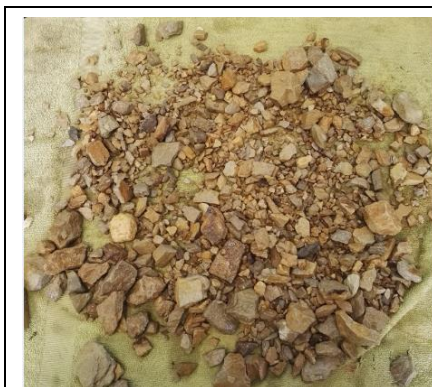
Nota 8: No se removió material menor de 75 µm INV E-222-13

Proyecto:	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.	
Autor:	Leonardo Gutiérrez Tejedor	Directora: Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PG. – Gs del material Granular.

	<b>DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO</b> INV E-223-13		
	<b>Identificación (descripción):</b> Material de Recebo - Material PG		
<b>Procedencia (localización):</b>	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	<b>Fecha:</b>	6 de Junio de 2017

<b>Muestra.</b>	
Tamaño máximo nominal	3/4"
Masa mínima de muestra de ensayo	2000g



<b>Ensayo.</b>	
Masa del platón, (g)	376
Masa al aire de la muestra seca al horno, (g) <b>(A)</b>	3810
Masa al aire de la muestra saturada y superficialmente seca, (g) <b>(B)</b>	3962
Masa aparente de la muestra saturada en agua, (g) <b>(C)</b>	2308

<b>Cálculos densidad relativa.</b>	
Densidad relativa (gravedad específica) seca al horno (SH) <b>(Sd)</b>	2,304
Densidad relativa (gravedad específica) SSS <b>(Ss)</b>	2,396
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) <b>(sa)</b>	2,537



<b>Cálculos densidad.</b>	
Densidad en condición seca al horno (SH) kg/m3	2298
Densidad en condición saturada y superficialmente seca (SSS) kg/m3	2390
Densidad aparente, kg/m3	2530

Absorción, % <b>(A)</b>	4,0
-------------------------	-----

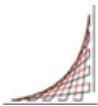
<b>Verificación</b>					
<b>Ss</b>	2,396	<b>Sa</b>	2,537	<b>A</b>	4,0
				<b>A</b>	4,0

**Nota 1:** Se removieron las partículas menores a 4,75mm (No. 4) mediante tamizado en seco y lavado.

**Nota 2:** No se retuvo mas del 15% en el tamiz de 1 1/2

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PG. – Gs promedio.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO Y FINO (PROMEDIO)</b>  INV E-222-13 ,E-223-13		
	<b>Identificación (descripción):</b> Material de Recebo - Material PG		
<b>Procedencia (localización):</b> Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	<b>Fecha:</b>	6 de Junio de 2017	

### Promedio Densidad relativa

Tamaño de la fracción		% Retenido de la gradación.	Densidad relativa (gravedad específica) SSS	Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	Absorción (0,1%)
mm	pg					
37,5-4,75	1 1/2" a N°4	57,21	2,396	2,304	2,537	3,990
4,75 -75 µm	N°4-P200	42,77	2,385	2,236	2,627	6,654
<b>Promedio</b>			<b>2,391</b>	<b>2,275</b>	<b>2,575</b>	<b>5,128</b>

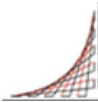
### Promedio Densidad

Tamaño de la fracción		% Retenido de la gradación.	Densidad SSS kg/m3	Densidad (SH) kg/m3	Densidad aparente kg/m3
mm	pg				
37,5-4,75	1 1/2" a N°4	57,21	2390	2298	2530
4,75 -75 µm	N°4-P200	42,77	2379	2230	2620
<b>Promedio</b>			<b>2386</b>	<b>2269</b>	<b>2569</b>

**Nota 1:** Para el material fino se utilizo incluyendo el material P200

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PG. – Micro deval.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DEL AGREGADO GRUESO A LA DEGRADACION POR ABRASION, UTILIZANDO EL APARATO MICRO-DEVAL</b>		
	I.N.V E- 238-13		
<b>Identificación (descripción):</b>	<b>Material de Recebo - Material PG</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	<b>Fecha:</b>	<b>22 de Enero de 2018</b>

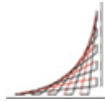
Descripción de la muestra	Unidad	Ensayo
Peso muestra seca antes del ensayo (A)	g	1500
Peso muestra seca lavado sobre tamiz No.16 (B)	g	1117,7
<b>Perdidas (A-B)</b>	<b>g</b>	<b>382,3</b>
<b>Desgaste (A-B)/A</b>	<b>%</b>	<b>25,5%</b>

### Nota:

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



## Caracterización material PG. – Ensayo 10% de finos.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL VALOR DEL 10% DE FINOS</b>	
	I.N.V E- 224-13	

Identificación (descripción):	<b>Material de Recebo - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Fecha:	<b>22 de Enero de 2018</b>

Material:	PASA TAMIZ DE 1/2" RETENIDO TAMIZ DE 3/8"
-----------	---

Datos	Seco		Humedo	
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2
MASA INICIAL DEL AGREGADO (g)	2364	2408	2456	2398
PENETRACION (m.m)	20	19	19	20
MAXIMA CARGA (Kg)	16300	14300	6450	6600
MAXIMA CARGA (Kn)	159,8	140,2	63,3	64,7
MASA DEL AGREGADO RETENIDA No -8	2120	2197	2394	2303
MASA DEL AGREGADO PASA No -8	198	240	187	201
% DE FINOS =	10,32	8,76	2,52	3,96
CARGA NECESARIA PARA PRODUCIR 10 % DE FINOS	156	154	136	114
<b>CARGA NECESARIA PARA PRODUCIR 10 % DE FINOS</b>	<b>155</b>		<b>125</b>	

<b>Relacion Humedo/Seco (%)</b>	<b>80</b>
---------------------------------	-----------

**Nota:**

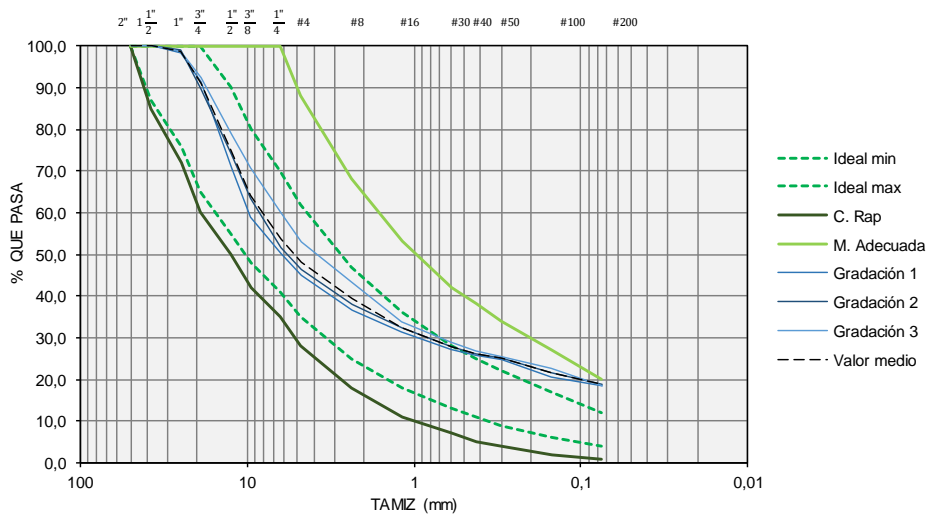
<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PF.- Gradación

	<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS Y DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N° 200 EN LOS AGREGADOS PÉTREOS MEDIANTE LAVADO.</b> I.N.V E- 213 y I.N.V E- 214	

<b>Identificación (descripción):</b>	<b>Material de recebo - Material PF</b>	
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia</b>	<b>6 de Junio de 2017</b>

Tendencia granulométrica.					Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials (TG2) Asphalt Academy 2009			
					Recomendada	M. Adecuada	C. Rap	
Gradaciones		Gradación 1	Gradación 2	Gradación 3	Min	Max	Max	Min
50	2"	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
37,5	1 1/2"	100,0	100,0	100,0	87,0	100,0	100,0	85,0
25	1"	98,4	99,1	98,6	76,0	100,0	100,0	72,0
19	3/4"	91,2	89,7	92,3	65,0	100,0	100,0	60,0
12,5	1/2"	70,9	73,9	79,0	55,0	90,0	100,0	50,0
9,5	3/8"	58,9	63,3	70,8	48,0	80,0	100,0	42,0
6,3	1/4"	50,0	51,4	59,8	41,0	70,0	100,0	35,0
4,75	No. 4	45,1	46,4	53,1	35,0	62,0	88,0	28,0
2,36	No. 8	36,6	37,8	43,4	25,0	47,0	68,0	18,0
1,18	No. 16	31,2	32,5	33,7	18,0	36,0	53,0	11,0
0,6	No. 30	27,3	28,0	28,8	13,0	28,0	42,0	7,0
0,425	No. 40	25,8	26,2	26,7	11,0	25,0	38,0	5,0
0,3	No. 50	24,6	25,2	25,3	9,0	22,0	34,0	4,0
0,15	No. 100	20,7	21,5	22,7	6,0	17,0	27,0	2,0
0,075	No. 200	18,4	18,9	18,6	4,0	12,0	20,0	1,0
Fondo	P-200	0,0	0,0	0,0				



<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.	
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b> Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PF. - Hidrometría

	<b>DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS</b>
	<b>INV E-123-13</b>

Identificación (descripción):	Material de recebo - Material PF		
Procedencia (localización):	Vereda Churubita-Samaca-Boyaca-Colombia	Fecha:	6 de Junio de 2017

### HIDROMETRIA

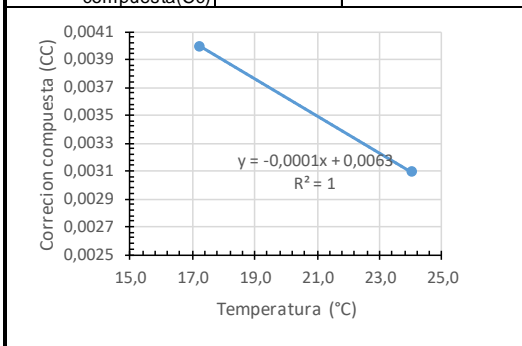
Datos de inicio	
Tipo de hidrometro	151 H
pH solución de hexametáfosfato de sodio = 8 a 9	8,55
Tipo de material utilizado en el ensayo (Pt)	P200
Msa utilizada en el ensayo secado al aire (Msa) (0,01g)	65

Factor de corrección por humedad higroscópica (Ch)	
Masa necesaria (0,01g)	<b>10-15.</b>
# de Recipiente	crisol3
M recipiente (0,1g)	141,52
M recipiente + Muestra Humeda (0,1g)	155,06
M recipiente + Muestra Seca (0,1g)	155,03
Peso del Agua (0,1g)	0,03
Peso del Material Seco (0,1g)	13,51
Humeda higroscópica W (0,1%)	0,2%
Factor de corrección por humedad higroscópica (Ch)	<b>0,9978</b>

\* Para este caso como se utiliza una muestra p200 el porcentaje que pasa es el 100%.

\*\* para la constante (L) esta es tomada de la ecuación indicada en el #7,3,3,1 en la nota 14 de la norma INV E-123-13 para un hidrometro 151H

Corrección compuesta para la lectura del hidrómetro		
Rango temperaturas (0,1°C)	17,2	24,0
Lectura de la solución de hexametáfosfato de sodio	1,004	1,0031
Corrección compuesta (Cc)	0,004	0,0031



Porcentajes de suelo en suspensión inicial	
Masa seca al horno= (Msa)*(Ch)	64,86
Porcentaje que pasa tamiz de evaluación=(Pt)*	<b>18,3</b>
Masa muestra total (W)	<b>354,40</b>
Gravedad específica de las partículas del suelo, Gs (G)	2,7
Gravedad específica de la solución (G1)	1,000
Constante (L)**	448,14

Tiempo (min)	Lectura inicial, (g/cm3)	Temperatura, °C	Corrección compuesta	Lectura corregida (g/cm3)	Porcentajes de suelo en suspensión	Constante k	Profundidad efectiva L (mm)	Diámetro de las partículas de suelo (mm)
2	1,028	19	0,0038	1,024	10,86	0,01361	8,9	0,029
5	1,024	19	0,0038	1,020	9,07	0,01361	10	0,019
15	1,020	19	0,0038	1,016	7,28	0,01361	11	0,012
30	1,018	19	0,0038	1,014	6,38	0,01361	11,5	0,008
60	1,017	20	0,0036	1,013	5,99	0,01344	11,8	0,006
120	1,016	20	0,0036	1,012	5,54	0,01344	12,1	0,004
250	1,015	20	0,0036	1,011	5,10	0,01344	12,3	0,003
1140	1,014	16	0,0042	1,010	4,41	0,01414	12,6	0,001

## Caracterización material PF. - Hidrometría

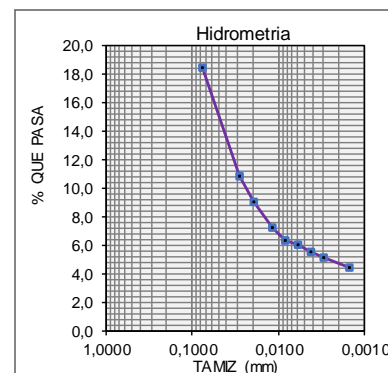
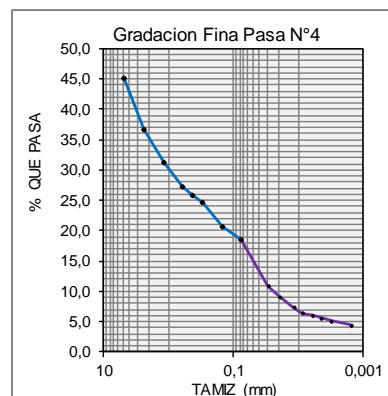
 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS</b>
	<b>INV E-123-13</b>

<b>Identificación (descripción):</b>	<b>Material PF</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Boyaca-Samaca-vereda churubita-Planta la libertad</b>	<b>Fecha:</b>	<b>6 de Junio de 2017</b>

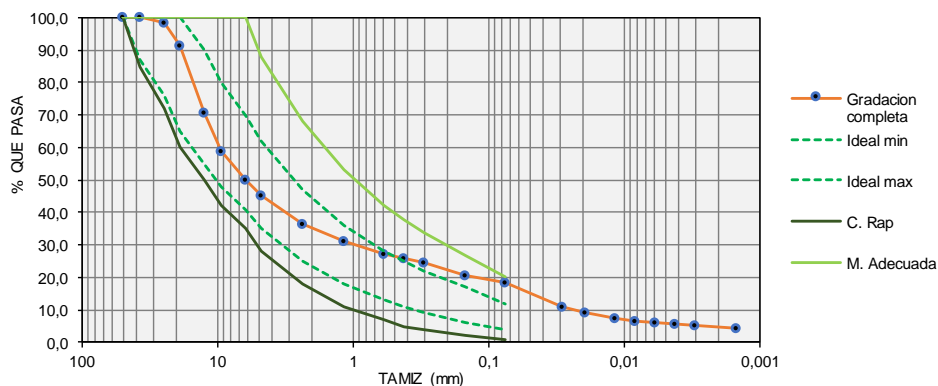
### HIDROMETRIA

Granulometría completa				
Tipo	Tamizado	Hidrometría	Total	
Tamaño	% que pasa	% que pasa	% que pasa	
50	2"	100,0	-	100,0
37,5	1 1/2"	100,0	-	100,0
25	1"	98,4	-	98,4
19	3/4"	91,2	-	91,2
12,5	1/2"	70,9	-	70,9
9,5	3/8"	58,9	-	58,9
6,3	1/4"	50,0	-	50,0
4,75	No. 4	45,1	-	45,1
2,36	No. 8	36,6	-	36,6
1,18	No. 16	31,2	-	31,2
0,6	No. 30	27,3	-	27,3
0,425	No. 40	25,8	-	25,8
0,300	No. 50	24,6	-	24,6
0,150	No. 100	20,7	-	20,7
0,0750	No. 200	18,4	-	18,4
0,0287	-	-	10,862	10,86
0,0192	-	-	9,070	9,07
0,0117	-	-	7,277	7,28
0,0084	-	-	6,381	6,38
0,0060	-	-	5,992	5,99
0,0043	-	-	5,544	5,54
0,0030	-	-	5,096	5,10
0,0015	-	-	4,410	4,41

Nota 1: Toda el agua utilizada fue destilada o desmineralizada  
 Nota 2 se utilizo un aparato de dispersion mecanico de alta velocidad  
 Nota 3: el hidrometro se calibro a una temperatura de 20°C



### Gradacion completa



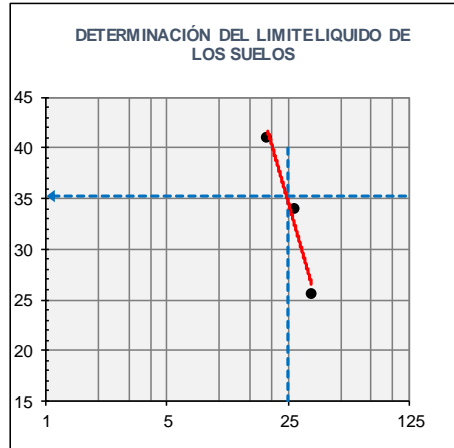
<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.	
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutierrez Tejedor	<b>Directora:</b> Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PF. - Limites

	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>	
	I.N.V. E-125 y I.N.V. E-126	

Identificación (descripción):	Material de recebo - Material PF		
Procedencia (localización):	Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia	Método:	A
		Fecha:	7 de Junio de 2017

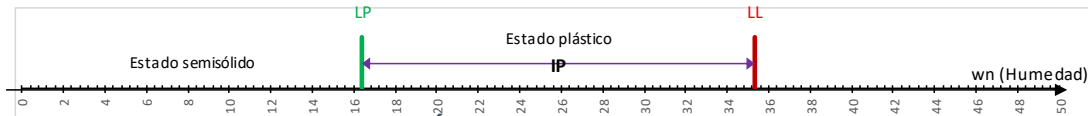
DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
	#64	#55	#9
Golpes	19	27	34
Peso tara	10,95	12,00	5,50
Peso tara +material húmedo	23,79	26,17	18,72
Peso tara +material seca	20,05	22,57	16,02
Peso del agua	3,74	3,60	2,70
Peso material seco	9,10	10,57	10,52
% de humedad	41,10	34,06	25,67



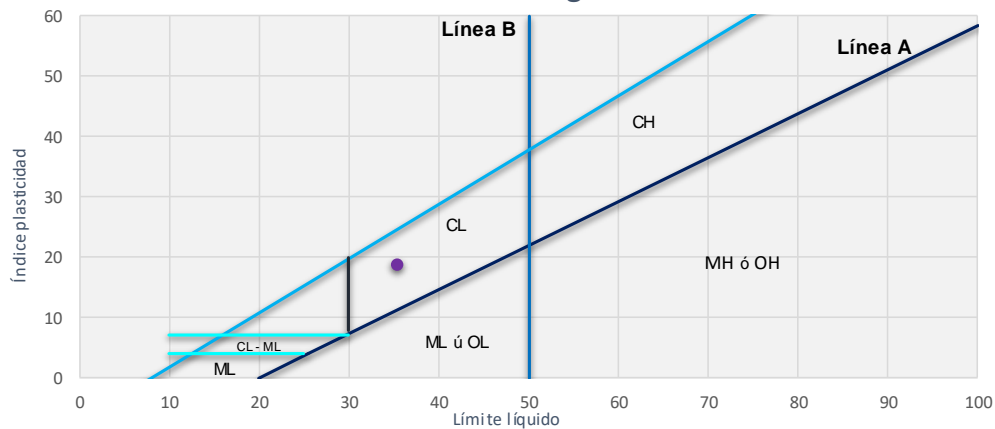
DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
	#c1	#57
Peso tara	6,78	10,98
Peso tara +material húmedo	17,79	22,82
Peso tara +material seca	16,23	21,16
Peso del agua	1,56	1,66
Peso material seco	9,45	10,18
% de humedad	16,51	16,31

Humedad natural (Wn) %	4,4				
Límite líquido (LL)	35,3	Límite Plástico (LP)	16,4	Índice de plasticidad (IP)	18,9
Índice de consistencia (IC)	1,63	Índice de liquidez (IL)	-0,6	Índice de fluidez (IF)	61,1
				Índice de tenacidad (IT)	0,3

Escala de límites

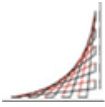


Abaco de Casagrande

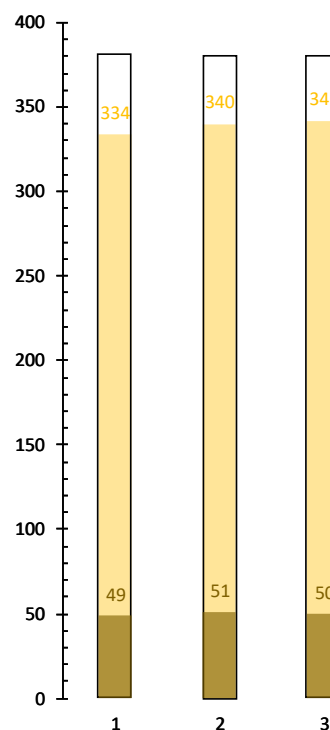


Proyecto:	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
Autor:	Leonardo Gutiérrez Tejedor	Directora:	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PF. – Equivalente de arena.

	<b>EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO.</b>		
	I.N.V E- 133		
<b>Identificación (descripción):</b>	<b>Material de recebo - Material PF</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia</b>	<b>Fecha:</b>	<b>8 de Junio de 2017</b>

Probeta numero #	1	2	3
Lectura de la arcilla (mm)	334	340	342
Lectura de la Pesa (mm)	303	305	304
Altura de la pesa (mm)	254	254	254
Lectura de la arena (mm)	49	51	50
Equivalente de arena (%)	15	15	15
Promedio (%)	<b>15</b>		



Método: procedimiento, B norma invias de ensayo 133 de 2013.

Método de agitador mecánico se utilizo en la realización del ensayo.

Nota: La muestra se preparo con el material que pasa el tamiz # 4 y se removieron los finos adheridos al material retenido en el tamiz #4 y se junto al material que paso el tamiz #4.

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PF. – Partículas deleznales.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNALES EN LOS AGREGADOS.</b>		
	I.N.V E- 211		

Identificación (descripción):	Material de recebo - Material PF		
Procedencia (localización):	Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia	Fecha:	7 de Junio de 2017

### AGREGADO GRUESO

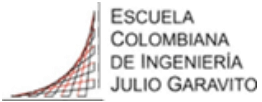
Tamaño de las partículas entre los tamices	M mínimo de la muestra (0,1g)	Granulometría Original (%)	#	Tara (0,1g)	M muestra de ensayo (0,1g)	Tamiz para remover residuos de terrones	M muestra retenida en el tamiz (0.1g)	% Terrones de arcilla y partículas deleznales en cada fracción	Ponderación terrones de arcilla y partículas deleznales
> 1 1/2" >37,5 mm	5000	0,00%	1	0	0	#4 4,75 mm	0	0,00%	0,000%
1 1/2" - 3/4" 35,5 - 19,0 mm	3000	8,76%	1	263,5	3067,5	#4 4,75 mm	2752,2	11,24%	0,985%
3/4" - 3/8" 19,0 - 9,5 mm	2000	32,37%	2	289,8	2650,7	#4 4,75 mm	2412	10,11%	0,033%
3/8" - #4" 9,5- 4,75 mm	1000	13,78%	101	118,3	1398,3	#8 2,36 mm	1176,3	17,34%	0,024%
<b>Promedio</b>									<b>0,260%</b>

### AGREGADO FINO

Tamaño de las partículas entre los tamices	M mínimo de la muestra (0,1g)	#	Tara (0,1g)	M muestra de ensayo (0,1g)	Tamiz para remover residuos de terrones	M muestra retenida en el tamiz (0.1g)	% Terrones de arcilla y partículas deleznales en cada fracción
#4 - #16 4,75mm - 1,18mm	25	26	112,2	195,3	#20 8,50 um	194	1,56%
<b>Promedio</b>							<b>1,56%</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PF. – Contenido de Humedad.

	<b>DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO -AGREGADO</b> I.N.V E- 122		
	<b>Identificación (descripción):</b> Material de recebo - Material PF		
<b>Procedencia (localización):</b> Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia	<b>Fecha:</b>	<b>6 de Junio de 2017</b>	

### CONTENIDO DE HUMEDAD

	Espécimen 1	Espécimen 2
# de Recipiente	#7	#27
M recipiente (0,1g)	264	288
M recipiente + Muestra Húmeda (0,1g)	5706	6714
M recipiente + Muestra Seca (0,1g)	5476	6448
Peso del Agua (0,1g)	230	266
Peso del Material Seco (0,1g)	5212	6160
Húmeda W (0,1%)	4,4%	4,3%

Nota 1: El método utilizado es el método B con lectura de agua de 0,1%, descrito en la norma INVIAS 122 de 2013.

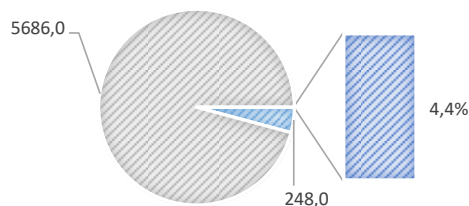
Nota 2: La masa mínima se tomó de acuerdo al examen visual del tamaño máximo del suelo, el tamaño máximo fue de 1 1/2"

Nota 3: No se descartó material durante el ensayo.

Nota 4: se utilizó una temperatura de secado de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$

## (%) HÚMEDA NATURAL


■ Agua (g) ■ Material (g) ■ W (%) Húmeda



<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

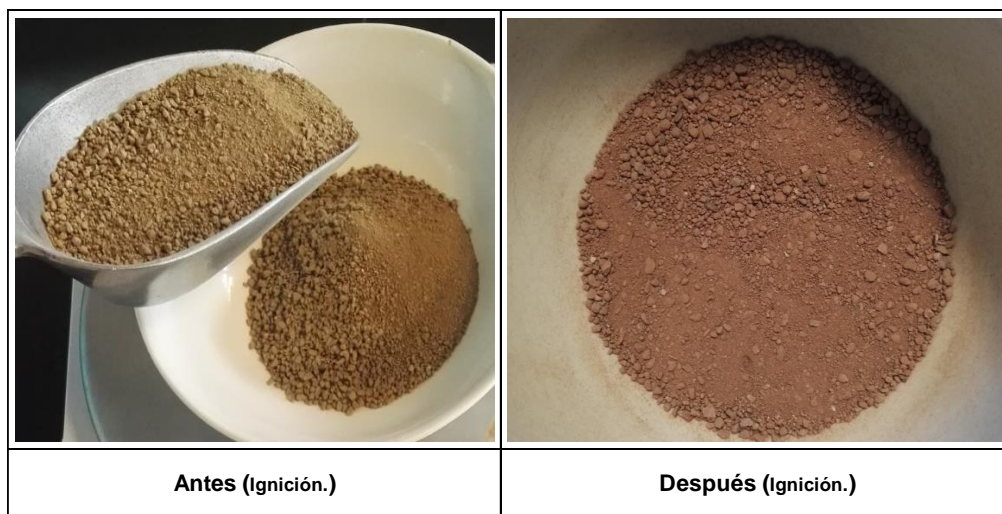


## Caracterización material PF. – Contenido de materia orgánica.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ORGÁNICO DE UN SUELO MEDIANTE EL ENSAYO DE PÉRDIDA POR IGNICIÓN</b>		
	I.N.V E- 121		
Identificación (descripción):	Material de recebo - Material PF		
Procedencia (localización):	Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia	Fecha:	6 de Junio de 2017

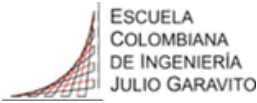
### CONTENIDO ORGANICO

Especimen #1	
M Muestra secada a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ (0,01g)	10-40 g
TEMPERATURA ( $^\circ\text{C}$ )	$450 \pm 10^\circ$
TIEMPO (Horas)	6 horas
# de crisol.	# 3
M Crisol (0,01g)	141,51
M Crisol +suelo secado al horno antes de la ignición (0,01g)	172,68
M Crisol +suelo secado al horno después de la ignición (0,01g)	172,20
<b>% de Materia Orgánica (0,1%)</b>	<b>1,6%</b>

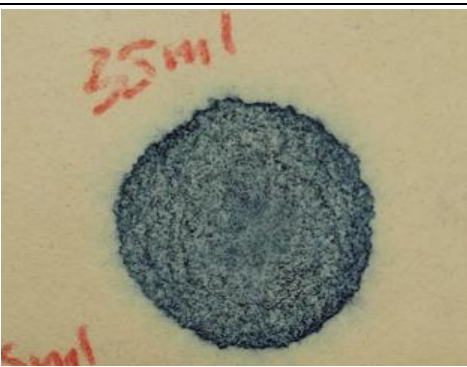


<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.	
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b> Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PF. – Valor de azul de metileno

	<b>VALOR DE AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS</b>		
	I.N.V E- 235		
<b>Identificación (descripción):</b>	<b>Material de recebo - Material PF</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia</b>	<b>Fecha:</b>	<b>6 de Junio de 2017</b>

### VALOR DE AZUL DE METILENO MATERIAL PASA TAMIZ #200

		Especimen 1
M de la muestra seca de ensayo (1g) a $110 \pm 5^\circ$ C	30.0 $\pm$ 0.1 g	
Diámetro de la gota sobre el papel filtro.	8 a 12mm	
Vaso precipitado	500 $\pm$ 5 ml	
Velocidad agitar inicial (rpm)	600 $\pm$ 60 rpm	
Agitado inicial (min)	5 min	
Dosis añadida por mezcla	5 ml	
Velocidad agitar final (rpm)	400 $\pm$ 40 rpm	
Agitado final (min)	1 min	
Se mantenga la aureola	5 min	
<b>M1</b> de la muestra seca de ensayo (1g)	30	
<b>V1</b> Volumen total añadidole la solución (ml)	35	
<b>VA</b> valor de azul de metileno en (mg) de azul por gramo de material seco pasa tamiz #200	12	
<b>Resultado</b>	Positivo: aureola en 5 min de 1 mm,	

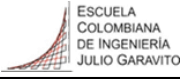
Nota1: No se utilizó caolinita debido a que se satisface la cantidad de finos para el ensayo tamiz #200.

Nota 2: Posteriormente de registrar la aureola inicial a los 5 min se siguió verificando con 4 aureolas cada min para confirmar el valor.

Nota 3: La solución se de azul de metileno de 10 mg/l se preparó de acuerdo al anexo b de la norma INVIAS de Ensayo # 235 del 2013.

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PF. – Proctor modificado

		RELACIONES HUMEDAD - PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYOS MODIFICADO DE COMPACTACION)				
		INV E - 142 - 13				
Identificación (descripción):		Material de recebo - Material PF				
Procedencia (localización):		Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia			Fecha:	6 de Junio de 2017
CALCULO DE PESOS UNITARIOS (HUMEDO Y SECO)						
MUESTRA N°	1	2	3	4	5	
Masa del molde (Mm) (g)	6419	6419	6419	6419	6419	
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2126	2126	2126	2126	2126	
Mm+suelo húmedo (g)	10784	11196	11382	11236	10854	
Masa del suelo húmedo (g)	4365	4777	4963	4817	4435	
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2,053	2,247	2,334	2,266	2,086	
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,986	2,130	2,169	2,078	1,881	
DATOS DE INCREMENTOS						
Masa suelo húmedo (g)	5054	5070	5014	5038	5050	
Incremento (%)	0%	2%	4%	6%	8%	
Humedad asumida (%)	3,40%	5,40%	7,40%	9,40%	12,40%	
Agua adicionada (g)	0,00	98,08	193,99	292,38	390,77	
DATOS DE HUMEDAD						
Recipiente N°	1	2	3	4	5	
Masa del recipiente (Mr.) (g)	153,2	112,2	125,6	105,7	114,2	
Mr+Peso suelo húmedo (g)	636,9	883,3	1343,4	759	650,4	
Mr+Peso suelo seco (g)	621,1	843,1	1257,1	704,8	597,6	
Masa Agua (g)	15,8	40,2	86,3	54,2	52,8	
Masa del suelo seco (g)	467,9	730,9	1131,5	599,1	483,4	
Masa del suelo húmedo (g)	483,7	771,1	1217,8	653,3	536,2	
Humedad de compactación (%)	3,4	5,5	7,6	9,0	10,9	
DATOS DE CORRECCION HUMEDADES						
Recipiente N° material fino.	#12					
Recipiente N° material grueso.	#15					
Masa del recipiente material fino (g)	118,2					
Masa del recipiente material grueso (g)	123,3					
Masa Húmeda - fracción fina (Mmf).	40068					
Masa Húmeda - fracción Gruesa (Mmg).	6044					
Masa seca - fracción fina (Mdf).	38739					
Masa seca - fracción gruesa (Mdg).	5932					
Humedad fracción Fina (%).	3,44%					
Humedad fracción Gruesa (%).	1,89%					
DATOS DE CORRECCION						
Porcentaje fracción fina (Pfe)(%)	86,7%					
Porcentaje fracción gruesa (Pfg)(%)	13,3%					
Gravedad específica Gruesos (Gm)	2,622					
Peso unitario seco fino (de) (kN/m <sup>3</sup> )	19,47	20,88	21,26	20,37	18,43	
HUMEDAD natural corregida (Cw) (%)	3,23%					
Humedad Corregida (Cw)	2,9	4,8	6,6	7,8	9,5	
Peso unitario seco corregido del material total (fe+fg) kn/m <sup>3</sup>	20,1	21,4	21,8	20,9	19,2	
DENSIDAD SECA CORREGIDA gr/cm <sup>3</sup>	2,052	2,184	2,220	2,137	1,954	
DENSIDAD SECA CORREGIDA lbf/pe <sup>3</sup>	128,1	136,3	138,6	133,4	122,0	
CURVA DE SATURACION (OPCIONAL)						
Muestra	1	2	3	4	5	
Saturación	11,77	8,83	8,10	9,85	14,22	
Densidad máxima (g/cm <sup>3</sup> ):	2,229		Humedad optima:	6,1		
Densidad máxima (lbf/pe <sup>3</sup> ):	139,1					

DATOS INICIALES	
Método.	C
Material p. tamiz	3/4" (19mm)
Material mínimo.	29 Kg
Sub muestras	5,9 Kg
Diámetro molde	6" (152,4 mm)
Peso del martillo	10 Lbf (44,48n)
Energía compactación.	2700 kN-m/mm <sup>3</sup>
N° Capas	5
Golpes/capa	55

DATOS PARA SATURACION	
GS del suelo	2,712

CALCULO DE HUMEDAD INICIAL	
# de Recipiente	#L4
M recipiente (Mr.) (g)	185,6
Mr. + Muestra Húmeda (g)	488
Mr. + Muestra Seca (g)	478,1
Peso del Agua (g)	9,9
Peso del Material Seco (g)	292,5
Peso del Material húmedo (g)	302,4
Húmeda inicial W (%)	3,38%

DATOS DE CORRECCION HUMEDADES	
Recipiente N° material fino.	#12
Recipiente N° material grueso.	#15
Masa del recipiente material fino (g)	118,2
Masa del recipiente material grueso (g)	123,3
Masa Húmeda - fracción fina (Mmf).	40068
Masa Húmeda - fracción Gruesa (Mmg).	6044
Masa seca - fracción fina (Mdf).	38739
Masa seca - fracción gruesa (Mdg).	5932
Humedad fracción Fina (%).	3,44%
Humedad fracción Gruesa (%).	1,89%

DATOS DE CORRECCION	
Porcentaje fracción fina (Pfe)(%)	86,7%
Porcentaje fracción gruesa (Pfg)(%)	13,3%
Gravedad específica Gruesos (Gm)	2,622
Peso unitario seco fino (de) (kN/m <sup>3</sup> )	19,47
HUMEDAD natural corregida (Cw) (%)	3,23%
Humedad Corregida (Cw)	2,9
Peso unitario seco corregido del material total (fe+fg) kn/m <sup>3</sup>	20,1
DENSIDAD SECA CORREGIDA gr/cm <sup>3</sup>	2,052
DENSIDAD SECA CORREGIDA lbf/pe <sup>3</sup>	128,1

## Caracterización material PF. – Gs de los sobretamaños (Proctor).

	<b>DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO</b> <b>INV E-223-13</b>
---	---

Identificación (descripción):	Material de recebo - Material PF		
Procedencia (localización):	Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia	Fecha:	6 de Junio de 2017

Muestra.	
Tamaño máximo nominal	3/4"
Masa mínima de muestra de ensayo	2000g



Ensayo.	
Masa del platón, (g)	180,1
Masa al aire de la muestra seca al horno, (g) (A)	2661,8
Masa al aire de la muestra saturada y superficialmente seca, (g) (B)	2721,2
Masa aparente de la muestra saturada en agua, (g) (C)	1683,3

Cálculos densidad relativa.	
Densidad relativa (gravedad específica) seca al horno (SH)(Sd)	2,565
Densidad relativa (gravedad específica) SSS(Ss)	2,622
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) (sa)	2,720



Cálculos densidad.	
Densidad en condición seca al horno (SH) kg/m3	2558
Densidad en condición saturada y superficialmente seca (SSS) kg/m3	2615
Densidad aparente, kg/m3	2713
Absorción, % (A)	2,23


Verificación					
Ss	2,622	Sa	2,720	A	2,23
				A	2,23

Nota 1: Se removieron las partículas menores a 4,75mm (No. 4) mediante tamizado en seco y lavado.

Nota 2: No se retuvo mas del 15% en el tamiz de 1 1/2

Proyecto:	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
Autor:	Leonardo Gutiérrez Tejedor	Directora:	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PF. – Gs del material pasa tamiz 0.075mm.

	<b>DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS DE LOS SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL, EMPLEANDO UN PICNÓMETRO CON AGUA</b>	
	<b>INV E-128-13</b>	
<b>Identificación (descripción):</b>	<b>Material de recebo - Material PF</b>	
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia</b>	<b>Fecha: 6 de Junio de 2017</b>

Calibración picnómetro					
N° Ensayo	1	2	3	4	5
N <sub>o</sub> picnómetro	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Masa del picnómetro (Mp) (0,01g)	150,41	150,42	150,41	150,41	150,40
<b>Masa promedio del picnómetro seco (Mpr)</b>	150,41				
<b>Desviación estándar &lt; 0,02g</b>	0,01				
Mp+agua a temperatura de calibración (Mpw,c) (0,01g)	649,51	649,52	649,49	649,50	649,52
Temperatura de calibración (0,1 °C)	19,1	19,2	19,1	19,2	19,1
<b>Promedio temperatura de calibración (0,1 °C)</b>	18,5				
<b>Densidad del agua a la temperatura de calibración, (g/cm<sup>3</sup>)</b>	0,9985				
Volumen calibrado del picnómetro (cm <sup>3</sup> )	499,8	499,9	499,8	499,8	499,9
<b>Promedio Volumen de calibración (Vp) (cm<sup>3</sup>)</b>	499,80				
<b>Desviación estándar &lt; 0,05 cm<sup>3</sup></b>	0,01				

Ensayo	
Mpicnometro + agua + suelo (M <sub>pws,t</sub> ) (0,01g)	680,40
Temperatura de ensayo (T <sub>t</sub> ) (0,1 °C)	21
Masa del picnómetro lleno de agua a temperatura de ensayo (M <sub>pw,t</sub> ) = Mp(+0,06g)	649,21

Masa el suelo seco	
Masa del recipiente (M <sub>r</sub> ) (0,01g)	118,40
M <sub>r</sub> + suelo seco (M <sub>rs</sub> ) (0,01g)	167,80
Masa suelo seco (M <sub>s</sub> )	49,40

Resultado	
Gravedad específica a temperatura de ensayo (G <sub>t</sub> ) (M <sub>s</sub> /(M <sub>pw,t</sub> -(M <sub>pws,t</sub> -M <sub>s</sub> )) g/cm <sup>3</sup> )	2,713
Factor de corrección basado en temperatura del agua (k)	0,99979
Peso específico del suelo a G <sub>s20°C</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	2,713

Nota 1: Agua desairada por bomba de vacío # 6,2,2 inías e 128-13

Nota 2: Para el ensayo se utilizo el método A, como lo indica la norma INV E-128-07

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.	
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b> Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PF. – Gs del material arenoso.

	<b>DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</b> <b>INV E-222-13</b>
---	---

Identificación (descripción):	Material de recebo - Material PF		
Procedencia (localización):	Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia	Fecha:	6 de Junio de 2017

Calibración picnometro	
Masa del picnometro + agua destilada (0,1g) (B)	649,6
Temperatura de calibración = 23± 2°C (0,1 °C)	21



Ensayo	
Masa del picnometro + agua + suelo (0,1g) (C.)	951,0
Temperatura de ensayo = 23± 2°C (0,1 °C)	21,0
(0,1g) (S)	500,2
Masa al aire de la muestra seca al horno (0,1g) (A)	477,9

Densidad relativa	
Densidad relativa (gravedad específica) seca al horno (SH) (Sd)	2,404
Densidad relativa (gravedad específica) saturada superficialmente seca (SSS) (Ss)	2,516
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) (Sa)	2,708



Densidad	
Densidad en condición seca al horno (SH) (kg/m <sup>3</sup> )	2398
Densidad en condición saturada y superficialmente seca (SSS) (kg/m <sup>3</sup> )	2510
Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	2701
Absorción, (0,1%) (A)	4,7

Verificación					
Ss	2,516	Sa	2,708	A	4,7
				A	4,7

Nota 1: Secado realizado con secador de acuerdo a la norma INV E-222-13

Nota 2: Se realizo prueba del cono para verificar la condición saturada y superficialmente seca. INV E-222-13

Nota 3: Se realizo el procedimiento gravimetrico INV E 222-13

Nota 4: Se utilizo agua desairada por bomba de vacio # 6,2,2 INV E 222-13

Nota 5: Para la temperatura de ensayo se normalizo a 23 ± 2° C en baño maria INV E 222-13

Nota 6: El material se seco a una temperatura de 110 ± 5°C, dejando enfriar a temperatura ambiente aproximadamente una hora y media INV E-222-13

Nota 7: Se calculo la masa del picnometro+ agua normalizada a una temperatura de 23±2°C INV E-222-13

Nota 8: No se removio material menor de 75 µm INV E-222-13

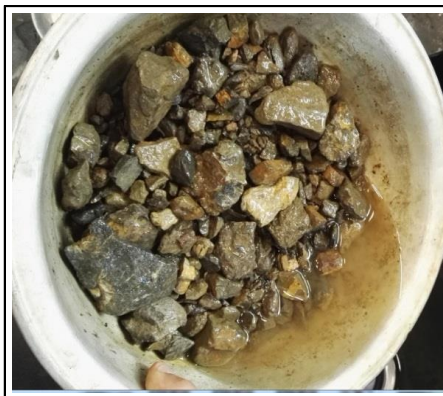
Proyecto:	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
Autor:	Leonardo Gutierrez Tejedor	Directora:	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PF. – Gs del material Granular.

	<b>DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO</b>	
	<b>INV E-223-13</b>	

Identificación (descripción):	<b>Material de recebo - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia</b>	Fecha:	<b>6 de Junio de 2017</b>

Muestra.	
Tamaño máximo nominal	3/4"
Masa mínima de muestra de ensayo	2000g



Ensayo.	
Masa del platón, (g)	<b>263,4</b>
Masa al aire de la muestra seca al horno, (g) <b>(A)</b>	<b>1903,1</b>
Masa al aire de la muestra saturada y superficialmente seca, (g) <b>(B)</b>	<b>1989,1</b>
Masa aparente de la muestra saturada en agua, (g) <b>(C)</b>	<b>1202,1</b>

Cálculos densidad relativa.	
Densidad relativa (gravedad específica) seca al horno (SH) <b>(Sd)</b>	2,418
Densidad relativa (gravedad específica) SSS <b>(Ss)</b>	2,527
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) <b>(sa)</b>	2,715



Cálculos densidad.	
Densidad en condición seca al horno (SH) kg/m3	2412
Densidad en condición saturada y superficialmente seca (SSS) kg/m3	2521
Densidad aparente, kg/m3	2708

Absorción, % <b>(A)</b>	4,5
-------------------------	-----

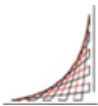
Verificación					
<b>Ss</b>	2,527	<b>Sa</b>	2,715	<b>A</b>	4,5
				<b>A</b>	4,5

**Nota 1:** Se removieron las partículas menores a 4,75mm (No. 4) mediante tamizado en seco y lavado.

**Nota 2:** No se retuvo mas del 15% en el tamiz de 1 1/2

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PF. – Gs promedio.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO Y FINO (PROMEDIO)</b>		
	INV E-222-13 ,E-223-13		
<b>Identificación (descripción):</b> Material de recebo - Material PF			
<b>Procedencia (localización):</b> Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia		<b>Fecha:</b>	<b>6 de Junio de 2017</b>

Promedio Densidad relativa						
Tamaño de la fracción		% Retenido de la gradación.	Densidad relativa (gravidad específica) SSS	Densidad relativa (gravidad específica) (SH)	Densidad relativa aparente (gravidad específica aparente)	Absorción (0,1%)
mm	pg					
37,5-4,75	1 1/2" a N°4	54,9	2,527	2,418	2,715	4,5
4,75 -75 µm	N°4-P200	45,1	2,516	2,404	2,708	4,7
<b>Promedio</b>			<b>2,522</b>	<b>2,412</b>	<b>2,712</b>	<b>4,6</b>

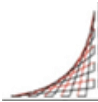
Promedio Densidad					
Tamaño de la fracción		% Retenido de la gradación.	Densidad SSS kg/m3	Densidad (SH) kg/m3	Densidad aparente kg/m3
mm	pg				
37,5-4,75	1 1/2" a N°4	54,9	2521	2412	2708
4,75 -75 µm	N°4-P200	45,1	2510	2398	2701
<b>Promedio</b>			<b>2516</b>	<b>2406</b>	<b>2705</b>

Nota 1: Para el material fino se utilizo incluyendo el material P200

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



## Caracterización material PG. – Micro deval.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DEL AGREGADO GRUESO A LA DEGRADACION POR ABRASION, UTILIZANDO EL APARATO MICRO-DEVAL</b>		
	I.N.V E- 238-13		
<b>Identificación (descripción):</b>	<b>Material de recebo - Material PF</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia</b>	<b>Fecha:</b>	<b>22 de Enero de 2018</b>

Descripción de la muestra	Unidad	Ensayo
Peso muestra seca antes del ensayo (A)	g	1500
Peso muestra seca lavado sobre tamiz No.16 (B)	g	951,3
<b>Perdidas (A-B)</b>	<b>g</b>	<b>548,7</b>
<b>Desgaste (A-B)/A</b>	<b>%</b>	<b>36,6%</b>

### Nota:

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización material PF. – Ensayo 10% de finos.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL VALOR DEL 10% DE FINOS</b>	
	I.N.V E- 224-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	<b>Material de recebo - Material PF</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia</b>	<b>Fecha:</b>	<b>22 de Enero de 2018</b>

<b>Material:</b>	<b>PASA TAMIZ DE 1/2" RETENIDO TAMIZ DE 3/8"</b>
------------------	--

Datos	Seco		Humedo	
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2
MASA INICIAL DEL AGREGADO (g)	2584	2572	2535	2542
PENETRACION (m.m)	18	20	19	20
MAXIMA CARGA (Kg)	8350	10200	6450	6600
MAXIMA CARGA (Kn)	81,9	100,0	63,3	64,7
MASA DEL AGREGADO RETENIDA No -8	2382	2328	2266	2279
MASA DEL AGREGADO PASA No -8	198	240	181	201
% DE FINOS =	7,82	9,49	10,61	10,35
CARGA NECESARIA PARA PRODUCIR 10 % DE FINOS	97	104	61	63
<b>CARGA NECESARIA PARA PRODUCIR 10 % DE FINOS</b>	<b>100</b>		<b>62</b>	


<b>Relacion Humedo/Seco (%)</b>	<b>62</b>
---------------------------------	-----------

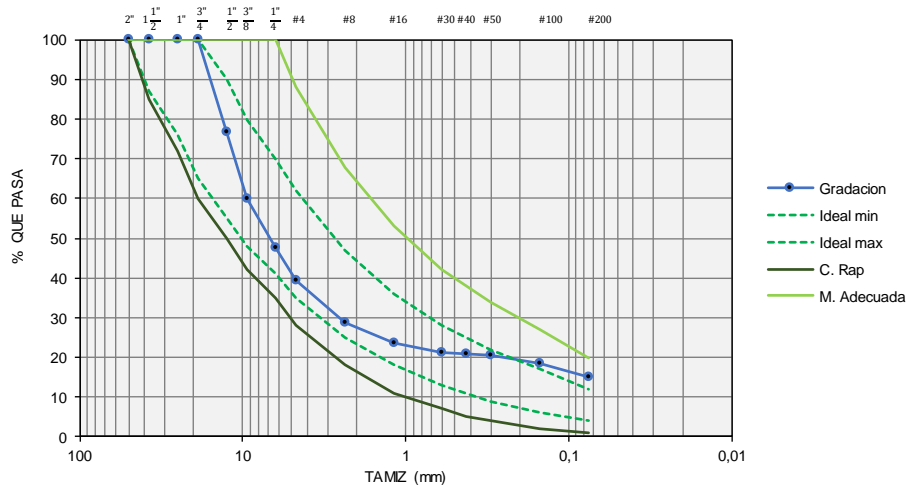
**Nota:**

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

### Anexo 3 Gradaciones y proctor de diseño.


#### Gradación de remplazo por partículas de sobre-tamaños por 19mm a 4.75mm – Material PG.

		<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS Y DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N° 200 EN LOS AGREGADOS PÉTREOS MEDIANTE LAVADO.</b> I.N.V E- 213 y I.N.V E-214							
<b>Identificación (descripción):</b> Material de Recebo - Material PG - remplazo 19mm a 4,75mm								<b>Fecha:</b> 7 de Diciembre de 2017	
<b>Procedencia (localización):</b> Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.									
<b>Datos Iniciales.</b>						<b>Gradación 2</b>			
(W) Peso original de la muestra seca+tara (0,1 g)		3397,7							
(W) Muestra seca después de lavada+tara (0,1 g)		2958,7							
(W) Peso del platón (0,1 g)		273,4							
<b>Technical Guideline:</b> Bitumen Stabilised Materials (TG2) Asphalt Academy 2009									
<b>P1 muestra seca (0,1g):</b> 3124,3		<b>P2 muestra después de lavado (0,1g)=</b> 2685,3				<b>Recomendada</b>	<b>M. Adecuada</b>	<b>C. Rap</b>	
Tamiz(mm)	Tamiz(")	Peso Retenido (Pr)	% Retenido (Por)	% Pasa (PoP)	% Retenido Acumulado	Min	Max	Max	Min
50	2"	0,0	0,0	100	0	100,0	100,0	100,0	100,0
37,5	1 1/2"	0,0	0,0	100	0	87,0	100,0	100,0	85,0
25	1"	0,0	0,0	100	0	76,0	100,0	100,0	72,0
19	3/4"	0,0	0,0	100	0	65,0	100,0	100,0	60,0
12,5	1/2"	725,5	23,2	77	23	55,0	90,0	100,0	50,0
9,5	3/8"	528,7	16,9	60	40	48,0	80,0	100,0	42,0
6,3	1/4"	382,7	12,2	48	52	41,0	70,0	100,0	35,0
4,75	No. 4	253,1	8,1	40	60	35,0	62,0	88,0	28,0
2,36	No. 8	337,6	10,8	29	71	25,0	47,0	68,0	18,0
1,18	No. 16	162,6	5,2	23	77	18,0	36,0	53,0	11,0
0,6	No. 30	67,8	2,2	21	79	13,0	28,0	42,0	7,0
0,425	No. 40	13,4	0,4	21	79	11,0	25,0	38,0	5,0
0,3	No. 50	16,2	0,5	20	80	9,0	22,0	34,0	4,0
0,15	No. 100	55,1	1,8	19	81	6,0	17,0	27,0	2,0
0,075	No. 200	112,1	3,6	15	85	4,0	12,0	20,0	1,0
Fondo	P-200	469,0	15,0	0	100				
$\sum Pr. y Por.$		3123,8	100,0	Nota: El análisis granulométrico se realizó por medio de la prueba de lavado de finos.					



<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

**Proctor de remplazo por partículas de sobre-tamaños por 19mm a 4.75mm – Material PG.**

	<b>RELACIONES HUMEDAD - PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYOS MODIFICADO DE COMPACTACION)</b>	
	INV E - 142 - 07	

Identificación (descripción):	Material de Recebo - Material PG		
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha:	27 de noviembre de 2017

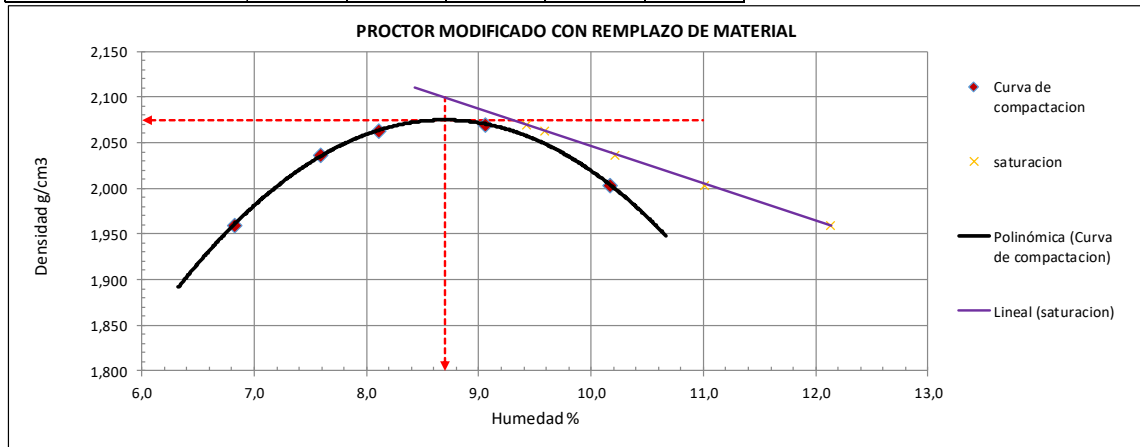
CALCULO DE PESOS UNITARIOS (HUMEDO Y SECO)					
MUESTRA N°	1	2	3	4	5
Masa del molde (Mm) (g)	6419	6419	6419	6419	6419
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2126	2126	2126	2126	2126
Mm+suelo húmedo (g)	10870	11078	11161	11218	11113
Masa del suelo húmedo (g)	4451	4659	4742	4799	4694
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,094</b>	<b>2,191</b>	<b>2,230</b>	<b>2,257</b>	<b>2,208</b>
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	<b>1,960</b>	<b>2,037</b>	<b>2,063</b>	<b>2,070</b>	<b>2,004</b>
Densidad seca lbf/pie <sup>3</sup>	<b>122,139</b>	<b>126,939</b>	<b>128,571</b>	<b>128,989</b>	<b>124,894</b>

DATOS INICIALES	
Método:	C
Material p. tamiz	3/4" (19mm)
Material mínimo:	29 Kg
Sub muestras	5,9 Kg
Diámetro molde	6" (152,4 mm)
Peso del martillo	10 Lbf (44,48n)
Energía compactación:	2700 kN-m/mm3
N° Capas	5
Golpes/capa	55
Gavedad específica del suelo	2,57

DATOS DE HUMEDAD					
Recipiente N°	120	14	121	15	E11
Masa del recipiente (Mr) (g)	132,1	118,0	123,6	118,5	115,4
Mr+Peso suelo húmedo (g)	886,7	821,3	699,2	968,4	678,7
Mr+Peso suelo seco (g)	838,5	771,7	656,0	897,8	626,7
Masa Agua (g)	48,2	49,6	43,2	70,6	52,0
Masa del suelo seco (g)	706,4	653,7	532,4	779,3	511,3
Masa del suelo húmedo (g)	754,6	703,3	575,6	849,9	563,3
Humedad de compactación (%)	<b>6,8</b>	<b>7,6</b>	<b>8,1</b>	<b>9,1</b>	<b>10,2</b>

CALCULO DE HUMEDAD INICIAL	
# de Recipiente	#L19
M recipiente (Mr) (g)	106,1
Mr + Muestra Húmeda (g)	570,4
Mr + Muestra Seca (g)	565,1
Peso del Agua (g)	5,3
Peso del Material Seco (g)	459
Peso del Material húmedo (g)	464,3
Húmeda inicial W (%)	1,15%


CURVA DE SATURACION					
Muestra	1	2	3	4	5
Saturación	12,14	10,21	9,59	9,43	11,01

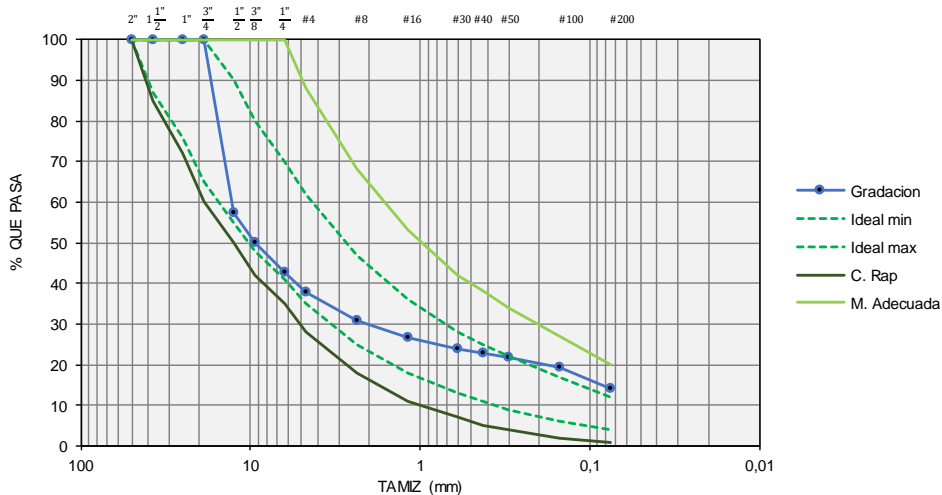


Densidad máxima (g/cm <sup>3</sup> ):	<b>2,075</b>	Humedad óptima:	<b>8,7</b>	Densidad Humeda g/cm3	2,257
Densidad máxima (lbf/pie <sup>3</sup> ):	<b>129,5</b>				

Proyecto:	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
Autor:	Leonardo Gutiérrez Tejedor	Directora:	Sandra Campagnoli Martínez

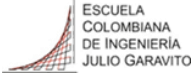
## Gradación de remplazo por partículas de sobre-tamaños por 19mm a 12.5mm – Material PG.

	<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS Y DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N° 200 EN LOS AGREGADOS PETREOS MEDIANTE LAVADO.</b> I.N.V E- 213 y I.N.V E-214									
Identificación (descripción):			Material de Recebo - Material PG remplazo de 19mm a 12,5mm							
Procedencia (localización):			Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.				Fecha:		7 de Diciembre de 2017	
Datos Iniciales.						Gradación 2				
(W) Peso original de la muestra seca+tara (0,1 g)			3096,9			Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials (TG2) Asphalt Academy 2009				
(W) Muestra seca después de lavada+tara (0,1 g)			2702,0							
(W) Peso del platón (0,1 g)			286,6							
P1 muestra seca (0,1g):		2810,3		P2 muestra después de lavado (0,1g)=		2415,4		Recomendada	M. Adecuada	C. Rap
Tamiz(mm)	Tamiz(")	Peso Retenido (Pr)	% Retenido (Por)	% Pasa (PoP)	% Retenido Acumulado	Min	Max	Max	Min	
50	2"	0,0	0,0	100	0	100,0	100,0	100,0	100,0	
37,5	1 1/2"	0,0	0,0	100	0	87,0	100,0	100,0	85,0	
25	1"	0,0	0,0	100	0	76,0	100,0	100,0	72,0	
19	3/4"	0,0	0,0	100	0	65,0	100,0	100,0	60,0	
12,5	1/2"	1197,3	42,6	57	43	55,0	90,0	100,0	50,0	
9,5	3/8"	205,7	7,3	50	50	48,0	80,0	100,0	42,0	
6,3	1/4"	204,8	7,3	43	57	41,0	70,0	100,0	35,0	
4,75	No. 4	137,7	4,9	38	62	35,0	62,0	88,0	28,0	
2,36	No. 8	195,8	7,0	31	69	25,0	47,0	68,0	18,0	
1,18	No. 16	119,3	4,2	27	73	18,0	36,0	53,0	11,0	
0,6	No. 30	78,9	2,8	24	76	13,0	28,0	42,0	7,0	
0,425	No. 40	30,1	1,1	23	77	11,0	25,0	38,0	5,0	
0,3	No. 50	32,6	1,2	22	78	9,0	22,0	34,0	4,0	
0,15	No. 100	67,5	2,4	19	81	6,0	17,0	27,0	2,0	
0,075	No. 200	145,8	5,2	14	86	4,0	12,0	20,0	1,0	
Fondo	P-200	394,9	14,1	0	100					
$\sum Pr. y Por.$		2810,4	100,0	Nota: El análisis granulométrico se realizo por medio de la prueba de lavado de finos.						



<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

**Proctor de remplazo por partículas de sobre-tamaños por 19mm a 12.5mm – Material PG.**

	<b>RELACIONES HUMEDAD - PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYOS MODIFICADO DE COMPACTACION)</b>	
	INV E - 142 - 07	

Identificación (descripción):	Material de Recebo - Material PG	
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha: 27 de noviembre de 2017

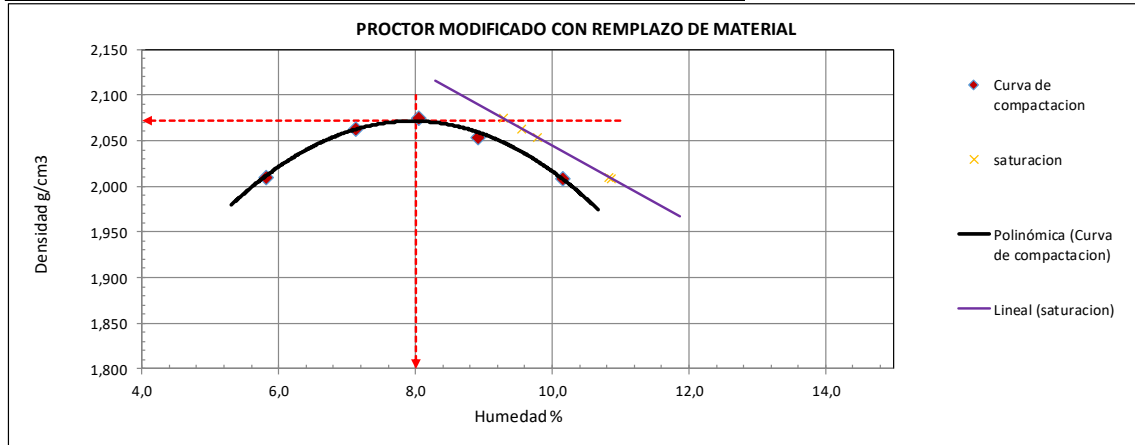
CALCULO DE PESOS UNITARIOS (HUMEDO Y SECO)					
MUESTRA N°	1	2	3	4	5
Masa del molde (Mm) (g)	6419	6419	6419	6419	6419
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2126	2126	2126	2126	2126
Mm+suelo húmedo (g)	10942	11118	11185	11175	11124
Masa del suelo húmedo (g)	4523	4699	4766	4756	4705
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,127</b>	<b>2,210</b>	<b>2,242</b>	<b>2,237</b>	<b>2,213</b>
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,011</b>	<b>2,063</b>	<b>2,075</b>	<b>2,054</b>	<b>2,009</b>
Densidad seca lbf/pie <sup>3</sup>	<b>125,301</b>	<b>128,579</b>	<b>129,307</b>	<b>127,992</b>	<b>125,194</b>

DATOS INICIALES	
Método:	C
Material p. tamiz	3/4" (19mm)
Material mínimo:	29 Kg
Sub muestras	5,9 Kg
Diámetro molde	6" (152,4 mm)
Peso del martillo	10 Lbf (44,48n)
Energía compactación:	2700 kN-m/mm3
N° Capas	5
Golpes/capa	55
Gavedad específica del suelo	2,57

DATOS DE HUMEDAD					
Recipiente N°	150	45	151	89	152
Masa del recipiente (Mr) (g)	183,5	183,2	183,4	146,5	171,1
Mr+Peso suelo húmedo (g)	924,4	1058,0	1024,3	977,7	1324,3
Mr+Peso suelo seco (g)	883,7	999,8	961,7	909,6	1217,9
Masa Agua (g)	40,7	58,2	62,6	68,1	106,4
Masa del suelo seco (g)	700,2	816,6	778,3	763,1	1046,8
Masa del suelo húmedo (g)	740,9	874,8	840,9	831,2	1153,2
Humedad de compactación (%)	<b>5,8</b>	<b>7,1</b>	<b>8,0</b>	<b>8,9</b>	<b>10,2</b>

CALCULO DE HUMEDAD INICIAL	
# de Recipiente	#L51
M recipiente (Mr) (g)	105,1
Mr + Muestra Húmeda (g)	571,4
Mr + Muestra Seca (g)	566,8
Peso del Agua (g)	4,6
Peso del Material Seco (g)	461,7
Peso del Material húmedo (g)	466,3
Húmeda inicial W (%)	1,00%


CURVA DE SATURACION					
Muestra	1	2	3	4	5
Saturación	10,83	9,56	9,29	9,78	10,87

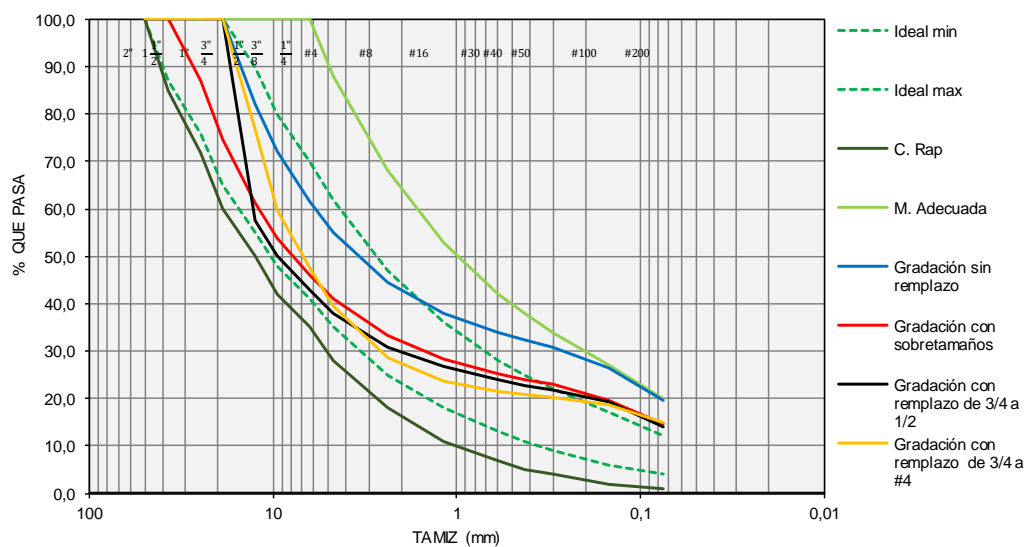


Densidad máxima (g/cm <sup>3</sup> ):	<b>2,071</b>	Humedad optima:	<b>8</b>
Densidad máxima (lbf/pie <sup>3</sup> ):	<b>129,3</b>		

Proyecto:	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
Autor:	Leonardo Gutiérrez Tejedor	Directora:	Sandra Campagnoli Martínez


## Resumen de gradaciones - remplazo por partículas de sobre-tamaños – Material PG.

		<b>ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS Y DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N° 200 EN LOS AGREGADOS PETREOS MEDIANTE LAVADO.</b> I.N.V E- 213 y I.N.V E-214							
<b>Identificación (descripción):</b>		<b>Material de Recebo - Material PG</b>							
<b>Procedencia (localización):</b>		Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.			<b>Fecha:</b>	<b>7 de Diciembre de 2017</b>			
<b>Tendencia granulométrica.</b>						Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials (TG2) Asphalt Academy 2009			
						Recomendada. Adecuad. C. Rap			
Gradaciones		% pasa				Min	Max	Max	Min
		Gradación sin remplazo	Gradación con sobretamaños	Gradación con remplazo de 3/4 a #4	Gradación con remplazo de 3/4 a 1/2				
50	2"	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
37,5	1 1/2"	100,0	100,0	100,0	100,0	87,0	100,0	100,0	85,0
25	1"	100,0	87,0	100,0	100,0	76,0	100,0	100,0	72,0
19	3/4"	100,0	74,7	100,0	100,0	65,0	100,0	100,0	60,0
12,5	1/2"	82,0	61,2	76,8	57,4	55,0	90,0	100,0	50,0
9,5	3/8"	72,2	53,9	59,9	50,1	48,0	80,0	100,0	42,0
6,3	1/4"	61,6	46,0	47,6	42,8	41,0	70,0	100,0	35,0
4,75	No. 4	54,9	41,0	39,5	37,9	35,0	62,0	88,0	28,0
2,36	No. 8	44,4	33,2	28,7	30,9	25,0	47,0	68,0	18,0
1,18	No. 16	38,0	28,4	23,5	26,7	18,0	36,0	53,0	11,0
0,6	No. 30	33,9	25,3	21,3	23,9	13,0	28,0	42,0	7,0
0,425	No. 40	32,3	24,1	20,9	22,8	11,0	25,0	38,0	5,0
0,3	No. 50	30,7	22,9	20,4	21,6	9,0	22,0	34,0	4,0
0,15	No. 100	26,4	19,7	18,6	19,2	6,0	17,0	27,0	2,0
0,075	No. 200	19,6	14,7	15,0	14,0	4,0	12,0	20,0	1,0
Fondo	P-200	0,0	0,0	0,0	0,0				



<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor		<b>Directora:</b> Sandra Campagnoli Martínez

## Resumen de proctor - remplazo por partículas de sobre-tamaños– Material PG.

	<b>RELACIONES HUMEDAD - PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYOS MODIFICADO DE COMPACTACION)</b>
---	---

Identificación (descripción):	Material de Recebo - Material PG		
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha:	27 de noviembre de 2017

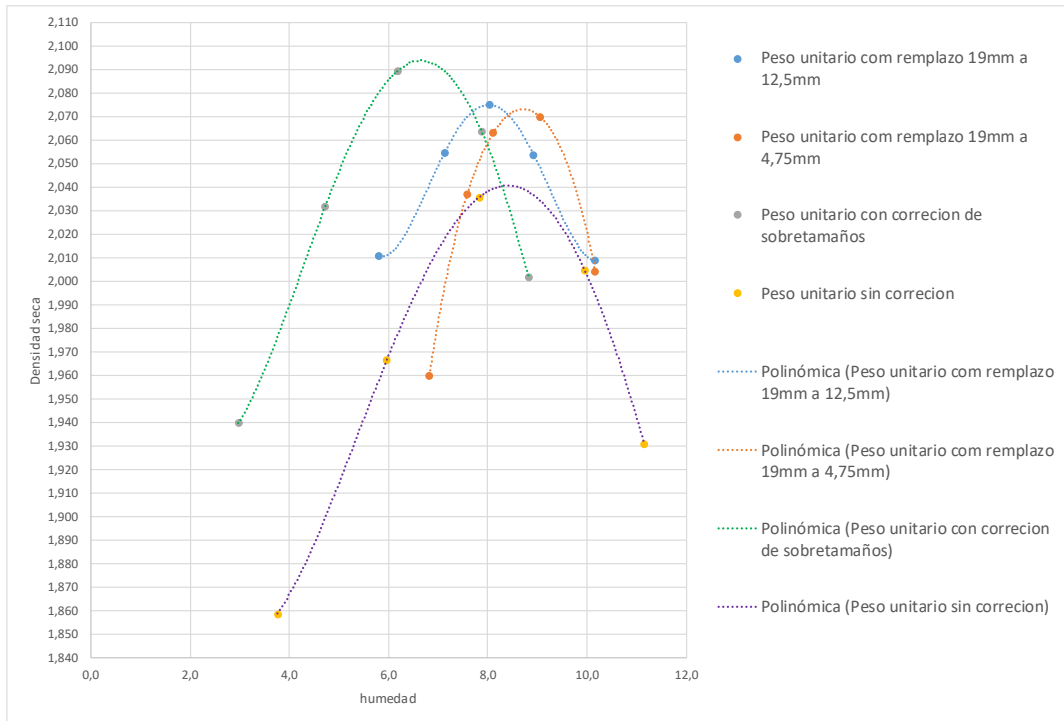
CALCULO DE PESOS UNITARIOS	Datos optimos
----------------------------	---------------

Peso unitario sin correccion							
Datos	1	2	3	4	5		
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,859	1,966	2,036	2,005	1,931	Densidad maxima (g/cm3)	2,040
Humedad de compactacion (%)	3,8	6,0	7,8	10,0	11,2	Humedad optima %	8,4

Peso unitario con correccion de sobretamaños							
Datos	1	2	3	4	5		
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,940	2,032	2,089	2,064	2,002	Densidad maxima (g/cm3)	2,09
Humedad de compactacion (%)	3,0	4,7	6,2	7,9	8,8	Humedad optima %	6,7

Peso unitario con remplazo 19mm a 4,75mm							
Datos	1	2	3	4	5		
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,960	2,037	2,063	2,070	2,004	Densidad maxima (g/cm3)	2,075
Humedad de compactacion (%)	6,8	7,6	8,1	9,1	10,2	Humedad optima %	8,7

Peso unitario con remplazo 19mm a 12,5mm							
Datos	1	2	3	4	5		
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,011	2,054	2,075	2,054	2,009	Densidad maxima (g/cm3)	2,071
Humedad de compactacion (%)	5,8	7,1	8,0	8,9	10,2	Humedad optima %	8



Proyecto:	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
Autor:	Leonardo Gutiérrez Tejedor	Directora:	Sandra Campagnoli Martínez



**Gradación de remplazo por partículas de sobre-tamaños por 19mm a 4.75mm – Material PF.**

	<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS Y DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N° 200 EN LOS AGREGADOS PETREOS MEDIANTE LAVADO.</b> I.N.V E-213 y I.N.V E-214
---	--

<b>Identificación (descripción):</b>	<b>Material de recebo - material PF- remplazo 19mm a 4,75mm</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia</b>	<b>Fecha:</b>	<b>9 de diciembre de 2017</b>

<b>Datos Iniciales.</b>		<b>Gradación 2</b>	
(W) Peso original de la muestra seca+tara (0,1 g)	3014,5	Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials (TG2) Asphalt Academy 2009	
(W) Muestra seca después de lavada+tara (0,1 g)	2511,7		
(W) Peso del platón (0,1 g)	234,1		

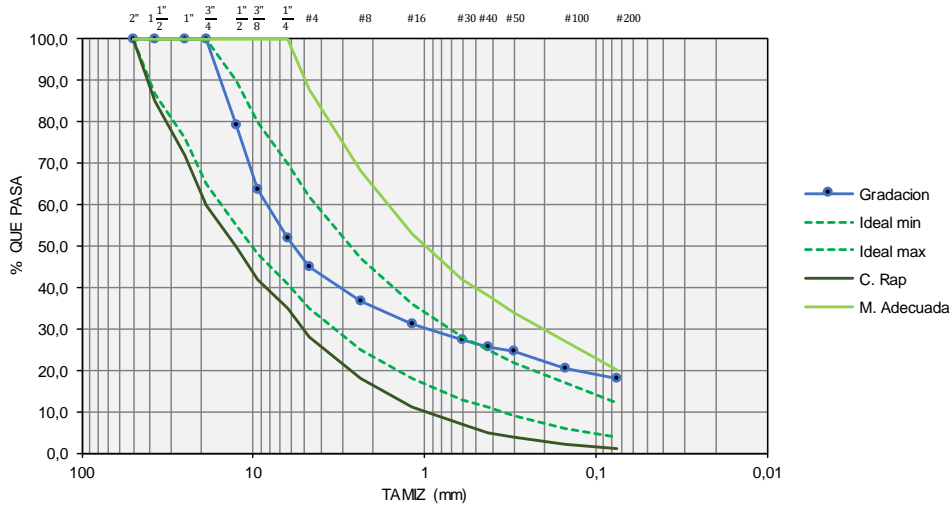
P1 muestra seca (0,1g): **2780,4**    P2 muestra después de lavado (0,1g)= **2277,6**    Recomendada M. Adecuada C. Rap

Tamiz(mm)	Tamiz(")	Peso Retenido (Pr)	% Retenido (Por)	% Pasa (PoP)	% Retenido Acumulado	Min	Max	Max	Min
50	2"	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0	100,0	100,0	100,0
37,5	1 1/2"	0,0	0,0	100,0	0,0	87,0	100,0	100,0	85,0
25	1"	0,0	0,0	100,0	0,0	76,0	100,0	100,0	72,0
19	3/4"	0,0	0,0	100,0	0,0	65,0	100,0	100,0	60,0
12,5	1/2"	577,7	20,8	79,2	20,8	55,0	90,0	100,0	50,0
9,5	3/8"	435,4	15,7	63,6	36,4	48,0	80,0	100,0	42,0
6,3	1/4"	325,7	11,7	51,8	48,2	41,0	70,0	100,0	35,0
4,75	No. 4	187,4	6,7	45,1	54,9	35,0	62,0	88,0	28,0
2,36	No. 8	236,1	8,5	36,6	63,4	25,0	47,0	68,0	18,0
1,18	No. 16	148,8	5,4	31,3	68,7	18,0	36,0	53,0	11,0
0,6	No. 30	108,3	3,9	27,4	72,6	13,0	28,0	42,0	7,0
0,425	No. 40	44,4	1,6	25,8	74,2	11,0	25,0	38,0	5,0
0,3	No. 50	37,0	1,3	24,4	75,6	9,0	22,0	34,0	4,0
0,15	No. 100	114,3	4,1	20,3	79,7	6,0	17,0	27,0	2,0
0,075	No. 200	61,8	2,2	18,1	81,9	4,0	12,0	20,0	1,0
Fondo	P-200	502,8	18,1	0,0	100,0				

$\sum Pr. y Por.$

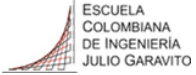
2779,7    100,0

Nota: El análisis granulométrico se realizó por medio de la prueba de lavado de finos.



<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

Proctor de remplazo por partículas de sobre-tamaños por 19mm a 4.75mm – Material PF.

	<b>RELACIONES HUMEDAD - PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYOS MODIFICADO DE COMPACTACION)</b>	
	INV E - 142 - 07	

Identificación (descripción):	Material de recebo - Material PF- remplazo 19mm a 4,75mm	
Procedencia (localización):	Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia	Fecha: 27 de noviembre de 2017

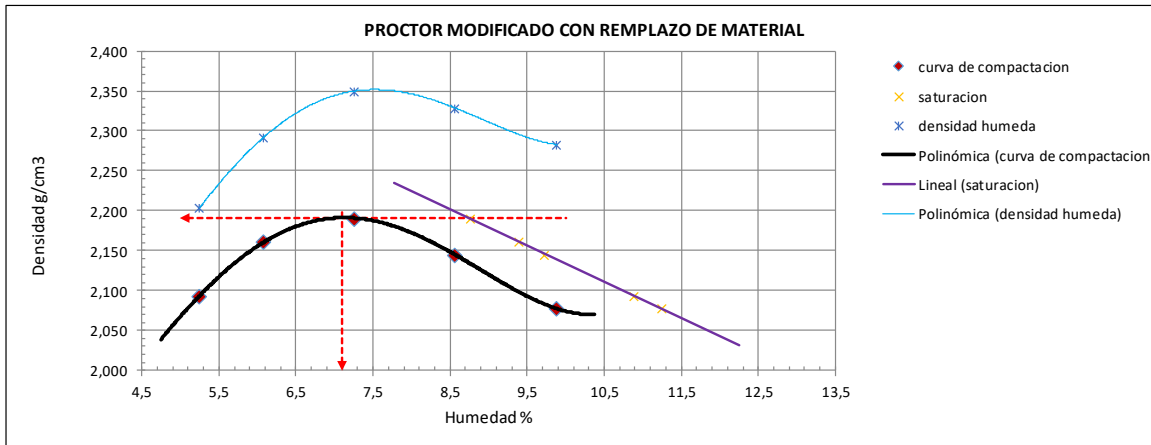
CALCULO DE PESOS UNITARIOS (HUMEDO Y SECO)					
MUESTRA N°	1	2	3	4	5
Masa del molde (Mm) (g)	6419	6419	6419	6419	6419
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2126	2126	2126	2126	2126
Mm+suelo húmedo (g)	11103	11292	11415	11370	11272
Masa del suelo húmedo (g)	4684	4873	4996	4951	4853
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,203</b>	<b>2,292</b>	<b>2,350</b>	<b>2,329</b>	<b>2,283</b>
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,093</b>	<b>2,161</b>	<b>2,191</b>	<b>2,145</b>	<b>2,077</b>
Densidad seca (lb/ft <sup>3</sup> )	<b>130,458</b>	<b>134,651</b>	<b>136,523</b>	<b>133,686</b>	<b>129,464</b>

DATOS INICIALES	
Método:	C
Material p. tamiz	3/4" (19mm)
Material mínimo:	29 Kg
Sub muestras	5,9 Kg
Diámetro molde	6" (152,4 mm)
Peso del martillo	10 Lbf (44,48n)
Energía compactación:	2700 kN-m/mm3
N° Capas	5
Golpes/capa	55
Gavedad específica del suelo	2,71

DATOS DE HUMEDAD					
Recipiente N°	252	8	104	66	209
Masa del recipiente (Mr) (g)	152,3	175,2	122,3	165,3	110,9
Mr+Peso suelo húmedo (g)	786,1	1045,3	660,8	1115,2	576,8
Mr+Peso suelo seco (g)	754,5	995,4	624,3	1040,3	534,9
Masa Agua (g)	31,6	49,9	36,5	74,9	41,9
Masa del suelo seco (g)	602,2	820,2	502,0	875,0	424,0
Masa del suelo húmedo (g)	633,8	870,1	538,5	949,9	465,9
Humedad de compactación (%)	<b>5,2</b>	<b>6,1</b>	<b>7,3</b>	<b>8,6</b>	<b>9,9</b>

CALCULO DE HUMEDAD INICIAL	
# de Recipiente	184
M recipiente (Mr) (g)	112,1
Mr + Muestra Húmeda (g)	511,9
Mr + Muestra Seca (g)	502
Peso del Agua (g)	9,9
Peso del Material Seco (g)	389,9
Peso del Material húmedo (g)	399,8
Húmeda inicial W (%)	2,54%


CURVA DE SATURACION					
Muestra	1	2	3	4	5
Saturación	10,89	9,40	8,77	9,74	11,26

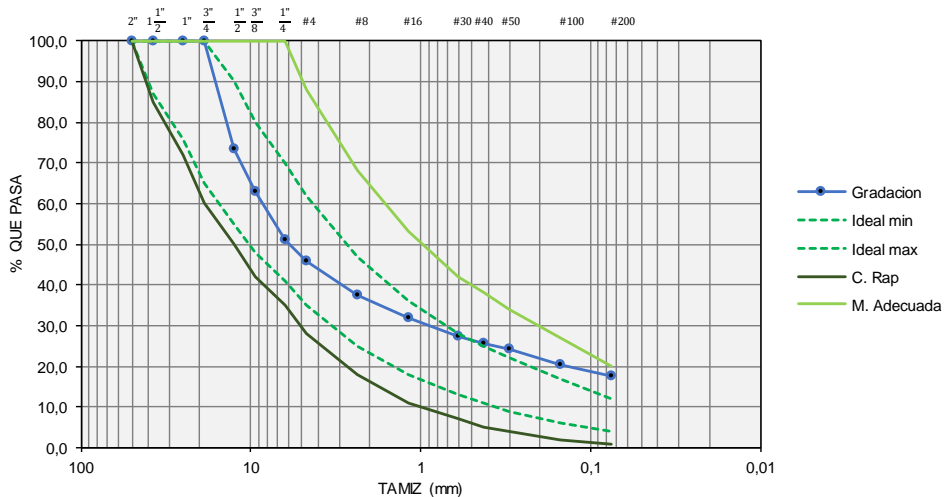


Densidad máxima (g/cm <sup>3</sup> ):	2,191	Humedad optima:	7,1	Densidad máx hum (g/cm <sup>3</sup> )	2.352
Densidad máxima (lb/ft <sup>3</sup> ):	136,8				

Proyecto:	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
Autor:	Leonardo Gutiérrez Tejedor	Directora:	Sandra Campagnoli Martínez

Gradación de remplazo por partículas de sobre-tamaños por 19mm a 12.5mm – Material PF.

		<b>ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS Y DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N° 200 EN LOS AGREGADOS PETREOS MEDIANTE LAVADO.</b> I.N.V E- 213 y I.N.V E-214							
<b>Identificación (descripción):</b> Material de recebo - Material PF- remplazo 19mm a 12,5mm									
<b>Procedencia (localización):</b> Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia		<b>Fecha:</b> 9 de diciembre de 2017							
<b>Datos Iniciales.</b>				Gradación 2					
(W) Peso original de la muestra seca+tara (0,1 g)		3312,4		Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials (TG2) Asphalt Academy 2009					
(W) Muestra seca después de lavada+tara (0,1 g)		2761,6							
(W) Peso del platón (0,1 g)		212,3							
P1 muestra seca (0,1g): <b>3100,1</b>		P2 muestra después de lavado (0,1g)= <b>2549,3</b>		Recomendada		M. Adecuada		C. Rap	
Tamiz(mm)	Tamiz(")	Peso Retenido (Pr)	% Retenido (Por)	% Pasa (PoP)	% Retenido Acumulado	Min	Max	Max	Min
50	2"	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0	100,0	100,0	100,0
37,5	1 1/2"	0,0	0,0	100,0	0,0	87,0	100,0	100,0	85,0
25	1"	0,0	0,0	100,0	0,0	76,0	100,0	100,0	72,0
19	3/4"	0,0	0,0	100,0	0,0	65,0	100,0	100,0	60,0
12,5	1/2"	824,2	26,6	73,4	26,6	55,0	90,0	100,0	50,0
9,5	3/8"	329,1	10,6	62,8	37,2	48,0	80,0	100,0	42,0
6,3	1/4"	367,7	11,9	50,9	49,1	41,0	70,0	100,0	35,0
4,75	No. 4	156,5	5,0	45,9	54,1	35,0	62,0	88,0	28,0
2,36	No. 8	264,9	8,5	37,3	62,7	25,0	47,0	68,0	18,0
1,18	No. 16	166,2	5,4	32,0	68,0	18,0	36,0	53,0	11,0
0,6	No. 30	138,4	4,5	27,5	72,5	13,0	28,0	42,0	7,0
0,425	No. 40	56,8	1,8	25,7	74,3	11,0	25,0	38,0	5,0
0,3	No. 50	45,5	1,5	24,2	75,8	9,0	22,0	34,0	4,0
0,15	No. 100	120,3	3,9	20,3	79,7	6,0	17,0	27,0	2,0
0,075	No. 200	79,8	2,6	17,8	82,2	4,0	12,0	20,0	1,0
Fondo	P-200	550,8	17,8	0,0	100,0				
$\sum Pr. y Por.$		3100,2	100,0	Nota: El análisis granulométrico se realizo por medio de la prueba de lavado de finos.					



<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Proctor de remplazo por partículas de sobre-tamaños por 19mm a 12.5mm – Material PF.

	<b>RELACIONES HUMEDAD - PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYOS MODIFICADO DE COMPACTACION)</b>	
	INVE - 142 - 07	

Identificación (descripción):	Material de recebo - Material PF - Remplazo 19mm a 12,5mm	
Procedencia (localización):	Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia	Fecha: 27 de noviembre de 2017

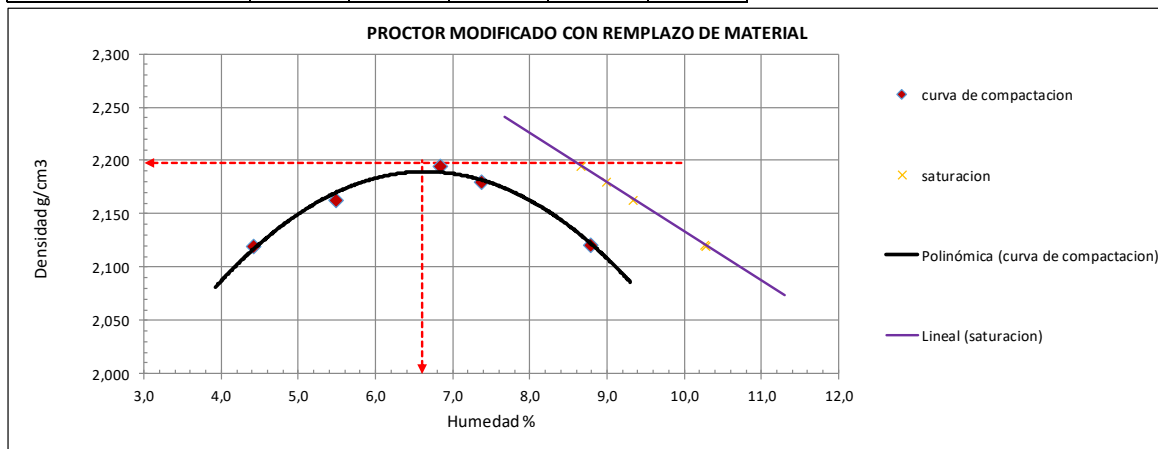
CALCULO DE PESOS UNITARIOS (HUMEDO Y SECO)					
MUESTRA N°	1	2	3	4	5
Masa del molde (Mm) (g)	6419	6419	6419	6419	6419
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2126	2126	2126	2126	2126
Mm+suelo húmedo (g)	11125	11271	11406	11395	11324
Masa del suelo húmedo (g)	4706	4852	4987	4976	4905
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,214</b>	<b>2,282</b>	<b>2,346</b>	<b>2,341</b>	<b>2,307</b>
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,120</b>	<b>2,163</b>	<b>2,195</b>	<b>2,180</b>	<b>2,121</b>
Densidad seca lbf/pie <sup>3</sup>	<b>132,105</b>	<b>134,826</b>	<b>136,815</b>	<b>135,829</b>	<b>132,150</b>

DATOS INICIALES	
Método:	C
Material p. tamiz	3/4" (19mm)
Material mínimo:	29 Kg
Sub muestras	5,9 Kg
Diámetro molde	6" (152,4 mm)
Peso del martillo	10 Lbf (44,48n)
Energía compactación:	2700 kN-m/mm <sup>3</sup>
N° Capas	5
Golpes/capa	55
Gavedad específica del suelo	2,71

DATOS DE HUMEDAD					
Recipiente N°	I55	e15	I56	e14	I57
Masa del recipiente (Mr) (g)	172,2	171,3	186,9	178,9	178,0
Mr+Peso suelo húmedo (g)	1142,5	945,7	1182,2	1548,3	1386,9
Mr+Peso suelo seco (g)	1101,4	905,4	1118,4	1454,1	1289,1
Masa Agua (g)	41,1	40,3	63,8	94,2	97,8
Masa del suelo seco (g)	929,2	734,1	931,5	1275,2	1111,1
Masa del suelo húmedo (g)	970,3	774,4	995,3	1369,4	1208,9
Humedad de compactación (%)	<b>4,4</b>	<b>5,5</b>	<b>6,8</b>	<b>7,4</b>	<b>8,8</b>

CALCULO DE HUMEDAD INICIAL	
# de Recipiente	T7
M recipiente (Mr) (g)	175,2
Mr + Muestra Húmeda (g)	883,3
Mr + Muestra Seca (g)	868,5
Peso del Agua (g)	14,8
Peso del Material Seco (g)	693,3
Peso del Material húmedo (g)	708,1
Húmeda inicial W (%)	2,13%

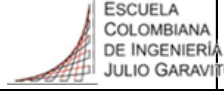
CURVA DE SATURACION					
Muestra	1	2	3	4	5
Saturación	10,30	9,34	8,67	9,00	10,28

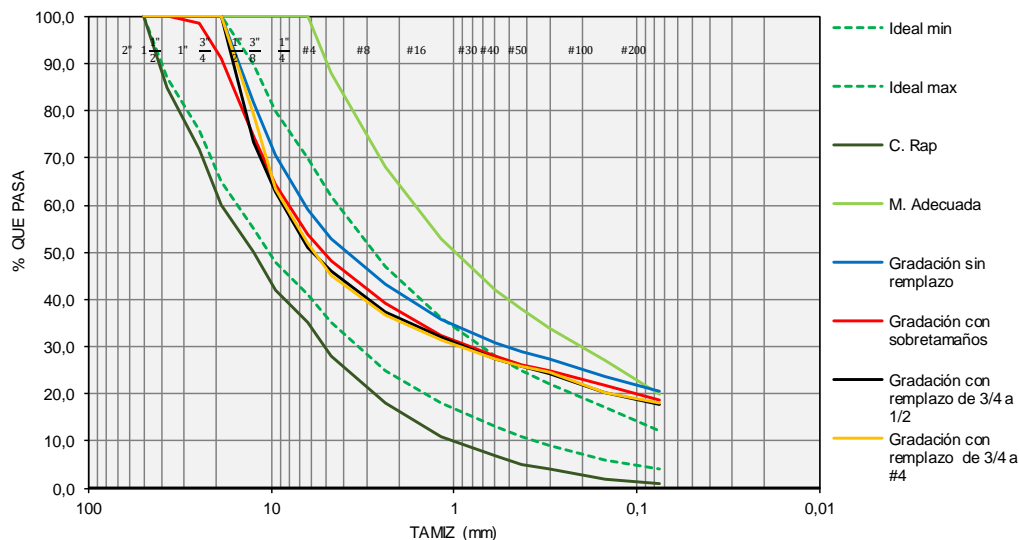


Densidad máxima (g/cm <sup>3</sup> ):	2,197	Humedad óptima:	6,6
Densidad máxima (lbf/pie <sup>3</sup> ):	137,1		

Proyecto:	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
Autor:	Leonardo Gutiérrez Tejedor	Directora:	Sandra Campagnoli Martínez

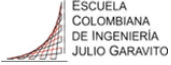
## Resumen de gradaciones - remplazo por partículas de sobre-tamaños – Material PF.

		<b>ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS Y DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N° 200 EN LOS AGREGADOS PETREOS MEDIANTE LAVADO.</b> I.N.V E- 213 y I.N.V E-214							
Identificación (descripción):		Material de recebo - Material PF							
Procedencia (localización):		Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia				Fecha:	9 de diciembre de 2017		
Tendencia granulométrica.						Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials (TG2) Asphalt Academy 2009			
		% pasa				Recomendada.		Adecuad. C. Rap	
Gradaciones	Gradación sin remplazo	Gradación con sobretamaños	Gradación con remplazo de 3/4 a #4	Gradación con remplazo de 3/4 a 1/2	Min	Max	Max	Min	
50	2"	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
37,5	1 1/2"	100,0	100,0	100,0	100,0	87,0	100,0	85,0	
25	1"	100,0	98,7	100,0	100,0	76,0	100,0	72,0	
19	3/4"	100,0	91,0	100,0	100,0	65,0	100,0	60,0	
12,5	1/2"	81,9	74,6	79,2	73,4	55,0	90,0	50,0	
9,5	3/8"	70,6	64,3	63,6	62,8	48,0	80,0	42,0	
6,3	1/4"	59,0	53,8	51,8	50,9	41,0	70,0	35,0	
4,75	No. 4	52,9	48,2	45,1	45,9	35,0	62,0	28,0	
2,36	No. 8	43,1	39,3	36,6	37,3	25,0	47,0	18,0	
1,18	No. 16	35,7	32,5	31,3	32,0	18,0	36,0	11,0	
0,6	No. 30	30,8	28,0	27,4	27,5	13,0	28,0	7,0	
0,425	No. 40	28,8	26,2	25,8	25,7	11,0	25,0	5,0	
0,3	No. 50	27,5	25,0	24,4	24,2	9,0	22,0	4,0	
0,15	No. 100	23,8	21,6	20,3	20,3	6,0	17,0	2,0	
0,075	No. 200	20,5	18,6	18,1	17,8	4,0	12,0	1,0	
Fondo	P-200	0,0	0,0	0,0	0,0				

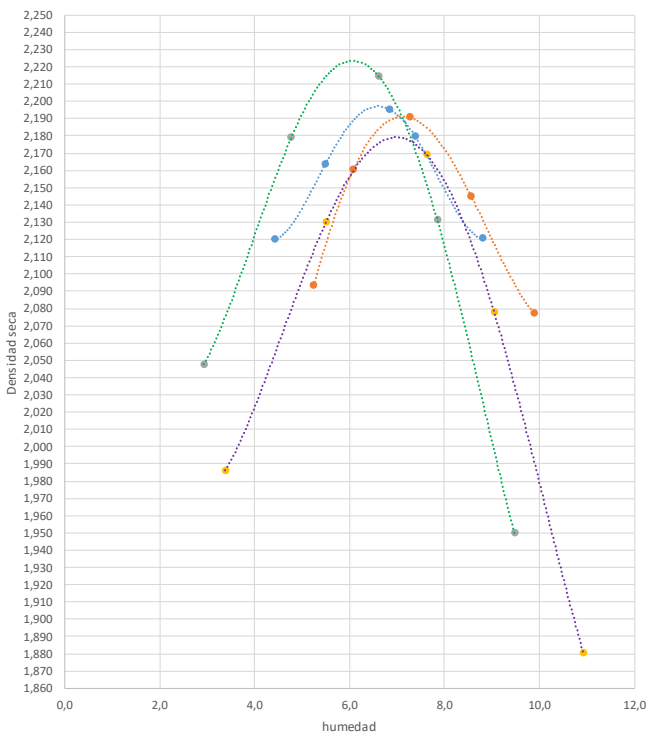


<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor		<b>Directora:</b> Sandra Campagnoli Martínez

## Resumen de proctor - remplazo por partículas de sobre-tamaños – Material PF.

		RELACIONES HUMEDAD - PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYOS MODIFICADO DE COMPACTACION)					
Identificación (descripción):		Material de recebo - Material PF					
Procedencia (localización):		Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia		Fecha:	27 de noviembre de 2017		
CALCULO DE PESOS UNITARIOS			Datos óptimos				
<b>Peso unitario sin correccion</b>							
Datos	1	2	3	4	5	Densidad maxima (g/cm <sup>3</sup> )	2,172
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,986	2,130	2,169	2,078	1,881	Humedad optima %	7,3
Humedad de compactacion (%)	3,4	5,5	7,6	9,0	10,9		
<b>Peso unitario con correccion de sobretamaños</b>							
Datos	1	2	3	4	5	Densidad maxima (g/cm <sup>3</sup> )	2,224
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,047	2,179	2,214	2,132	1,950	Humedad optima %	6,1
Humedad de compactacion (%)	2,9	4,8	6,6	7,8	9,5		
<b>Peso unitario con remplazo 19mm a 4,75mm</b>							
Datos	1	2	3	4	5	Densidad maxima(g/cm <sup>3</sup> )	2,191
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,093	2,161	2,191	2,145	2,077	Humedad optima %	7,2
Humedad de compactacion (%)	5,2	6,1	7,3	8,6	9,9		
<b>Peso unitario con remplazo 19mm a 12,5mm</b>							
Datos	1	2	3	4	5	Densidad maxima (g/cm <sup>3</sup> )	2,197
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,120	2,163	2,195	2,180	2,121	Humedad optima %	6,6
Humedad de compactacion (%)	4,4	5,5	6,8	7,4	8,8		

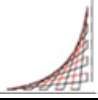


- Peso unitario con remplazo 19mm a 12,5mm
- Peso unitario con remplazo 19mm a 4,75mm
- Peso unitario con correccion de sobretamaños
- Peso unitario sin correccion
- ..... Polinómica (Peso unitario con remplazo 19mm a 12,5mm)
- ..... Polinómica (Peso unitario con remplazo 19mm a 4,75mm)
- ..... Polinómica (Peso unitario con correccion de sobretamaños)
- ..... Polinómica (Peso unitario sin correccion)

Proyecto:	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
Autor:	Leonardo Gutiérrez Tejedor	Directora:	Sandra Campagnoli Martínez

## Anexo 4 Caracterización asfalto.

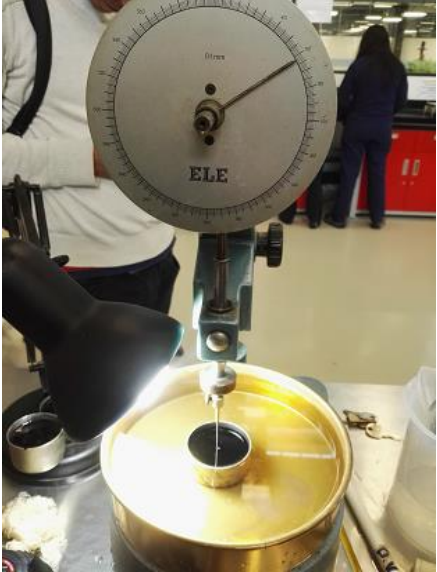
### Caracterización asfalto - Penetración.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>PENETRACION DE MATERIALES BITUMINOSOS</b>  I.N.V E- 706-13		
	<b>Identificación (descripción):</b> Material de asfalto 80-100		
<b>Procedencia (localización):</b> Humberto Quintero	<b>Fecha:</b>	<b>23-mar</b>	

Ensayo 1	
Penetración 1 a 25°C	95
Penetración 2 a 25°C	96
Penetración 3 a 25°C	95
Promedio a 25°C	95,3
Diferencia máxima entre los valores extremos	<b>2</b>

Ensayo 2	
Penetración 1 a 25°C	100
Penetración 2 a 25°C	97
Penetración 3 a 25°C	98
Promedio a 25°C	98,3
Diferencia máxima entre los valores extremos	<b>2</b>



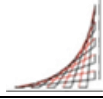
Nota1: Tiempo utilizado 5 (s)

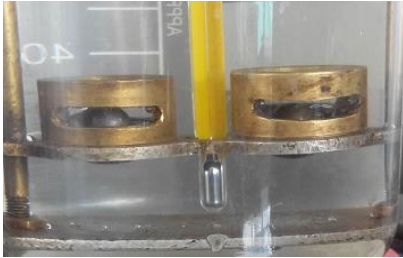
Nota2: carga utilizada 100g

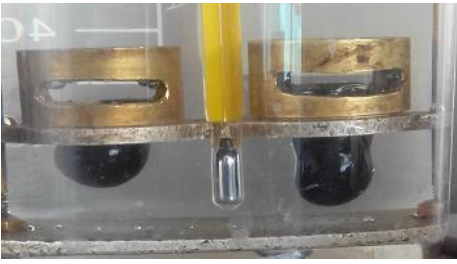
Nota3: Temperatura de ensayo 25°C

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización asfalto – Ablandamiento.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE MATERIALES BITUMINOSOS</b> I.N.V E- 712-13		
	<b>Identificación (descripción):</b> Material de asfalto 80-100		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Humberto Quintero</b>	<b>Fecha:</b>	<b>23-mar</b>

Ensayo 1	
<b>Resultado</b>	
47,8	

Ensayo 2	
<b>Resultado</b>	
47,4	

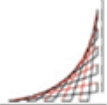
	Resultado1	Resultado 2	Promedio
valor	47,8	47,4	47,6

Nota1: Termómetro utilizado de 15°F

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



## Caracterización asfalto – Índice de penetración.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>INDICE DE PENETRACION DE LOS CEMENTOS ASFALTICOS</b>		
	I.N.V E- 724-13		

<b>Identificación (descripción):</b>	<b>Material de asfalto 80-100</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Humberto Quintero</b>	<b>Fecha:</b>	<b>23-mar</b>

Penetración en 0,1mm a 25°C	Ensayo 1 (mm)			Ensayo 2 (mm)		
	1	2	3	1	2	3
Resultados	95	96	95	100	97	98
<b>Promedio</b>	<b>95,3</b>			<b>98,3</b>		

Punto de ablandamiento	Ensayo 1 (°C)		Ensayo 2 (°C)	
Resultados	47,8		47,4	
<b>Promedio</b>	<b>47,6</b>			

Ensayo índice de penetración	Ensayo 1		Ensayo 2	
Parametro (f)	2,04		2,01	
<b>Índice de penetración (IP)</b>	<b>-0,1</b>		<b>-0,05</b>	

Nota1

---




---



---

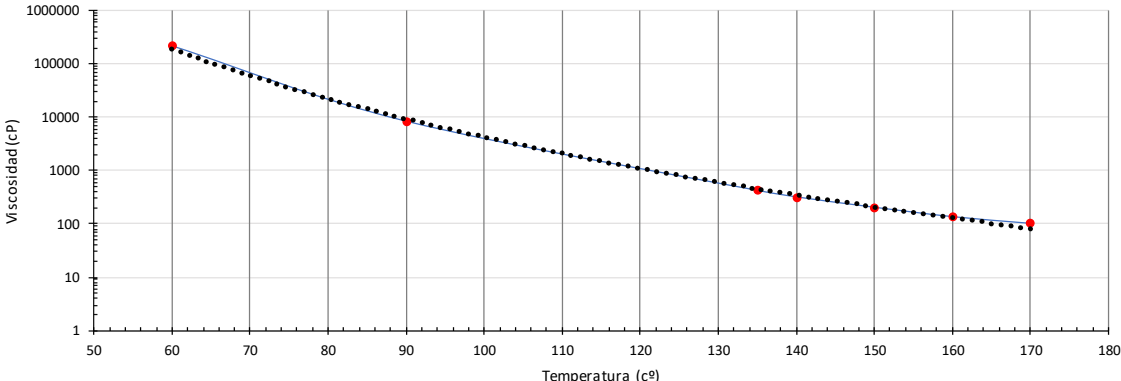
<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización asfalto – viscosidad.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA JULIO GARAVITO		DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD DEL ASFALTO EMPLEANDO UN VISCOSIMETRO ROTACIONAL I.N.V E- 717-13							
Identificación (descripción):		Material de asfalto 80-100							
Procedencia (localización):		Humberto Quintero			Fecha:		23-mar		
Ensayo									
Temperatura	lectura de viscosidad (cP)				% de torque				velocidad de giro (rpm)
	1min	2min	3min	Promedio	1min	2min	3min	Promedio	
60	212000	212000	214500	212833	10	10	10	10	0,1
90	8250	8250	8250	8250	17	17	16	17	5
135	413	413	425	417	13	13	13	13	10
140	314	314	316	315	14	14	14	14	110
150	201	201	201	201	14	14	14	14	170
160	134	134	134	134	13	13	13	13	250
170	100	100	101	100	10	11	10	10	250

### Curva Reologica



<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

Caracterización asfalto – Certificados del proveedor.



CERTIFICADO DE CALIDAD		
Código: DG-GAC-09	Versión:00	Fecha: 15/04/2016

CLIENTE: ING.SANDRA ESCUELA N INGENIERIA  
 PRODUCTO: Cemento Asfáltico 80/100 Normalizado  
 FECHA: FEBRERO 21 DE 2018

MUESTRAS DE LABORATORIO

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	NORMA ENSAYOS	ASFALTO 80-100		Resultado
			Min.	Máx.	
Penetración (25°C, 100 g, 5 s)	0.1mm	E-706	80	100	95,3
Punto de Ablandamiento.	°C	E-712	45	52	45,1
Índice de penetración	-	E-724	-1,2	0,6	-0,91
Viscosidad absoluta (60° C)	P	E-717	1000	-	1960
Ductilidad a 25°C	cm	E-702	100	-	>100
Solubilidad en tricloroetileno	%	E-713	99	-	99,62
Contenido de agua	%	E-704	-	0,2	0
Punto de ignición mediante copa abierta de Cleveland	°C	E-709	230	-	268
Contenido de parafinas	%	E-718	-	3	1,7
Peso Especifico 25°C	Kg/m <sup>3</sup>	E-707	-	-	1011,12
Pérdida de masa por calentamiento en película delgada en movimiento (163°C, 85 minutos).	%	E-720	-	1	0,268
Penetración del residuo luego de la pérdida por calentamiento (E-720), en % de la penetración original.	%	E-706	46	-	56,34
Incremento en el punto de ablandamiento luego de la pérdida por calentamiento en película delgada en movimiento.	°C	E-712	-	9	8,8
Índice de envejecimiento	-	E-716/717	-	4	3,12
Temperatura de mezcla (°C)	°C	ASTM D 2493	REPORTAR		144-150
Temperatura de compactación (°C)	°C	ASTM D 2493	REPORTAR		134-137

NOTA: El producto asfáltico relacionado es elaborado y normalizado en planta, las temperaturas de compactación en obra son más bajas que las registradas en la curva regional. El fabricante recomienda un rango de temperatura de compactación entre 125°C y 140°C.

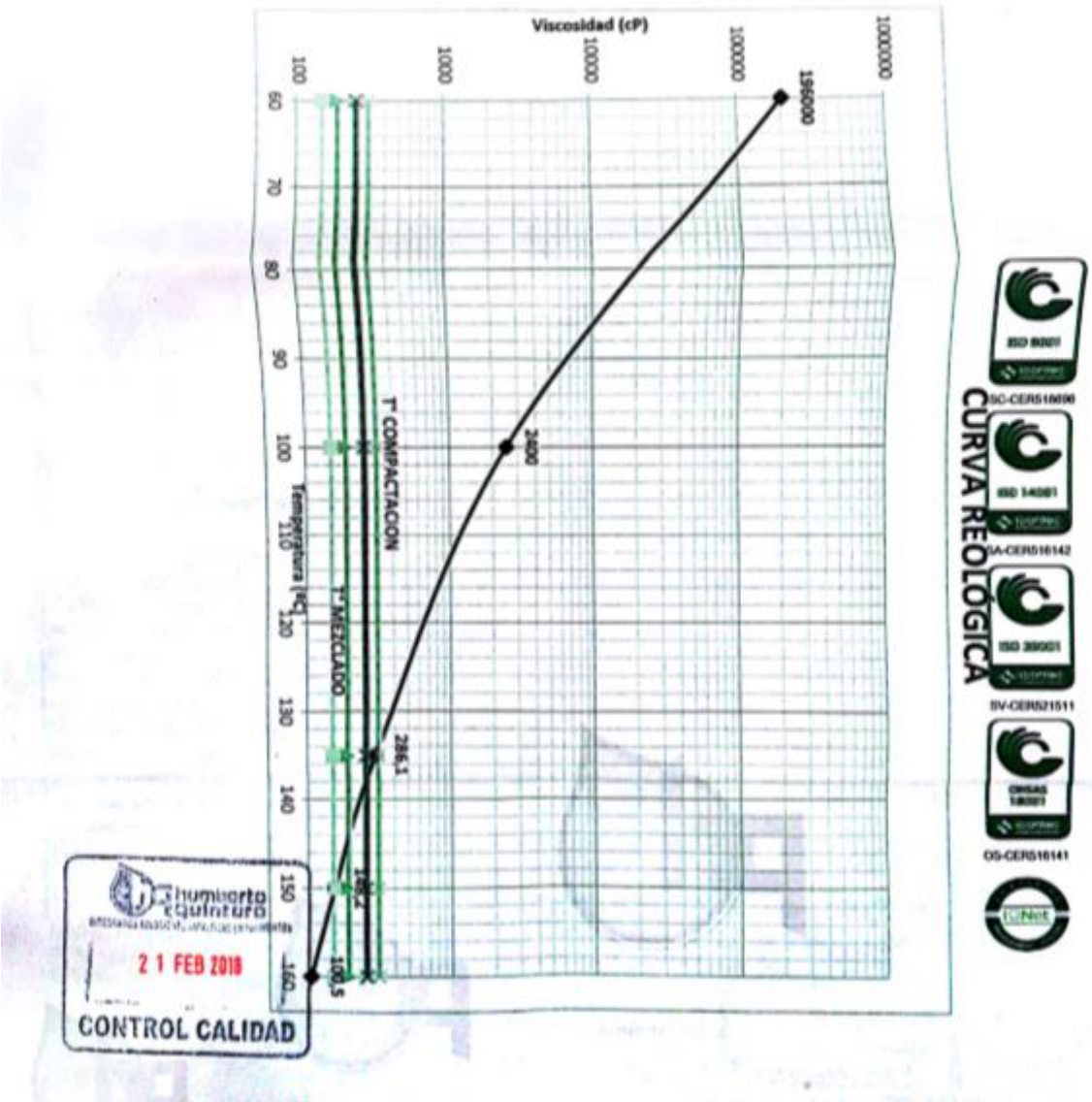
Ensayado por: *Angela Chirib*  
 Firma: *Angela Chirib*  
 Láb. De Control de Calidad

Autoriza: *Erick Daniel Caldonio*  
 Sello: **GERENCIA**  
 Ing. Erick Daniel Caldonio  
 Gerente Técnico

[www.humberfoquintero.com](http://www.humberfoquintero.com)

Sede Administrativa: Calle 8 No 38-80 Bodega 4 Menga, Yumbo, Valle del Cauca Teléfono: (57)(2) 664 00 19 Celular: 316 5279048- 316 5252290  
 Planta: km 30 vía Barrancabermeja-Bucaramanga Sector La Litama. Celular: (57) 317 6363443 – (57) 315 611 8909

Caracterización asfalto – Certificados del proveedor.







## Caracterización Ca(OH)<sub>2</sub> – pH Material PG.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>ESTIMACION DE CANTIDAD DE CAL NECESARIA PARA ESTABILIZAR UN SUELO A PARTIR DE LA MEDIDA DEL pH</b>	
	I.N.V. E-601	

Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y pH Hidróxido de calcio - Material PG - Ca(OH)<sub>2</sub></b>	
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Fecha: <b>13/08/2017</b>

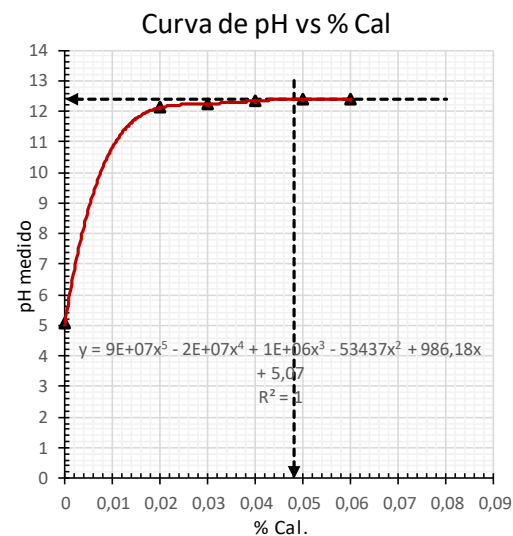
La muestra se dejó secar a una temperatura de 50°C en un horno hasta masa constante, y se tomaron 350 gramos de material.

CALCULO DE HUMEDAD DESPUES DE 50°C	
# de Recipiente	#009
M recipiente (Mr) (g)	132,1
Mr + Muestra Húmeda (g)	213,7
Mr + Muestra Seca (g)	213,1
Peso del Agua (g)	0,6
Peso del Material Seco (g)	81
Peso del Material húmedo (g)	81,6
<b>Húmeda inicial W (%)</b>	<b>0,74%</b>

CALCULO MASA INICIAL	
Masa secada a 60°C (0,01g)	25,00
Húmeda inicial W (0,01%)	0,74%
Masa de ensayo (0,01g)	<b>25,19</b>

Porcentajes.	pH
<b>0%</b> Solo suelo.	<b>5,07</b>
<b>2%</b> Hidróxido de calcio	<b>12,12</b>
<b>3%</b> Hidróxido de calcio	<b>12,25</b>
<b>4%</b> Hidróxido de calcio	<b>12,34</b>
<b>5%</b> Hidróxido de calcio	<b>12,40</b>
<b>6%</b> Hidróxido de calcio	<b>12,41</b>
<b>100%</b> 2,00 g Hidróxido de calcio	<b>12,43</b>

Aproximación	0,01%	0,1%
<b>% optimo de cal</b> Hidróxido de calcio	4,80%	<b>4,8%</b>



Nota 1: El agua utilizada fue hervida y enfriada antes de realizar el ensayo.

Nota 2: Se calibro el pH con una solución buffer de 10 pH.

Nota 3: Se verifico el pH del agua (6,54pH).

Nota 4: Se utilizo un recipiente hermético con el fin de conservar la humedad.

Nota 5: A baño maría se conserva la temperatura a 25 °C de la solución agua+suelo+cal.

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Caracterización CaO – pH Material PG.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>ESTIMACION DE CANTIDAD DE CAL NECESARIA PARA ESTABILIZAR UN SUELO A PARTIR DE LA MEDIDA DEL pH</b>
	<b>I.N.V. E-601</b>

Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y pH Oxido de calcio - Material PG - CaO</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Fecha:	<b>13/08/2017</b>

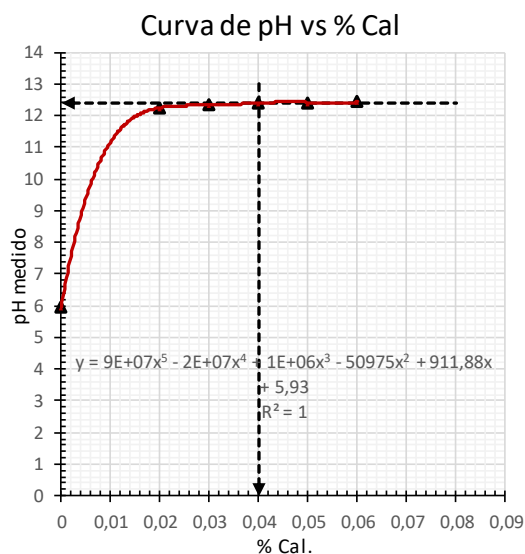
La muestra se dejó secar a una temperatura de 50°C en un horno hasta masa constante, y se toman 350 gramos de material.

CALCULO DE HUMEDAD DESPUES DE 50°C	
# de Recipiente	#009
M recipiente (Mr) (g)	132,1
Mr + Muestra Húmeda (g)	213,7
Mr + Muestra Seca (g)	213,1
Peso del Agua (g)	0,6
Peso del Material Seco (g)	81
Peso del Material húmedo (g)	81,6
<b>Húmeda inicial W (%)</b>	<b>0,74%</b>

CALCULO MASA INICIAL	
Masa secada a 60°C (0,01g)	25,00
Húmeda inicial W (0,01%)	0,74%
Masa de ensayo (0,01g)	<b>25,19</b>

Porcentajes.	pH
<b>0%</b> Solo suelo.	<b>5,93</b>
<b>2%</b> Oxido de calcio	<b>12,25</b>
<b>3%</b> Oxido de calcio	<b>12,33</b>
<b>4%</b> Oxido de calcio	<b>12,4</b>
<b>5%</b> Oxido de calcio	<b>12,42</b>
<b>6%</b> Oxido de calcio	<b>12,43</b>
<b>100%</b> 2,00 g Oxido de calcio	<b>12,48</b>

Aproximación	0,01%	0,1%
<b>% optimo de cal</b> Oxido de calcio	<b>4,00%</b>	<b>4,0%</b>



Nota 1: El agua utilizada fue hervida y enfriada antes de realizar el ensayo.

Nota 2: Se calibro el pH con una solución buffer de 10 pH.

Nota 3: Se verifico el pH del agua (6,54pH).

Nota 4: Se utilizo un recipiente hermético con el fin de conservar la humedad.

Nota 5: A baño maría se conserva la temperatura a 25 °C de la solución agua+suelo+cal.

Nota 6: La cal viva paso 100% tamiz 1" y se trituro el material retenido en tamiz N°6 y paso el 100%

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

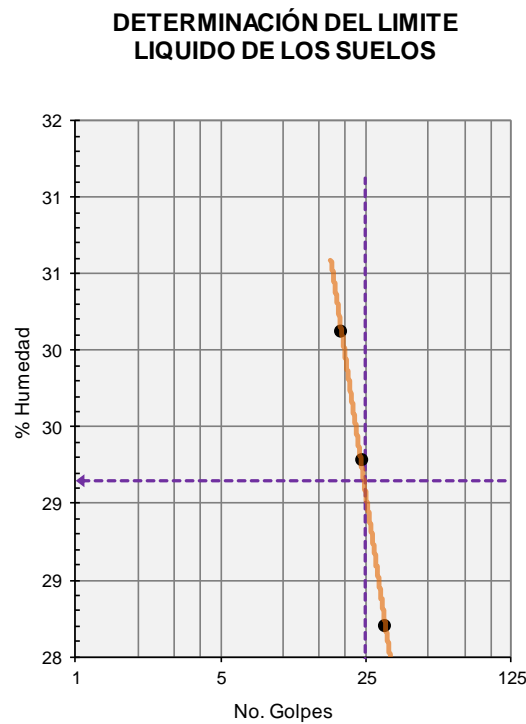


**Modificación Material PG – Ca(OH)<sub>2</sub> de 0.0%.**

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

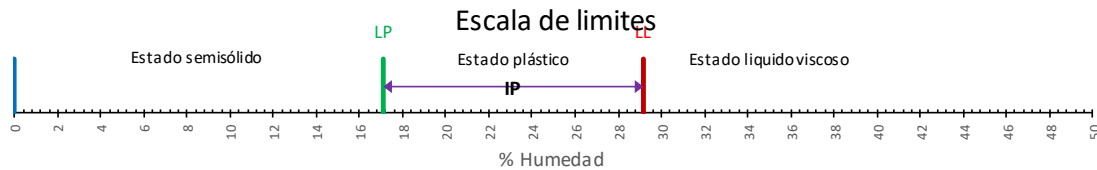
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 0% Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	59	120	70
# Golpes	19	24	31
M Recipiente (0,01g)	11,25	7,61	11,21
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	19,63	14,85	18,03
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	17,69	13,21	16,53
M agua (0,01g)	1,94	1,64	1,50
M material seco (0,01g)	6,44	5,6	5,32
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>30,12</b>	<b>29,29</b>	<b>28,20</b>



LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	A4	119
M Recipiente (0,01g)	10,68	7,09
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	16,92	13,88
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	16	12,9
M agua (0,01g)	0,92	0,98
M material seco (0,01g)	5,32	5,81
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>17,29</b>	<b>16,87</b>

<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>29,1</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>17,1</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>12,1</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	-------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

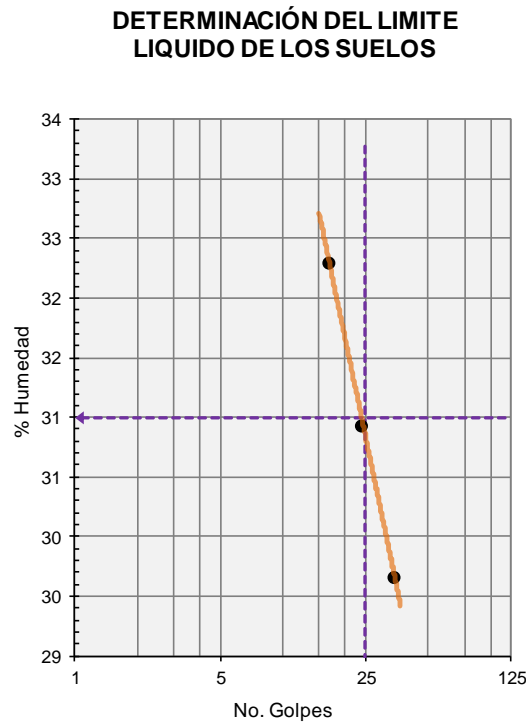
**Modificación Material PG – Ca(OH)<sub>2</sub> de 0.5%.**

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

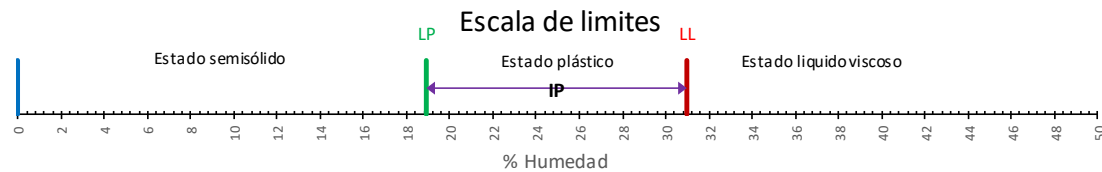
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 0,5% - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	57	79	35
# Golpes	17	24	35
M Recipiente (0,01g)	4,55	4,15	4,28
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	16,72	15,03	15,43
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	13,75	12,46	12,88
M agua (0,01g)	2,97	2,57	2,55
M material seco (0,01g)	9,2	8,31	8,6
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>32,28</b>	<b>30,93</b>	<b>29,65</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	73	63
M Recipiente (0,01g)	10,84	10,74
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	15,66	14,72
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	14,89	14,09
M agua (0,01g)	0,77	0,63
M material seco (0,01g)	4,05	3,35
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>19,01</b>	<b>18,81</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>31,0</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>18,9</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>12,1</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	-------------



Observaciones \_\_\_\_\_

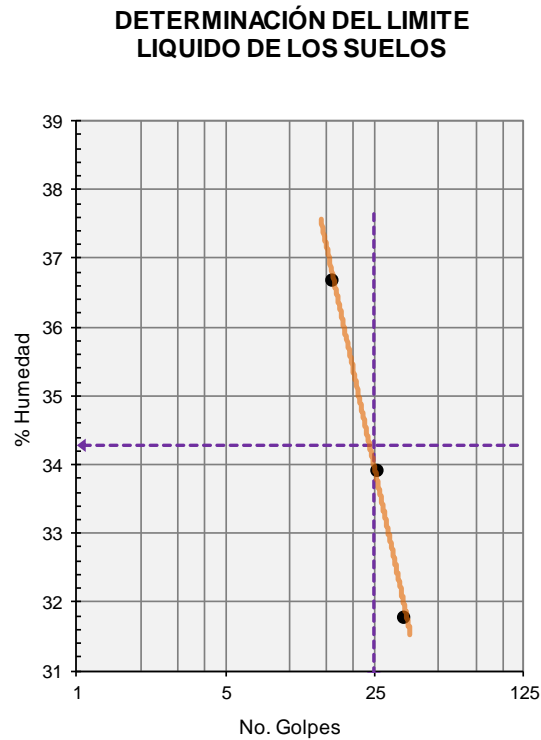
<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

**Modificación Material PG – Ca(OH)<sub>2</sub> de 1.0%.**

	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

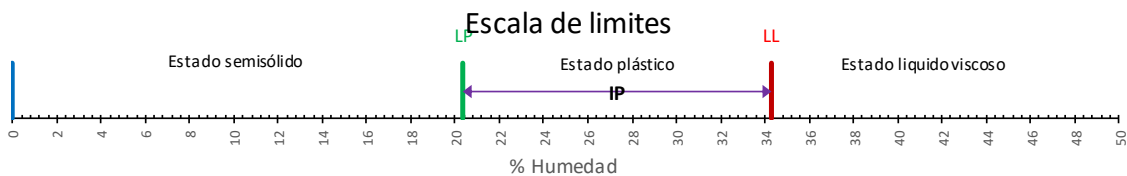
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 1,0% - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	SN	72	A3
# Golpes	16	26	35
M Recipiente (0,01g)	3,93	11	9,54
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	15,26	22,18	18,83
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	12,22	19,35	16,59
M agua (0,01g)	3,04	2,83	2,24
M material seco (0,01g)	8,29	8,35	7,05
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>36,67</b>	<b>33,89</b>	<b>31,77</b>



LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	4	94
M Recipiente (0,01g)	7,18	3,73
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	11,66	8,77
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	10,9	7,92
M agua (0,01g)	0,76	0,85
M material seco (0,01g)	3,72	4,19
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>20,43</b>	<b>20,29</b>

<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>34,3</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>20,4</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>13,9</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	-------------



Observaciones \_\_\_\_\_

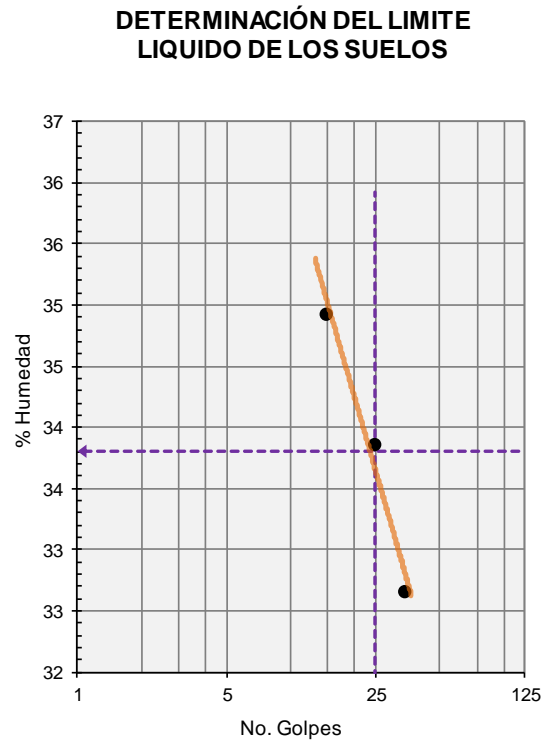
<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

**Modificación Material PG – Ca(OH)<sub>2</sub> de 1.5%.**

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

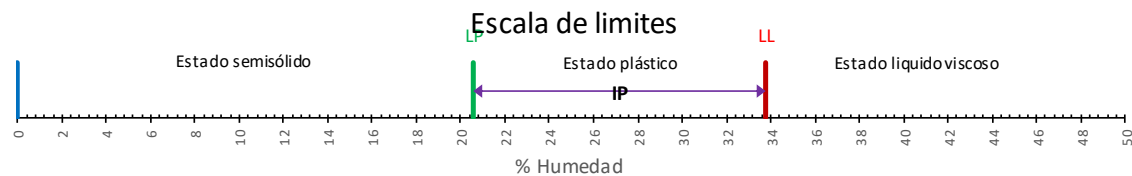
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 1,5% - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	18	C4	54
# Golpes	15	25	35
M Recipiente (0,01g)	8,47	6,77	10,61
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	20,37	18,83	23,49
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	17,29	15,78	20,32
M agua (0,01g)	3,08	3,05	3,17
M material seco (0,01g)	8,82	9,01	9,71
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>34,92</b>	<b>33,85</b>	<b>32,65</b>



LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	56	59
M Recipiente (0,01g)	11,06	11,26
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	16,39	17,06
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	15,47	16,08
M agua (0,01g)	0,92	0,98
M material seco (0,01g)	4,41	4,82
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>20,86</b>	<b>20,33</b>

<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>33,8</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>20,6</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>13,2</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	-------------



<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

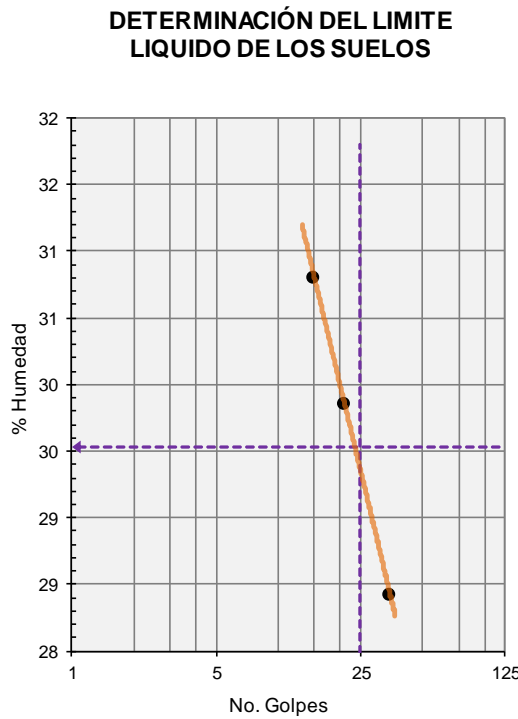
**Modificación Material PG – Ca(OH)<sub>2</sub> de 2.0%.**

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	I.N.V. E-125 y I.N.V. E-126		

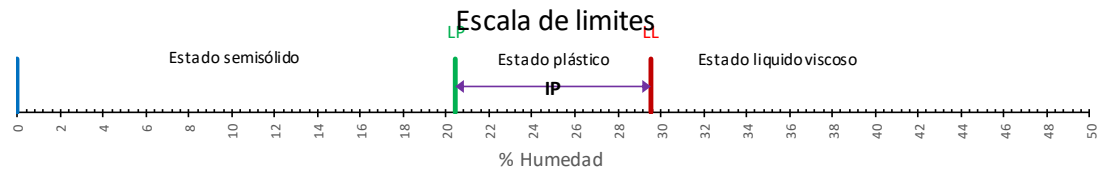
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 2,0% - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente:	9	120	83
# Golpes	15	21	35
M Recipiente (0,01g)	7,52	7,63	6,68
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	19,24	19,68	20,96
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	16,48	16,91	17,8
M agua (0,01g)	2,76	2,77	3,16
M material seco (0,01g)	8,96	9,28	11,12
% Contenido de humedad (0,01%)	30,80	29,85	28,42

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente:	51	60
M Recipiente (0,01g)	10,84	11,13
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	15,57	16,71
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	14,77	15,76
M agua (0,01g)	0,8	0,95
M material seco (0,01g)	3,93	4,63
% Contenido de humedad (0,01%)	20,36	20,52



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>29,5</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>20,4</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>9,1</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

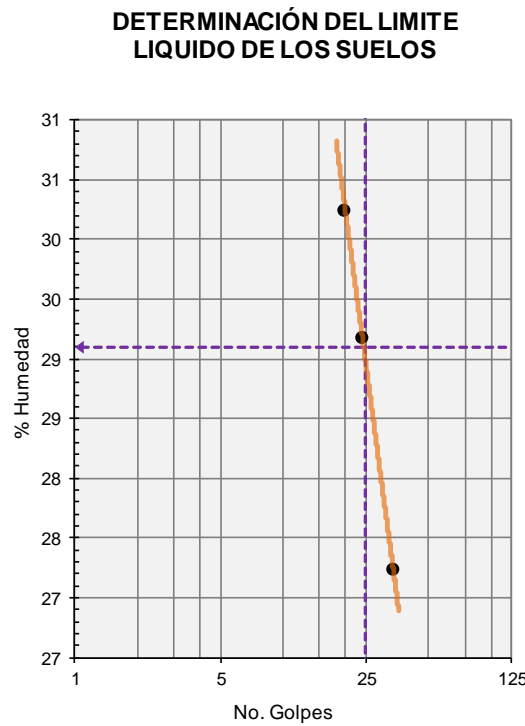
**Modificación Material PG – Ca(OH)<sub>2</sub> de 2.5%.**

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

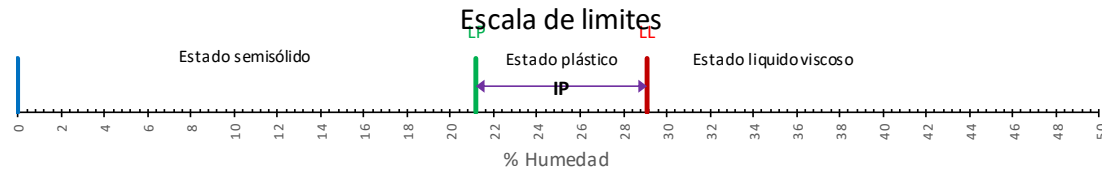
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 2,5% - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Columbia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	55	19	53
# Golpes	20	24	34
M Recipiente (0,01g)	12,10	7,3	10,8
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	20,8	16,2	20,8
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	18,78	14,19	18,66
M agua (0,01g)	2,02	2,01	2,14
M material seco (0,01g)	6,68	6,89	7,86
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>30,24</b>	<b>29,17</b>	<b>27,23</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	2	75
M Recipiente (0,01g)	7,1	10,7
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	12,4	14,3
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	11,46	13,68
M agua (0,01g)	0,94	0,62
M material seco (0,01g)	4,36	2,98
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>21,56</b>	<b>20,81</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>29,1</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>21,2</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>7,9</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

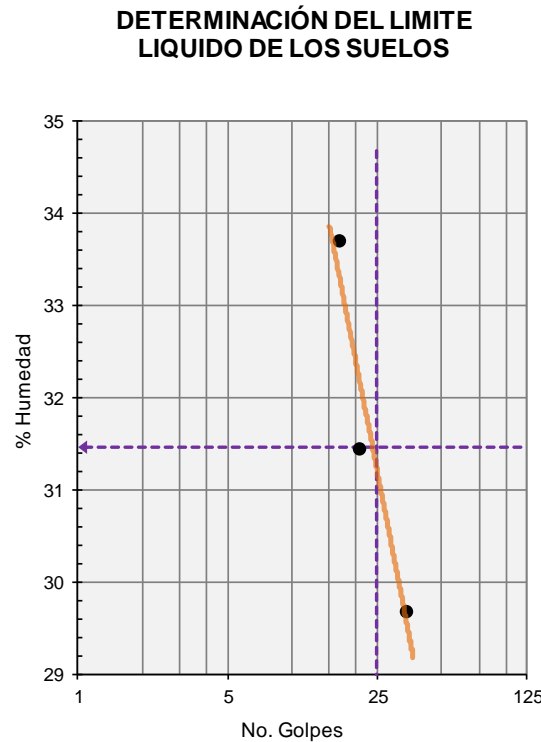
**Modificación Material PG – Ca(OH)<sub>2</sub> de 3.0%.**

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

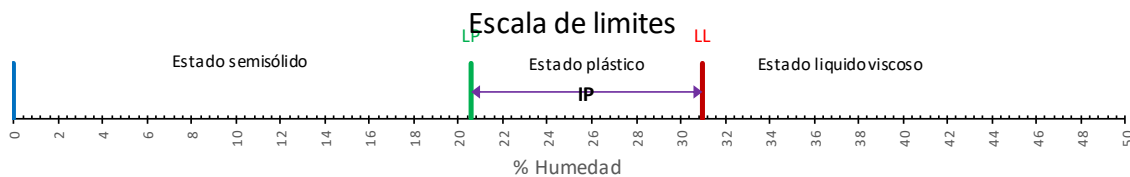
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 3,0% - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	A4	65	4
# Golpes	17	21	35
M Recipiente (0,01g)	10,70	10,96	7,21
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	19,89	19,89	16,91
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	17,6	17,78	14,72
M agua (0,01g)	2,29	2,11	2,19
M material seco (0,01g)	6,9	6,82	7,51
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>33,19</b>	<b>30,94</b>	<b>29,16</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	72	20
M Recipiente (0,01g)	11,45	11,24
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	17,09	17,34
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	16,13	16,3
M agua (0,01g)	0,96	1,04
M material seco (0,01g)	4,68	5,06
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>20,51</b>	<b>20,55</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>31,0</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>20,5</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>10,4</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	-------------



<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

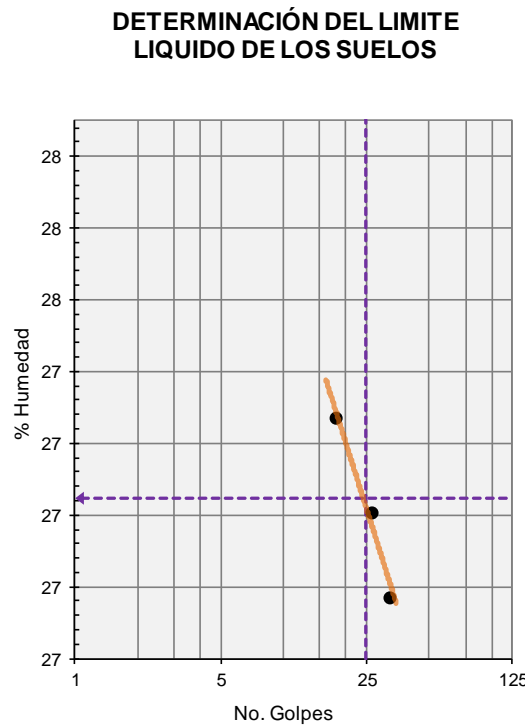
**Modificación Material PG – Ca(OH)<sub>2</sub> de 3.5%.**

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

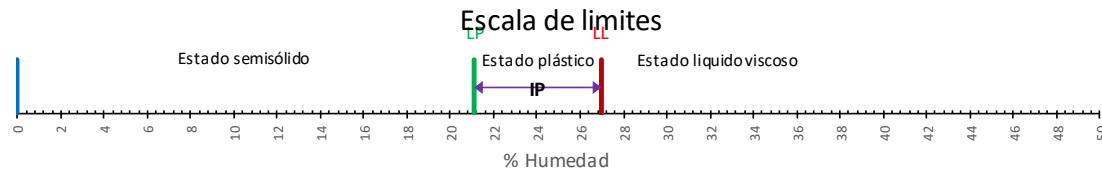
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 3,5% - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondóñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	21	68	L21
# Golpes	18	27	33
M Recipiente (0,01g)	7,17	11,07	6,48
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	13,77	19,23	15,98
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	12,36	17,5	13,98
M agua (0,01g)	1,41	1,73	2,00
M material seco (0,01g)	5,19	6,43	7,5
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>27,17</b>	<b>26,91</b>	<b>26,67</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	96	64
M Recipiente (0,01g)	4	4,07
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	11,52	11,4
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	10,21	10,12
M agua (0,01g)	1,31	1,28
M material seco (0,01g)	6,21	6,05
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>21,10</b>	<b>21,16</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>26,9</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>21,1</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>5,8</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



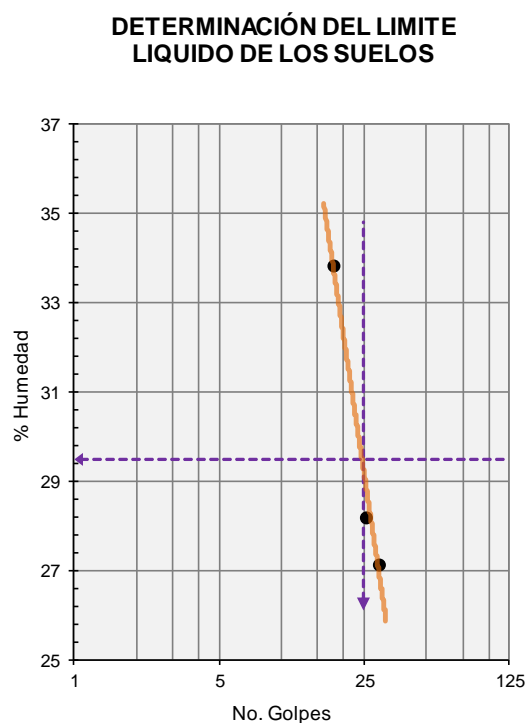
## Modificación Material PG – Ca(OH)<sub>2</sub> de 4.0%.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

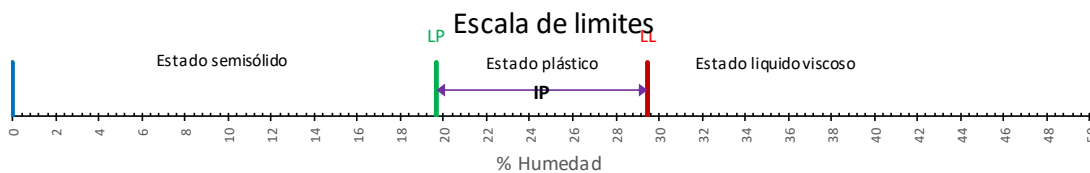
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 4,0% - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	H2	69	67
# Golpes	18	26	30
M Recipiente (0,01g)	6,64	10,96	11,39
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	13,57	18,24	19,97
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	11,82	16,64	18,14
M agua (0,01g)	1,75	1,60	1,83
M material seco (0,01g)	5,18	5,68	6,75
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>33,78</b>	<b>28,17</b>	<b>27,11</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	B5	144
M Recipiente (0,01g)	6,64	4,24
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	13,9	10,17
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	12,73	9,18
M agua (0,01g)	1,17	0,99
M material seco (0,01g)	6,09	4,94
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>19,21</b>	<b>20,04</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>29,5</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>19,6</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>9,9</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



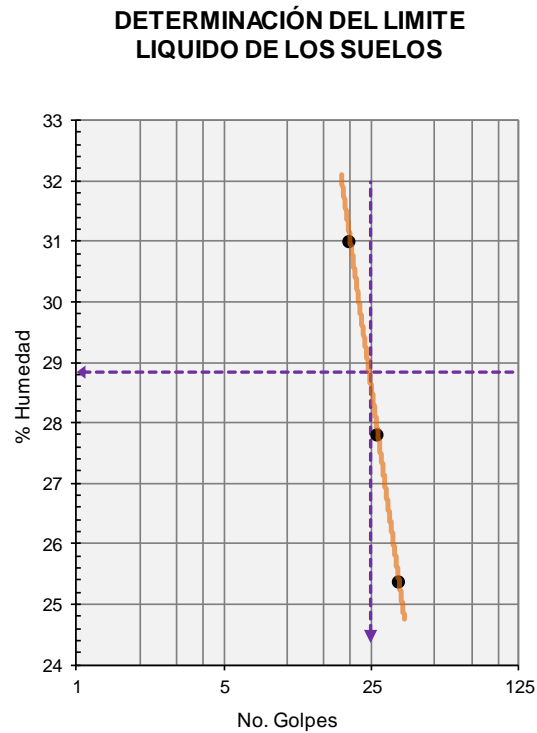
<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

**Modificación Material PG – Ca(OH)<sub>2</sub> de 6.0%.**

	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

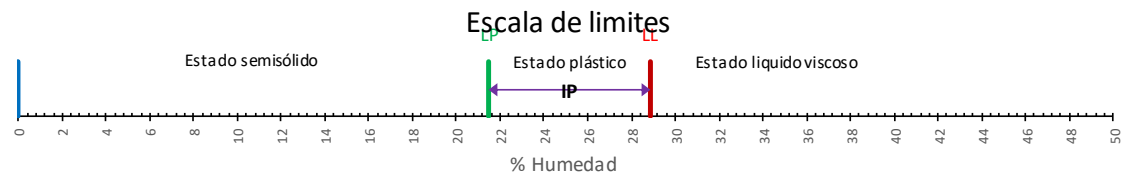
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 6,0% - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	66	16	70
# Golpes	20	27	34
M Recipiente (0,01g)	11,18	7,24	11,33
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	21,75	17,08	20,08
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	19,25	14,94	18,31
M agua (0,01g)	2,50	2,14	1,77
M material seco (0,01g)	8,07	7,7	6,98
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>30,98</b>	<b>27,79</b>	<b>25,36</b>



LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	7	57
M Recipiente (0,01g)	7,12	11,11
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	14	17,46
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	12,79	16,33
M agua (0,01g)	1,21	1,13
M material seco (0,01g)	5,67	5,22
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>21,34</b>	<b>21,65</b>

<b>Límite líquido (LL)</b>	<b>28,8</b>	<b>Límite Plástico (LP)</b>	<b>21,5</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>7,4</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

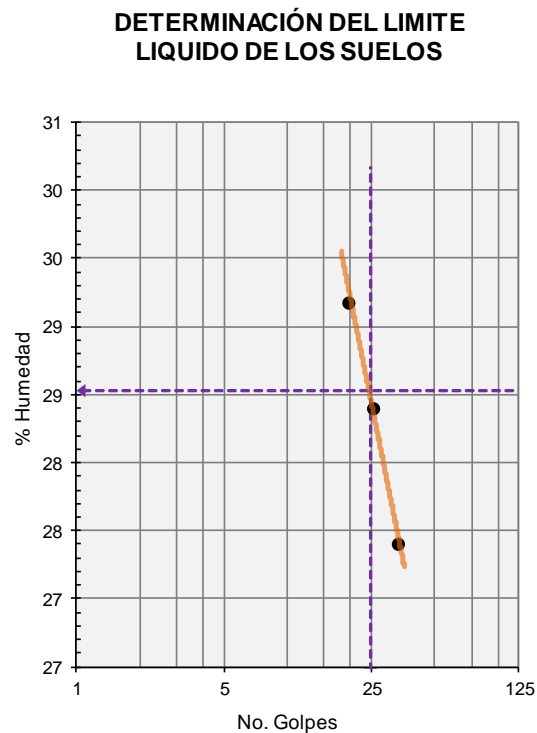
## Modificación Material PG – Ca(OH)<sub>2</sub> de 8.0%.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

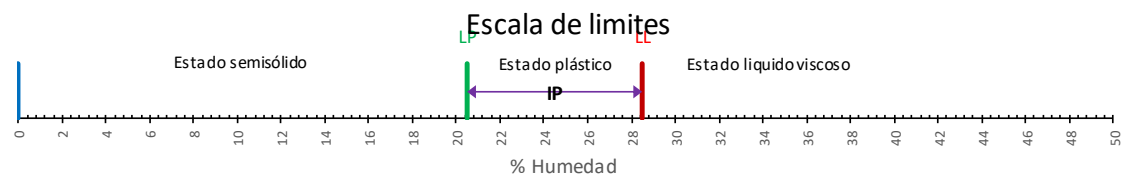
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 8,0% - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	C1	119	61
# Golpes	20	26	34
M Recipiente (0,01g)	6,86	7,08	10,5
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	17,71	17,12	20,36
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	15,26	14,9	18,24
M agua (0,01g)	2,45	2,22	2,12
M material seco (0,01g)	8,4	7,82	7,74
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>29,17</b>	<b>28,39</b>	<b>27,39</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	1	C5
M Recipiente (0,01g)	10,51	6,8
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	16,28	13,56
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	15,29	12,42
M agua (0,01g)	0,99	1,14
M material seco (0,01g)	4,78	5,62
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>20,71</b>	<b>20,28</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>28,5</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>20,5</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>8,0</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

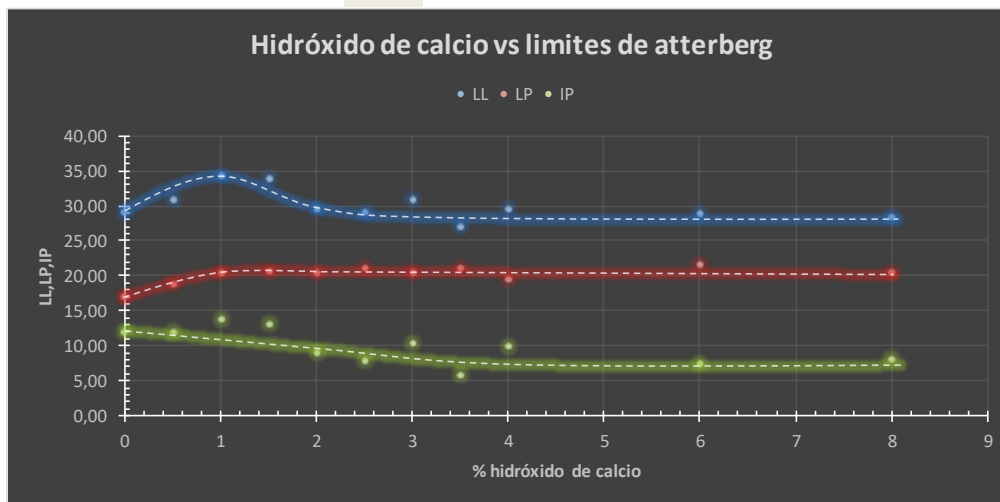
## Modificación Material PG – Ca(OH)<sub>2</sub> resumen.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>	
	INV. E-125 y INV. E-126	

Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca- Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

### Datos totales

% cal	LL	LP	IP
0	29,15	17,08	12,07
0,5	31,00	18,91	12,09
1	34,28	20,36	13,93
1,5	33,81	20,60	13,21
2	29,53	20,44	9,10
2,5	29,09	21,18	7,91
3	30,96	20,53	10,43
3,5	26,95	21,13	5,82
4	29,50	19,63	9,87
6	28,85	21,49	7,35
8	28,53	20,50	8,03



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

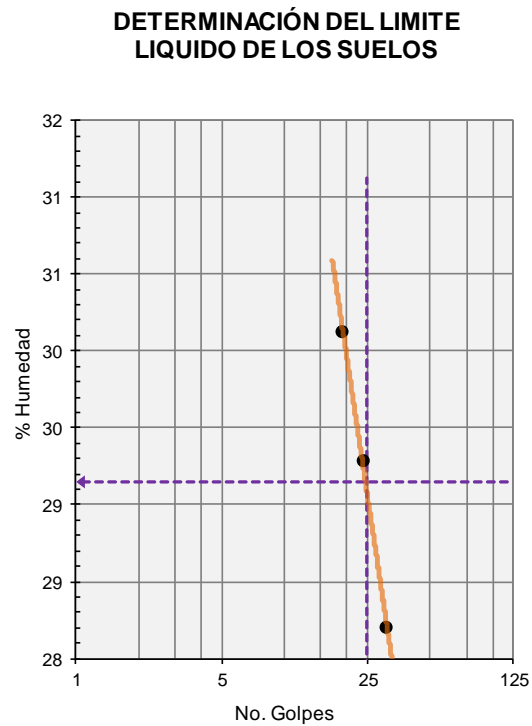
## Modificación Material PG – CaO de 0.0%.

	<b>ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO</b>		<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>	
	INV. E-125 y INV. E-126			

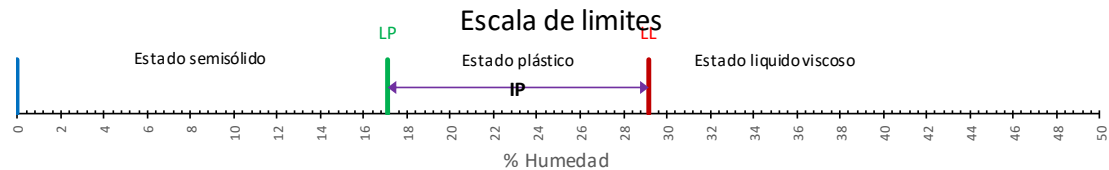
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Oxido de calcio 0%- Material PG</b>			
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>	Fecha: <b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	59	120	70
# Golpes	19	24	31
M Recipiente (0,01g)	11,25	7,61	11,21
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	19,63	14,85	18,03
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	17,69	13,21	16,53
M agua (0,01g)	1,94	1,64	1,50
M material seco (0,01g)	6,44	5,6	5,32
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>30,12</b>	<b>29,29</b>	<b>28,20</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	A4	119
M Recipiente (0,01g)	10,68	7,09
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	16,92	13,88
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	16	12,9
M agua (0,01g)	0,92	0,98
M material seco (0,01g)	5,32	5,81
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>17,29</b>	<b>16,87</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>29,1</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>17,1</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>12,1</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	-------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

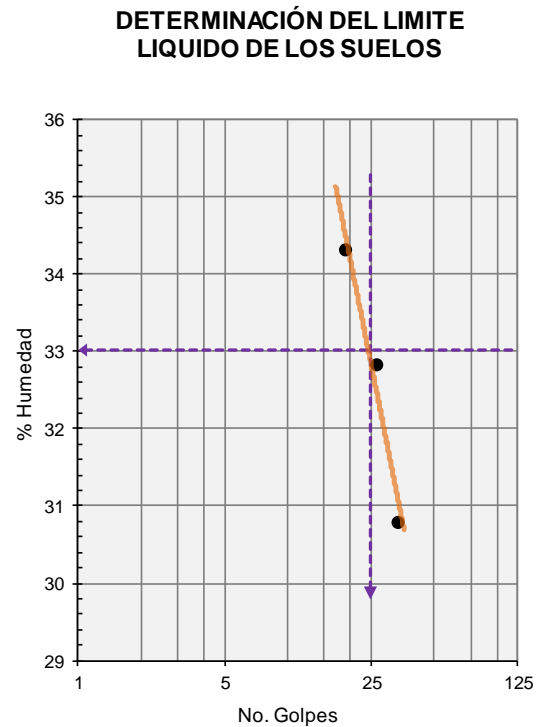
## Modificación Material PG – CaO de 0.5%.

	ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>
		INV. E-125 y INV. E-126

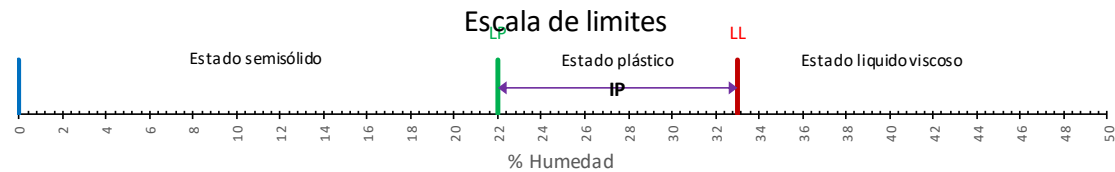
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Oxido de calcio 0,5% Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	67	89	3
# Golpes	19	27	34
M Recipiente (0,01g)	4,55	4,15	4,28
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	16,92	15,16	15,54
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	13,76	12,44	12,89
M agua (0,01g)	3,16	2,72	2,65
M material seco (0,01g)	9,21	8,29	8,61
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>34,31</b>	<b>32,81</b>	<b>30,78</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	73	63
M Recipiente (0,01g)	10,84	10,74
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	15,76	14,82
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	14,88	14,08
M agua (0,01g)	0,88	0,74
M material seco (0,01g)	4,04	3,34
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>21,78</b>	<b>22,16</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>33,0</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>22,0</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>11,1</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	-------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

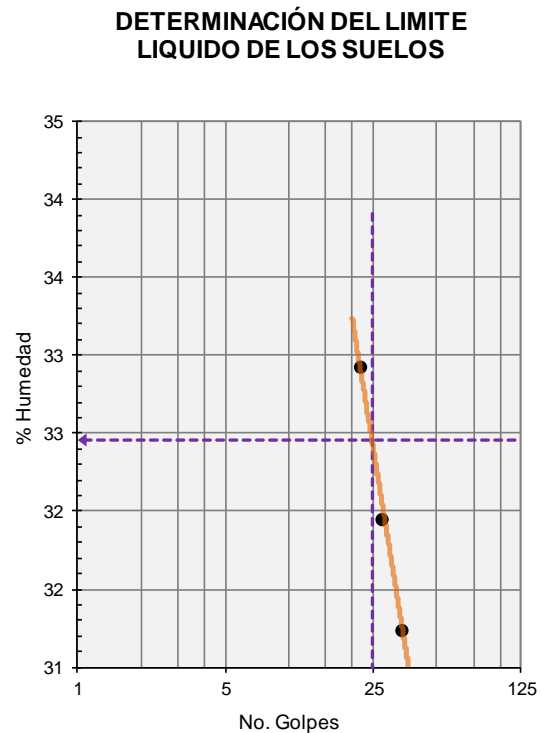
## Modificación Material PG – CaO de 1.0%.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	I.N.V. E-125 y I.N.V. E-126		

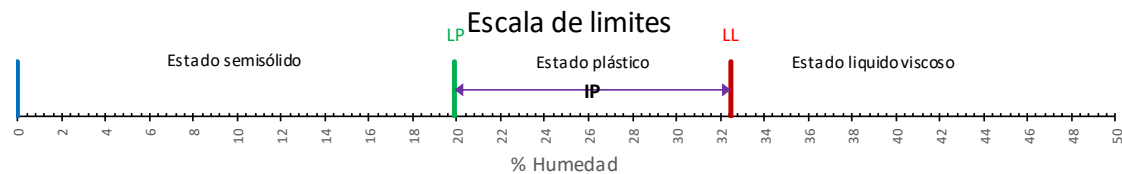
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y oxido de calcio 1,0% - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	SN	L20	402
# Golpes	22	28	35
M Recipiente (0,01g)	3,94	7,63	6,6
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	13,51	17,75	17,61
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	11,14	15,3	14,99
M agua (0,01g)	2,37	2,45	2,62
M material seco (0,01g)	7,2	7,67	8,39
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>32,92</b>	<b>31,94</b>	<b>31,23</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	C4	Sn
M Recipiente (0,01g)	6,79	11,25
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	10,25	15,79
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	9,68	15,03
M agua (0,01g)	0,57	0,76
M material seco (0,01g)	2,89	3,78
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>19,72</b>	<b>20,11</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>32,5</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>19,9</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>12,5</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	-------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

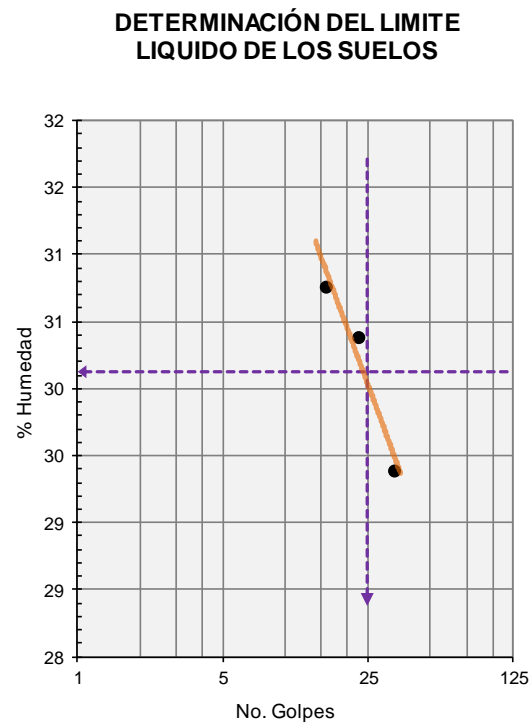
## Modificación Material PG – CaO de 1.5%.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>	
	INV. E-125 y INV. E-126	

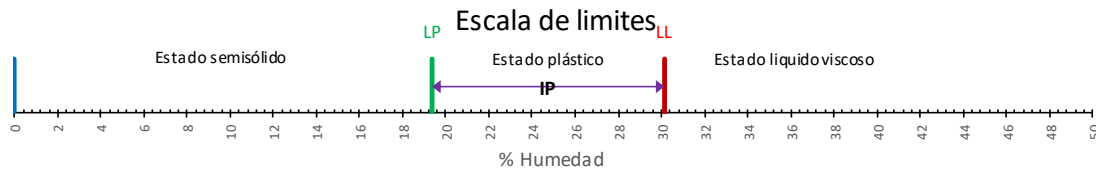
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y oxido de calcio 1,5% - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	Sn	PQ	31
# Golpes	16	23	34
M Recipiente (0,01g)	7,43	5,72	9,51
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	21,63	20,14	24,79
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	18,29	16,78	21,32
M agua (0,01g)	3,34	3,36	3,47
M material seco (0,01g)	10,86	11,06	11,81
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>30,76</b>	<b>30,38</b>	<b>29,38</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	sn	s5
M Recipiente (0,01g)	10,08	10,28
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	17,72	18,38
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	16,47	17,08
M agua (0,01g)	1,25	1,3
M material seco (0,01g)	6,39	6,8
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>19,56</b>	<b>19,12</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>30,1</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>19,3</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>10,8</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	-------------



Observaciones \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

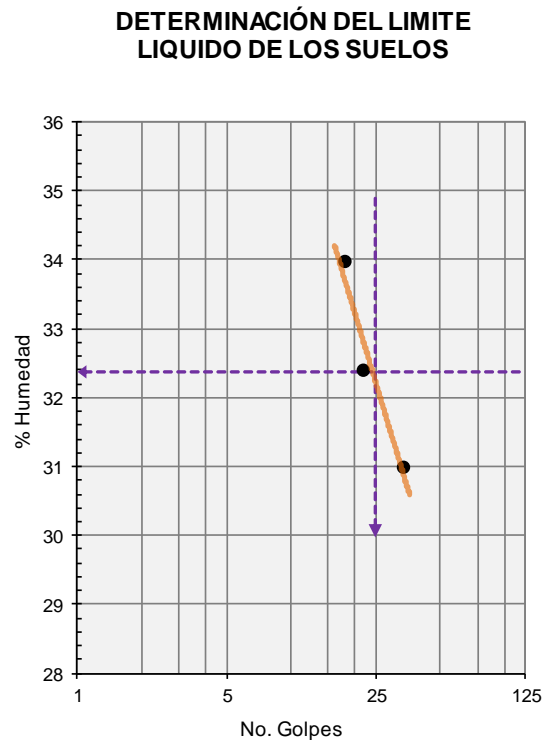


## Modificación Material PG – CaO de 2.0%.

	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

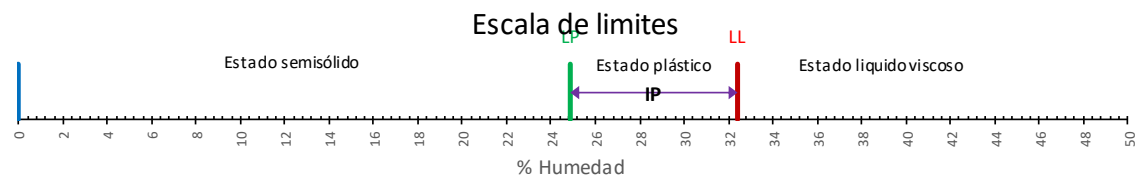
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y óxido de calcio 2,0% - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	54	18	56
# Golpes	18	22	34
M Recipiente (0,01g)	10,63	8,47	11,05
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	20,49	19,55	21,41
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	17,99	16,84	18,96
M agua (0,01g)	2,50	2,71	2,45
M material seco (0,01g)	7,36	8,37	7,91
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>33,97</b>	<b>32,38</b>	<b>30,97</b>



LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	72	A3
M Recipiente (0,01g)	11	9,55
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	15,52	15,26
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	14,64	14,1
M agua (0,01g)	0,88	1,16
M material seco (0,01g)	3,64	4,55
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>24,18</b>	<b>25,49</b>

<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>32,4</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>24,8</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>7,5</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

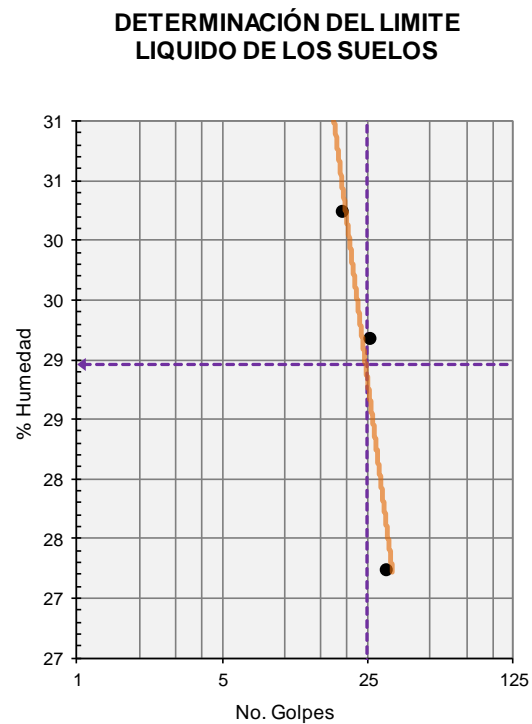
## Modificación Material PG – CaO de 2.5%.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

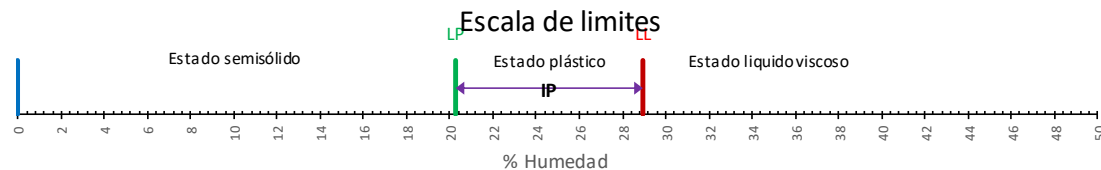
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y oxido de calcio 2,5% - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	c4	e2	12
# Golpes	19	26	31
M Recipiente (0,01g)	12,10	7,3	10,8
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	20,8	16,2	20,8
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	18,78	14,19	18,66
M agua (0,01g)	2,02	2,01	2,14
M material seco (0,01g)	6,68	6,89	7,86
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>30,24</b>	<b>29,17</b>	<b>27,23</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	34	76
M Recipiente (0,01g)	6,1	9,4
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	11,4	13,3
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	10,46	12,68
M agua (0,01g)	0,94	0,62
M material seco (0,01g)	4,36	3,28
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>21,56</b>	<b>18,90</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>29,0</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>20,2</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>8,7</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

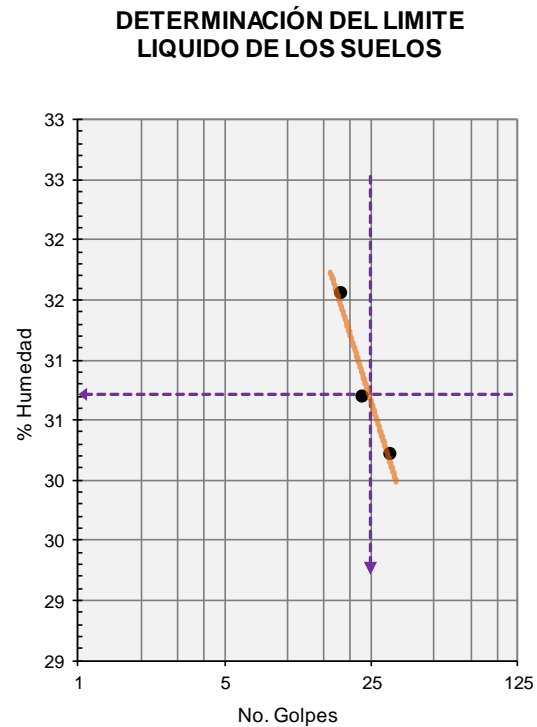
## Modificación Material PG – CaO de 3.0%.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

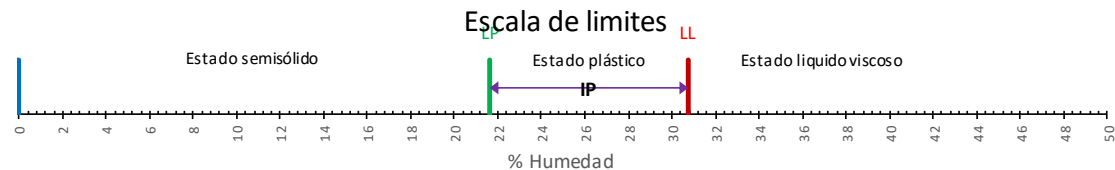
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y oxido de calcio 3,0% - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	9	94	4
# Golpes	18	23	31
M Recipiente (0,01g)	7,53	3,73	7,19
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	18,58	13,61	19,73
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	15,93	11,29	16,82
M agua (0,01g)	2,65	2,32	2,91
M material seco (0,01g)	8,4	7,56	9,63
% Contenido de humedad (0,01%)	31,55	30,69	30,22

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	66	19P
M Recipiente (0,01g)	4,04	3,98
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	8,19	8,84
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	7,44	7,99
M agua (0,01g)	0,75	0,85
M material seco (0,01g)	3,4	4,01
% Contenido de humedad (0,01%)	22,06	21,20



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>30,7</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>21,6</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>9,1</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

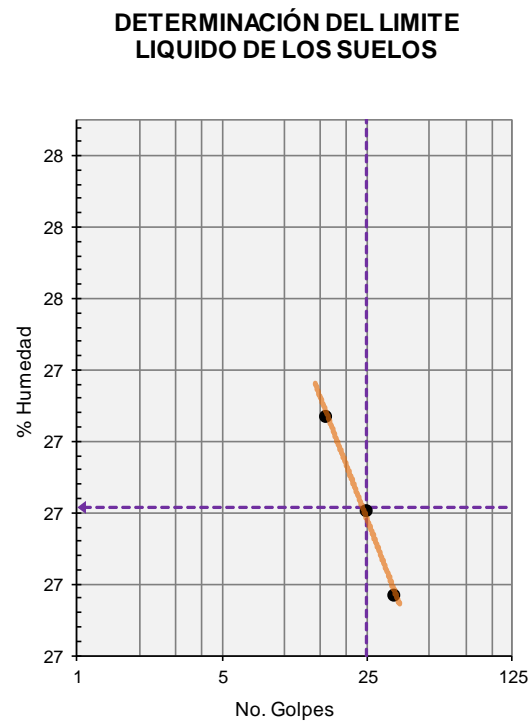
## Modificación Material PG – CaO de 3.5%.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

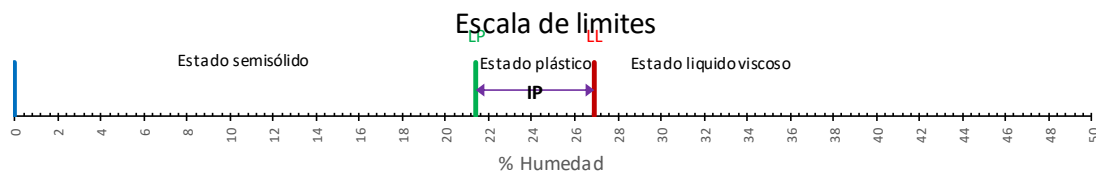
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y oxido de calcio 3,5% - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	S1	59	99
# Golpes	16	25	34
M Recipiente (0,01g)	7,17	11,07	6,48
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	13,77	19,23	15,98
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	12,36	17,5	13,98
M agua (0,01g)	1,41	1,73	2,00
M material seco (0,01g)	5,19	6,43	7,5
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>27,17</b>	<b>26,91</b>	<b>26,67</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	2	3
M Recipiente (0,01g)	4,12	4,17
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	11,52	11,4
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	10,23	10,11
M agua (0,01g)	1,29	1,29
M material seco (0,01g)	6,11	5,94
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>21,11</b>	<b>21,72</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>26,9</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>21,4</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>5,5</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

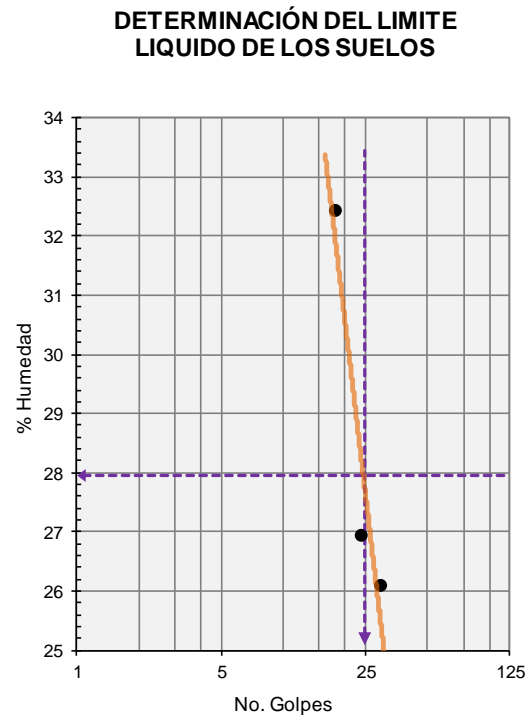
## Modificación Material PG – CaO de 4.0%.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

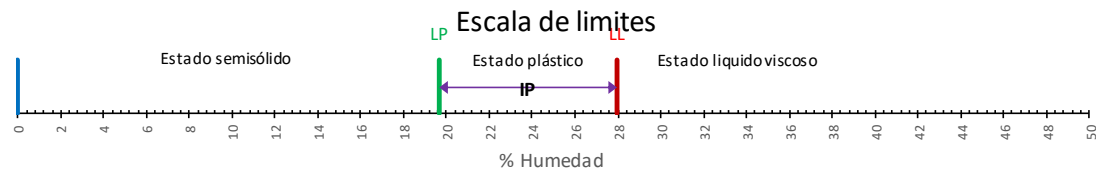
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y oxido de calcio 4,0% - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	H2	69	67
# Golpes	18	24	30
M Recipiente (0,01g)	6,64	10,96	11,39
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	13,5	18,17	19,9
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	11,82	16,64	18,14
M agua (0,01g)	1,68	1,53	1,76
M material seco (0,01g)	5,18	5,68	6,75
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>32,43</b>	<b>26,94</b>	<b>26,07</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	B5	144
M Recipiente (0,01g)	6,64	4,24
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	13,9	10,17
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	12,73	9,18
M agua (0,01g)	1,17	0,99
M material seco (0,01g)	6,09	4,94
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>19,21</b>	<b>20,04</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>28,0</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>19,6</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>8,3</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

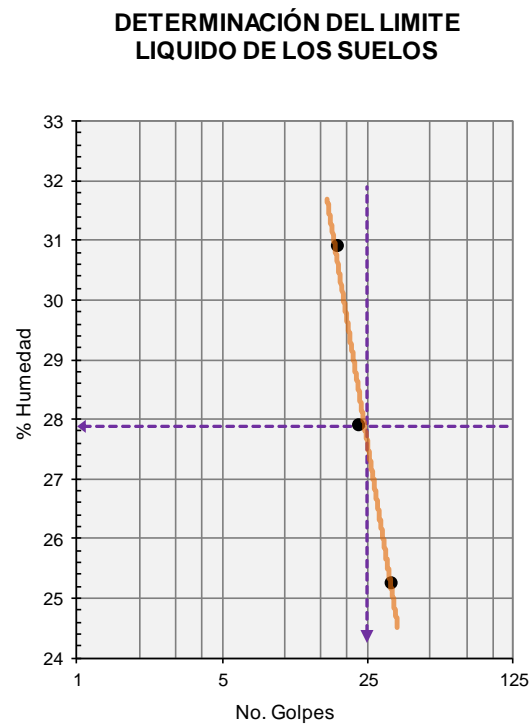
## Modificación Material PG – CaO de 6.0%.

	<b>ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO</b>	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>	
		<b>INV. E-125 y INV. E-126</b>	

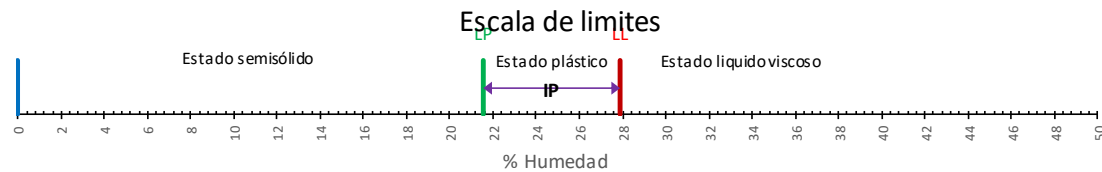
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y oxido de calcio 6,0% - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	87	1	c66
# Golpes	18	23	33
M Recipiente (0,01g)	11,19	7,23	11,34
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	21,74	17,09	20,07
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	19,25	14,94	18,31
M agua (0,01g)	2,49	2,15	1,76
M material seco (0,01g)	8,06	7,71	6,97
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>30,89</b>	<b>27,89</b>	<b>25,25</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	57	c122
M Recipiente (0,01g)	7,13	11,12
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	14,01	17,45
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	12,78	16,34
M agua (0,01g)	1,23	1,11
M material seco (0,01g)	5,65	5,22
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>21,77</b>	<b>21,26</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>27,9</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>21,5</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>6,4</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

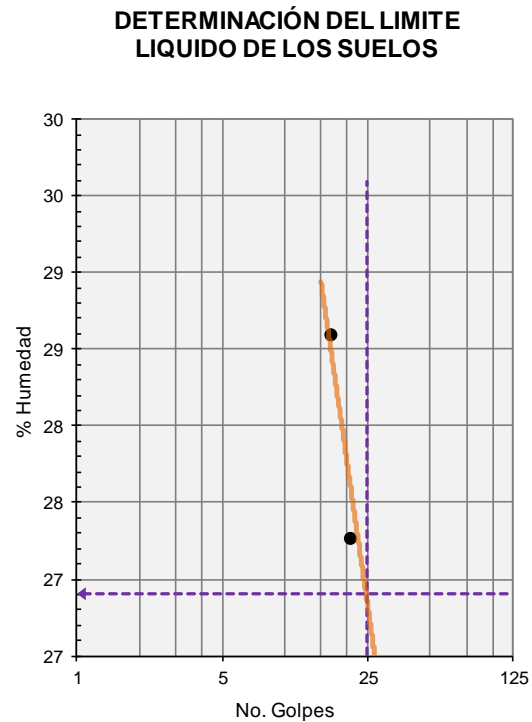
## Modificación Material PG – CaO de 8.0%.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

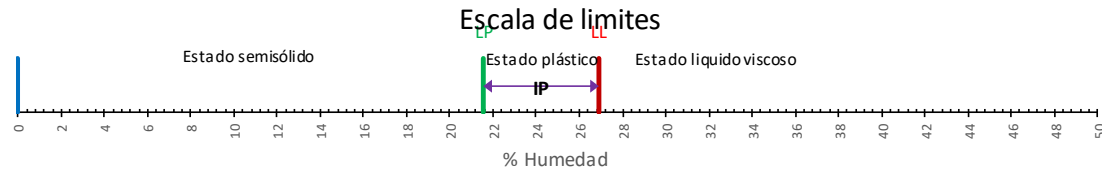
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y oxido de calcio 8,0% - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	43	C4	83
# Golpes	17	21	28
M Recipiente (0,01g)	10,81	6,76	6,68
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	21,2	18,01	18,71
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	18,89	15,6	16,19
M agua (0,01g)	2,31	2,41	2,52
M material seco (0,01g)	8,08	8,84	9,51
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>28,59</b>	<b>27,26</b>	<b>26,50</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	79	57
M Recipiente (0,01g)	4,18	4,53
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	7,59	7,77
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	6,98	7,2
M agua (0,01g)	0,61	0,57
M material seco (0,01g)	2,8	2,67
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>21,79</b>	<b>21,35</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>26,9</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>21,6</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>5,3</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

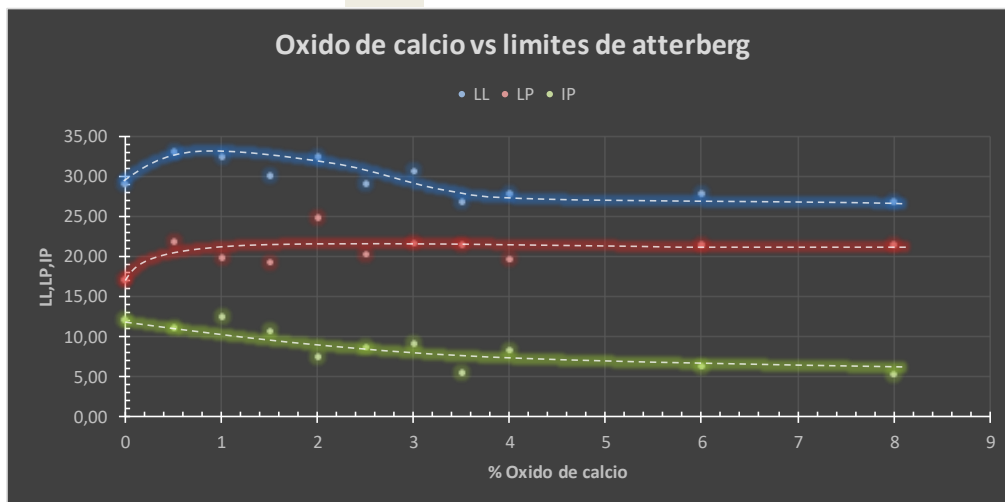
## Modificación Material PG – CaO resumen.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y óxido de calcio - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca- Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

### Datos totales

% cal	LL	LP	IP
0	29,15	17,08	12,07
0,5	33,02	21,97	11,05
1	32,46	19,91	12,55
1,5	30,12	19,34	10,78
2	32,38	24,84	7,55
2,5	28,96	20,23	8,73
3	30,72	21,63	9,09
3,5	26,91	21,42	5,50
4	27,95	19,63	8,33
6	27,89	21,52	6,37
8	26,91	21,57	5,34



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



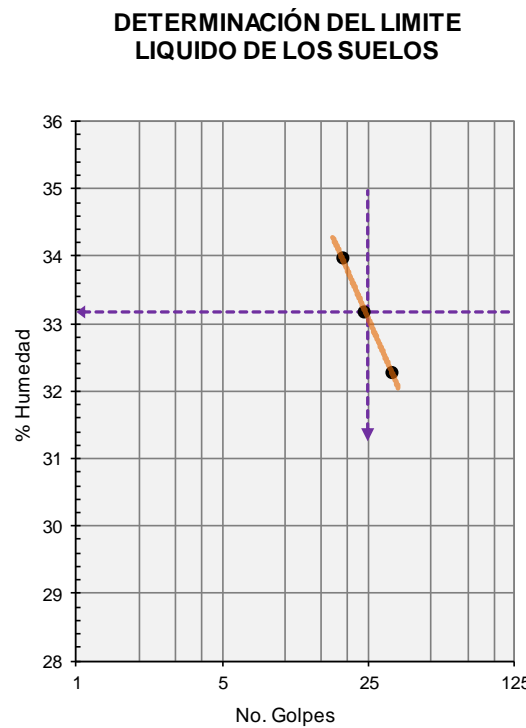
**Modificación Material PF – Ca(OH)<sub>2</sub> de 0.0%.**

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

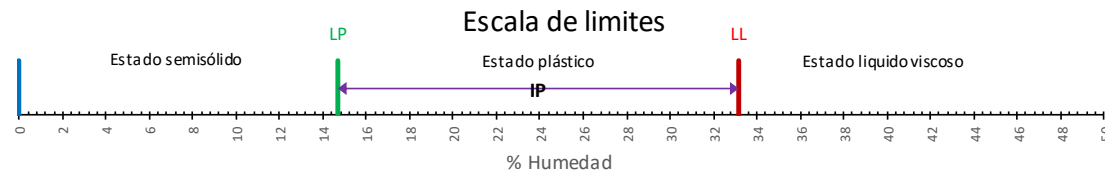
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 0% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	66	A3	C1
# Golpes	19	24	33
M Recipiente (0,01g)	6,79	9,51	11,08
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	14,56	16,94	17,6
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	12,59	15,09	16,01
M agua (0,01g)	1,97	1,85	1,59
M material seco (0,01g)	5,8	5,58	4,93
% Contenido de humedad (0,01%)	33,97	33,15	32,25

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	56	71
M Recipiente (0,01g)	11,02	11,46
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	17,06	17,45
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	16,27	16,7
M agua (0,01g)	0,79	0,75
M material seco (0,01g)	5,25	5,24
% Contenido de humedad (0,01%)	15,05	14,31



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>33,2</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>14,7</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>18,5</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	-------------



Observaciones \_\_\_\_\_

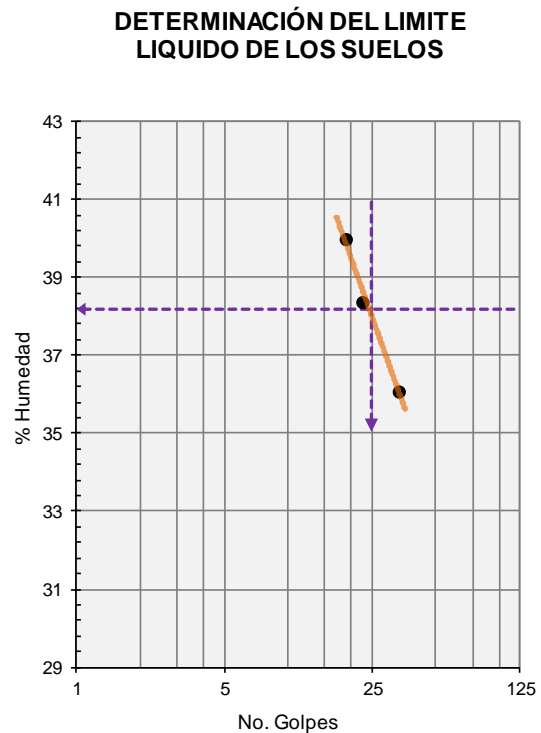
<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

**Modificación Material PF – Ca(OH)<sub>2</sub> de 0.5%.**

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	I.N.V. E-125 y I.N.V. E-126		

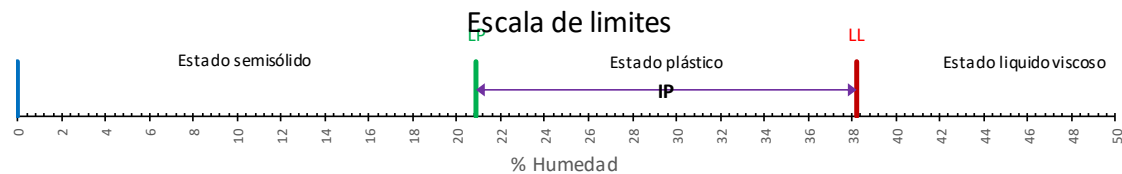
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 0,5% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	56	A4	Sn
# Golpes	19	23	34
M Recipiente (0,01g)	11,04	10,68	11,23
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	23,72	22,01	21,61
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	20,1	18,87	18,86
M agua (0,01g)	3,62	3,14	2,75
M material seco (0,01g)	9,06	8,19	7,63
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>39,96</b>	<b>38,34</b>	<b>36,04</b>



LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	59	71
M Recipiente (0,01g)	11,24	11,45
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	15,43	14,35
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	14,72	13,84
M agua (0,01g)	0,71	0,51
M material seco (0,01g)	3,48	2,39
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>20,40</b>	<b>21,34</b>

<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>38,2</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>20,9</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>17,3</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	-------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

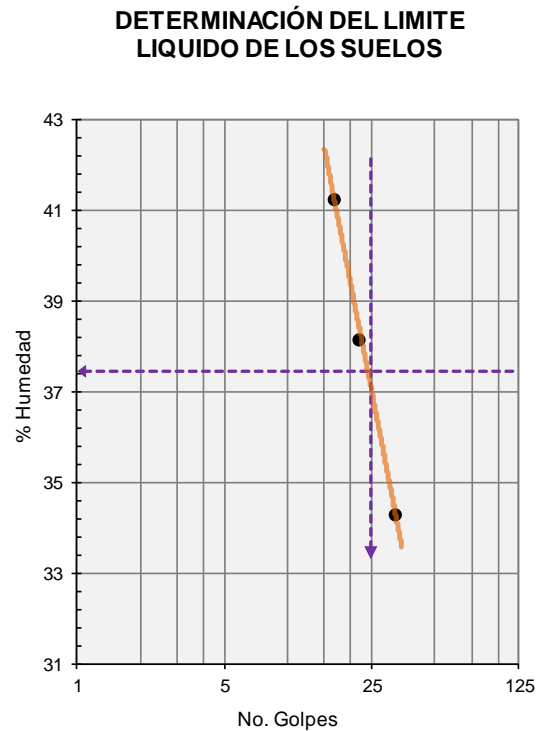
## Modificación Material PF – Ca(OH)<sub>2</sub> de 1.0%.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

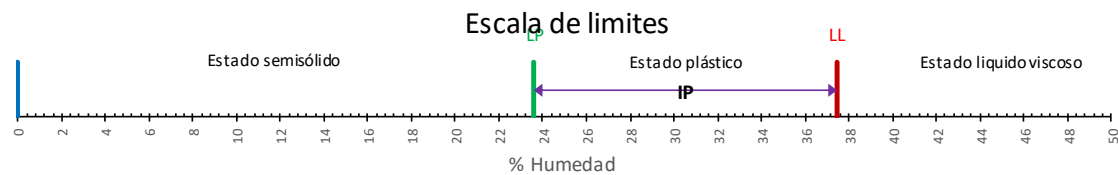
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 1,0% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	51	65	62
# Golpes	17	22	33
M Recipiente (0,01g)	10,83	10,97	10,87
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	24,26	25,03	24,58
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	20,34	21,15	21,08
M agua (0,01g)	3,92	3,88	3,50
M material seco (0,01g)	9,51	10,18	10,21
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>41,22</b>	<b>38,11</b>	<b>34,28</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	60	54
M Recipiente (0,01g)	11,12	10,61
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	16,89	16,04
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	15,79	15
M agua (0,01g)	1,1	1,04
M material seco (0,01g)	4,67	4,39
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>23,55</b>	<b>23,69</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>37,5</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>23,6</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>13,8</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	-------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

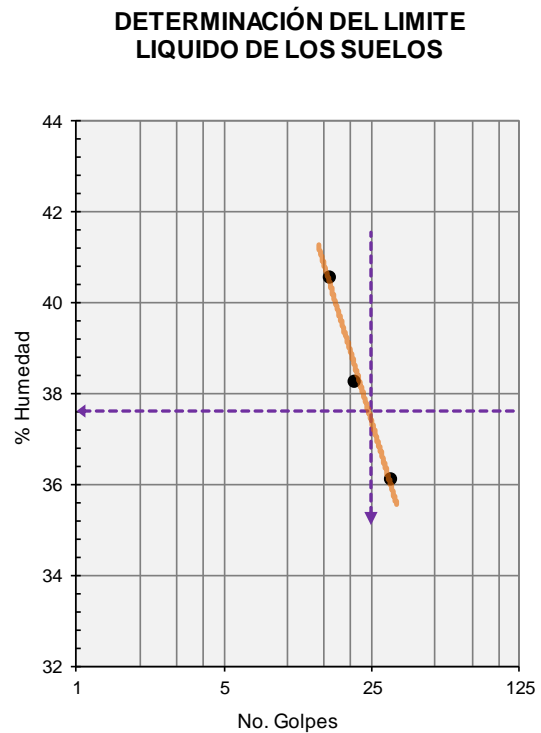
**Modificación Material PF – Ca(OH)<sub>2</sub> de 1.5%.**

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

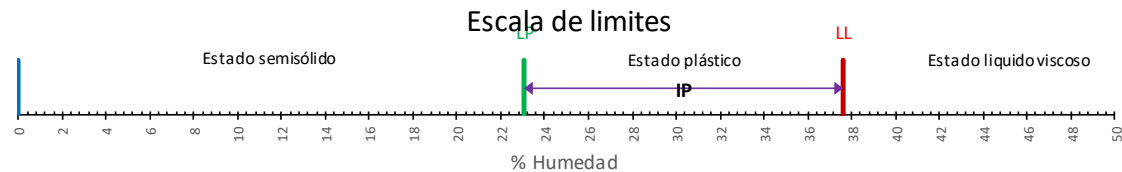
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 1,5% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	19P	64	66
# Golpes	16	21	31
M Recipiente (0,01g)	3,96	4,07	4,03
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	15,85	17,08	17,38
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	12,42	13,48	13,84
M agua (0,01g)	3,43	3,60	3,54
M material seco (0,01g)	8,46	9,41	9,81
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>40,54</b>	<b>38,26</b>	<b>36,09</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	21	96
M Recipiente (0,01g)	7,16	3,99
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	10,44	7,69
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	9,83	6,99
M agua (0,01g)	0,61	0,7
M material seco (0,01g)	2,67	3
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>22,85</b>	<b>23,33</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>37,6</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>23,1</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>14,5</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	-------------



Observaciones \_\_\_\_\_

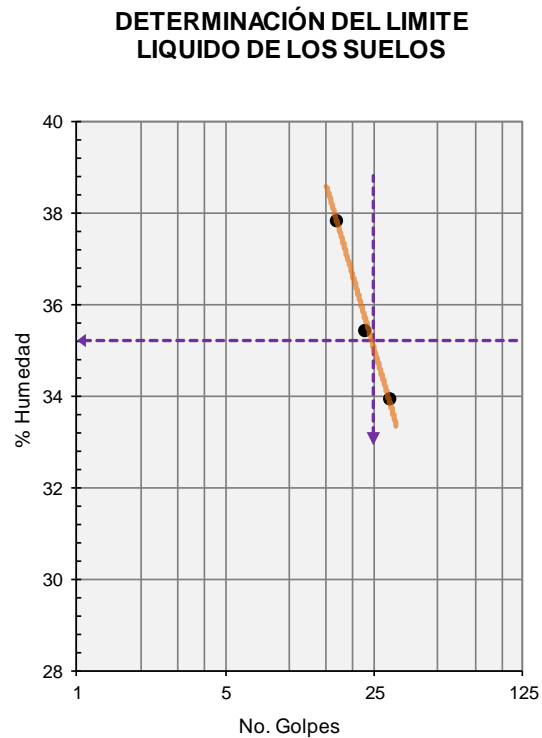
<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

**Modificación Material PF – Ca(OH)<sub>2</sub> de 2.0%.**

	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	I.N.V. E-125 y I.N.V. E-126		

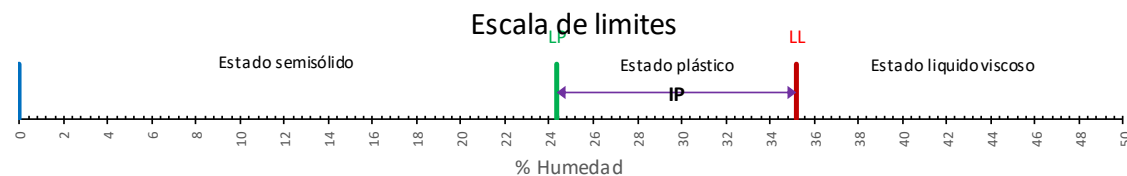
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 2,0% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	L20	9	18
# Golpes	17	23	30
M Recipiente (0,01g)	7,61	7,51	8,45
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	22,44	19,48	22,11
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	18,37	16,35	18,65
M agua (0,01g)	4,07	3,13	3,46
M material seco (0,01g)	10,76	8,84	10,2
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>37,83</b>	<b>35,41</b>	<b>33,92</b>



LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	C4	83
M Recipiente (0,01g)	6,77	6,67
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	11,59	11,2
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	10,65	10,31
M agua (0,01g)	0,94	0,89
M material seco (0,01g)	3,88	3,64
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>24,23</b>	<b>24,45</b>

<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>35,2</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>24,3</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>10,9</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	-------------



<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

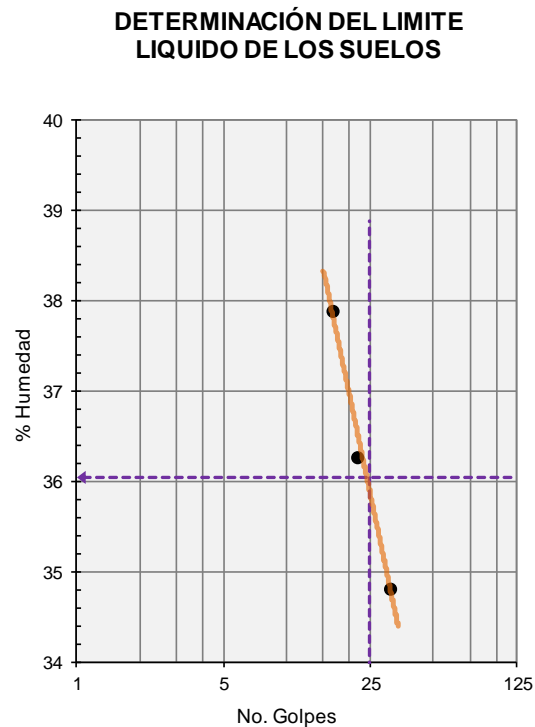
## Modificación Material PF – Ca(OH)<sub>2</sub> de 2.5%.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

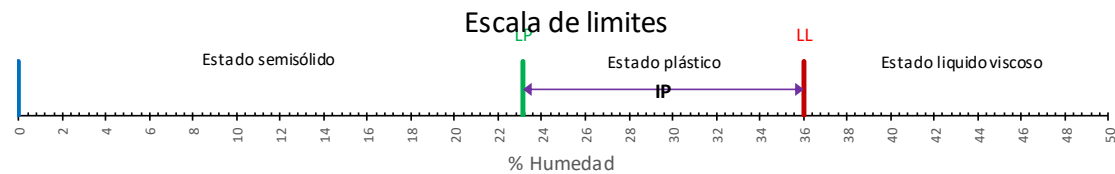
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 2,5% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	55	L4	C5
# Golpes	17	22	32
M Recipiente (0,01g)	12,03	6,48	6,76
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	24,77	20,05	23,38
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	21,27	16,44	19,09
M agua (0,01g)	3,50	3,61	4,29
M material seco (0,01g)	9,24	9,96	12,33
% Contenido de humedad (0,01%)	37,88	36,24	34,79

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	68	53
M Recipiente (0,01g)	11,08	10,81
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	15,25	15,05
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	14,47	14,25
M agua (0,01g)	0,78	0,8
M material seco (0,01g)	3,39	3,44
% Contenido de humedad (0,01%)	23,01	23,26



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>36,0</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>23,1</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>12,9</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	-------------



<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

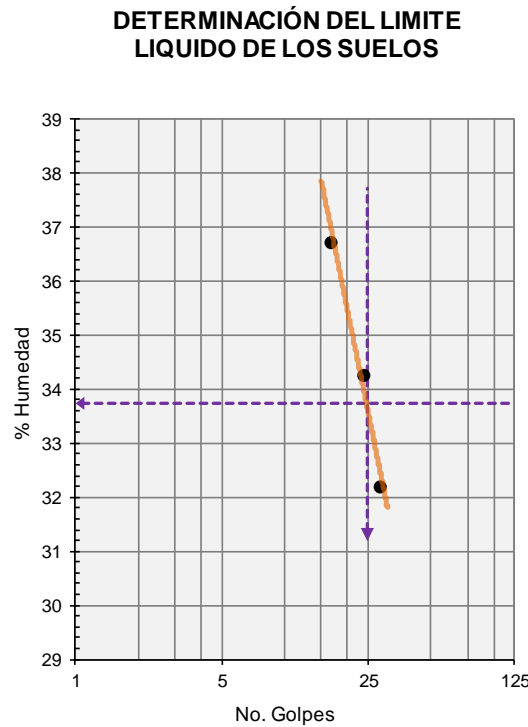
**Modificación Material PF – Ca(OH)<sub>2</sub> de 3.0%.**

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

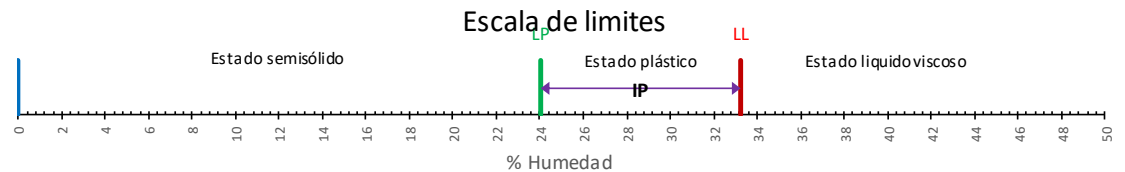
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 3,0% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	2	75	4
# Golpes	17	24	29
M Recipiente (0,01g)	7,07	10,69	7,2
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	20,5	22,46	17,01
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	16,93	19,49	14,65
M agua (0,01g)	3,57	2,97	2,36
M material seco (0,01g)	9,86	8,8	7,45
% Contenido de humedad (0,01%)	36,21	33,75	31,68

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	19	4
M Recipiente (0,01g)	7,25	7,18
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	13,12	14,02
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	11,98	12,7
M agua (0,01g)	1,14	1,32
M material seco (0,01g)	4,73	5,52
% Contenido de humedad (0,01%)	24,10	23,91



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>33,3</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>24,0</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>9,2</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

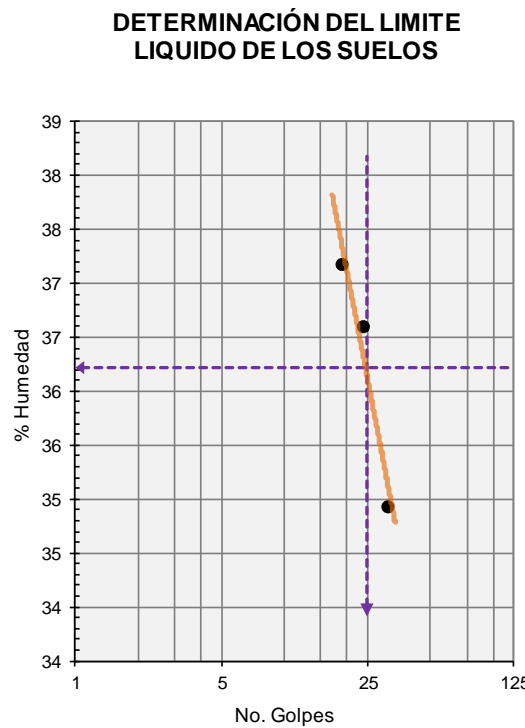
**Modificación Material PF – Ca(OH)<sub>2</sub> de 3.5%.**

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

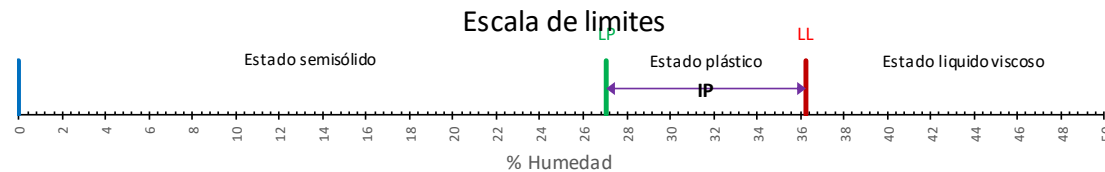
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 3,5% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	402	62	c5
# Golpes	19	24	32
M Recipiente (0,01g)	6,59	10,87	6,76
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	17,44	21,77	16,15
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	14,5	18,85	13,72
M agua (0,01g)	2,94	2,92	2,43
M material seco (0,01g)	7,91	7,98	6,96
% Contenido de humedad (0,01%)	37,17	36,59	34,91

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	119	C1
M Recipiente (0,01g)	7,04	6,88
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	10,97	11,68
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	10,14	10,65
M agua (0,01g)	0,83	1,03
M material seco (0,01g)	3,1	3,77
% Contenido de humedad (0,01%)	26,77	27,32



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>36,2</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>27,0</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>9,2</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

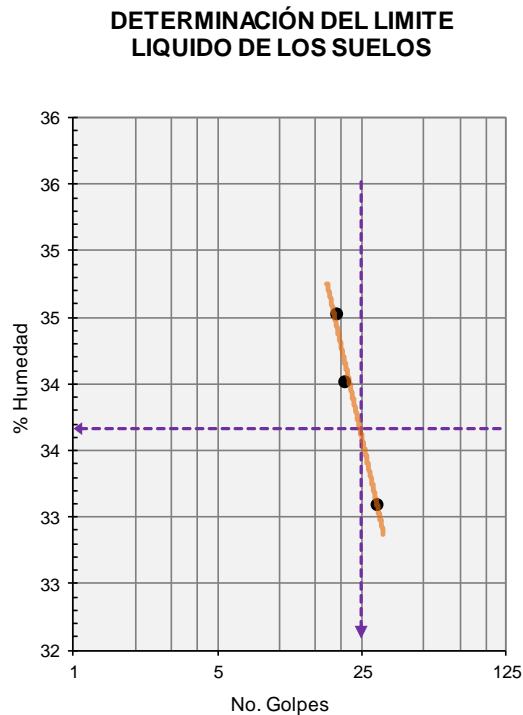


## Modificación Material PF – Ca(OH)<sub>2</sub> de 4.0%.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>	
	INV. E-125 y INV. E-126	

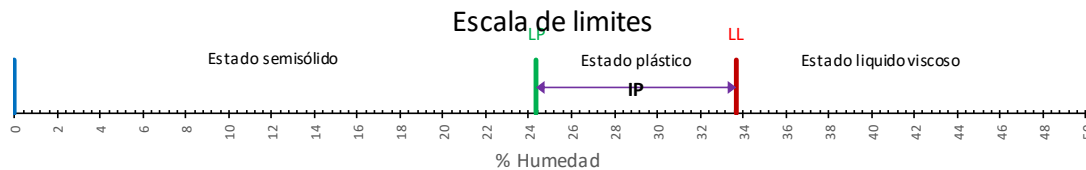
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 4,0% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	16	1	23
# Golpes	19	21	30
M Recipiente (0,01g)	7,19	10,5	10,23
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	19,31	22,4	22,98
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	16,2	19,38	19,81
M agua (0,01g)	3,11	3,02	3,17
M material seco (0,01g)	9,01	8,88	9,58
% Contenido de humedad (0,01%)	34,52	34,01	33,09



LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	20	17
M Recipiente (0,01g)	7,2	7
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	11,02	11,88
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	10,26	10,94
M agua (0,01g)	0,76	0,94
M material seco (0,01g)	3,06	3,94
% Contenido de humedad (0,01%)	24,84	23,86

<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>33,7</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>24,3</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>9,3</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

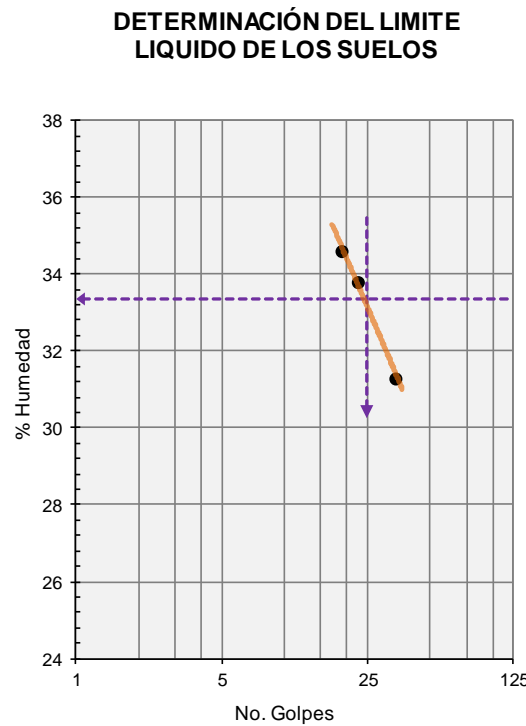
**Modificación Material PF – Ca(OH)<sub>2</sub> de 6.0%.**

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

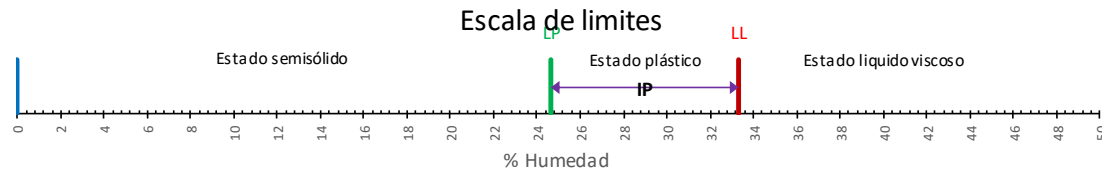
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 6,0% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	14	66	70
# Golpes	19	23	35
M Recipiente (0,01g)	11,04	11,14	11,26
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	21,59	22,35	22,39
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	18,88	19,52	19,74
M agua (0,01g)	2,71	2,83	2,65
M material seco (0,01g)	7,84	8,38	8,48
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>34,57</b>	<b>33,77</b>	<b>31,25</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	61	7
M Recipiente (0,01g)	10,5	7,12
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	14,31	11,36
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	13,54	10,54
M agua (0,01g)	0,77	0,82
M material seco (0,01g)	3,04	3,42
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>25,33</b>	<b>23,98</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>33,3</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>24,7</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>8,7</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

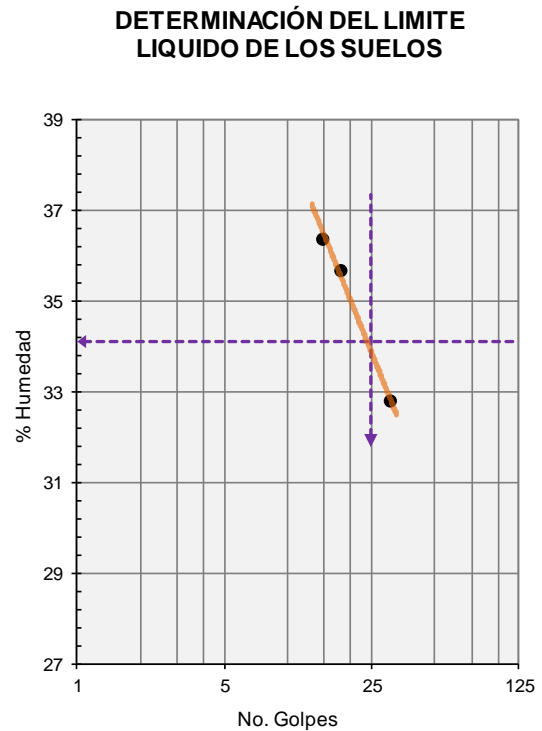
## Modificación Material PF – Ca(OH)<sub>2</sub> de 8.0%.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

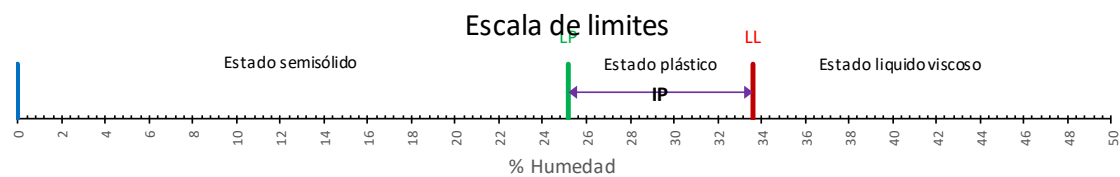
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio 8,0% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	69	85	69
# Golpes	15	18	31
M Recipiente (0,01g)	10,87	6,59	11,28
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	24,93	20,05	21,28
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	21,22	16,55	18,84
M agua (0,01g)	3,71	3,50	2,44
M material seco (0,01g)	10,35	9,96	7,56
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>35,85</b>	<b>35,14</b>	<b>32,28</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	H2	144
M Recipiente (0,01g)	6,68	4,24
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	12,33	8,8
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	11,2	7,88
M agua (0,01g)	1,13	0,92
M material seco (0,01g)	4,52	3,64
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>25,00</b>	<b>25,27</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>33,6</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>25,1</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>8,5</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

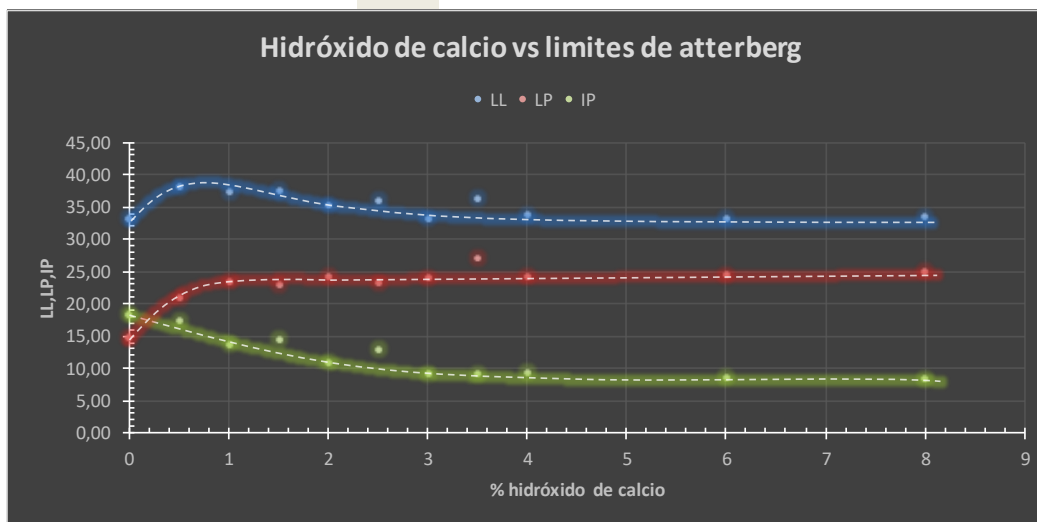
## Modificación Material PF – Ca(OH)<sub>2</sub> resumen.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Hidróxido de calcio - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca- Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

### Datos totales

% cal	LL	LP	IP
0	33,16	14,68	18,48
0,5	38,20	20,87	17,33
1	37,45	23,62	13,83
1,5	37,63	23,09	14,54
2	35,22	24,34	10,88
2,5	36,04	23,13	12,91
3	33,25	24,01	9,24
3,5	36,22	27,05	9,18
4	33,67	24,35	9,32
6	33,33	24,65	8,68
8	33,61	25,14	8,47



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

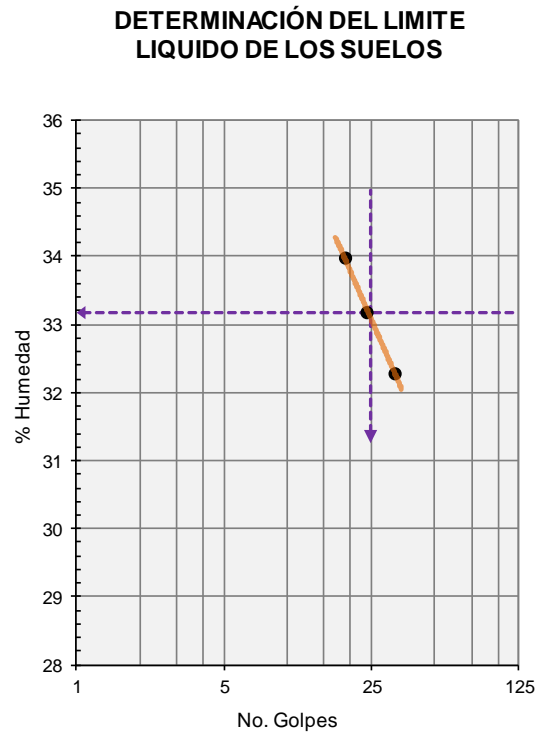
**Modificación Material PF – CaO de 0.0%.**

	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

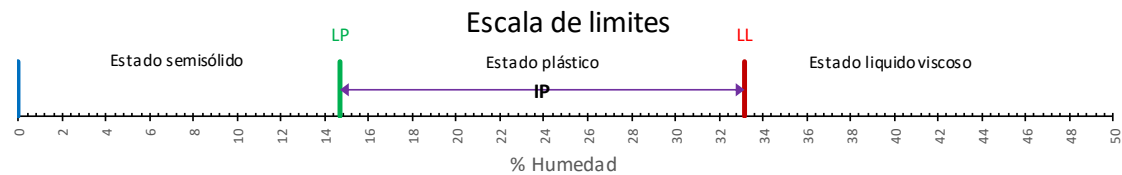
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Oxido de calcio 0% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	66	A3	C1
# Golpes	19	24	33
M Recipiente (0,01g)	6,79	9,51	11,08
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	14,56	16,94	17,6
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	12,59	15,09	16,01
M agua (0,01g)	1,97	1,85	1,59
M material seco (0,01g)	5,8	5,58	4,93
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>33,97</b>	<b>33,15</b>	<b>32,25</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	56	71
M Recipiente (0,01g)	11,02	11,46
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	17,06	17,45
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	16,27	16,7
M agua (0,01g)	0,79	0,75
M material seco (0,01g)	5,25	5,24
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>15,05</b>	<b>14,31</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>33,2</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>14,7</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>18,5</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	-------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

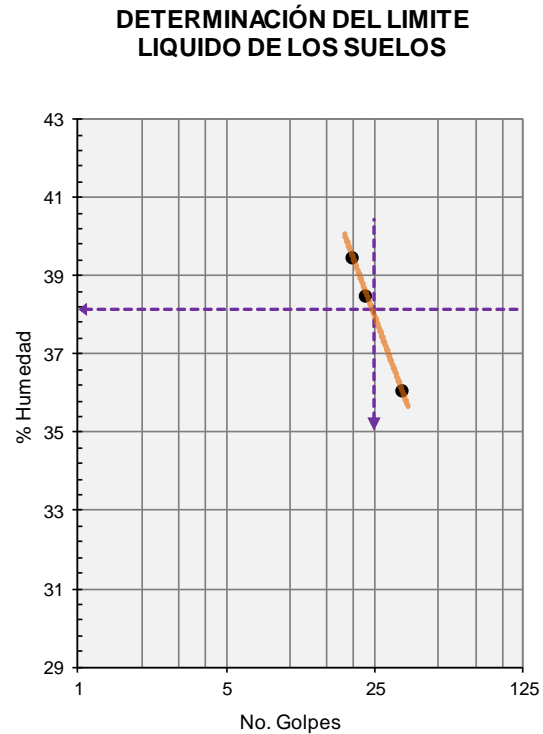
## Modificación Material PF – CaO de 0.5%.

	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	I.N.V. E-125 y I.N.V. E-126		

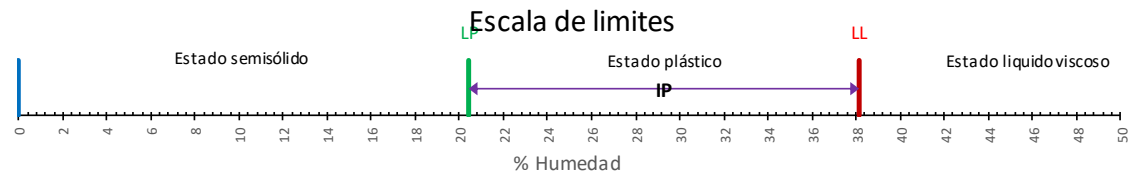
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y Oxido de calcio 0,5% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	56	71	85
# Golpes	20	23	34
M Recipiente (0,01g)	11,00	11,44	6,57
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	21,18	21,09	14,61
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	18,3	18,41	12,48
M agua (0,01g)	2,88	2,68	2,13
M material seco (0,01g)	7,3	6,97	5,91
% Contenido de humedad (0,01%)	39,45	38,45	36,04

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	59	A4
M Recipiente (0,01g)	11,28	10,71
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	15,36	14,47
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	14,67	13,83
M agua (0,01g)	0,69	0,64
M material seco (0,01g)	3,39	3,12
% Contenido de humedad (0,01%)	20,35	20,51



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>38,1</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>20,4</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>17,7</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	-------------



<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

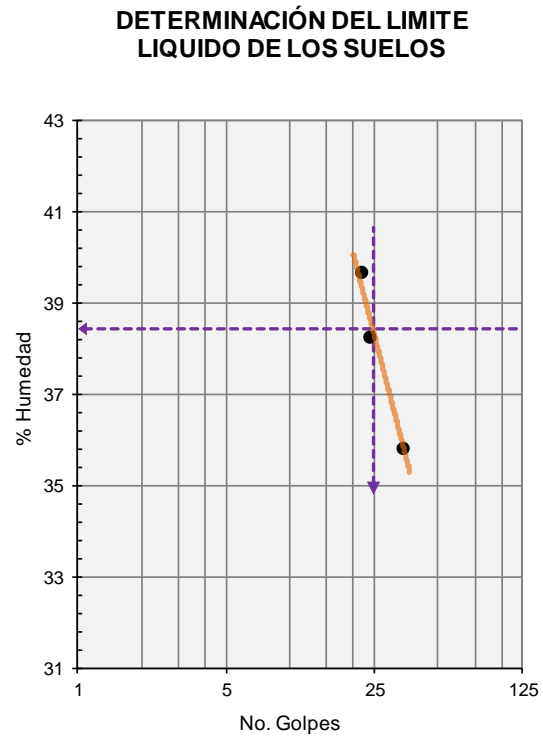
## Modificación Material PF – CaO de 1.0%.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	I.N.V. E-125 y I.N.V. E-126		

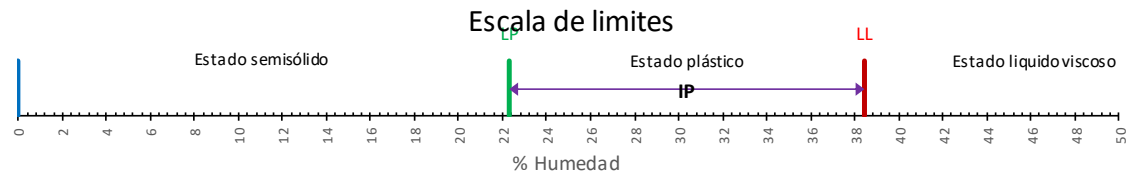
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y oxido de calcio 1,0% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	A3	70	66
# Golpes	22	24	35
M Recipiente (0,01g)	9,54	11,21	11,14
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	19,93	20,79	20,36
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	16,98	18,14	17,93
M agua (0,01g)	2,95	2,65	2,43
M material seco (0,01g)	7,44	6,93	6,79
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>39,65</b>	<b>38,24</b>	<b>35,79</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	7	Sn
M Recipiente (0,01g)	7,12	11,23
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	10,88	14,93
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	10,19	14,26
M agua (0,01g)	0,69	0,67
M material seco (0,01g)	3,07	3,03
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>22,48</b>	<b>22,11</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>38,4</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>22,3</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>16,1</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	-------------



Observaciones \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

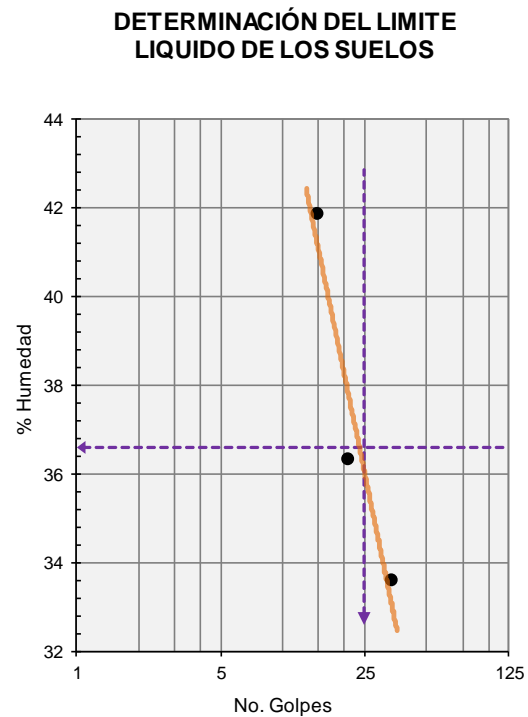
## Modificación Material PF – CaO de 1.5%.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

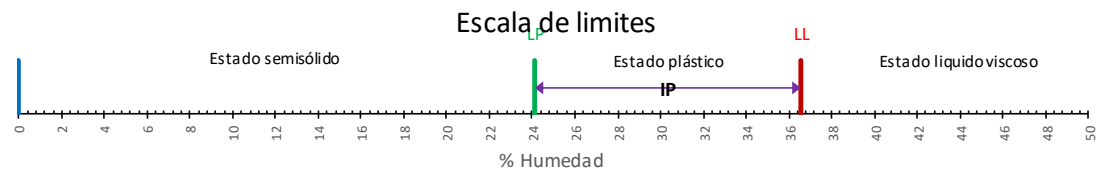
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y oxido de calcio 1,5% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	57	67	17
# Golpes	15	21	34
M Recipiente (0,01g)	11,03	11,25	7
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	20,79	19,28	15,55
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	17,91	17,14	13,4
M agua (0,01g)	2,88	2,14	2,15
M material seco (0,01g)	6,88	5,89	6,4
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>41,86</b>	<b>36,33</b>	<b>33,59</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	61	72
M Recipiente (0,01g)	10,51	11
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	14,59	15,98
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	13,79	15,02
M agua (0,01g)	0,8	0,96
M material seco (0,01g)	3,28	4,02
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>24,39</b>	<b>23,88</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>36,6</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>24,1</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>12,5</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	-------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



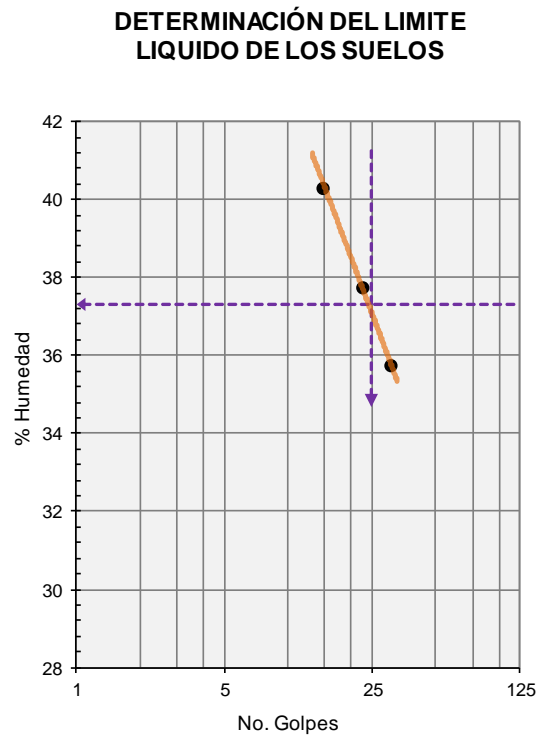
## Modificación Material PF – CaO de 2.0%.

	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

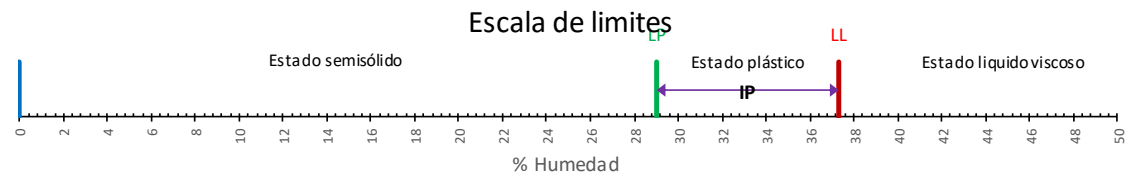
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y óxido de calcio 2,0% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	69	H2	73
# Golpes	15	23	31
M Recipiente (0,01g)	10,83	6,64	10,8
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	19,33	16,43	20,95
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	16,89	13,75	18,28
M agua (0,01g)	2,44	2,68	2,67
M material seco (0,01g)	6,06	7,11	7,48
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>40,26</b>	<b>37,69</b>	<b>35,70</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente:	63	94
M Recipiente (0,01g):	10,78	3,76
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g):	15,12	8,99
M Recipiente + suelo Seco (0,01g):	14,14	7,82
M agua (0,01g):	0,98	1,17
M material seco (0,01g):	3,36	4,06
% Contenido de humedad (0,01%):	<b>29,17</b>	<b>28,82</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>37,3</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>29,0</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>8,3</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

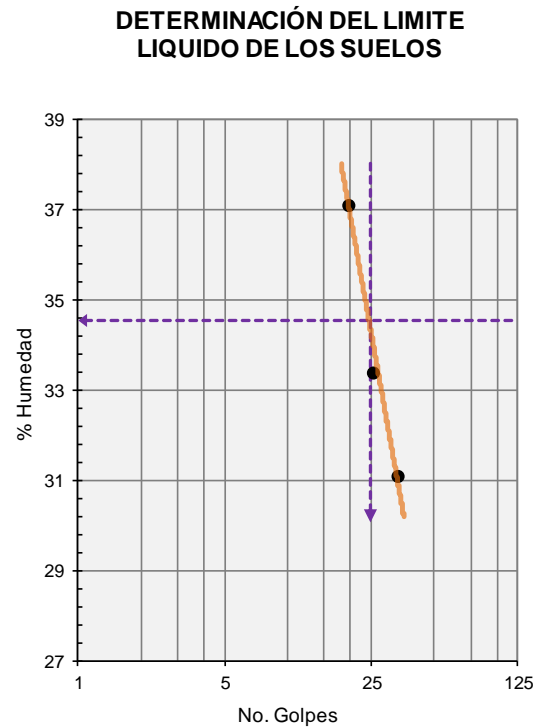
## Modificación Material PF – CaO de 2.5%.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

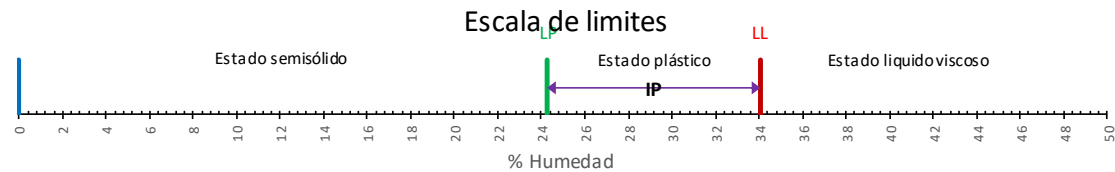
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y oxido de calcio 2,5% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	57	65	144
# Golpes	20	26	34
M Recipiente (0,01g)	4,49	10,93	4,2
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	12,89	20,15	13,81
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	10,64	17,87	11,56
M agua (0,01g)	2,25	2,28	2,25
M material seco (0,01g)	6,15	6,94	7,36
% Contenido de humedad (0,01%)	36,59	32,85	30,57

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	35	79
M Recipiente (0,01g)	4,27	4,15
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	8,17	8,48
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	7,42	7,62
M agua (0,01g)	0,75	0,86
M material seco (0,01g)	3,15	3,47
% Contenido de humedad (0,01%)	23,81	24,78



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>34,0</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>24,3</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>9,7</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



Observaciones \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

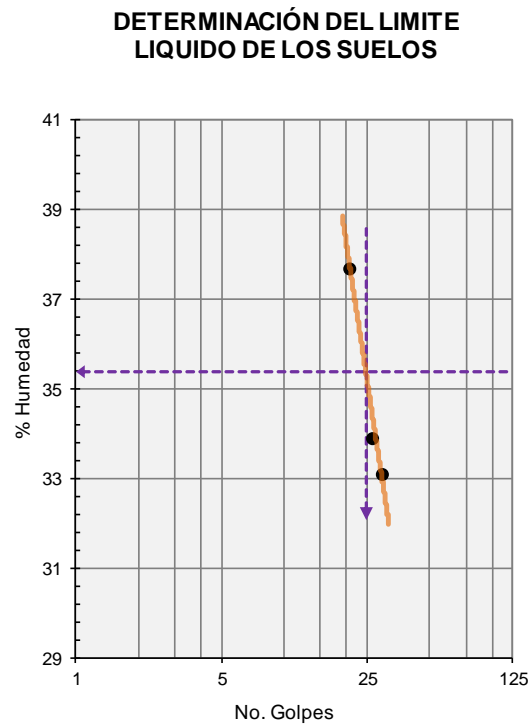
## Modificación Material PF – CaO de 3.0%.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

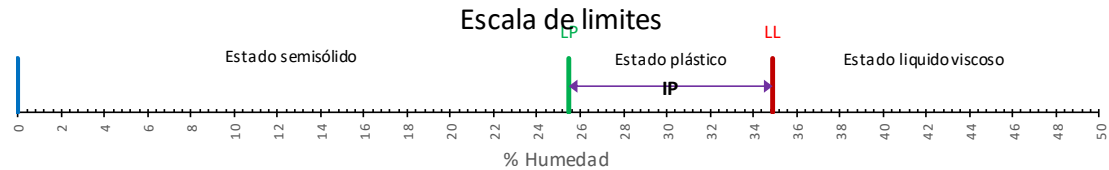
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y oxido de calcio 3,0% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	21	51	62
# Golpes	21	27	30
M Recipiente (0,01g)	7,18	10,82	10,87
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	17,85	21,21	22,27
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	14,96	18,61	19,47
M agua (0,01g)	2,89	2,60	2,80
M material seco (0,01g)	7,78	7,79	8,6
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>37,15</b>	<b>33,38</b>	<b>32,56</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	96	19P
M Recipiente (0,01g)	4,01	3,98
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	7,46	8,09
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	6,74	7,28
M agua (0,01g)	0,72	0,81
M material seco (0,01g)	2,73	3,3
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>26,37</b>	<b>24,55</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>34,9</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>25,5</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>9,4</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



Observaciones \_\_\_\_\_

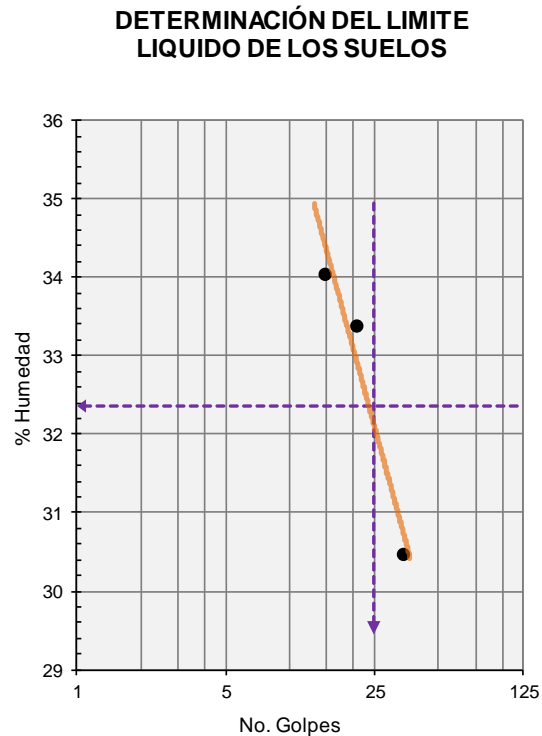
<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Modificación Material PF – CaO de 3.5%.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

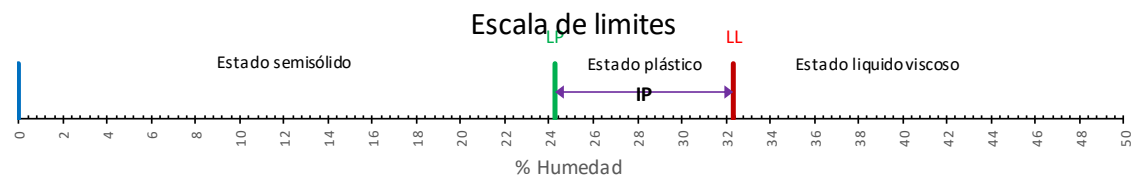
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y óxido de calcio 3,5% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	2	60	54
# Golpes	15	21	35
M Recipiente (0,01g)	7,01	11,11	10,63
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	16,82	22,74	23,01
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	14,33	19,83	20,12
M agua (0,01g)	2,49	2,91	2,89
M material seco (0,01g)	7,32	8,72	9,49
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>34,02</b>	<b>33,37</b>	<b>30,45</b>



LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	66	64
M Recipiente (0,01g)	4,01	4,06
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	7,36	8,1
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	6,7	7,32
M agua (0,01g)	0,66	0,78
M material seco (0,01g)	2,69	3,26
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>24,54</b>	<b>23,93</b>

<b>Límite líquido (LL)</b>	<b>32,4</b>	<b>Límite Plástico (LP)</b>	<b>24,2</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>8,1</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

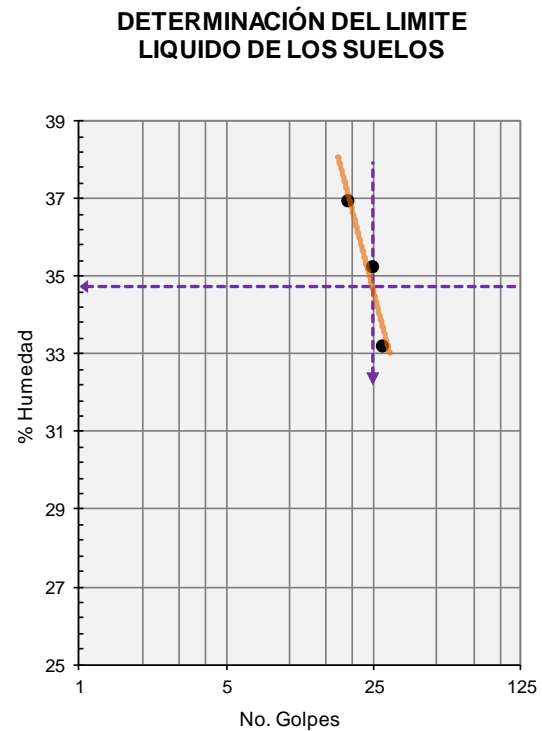
## Modificación Material PF – CaO de 4.0%.

	ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>	
		INV. E-125 y INV. E-126	

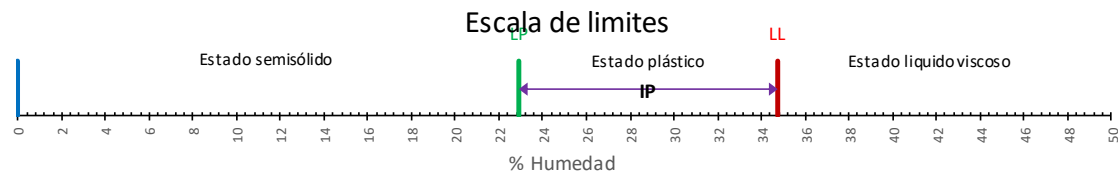
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y oxido de calcio 4,0% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	Sn1	9	4
# Golpes	19	25	28
M Recipiente (0,01g)	3,90	7,5	7,17
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	14,36	19,09	18,81
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	11,54	16,07	15,91
M agua (0,01g)	2,82	3,02	2,90
M material seco (0,01g)	7,64	8,57	8,74
% Contenido de humedad (0,01%)	36,91	35,24	33,18

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	B5	144
M Recipiente (0,01g)	6,64	4,24
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	13,9	10,17
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	12,53	9,08
M agua (0,01g)	1,37	1,09
M material seco (0,01g)	5,89	4,84
% Contenido de humedad (0,01%)	23,26	22,52



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>34,7</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>22,9</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>11,8</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	-------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

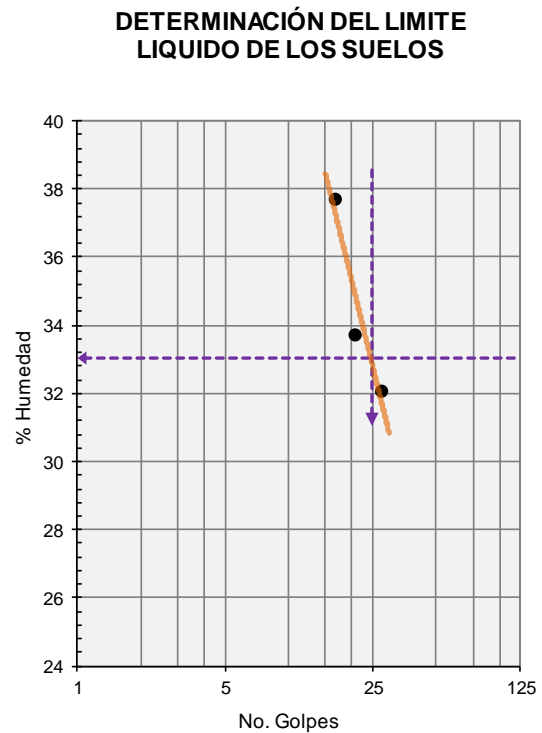
## Modificación Material PF – CaO de 6.0%.

	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

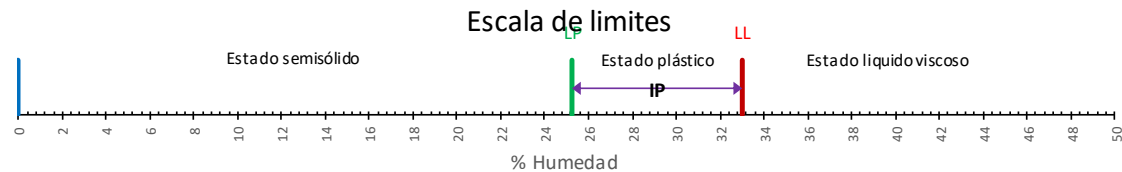
Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y oxido de calcio 6,0% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	L4	53	68
# Golpes	17	21	28
M Recipiente (0,01g)	6,44	10,77	11,05
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	18,5	22,55	22,18
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	15,2	19,58	19,48
M agua (0,01g)	3,30	2,97	2,70
M material seco (0,01g)	8,76	8,81	8,43
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>37,67</b>	<b>33,71</b>	<b>32,03</b>

LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	18	C5
M Recipiente (0,01g)	8,44	6,76
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	11,66	10,49
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	11	9,75
M agua (0,01g)	0,66	0,74
M material seco (0,01g)	2,56	2,99
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>25,78</b>	<b>24,75</b>



<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>33,0</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>25,3</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>7,8</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

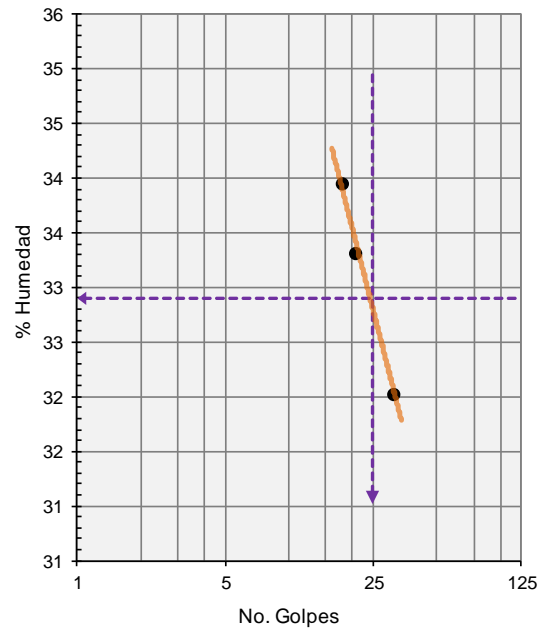
## Modificación Material PF – CaO de 8.0%.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y oxido de calcio 8,0% - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS			
No. Recipiente	83	C4	55
# Golpes	18	21	32
M Recipiente (0,01g)	6,66	6,76	12
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	19,88	18,01	22,31
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	16,53	15,2	19,81
M agua (0,01g)	3,35	2,81	2,50
M material seco (0,01g)	9,87	8,44	7,81
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>33,94</b>	<b>33,29</b>	<b>32,01</b>

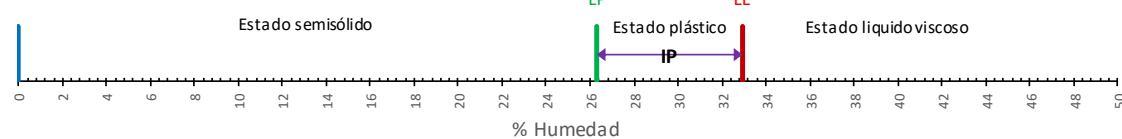
### DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS



LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS		
No. Recipiente	4	L20
M Recipiente (0,01g)	7,19	7,62
M Recipiente + suelo húmedo (0,01g)	12,03	12,72
M Recipiente + suelo Seco (0,01g)	11,03	11,65
M agua (0,01g)	1	1,07
M material seco (0,01g)	3,84	4,03
% Contenido de humedad (0,01%)	<b>26,04</b>	<b>26,55</b>

<b>Limite liquido (LL)</b>	<b>32,9</b>	<b>Limite Plástico (LP)</b>	<b>26,3</b>	<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	<b>6,6</b>
----------------------------	-------------	-----------------------------	-------------	-----------------------------------	------------

### Escala de límites



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

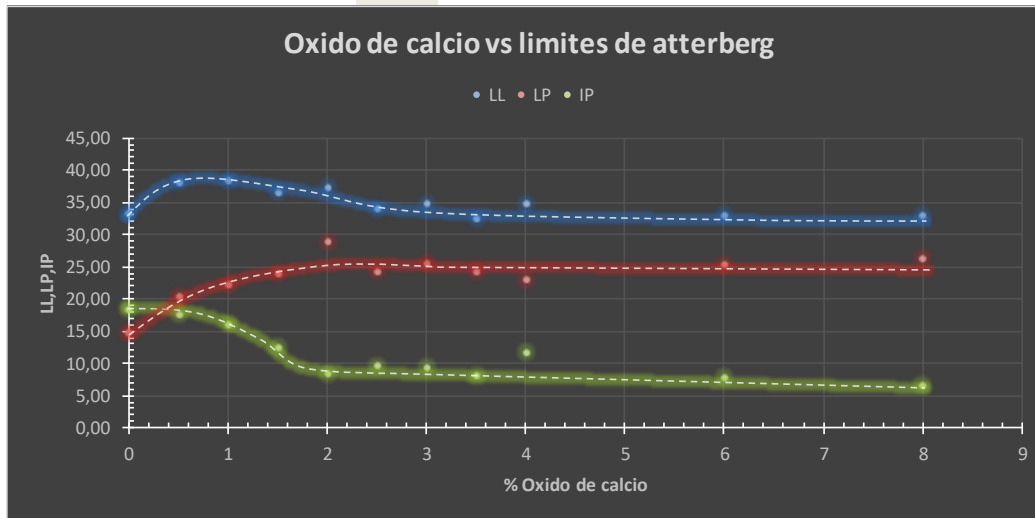
## Modificación Material PF – CaO resumen.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS Y LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</b>		
	INV. E-125 y INV. E-126		

Identificación (descripción):	<b>Material de recebo y oxido de calcio - Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	Método:	<b>A</b>
		Fecha:	<b>13/08/2017</b>

### Datos totales

% cal	LL	LP	IP
0	33,16	14,68	18,48
0,5	38,14	20,43	17,71
1	38,44	22,29	16,14
1,5	36,60	24,14	12,46
2	37,31	28,99	8,32
2,5	34,04	24,30	9,74
3	34,89	25,46	9,43
3,5	32,37	24,23	8,14
4	34,72	22,89	11,83
6	33,02	25,27	7,76
8	32,91	26,30	6,61



Observaciones \_\_\_\_\_

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



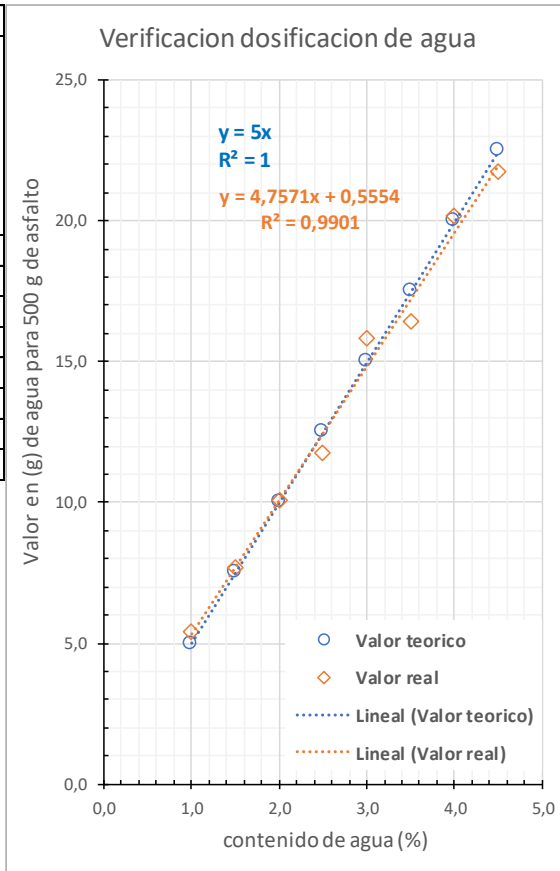
## Anexo 6 Calibración de planta WLB10s y caracterización de espumas de asfalto.

### Calibración Agua - Planta Wirtgen WLB10s


	<b>Calibracion de agua maquina Wirtgen WLB 10S</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)
---	---

Identificación (descripción):	Planta de asfalto WLB10s		
Procedencia (localización):	Wirtgen	Fecha:	8/02/2018

Maquina de espumado WLB 10s - para un caudal de 100g/s						
Caudalimetro (l/h)	valor teorico de contenido de agua (%)	Valor teorico en (g) de agua, para 500 g de asfalto	Datos		Valor real en (g) de agua para 500 g de asfalto	valor real en contenido de agua (%)
			dato 1 (g)	dato 2 (g)		
3,6	1,0	5,0	5,6	5,2	5,4	1,08
5,4	1,5	7,5	7,7	7,7	7,7	1,54
7,2	2,0	10,0	9,7	10,5	10,1	2,02
9,0	2,5	12,5	11,7	11,8	11,8	2,35
10,8	3,0	15,0	16,1	15,5	15,8	3,16
12,6	3,5	17,5	16,1	16,8	16,5	3,29
14,4	4,0	20,0	20,6	19,7	20,2	4,03
16,2	4,5	22,5	21,3	22,2	21,8	4,35



## Calibración Asfalto a 140°C - Planta Wirtgen WLB10s

	<b>Calibración de asfalto maquina Wirtgen WLB 10S</b>		
	Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
Identificación (descripción):	Material de asfalto 80-100		
Procedencia (localización):	HQ	Fecha:	8/02/2018

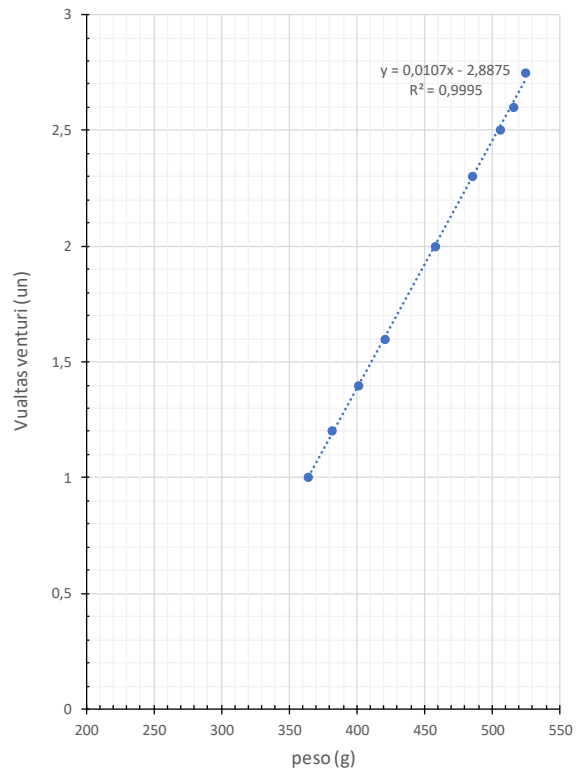
Datos Iniciales		
Caudal del bitumen (Q <sub>bit</sub> )	100g/s	4280,5
Temperatura	140	4805
cantidad de asfalto por disparo	500g	524,5

Velocidad (# vueltas)	cantidad 1	cantidad 2	Promedio peso	Tiempo 1	Tiempo 2	Promedio
1	361,7	367	364,35	5,11	5,21	5,2
1,2	380	383,4	381,7	5,01	5,11	5,1
1,4	399	403	401	5,04	5,13	5,1
1,6	421,3	420,6	420,95	5,06	5,16	5,1
2	458,7	457,4	458,05	5,13	5,21	5,2
2,3	485,9	484,5	485,2	5,14	5,23	5,2
2,5	507,4	504	505,7	5,17	5,2	5,2
2,6	515,1	515,9	515,5	5,03	5,06	5,0
2,75	525,7	524,5	525,1	5,18	5,11	5,1
Promedio						5,1


### Chequeo

Vueltas venturi	cantidad 1	cantidad 2	Promedio peso	Tiempo	Tiempo
2,46	502,5	509	505,75	5,2	5,26
Promedio				5,2	

Venturi vs Peso a 140°C (asfalto 80/100)



## Calibración Asfalto a 150°C - Planta Wirtgen WLB10s

	<b>Calibración de asfalto maquina Wirtgen WLB 10S</b>		
	Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
Identificación (descripción):	Material de asfalto 80-100		
Procedencia (localización):	HQ	Fecha:	19 de Enero de 2018

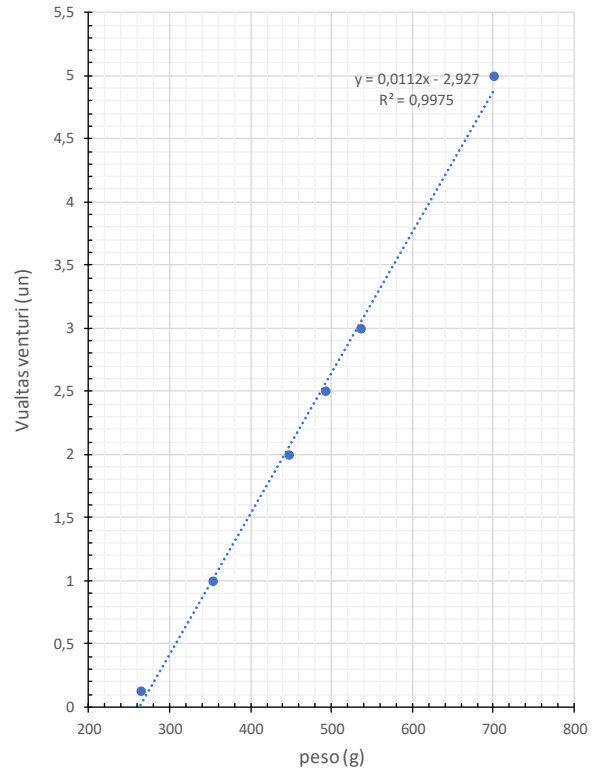
Datos Iniciales	
Caudal del bitumen (Q <sub>bit</sub> )	100g/s
Temperatura	150°C
cantidad de asfalto por disparo	500g

Vueltas venturi	cantidad 1	cantidad 2	Promedio peso	Tiempo 1	Tiempo 2	Promedio
0	0	0	0	0	0	0,0
0,13	260	268,6	264	5,05	5,26	5,2
1	354,3	353,6	354	5,28	5,44	5,4
2	447,2	448,7	448	5,28	5,22	5,3
2,5	493,2	492	493	5,29	5,09	5,2
3	538,4	535	537	5,26	5,2	5,2
5	701,5	690,5	702	5,08	5,44	5,3
Promedio						5,2


### Chequeo

Vueltas venturi	cantidad 1	cantidad 2	Promedio peso	Tiempo	Tiempo
2,67	504,6	504,5	504,55	5,09	5,26
Promedio				5,2	

Venturi vs Peso 150°C (asfalto 80/100)



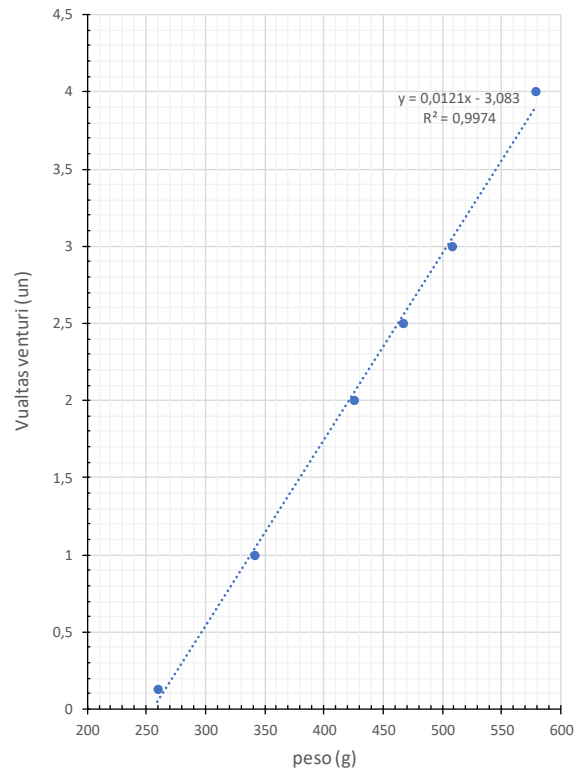
## Calibración Asfalto a 160°C - Planta Wirtgen WLB10s

	<b>Calibración de asfalto maquina Wirtgen WLB 10S</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción): <b>Material de asfalto 80-100</b>		
Procedencia (localización): <b>HQ</b>	Fecha: <b>19 de Enero de 2018</b>		

Datos Iniciales	
Caudal del bitumen (Q <sub>bit</sub> )	100g/s
Temperatura	160°C
cantidad de asfalto por disparo	500g

Vueltas venturi	cantidad 1	cantidad 2	Promedio peso	Tiempo 1	Tiempo 2	Promedio
0	0	0	0	0	0	0,00
0,13	259,8	259,8	259,8	5,13	5,21	5,17
1	341,7	341,7	341,7	5,4	5,24	5,32
2	425	426,5	425,75	5,34	5,13	5,24
2,5	468,4	466,4	467,4	5,23	5,06	5,15
3	508,5	507,2	507,85	5,24	5,21	5,23
4	580,7	577	578,85	5,25	5,22	5,24
Promedio						5,2

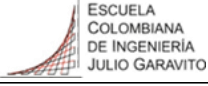
Venturi vs Peso 160°C (asfalto 80/100)



### Chequeo

Vueltas venturi	cantidad 1	cantidad 2	Promedio peso	Tiempo	Tiempo
2,97	503,8	504,6	504,2	5,21	5,16
Promedio				5,2	

## Calibración Asfalto a 170°C - Planta Wirtgen WLB10s

	<b>Calibración de asfalto maquina Wirtgen WLB 10S</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción): <b>Material de asfalto 80-100</b>		
Procedencia (localización): <b>HQ</b>	Fecha: <b>19 de Enero de 2018</b>		

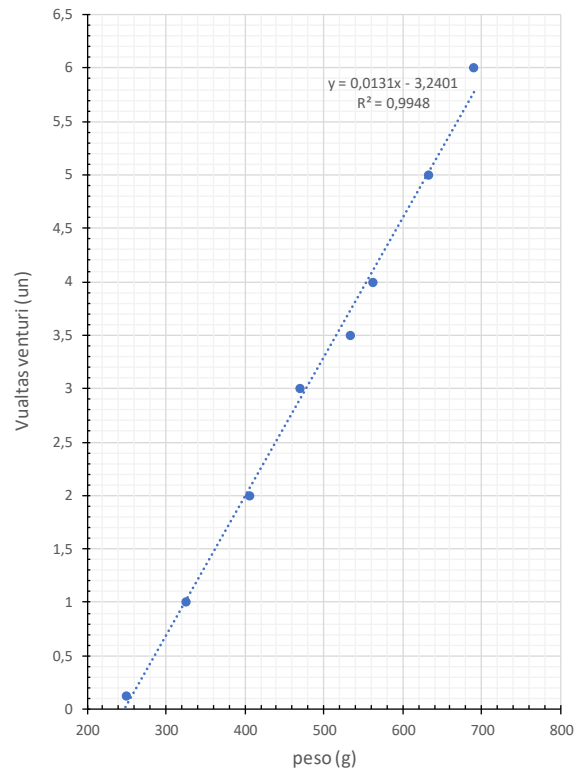
Datos Iniciales	
Caudal del bitumen (Q <sub>bit</sub> )	100g/s
Temperatura	170°C
cantidad de asfalto por disparo	500g

Vueltas venturi	cantidad 1	cantidad 2	Promedio peso	Tiempo 1	Tiempo 2	Promedio
0	0	0	0	0	0	0
0,13	248,9	249	248,95	5,24	5,24	5,2
1	324,7	325,2	324,95	5,2	5,08	5,1
2	405,6	406,2	405,9	5,19	4,98	5,1
3	469	471	470	5,3	5,26	5,3
3,5	524,5	542,3	533,4	5,11	5,04	5,1
4	561,6	562,5	562,05	5,68	5,3	5,5
5	634,2	630,7	632,45	5,27	5,16	5,2
6	691,7	687,9	689,8	5,08	5,23	5,2
Promedio						5,2

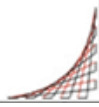
### Chequeo

Vueltas venturi	cantidad 1	cantidad 2	Promedio peso	Tiempo	Tiempo
3,26	512	509	510,5	5,13	5,26
Promedio				5,2	

Venturi vs Peso a 170°C (asfalto 80/100)



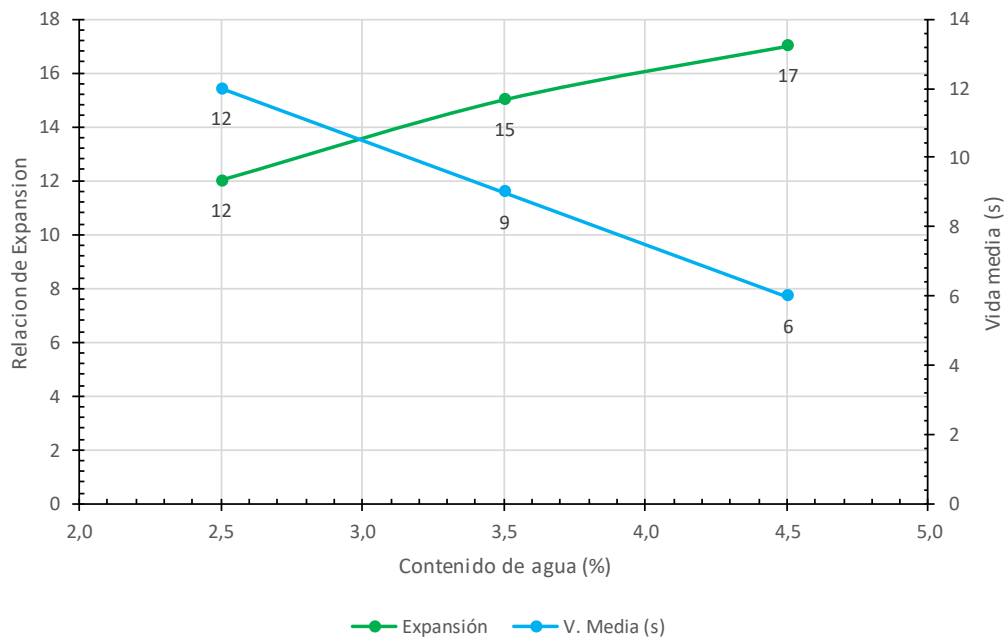
## Caracterización asfalto espumado a 140°C.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>CARACTERIZACION DEESPUMA DE ASFALTO</b>		
	Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
Identificación (descripción): <b>Material de asfalto 80-100 a 140°C</b>			
Procedencia (localización): <b>HQ</b>		Fecha:	<b>2/04/2018</b>

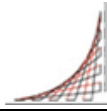
Ensayo		
Contenido de Agua (%) ( $W_{aca}$ )	1ª Medida	
	Expansión	V. Media (s)
2,5	12	12
3,5	15	9
4,5	17	6

Datos Iniciales	
$Q_{agua} = \frac{Q_{bit} * W_{aca} * 3,6}{100}$	
Caudal del bitumen ( $Q_{bit}$ ) (g/s)	126,6
Temperatura	140
Cantidad de asfalto por disparo	500g
Tiempo de disparo	3,95
venturi (vueltas)	-

INFLUENCIA DE CONTENIDO DE AGUA EN LA RELACIÓN DE EXPANSIÓN Y VIDA MEDIA WLB10



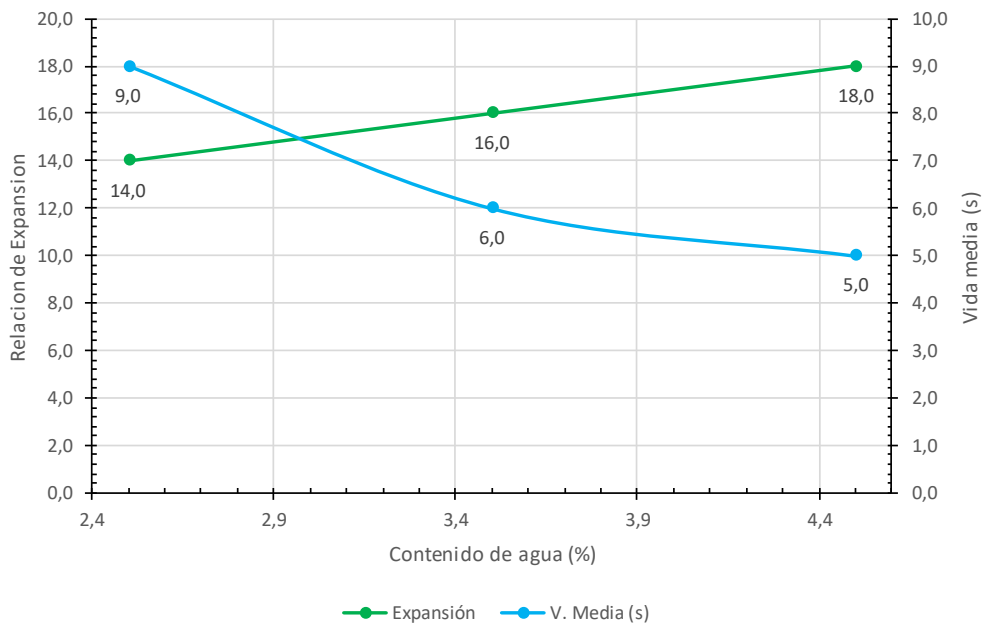
## Caracterización asfalto espumado a 150°C.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>CARACTERIZACION DEESPUMA DE ASFALTO</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción): <b>Material de asfalto 80-100 a 150°C</b>		
Procedencia (localización): <b>HQ</b>	Fecha:	<b>2/04/2018</b>	

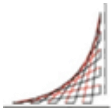
Ensayo		
Contenido de Agua (%) ( $W_{aca}$ )	1ª Medida	
	Expansión	V. Media (s)
2,5	14,0	9,0
3,5	16,0	6,0
4,5	18,0	5,0

Datos Iniciales	
$Q_{agua} = \frac{Q_{bit} * W_{aca} * 3,6}{100}$	
Caudal del bitumen ( $Q_{bit}$ )	127,6
Temperatura	150°C
Cantidad de asfalto por disparo	500g
Tiempo de disparo	3,92
venturi (vueltas)	-

INFLUENCIA DE CONTENIDO DE AGUA EN LA RELACIÓN DE EXPANSIÓN Y VIDA MEDIA WLB10



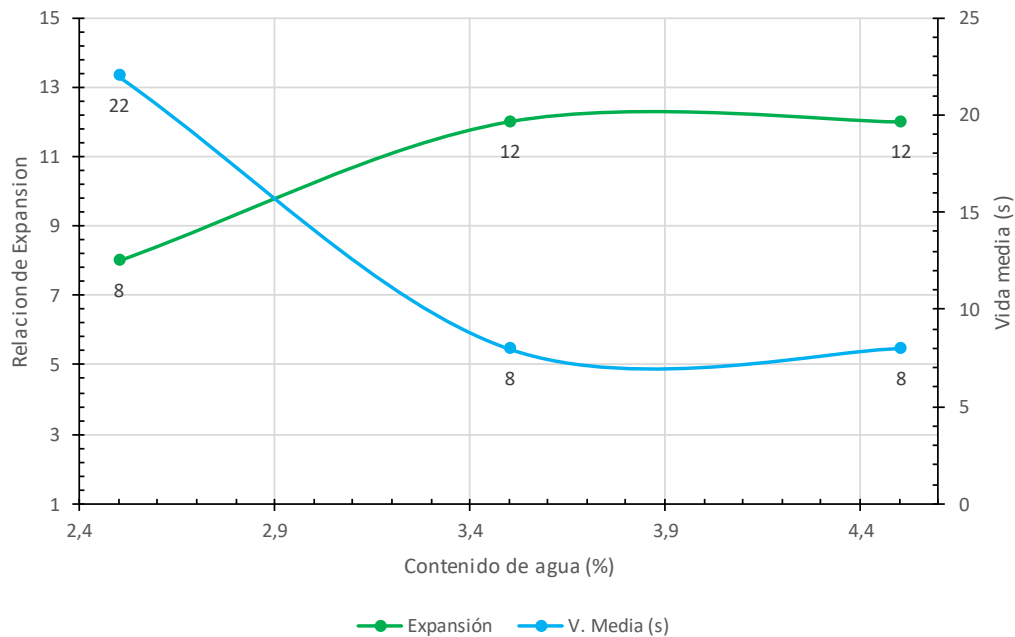
## Caracterización asfalto espumado a 160°C.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>CARACTERIZACION DEESPUMA DE ASFALTO</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	<b>Identificación (descripción): Material de asfalto 80-100 a 160°C</b>		
<b>Procedencia (localización): HQ</b>	<b>Fecha:</b>	<b>2/04/2018</b>	

Ensayo		
Contenido de Agua (%) (W <sub>aca</sub> )	1ª Medida	
	Expansión	V. Media (s)
2,5	8	22
3,5	12	8
4,5	12	8

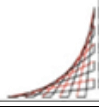
Datos Iniciales	
$Q_{agua} = \frac{Q_{bit} * W_{aca} * 3,6}{100}$	
Caudal del bitumen (Q <sub>bit</sub> )	129,9
Temperatura	160°C
Cantidad de asfalto por disparo	500g
Tiempo de disparo	3,85
venturi (vueltas)	-

INFLUENCIA DE CONTENIDO DE AGUA EN LA RELACIÓN DE EXPANSIÓN Y VIDA MEDIA WLB10





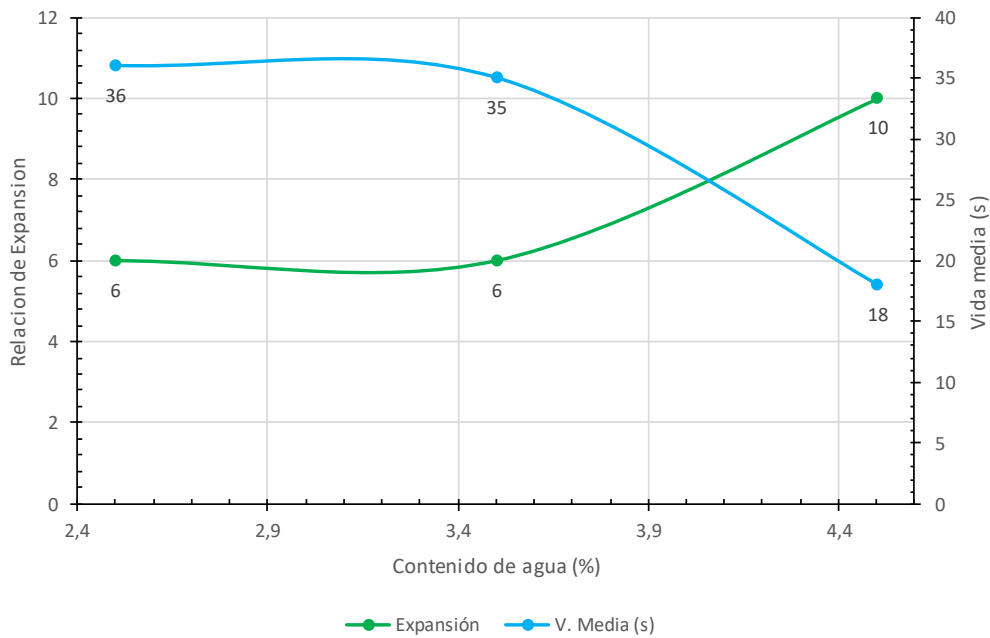
## Caracterización asfalto espumado a 170°C.

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>CARACTERIZACION DEESPUMA DE ASFALTO</b>		
	Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
Identificación (descripción): <b>Material de asfalto 80-100 a 170°C</b>			
Procedencia (localización): <b>HQ</b>		Fecha:	<b>2/04/2018</b>


Ensayo		
Contenido de Agua (%) ( $W_{aca}$ )	1ª Medida	
	Expansión	V. Media (s)
2,5	6	36
3,5	6	35
4,5	10	18

Datos Iniciales	
$Q_{agua} = \frac{Q_{bit} * W_{aca} * 3,6}{100}$	
Caudal del bitumen ( $Q_{bit}$ )	129,9
Temperatura	170°C
Cantidad de asfalto por disparo	500g
Tiempo de disparo	3,85
venturi (vueltas)	-

INFLUENCIA DE CONTENIDO DE AGUA EN LA RELACIÓN DE EXPANSIÓN Y VIDA MEDIA WLB10

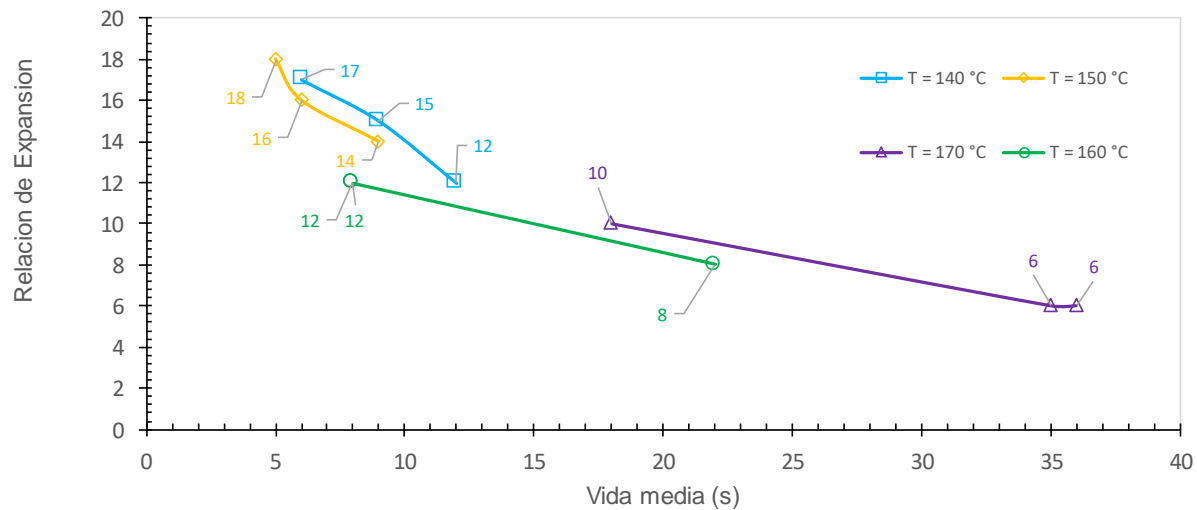


## Resumen asfalto espumado a todas las temperaturas

	<b>CARACTERIZACION DEESPUMA DE ASFALTO</b>		
	Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
<b>Identificación (descripción):</b>	<b>Material de asfalto 80-100</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>HQ</b>	<b>Fecha:</b>	<b>2/04/2018</b>

Contenido de Agua (%)	T = 140 °C		T = 150 °C		T = 160 °C		T = 170 °C	
	Expansión	V. Media (s)	Expansión	V. Media (s)	Expansión	V. Media (s)	Expansión	V. Media (s)
2,5	12	12	14	9	8	22	6	36
3,5	15	9	16	6	12	8	6	35
4,5	17	6	18	5	12	8	10	18

Relacion de vida media y la relacion de expansion a 140°C-150°C-160°C-170°C

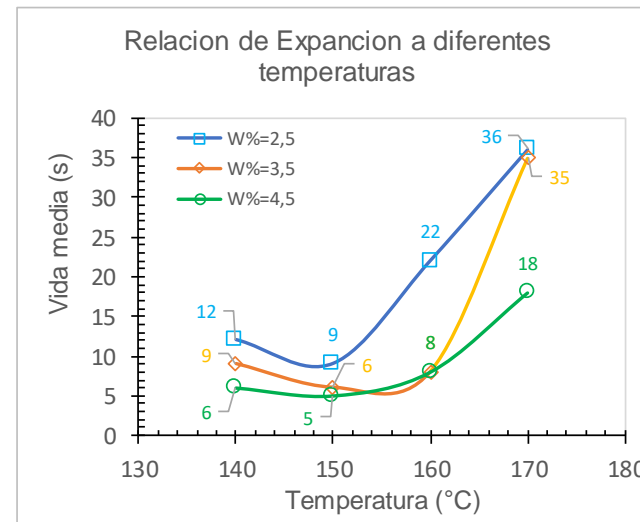
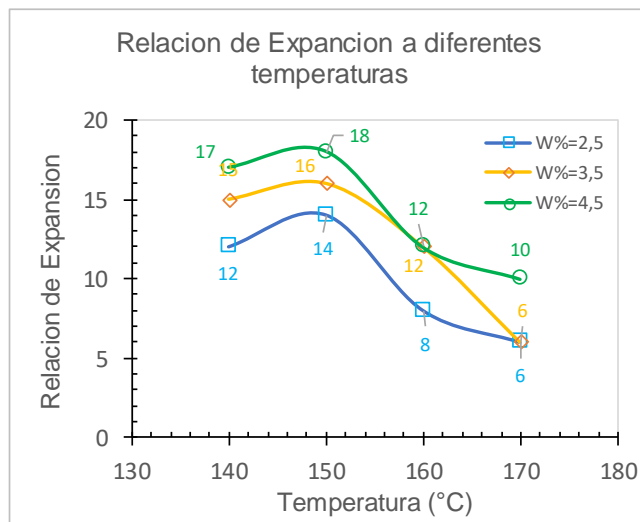


Continuación - resumen asfalto espumado a todas las temperaturas.


	<b>CARACTERIZACION DEESPUMA DE ASFALTO</b>	
	Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)	

<b>Identificación (descripción):</b>	<b>Material de asfalto 80-100</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>HQ</b>	<b>Fecha:</b>	<b>2/04/2018</b>

Contenido de Agua (%)	W%=2,5		W%=3,5		W%=4,5	
	Expansión	V. Media (s)	Expansión	V. Media (s)	Expansión	V. Media (s)
140	12	12	15	9	17	6
150	14	9	16	6	18	5
160	8	22	12	8	12	8
170	6	36	6	35	10	18



## Resumen índice de espumado a todas las temperaturas.

	<b>CARACTERIZACION DEESPUMA DE ASFALTO</b>		
	Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
<b>Identificación (descripción):</b>	<b>Material de asfalto 80-100</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>HQ</b>	<b>Fecha:</b>	<b>2/04/2018</b>

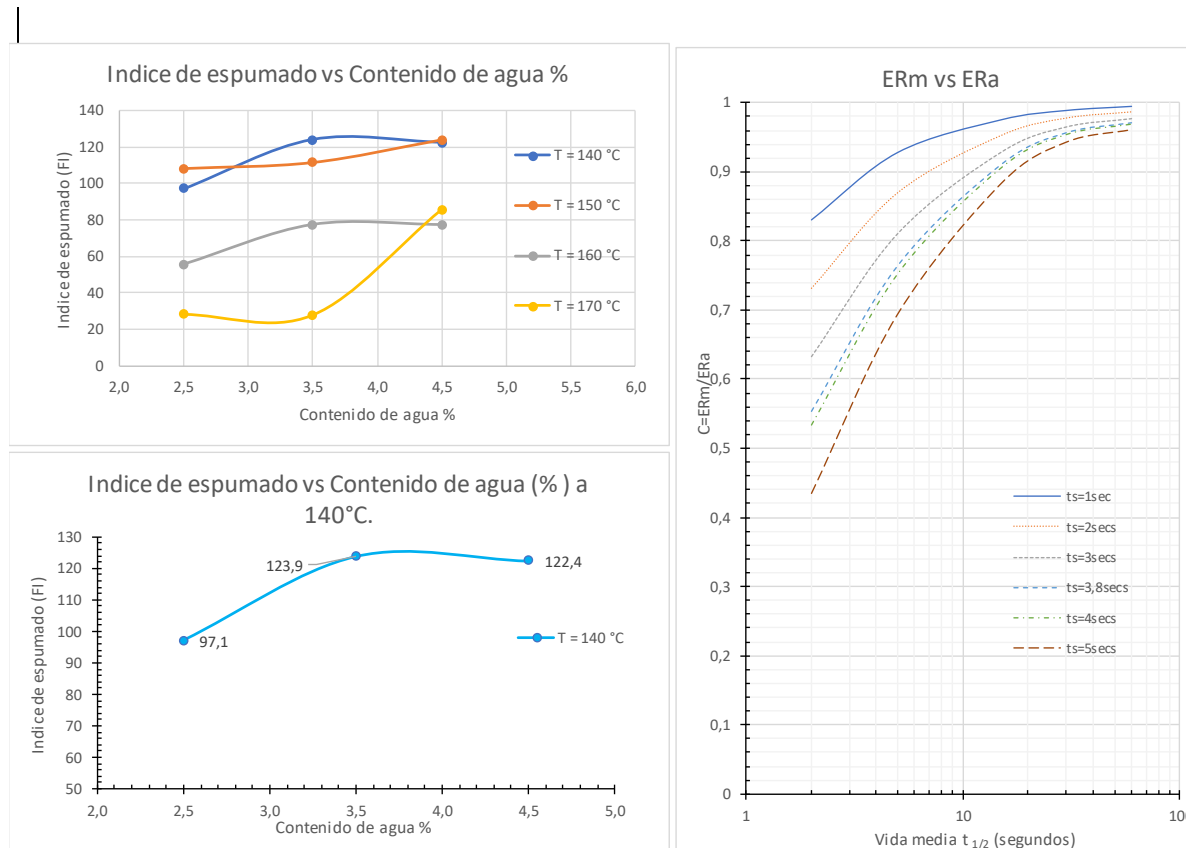
Contenido de Agua (%)	T = 140 °C							
	Expansión (ERm)	V. Media (s)	ts	C	expacion real (Era)	A1	A2	Inidice de espumado (FI)=A1+A2
2,5	12	12	4	0,90	13	62,4	34,7	97,1
3,5	15	9	4	0,84	18	74,2	49,7	123,9
4,5	17	6	4	0,81	21	62,4	60,0	122,4

Contenido de Agua (%)	T = 150 °C							
	Expansión (ERm)	V. Media (s)	ts	C	expacion real (Era)	A1	A2	Inidice de espumado (FI)
2,5	14	9	3,9	0,86	16	64,8	43,4	108,2
3,5	16	6	3,9	0,78	21	55,9	55,6	111,5
4,5	18	5	3,9	0,75	24	57,6	66,3	123,9

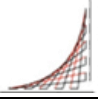
Contenido de Agua (%)	T = 160 °C							
	Expansión (ERm)	V. Media (s)	ts	C	expacion real (Era)	A1	A2	Inidice de espumado (FI)
2,5	8	22	3,9	0,94	9	39,0	16,6	55,6
3,5	12	8	3,9	0,84	14	41,6	35,7	77,3
4,5	12	8	3,9	0,84	14	41,6	35,7	77,3

**Continuación - resumen índice de espumado a todas las temperaturas.**

Contenido de Agua (%)	T = 170 °C							
	Expansión (ERm)	V. Media (s)	ts	C	expacion real (ERa)	A1	A2	Indice de espumado (FI)
2,5	6	36	3,9	0,96	6	19,6	8,3	27,9
3,5	6	35	3,9	0,96	6	19,1	8,3	27,4
4,5	10	18	3,9	0,93	11	60,6	24,9	85,5



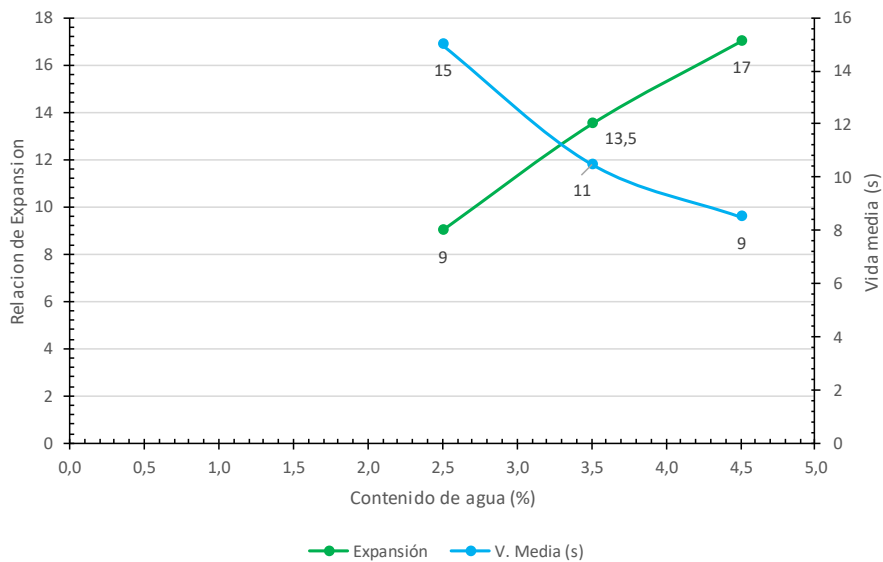
## Verificación relación de expansión y vida media a 140°C

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>CARACTERIZACION DEESPUMA DE ASFALTO</b>  Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción): <b>Material de asfalto 80-100 - 140°C</b>		
Procedencia (localización): <b>HQ</b>		Fecha:	<b>8/02/2018</b>

Ensayo		
Contenido de Agua (%) ( $W_{aca}$ )	1ª Medida	
	Expansión	V. Media (s)
2,5	9	15
3,5	13,5	11
4,5	17	9

Datos Iniciales	
$Q_{agua} = \frac{Q_{bit} * W_{aca} * 3,6}{100}$	
Caudal del bitumen ( $Q_{bit}$ )	100g/s
Temperatura	150°C
Cantidad de asfalto por disparo	500g
Tiempo de disparo	5 s
venturi (vueltas)	246

INFLUENCIA DE CONTENIDO DE AGUA EN LA RELACIÓN DE EXPANSIÓN YVIDA MEDIA WLB 10s a 140°C



## Anexo 7 Resultados de tracción indirecta.

### Resultados de tracción indirecta material PG . (PG-FA0.0-S0.0)

	<b>Ensayo traccion indirecta</b>	
	Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)	

Identificación (descripción):	0% cal y 0%AE		
Procedencia (localización):	Material PG	Fecha:	18/04/2018

#### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 2A	1104,92	63,45	64,16	64,81	64,83	64,3	101,45	101,56	101,45	101,41	101,5	520,3	2,124	0,2%
Briqueta 2B	1104,98	65,05	64,23	65,01	64,03	64,6	101,25	101,39	101,47	101,43	101,4	521,7	2,118	0,0%
Briqueta 2C	1105,2	63,86	64,22	64,32	63,97	64,1	101,58	101,54	101,29	101,52	101,5	518,7	2,131	0,6%
Briqueta 2D	1103,6	64,27	63,96	64,3	64,5	64,3	101,56	101,47	101,37	101,59	101,5	520,3	2,121	0,1%
Briqueta 2E	1109,97	64,81	64,85	64,42	64,92	64,8	101,45	101,48	101,38	101,56	101,5	524,3	2,117	0,1%
Briqueta 2F	1103,85	65,68	64,87	64,77	64,82	65	101,35	101,45	101,48	101,38	101,4	524,9	2,103	0,8%

Densidad media aparente g/cm<sup>3</sup> **2,119**

#### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	7
M recipiente (Mr) (g)	117,65
Mr + Muestra Húmeda (g)	1020,75
Mr + Muestra Seca (g)	1015,4
Peso del Agua (g)	5,35
Peso del Material Seco (g)	897,75
Peso del Material húmedo (g)	903,1
Húmeda inicial W (%)	0,60%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 1	2,111	2,2	215	212
Briqueta 2	2,105	2,3	224	
Briqueta 3	2,118	2	196	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 4	2,109	0	0	0
Briqueta 5	2,105	0	0	
Briqueta 6	2,091	0	0	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	0,0%
--	------

## Resultados de tracción indirecta material PG . (PG-FA0.0-V2.5)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b>	
	Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)	

Identificación (descripción):	asfalto 0,0% y 2.5% de oxido de calcio		
Procedencia (localización):	Material PG	Fecha:	18/04/2018

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variación (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 1A	1085,8	64,11	65,4	65,69	64,13	64,8	101,23	101,41	101,49	101,47	101,4	523,3	2,075	0,1%
Briqueta 1B	1096,77	64,7	64,84	64,94	64,76	64,8	101,54	101,41	101,46	101,56	101,5	524,3	2,092	0,8%
Briqueta 1C	1089,79	65,22	64,91	65,35	65,03	65,1	101,48	101,43	101,53	101,57	101,5	526,7	2,069	0,3%
Briqueta 1D	1080,2	64,79	64,11	64,1	64,04	64,3	101,49	101,23	101,54	101,23	101,4	519,3	2,080	0,2%
Briqueta 1E	1087,47	65,28	64,95	64,13	65,71	65	101,47	101,56	101,52	101,48	101,5	525,9	2,068	0,4%
Briqueta 1F	1090,42	64,81	64,37	65,19	65,51	65	101,54	101,54	101,5	101,49	101,5	525,9	2,073	0,2%
Densidad media aparente g/cm3												<b>2,076</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	9
M recipiente (Mr) (g)	115,41
Mr + Muestra Húmeda (g)	1058,2
Mr + Muestra Seca (g)	1051,9
Peso del Agua (g)	6,3
Peso del Material Seco (g)	936,49
Peso del Material húmedo (g)	942,79
Húmeda inicial W (%)	0,67%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm

Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.


Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 1	2,061	2,8	271	261
Briqueta 2	2,078	2,6	252	
Briqueta 3	2,055	2,7	260	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 4	2,066	0,8	78	77
Briqueta 5	2,054	0,8	77	
Briqueta 6	2,060	0,8	77	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	29,5%
--	-------



## Resultados de tracción indirecta material PG . (PG-FA0.0-V3.0)

	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	<b>Identificación (descripción):</b> 3,0% (CaO) y 0% AE		
<b>Procedencia (localización):</b> Material PG	<b>Fecha:</b> 0/01/1900		

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 3A	1099,15	64,99	65,89	64,27	65,87	65,3	101,45	101,52	101,39	101,5	101,5	528,4	2,080	0,1%
Briqueta 3B	1100,88	65,54	64,47	64,57	65,63	65,1	101,46	101,54	101,49	101,48	101,5	526,7	2,090	0,4%
Briqueta 3C	1096,32	65,14	63,78	65,14	64,72	64,7	101,24	101,41	101,46	101,49	101,4	522,5	2,098	0,8%
Briqueta 3D	1086,49	64,61	64,73	64,44	64,08	64,5	101,29	101,42	101,52	101,46	101,4	520,9	2,086	0,2%
Briqueta 3E	1084,13	64,02	65,94	64,07	65,3	64,8	101,48	101,48	101,49	101,49	101,5	524,3	2,068	0,7%
Briqueta 3F	1081,47	65,17	64,24	64,68	64,21	64,6	101,56	101,45	101,48	101,48	101,5	522,7	2,069	0,6%
<b>Densidad media aparente g/cm3</b>												<b>2,082</b>		

2). Contenidos de humedad de curado	
# de Recipiente	1
M recipiente (Mr) (g)	119,5
Mr + Muestra Húmeda (g)	1144,83
Mr + Muestra Seca (g)	1137,3
Peso del Agua (g)	7,53
Peso del Material Seco (g)	1017,8
Peso del Material húmedo (g)	1025,33
Húmeda inicial W (%)	0,74%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor minimo	62	mm
valor maximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 1	2,065	2,9	279	290
Briqueta 2	2,075	3	289	
Briqueta 3	2,083	3,1	301	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 4	2,070	0,9	88	87
Briqueta 5	2,053	0,9	87	
Briqueta 6	2,054	0,9	87	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	30,0%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PG . (PG-FA0.0-M2.5)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción): <b>asfalto 0,0% y 2.5% de hidroxido de calcio</b>	Procedencia (localización): <b>Material PG</b>	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 7A	1104,87	64,56	65,73	64,21	65,06	64,9	101,45	101,57	101,41	101,53	101,5	525,1	2,104	0,2%
Briqueta 7B	1104,93	65,2	65,45	64,07	64,43	64,8	101,24	101,57	101,4	101,37	101,4	523,3	2,111	0,1%
Briqueta 7C	1102,62	64,38	64,94	65,53	65,07	65	101,56	101,49	101,43	101,36	101,5	525,9	2,097	0,5%
Briqueta 7D	1104,27	64,41	64,47	65,17	65,45	64,9	101,6	101,25	101,59	101,48	101,5	525,1	2,103	0,3%
Briqueta 7E	1103,13	63,67	64,48	64,47	64,16	64,2	101,45	101,47	101,6	101,46	101,5	519,5	2,123	0,7%
Briqueta 7F	1108,04	63,54	64,53	66,14	64,96	64,8	101,49	101,45	101,49	101,43	101,5	524,3	2,113	0,2%
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,109</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	65
M recipiente (Mr) (g)	130,16
Mr + Muestra Húmeda (g)	1085,97
Mr + Muestra Seca (g)	1079,4
Peso del Agua (g)	6,57
Peso del Material Seco (g)	949,24
Peso del Material húmedo (g)	955,81
Húmeda inicial W (%)	0,69%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 1	2,090	3,3	319	319
Briqueta 2	2,097	3,2	310	
Briqueta 3	2,082	3,4	328	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 4	2,089	1	97	94
Briqueta 5	2,109	0,9	88	
Briqueta 6	2,099	1	97	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	29,5%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PG . (PG-FA0.0-M3.0)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción):	3,0% (Ca(OH) <sub>2</sub> ) y 0% AE	
Procedencia (localización):	Material PG	Fecha:	 

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 5A	1106,8	64,84	65,61	64,04	66,05	65,1	101,25	101,45	101,45	101,39	101,4	525,7	2,105	0,2%
Briqueta 5B	1089,43	64,48	64,14	64,68	64,47	64,4	101,49	101,46	101,47	101,46	101,5	521,1	2,091	0,5%
Briqueta 5C	1092,37	64,97	64,97	65,26	64,73	65	101,47	101,35	101,56	101,49	101,5	525,9	2,077	1,1%
Briqueta 5D	1098,13	64,37	63,73	65,1	64,37	64,4	101,56	101,39	101,57	101,47	101,5	521,1	2,107	0,3%
Briqueta 5E	1099,65	64,12	64,03	63,24	65,59	64,2	101,45	101,49	101,42	101,58	101,5	519,5	2,117	0,8%
Briqueta 5F	1107,13	65,75	65,42	65,75	63,07	65	101,58	101,45	101,34	101,32	101,4	524,9	2,109	0,4%
Densidad media aparente g/cm3												<b>2,101</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	106
Mrecipiente (Mr) (g)	105,67
Mr + Muestra Húmeda (g)	1040,88
Mr + Muestra Seca (g)	1034,7
Peso del Agua (g)	6,18
Peso del Material Seco (g)	929,03
Peso del Material húmedo (g)	935,21
Húmeda inicial W (%)	0,67%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 1	2,091	3,4	328	322
Briqueta 2	2,077	3,3	321	
Briqueta 3	2,063	3,3	318	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 4	2,093	1	97	97
Briqueta 5	2,103	1	98	
Briqueta 6	2,095	1	97	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	30,1%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PG . (PG-FA2.4-S0.0)

	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción): <b>asfalto 2.4% y 0% aditivo</b>		
Procedencia (localización): <b>Material PG</b>	Fecha:		

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 6A	1103,78	64,83	64,72	65,96	64	64,9	101,45	101,49	101,49	101,53	101,5	525,1	2,102	0,1%
Briqueta 6B	1091,03	64,6	64,64	64,53	64,23	64,5	101,46	101,29	101,46	101,52	101,4	520,9	2,095	0,2%
Briqueta 6C	1101,94	64,21	64,4	64,59	65,29	64,6	101,23	101,57	101,41	101,46	101,4	521,7	2,112	0,6%
Briqueta 6D	1105,35	65,67	64,64	66,06	64,39	65,2	101,28	101,54	101,43	101,49	101,4	526,5	2,099	0,0%
Briqueta 6E	1098,54	64,66	64,13	64,85	65,31	64,7	101,35	101,47	101,52	101,41	101,4	522,5	2,102	0,1%
Briqueta 6F	1098,48	64,94	65,87	64,5	64,81	65	101,49	101,45	101,52	101,45	101,5	525,9	2,089	0,5%
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,100</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	100
M recipiente (Mr) (g)	111,35
Mr + Muestra Húmeda (g)	1213,23
Mr + Muestra Seca (g)	1206,3
Peso del Agua (g)	6,93
Peso del Material Seco (g)	1094,95
Peso del Material húmedo (g)	1101,88
Húmeda inicial W (%)	0,63%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debiera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 1	2,089	3,2	309	307
Briqueta 2	2,081	3,3	321	
Briqueta 3	2,099	3	292	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 4	2,086	0	0	0
Briqueta 5	2,089	0	0	
Briqueta 6	2,076	0	0	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	0,0%
--	------

## Resultados de tracción indirecta material PG . (PG-FA2.6-S0.0)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo tracción indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción): <b>0% cal y 2,6% AE</b>		
Procedencia (localización): <b>Material PG</b>		Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variación (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 8A	1094,27	65,81	65,95	64,1	64,16	65	101,42	101,51	101,46	101,46	101,5	525,9	2,081	0,9%
Briqueta 8B	1104,1	64,75	64,79	64,24	65,76	64,9	101,49	101,46	101,41	101,47	101,5	525,1	2,103	0,2%
Briqueta 8C	1097,39	64,92	64,51	64,42	65,21	64,8	101,47	101,34	101,43	101,52	101,4	523,3	2,097	0,1%
Briqueta 8D	1102,61	64,1	64,86	64,12	64,73	64,5	101,45	101,57	101,47	101,53	101,5	521,9	2,113	0,7%
Briqueta 8E	1097,65	64,48	64,49	64,55	65,72	64,8	101,46	101,49	101,46	101,59	101,5	524,3	2,094	0,3%
Briqueta 8F	1103,66	64,4	64,3	65,47	64,53	64,7	101,51	101,48	101,51	101,46	101,5	523,5	2,108	0,4%
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,099</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	48
M recipiente (Mr) (g)	130,16
Mr + Muestra Húmeda (g)	1085,97
Mr + Muestra Seca (g)	1079,4
Peso del Agua (g)	6,57
Peso del Material Seco (g)	949,24
Peso del Material húmedo (g)	955,81
Húmeda inicial W (%)	0,69%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor minimo	62	mm
valor maximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 1	2,066	3,3	318	312
Briqueta 2	2,088	3,2	309	
Briqueta 3	2,083	3,2	310	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 4	2,098	0	0	0
Briqueta 5	2,079	0	0	
Briqueta 6	2,094	0	0	

Resistencia a la tracción retenida TSR (%)	0,0%
--	------

## Resultados de tracción indirecta material PG . (PG-FA2.8-S0.0)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción):	0% cal y 2,8% AE	
Procedencia (localización):	Material PG	Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 7A	1111,12	64,43	65,9	64,34	65,83	65,1	101,45	101,53	101,56	101,49	101,5	526,7	2,110	0,2%
Briqueta 7B	1097,3	64,73	64,8	64,6	63,44	64,4	101,46	101,54	101,54	101,46	101,5	521,1	2,106	0,0%
Briqueta 7C	1096,36	64,29	64,02	64,75	63,83	64,2	101,49	101,48	101,54	101,47	101,5	519,5	2,110	0,2%
Briqueta 7D	1087,99	63,5	64,2	63,89	64,04	63,9	101,42	101,49	101,53	101,47	101,5	517	2,104	0,1%
Briqueta 7E	1098,05	64,16	64,87	64,97	64,03	64,5	101,44	101,4	101,42	101,46	101,4	520,9	2,108	0,1%
Briqueta 7F	1096,72	65,48	64,3	64,34	64,1	64,6	101,46	101,39	101,49	101,52	101,5	522,7	2,098	0,4%
Densidad media aparente g/cm3												<b>2,106</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	5
M recipiente (Mr) (g)	111,18
Mr + Muestra Húmeda (g)	1203,6
Mr + Muestra Seca (g)	1196,8
Peso del Agua (g)	6,8
Peso del Material Seco (g)	1085,62
Peso del Material húmedo (g)	1092,42
Húmeda inicial W (%)	0,63%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debiera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 1	2,096	3,2	308	314
Briqueta 2	2,093	3,3	321	
Briqueta 3	2,097	3,2	313	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 4	2,091	0	0	0
Briqueta 5	2,095	0	0	
Briqueta 6	2,085	0	0	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	0,0%
--	------

## Resultados de tracción indirecta material PG . (PG-FA2.4-M2.5)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción):	2,5% (Ca(OH)2) y 2,4% AE	
Procedencia (localización):	Material PG	Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 4A	1088,14	65,35	64,71	64,67	64,88	64,9	101,6	101,25	101,59	101,46	101,5	525,1	2,072	0,0%
Briqueta 4B	1079,04	64,06	64	64,54	66,84	64,9	101,45	101,47	101,6	101,41	101,5	525,1	2,055	0,8%
Briqueta 4C	1085,67	64,48	64,72	64,66	66,53	65,1	101,45	101,42	101,3	101,46	101,4	525,7	2,065	0,3%
Briqueta 4D	1090,24	64,56	64,41	64,51	65,91	64,8	101,53	101,25	101,59	101,49	101,5	524,3	2,079	0,4%
Briqueta 4E	1087,06	64,12	64,35	64,39	65,81	64,7	101,45	101,47	101,6	101,46	101,5	523,5	2,077	0,3%
Briqueta 4F	1089,25	64,58	64,6	64,7	65,33	64,8	101,49	101,45	101,49	101,43	101,5	524,3	2,078	0,3%
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,071</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	-
M recipiente (Mr) (g)	101,51
Mr + Muestra Húmeda (g)	636,3
Mr + Muestra Seca (g)	632,6
Peso del Agua (g)	3,7
Peso del Material Seco (g)	531,09
Peso del Material húmedo (g)	534,79
Húmeda inicial W (%)	0,70%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 4D	2,058	3,4	329	344
Briqueta 4E	2,041	3,5	338	
Briqueta 4F	2,051	3,8	366	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 4A	2,065	1,7	165	161
Briqueta 4B	2,062	1,5	145	
Briqueta 4C	2,063	1,8	174	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	46,8%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PG . (PG-FA2.6-M2.5)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción):	2,5% (Ca(OH)2) y 2,4% AE	
Procedencia (localización):	Material PG	Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 5A	1089,25	64,92	64,59	64,74	64,91	64,8	101,45	101,47	101,6	101,46	101,5	524,3	2,078	0,5%
Briqueta 5B	1085,48	64,48	65,43	64,89	64,73	64,9	101,6	101,25	101,59	101,48	101,5	525,1	2,067	0,1%
Briqueta 5C	1082,8	64,4	64,9	64,07	64,88	64,6	101,56	101,49	101,43	101,36	101,5	522,7	2,072	0,2%
Briqueta 5D	1078,35	64,21	65,07	64,94	64,6	64,7	101,6	101,25	101,59	101,48	101,5	523,5	2,060	0,4%
Briqueta 5E	1082,85	64,65	66,29	64,18	64,96	65	101,54	101,34	101,35	101,45	101,4	524,9	2,063	0,3%
Briqueta 5F	1086,64	64,71	65,74	64,96	64,51	65	101,49	101,45	101,34	101,43	101,4	524,9	2,070	0,1%
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,068</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	-
M recipiente (Mr) (g)	122,71
Mr + Muestra Húmeda (g)	726,28
Mr + Muestra Seca (g)	722,05
Peso del Agua (g)	4,23
Peso del Material Seco (g)	599,34
Peso del Material húmedo (g)	603,57
Húmeda inicial W (%)	0,71%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm

Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.


Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 5D	2,063	3,8	368	365
Briqueta 5E	2,053	3,7	358	
Briqueta 5F	2,057	3,8	369	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 5A	2,045	1,8	174	177
Briqueta 5B	2,049	1,9	184	
Briqueta 5C	2,056	1,8	174	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	48,5%
--	-------



## Resultados de tracción indirecta material PG . (PG-FA2.8-M2.5)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción):	2,5% (Ca(OH)2) y 2,8% AE	
Procedencia (localización):	Material PG	Fecha:	0/01/1900

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Promedio	Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	1		2	3	4	Promedio				
Briqueta 6A	1091,96	64,44	63,54	65,48	64,51	64,5	101,49	101,45	101,49	101,43	101,5	521,9	2,092	0,9%	
Briqueta 6B	1085,07	63,74	64,87	64,88	64,85	64,6	101,24	101,57	101,4	101,37	101,4	521,7	2,080	0,3%	
Briqueta 6C	1081	64,94	64,44	64,59	65,387	64,8	101,34	101,54	101,43	101,36	101,4	523,3	2,066	0,4%	
Briqueta 6D	1083,45	64,99	64,81	64,4	64,86	64,8	101,6	101,25	101,59	101,48	101,5	524,3	2,066	0,4%	
Briqueta 6E	1079,9	64,71	64,46	65,2	65,06	64,9	101,45	101,43	101,34	101,46	101,4	524,1	2,060	0,7%	
Briqueta 6F	1081,67	63,54	64,55	65,3	64,13	64,4	101,42	101,45	101,49	101,43	101,4	520,1	2,080	0,3%	
												Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>	<b>2,074</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	-
M recipiente (Mr) (g)	105,65
Mr + Muestra Húmeda (g)	646,3
Mr + Muestra Seca (g)	642,3
Peso del Agua (g)	4
Peso del Material Seco (g)	536,65
Peso del Material húmedo (g)	540,65
Húmeda inicial W (%)	0,75%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 6D	2,077	3,8	370	366
Briqueta 6E	2,064	3,7	360	
Briqueta 6F	2,050	3,8	368	

Húmedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 6A	2,051	1,9	184	181
Briqueta 6B	2,045	1,9	184	
Briqueta 6C	2,064	1,8	175	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	49,5%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PG . (PG-FA2.4-V2.5)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción):	2,5% (CaO) y 2,4% AE	
Procedencia (localización):	Material PG	Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 20A	1099,12	65,83	64,17	64,76	64,98	64,9	101,45	101,57	101,41	101,53	101,5	525,1	2,093	0,1%
Briqueta 20B	1097,77	65,38	64,18	64,92	64,16	64,7	101,24	101,57	101,4	101,37	101,4	522,5	2,101	0,5%
Briqueta 20C	1093,11	64,3	64,58	64,19	64,22	64,3	101,56	101,49	101,43	101,36	101,5	520,3	2,101	0,5%
Briqueta 20D	1097,24	64,32	65,97	64,29	65,63	65,1	101,6	101,25	101,59	101,48	101,5	526,7	2,083	0,4%
Briqueta 20E	1092,36	64,53	65,67	64,51	65,69	65,1	101,45	101,47	101,6	101,46	101,5	526,7	2,074	0,8%
Briqueta 20F	1099,09	64,69	65,44	64,02	65,07	64,8	101,49	101,45	101,49	101,43	101,5	524,3	2,096	0,2%
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,091</b>		

2). Contenidos de humedad de curado	
# de Recipiente	12
M recipiente (Mr) (g)	105,09
Mr + Muestra Húmeda (g)	1201,72
Mr + Muestra Seca (g)	1193,5
Peso del Agua (g)	8,22
Peso del Material Seco (g)	1088,41
Peso del Material húmedo (g)	1096,63
Húmeda inicial W (%)	0,76%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 20D	2,077	4,4	425	430
Briqueta 20E	2,085	4,5	437	
Briqueta 20F	2,085	4,4	429	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 20A	2,068	2,0	193	203
Briqueta 20B	2,058	2,2	212	
Briqueta 20C	2,081	2,1	203	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	47,2%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PG . (PG-FA2.6-V2.5)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción):	2,5% (CaO) y 2,6% AE	
Procedencia (localización):	Material PG	Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Promedio	Diámetro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variación (%)
		1	2	3	4	1		2	3	4	Promedio				
Briqueta 21A	1095,38	64,27	65,39	64,19	64,73	64,6	101,45	101,57	101,41	101,53	101,5	522,7	2,096	0,0%	
Briqueta 21B	1098,53	64,19	65,64	64,49	64,26	64,6	101,24	101,57	101,4	101,37	101,4	521,7	2,106	0,4%	
Briqueta 21C	1092,91	64,35	64,96	64,63	64,2	64,5	101,56	101,49	101,43	101,36	101,5	521,9	2,094	0,1%	
Briqueta 21D	1094,45	64,27	64,34	64,95	64,25	64,5	101,6	101,25	101,59	101,48	101,5	521,9	2,097	0,0%	
Briqueta 21E	1099,19	64,48	65,27	64,05	64,17	64,5	101,45	101,47	101,6	101,46	101,5	521,9	2,106	0,4%	
Briqueta 21F	1096,87	64,98	65,99	64,34	65,26	65,1	101,49	101,45	101,49	101,43	101,5	526,7	2,083	0,7%	
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,097</b>			

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	13
M recipiente (Mr) (g)	116,02
Mr + Muestra Húmeda (g)	1206,5
Mr + Muestra Seca (g)	1198,6
Peso del Agua (g)	7,9
Peso del Material Seco (g)	1082,58
Peso del Material húmedo (g)	1090,48
Húmeda inicial W (%)	0,73%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor minimo	62	mm
valor maximo	65	mm

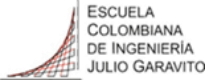
Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 21D	2,080	4,5	437	444
Briqueta 21E	2,090	4,6	447	
Briqueta 21F	2,079	4,6	447	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 21A	2,082	2,5	243	249
Briqueta 21B	2,091	2,5	243	
Briqueta 21C	2,067	2,7	260	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	56,1%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PG . (PG-FA2.8-V2.5)

	<b>Ensayo tracción indirecta</b>		
	Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
Identificación (descripción):	2,5% (CaO) y 2,4% AE		
Procedencia (localización):	Material PG	Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variación (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 22A	1098,74	64,83	64,12	64,19	64,47	64,4	101,45	101,57	101,41	101,53	101,5	521,1	2,109	0,2%
Briqueta 22B	1096,97	64	64,89	64,56	64,98	64,6	101,24	101,57	101,4	101,37	101,4	521,7	2,103	0,1%
Briqueta 22C	1100,49	64	64,66	64,65	64,63	64,5	101,56	101,49	101,43	101,36	101,5	521,9	2,109	0,2%
Briqueta 22D	1099,48	64,6	64,55	64,25	64,49	64,5	101,6	101,25	101,59	101,48	101,5	521,9	2,107	0,1%
Briqueta 22E	1100,66	64,15	65,48	64,16	64,68	64,6	101,45	101,47	101,6	101,46	101,5	522,7	2,106	0,0%
Briqueta 22F	1093,23	64,39	64,57	64,36	64,02	64,3	101,49	101,45	101,49	101,43	101,5	520,3	2,101	0,2%
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,106</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	14
M recipiente (Mr) (g)	123,04
Mr + Muestra Húmeda (g)	1190,28
Mr + Muestra Seca (g)	1181,7
Peso del Agua (g)	8,58
Peso del Material Seco (g)	1058,66
Peso del Material húmedo (g)	1067,24
Húmeda inicial W (%)	0,81%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm

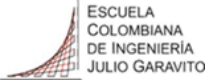
Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 22D	2,092	4,1	399	402
Briqueta 22E	2,086	4,2	408	
Briqueta 22F	2,092	4,1	399	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 22A	2,090	1,9	185	191
Briqueta 22B	2,089	1,9	184	
Briqueta 22C	2,084	2,1	205	

Resistencia a la tracción retenida TSR (%)	47,5%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PG . (PG-FA2.4-M3.0)

	<b>Ensayo tracción indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción):	asfalto 2,4% y 3,0% de hidroxido de calcio	
Procedencia (localización):	Material PG	Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variación (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 30A	1097,05	64,63	64,65	64,64	65,61	64,9	101,56	101,5	101,6	101,45	101,5	525,1	2,089	0,5%
Briqueta 30B	1107,18	64,61	64,41	64,34	65,7	64,8	101,57	101,41	101,41	101,57	101,5	524,3	2,112	0,6%
Briqueta 30C	1105,8	64,97	64,48	64,56	65,94	65	101,41	101,49	101,56	101,54	101,5	525,9	2,103	0,2%
Briqueta 30D	1097,43	64,5	64,94	64,13	64,49	64,5	101,29	101,55	101,52	101,58	101,5	521,9	2,103	0,2%
Briqueta 30E	1099,48	64	64,21	64,31	64,9	64,4	101,37	101,52	101,54	101,59	101,5	521,1	2,110	0,5%
Briqueta 30F	1089,76	64,67	64,57	64,47	65,71	64,9	101,41	101,59	101,67	101,48	101,5	525,1	2,075	1,1%
												Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>	<b>2,099</b>	

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	246
M recipiente (Mr) (g)	101,28
Mr + Muestra Húmeda (g)	1156,6
Mr + Muestra Seca (g)	1151
Peso del Agua (g)	5,6
Peso del Material Seco (g)	1049,72
Peso del Material húmedo (g)	1055,32
Húmeda inicial W (%)	0,53%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 30A	2,078	4,3	416	432
Briqueta 30B	2,101	4,6	445	
Briqueta 30C	2,092	4,5	434	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 30D	2,092	2	194	197
Briqueta 30E	2,099	2	195	
Briqueta 30F	2,064	2,1	203	

Resistencia a la tracción retenida TSR (%)	45,6%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PG . (PG-FA2.6-M3.0)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción): <b>asfalto 2,6% y 3,0% de hidroxido de calcio</b>		
Procedencia (localización): <b>Material PG</b>	Fecha: <b>18/04/2018</b>		

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 31A	1095,32	65,84	64,68	64,04	64,78	64,8	101,33	101,48	101,37	101,53	101,4	523,3	2,093	0,2%
Briqueta 31B	1108,7	64,75	64,13	64,11	66,79	64,9	101,43	101,41	101,51	101,54	101,5	525,1	2,111	0,6%
Briqueta 31C	1105,84	64,02	65,73	64,96	66,58	65,3	101,44	101,44	101,45	101,59	101,5	528,4	2,093	0,2%
Briqueta 31D	1105,75	64,3	64,99	64,61	64,89	64,7	101,68	101,5	101,59	101,51	101,6	524,5	2,108	0,5%
Briqueta 31E	1100,56	64,64	64,62	64,43	65,95	64,9	101,47	101,51	101,51	101,45	101,5	525,1	2,096	0,1%
Briqueta 31F	1096,95	64,64	65,46	65	64,59	64,9	101,66	101,3	101,61	101,78	101,6	526,2	2,085	0,6%
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,098</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	22
M recipiente (Mr) (g)	113,97
Mr + Muestra Húmeda (g)	1139,64
Mr + Muestra Seca (g)	1134,01
Peso del Agua (g)	5,63
Peso del Material Seco (g)	1020,04
Peso del Material húmedo (g)	1025,67
Húmeda inicial W (%)	0,55%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 31A	2,082	4,4	426	422
Briqueta 31B	2,100	4,3	416	
Briqueta 31C	2,081	4,4	423	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 31D	2,097	2,2	213	196
Briqueta 31E	2,084	2	193	
Briqueta 31F	2,073	1,9	183	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	46,4%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PG . (PG-FA2.8-M3.0)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción): <b>asfalto 2,8% y 3,0% de hidroxido de calcio</b>	Procedencia (localización): <b>Material PG</b>	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diámetro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variación (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 32A	1101,17	64,03	64,06	65,62	64,28	64,5	101,42	101,32	101,48	101,46	101,4	520,9	2,114	0,7%
Briqueta 32B	1098,16	64,83	64,17	64,93	64,21	64,5	101,55	101,36	101,5	101,51	101,5	521,9	2,104	0,2%
Briqueta 32C	1092,74	64,21	64,14	64,15	64,38	64,2	101,42	101,59	101,43	101,55	101,5	519,5	2,103	0,2%
Briqueta 32D	1100,52	64,06	65,38	64,77	64,18	64,6	101,6	101,43	101,47	101,32	101,5	522,7	2,105	0,2%
Briqueta 32E	1092,18	64,42	65,96	64,12	64,93	64,9	101,48	101,47	101,51	101,5	101,5	525,1	2,080	0,9%
Briqueta 32F	1095,46	64,77	65,52	64,03	64,49	64,7	101,46	101,48	101,59	101,49	101,5	523,5	2,093	0,3%
<b>Densidad media aparente g/cm<sup>3</sup></b>												<b>2,100</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	7
M recipiente (Mr) (g)	120,19
Mr + Muestra Húmeda (g)	1234,82
Mr + Muestra Seca (g)	1228,57
Peso del Agua (g)	6,25
Peso del Material Seco (g)	1108,38
Peso del Material húmedo (g)	1114,63
Húmeda inicial W (%)	0,56%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no deberá diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 1	2,102	4,1	399	386
Briqueta 2	2,092	3,9	379	
Briqueta 3	2,092	3,9	381	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 4	2,094	1,6	155	158
Briqueta 5	2,068	1,7	164	
Briqueta 6	2,081	1,6	155	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	40,9%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PG . (PG-FA2.4-V3.0)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción): <b>asfalto 2,4% y 3,0% de oxido de calcio</b>	Procedencia (localización): <b>Material PG</b>	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 40A	1102,2	64,88	64,68	64,5	64,84	64,7	101,46	101,52	101,56	101,41	101,5	523,5	2,105	0,0%
Briqueta 40B	1097,52	64,29	64,71	64,67	64,3	64,5	101,34	101,37	101,5	101,56	101,4	520,9	2,107	0,1%
Briqueta 40C	1100,64	64,81	64,15	64,45	64,81	64,6	101,51	101,52	101,58	101,51	101,5	522,7	2,106	0,1%
Briqueta 40D	1093,01	65,12	64,48	64,12	64,35	64,5	101,48	101,49	101,51	101,5	101,5	521,9	2,094	0,5%
Briqueta 40E	1100,59	64,11	64,4	64,54	64,88	64,5	101,43	101,48	101,44	101,55	101,5	521,9	2,109	0,2%
Briqueta 40F	1099,25	64,59	64,39	64,59	64,99	64,6	101,51	101,57	101,44	101,48	101,5	522,7	2,103	0,0%
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,104</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	245
M recipiente (Mr) (g)	117,59
Mr + Muestra Húmeda (g)	1228,24
Mr + Muestra Seca (g)	1218,4
Peso del Agua (g)	9,84
Peso del Material Seco (g)	1100,81
Peso del Material húmedo (g)	1110,65
Húmeda inicial W (%)	0,89%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas		Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 40A		2,087	4,7	456	444
Briqueta 40B		2,088	4,5	438	
Briqueta 40C		2,087	4,5	437	
Húmedas		Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 40D		2,076	1,9	185	185
Briqueta 40E		2,090	1,9	185	
Briqueta 40F		2,084	1,9	184	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	41,7%
--	-------



## Resultados de tracción indirecta material PG . (PG-FA2.6-V3.0)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo tracción indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción): <b>asfalto 2,6% y 3,0% de óxido de calcio</b>	Procedencia (localización): <b>Material PG</b>	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Promedio	Diámetro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variación (%)
		1	2	3	4			1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 41A	1097,99	64,87	64,67	64,34	66,67	65,1	101,4	101,56	101,41	101,38	101,4	525,7	2,089	0,4%	
Briqueta 41B	1091,32	64,01	64,3	64,72	65,23	64,6	101,34	101,67	101,43	101,47	101,5	522,7	2,088	0,5%	
Briqueta 41C	1100,35	64,15	64,47	64,72	65,72	64,8	101,52	101,57	101,44	101,4	101,5	524,3	2,099	0,1%	
Briqueta 41D	1101,46	64,05	64,02	64,21	64,99	64,3	101,47	101,57	101,46	101,51	101,5	520,3	2,117	0,9%	
Briqueta 41E	1098,68	64,57	64,86	64,02	65,29	64,7	101,45	101,67	101,45	101,5	101,5	523,5	2,099	0,1%	
Briqueta 41F	1092,73	64,09	64,07	64,78	65,13	64,5	101,67	101,55	101,49	101,35	101,5	521,9	2,094	0,2%	
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,098</b>			

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	51
Mrecipiente (Mr) (g)	115,3
Mr + Muestra Húmeda (g)	1208,44
Mr + Muestra Seca (g)	1199,71
Peso del Agua (g)	8,73
Peso del Material Seco (g)	1084,41
Peso del Material húmedo (g)	1093,14
Húmeda inicial W (%)	0,81%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no deberá diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 41A	2,072	4,2	405	429
Briqueta 41B	2,071	4,5	437	
Briqueta 41C	2,082	4,6	445	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 41D	2,100	2	195	204
Briqueta 41E	2,082	2,2	213	
Briqueta 41F	2,077	2,1	204	

Resistencia a la tracción retenida TSR (%)	47,6%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PG . (PG-FA2.8-V3.0)

	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción): <b>asfalto 2,8% y 3,0% de oxido de calcio</b>	Procedencia (localización): <b>Material PG</b>	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 42A	1099,61	64,17	64,03	65,67	64,34	64,6	101,45	101,57	101,41	101,53	101,5	522,7	2,104	0,3%
Briqueta 42B	1099,33	64,98	64,25	65,23	64,09	64,6	101,24	101,57	101,4	101,37	101,4	521,7	2,107	0,4%
Briqueta 42C	1095,25	64,27	64,42	65,81	64,03	64,6	101,56	101,49	101,43	101,36	101,5	522,7	2,095	0,2%
Briqueta 42D	1100,05	64,27	64,8	64	64,13	64,3	101,6	101,25	101,59	101,48	101,5	520,3	2,114	0,7%
Briqueta 42E	1091,19	64,73	64,03	64,89	65,99	64,9	101,45	101,47	101,6	101,46	101,5	525,1	2,078	1,0%
Briqueta 42F	1097,17	64,09	64,97	64,54	65,76	64,8	101,49	101,45	101,49	101,43	101,5	524,3	2,093	0,3%
Densidad media aparente g/cm3												<b>2,099</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	5
Mrecipiente (Mr) (g)	118,96
Mr + Muestra Húmeda (g)	1216,34
Mr + Muestra Seca (g)	1208,3
Peso del Agua (g)	8,04
Peso del Material Seco (g)	1089,34
Peso del Material húmedo (g)	1097,38
Húmeda inicial W (%)	0,74%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 42A	2,088	4,6	447	441
Briqueta 42B	2,092	4,4	428	
Briqueta 42C	2,080	4,6	447	

Húmedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 42D	2,099	1,8	176	184
Briqueta 42E	2,063	2	193	
Briqueta 42F	2,077	1,9	184	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	41,7%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PF . (PF-FA0.0-S0.0)

		<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)	
Identificación (descripción):	0% cal y 0%AE		
Procedencia (localización):	Material PF	Fecha:	18/04/2018

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 2A	1124,35	63,29	62,1	62,03	63,11	62,6	101,66	101,46	101,62	101,31	101,5	506,5	2,220	0,4%
Briqueta 2B	1120,97	63,74	62,13	63,11	63,93	63,2	101,36	101,3	101,39	101,62	101,4	510,4	2,196	0,7%
Briqueta 2C	1124,25	60,79	62,84	62,71	62,63	62,2	101,71	101,51	101,12	101,43	101,4	502,3	2,238	1,2%
Briqueta 2D	1121,86	61,11	62,61	62,93	63,02	62,4	100,68	101,41	101,35	100,9	101,1	500,9	2,240	1,3%
Briqueta 2E	1117,36	63,7	62,75	63,94	63,18	63,4	101,45	101,29	101,82	101,37	101,5	513	2,178	1,5%
Briqueta 2F	1124,93	63,44	61,77	63,67	63,61	63,1	101,7	101,56	101,53	101,53	101,6	511,6	2,199	0,6%
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,212</b>		

2). Contenidos de humedad de curado	
# de Recipiente	123
M recipiente (Mr) (g)	115,4
Mr + Muestra Húmeda (g)	649,8
Mr + Muestra Seca (g)	642,6
Peso del Agua (g)	7,2
Peso del Material Seco (g)	527,2
Peso del Material húmedo (g)	534,4
Húmeda inicial W (%)	1,37%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor minimo	62	mm
valor maximo	65	mm

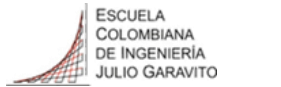
Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 1	2,190	2,3	230	227
Briqueta 2	2,167	2,2	219	
Briqueta 3	2,208	2,3	232	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 4	2,210	0	0	0
Briqueta 5	2,149	0	0	
Briqueta 6	2,169	0	0	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	0,0%
--	------

## Resultados de tracción indirecta material PF . (PF-FA0.0-V2.5)

	<b>Ensayo tracción indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción):	asfalto 0,0% y 2.5% de oxido de calcio	
Procedencia (localización):	Material PG	Fecha:	18/04/2018

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Promedio	Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variación (%)
		1	2	3	4			1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 1A	1110,42	62,42	61,65	61,37	63,6	62,3	101,45	101,43	101,47	101,47	101,5	504,1	2,203	0,5%	
Briqueta 1B	1116,1	62,95	62,17	62,09	62,46	62,4	101,51	101,39	101,48	101,48	101,5	504,9	2,211	0,1%	
Briqueta 1C	1115,95	62,04	62,22	62,34	62,19	62,2	101,39	101,54	101,36	101,54	101,5	503,3	2,217	0,2%	
Briqueta 1D	1135,11	63,46	63,04	63,87	63,61	63,5	101,48	101,36	101,48	101,56	101,5	513,8	2,209	0,2%	
Briqueta 1E	1127,69	62,6	62,31	62,55	62,18	62,4	101,45	101,45	101,46	101,47	101,5	504,9	2,233	0,9%	
Briqueta 1F	1113	62,45	62,23	62,32	62,41	62,4	101,23	101,49	101,53	101,36	101,4	503,9	2,209	0,2%	
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												2,214			

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	44
M recipiente (Mr) (g)	106,53
Mr + Muestra Húmeda (g)	1071,66
Mr + Muestra Seca (g)	1056,4
Peso del Agua (g)	15,26
Peso del Material Seco (g)	949,87
Peso del Material húmedo (g)	965,13
Húmeda inicial W (%)	1,61%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 1	2,168	2,7	272	296
Briqueta 2	2,176	3	302	
Briqueta 3	2,182	3,1	313	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 4	2,174	0,7	69	77
Briqueta 5	2,198	0,7	70	
Briqueta 6	2,174	0,9	91	

Resistencia a la tracción retenida TSR (%)	26,0%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PF . (PF-FA0.0-V3.0)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo tracción indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción):	3,0% (CaO) y 0% AE	
Procedencia (localización):	Material PF	Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variación (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 3A	1129,6	63,27	62,92	62,76	63,21	63	101,23	101,23	101,45	101,48	101,3	507,7	2,225	1,3%
Briqueta 3B	1130,31	63,32	63,73	63,89	63,3	63,6	101,45	101,46	101,46	101,49	101,5	514,6	2,196	0,1%
Briqueta 3C	1127,74	63,34	63,45	63,8	63,25	63,5	101,56	101,59	101,48	101,45	101,5	513,8	2,195	0,1%
Briqueta 3D	1125,05	63,4	63,2	63,13	63,84	63,4	101,47	101,45	101,36	101,51	101,4	512	2,197	0,0%
Briqueta 3E	1123,92	63,1	63,87	63,86	63,37	63,6	101,61	101,49	101,56	101,59	101,6	515,6	2,180	0,8%
Briqueta 3F	1138,04	64,01	64,46	64,21	63,98	64,2	101,54	101,45	101,48	101,58	101,5	519,5	2,191	0,3%
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,197</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	1
M recipiente (Mr) (g)	106,71
Mr + Muestra Húmeda (g)	1113,23
Mr + Muestra Seca (g)	1097,4
Peso del Agua (g)	15,83
Peso del Material Seco (g)	990,69
Peso del Material húmedo (g)	1006,52
Húmeda inicial W (%)	1,60%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor minimo	62	mm
valor maximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 1	2,190	3	299	304
Briqueta 2	2,162	3	296	
Briqueta 3	2,160	3,2	316	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 4	2,163	0,7	69	62
Briqueta 5	2,146	0,6	59	
Briqueta 6	2,156	0,6	59	

Resistencia a la tracción retenida TSR (%)	20,4%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PF . (PF-FA0.0-M2.5)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo tracción indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción): <b>asfalto 0,0% y 2.5% de hidroxido de calcio</b>	Procedencia (localización): <b>Material PG</b>	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Promedio	Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variación (%)
		1	2	3	4	1		2	3	4	Promedio				
Briqueta 7A	1119,11	63,2	62,75	62,86	63,08	63	101,35	101,48	101,48	102,41	101,7	511,8	2,187	0,9%	
Briqueta 7B	1121,57	62,77	61,85	61,6	62,56	62,2	101,57	101,66	101,64	101,54	101,6	504,3	2,224	0,8%	
Briqueta 7C	1106,17	62,32	62,62	62,97	62,63	62,6	101,34	101,65	101,4	101,52	101,5	506,5	2,184	1,1%	
Briqueta 7D	1121,34	62,34	61,98	62,51	62,43	62,3	101,48	101,51	101,53	101,47	101,5	504,1	2,224	0,8%	
Briqueta 7E	1109,19	62,3	61,99	62,45	62,28	62,3	100,59	101,76	101,42	101,46	101,3	502,1	2,209	0,1%	
Briqueta 7F	1115,1	62,22	62,3	62,22	62,05	62,2	101,55	101,54	101,45	101,42	101,5	503,3	2,216	0,4%	
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,207</b>			

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	111
M recipiente (Mr) (g)	118,1
Mr + Muestra Húmeda (g)	596
Mr + Muestra Seca (g)	590
Peso del Agua (g)	6
Peso del Material Seco (g)	471,9
Peso del Material húmedo (g)	477,9
Húmeda inicial W (%)	1,27%


Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm

Nota: la densidad aparente no deberá diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas		Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 1		2,159	3,1	308	304
Briqueta 2		2,196	3	302	
Briqueta 3		2,157	3	301	
Húmedas		Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 4		2,197	0,5	50	50
Briqueta 5		2,181	0,5	50	
Briqueta 6		2,188	0,5	50	

Resistencia a la tracción retenida TSR (%)	16,4%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PF . (PF-FA0.0-M3.0)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción):	3,0% (Ca(OH) <sub>2</sub> ) y 0% AE	
Procedencia (localización):	Material PF	Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 5A	1118,93	62,53	62,48	62,06	62,19	62,3	101,57	101,66	101,65	101,62	101,6	505,1	2,215	0,3%
Briqueta 5B	1113,2	62,3	62,11	62,51	62,24	62,3	101,58	101,17	101,15	101,32	101,3	502,1	2,217	0,3%
Briqueta 5C	1032,3	57,5	57,69	57,29	58,29	57,7	101,49	101,5	101,55	101,52	101,5	466,9	2,211	0,1%
Briqueta 5D	1121,79	62,73	62,57	62,98	63,49	62,9	101,59	101,23	101,63	101,81	101,6	510	2,200	0,4%
Briqueta 5E	1120,91	62,79	62,57	62,24	62,87	62,6	101,44	101,56	101,67	101,45	101,5	506,5	2,213	0,2%
Briqueta 5F	1118,07	62,37	62,91	62,61	63,16	62,8	101,45	101,44	101,46	101,45	101,5	508,1	2,200	0,4%
Densidad media aparente g/cm3												<b>2,209</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	12
Mrecipiente (Mr) (g)	112,9
Mr + Muestra Húmeda (g)	585,1
Mr + Muestra Seca (g)	579,1
Peso del Agua (g)	6
Peso del Material Seco (g)	466,2
Peso del Material húmedo (g)	472,2
Húmeda inicial W (%)	1,29%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 1	2,187	3,4	342	348
Briqueta 2	2,189	3,3	333	
Briqueta 3	2,183	3,4	370	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 4	2,172	0,7	70	63
Briqueta 5	2,185	0,6	60	
Briqueta 6	2,173	0,6	60	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	18,1%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PF . (PF-FA2.4-S0.0)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo tracción indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)	
--	---	--

Identificación (descripción):	asfalto 2.4% y 0% aditivo		
Procedencia (localización):	Material PF	Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variación (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 6A	1092,23	61,06	62,42	61,17	61,47	61,5	101,7	101,49	101,44	101,43	101,5	497,6	2,195	0,2%
Briqueta 6B	1116,24	62,87	62,37	63,24	63,14	62,9	101,58	101,49	101,57	101,62	101,6	510	2,189	0,5%
Briqueta 6C	1119,83	63,15	62,83	61,83	63,13	62,7	101,41	101,33	101,44	101,45	101,4	506,3	2,212	0,5%
Briqueta 6D	1127,18	63,25	63,26	62,97	63,56	63,3	101,44	101,56	101,67	101,45	101,5	512,2	2,201	0,0%
Briqueta 6E	1121,89	62,43	63,78	63,41	62,45	63	101,35	101,53	101,62	101,49	101,5	509,8	2,201	0,0%
Briqueta 6F	1124,51	62,51	63,22	63,15	62,48	62,8	101,35	101,48	101,48	102,41	101,7	510,1	2,204	0,2%
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,200</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	11
Mrecipiente (Mr) (g)	123,1
Mr + Muestra Húmeda (g)	683,7
Mr + Muestra Seca (g)	675,8
Peso del Agua (g)	7,9
Peso del Material Seco (g)	552,7
Peso del Material húmedo (g)	560,6
Húmeda inicial W (%)	1,43%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm

Nota: la densidad aparente no deberá diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 1	2,164	2,8	286	282
Briqueta 2	2,158	2,9	289	
Briqueta 3	2,181	2,7	270	

Húmedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 4	2,170	0	0	0
Briqueta 5	2,170	0	0	
Briqueta 6	2,173	0	0	

Resistencia a la tracción retenida TSR (%)	0,0%
--	------



## Resultados de tracción indirecta material PF . (PF-FA2.6-S0.0)

	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)	

Identificación (descripción):	0% cal y 2,6% AE	
Procedencia (localización):	Material PF	Fecha:

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 8A	1092,23	62,3	62,27	63,06	62,54	62,5	101,42	101,51	101,46	101,46	101,5	505,7	2,160	1,5%
Briqueta 8B	1116,24	63	63,71	63,56	63,58	63,5	101,49	101,46	101,41	101,47	101,5	513,8	2,173	0,9%
Briqueta 8C	1119,83	62,65	61,89	62,56	62,75	62,5	101,47	101,34	101,43	101,52	101,4	504,7	2,219	1,1%
Briqueta 8D	1127,18	63,3	62,54	62,87	63,43	63	101,45	101,57	101,47	101,53	101,5	509,8	2,211	0,8%
Briqueta 8E	1121,89	63,97	63,6	63,16	63,61	63,6	101,46	101,49	101,46	101,59	101,5	514,6	2,180	0,6%
Briqueta 8F	1124,51	62,94	62,96	62,15	62,49	62,6	101,51	101,48	101,51	101,46	101,5	506,5	2,220	1,2%
Densidad media aparente g/cm3												<b>2,194</b>		

2). Contenidos de humedad de curado	
# de Recipiente	103
M recipiente (Mr) (g)	122,3
Mr + Muestra Húmeda (g)	713,9
Mr + Muestra Seca (g)	705,9
Peso del Agua (g)	8
Peso del Material Seco (g)	583,6
Peso del Material húmedo (g)	591,6
Húmeda inicial W (%)	1,37%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor minimo	62	mm
valor maximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 1	2,131	3	301	290
Briqueta 2	2,143	2,8	277	
Briqueta 3	2,189	2,9	291	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 4	2,181	0	0	0
Briqueta 5	2,151	0	0	
Briqueta 6	2,190	0	0	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	0,0%
--	------

## Resultados de tracción indirecta material PF . (PF-FA2.8-S0.0)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo tracción indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción):	0% cal y 2,8% AE	
Procedencia (localización):	Material PF	Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diámetro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variación (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 7A	1092,23	63,07	63,29	63,25	63,33	63,2	101,41	101,33	101,44	101,45	101,4	510,4	2,140	2,5%
Briqueta 7B	1116,24	62,81	62,44	63,58	62,91	62,9	101,47	101,56	101,47	101,45	101,5	508,9	2,193	0,1%
Briqueta 7C	1119,83	63,34	63,61	63,06	62,14	63	101,58	101,17	101,15	101,32	101,3	507,7	2,206	0,5%
Briqueta 7D	1127,18	62,57	62,83	62,57	62,97	62,7	101,49	101,5	101,55	101,52	101,5	507,3	2,222	1,2%
Briqueta 7E	1121,89	63,5	63,56	62,82	63,08	63,2	100,59	101,76	101,42	101,46	101,3	509,4	2,202	0,3%
Briqueta 7F	1124,51	62,5	62,91	62,89	63,11	62,9	101,55	101,54	101,45	101,42	101,5	508,9	2,210	0,7%
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,196</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	12
M recipiente (Mr) (g)	113,8
Mr + Muestra Húmeda (g)	671,4
Mr + Muestra Seca (g)	663,6
Peso del Agua (g)	7,8
Peso del Material Seco (g)	549,8
Peso del Material húmedo (g)	557,6
Húmeda inicial W (%)	1,42%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debiera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 1	2,110	3,3	328	322
Briqueta 2	2,163	3,2	319	
Briqueta 3	2,175	3,2	319	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 4	2,191	0	0	0
Briqueta 5	2,172	0	0	
Briqueta 6	2,179	0	0	

Resistencia a la tracción retenida TSR (%)	0,0%
--	------

## Resultados de tracción indirecta material PF . (PF-FA2.4-M2.5)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción): <b>2,5% (Ca(OH)2) y 2,4% AE</b>		
Procedencia (localización): <b>Material PF</b>		Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 4A	1113,93	64,32	64,34	63,56	63,96	64	101,6	101,25	101,59	101,46	101,5	517,8	2,151	0,1%
Briqueta 4B	1119,68	63,65	65,56	64,41	63,08	64,2	101,45	101,47	101,6	101,41	101,5	519,5	2,155	0,3%
Briqueta 4C	1111,81	63,87	63,45	63,59	63,96	63,7	101,45	101,42	101,3	101,46	101,4	514,4	2,161	0,6%
Briqueta 4D	1110,77	63,96	63,56	63,55	63,74	63,7	101,53	101,25	101,59	101,49	101,5	515,4	2,155	0,3%
Briqueta 4E	1111,83	63,63	63,87	63,87	64,42	63,9	101,45	101,47	101,6	101,46	101,5	517	2,151	0,1%
Briqueta 4F	1104,71	64,95	64,65	63,71	64,23	64,4	101,49	101,45	101,49	101,43	101,5	521,1	2,120	1,3%
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,149</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	3h
M recipiente (Mr) (g)	108,1
Mr + Muestra Húmeda (g)	680,84
Mr + Muestra Seca (g)	673,5
Peso del Agua (g)	7,34
Peso del Material Seco (g)	565,4
Peso del Material húmedo (g)	572,74
Húmeda inicial W (%)	1,30%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 4D	2,124	2,6	255	245
Briqueta 4E	2,128	2,4	234	
Briqueta 4F	2,134	2,5	246	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 4A	2,128	0,9	89	91
Briqueta 4B	2,123	0,9	88	
Briqueta 4C	2,093	1,0	97	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	37,1%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PF . (PF-FA2.6-M2.5)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b>		
	Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
Identificación (descripción):	2,5% (Ca(OH)2) y 2,6% AE		
Procedencia (localización):	Material PF	Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 5A	1118,96	63,61	63,74	62,94	63,82	63,5	101,45	101,47	101,6	101,46	101,5	513,8	2,178	1,1%
Briqueta 5B	1119,55	63,4	64,38	63,5	63,58	63,7	101,6	101,25	101,59	101,48	101,5	515,4	2,172	0,8%
Briqueta 5C	1119,94	64,7	63,59	63,24	64,25	63,9	101,56	101,49	101,43	101,36	101,5	517	2,166	0,5%
Briqueta 5D	1108,28	64,39	63,21	63,12	64,41	63,8	101,6	101,25	101,59	101,48	101,5	516,2	2,147	0,3%
Briqueta 5E	1111,6	63,06	64,3	63,24	63,63	63,6	101,54	101,34	101,35	101,45	101,4	513,6	2,164	0,4%
Briqueta 5F	1107,08	64,84	64,55	67,31	64,65	65,3	101,49	101,45	101,34	101,43	101,4	527,3	2,100	2,5%
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,155</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	-
M recipiente (Mr) (g)	129,95
Mr + Muestra Húmeda (g)	707,26
Mr + Muestra Seca (g)	699,7
Peso del Agua (g)	7,56
Peso del Material Seco (g)	569,75
Peso del Material húmedo (g)	577,31
Húmeda inicial W (%)	1,33%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 5D	2,149	2,2	217	226
Briqueta 5E	2,144	2,4	236	
Briqueta 5F	2,138	2,3	226	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 5A	2,119	0,8	79	75
Briqueta 5B	2,136	0,7	69	
Briqueta 5C	2,072	0,8	77	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	33,2%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PF . (PF-FA2.8-M2.5)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo tracción indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción): <b>2,5% (Ca(OH)2) y 2,8% AE</b>		
Procedencia (localización): <b>Material PF</b>		Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diámetro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variación (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 6A	1101,57	64,61	64,32	63,72	64,74	64,3	101,49	101,45	101,49	101,43	101,5	520,3	2,117	2,1%
Briqueta 6B	1114,55	63,4	63,65	63,96	64,38	63,8	101,24	101,57	101,4	101,37	101,4	515,2	2,163	0,1%
Briqueta 6C	1109,92	64,7	63,87	63,68	62,59	63,7	101,34	101,54	101,43	101,36	101,4	514,4	2,158	0,2%
Briqueta 6D	1108,79	64,39	63,96	63,14	63,21	63,7	101,6	101,25	101,59	101,48	101,5	515,4	2,151	0,5%
Briqueta 6E	1118,87	63,06	62,63	64,9	62,3	63,2	101,45	101,43	101,34	101,46	101,4	510,4	2,192	1,4%
Briqueta 6F	1124,16	63,84	62,95	63,94	63,55	63,6	101,42	101,45	101,49	101,43	101,4	513,6	2,189	1,3%
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,162</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	-
M recipiente (Mr) (g)	115,81
Mr + Muestra Húmeda (g)	695,3
Mr + Muestra Seca (g)	687,7
Peso del Agua (g)	7,6
Peso del Material Seco (g)	571,89
Peso del Material húmedo (g)	579,49
Húmeda inicial W (%)	1,33%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no deberá diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 6D	2,089	2,8	273	275
Briqueta 6E	2,135	2,9	285	
Briqueta 6F	2,129	2,7	266	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 6A	2,123	1	98	95
Briqueta 6B	2,163	0,9	89	
Briqueta 6C	2,160	1	99	

Resistencia a la tracción retenida TSR (%)	34,5%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PF . (PF-FA2.4-V2.5)

	<b>Ensayo traccion indirecta</b>		
	Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
Identificación (descripción):	2,5% (CaO) y 2,4% AE		
Procedencia (localización):	Material PF	Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variación (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 20A	1131,58	64,61	64,16	64,74	64,28	64,4	101,49	101,34	101,45	101,43	101,4	520,1	2,176	0,1%
Briqueta 20B	1139,31	64,8	64,98	64,38	64,62	64,7	101,36	101,47	101,56	101,48	101,5	523,5	2,176	0,1%
Briqueta 20C	1131,8	65,43	63,23	65,59	65,09	64,8	101,54	101,41	101,52	101,36	101,5	524,3	2,159	0,7%
Briqueta 20D	1135,08	65,62	65,4	63,21	63,5	64,4	101,49	101,4	101,45	101,54	101,5	521,1	2,178	0,2%
Briqueta 20E	1136,78	64,3	64,34	64,3	64,34	64,3	101,39	101,54	101,56	101,46	101,5	520,3	2,185	0,5%
Briqueta 20F	1134,02	64,84	64,66	64,55	64,34	64,6	101,57	101,31	101,48	101,51	101,5	522,7	2,170	0,2%
Densidad media aparente g/cm3												<b>2,174</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	r
M recipiente (Mr) (g)	123,51
Mr + Muestra Húmeda (g)	1251,67
Mr + Muestra Seca (g)	1243,6
Peso del Agua (g)	8,07
Peso del Material Seco (g)	1120,09
Peso del Material húmedo (g)	1128,16
Húmeda inicial W (%)	0,72%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 20D	2,160	3,2	312	307
Briqueta 20E	2,161	3,2	310	
Briqueta 20F	2,143	3,1	300	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 20A	2,163	1,3	127	120
Briqueta 20B	2,169	1,2	117	
Briqueta 20C	2,154	1,2	117	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	39,1%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PF . (PF-FA2.6-V2.5)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción): <b>2,5% (CaO) y 2,6% AE</b>		
Procedencia (localización): <b>Material PF</b>	Fecha:		

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Promedio	Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	1		2	3	4	Promedio				
Briqueta 21A	1135,84	64,2	64,72	65,41	65,49	65	101,48	101,43	101,32	101,45	101,4	524,9	2,164	0,1%	
Briqueta 21B	1131,29	64,11	64,96	64,78	65,06	64,7	101,41	101,48	101,47	101,49	101,5	523,5	2,161	0,0%	
Briqueta 21C	1128,9	65,32	64,68	64,99	64,38	64,8	101,56	101,41	101,49	101,36	101,5	524,3	2,153	0,4%	
Briqueta 21D	1139,12	64,91	65,14	64,97	65,14	65	101,56	101,48	101,51	101,32	101,5	525,9	2,166	0,2%	
Briqueta 21E	1130,28	64,2	64,9	63,86	64,28	64,3	101,38	101,4	101,58	101,62	101,5	520,3	2,172	0,5%	
Briqueta 21F	1132,63	64,26	64,94	65,87	64,85	65	101,52	101,56	101,51	101,69	101,6	527	2,149	0,5%	
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,161</b>			

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	-
Mrecipiente (Mr) (g)	113,93
Mr + Muestra Húmeda (g)	1241,16
Mr + Muestra Seca (g)	1222,3
Peso del Agua (g)	18,86
Peso del Material Seco (g)	1108,37
Peso del Material húmedo (g)	1127,23
Húmeda inicial W (%)	1,70%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor minimo	62	mm
valor maximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 21D	2,128	3,1	299	306
Briqueta 21E	2,125	3,2	310	
Briqueta 21F	2,117	3,2	310	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 21A	2,130	1,2	116	120
Briqueta 21B	2,136	1,3	127	
Briqueta 21C	2,113	1,2	116	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	39,2%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PF . (PF-FA2.8-V2.5)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción): <b>2,5% (CaO) y 2,8% AE</b>		
Procedencia (localización): <b>Material PF</b>	Fecha:		

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Promedio	Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4			1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 22A	1134,75	65,94	64,05	65,73	64,03	64,9	101,54	101,43	101,41	101,59	101,5	525,1	2,161	0,1%	
Briqueta 22B	1117,6	64,5	64,12	64,3	64,78	64,4	101,24	101,57	101,56	101,37	101,4	520,1	2,149	0,6%	
Briqueta 22C	1127,71	65,24	64,39	65,42	64,38	64,9	101,42	101,56	101,43	101,354	101,4	524,1	2,152	0,5%	
Briqueta 22D	1132,92	64,12	65,58	64,82	65,94	65,1	101,6	101,25	101,54	101,48	101,5	526,7	2,151	0,5%	
Briqueta 22E	1132,91	64,24	66,5	64,13	65	65	101,53	101,61	101,6	101,51	101,6	527	2,150	0,6%	
Briqueta 22F	1158,7	65,31	64,91	64,53	64,56	64,8	101,49	101,45	101,46	101,43	101,5	524,3	2,210	2,2%	
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,162</b>			

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	-
M recipiente (Mr) (g)	101,88
Mr + Muestra Húmeda (g)	1232,77
Mr + Muestra Seca (g)	1218,3
Peso del Agua (g)	14,47
Peso del Material Seco (g)	1116,42
Peso del Material húmedo (g)	1130,89
Húmeda inicial W (%)	1,30%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm

Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.


Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 22D	2,133	3	290	288
Briqueta 22E	2,121	3	292	
Briqueta 22F	2,124	2,9	281	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 22A	2,123	1,3	125	125
Briqueta 22B	2,122	1,3	125	
Briqueta 22C	2,182	1,3	126	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	43,4%
--	-------



## Resultados de tracción indirecta material PF . (PF-FA2.8-V4.0)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b>		
	Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
Identificación (descripción):	4,0% (CaO) y 2,8% AE		
Procedencia (localización):	Material PG	Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Promedio	Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	1		2	3	4	Promedio				
Briqueta 22A	1119,69	65,01	64,78	65,58	65,03	65,1	101,54	101,43	101,41	101,59	101,5	526,7	2,126	0,0%	
Briqueta 22B	1131,59	65,11	66,31	65,35	65,6	65,6	101,24	101,57	101,56	101,37	101,4	529,7	2,136	0,4%	
Briqueta 22C	1130,35	65,48	66,03	66,08	65,16	65,7	101,42	101,56	101,43	101,354	101,4	530,6	2,130	0,2%	
Briqueta 22D	1138,21	65,51	66,9	65,64	65,44	65,9	101,6	101,25	101,54	101,48	101,5	533,2	2,135	0,4%	
Briqueta 22E	1112,09	65,05	63,97	65,52	65,21	64,9	101,53	101,61	101,6	101,51	101,6	526,2	2,113	0,6%	
Briqueta 22F	1122,99	65,7	66,24	65,59	64,59	65,5	101,49	101,45	101,46	101,43	101,5	530	2,119	0,4%	
0												Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>	<b>2,127</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	7
Mrecipiente (Mr) (g)	113,85
Mr + Muestra Húmeda (g)	1234,02
Mr + Muestra Seca (g)	1218,09
Peso del Agua (g)	15,93
Peso del Material Seco (g)	1104,24
Peso del Material húmedo (g)	1120,17
Húmeda inicial W (%)	1,44%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor minimo	62	mm
valor maximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 22A	2,096	3	289	275
Briqueta 22B	2,106	2,6	249	
Briqueta 22C	2,100	3	287	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 22D	2,104	1,3	124	121
Briqueta 22E	2,083	1,2	116	
Briqueta 22F	2,089	1,3	124	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	44,0%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PF . (PF-FA2.8-V2.5-C1.0)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo tracción indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción):	2,5% (CaO) y 2,8% AE, y cemento al 1,0%	
Procedencia (localización):	Material PG	Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diámetro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variación (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 22A	1136,71	65,43	65,16	64,79	64,07	64,9	101,54	101,43	101,41	101,59	101,5	525,1	2,165	0,1%
Briqueta 22B	1129,21	64,9	64,31	65,32	65,26	64,9	101,24	101,57	101,56	101,37	101,4	524,1	2,155	0,5%
Briqueta 22C	1124,27	64,04	62,61	64,13	64,8	63,9	101,42	101,56	101,43	101,354	101,4	516	2,179	0,6%
Briqueta 22D	1133,47	65,13	64,61	64,87	65,28	65	101,6	101,25	101,54	101,48	101,5	525,9	2,155	0,5%
Briqueta 22E	1119,91	62,83	63,53	64,29	63,67	63,6	101,53	101,61	101,6	101,51	101,6	515,6	2,172	0,3%
Briqueta 22F	1138,59	65,46	64,2	64,19	65,38	64,8	101,49	101,45	101,46	101,43	101,5	524,3	2,172	0,3%
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,166</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	7
Mrecipiente (Mr) (g)	113,92
Mr + Muestra Húmeda (g)	1246,18
Mr + Muestra Seca (g)	1231,53
Peso del Agua (g)	14,65
Peso del Material Seco (g)	1117,61
Peso del Material húmedo (g)	1132,26
Húmeda inicial W (%)	1,31%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no deberá diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 22D	2,137	3,8	367	363
Briqueta 22E	2,127	3,9	377	
Briqueta 22F	2,151	3,5	344	

Húmedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 22A	2,127	1,5	145	143
Briqueta 22B	2,144	1,5	148	
Briqueta 22C	2,144	1,4	136	

Resistencia a la tracción retenida TSR (%)	39,4%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PF . (PF-FA2.4-M3.0)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción):	asfalto 2,4% y 3,0% de hidroxido de calcio	
Procedencia (localización):	Material PG	Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Promedio	Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	1		2	3	4	Promedio				
Briqueta 30A	1129,84	63,56	64,32	64,18	63,96	64	101,56	101,5	101,6	101,45	101,5	517,8	2,182	0,5%	
Briqueta 30B	1129,01	64,41	65,65	64,38	65,08	64,9	101,57	101,41	101,41	101,57	101,5	525,1	2,150	1,0%	
Briqueta 30C	1131,93	64,59	63,87	65,53	64,96	64,7	101,41	101,49	101,56	101,54	101,5	523,5	2,162	0,4%	
Briqueta 30D	1126,52	63,55	63,96	63,51	63,74	63,7	101,29	101,55	101,52	101,58	101,5	515,4	2,186	0,7%	
Briqueta 30E	1131,77	64,87	64,63	64,83	64,42	64,7	101,37	101,52	101,54	101,59	101,5	523,5	2,162	0,4%	
Briqueta 30F	1139,23	63,71	64,95	64,8	64,23	64,4	101,41	101,59	101,67	101,48	101,5	521,1	2,186	0,7%	
												Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>	2,171		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	100
M recipiente (Mr) (g)	96,94
Mr + Muestra Húmeda (g)	1198,15
Mr + Muestra Seca (g)	1186,23
Peso del Agua (g)	11,92
Peso del Material Seco (g)	1089,29
Peso del Material húmedo (g)	1101,21
Húmeda inicial W (%)	1,09%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 30A	2,158	3,3	323	324
Briqueta 30B	2,127	3,4	329	
Briqueta 30C	2,139	3,3	320	

Húmedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 30D	2,162	1,1	108	101
Briqueta 30E	2,139	1	97	
Briqueta 30F	2,163	1	97	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	31,2%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PF . (PF-FA2.6-M3.0)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción): <b>asfalto 2,6% y 3,0% de hidroxido de calcio</b>		
Procedencia (localización): <b>Material PG</b>		Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diámetro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variación (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 31A	1127,32	65,21	63,82	64,79	65,85	64,9	101,33	101,48	101,37	101,53	101,4	524,1	2,151	0,3%
Briqueta 31B	1124,96	64,33	63,58	64,55	65,2	64,4	101,43	101,41	101,51	101,54	101,5	521,1	2,159	0,1%
Briqueta 31C	1131,05	64,1	64,25	64,77	64,15	64,3	101,44	101,44	101,45	101,59	101,5	520,3	2,174	0,7%
Briqueta 31D	1129,1	65,7	64,41	65,56	65,95	65,4	101,68	101,5	101,59	101,51	101,6	530,2	2,130	1,3%
Briqueta 31E	1133,43	64,22	65,63	64,91	64,14	64,7	101,47	101,51	101,51	101,45	101,5	523,5	2,165	0,3%
Briqueta 31F	1130,14	65,1	64,65	64,04	63,48	64,3	101,66	101,3	101,61	101,78	101,6	521,3	2,168	0,5%
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,158</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	qq
M recipiente (Mr) (g)	118,28
Mr + Muestra Húmeda (g)	1237,13
Mr + Muestra Seca (g)	1225,25
Peso del Agua (g)	11,88
Peso del Material Seco (g)	1106,97
Peso del Material húmedo (g)	1118,85
Húmeda inicial W (%)	1,07%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor minimo	62	mm
valor maximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 31A	2,128	3,9	377	376
Briqueta 31B	2,136	3,8	370	
Briqueta 31C	2,151	3,9	380	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 31D	2,107	1,1	105	103
Briqueta 31E	2,142	1,1	107	
Briqueta 31F	2,145	1	97	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	27,4%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PF . (PF-FA2.8-M3.0)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción): <b>asfalto 2,8% y 3,0% de hidroxido de calcio</b>		
Procedencia (localización): <b>Material PG</b>			

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 32A	1127,79	64,74	63,84	64,61	65,4	64,6	101,42	101,32	101,48	101,46	101,4	521,7	2,162	0,0%
Briqueta 32B	1127,4	64,03	65,53	65,4	64,3	64,8	101,55	101,36	101,5	101,51	101,5	524,3	2,150	0,5%
Briqueta 32C	1129,63	63,89	63,76	64,7	64,73	64,3	101,42	101,59	101,43	101,55	101,5	520,3	2,171	0,4%
Briqueta 32D	1128,83	63,23	64,48	64,39	63,48	63,9	101,6	101,43	101,47	101,32	101,5	517	2,183	1,0%
Briqueta 32E	1125,52	64,88	63,53	65,06	64,67	64,5	101,48	101,47	101,51	101,5	101,5	521,9	2,157	0,2%
Briqueta 32F	1126,33	65,44	65,05	64,84	64,21	64,9	101,46	101,48	101,59	101,49	101,5	525,1	2,145	0,8%
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,161</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	-
M recipiente (Mr) (g)	113,97
Mr + Muestra Húmeda (g)	1139,64
Mr + Muestra Seca (g)	1134,01
Peso del Agua (g)	5,63
Peso del Material Seco (g)	1020,04
Peso del Material húmedo (g)	1025,67
Húmeda inicial W (%)	0,55%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor minimo	62	mm
valor maximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 1	2,150	3,8	369	375
Briqueta 2	2,138	3,9	377	
Briqueta 3	2,159	3,9	380	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 4	2,171	1,3	128	133
Briqueta 5	2,145	1,4	136	
Briqueta 6	2,133	1,4	135	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	35,5%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PF . (PF-FA2.4-V3.0)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción):	asfalto 2,4% y 3,0% de oxido de calcio	
Procedencia (localización):	Material PG	Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 40A	1125,93	63,78	64,48	64,5	65,03	64,4	101,46	101,52	101,56	101,41	101,5	521,1	2,161	0,3%
Briqueta 40B	1126,86	64,01	64,67	64,34	64,87	64,5	101,34	101,37	101,5	101,56	101,4	520,9	2,163	0,2%
Briqueta 40C	1128,92	65,2	63,78	64,23	64,23	64,4	101,51	101,52	101,58	101,51	101,5	521,1	2,166	0,1%
Briqueta 40D	1128,13	64,56	64,81	63,93	64,34	64,4	101,48	101,49	101,51	101,5	101,5	521,1	2,165	0,1%
Briqueta 40E	1128,2	63,22	65,03	63,87	64,87	64,2	101,43	101,48	101,44	101,55	101,5	519,5	2,172	0,2%
Briqueta 40F	1133,74	64,14	63,37	65,01	64,21	64,2	101,51	101,57	101,44	101,48	101,5	519,5	2,182	0,6%
<b>Densidad media aparente g/cm<sup>3</sup></b>												<b>2,168</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	7
M recipiente (Mr) (g)	114,65
Mr + Muestra Húmeda (g)	1222,09
Mr + Muestra Seca (g)	1206,4
Peso del Agua (g)	15,69
Peso del Material Seco (g)	1091,75
Peso del Material húmedo (g)	1107,44
Húmeda inicial W (%)	1,44%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 40A	2,130	3,4	331	321
Briqueta 40B	2,133	3,3	321	
Briqueta 40C	2,136	3,2	312	

Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 40D	2,134	1	97	101
Briqueta 40E	2,141	1	98	
Briqueta 40F	2,151	1,1	107	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	31,5%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PF . (PF-FA2.6-V3.0)

	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)	

Identificación (descripción):	asfalto 2,6% y 3,0% de oxido de calcio		
Procedencia (localización):	Material PG	Fecha:	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 41A	1137,64	64,47	64,02	64,56	63,45	64,1	101,42	101,46	101,41	101,43	101,4	517,6	2,198	0,6%
Briqueta 41B	1147,99	64,46	65,03	65,23	64,56	64,8	101,43	101,56	101,46	101,47	101,5	524,3	2,190	0,2%
Briqueta 41C	1153,2	65,95	65,73	64,13	65,12	65,2	101,52	101,49	101,44	101,52	101,5	527,6	2,186	0,1%
Briqueta 41D	1128,24	64,48	64,15	63,23	64,45	64,1	101,47	101,41	101,34	101,43	101,4	517,6	2,180	0,2%
Briqueta 41E	1128,57	64,5	64,67	63,97	64,12	64,3	101,47	101,46	101,56	101,43	101,5	520,3	2,169	0,7%
Briqueta 41F	1137	64,64	64,56	64,01	64,01	64,3	101,53	101,56	101,54	101,48	101,5	520,3	2,185	0,0%
Densidad media aparente g/cm <sup>3</sup>												<b>2,185</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	17
Mrecipiente (Mr) (g)	143,47
Mr + Muestra Húmeda (g)	1290,09
Mr + Muestra Seca (g)	1273
Peso del Agua (g)	17,09
Peso del Material Seco (g)	1129,53
Peso del Material húmedo (g)	1146,62
Húmeda inicial W (%)	1,51%

Altura de las briquetas 63,5 mm ± 1,5 mm "norma tg2"		
valor mínimo	62	mm
valor máximo	65	mm


Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
	Briqueta 41A	2,165	3,4	333
Briqueta 41B	2,157	3,6	348	
Briqueta 41C	2,153	3,6	346	

Húmedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
	Briqueta 41D	2,147	1,3	127
Briqueta 41E	2,137	1,2	117	
Briqueta 41F	2,153	1,1	107	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	34,2%
--	-------

## Resultados de tracción indirecta material PG . (PG-FA2.8-V3.0)

	<b>Ensayo traccion indirecta</b> Manual TG2 - 2009 (Sudáfrica)		
	Identificación (descripción): <b>asfalto 2,8% y 3,0% de oxido de calcio</b>	Procedencia (localización): <b>Material PG</b>	

### 1). Densidad aparente y seca de ensayo

	Masa g	Altura mm					Diametro mm					Volumen cm <sup>3</sup>	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Variacion (%)
		1	2	3	4	Promedio	1	2	3	4	Promedio			
Briqueta 42A	1126,43	63,84	64,51	64,17	63,87	64,1	101,45	101,45	101,45	101,34	101,4	517,6	2,176	0,4%
Briqueta 42B	1131,89	65,28	64,16	63,45	63,97	64,2	101,34	101,43	101,49	101,37	101,4	518,4	2,183	0,7%
Briqueta 42C	1106,95	62,61	62,93	63,78	64,5	63,5	101,49	101,56	101,53	101,54	101,5	513,8	2,154	0,6%
Briqueta 42D	1140,3	66,11	65,36	64,89	65,32	65,4	101,54	101,43	101,56	101,51	101,5	529,2	2,155	0,6%
Briqueta 42E	1123,47	64,52	64,66	64,55	64,34	64,5	101,41	101,51	101,58	101,49	101,5	521,9	2,153	0,7%
Briqueta 42F	1133,69	64,36	63,9	65,1	63,6	64,2	101,51	101,5	101,59	101,41	101,5	519,5	2,182	0,7%
Densidad media aparente g/cm3												<b>2,167</b>		

### 2). Contenidos de humedad de curado

# de Recipiente	9
M recipiente (Mr) (g)	115,69
Mr + Muestra Húmeda (g)	1234,87
Mr + Muestra Seca (g)	1219,3
Peso del Agua (g)	15,57
Peso del Material Seco (g)	1103,61
Peso del Material húmedo (g)	1119,18
Húmeda inicial W (%)	1,41%

Altura de las briquetas 63.5 mm ± 1.5 mm "norma tg2"		
valor minimo	62	mm
valor maximo	65	mm

Nota: la densidad aparente no debera diferir de la densidad aparente media de las seis (6) muestras en más de 2.5%.

Secas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>DRY</sub> Kpa	ITS <sub>DRY</sub> Promedio
Briqueta 42A	2,146	3,5	343	340
Briqueta 42B	2,153	3,4	332	
Briqueta 42C	2,124	3,5	346	

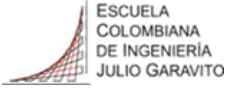
Humedas	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Carga 0,1 kN	ITS <sub>WET</sub> Kpa	ITS <sub>WET</sub> Promedio
Briqueta 42D	2,125	1,3	125	126
Briqueta 42E	2,123	1,2	117	
Briqueta 42F	2,152	1,4	137	

Resistencia a la traccion retenida TSR (%)	37,1%
--	-------



## Anexo 8 Resultados de módulo resiliente.

### Resultados de módulo resiliente material PG . (PG-FA0.0-S0.0)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>		
	I.N.V E- 156-13		

Identificación (descripción):	<b>Material de Recebo - Material PG</b>		
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha:	<b>29 de Enero de 2018</b>

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,043
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,075
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>98,5%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3537
Peso final (g)	3536
Perdida (g)	0,03%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
Altura (mm)	195,95	197,17	198,19	196,73	197,01	8115
Diametro (mm)	101,77	101,70	101,40	101,71	101,65	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00811

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	SN	Peso del Agua (g)	58,2
M recipiente (Mr) (g)	106,7	Peso del Material Seco (g)	705,3
Mr+Muestra Húmeda (g)	870,2	Peso del Material húmedo (g)	763,5
Mr+Muestra Seca (g)	812	Húmeda inicial W (%)	<b>8,25%</b>

Datos de Densidad Humeda		
Volumen promedio cm <sup>3</sup>	1599	
Peso humedo(g)	3536	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio	2,257	
Maxima variacion	3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,189</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>
		<b>2,325</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,212</b>	
	ok	
Grado de compactacion (%)	<b>98,0%</b>	

Proyecto:	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
Autor:	Leonardo Gutiérrez Tejedor	Directora:	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	Material de Recebo - Material PG																
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.															Fecha: 29 de Enero de 2018	

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	829,0	152,0	326,0	503,0	266,0	557,0	834,0	545,0	1132,0	1720,0	543,0	830,0	1686,0	833,0	1139,0	2063,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	749,0	140,0	297,0	455,0	241,0	504,0	753,0	492,0	1023,0	1557,0	490,0	750,0	1521,0	752,0	1032,0	2010,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	80	12	29	48	25	53	81	53	109	163	53	80	165	81	107	53
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	102,2	18,7	40,2	62,0	32,8	68,6	102,8	67,2	139,5	212,0	66,9	102,3	207,8	102,7	140,4	254,2
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	92,3	17,3	36,6	56,1	29,7	62,1	92,8	60,6	126,1	191,9	60,4	92,4	187,4	92,7	127,2	247,7
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	9,9	1,5	3,6	5,9	3,1	6,5	10,0	6,5	13,4	20,1	6,5	9,9	20,3	10,0	13,2	6,5
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0930	0,0450	0,0850	0,1120	0,0680	0,1130	0,1420	0,1000	0,1500	0,1940	0,0820	0,1190	0,1760	0,1020	0,1360	0,1820
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0940	0,0440	0,0850	0,1130	0,0680	0,1120	0,1420	0,1010	0,1510	0,1950	0,0820	0,1190	0,1770	0,1020	0,1360	0,1830
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,094	0,045	0,085	0,113	0,068	0,113	0,142	0,101	0,151	0,195	0,082	0,119	0,177	0,102	0,136	0,183
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0005	0,0002	0,0004	0,0006	0,0003	0,0006	0,0007	0,0005	0,0008	0,0010	0,0004	0,0006	0,0009	0,0005	0,0007	0,0009
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>194,5</b>	<b>76,4</b>	<b>84,8</b>	<b>98,2</b>	<b>86,0</b>	<b>108,8</b>	<b>128,7</b>	<b>118,9</b>	<b>165,0</b>	<b>194,4</b>	<b>145,1</b>	<b>153,0</b>	<b>209,2</b>	<b>179,0</b>	<b>184,2</b>	<b>267,4</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martinez

## Resultados de módulo resiliente material PG . (PG-FA0.0-V2.5)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	2,5% Cal viva +0,0FA-Material PG		
<b>Procedencia (localización):</b>	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	<b>Fecha:</b>	<b>29 de Enero de 2018</b>

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,032
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,075
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>97,9%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3589
Peso final (g)	3534
Perdida (g)	1,56%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	203,93	202,31	202,43	202,38	202,76	7936
<b>Diametro (mm)</b>	100,67	100,48	100,24	100,70	100,52	
						Area en m <sup>2</sup> 0,00794

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	SN	Peso del Agua (g)	61
M recipiente (Mr) (g)	104,4	Peso del Material Seco (g)	756,9
Mr+Muestra Húmeda (g)	922,3	Peso del Material húmedo (g)	817,9
Mr+Muestra Seca (g)	861,3	Húmeda inicial W (%)	<b>8,06%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>		1609	
Peso humedo(g)		3534	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio		2,257	
Maxima variacion		3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,189</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,325</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,196</b>	
		ok	
Grado de compactacion (%)		<b>97,3%</b>	

Nota: cinco (2) dias de curado


<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

Identificación (descripción):	2,5% Cal viva +Material de Recebo - AA Ingeniería.	
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	$S_3$	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	$S_{ciclico}$	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
Ciclo #	$C_1$	un	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Carga maxima axial real	$P_{max}$	N	822,0	139,0	310,0	481,0	255,0	538,0	824,0	541,0	1128,0	1721,0	539,0	825,0	1718,0	826,0	1126,0	2143,0
Carga ciclica aplicada real	$P_{ciclico}$	N	743,0	125,0	280,0	433,0	229,0	485,0	744,0	488,0	1020,0	1556,0	485,0	746,0	1553,0	746,0	1017,0	2091,0
Carga de contacto aplicada real	$P_{contacto}$	N	79	14	30	48	26	53	80	53	108	165	54	79	165	80	109	52
Esfuerzo maximo real aplicado	$S_{max r}$	kPa	103,6	17,5	39,1	60,6	32,1	67,8	103,8	68,2	142,1	216,9	67,9	104,0	216,5	104,1	141,9	270,0
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	$S_{ciclico r}$	kPa	93,6	15,8	35,3	54,6	28,9	61,1	93,7	61,5	128,5	196,1	61,1	94,0	195,7	94,0	128,1	263,5
Esfuerzo de contacto aplicado real	$S_{contacto r}$	kPa	10,0	1,8	3,8	6,0	3,3	6,7	10,1	6,7	13,6	20,8	6,8	10,0	20,8	10,1	13,7	6,6
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	$H_1$	mm	0,0960	0,0410	0,0630	0,0900	0,0680	0,0960	0,1270	0,0930	0,1410	0,1640	0,0860	0,1080	0,1590	0,1060	0,1270	0,2200
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	$H_2$	mm	0,0950	0,0410	0,0630	0,0910	0,0670	0,0970	0,1280	0,0930	0,1410	0,1620	0,0860	0,1090	0,1560	0,1060	0,1270	0,2110
Deformacion resiliente promedio	$H_{promedio}$	mm	0,096	0,041	0,063	0,091	0,068	0,097	0,128	0,093	0,141	0,163	0,086	0,109	0,158	0,106	0,127	0,216
Deformacion resiliente unitaria	$\epsilon_r$	mm/mm	0,0005	0,0002	0,0003	0,0004	0,0003	0,0005	0,0006	0,0005	0,0007	0,0008	0,0004	0,0005	0,0008	0,0005	0,0006	0,0011
Modulo resiliente	$M_r$	Mpa	198,8	77,9	113,6	122,2	86,7	128,4	149,1	134,1	184,8	243,9	144,1	175,7	251,9	179,8	204,6	247,9

Proyecto:	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
Autor:	Leonardo Gutiérrez Tejedor	Directora:	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PG . (PG-FA0.0-V3.0)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	3,0% Cal viva +0,0FA-Material PG		
<b>Procedencia (localización):</b>	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	<b>Fecha:</b>	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,035
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,075
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>98,1%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3557,9
Peso final (g)	3557
Perdida (g)	0,03%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	196,50	197,50	198,30	197,80	197,53	8111
<b>Diametro (mm)</b>	101,20	101,90	101,50	101,90	101,63	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00811

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	SN	Peso del Agua (g)	104,8
M recipiente (Mr) (g)	114,3	Peso del Material Seco (g)	1151,7
Mr+Muestra Húmeda (g)	1370,8	Peso del Material húmedo (g)	1256,5
Mr+Muestra Seca (g)	1266	Húmeda inicial W (%)	<b>9,10%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>8,70%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>	1602		
Peso humedo(g)	3557		
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio	2,257		
Maxima variacion	3%		
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,189</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,325</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,220</b>		
Grado de compactacion (%)	<b>98,4%</b>		

Nota: cinco (2) dias de curado


<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martinez

Identificación (descripción):	3,0% Cal viva +0,0FA-Material PG																
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.															Fecha: 29 de Enero de 2018	

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	$S_3$	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	$S_{ciclico}$	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
Ciclo #	$C_1$	un	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Carga maxima axial real	$P_{max}$	N	834,0	140,0	313,0	487,0	261,0	542,0	827,0	541,0	1132,0	1701,0	547,0	829,0	1698,0	830,0	1134,0	2101,0
Carga ciclica aplicada real	$P_{ciclico}$	N	757,0	126,0	285,0	442,0	238,0	490,0	747,0	491,0	1026,0	1536,0	496,0	751,0	1534,0	752,0	1026,0	2050,0
Carga de contacto aplicada real	$P_{contacto}$	N	77	14	28	45	23	52	80	50	106	165	51	78	164	78	108	51
Esfuerzo maximo real aplicado	$S_{max r}$	kPa	102,8	17,3	38,6	60,0	32,2	66,8	102,0	66,7	139,6	209,7	67,4	102,2	209,3	102,3	139,8	259,0
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	$S_{ciclico r}$	kPa	93,3	15,5	35,1	54,5	29,3	60,4	92,1	60,5	126,5	189,4	61,1	92,6	189,1	92,7	126,5	252,7
Esfuerzo de contacto aplicado real	$S_{contacto r}$	kPa	9,5	1,7	3,5	5,5	2,8	6,4	9,9	6,2	13,1	20,3	6,3	9,6	20,2	9,6	13,3	6,3
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	$H_1$	mm	0,0860	0,0420	0,0710	0,0930	0,0540	0,0870	0,1130	0,0720	0,1170	0,1500	0,0650	0,0880	0,1350	0,0790	0,0970	0,1900
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	$H_2$	mm	0,0850	0,0420	0,0710	0,0920	0,0530	0,0860	0,1110	0,0710	0,1150	0,1470	0,0640	0,0850	0,1320	0,0760	0,0940	0,1830
Deformacion resiliente promedio	$H_{promedio}$	mm	0,086	0,042	0,071	0,093	0,054	0,087	0,112	0,072	0,116	0,149	0,065	0,087	0,134	0,078	0,096	0,187
Deformacion resiliente unitaria	$\epsilon_r$	mm/mm	0,0004	0,0002	0,0004	0,0005	0,0003	0,0004	0,0006	0,0004	0,0006	0,0008	0,0003	0,0004	0,0007	0,0004	0,0005	0,0009
Modulo resiliente	$M_r$	Mpa	215,6	73,1	97,8	116,4	108,3	137,9	162,4	167,2	215,4	251,9	187,3	211,4	279,8	236,3	261,6	267,7

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PG . (PG-FA0.0-M2.5)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	2,5% Cal hidratada +0,0FA-Material PG		
<b>Procedencia (localización):</b>	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	<b>Fecha:</b>	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,060
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,075
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>99,3%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3551,9
Peso final (g)	3551,7
Perdida (g)	0,01%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	195,20	194,70	194,50	196,30	195,18	8052
<b>Diametro (mm)</b>	101,20	101,40	101,80	100,60	101,25	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00805

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	SN	Peso del Agua (g)	61
M recipiente (Mr) (g)	116,1	Peso del Material Seco (g)	628,4
Mr+Muestra Húmeda (g)	805,5	Peso del Material húmedo (g)	689,4
Mr+Muestra Seca (g)	744,5	Húmeda inicial W (%)	<b>9,71%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>8,70%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>		1571	
Peso humedo(g)		3551,7	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio		2,257	
Maxima variacion		3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,189</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,325</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,260</b>	
		ok	
Grado de compactacion (%)		<b>100,1%</b>	

Nota: cinco (2) dias de curado

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez


Identificación (descripción):	2,5% CaI hidratada +0,0FA-Material PG	
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	$S_3$	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	$S_{ciclico}$	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
Ciclo #	$C_1$	un	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Carga maxima axial real	$P_{max}$	N	801,0	140,0	332,0	493,0	267,0	556,0	833,0	550,0	1116,0	1699,0	551,0	832,0	1697,0	834,0	1129,0	2091,0
Carga ciclica aplicada real	$P_{ciclico}$	N	721,0	128,0	304,0	447,0	241,0	504,0	754,0	498,0	1008,0	1535,0	500,0	753,0	1534,0	755,0	1022,0	2040,0
Carga de contacto aplicada real	$P_{contacto}$	N	80	12	28	46	26	52	79	52	108	164	51	79	163	79	107	51
Esfuerzo maximo real aplicado	$S_{max r}$	kPa	99,5	17,4	41,2	61,2	33,2	69,1	103,5	68,3	138,6	211,0	68,4	103,3	210,8	103,6	140,2	259,7
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	$S_{ciclico r}$	kPa	89,5	15,9	37,8	55,5	29,9	62,6	93,6	61,9	125,2	190,6	62,1	93,5	190,5	93,8	126,9	253,4
Esfuerzo de contacto aplicado real	$S_{contacto r}$	kPa	9,9	1,5	3,5	5,7	3,2	6,5	9,8	6,5	13,4	20,4	6,3	9,8	20,2	9,8	13,3	6,3
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	$H_1$	mm	0,0830	0,0380	0,0720	0,0880	0,0530	0,0890	0,1150	0,0780	0,1250	0,1660	0,0740	0,1000	0,1500	0,0890	0,1080	0,2150
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	$H_2$	mm	0,0800	0,0360	0,0700	0,0850	0,0520	0,0870	0,1120	0,0770	0,1240	0,1600	0,0740	0,0990	0,1460	0,0880	0,1060	0,2110
Deformacion resiliente promedio	$H_{promedio}$	mm	0,082	0,037	0,071	0,087	0,053	0,088	0,114	0,078	0,125	0,163	0,074	0,100	0,148	0,089	0,107	0,213
Deformacion resiliente unitaria	$\epsilon_r$	mm/mm	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0003	0,0005	0,0006	0,0004	0,0006	0,0008	0,0004	0,0005	0,0008	0,0005	0,0005	0,0011
Modulo resiliente	$M_r$	Mpa	214,4	83,9	103,8	125,3	111,3	138,8	161,0	155,8	196,3	228,3	163,8	183,4	251,3	206,8	231,5	232,2

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.	
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b> Sandra Campagnoli Martínez



## Resultados de módulo resiliente material PG . (PG-FA0.0-M3.0)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	<b>3,0% Cal hidratada +0,0FA-Material PG</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	<b>Fecha:</b>	<b>29 de Enero de 2018</b>

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,017
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,075
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>97,2%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3515
Peso final (g)	3501
Perdida (g)	0,40%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	200,01	197,82	200,85	199,69	199,59	7977
<b>Diametro (mm)</b>	100,23	100,86	100,99	101,05	100,78	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00798
Datos de Humedad Final del ensayo						
# de Recipiente	SN	Peso del Agua (g)		61,5		
M recipiente (Mr) (g)	119	Peso del Material Seco (g)		682,2		
Mr+Muestra Húmeda (g)	862,7	Peso del Material húmedo (g)		743,7		
Mr+Muestra Seca (g)	801,2	Húmeda inicial W (%)		<b>9,01%</b>		

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>		1592	
Peso humedo(g)		3501	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio		2,257	
Maxima variacion		3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,189</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,325</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,199</b>	
		ok	
Grado de compactacion (%)		<b>97,4%</b>	

Nota: cinco (2) dias de curado

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	3,0% Cal hidratada +0,0FA-Material PG		
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha:	29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	840,0	136,0	323,0	498,0	275,0	556,0	845,0	556,0	1125,0	1698,0	554,0	838,0	1699,0	840,0	1120,0	2103,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	759,0	121,0	292,0	449,0	249,0	502,0	765,0	502,0	1016,0	1533,0	500,0	757,0	1534,0	760,0	1011,0	2049,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	81	15	31	49	26	54	80	54	109	165	54	81	165	80	109	54
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	105,3	17,0	40,5	62,4	34,5	69,7	105,9	69,7	141,0	212,9	69,4	105,0	213,0	105,3	140,4	263,6
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	95,1	15,2	36,6	56,3	31,2	62,9	95,9	62,9	127,4	192,2	62,7	94,9	192,3	95,3	126,7	256,9
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	10,2	1,9	3,9	6,1	3,3	6,8	10,0	6,8	13,7	20,7	6,8	10,2	20,7	10,0	13,7	6,8
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0880	0,0220	0,0540	0,0760	0,0450	0,0760	0,1030	0,0690	0,1150	0,1390	0,0610	0,0810	0,1230	0,0760	0,0900	0,1840
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0890	0,0230	0,0560	0,0780	0,0470	0,0790	0,1060	0,0720	0,1170	0,1400	0,0640	0,0830	0,1240	0,0780	0,0920	0,1870
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,089	0,023	0,055	0,077	0,046	0,078	0,105	0,071	0,116	0,140	0,063	0,082	0,124	0,077	0,091	0,186
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0004	0,0001	0,0003	0,0004	0,0002	0,0004	0,0005	0,0004	0,0006	0,0007	0,0003	0,0004	0,0006	0,0004	0,0005	0,0009
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>214,6</b>	<b>134,6</b>	<b>132,8</b>	<b>145,9</b>	<b>135,4</b>	<b>162,1</b>	<b>183,2</b>	<b>178,2</b>	<b>219,1</b>	<b>274,9</b>	<b>200,2</b>	<b>231,0</b>	<b>310,8</b>	<b>246,9</b>	<b>278,0</b>	<b>276,4</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PG . (PG-FA2.4-S0.0)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	2,4%FA+0%cal-Material PG		
<b>Procedencia (localización):</b>	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	<b>Fecha:</b>	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,066
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,075
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>99,6%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3538,99
Peso final (g)	3538,49
Perdida (g)	0,01%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	198,27	187,98	199,54	199,41	196,30	8044
<b>Diametro (mm)</b>	100,46	101,68	101,70	100,98	101,21	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00804

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	SN	Peso del Agua (g)	106,79
M recipiente (Mr) (g)	104,16	Peso del Material Seco (g)	1265,85
Mr+Muestra Húmeda (g)	1476,8	Peso del Material húmedo (g)	1372,64
Mr+Muestra Seca (g)	1370,01	Húmeda inicial W (%)	<b>8,44%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>8,70%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>	1579		
Peso humedo(g)	3538,49		
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio	2,257		
Maxima variacion	3%		
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,189</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,325</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,241</b>		
Grado de compactacion (%)	<b>99,3%</b>		

Nota: cinco (2) dias de curado

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

Identificación (descripción): **2,4%FA+0%ca-Material PG**

Procedencia (localización): **Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.**

Fecha: **29 de Enero de 2018**


Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	821,0	135,0	326,0	498,0	269,0	555,0	829,0	546,0	1103,0	1659,0	544,0	821,0	1684,0	820,0	1104,0	2039,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	741,0	120,0	294,0	450,0	243,0	502,0	748,0	493,0	995,0	1494,0	490,0	741,0	1519,0	739,0	995,0	1986,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	80	15	32	48	26	53	81	53	108	165	54	80	165	81	109	53
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	102,1	16,8	40,5	61,9	33,4	69,0	103,1	67,9	137,1	206,2	67,6	102,1	209,3	101,9	137,2	253,5
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	92,1	14,9	36,5	55,9	30,2	62,4	93,0	61,3	123,7	185,7	60,9	92,1	188,8	91,9	123,7	246,9
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	9,9	1,9	4,0	6,0	3,2	6,6	10,1	6,6	13,4	20,5	6,7	9,9	20,5	10,1	13,5	6,6
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0660	0,0410	0,0870	0,1140	0,0650	0,1100	0,1410	0,0952	0,1806	0,2492	0,0700	0,1120	0,2086	0,0854	0,1190	0,2436
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0650	0,0440	0,0920	0,1190	0,0690	0,1150	0,1440	0,0938	0,1806	0,2478	0,0686	0,1106	0,2058	0,0840	0,1162	0,2394
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,066	0,043	0,090	0,117	0,067	0,113	0,143	0,095	0,181	0,249	0,069	0,111	0,207	0,085	0,118	0,242
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0003	0,0002	0,0005	0,0006	0,0003	0,0006	0,0007	0,0005	0,0009	0,0013	0,0004	0,0006	0,0011	0,0004	0,0006	0,0012
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>276,1</b>	<b>68,9</b>	<b>80,2</b>	<b>94,3</b>	<b>88,5</b>	<b>108,9</b>	<b>128,1</b>	<b>127,3</b>	<b>134,4</b>	<b>146,7</b>	<b>172,5</b>	<b>162,5</b>	<b>178,9</b>	<b>212,9</b>	<b>206,5</b>	<b>200,7</b>

**Proyecto:** Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.

**Autor:** Leonardo Gutiérrez Tejedor

**Directora:** Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PG . (PG-FA2.6-S0.0)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	2,6%FA+0%cal-Material PG		
<b>Procedencia (localización):</b>	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	<b>Fecha:</b>	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,991
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,075
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>96,0%</b>

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3507,8
Peso final (g)	3507,1
Perdida (g)	0,02%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	202,30	200,35	199,99	199,11	200,44	8055
<b>Diametro (mm)</b>	101,85	100,73	101,98	100,53	101,27	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00806

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	SN	Peso del Agua (g)	102,66
M recipiente (Mr) (g)	101,91	Peso del Material Seco (g)	1130,59
Mr+Muestra Húmeda (g)	1335,16	Peso del Material húmedo (g)	1233,25
Mr+Muestra Seca (g)	1232,5	Húmeda inicial W (%)	<b>9,08%</b>

Datos de Densidad			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>		1615	
Peso humedo(g)		3507,1	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio		2,257	
Maxima variacion		3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,189</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,325</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,172</b>	
		ok	
Grado de compactacion (%)		<b>96,2%</b>	

Nota: cinco (2) dias de curado

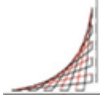
<b>Proyecto:</b>	Oxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

Identificación (descripción):	2,6%FA+0%cal-Material PG	
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	$S_3$	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	$S_{ciclico}$	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
Ciclo #	$C_1$	un	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Carga maxima axial real	$P_{max}$	N	832,0	156,0	337,0	511,0	278,0	553,0	834,0	548,0	1124,0	1711,0	548,0	830,0	1708,0	828,0	1132,0	2114,0
Carga ciclica aplicada real	$P_{ciclico}$	N	750,0	141,0	306,0	462,0	250,0	500,0	753,0	494,0	1014,0	1545,0	495,0	750,0	1544,0	745,0	1023,0	2060,0
Carga de contacto aplicada real	$P_{contacto}$	N	82	15	31	49	28	53	81	54	110	166	53	80	164	83	109	54
Esfuerzo maximo real aplicado	$S_{max r}$	kPa	103,3	19,4	41,8	63,4	34,5	68,7	103,5	68,0	139,5	212,4	68,0	103,0	212,0	102,8	140,5	262,4
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	$S_{ciclico r}$	kPa	93,1	17,5	38,0	57,4	31,0	62,1	93,5	61,3	125,9	191,8	61,5	93,1	191,7	92,5	127,0	255,7
Esfuerzo de contacto aplicado real	$S_{contacto r}$	kPa	10,2	1,9	3,8	6,1	3,5	6,6	10,1	6,7	13,7	20,6	6,6	9,9	20,4	10,3	13,5	6,7
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	$H_1$	mm	0,1060	0,0610	0,1030	0,1250	0,0810	0,1200	0,1470	0,0900	0,1510	0,1930	0,0780	0,1150	0,1800	0,1000	0,1320	0,2670
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	$H_2$	mm	0,1020	0,0590	0,1000	0,1220	0,0790	0,1170	0,1440	0,0880	0,1470	0,1880	0,0760	0,1130	0,1760	0,0980	0,1300	0,2620
Deformacion resiliente promedio	$H_{promedio}$	mm	0,104	0,060	0,102	0,124	0,080	0,119	0,146	0,089	0,149	0,191	0,077	0,114	0,178	0,099	0,131	0,265
Deformacion resiliente unitaria	$\epsilon_r$	mm/mm	0,0005	0,0003	0,0005	0,0006	0,0004	0,0006	0,0007	0,0004	0,0007	0,0010	0,0004	0,0006	0,0009	0,0005	0,0007	0,0013
Modulo resiliente	$M_r$	Mpa	179,4	58,5	75,0	93,1	77,8	105,0	128,8	138,1	169,3	201,8	160,0	163,7	215,8	187,3	194,3	193,8

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.	
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b> Sandra Campagnoli Martínez

**Resultados de módulo resiliente material PG . (PG-FA2.8-S0.0)**

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	<b>2,8%FA+0%cal-Material PG</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	<b>Fecha:</b>	<b>29 de Enero de 2018</b>

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,044
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,075
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>98,5%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3530,07
Peso final (g)	3530,02
Perdida (g)	0,00%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	199,40	200,18	197,54	197,76	198,72	8087
<b>Diametro (mm)</b>	100,63	101,53	101,98	101,76	101,48	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00809

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	SN	Peso del Agua (g)	115,1
M recipiente (Mr) (g)	121,47	Peso del Material Seco (g)	1540,41
Mr+Muestra Húmeda (g)	1776,98	Peso del Material húmedo (g)	1655,51
Mr+Muestra Seca (g)	1661,88	Húmeda inicial W (%)	<b>7,47%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>8,70%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>	1607		
Peso humedo(g)	3530,02		
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio	2,257		
Maxima variacion	3%		
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,189</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,325</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,196</b>	
		ok	
Grado de compactacion (%)		<b>97,3%</b>	

Nota: cinco (2) dias de curado

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez




Identificación (descripción):	2,8%FA+0%cal-Material PG	
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	$S_3$	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	$S_{ciclico}$	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
Ciclo #	$C_1$	un	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Carga maxima axial real	$P_{max}$	N	834,0	168,0	336,0	506,0	275,0	557,0	838,0	545,0	1118,0	1677,0	539,0	835,0	1724,0	835,0	1151,0	2046,0
Carga ciclica aplicada real	$P_{ciclico}$	N	754,0	152,0	304,0	458,0	249,0	502,0	756,0	492,0	1010,0	1512,0	485,0	752,0	1558,0	753,0	1043,0	1993,0
Carga de contacto aplicada real	$P_{contacto}$	N	80	16	32	48	26	55	82	53	108	165	54	83	166	82	108	53
Esfuerzo maximo real aplicado	$S_{max r}$	kPa	103,1	20,8	41,5	62,6	34,0	68,9	103,6	67,4	138,2	207,4	66,6	103,2	213,2	103,2	142,3	253,0
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador ciclico real)	$S_{ciclico r}$	kPa	93,2	18,8	37,6	56,6	30,8	62,1	93,5	60,8	124,9	187,0	60,0	93,0	192,6	93,1	129,0	246,4
Esfuerzo de contacto aplicado real	$S_{contacto r}$	kPa	9,9	2,0	4,0	5,9	3,2	6,8	10,1	6,6	13,4	20,4	6,7	10,3	20,5	10,1	13,4	6,6
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	$H_1$	mm	0,1100	0,0540	0,0950	0,1170	0,0720	0,1110	0,1400	0,0920	0,1470	0,1880	0,0820	0,1140	0,1800	0,1060	0,1330	0,2500
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	$H_2$	mm	0,1040	0,0530	0,0940	0,1160	0,0710	0,1100	0,1370	0,0900	0,1410	0,1800	0,0780	0,1090	0,1710	0,1010	0,1260	0,2380
Deformacion resiliente promedio	$H_{promedio}$	mm	0,107	0,054	0,095	0,117	0,072	0,111	0,139	0,091	0,144	0,184	0,080	0,112	0,176	0,104	0,130	0,244
Deformacion resiliente unitaria	$\epsilon_r$	mm/mm	0,0005	0,0003	0,0005	0,0006	0,0004	0,0006	0,0007	0,0005	0,0007	0,0009	0,0004	0,0006	0,0009	0,0005	0,0007	0,0012
Modulo resiliente	$M_r$	Mpa	173,1	69,8	79,0	96,6	85,6	111,6	134,1	132,8	172,3	201,9	149,0	165,7	218,1	178,8	197,9	200,7

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PG . (PG-FA2.4-M2.5)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	2,5%Ca(OH)2+2,4FA-Material PG		
<b>Procedencia (localización):</b>	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	<b>Fecha:</b>	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,029
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,075
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>97,8%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3561,84
Peso final (g)	3560,89
Perdida (g)	0,03%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	200,10	200,69	198,91	201,48	200,30	8048
<b>Diametro (mm)</b>	101,02	101,42	101,26	101,22	101,23	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00805
Datos de Humedad Final del ensayo						
# de Recipiente	27	Peso del Agua (g)		97,83		
M recipiente (Mr) (g)	109,45	Peso del Material Seco (g)		1103,75		
Mr+Muestra Húmeda (g)	1311,03	Peso del Material húmedo (g)		1201,58		
Mr+Muestra Seca (g)	1213,2	Húmeda inicial W (%)		<b>8,86%</b>		

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>		1612	
Peso humedo(g)		3560,89	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio		2,257	
Maxima variacion		3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,189</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,325</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,209</b>	
		ok	
Grado de compactacion (%)		<b>97,9%</b>	

Nota: cinco (2) días de curado

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**

I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	2,5%Ca(OH)2+2,4FA-Material PG	
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	842,0	149,0	314,0	482,0	258,0	536,0	821,0	537,0	1119,0	1684,0	524,0	807,0	1684,0	808,0	1115,0	2241,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	761,0	135,0	282,0	435,0	231,0	483,0	740,0	483,0	1011,0	1518,0	472,0	726,0	1521,0	726,0	1006,0	2022,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	81	14	32	47	27	53	81	54	108	166	52	81	163	82	109	219
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	104,6	18,5	39,0	59,9	32,1	66,6	102,0	66,7	139,0	209,2	65,1	100,3	209,2	100,4	138,5	278,4
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	94,6	16,8	35,0	54,0	28,7	60,0	91,9	60,0	125,6	188,6	58,6	90,2	189,0	90,2	125,0	251,2
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	10,1	1,7	4,0	5,8	3,4	6,6	10,1	6,7	13,4	20,6	6,5	10,1	20,3	10,2	13,5	27,2
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0950	0,0250	0,0560	0,0780	0,0430	0,0800	0,1020	0,0720	0,1210	0,1540	0,0590	0,0880	0,1460	0,0820	0,1070	0,1820
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0910	0,0240	0,0530	0,0760	0,0410	0,0780	0,0980	0,0700	0,1160	0,1480	0,0570	0,0840	0,1400	0,0780	0,1010	0,1780
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,093	0,025	0,055	0,077	0,042	0,079	0,100	0,071	0,119	0,151	0,058	0,086	0,143	0,080	0,104	0,180
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0005	0,0001	0,0003	0,0004	0,0002	0,0004	0,0005	0,0004	0,0006	0,0008	0,0003	0,0004	0,0007	0,0004	0,0005	0,0009
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>203,6</b>	<b>137,1</b>	<b>128,8</b>	<b>140,6</b>	<b>136,9</b>	<b>152,2</b>	<b>184,2</b>	<b>169,3</b>	<b>212,3</b>	<b>250,2</b>	<b>202,5</b>	<b>210,1</b>	<b>264,7</b>	<b>225,8</b>	<b>240,7</b>	<b>279,6</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PG . (PG-FA2.6-M2.5)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	2,5%Ca(OH) <sub>2</sub> +2,6FA-Material PG	
<b>Procedencia (localización):</b>	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	<b>Fecha:</b> 29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,020
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,075
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>97,3%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3590,79
Peso final (g)	3588,16
Perdida (g)	0,07%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	199,91	201,30	200,68	199,51	200,35	8129
<b>Diametro (mm)</b>	101,60	102,60	101,69	101,06	101,74	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00813

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	8	Peso del Agua (g)	103,92
M recipiente (Mr) (g)	111,19	Peso del Material Seco (g)	1143,81
Mr+Muestra Húmeda (g)	1358,92	Peso del Material húmedo (g)	1247,73
Mr+Muestra Seca (g)	1255	Húmeda inicial W (%)	<b>9,09%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>8,70%</b>

Datos de Densidad Humeda		
Volumen promedio cm <sup>3</sup>	1629	
Peso humedo(g)	3588,16	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio	2,257	
Maxima variacion	3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,189</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>
		<b>2,325</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,203</b>	
		ok
Grado de compactacion (%)	<b>97,6%</b>	

Nota: cinco (2) dias de curado

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martinez


	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>																
	I.N.V E- 156-13																

<b>Identificación (descripción):</b>	<b>2,5%Ca(OH)2+2,6FA-Material PG</b>																
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>															<b>Fecha: 29 de Enero de 2018</b>	

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	838,0	155,0	328,0	499,0	275,0	555,0	845,0	559,0	1151,0	1725,0	558,0	846,0	1720,0	835,0	1144,0	2286,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	757,0	139,0	296,0	452,0	250,0	502,0	763,0	505,0	1040,0	1559,0	505,0	764,0	1554,0	754,0	1034,0	2065,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	81	16	32	47	25	53	82	54	111	166	53	82	166	81	110	221
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	103,1	19,1	40,3	61,4	33,8	68,3	103,9	68,8	141,6	212,2	68,6	104,1	211,6	102,7	140,7	281,2
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	93,1	17,1	36,4	55,6	30,8	61,8	93,9	62,1	127,9	191,8	62,1	94,0	191,2	92,8	127,2	254,0
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	10,0	2,0	3,9	5,8	3,1	6,5	10,1	6,6	13,7	20,4	6,5	10,1	20,4	10,0	13,5	27,2
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0830	0,0390	0,0650	0,0830	0,0530	0,0810	0,1070	0,0760	0,1180	0,1570	0,0740	0,0940	0,1400	0,0870	0,1010	0,1610
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0780	0,0390	0,0630	0,0820	0,0520	0,0780	0,1020	0,0720	0,1120	0,1520	0,0720	0,0900	0,1370	0,0840	0,0990	0,1600
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,081	0,039	0,064	0,083	0,053	0,080	0,105	0,074	0,115	0,155	0,073	0,092	0,139	0,086	0,100	0,161
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0004	0,0002	0,0003	0,0004	0,0003	0,0004	0,0005	0,0004	0,0006	0,0008	0,0004	0,0005	0,0007	0,0004	0,0005	0,0008
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>231,8</b>	<b>87,8</b>	<b>114,0</b>	<b>135,0</b>	<b>117,4</b>	<b>155,6</b>	<b>179,9</b>	<b>168,2</b>	<b>222,9</b>	<b>248,7</b>	<b>170,5</b>	<b>204,7</b>	<b>276,5</b>	<b>217,3</b>	<b>254,8</b>	<b>317,1</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PG . (PG-FA2.8-M2.5)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

Identificación (descripción):	2,5%Ca(OH) <sub>2</sub> +2,8FA-Material PG		
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha:	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,993
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,075
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>96,0%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3597,1
Peso final (g)	3595,52
Perdida (g)	0,04%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
Altura (mm)	201,34	201,29	201,53	202,10	201,57	8184
Diametro (mm)	102,35	101,76	101,90	102,30	102,08	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00818

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	19	Peso del Agua (g)	105,3
M recipiente (Mr) (g)	110,34	Peso del Material Seco (g)	1122,66
Mr+Muestra Húmeda (g)	1338,3	Peso del Material húmedo (g)	1227,96
Mr+Muestra Seca (g)	1233	Húmeda inicial W (%)	<b>9,38%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>		1650	
Peso humedo(g)		3595,52	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio		2,257	
Maxima variacion		3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,189</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,325</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,180</b>	
		ok	
Grado de compactacion (%)		<b>96,6%</b>	

Nota: cinco (2) dias de curado

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	2,5%Ca(OH)2+2,8FA-Material PG		
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha:	29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	825,0	159,0	332,0	503,0	276,0	558,0	849,0	561,0	1156,0	1738,0	560,0	850,0	1736,0	852,0	1161,0	2149,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	743,0	144,0	301,0	454,0	250,0	505,0	768,0	507,0	1046,0	1570,0	506,0	768,0	1570,0	771,0	1050,0	2095,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	82	15	31	49	26	53	81	54	110	168	54	82	166	81	111	54
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	100,8	19,4	40,6	61,5	33,7	68,2	103,7	68,6	141,3	212,4	68,4	103,9	212,1	104,1	141,9	262,6
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	90,8	17,6	36,8	55,5	30,5	61,7	93,8	62,0	127,8	191,8	61,8	93,8	191,8	94,2	128,3	256,0
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	10,0	1,8	3,8	6,0	3,2	6,5	9,9	6,6	13,4	20,5	6,6	10,0	20,3	9,9	13,6	6,6
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0850	0,0570	0,0750	0,0880	0,0620	0,0850	0,1100	0,0770	0,1190	0,1590	0,0760	0,0950	0,1450	0,0890	0,1060	0,2160
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0860	0,0590	0,0760	0,0900	0,0640	0,0860	0,1110	0,0780	0,1200	0,1590	0,0770	0,0960	0,1440	0,0900	0,1070	0,2170
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,086	0,058	0,076	0,089	0,063	0,086	0,111	0,078	0,120	0,159	0,077	0,096	0,145	0,090	0,107	0,217
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0004	0,0003	0,0004	0,0004	0,0003	0,0004	0,0005	0,0004	0,0006	0,0008	0,0004	0,0005	0,0007	0,0004	0,0005	0,0011
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>214,0</b>	<b>61,2</b>	<b>98,2</b>	<b>125,6</b>	<b>97,7</b>	<b>145,5</b>	<b>171,2</b>	<b>161,1</b>	<b>215,6</b>	<b>243,2</b>	<b>162,9</b>	<b>198,1</b>	<b>267,6</b>	<b>212,2</b>	<b>242,8</b>	<b>238,3</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PG . (PG-FA2.4-V2.5)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

Identificación (descripción):	2,5%CaO+2,4FA-Material PG		
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha:	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,053
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,075
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>98,9%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3595,9
Peso final (g)	3591,7
Perdida (g)	0,12%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
Altura (mm)	200,04	200,79	201,74	200,07	200,66	8042
Diametro (mm)	100,73	101,67	100,75	101,60	101,19	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00804

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	10	Peso del Agua (g)	93,32
M recipiente (Mr) (g)	108,66	Peso del Material Seco (g)	1109,44
Mr+Muestra Húmeda (g)	1311,42	Peso del Material húmedo (g)	1202,76
Mr+Muestra Seca (g)	1218,1	Húmeda inicial W (%)	<b>8,41%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>		1614	
Peso humedo(g)		3591,7	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio		2,257	
Maxima variacion		3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,189</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,325</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,226</b>	
		ok	
Grado de compactacion (%)		<b>98,6%</b>	

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez





**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	2,5%CaO+2,4FA-Material PG	
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	829,0	141,0	305,0	470,0	253,0	524,0	810,0	526,0	1110,0	1684,0	522,0	803,0	1682,0	808,0	1110,0	2243,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	748,0	128,0	276,0	422,0	227,0	471,0	730,0	472,0	1001,0	1521,0	471,0	723,0	1519,0	727,0	1001,0	2022,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	81	13	29	48	26	53	80	54	109	163	51	80	163	81	109	221
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	103,1	17,5	37,9	58,4	31,5	65,2	100,7	65,4	138,0	209,4	64,9	99,9	209,2	100,5	138,0	278,9
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	93,0	15,9	34,3	52,5	28,2	58,6	90,8	58,7	124,5	189,1	58,6	89,9	188,9	90,4	124,5	251,4
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	10,1	1,6	3,6	6,0	3,2	6,6	9,9	6,7	13,6	20,3	6,3	9,9	20,3	10,1	13,6	27,5
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0720	0,0180	0,0410	0,0590	0,0320	0,0620	0,0780	0,0550	0,0970	0,1290	0,0550	0,0800	0,1220	0,0730	0,0930	0,1400
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0660	0,0180	0,0390	0,0550	0,0300	0,0570	0,0720	0,0520	0,0860	0,1200	0,0500	0,0720	0,1140	0,0670	0,0840	0,1330
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,069	0,018	0,040	0,057	0,031	0,060	0,075	0,054	0,092	0,125	0,053	0,076	0,118	0,070	0,089	0,137
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0003	0,0001	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,0004	0,0003	0,0005	0,0006	0,0003	0,0004	0,0006	0,0003	0,0004	0,0007
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>270,5</b>	<b>177,4</b>	<b>172,2</b>	<b>184,7</b>	<b>182,7</b>	<b>197,5</b>	<b>242,9</b>	<b>220,1</b>	<b>273,0</b>	<b>304,8</b>	<b>223,9</b>	<b>237,4</b>	<b>321,2</b>	<b>259,2</b>	<b>282,2</b>	<b>369,6</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PG . (PG-FA2.6-V2.5)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

Identificación (descripción):	2,5%CaO+2,6FA-Material PG		
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha:	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,021
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,075
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>97,4%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3612
Peso final (g)	3610,59
Perdida (g)	0,04%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	203,08	201,26	200,81	201,46	201,65	8162
<b>Diametro (mm)</b>	101,86	102,12	101,85	101,94	101,94	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00816

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	40	Peso del Agua (g)	94,94
M recipiente (Mr) (g)	122,96	Peso del Material Seco (g)	1109,14
Mr+Muestra Húmeda (g)	1327,04	Peso del Material húmedo (g)	1204,08
Mr+Muestra Seca (g)	1232,1	Húmeda inicial W (%)	<b>8,56%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>8,70%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>		1646	
Peso humedo(g)		3610,59	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio		2,257	
Maxima variacion		3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,189</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,325</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,194</b>	
		ok	
Grado de compactacion (%)		<b>97,2%</b>	


<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

Identificación (descripción):	2,5%CaO+2,6FA-Material PG	
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	$S_3$	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	$S_{ciclico}$	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
Ciclo #	$C_1$	un	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Carga maxima axial real	$P_{max}$	N	839,0	130,0	333,0	514,0	269,0	569,0	854,0	569,0	1137,0	1716,0	562,0	843,0	1707,0	844,0	1129,0	2280,0
Carga ciclica aplicada real	$P_{ciclico}$	N	757,0	114,0	301,0	466,0	243,0	515,0	773,0	516,0	1026,0	1550,0	508,0	762,0	1540,0	763,0	1018,0	2058,0
Carga de contacto aplicada real	$P_{contacto}$	N	82	16	32	48	26	54	81	53	111	166	54	81	167	81	111	222
Esfuerzo maximo real aplicado	$S_{max r}$	kPa	102,8	15,9	40,8	63,0	33,0	69,7	104,6	69,7	139,3	210,2	68,9	103,3	209,1	103,4	138,3	279,3
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	$S_{ciclico r}$	kPa	92,7	14,0	36,9	57,1	29,8	63,1	94,7	63,2	125,7	189,9	62,2	93,4	188,7	93,5	124,7	252,1
Esfuerzo de contacto aplicado real	$S_{contacto r}$	kPa	10,0	2,0	3,9	5,9	3,2	6,6	9,9	6,5	13,6	20,3	6,6	9,9	20,5	9,9	13,6	27,2
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	$H_1$	mm	0,0670	0,0160	0,0410	0,0560	0,0330	0,0570	0,0760	0,0570	0,0870	0,1200	0,0590	0,0760	0,1100	0,0730	0,0850	0,1280
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	$H_2$	mm	0,0650	0,0160	0,0400	0,0540	0,0310	0,0550	0,0730	0,0550	0,0850	0,1170	0,0570	0,0730	0,1070	0,0720	0,0820	0,1250
Deformacion resiliente promedio	$H_{promedio}$	mm	0,066	0,016	0,041	0,055	0,032	0,056	0,075	0,056	0,086	0,119	0,058	0,075	0,109	0,073	0,084	0,127
Deformacion resiliente unitaria	$\epsilon_r$	mm/mm	0,0003	0,0001	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,0004	0,0003	0,0004	0,0006	0,0003	0,0004	0,0005	0,0004	0,0004	0,0006
Modulo resiliente	$M_r$	Mpa	283,4	176,0	183,6	209,3	187,6	227,2	256,3	227,6	294,7	323,2	216,4	252,7	350,7	260,0	301,2	401,9

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PG . (PG-FA2.8-V2.5)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>		
	I.N.V E- 156-13		

<b>Identificación (descripción):</b>	<b>2,5%CaO+2,8FA-Material PG</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	<b>Fecha:</b>	<b>29 de Enero de 2018</b>

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,015
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,075
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>97,1%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3599,1
Peso final (g)	3598,14
Perdida (g)	0,03%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	204,10	204,10	204,48	203,52	204,05	8070
<b>Diametro (mm)</b>	100,77	101,76	101,39	101,54	101,37	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00807

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	20	Peso del Agua (g)	95,07
M recipiente (Mr) (g)	107,8	Peso del Material Seco (g)	1123,2
Mr+Muestra Húmeda (g)	1326,07	Peso del Material húmedo (g)	1218,27
Mr+Muestra Seca (g)	1231	Húmeda inicial W (%)	<b>8,46%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>8,70%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>		1647	
Peso humedo(g)		3598,14	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio		2,257	
Maxima variacion		3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,189</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,325</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,185</b>	
		ok	
Grado de compactacion (%)		<b>96,8%</b>	

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	2,5%CaO+2,8FA-Material PG	
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	840,0	156,0	326,0	498,0	271,0	551,0	836,0	552,0	1129,0	1714,0	553,0	838,0	1711,0	838,0	1141,0	2276,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	761,0	142,0	296,0	451,0	245,0	497,0	755,0	498,0	1020,0	1549,0	499,0	759,0	1546,0	758,0	1033,0	2056,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	79	14	30	47	26	54	81	54	109	165	54	79	165	80	108	220
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	104,1	19,3	40,4	61,7	33,6	68,3	103,6	68,4	139,9	212,4	68,5	103,8	212,0	103,8	141,4	282,0
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	94,3	17,6	36,7	55,9	30,4	61,6	93,6	61,7	126,4	191,9	61,8	94,1	191,6	93,9	128,0	254,8
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	9,8	1,7	3,7	5,8	3,2	6,7	10,0	6,7	13,5	20,4	6,7	9,8	20,4	9,9	13,4	27,3
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0690	0,0230	0,0470	0,0630	0,0370	0,0640	0,0860	0,0610	0,0980	0,1280	0,0560	0,0760	0,1170	0,0700	0,0850	0,1330
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0740	0,0260	0,0490	0,0660	0,0400	0,0670	0,0900	0,0650	0,1030	0,1310	0,0590	0,0790	0,1190	0,0730	0,0880	0,1370
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,072	0,025	0,048	0,065	0,039	0,066	0,088	0,063	0,101	0,130	0,058	0,078	0,118	0,072	0,087	0,135
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0004	0,0001	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,0004	0,0003	0,0005	0,0006	0,0003	0,0004	0,0006	0,0004	0,0004	0,0007
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>269,1</b>	<b>146,6</b>	<b>155,9</b>	<b>176,8</b>	<b>160,9</b>	<b>191,9</b>	<b>216,9</b>	<b>199,9</b>	<b>256,6</b>	<b>302,4</b>	<b>219,4</b>	<b>247,6</b>	<b>331,3</b>	<b>268,1</b>	<b>302,0</b>	<b>385,1</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PG . (PG-FA2.4-M3.0)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	3,0%Ca(OH) <sub>2</sub> +2,4%FA-Material PG		
<b>Procedencia (localización):</b>	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	<b>Fecha:</b>	<b>29 de Enero de 2018</b>

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,030
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,075
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>97,8%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3640,8
Peso final (g)	3636,38
Perdida (g)	0,12%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	201,81	201,84	200,17	200,27	201,02	8178
<b>Diametro (mm)</b>	103,09	100,66	102,36	102,05	102,04	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00818

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	34	Peso del Agua (g)	99,2
M recipiente (Mr) (g)	119,6	Peso del Material Seco (g)	1108
Mr+Muestra Húmeda (g)	1326,8	Peso del Material húmedo (g)	1207,2
Mr+Muestra Seca (g)	1227,6	Húmeda inicial W (%)	<b>8,95%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>	1644		
Peso humedo(g)	3636,38		
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio	2,257		
Maxima variacion	3%		
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,189</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,325</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,212</b>		
	ok		
Grado de compactacion (%)	<b>98,0%</b>		

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	3,0%Ca(OH)2 +2,4%FA-Material PG	
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	843,0	152,0	327,0	499,0	271,0	552,0	839,0	554,0	1142,0	1728,0	557,0	844,0	1726,0	847,0	1146,0	2299,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	762,0	136,0	295,0	453,0	246,0	499,0	758,0	501,0	1032,0	1563,0	502,0	761,0	1559,0	766,0	1037,0	2075,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	81	16	32	46	25	53	81	53	110	165	55	83	167	81	109	224
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	103,1	18,6	40,0	61,0	33,1	67,5	102,6	67,7	139,6	211,3	68,1	103,2	211,1	103,6	140,1	281,1
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	93,2	16,6	36,1	55,4	30,1	61,0	92,7	61,3	126,2	191,1	61,4	93,1	190,6	93,7	126,8	253,7
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	9,9	2,0	3,9	5,6	3,1	6,5	9,9	6,5	13,5	20,2	6,7	10,1	20,4	9,9	13,3	27,4
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0780	0,0260	0,0480	0,0640	0,0410	0,0650	0,0850	0,0640	0,0990	0,1330	0,0660	0,0860	0,1250	0,0830	0,0960	0,1430
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0770	0,0250	0,0460	0,0620	0,0390	0,0630	0,0850	0,0620	0,0990	0,1340	0,0650	0,0850	0,1260	0,0830	0,0960	0,1440
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,078	0,026	0,047	0,063	0,040	0,064	0,085	0,063	0,099	0,134	0,066	0,086	0,126	0,083	0,096	0,144
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0004	0,0001	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,0004	0,0003	0,0005	0,0007	0,0003	0,0004	0,0006	0,0004	0,0005	0,0007
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>241,7</b>	<b>131,1</b>	<b>154,3</b>	<b>176,8</b>	<b>151,2</b>	<b>191,7</b>	<b>219,2</b>	<b>195,5</b>	<b>256,2</b>	<b>287,8</b>	<b>188,4</b>	<b>218,8</b>	<b>305,4</b>	<b>226,9</b>	<b>265,5</b>	<b>355,5</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PG . (PG-FA2.6-M3.0)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>		
	I.N.V E- 156-13		

<b>Identificación (descripción):</b>	<b>3,0%Ca(OH)<sub>2</sub> +2,6%FA-Material PG</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	<b>Fecha:</b>	<b>29 de Enero de 2018</b>

<b>Datos Iniciales</b>	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

<b>Datos de Densidad Seca.</b>	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,011
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,075
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>96,9%</b>
Cumple	ok

<b>Datos Perdida de Humedad</b>	
Peso inicial (g)	3630,5
Peso final (g)	3626,62
Perdida (g)	0,11%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

<b>Datos Dimensiones</b>					<b>Promedio (mm)</b>	<b>Area (mm<sup>2</sup>)</b>
<b>Altura (mm)</b>	201,18	203,13	202,63	201,74	202,17	8176
<b>Diametro (mm)</b>	102,37	101,36	102,37	102,01	102,03	
					Area en m <sup>2</sup> 0,00818	

<b>Datos de Humedad Final del ensayo</b>			
# de Recipiente	y6	Peso del Agua (g)	104,29
M recipiente (Mr) (g)	119,4	Peso del Material Seco (g)	1144,2
Mr+Muestra Húmeda (g)	1367,89	Peso del Material húmedo (g)	1248,49
Mr+Muestra Seca (g)	1263,6	Húmeda inicial W (%)	<b>9,11%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>8,70%</b>

<b>Datos de Densidad Humeda</b>		
Volumen promedio cm <sup>3</sup>		1653
Peso humedo(g)		3626,62
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio		2,257
Maxima variacion		3%
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,189</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup> <b>2,325</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,194</b>
		ok
Grado de compactacion (%)		<b>97,2%</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez




Identificación (descripción):	3,0%Ca(OH) <sub>2</sub> +2,6%FA-Material PG																
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.															Fecha: 29 de Enero de 2018	

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	847,0	139,0	318,0	506,0	259,0	563,0	846,0	565,0	1130,0	1707,0	562,0	846,0	1709,0	845,0	1133,0	2303,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	765,0	125,0	288,0	459,0	233,0	510,0	765,0	511,0	1021,0	1541,0	508,0	765,0	1542,0	762,0	1024,0	2080,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	82	14	30	47	26	53	81	54	109	166	54	81	167	83	109	223
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	103,6	17,0	38,9	61,9	31,7	68,9	103,5	69,1	138,2	208,8	68,7	103,5	209,0	103,4	138,6	281,7
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	93,6	15,3	35,2	56,1	28,5	62,4	93,6	62,5	124,9	188,5	62,1	93,6	188,6	93,2	125,2	254,4
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	10,0	1,7	3,7	5,7	3,2	6,5	9,9	6,6	13,3	20,3	6,6	9,9	20,4	10,2	13,3	27,3
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0900	0,0260	0,0550	0,0720	0,0450	0,0740	0,0930	0,0740	0,1060	0,1380	0,0730	0,0930	0,1300	0,0920	0,1070	0,1500
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0880	0,0240	0,0520	0,0680	0,0420	0,0700	0,0890	0,0700	0,1030	0,1340	0,0710	0,0880	0,1260	0,0880	0,1010	0,1460
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,089	0,025	0,054	0,070	0,044	0,072	0,091	0,072	0,105	0,136	0,072	0,091	0,128	0,090	0,104	0,148
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0004	0,0001	0,0003	0,0003	0,0002	0,0004	0,0005	0,0004	0,0005	0,0007	0,0004	0,0004	0,0006	0,0004	0,0005	0,0007
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>212,6</b>	<b>123,6</b>	<b>133,1</b>	<b>162,1</b>	<b>132,5</b>	<b>175,2</b>	<b>207,9</b>	<b>175,5</b>	<b>241,6</b>	<b>280,2</b>	<b>174,5</b>	<b>209,0</b>	<b>297,9</b>	<b>209,4</b>	<b>243,5</b>	<b>347,5</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PG . (PG-FA2.8-M3.0)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>		
	I.N.V E- 156-13		

Identificación (descripción):	3,0%Ca(OH) <sub>2</sub> +2,8%FA-Material PG		
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha:	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,023
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,075
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>97,5%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3640,2
Peso final (g)	3632,44
Perdida (g)	0,21%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
Altura (mm)	204,40	203,47	204,04	203,00	203,73	8130
Diametro (mm)	101,09	101,93	102,63	101,33	101,75	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00813

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	w3	Peso del Agua (g)	93,89
M recipiente (Mr) (g)	145,3	Peso del Material Seco (g)	1117,79
Mr+Muestra Húmeda (g)	1356,98	Peso del Material húmedo (g)	1211,68
Mr+Muestra Seca (g)	1263,09	Húmeda inicial W (%)	<b>8,40%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>	1656		
Peso humedo(g)	3632,44		
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio	2,257		
Maxima variacion	3%		
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,189</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,325</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,193</b>		
	ok		
Grado de compactacion (%)	<b>97,2%</b>		

Proyecto:	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
Autor:	Leonardo Gutiérrez Tejedor	Directora:	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	3,0%Ca(OH)2 +2,8%FA-Material PG	
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	838,0	155,0	322,0	491,0	267,0	547,0	832,0	549,0	1138,0	1713,0	551,0	836,0	1712,0	839,0	1142,0	2280,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	756,0	141,0	291,0	444,0	241,0	494,0	751,0	496,0	1028,0	1547,0	498,0	755,0	1547,0	759,0	1032,0	2058,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	82	14	31	47	26	53	81	53	110	166	53	81	165	80	110	222
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	103,1	19,1	39,6	60,4	32,8	67,3	102,3	67,5	140,0	210,7	67,8	102,8	210,6	103,2	140,5	280,4
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	93,0	17,3	35,8	54,6	29,6	60,8	92,4	61,0	126,4	190,3	61,3	92,9	190,3	93,4	126,9	253,1
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	10,1	1,7	3,8	5,8	3,2	6,5	10,0	6,5	13,5	20,4	6,5	10,0	20,3	9,8	13,5	27,3
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0690	0,0210	0,0400	0,0560	0,0330	0,0570	0,0790	0,0550	0,0940	0,1330	0,0600	0,0800	0,1230	0,0770	0,0920	0,1440
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0580	0,0200	0,0390	0,0540	0,0320	0,0560	0,0760	0,0530	0,0890	0,1270	0,0570	0,0750	0,1170	0,0720	0,0850	0,1360
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,064	0,021	0,040	0,055	0,033	0,057	0,078	0,054	0,092	0,130	0,059	0,078	0,120	0,075	0,089	0,140
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0003	0,0001	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,0004	0,0003	0,0004	0,0006	0,0003	0,0004	0,0006	0,0004	0,0004	0,0007
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>298,3</b>	<b>172,3</b>	<b>184,6</b>	<b>202,3</b>	<b>185,8</b>	<b>219,1</b>	<b>242,8</b>	<b>230,2</b>	<b>281,5</b>	<b>298,2</b>	<b>213,3</b>	<b>244,1</b>	<b>323,0</b>	<b>255,3</b>	<b>292,2</b>	<b>368,3</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PG . (PG-FA2.4-V3.0)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	3,0%CaO +2,4%FA-Material PG		
<b>Procedencia (localización):</b>	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	<b>Fecha:</b>	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,038
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,075
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>98,2%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3608,2
Peso final (g)	3607,34
Perdida (g)	0,02%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	201,44	199,33	200,35	201,70	200,71	8096
<b>Diametro (mm)</b>	101,16	101,15	102,21	101,59	101,53	
					Area en m <sup>2</sup>	0,0081

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	8	Peso del Agua (g)	95,5
M recipiente (Mr) (g)	153,8	Peso del Material Seco (g)	1069,8
Mr+Muestra Húmeda (g)	1319,1	Peso del Material húmedo (g)	1165,3
Mr+Muestra Seca (g)	1223,6	Húmeda inicial W (%)	<b>8,93%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>	1625		
Peso humedo(g)	3607,34		
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio	2,257		
Maxima variacion	3%		
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,189</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,325</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,220</b>		
	ok		
Grado de compactacion (%)	<b>98,4%</b>		

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

<b>Identificación (descripción):</b>	<b>3,0%CaO +2,4%FA-Material PG</b>	
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	<b>Fecha: 29 de Enero de 2018</b>

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	825,0	154,0	319,0	485,0	264,0	539,0	821,0	539,0	1127,0	1707,0	540,0	824,0	1703,0	826,0	1132,0	2267,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	745,0	138,0	288,0	438,0	238,0	484,0	741,0	486,0	1018,0	1543,0	487,0	744,0	1537,0	745,0	1024,0	2045,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	80	16	31	47	26	55	80	53	109	164	53	80	166	81	108	222
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	101,9	19,0	39,4	59,9	32,6	66,6	101,4	66,6	139,2	210,9	66,7	101,8	210,4	102,0	139,8	280,0
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador ciclico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	92,0	17,0	35,6	54,1	29,4	59,8	91,5	60,0	125,7	190,6	60,2	91,9	189,9	92,0	126,5	252,6
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	9,9	2,0	3,8	5,8	3,2	6,8	9,9	6,5	13,5	20,3	6,5	9,9	20,5	10,0	13,3	27,4
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0630	0,0170	0,0350	0,0500	0,0280	0,0520	0,0710	0,0480	0,0890	0,1260	0,0480	0,0700	0,1170	0,0660	0,0830	0,1400
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0630	0,0180	0,0360	0,0510	0,0290	0,0520	0,0720	0,0500	0,0900	0,1270	0,0510	0,0720	0,1180	0,0670	0,0850	0,1400
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,063	0,018	0,036	0,051	0,029	0,052	0,072	0,049	0,090	0,127	0,050	0,071	0,118	0,067	0,084	0,140
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0003	0,0001	0,0002	0,0003	0,0001	0,0003	0,0004	0,0002	0,0004	0,0006	0,0002	0,0004	0,0006	0,0003	0,0004	0,0007
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>293,2</b>	<b>195,5</b>	<b>201,1</b>	<b>215,0</b>	<b>207,0</b>	<b>230,8</b>	<b>256,9</b>	<b>245,9</b>	<b>282,0</b>	<b>302,4</b>	<b>243,9</b>	<b>259,8</b>	<b>324,3</b>	<b>277,7</b>	<b>302,2</b>	<b>362,1</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PG . (PG-FA2.6-V3.0)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	<b>3,0%CaO +2,6%FA-Material PG</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.</b>	<b>Fecha:</b>	<b>29 de Enero de 2018</b>

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,020
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,075
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>97,3%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3619,2
Peso final (g)	3615,57
Perdida (g)	0,10%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	202,88	201,31	200,69	201,29	201,54	8181
<b>Diametro (mm)</b>	102,35	101,55	102,94	101,40	102,06	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00818

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	17	Peso del Agua (g)	96,8
M recipiente (Mr) (g)	112,7	Peso del Material Seco (g)	1129,2
Mr+Muestra Húmeda (g)	1338,7	Peso del Material húmedo (g)	1226
Mr+Muestra Seca (g)	1241,9	Húmeda inicial W (%)	<b>8,57%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>8,70%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>	1649		
Peso humedo(g)	3615,57		
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio	2,257		
Maxima variacion	3%		
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,189</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,325</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,193</b>		
		ok	
Grado de compactacion (%)	<b>97,2%</b>		

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	3,0%CaO +2,6%FA-Material PG	
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	843,0	149,0	319,0	491,0	263,0	546,0	837,0	548,0	1147,0	1730,0	552,0	843,0	1728,0	847,0	1154,0	2297,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	763,0	136,0	288,0	443,0	238,0	494,0	756,0	494,0	1038,0	1563,0	499,0	763,0	1563,0	764,0	1047,0	2076,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	80	13	31	48	25	52	81	54	109	167	53	80	165	83	107	221
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	103,0	18,2	39,0	60,0	32,1	66,7	102,3	67,0	140,2	211,5	67,5	103,0	211,2	103,5	141,1	280,8
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	93,3	16,6	35,2	54,2	29,1	60,4	92,4	60,4	126,9	191,1	61,0	93,3	191,1	93,4	128,0	253,8
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	9,8	1,6	3,8	5,9	3,1	6,4	9,9	6,6	13,3	20,4	6,5	9,8	20,2	10,1	13,1	27,0
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0710	0,0210	0,0430	0,0570	0,0340	0,0590	0,0810	0,0590	0,0960	0,1230	0,0610	0,0800	0,1160	0,0780	0,0920	0,1360
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0720	0,0210	0,0420	0,0580	0,0340	0,0600	0,0820	0,0580	0,0960	0,1240	0,0600	0,0800	0,1160	0,0770	0,0930	0,1330
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,072	0,021	0,043	0,058	0,034	0,060	0,082	0,059	0,096	0,124	0,061	0,080	0,116	0,078	0,093	0,135
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0004	0,0001	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,0004	0,0003	0,0005	0,0006	0,0003	0,0004	0,0006	0,0004	0,0005	0,0007
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>262,9</b>	<b>159,5</b>	<b>166,9</b>	<b>189,8</b>	<b>172,5</b>	<b>204,5</b>	<b>228,5</b>	<b>208,0</b>	<b>266,4</b>	<b>311,8</b>	<b>203,2</b>	<b>235,0</b>	<b>331,9</b>	<b>242,9</b>	<b>278,8</b>	<b>380,3</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.	
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b> Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PG . (PG-FA2.8-V3.0)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	3,0%CaO +2,8%FA-Material PG		
<b>Procedencia (localización):</b>	Mondoño-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	<b>Fecha:</b>	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,028
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,075
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>97,8%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3637,8
Peso final (g)	3635,58
Perdida (g)	0,06%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	203,35	203,73	201,42	202,26	202,69	8126
<b>Diametro (mm)</b>	102,27	101,20	102,13	101,26	101,72	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00813
Datos de Humedad Final del ensayo						
# de Recipiente	114	Peso del Agua (g)		98,5		
M recipiente (Mr) (g)	104,6	Peso del Material Seco (g)		1116		
Mr+Muestra Húmeda (g)	1319,1	Peso del Material húmedo (g)		1214,5		
Mr+Muestra Seca (g)	1220,6	Húmeda inicial W (%)		<b>8,83%</b>		
		Húmeda Optima W (%)		<b>8,70%</b>		

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>		1647	
Peso humedo(g)		3635,58	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio		2,257	
Maxima variacion		3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,189</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,325</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,207</b>	
		ok	
Grado de compactacion (%)		<b>97,8%</b>	

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez





**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	3,0%CaO +2,8%FA-Material PG		
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha:	29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	835,0	147,0	326,0	495,0	268,0	548,0	831,0	552,0	1117,0	1719,0	552,0	836,0	1719,0	837,0	1130,0	2286,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	753,0	132,0	294,0	447,0	242,0	494,0	748,0	499,0	1007,0	1553,0	497,0	754,0	1553,0	756,0	1020,0	2065,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	82	15	32	48	26	54	83	53	110	166	55	82	166	81	110	221
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	102,8	18,1	40,1	60,9	33,0	67,4	102,3	67,9	137,5	211,6	67,9	102,9	211,6	103,0	139,1	281,3
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador ciclico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	92,7	16,2	36,2	55,0	29,8	60,8	92,1	61,4	123,9	191,1	61,2	92,8	191,1	93,0	125,5	254,1
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	10,1	1,8	3,9	5,9	3,2	6,6	10,2	6,5	13,5	20,4	6,8	10,1	20,4	10,0	13,5	27,2
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0680	0,0240	0,0440	0,0550	0,0370	0,0560	0,0740	0,0580	0,0900	0,1210	0,0630	0,0810	0,1130	0,0790	0,0910	0,1300
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0750	0,0250	0,0450	0,0570	0,0380	0,0590	0,0770	0,0630	0,0950	0,1270	0,0730	0,0890	0,1190	0,0910	0,1010	0,1390
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,072	0,025	0,045	0,056	0,038	0,058	0,076	0,061	0,093	0,124	0,068	0,085	0,116	0,085	0,096	0,135
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0004	0,0001	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,0004	0,0003	0,0005	0,0006	0,0003	0,0004	0,0006	0,0004	0,0005	0,0007
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>262,7</b>	<b>134,4</b>	<b>164,8</b>	<b>199,1</b>	<b>161,0</b>	<b>214,3</b>	<b>247,1</b>	<b>205,7</b>	<b>271,6</b>	<b>312,4</b>	<b>182,3</b>	<b>221,3</b>	<b>334,0</b>	<b>221,9</b>	<b>265,0</b>	<b>383,0</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PF . (PF-FA0.0-S0.0)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

Identificación (descripción):	0,0%cal+0,0%FA-Material PF		
Procedencia (localización):	Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia	Fecha:	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,153
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,191
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>98,2%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3731
Peso final (g)	3730
Perdida (g)	0,03%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
Altura (mm)	198,86	197,10	197,70	195,40	197,27	8175
Diametro (mm)	102,79	102,72	101,67	100,91	102,02	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00817

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	SN	Peso del Agua (g)	46,2
M recipiente (Mr) (g)	119	Peso del Material Seco (g)	619,9
Mr+Muestra Húmeda (g)	785,1	Peso del Material húmedo (g)	666,1
Mr+Muestra Seca (g)	738,9	Húmeda inicial W (%)	<b>7,45%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>		1613	
Peso humedo(g)		3730	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio		2,352	
Maxima variacion		3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,281</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,423</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,313</b>	
		ok	
Grado de compactacion (%)		<b>98,3%</b>	

Proyecto:	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
Autor:	Leonardo Gutiérrez Tejedor	Directora:	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	0,0%cal+0,0%FA-Material PF	
Procedencia (localización):	Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	811,0	133,0	306,0	477,0	250,0	533,0	817,0	535,0	1099,0	1673,0	539,0	834,0	1666,0	816,0	1106,0	2072,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	728,0	118,0	274,0	428,0	223,0	478,0	734,0	480,0	989,0	1506,0	485,0	752,0	1499,0	733,0	996,0	2018,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	83	15	32	49	27	55	83	55	110	167	54	82	167	83	110	54
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	99,2	16,3	37,4	58,3	30,6	65,2	99,9	65,4	134,4	204,7	65,9	102,0	203,8	99,8	135,3	253,5
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	89,1	14,4	33,5	52,4	27,3	58,5	89,8	58,7	121,0	184,2	59,3	92,0	183,4	89,7	121,8	246,9
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	10,2	1,8	3,9	6,0	3,3	6,7	10,2	6,7	13,5	20,4	6,6	10,0	20,4	10,2	13,5	6,6
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,1620	0,0370	0,0890	0,0990	0,0700	0,0830	0,1270	0,0980	0,1400	0,1700	0,0930	0,1250	0,1650	0,1080	0,1060	0,2470
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,1640	0,0370	0,0880	0,0980	0,0710	0,0850	0,1210	0,0990	0,1420	0,1720	0,0900	0,1300	0,1680	0,1050	0,1100	0,2420
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,163	0,037	0,089	0,099	0,071	0,084	0,124	0,099	0,141	0,171	0,092	0,128	0,167	0,107	0,108	0,245
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0008	0,0002	0,0004	0,0005	0,0004	0,0004	0,0006	0,0005	0,0007	0,0009	0,0005	0,0006	0,0008	0,0005	0,0005	0,0012
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>107,8</b>	<b>77,0</b>	<b>74,7</b>	<b>104,9</b>	<b>76,3</b>	<b>137,3</b>	<b>142,8</b>	<b>117,6</b>	<b>169,3</b>	<b>212,5</b>	<b>127,9</b>	<b>142,3</b>	<b>217,2</b>	<b>166,1</b>	<b>222,5</b>	<b>199,2</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PF . (PF-FA0.0-V2.5)

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	2,5%CaO+0,0%FA-Material PF		
<b>Procedencia (localización):</b>	Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia	<b>Fecha:</b>	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,176
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,191
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>99,3%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3742,1
Peso final (g)	3736
Perdida (g)	0,16%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	199,35	200,06	200,84	201,76	200,50	7933
<b>Diametro (mm)</b>	100,10	101,50	100,04	100,37	100,50	
					Area en m <sup>2</sup> 0,00793	

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	SN	Peso del Agua (g)	52,6
M recipiente (Mr) (g)	108,6	Peso del Material Seco (g)	663,7
Mr+Muestra Húmeda (g)	824,9	Peso del Material húmedo (g)	716,3
Mr+Muestra Seca (g)	772,3	Húmeda inicial W (%)	<b>7,93%</b>

Datos de Densidad Humeda		
Volumen promedio cm <sup>3</sup>	1591	
Peso humedo(g)	3736	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio	2,352	
Maxima variacion	3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,281</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>
		<b>2,423</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,349</b>	
	ok	
Grado de compactacion (%)	<b>99,9%</b>	

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**

I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	2,5%CaO+0,0%FA-Material PF		
Procedencia (localización):	Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia	Fecha:	29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	812,0	151,0	315,0	480,0	259,0	530,0	808,0	535,0	1089,0	1644,0	526,0	802,0	1639,0	798,0	1086,0	2026,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	733,0	138,0	285,0	433,0	232,0	478,0	729,0	482,0	982,0	1483,0	476,0	722,0	1477,0	719,0	979,0	1974,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	79	13	30	47	27	52	79	53	107	161	50	80	162	79	107	52
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	102,4	19,0	39,7	60,5	32,6	66,8	101,9	67,4	137,3	207,2	66,3	101,1	206,6	100,6	136,9	255,4
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	92,4	17,4	35,9	54,6	29,2	60,3	91,9	60,8	123,8	186,9	60,0	91,0	186,2	90,6	123,4	248,8
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	10,0	1,6	3,8	5,9	3,4	6,6	10,0	6,7	13,5	20,3	6,3	10,1	20,4	10,0	13,5	6,6
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,1000	0,0330	0,0610	0,0820	0,0490	0,0870	0,1100	0,0820	0,1320	0,1630	0,0700	0,1020	0,1510	0,0900	0,1140	0,2260
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,1010	0,0340	0,0630	0,0850	0,0490	0,0900	0,1110	0,0840	0,1340	0,1620	0,0710	0,1030	0,1490	0,0910	0,1150	0,2270
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,101	0,034	0,062	0,084	0,049	0,089	0,111	0,083	0,133	0,163	0,071	0,103	0,150	0,091	0,115	0,227
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0005	0,0002	0,0003	0,0004	0,0002	0,0004	0,0006	0,0004	0,0007	0,0008	0,0004	0,0005	0,0007	0,0005	0,0006	0,0011
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>184,3</b>	<b>104,1</b>	<b>116,2</b>	<b>131,1</b>	<b>119,7</b>	<b>136,5</b>	<b>166,7</b>	<b>146,8</b>	<b>186,6</b>	<b>230,7</b>	<b>170,6</b>	<b>178,0</b>	<b>248,9</b>	<b>200,8</b>	<b>216,1</b>	<b>220,3</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PF . (PF-FA0.0-V3.0)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	3,0%CaO+0,0%FA-Material PF	
<b>Procedencia (localización):</b>	Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia	<b>Fecha:</b> 29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,133
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,191
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>97,4%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3671,7
Peso final (g)	3671,5
Perdida (g)	0,01%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	197,50	198,30	197,70	198,00	197,88	8079
<b>Diametro (mm)</b>	101,50	100,80	101,40	102,00	101,43	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00808

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	SN	Peso del Agua (g)	69,2
M recipiente (Mr) (g)	107,6	Peso del Material Seco (g)	903,6
Mr+Muestra Húmeda (g)	1080,4	Peso del Material húmedo (g)	972,8
Mr+Muestra Seca (g)	1011,2	Húmeda inicial W (%)	<b>7,66%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>7,10%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>		1599	
Peso humedo(g)		3671,5	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio		2,352	
Maxima variacion		3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,281</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,423</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,297</b>	
		ok	
Grado de compactacion (%)		<b>97,6%</b>	

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	3,0%CaO+0,0%FA-Material PF	
Procedencia (localización):	Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	835,0	151,0	311,0	477,0	256,0	531,0	815,0	530,0	1111,0	1683,0	531,0	817,0	1684,0	820,0	1123,0	2040,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	757,0	139,0	281,0	431,0	231,0	479,0	736,0	478,0	1005,0	1520,0	480,0	738,0	1521,0	741,0	1016,0	1989,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	78	12	30	46	25	52	79	52	106	163	51	79	163	79	107	51
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	103,3	18,7	38,5	59,0	31,7	65,7	100,9	65,6	137,5	208,3	65,7	101,1	208,4	101,5	139,0	252,5
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	93,7	17,2	34,8	53,3	28,6	59,3	91,1	59,2	124,4	188,1	59,4	91,3	188,3	91,7	125,8	246,2
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	9,7	1,5	3,7	5,7	3,1	6,4	9,8	6,4	13,1	20,2	6,3	9,8	20,2	9,8	13,2	6,3
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0683	0,0159	0,0397	0,0614	0,0303	0,0636	0,0845	0,0564	0,0983	0,1257	0,0419	0,0686	0,1178	0,0629	0,0838	0,1734
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0744	0,0159	0,0397	0,0614	0,0296	0,0629	0,0831	0,0556	0,0968	0,1250	0,0419	0,0686	0,1178	0,0629	0,0845	0,1734
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,071	0,016	0,040	0,061	0,030	0,063	0,084	0,056	0,098	0,125	0,042	0,069	0,118	0,063	0,084	0,173
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0004	0,0001	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,0004	0,0003	0,0005	0,0006	0,0002	0,0003	0,0006	0,0003	0,0004	0,0009
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>259,9</b>	<b>214,2</b>	<b>173,2</b>	<b>171,9</b>	<b>188,7</b>	<b>185,6</b>	<b>215,1</b>	<b>209,1</b>	<b>252,4</b>	<b>297,0</b>	<b>280,5</b>	<b>263,3</b>	<b>316,3</b>	<b>288,7</b>	<b>295,6</b>	<b>280,9</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PF . (PF-FA0.0-M2.5)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>		
	I.N.V E- 156-13		

Identificación (descripción):	2,5%Ca(OH) <sub>2</sub> +0,0%FA-Material PF		
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha:	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,145
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,191
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>97,9%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3680,2
Peso final (g)	3680,1
Perdida (g)	0,00%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
Altura (mm)	198,90	199,10	197,10	196,50	197,90	8071
Diametro (mm)	102,30	101,20	101,20	100,80	101,38	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00807

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	SN	Peso del Agua (g)	42,8
M recipiente (Mr) (g)	124,2	Peso del Material Seco (g)	578,7
Mr+Muestra Húmeda (g)	745,7	Peso del Material húmedo (g)	621,5
Mr+Muestra Seca (g)	702,9	Húmeda inicial W (%)	<b>7,40%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>7,10%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>	1597		
Peso humedo(g)	3680,1		
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio	2,352		
Maxima variacion	3%		
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,281</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,423</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,304</b>	
		ok	
Grado de compactacion (%)		<b>98,0%</b>	

Proyecto:	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
Autor:	Leonardo Gutiérrez Tejedor	Directora:	Sandra Campagnoli Martínez





**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	2,5%Ca(OH)2+0,0%FA-Material PF	
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	834,0	160,0	327,0	500,0	260,0	544,0	831,0	542,0	1127,0	1682,0	555,0	846,0	1680,0	826,0	1131,0	2103,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	755,0	148,0	298,0	454,0	236,0	492,0	752,0	491,0	1020,0	1519,0	503,0	767,0	1516,0	747,0	1024,0	2053,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	79	12	29	46	24	52	79	51	107	163	52	79	164	79	107	50
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	103,3	19,8	40,5	61,9	32,2	67,4	103,0	67,2	139,6	208,4	68,8	104,8	208,1	102,3	140,1	260,5
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador ciclico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	93,5	18,3	36,9	56,2	29,2	61,0	93,2	60,8	126,4	188,2	62,3	95,0	187,8	92,5	126,9	254,4
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	9,8	1,5	3,6	5,7	3,0	6,4	9,8	6,3	13,3	20,2	6,4	9,8	20,3	9,8	13,3	6,2
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0868	0,0252	0,0567	0,0819	0,0392	0,0819	0,1092	0,0707	0,1218	0,1662	0,0672	0,0973	0,1869	0,0852	0,1025	0,2092
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0903	0,0245	0,0574	0,0847	0,0399	0,0854	0,1141	0,0742	0,1288	0,1695	0,0749	0,1064	0,1988	0,0878	0,1042	0,2135
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,089	0,025	0,057	0,083	0,040	0,084	0,112	0,072	0,125	0,168	0,071	0,102	0,193	0,087	0,103	0,211
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0004	0,0001	0,0003	0,0004	0,0002	0,0004	0,0006	0,0004	0,0006	0,0008	0,0004	0,0005	0,0010	0,0004	0,0005	0,0011
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>209,1</b>	<b>146,0</b>	<b>128,1</b>	<b>133,6</b>	<b>146,3</b>	<b>144,2</b>	<b>165,1</b>	<b>166,2</b>	<b>199,6</b>	<b>221,9</b>	<b>173,6</b>	<b>184,6</b>	<b>192,7</b>	<b>211,7</b>	<b>243,0</b>	<b>238,1</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PF . (PF-FA0.0-M3.0)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	3,0%Ca(OH) <sub>2</sub> +0,0%FA-Material PF	
<b>Procedencia (localización):</b>	Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia	<b>Fecha:</b> 29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,136
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,191
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>97,5%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3686
Peso final (g)	3682
Perdida (g)	0,11%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	200,15	200,72	202,23	201,63	201,18	7998
<b>Diametro (mm)</b>	100,36	101,15	101,45	100,70	100,92	
					Area en m <sup>2</sup>	0,008

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	SN	Peso del Agua (g)	28,4
M recipiente (Mr) (g)	106,5	Peso del Material Seco (g)	399,8
Mr+Muestra Húmeda (g)	534,7	Peso del Material húmedo (g)	428,2
Mr+Muestra Seca (g)	506,3	Húmeda inicial W (%)	<b>7,10%</b>

Datos de Densidad Humeda		
Volumen promedio cm <sup>3</sup>	1609	
Peso humedo(g)	3682	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio	2,352	
Maxima variacion	3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,281</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>
		<b>2,423</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,288</b>	
	ok	
Grado de compactacion (%)	<b>97,3%</b>	

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	3,0%Ca(OH)2+0,0%FA-Material PF	
Procedencia (localización):	Vereda Churubita-Samacá-Boyacá-Colombia	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	830,0	156,0	323,0	493,0	272,0	547,0	825,0	549,0	1109,0	1688,0	546,0	822,0	1695,0	820,0	1125,0	2097,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	750,0	143,0	292,0	446,0	246,0	493,0	745,0	496,0	1000,0	1523,0	493,0	742,0	1530,0	740,0	1016,0	2044,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	80	13	31	47	26	54	80	53	109	165	53	80	165	80	109	53
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	103,8	19,5	40,4	61,6	34,0	68,4	103,1	68,6	138,7	211,0	68,3	102,8	211,9	102,5	140,7	262,2
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	93,8	17,9	36,5	55,8	30,8	61,6	93,1	62,0	125,0	190,4	61,6	92,8	191,3	92,5	127,0	255,6
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	10,0	1,6	3,9	5,9	3,3	6,8	10,0	6,6	13,6	20,6	6,6	10,0	20,6	10,0	13,6	6,6
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0609	0,0137	0,0298	0,0423	0,0236	0,0460	0,0659	0,0447	0,0845	0,1231	0,0423	0,0634	0,1156	0,0559	0,0758	0,1703
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0559	0,0124	0,0261	0,0373	0,0211	0,0423	0,0609	0,0410	0,0783	0,1144	0,0373	0,0559	0,1081	0,0510	0,0709	0,1579
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,058	0,013	0,028	0,040	0,022	0,044	0,063	0,043	0,081	0,119	0,040	0,060	0,112	0,053	0,073	0,164
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0003	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002	0,0003	0,0002	0,0004	0,0006	0,0002	0,0003	0,0006	0,0003	0,0004	0,0008
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>322,9</b>	<b>275,6</b>	<b>262,6</b>	<b>282,0</b>	<b>276,6</b>	<b>281,0</b>	<b>295,6</b>	<b>290,9</b>	<b>308,9</b>	<b>322,7</b>	<b>311,8</b>	<b>312,8</b>	<b>344,0</b>	<b>348,2</b>	<b>348,5</b>	<b>313,3</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PF . (PF-FA2.4-S0.0)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

Identificación (descripción):	0,0%cal+2,4%FA-Material PF		
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha:	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,120
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,191
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>96,8%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3675,76
Peso final (g)	3675,46
Perdida (g)	0,01%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	201,08	198,79	200,67	198,67	199,80	8030
<b>Diametro (mm)</b>	100,96	100,83	100,89	101,77	101,11	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00803

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	SN	Peso del Agua (g)	108,81
M recipiente (Mr) (g)	153,95	Peso del Material Seco (g)	1352,5
Mr+Muestra Húmeda (g)	1615,26	Peso del Material húmedo (g)	1461,31
Mr+Muestra Seca (g)	1506,45	Húmeda inicial W (%)	<b>8,05%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>7,10%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>		1604	
Peso humedo(g)		3675,46	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio		2,352	
Maxima variacion		3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,281</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,423</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,291</b>	
		ok	
Grado de compactacion (%)		<b>97,4%</b>	

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	0,0%cal+2,4%FA-Material PF	
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	830,0	159,0	327,0	492,0	272,0	551,0	832,0	551,0	1138,0	1713,0	544,0	825,0	1654,0	824,0	1132,0	2010,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	749,0	144,0	296,0	444,0	246,0	497,0	751,0	497,0	1030,0	1549,0	490,0	743,0	1489,0	744,0	1024,0	1957,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	81	15	31	48	26	54	81	54	108	164	54	82	165	80	108	53
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	103,4	19,8	40,7	61,3	33,9	68,6	103,6	68,6	141,7	213,3	67,7	102,7	206,0	102,6	141,0	250,3
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	93,3	17,9	36,9	55,3	30,6	61,9	93,5	61,9	128,3	192,9	61,0	92,5	185,4	92,7	127,5	243,7
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	10,1	1,9	3,9	6,0	3,2	6,7	10,1	6,7	13,5	20,4	6,7	10,2	20,5	10,0	13,5	6,6
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0740	0,0230	0,0420	0,0550	0,0370	0,0600	0,0820	0,0590	0,1030	0,1410	0,0500	0,0730	0,1310	0,0700	0,0930	0,1890
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0700	0,0250	0,0420	0,0540	0,0370	0,0580	0,0790	0,0570	0,0990	0,1380	0,0480	0,0700	0,1260	0,0670	0,0900	0,1850
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,072	0,024	0,042	0,055	0,037	0,059	0,081	0,058	0,101	0,140	0,049	0,072	0,129	0,069	0,092	0,187
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0004	0,0001	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,0004	0,0003	0,0005	0,0007	0,0002	0,0004	0,0006	0,0003	0,0005	0,0009
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>258,9</b>	<b>149,3</b>	<b>175,4</b>	<b>202,7</b>	<b>165,4</b>	<b>209,6</b>	<b>232,1</b>	<b>213,2</b>	<b>253,8</b>	<b>276,3</b>	<b>248,8</b>	<b>258,6</b>	<b>288,3</b>	<b>270,3</b>	<b>278,5</b>	<b>260,4</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.	
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b> Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PF . (PF-FA2.6-S0.0)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

Identificación (descripción):	0,0%ca1+2,6%FA-Material PF		
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha:	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,156
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,191
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>98,4%</b>

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3679,92
Peso final (g)	3678,92
Perdida (g)	0,03%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
Altura (mm)	200,79	199,81	199,90	197,88	199,60	8026
Diametro (mm)	100,34	101,67	100,62	101,73	101,09	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00803

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	SN	Peso del Agua (g)	63,79
M recipiente (Mr) (g)	119,36	Peso del Material Seco (g)	976,26
Mr+Muestra Húmeda (g)	1159,41	Peso del Material húmedo (g)	1040,05
Mr+Muestra Seca (g)	1095,62	Húmeda inicial W (%)	<b>6,53%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>7,10%</b>

Datos de Densidad			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>		1602	
Peso humedo(g)		3678,92	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio		2,352	
Maxima variacion		3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,281</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,423</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,296</b>	
		ok	
Grado de compactacion (%)		<b>97,6%</b>	

Proyecto:	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
Autor:	Leonardo Gutiérrez Tejedor	Directora:	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	0,0%cal+2,6%FA-Material PF	
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	827,0	152,0	323,0	489,0	270,0	545,0	823,0	545,0	1104,0	1688,0	545,0	824,0	1690,0	824,0	1120,0	2086,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	746,0	136,0	293,0	441,0	244,0	492,0	742,0	491,0	994,0	1524,0	492,0	743,0	1525,0	743,0	1011,0	2033,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	81	16	30	48	26	53	81	54	110	164	53	81	165	81	109	53
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	103,0	18,9	40,2	60,9	33,6	67,9	102,5	67,9	137,6	210,3	67,9	102,7	210,6	102,7	139,5	259,9
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	92,9	16,9	36,5	54,9	30,4	61,3	92,4	61,2	123,8	189,9	61,3	92,6	190,0	92,6	126,0	253,3
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	10,1	2,0	3,7	6,0	3,2	6,6	10,1	6,7	13,7	20,4	6,6	10,1	20,6	10,1	13,6	6,6
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0390	0,0160	0,0330	0,0440	0,0270	0,0480	0,0640	0,0400	0,0750	0,1110	0,0310	0,0510	0,1060	0,0460	0,0670	0,1590
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0420	0,0180	0,0340	0,0450	0,0270	0,0480	0,0650	0,0410	0,0770	0,1120	0,0320	0,0520	0,1060	0,0470	0,0670	0,1540
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,041	0,017	0,034	0,045	0,027	0,048	0,065	0,041	0,076	0,112	0,032	0,052	0,106	0,047	0,067	0,157
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0002	0,0001	0,0002	0,0002	0,0001	0,0002	0,0003	0,0002	0,0004	0,0006	0,0002	0,0003	0,0005	0,0002	0,0003	0,0008
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>458,1</b>	<b>198,9</b>	<b>217,5</b>	<b>246,4</b>	<b>224,7</b>	<b>254,9</b>	<b>286,1</b>	<b>301,5</b>	<b>325,2</b>	<b>339,9</b>	<b>388,4</b>	<b>358,8</b>	<b>357,8</b>	<b>397,4</b>	<b>375,2</b>	<b>323,0</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PF . (PF-FA2.8-S0.0)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	0,0%cal+2,8%FA-Material PF	
<b>Procedencia (localización):</b>	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.	<b>Fecha:</b> 29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,086
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,191
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>95,2%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3530,07
Peso final (g)	3530,02
Perdida (g)	0,00%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	196,23	195,27	198,21	197,67	196,85	8106
<b>Diametro (mm)</b>	100,80	102,22	100,90	102,45	101,59	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00811

Datos de Densidad Humeda		
Volumen promedio cm <sup>3</sup>	1596	
Peso humedo(g)	3530,02	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio	2,352	
Maxima variacion	3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,281</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup> <b>2,423</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,212</b>	
	ok	
Grado de compactacion (%)	<b>94,1%</b>	

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	SN	Peso del Agua (g)	83,43
M recipiente (Mr) (g)	110,28	Peso del Material Seco (g)	1377,99
Mr+Muestra Húmeda (g)	1571,7	Peso del Material húmedo (g)	1461,42
Mr+Muestra Seca (g)	1488,27	Húmeda inicial W (%)	<b>6,05%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>7,10%</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez





**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	0,0%cal+2,8%FA-Material PF																
Procedencia (localización):	Mondoñedo-Mosquera-Cundinamarca-Colombia.															Fecha: 29 de Enero de 2018	

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	830,0	152,0	323,0	492,0	269,0	543,0	828,0	545,0	1115,0	1675,0	551,0	831,0	1675,0	810,0	1106,0	2066,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	749,0	138,0	294,0	444,0	242,0	491,0	747,0	491,0	1005,0	1510,0	498,0	750,0	1510,0	729,0	997,0	2014,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	81	14	29	48	27	52	81	54	110	165	53	81	165	81	109	52
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	102,4	18,8	39,8	60,7	33,2	67,0	102,1	67,2	137,6	206,6	68,0	102,5	206,6	99,9	136,4	254,9
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	92,4	17,0	36,3	54,8	29,9	60,6	92,2	60,6	124,0	186,3	61,4	92,5	186,3	89,9	123,0	248,5
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	10,0	1,7	3,6	5,9	3,3	6,4	10,0	6,7	13,6	20,4	6,5	10,0	20,4	10,0	13,4	6,4
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0320	0,0210	0,0340	0,0460	0,0240	0,0470	0,0680	0,0330	0,0720	0,1100	0,0260	0,0440	0,0970	0,0350	0,0520	0,1350
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0370	0,0150	0,0400	0,0530	0,0290	0,0530	0,0760	0,0370	0,0800	0,1180	0,0290	0,0490	0,1050	0,0410	0,0600	0,1490
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,035	0,018	0,037	0,050	0,027	0,050	0,072	0,035	0,076	0,114	0,028	0,047	0,101	0,038	0,056	0,142
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0002	0,0001	0,0002	0,0003	0,0001	0,0003	0,0004	0,0002	0,0004	0,0006	0,0001	0,0002	0,0005	0,0002	0,0003	0,0007
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>527,2</b>	<b>186,2</b>	<b>193,0</b>	<b>217,8</b>	<b>221,8</b>	<b>238,5</b>	<b>251,9</b>	<b>340,7</b>	<b>321,1</b>	<b>321,6</b>	<b>439,8</b>	<b>391,7</b>	<b>363,1</b>	<b>465,9</b>	<b>432,3</b>	<b>344,4</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PF . (PF-FA2.4-M2.5)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>		
	I.N.V E- 156-13		

<b>Identificación (descripción):</b>	<b>2,5%Ca(OH)2-2,4%FA-Material PF</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>samaca-Boyaca-Colombia.</b>	<b>Fecha:</b>	<b>29 de Enero de 2018</b>

<b>Datos Iniciales</b>	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

<b>Datos de Densidad Seca.</b>	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,117
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,191
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>96,6%</b>
Cumple	ok

<b>Datos Perdida de Humedad</b>	
Peso inicial (g)	3723,78
Peso final (g)	3722,37
Perdida (g)	0,04%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

<b>Datos Dimensiones</b>					<b>Promedio (mm)</b>	<b>Area (mm<sup>2</sup>)</b>
<b>Altura (mm)</b>	198,58	198,24	199,90	199,99	199,18	8191
<b>Diametro (mm)</b>	100,84	102,62	102,30	102,72	102,12	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00819

<b>Datos de Humedad Final del ensayo</b>			
# de Recipiente	I2	Peso del Agua (g)	80,44
M recipiente (Mr) (g)	106,07	Peso del Material Seco (g)	1031,03
Mr+Muestra Húmeda (g)	1217,54	Peso del Material húmedo (g)	1111,47
Mr+Muestra Seca (g)	1137,1	Húmeda inicial W (%)	<b>7,80%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>7,10%</b>

<b>Datos de Densidad Humeda</b>			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>	1631		
Peso humedo(g)	3722,37		
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio	2,351		
Maxima variacion	3%		
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,280</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,422</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,282</b>		
Grado de compactacion (%)	<b>97,1%</b>		

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	2,5%Ca(OH)2-2,4%FA-Material PF	
Procedencia (localización):	samaca-Boyaca-Colombia.	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	819,0	144,0	307,0	475,0	258,0	532,0	814,0	531,0	1122,0	1703,0	534,0	815,0	1704,0	820,0	1127,0	2105,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	738,0	128,0	275,0	425,0	232,0	479,0	733,0	475,0	1013,0	1538,0	481,0	734,0	1539,0	738,0	1017,0	2050,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	81	16	32	50	26	53	81	56	109	165	53	81	165	82	110	55
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	100,0	17,6	37,5	58,0	31,5	65,0	99,4	64,8	137,0	207,9	65,2	99,5	208,0	100,1	137,6	257,0
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	90,1	15,6	33,6	51,9	28,3	58,5	89,5	58,0	123,7	187,8	58,7	89,6	187,9	90,1	124,2	250,3
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	9,9	2,0	3,9	6,1	3,2	6,5	9,9	6,8	13,3	20,1	6,5	9,9	20,1	10,0	13,4	6,7
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0550	0,0200	0,0350	0,0420	0,0330	0,0440	0,0600	0,0440	0,0730	0,0950	0,0420	0,0550	0,0890	0,0510	0,0630	0,1380
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0570	0,0220	0,0370	0,0440	0,0360	0,0460	0,0620	0,0460	0,0750	0,0980	0,0450	0,0570	0,0920	0,0540	0,0650	0,1440
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,056	0,021	0,036	0,043	0,035	0,045	0,061	0,045	0,074	0,097	0,044	0,056	0,091	0,053	0,064	0,141
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0003	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0002	0,0004	0,0005	0,0002	0,0003	0,0005	0,0003	0,0003	0,0007
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>320,5</b>	<b>148,2</b>	<b>185,8</b>	<b>240,4</b>	<b>163,5</b>	<b>258,9</b>	<b>292,2</b>	<b>256,7</b>	<b>332,9</b>	<b>387,6</b>	<b>268,9</b>	<b>318,7</b>	<b>413,5</b>	<b>341,8</b>	<b>386,4</b>	<b>353,6</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PF . (PF-FA2.6-M2.5)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	2,5%Ca(OH)2-2,6%FA-Material PF		
<b>Procedencia (localización):</b>	samaca-Boyaca-Colombia.	<b>Fecha:</b>	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,114
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,191
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>96,5%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3714,97
Peso final (g)	3713,71
Perdida (g)	0,03%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	201,22	202,16	201,99	200,18	201,39	8081
<b>Diametro (mm)</b>	100,27	102,35	101,84	101,29	101,44	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00808

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	7	Peso del Agua (g)	88,24
M recipiente (Mr) (g)	117,71	Peso del Material Seco (g)	1111,79
Mr+Muestra Húmeda (g)	1317,74	Peso del Material húmedo (g)	1200,03
Mr+Muestra Seca (g)	1229,5	Húmeda inicial W (%)	<b>7,94%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>7,10%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>		1627	
Peso humedo(g)		3713,71	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio		2,351	
Maxima variacion		3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,280</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,422</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,282</b>	
		ok	
Grado de compactacion (%)		<b>97,1%</b>	

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	2,5%Ca(OH)2-2,6%FA-Material PF	
Procedencia (localización):	samaca-Boyaca-Colombia.	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	830,0	154,0	322,0	488,0	270,0	545,0	824,0	544,0	1115,0	1697,0	546,0	827,0	1697,0	828,0	1127,0	2084,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	751,0	139,0	290,0	442,0	245,0	492,0	744,0	492,0	1006,0	1532,0	492,0	747,0	1532,0	748,0	1020,0	2031,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	79	15	32	46	25	53	80	52	109	165	54	80	165	80	107	53
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	102,7	19,1	39,8	60,4	33,4	67,4	102,0	67,3	138,0	210,0	67,6	102,3	210,0	102,5	139,5	257,9
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	92,9	17,2	35,9	54,7	30,3	60,9	92,1	60,9	124,5	189,6	60,9	92,4	189,6	92,6	126,2	251,3
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	9,8	1,9	4,0	5,7	3,1	6,6	9,9	6,4	13,5	20,4	6,7	9,9	20,4	9,9	13,2	6,6
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0650	0,0150	0,0300	0,0430	0,0250	0,0450	0,0640	0,0460	0,0820	0,1150	0,0520	0,0700	0,1080	0,0670	0,0820	0,1450
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0630	0,0140	0,0280	0,0400	0,0240	0,0430	0,0610	0,0450	0,0790	0,1080	0,0520	0,0690	0,1030	0,0660	0,0800	0,1420
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,064	0,015	0,029	0,042	0,025	0,044	0,063	0,046	0,081	0,112	0,052	0,070	0,106	0,067	0,081	0,144
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0003	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002	0,0003	0,0002	0,0004	0,0006	0,0003	0,0003	0,0005	0,0003	0,0004	0,0007
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>292,4</b>	<b>238,9</b>	<b>249,2</b>	<b>265,4</b>	<b>249,2</b>	<b>278,6</b>	<b>296,6</b>	<b>269,5</b>	<b>311,4</b>	<b>342,4</b>	<b>235,8</b>	<b>267,8</b>	<b>361,9</b>	<b>280,3</b>	<b>313,8</b>	<b>352,7</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PF . (PF-FA2.8-M2.5)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

Identificación (descripción):	2,5%Ca(OH)2-2,8%FA-Material PF		
Procedencia (localización):	samaca-Boyaca-Colombia.	Fecha:	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,138
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,191
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>97,6%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3713,59
Peso final (g)	3712,05
Perdida (g)	0,04%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	200,02	201,14	200,68	199,20	200,26	8065
<b>Diametro (mm)</b>	101,51	100,84	101,70	101,30	101,34	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00807

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	15	Peso del Agua (g)	84,3
M recipiente (Mr) (g)	114	Peso del Material Seco (g)	1125,9
Mr+Muestra Húmeda (g)	1324,2	Peso del Material húmedo (g)	1210,2
Mr+Muestra Seca (g)	1239,9	Húmeda inicial W (%)	<b>7,49%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>7,10%</b>

Datos de Densidad Humeda		
Volumen promedio cm <sup>3</sup>	1615	
Peso humedo(g)	3712,05	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio	2,351	
Maxima variacion	3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,280</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>
		<b>2,422</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,298</b>	
		ok
Grado de compactacion (%)	<b>97,8%</b>	

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**

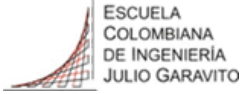
I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	2,5%Ca(OH)2-2,8%FA-Material PF	
Procedencia (localización):	samaca-Boyaca-Colombia.	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	832,0	158,0	333,0	499,0	263,0	556,0	831,0	554,0	1112,0	1675,0	552,0	828,0	1684,0	829,0	1110,0	2093,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	751,0	143,0	301,0	451,0	237,0	503,0	750,0	501,0	1003,0	1510,0	498,0	747,0	1518,0	748,0	1001,0	2040,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	81	15	32	48	26	53	81	53	109	165	54	81	166	81	109	53
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	103,2	19,6	41,3	61,9	32,6	68,9	103,0	68,7	137,9	207,7	68,4	102,7	208,8	102,8	137,6	259,5
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador ciclico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	93,1	17,7	37,3	55,9	29,4	62,4	93,0	62,1	124,4	187,2	61,7	92,6	188,2	92,7	124,1	252,9
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	10,0	1,9	4,0	6,0	3,2	6,6	10,0	6,6	13,5	20,5	6,7	10,0	20,6	10,0	13,5	6,6
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0500	0,0150	0,0290	0,0380	0,0240	0,0400	0,0540	0,0400	0,0640	0,0910	0,0380	0,0500	0,0850	0,0480	0,0580	0,1300
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0450	0,0100	0,0220	0,0310	0,0170	0,0340	0,0500	0,0330	0,0630	0,0940	0,0320	0,0470	0,0890	0,0450	0,0570	0,1270
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,048	0,013	0,026	0,035	0,021	0,037	0,052	0,037	0,064	0,093	0,035	0,049	0,087	0,047	0,058	0,129
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0002	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,0005	0,0002	0,0002	0,0004	0,0002	0,0003	0,0006
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>392,6</b>	<b>284,0</b>	<b>293,1</b>	<b>324,6</b>	<b>287,1</b>	<b>337,5</b>	<b>358,1</b>	<b>340,8</b>	<b>392,2</b>	<b>405,3</b>	<b>353,3</b>	<b>382,4</b>	<b>433,2</b>	<b>399,4</b>	<b>432,2</b>	<b>394,2</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PF . (PF-FA2.4-V2.5)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	2,5%CaO-2,4%FA-Material PF		
<b>Procedencia (localización):</b>	samaca-Boyaca-Colombia.	<b>Fecha:</b>	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,153
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,191
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>98,3%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3860,7
Peso final (g)	3859,08
Perdida (g)	0,04%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	206,49	207,65	205,36	206,71	206,55	8163
<b>Diametro (mm)</b>	101,16	101,21	102,03	103,40	101,95	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00816

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	224	Peso del Agua (g)	72,63
M recipiente (Mr) (g)	110,09	Peso del Material Seco (g)	1155,41
Mr+Muestra Húmeda (g)	1338,13	Peso del Material húmedo (g)	1228,04
Mr+Muestra Seca (g)	1265,5	Húmeda inicial W (%)	<b>6,29%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>7,10%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>		1686	
Peso humedo(g)		3859,08	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio		2,351	
Maxima variacion		3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,280</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,422</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,289</b>	
		ok	
Grado de compactacion (%)		<b>97,4%</b>	

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez





**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**

I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	2,5%CaO-2,4%FA-Material PF	
Procedencia (localización):	samaca-Boyaca-Colombia.	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	853,0	154,0	323,0	492,0	269,0	547,0	839,0	548,0	1141,0	1715,0	548,0	837,0	1718,0	837,0	1145,0	2281,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	772,0	138,0	291,0	443,0	242,0	494,0	756,0	495,0	1031,0	1548,0	493,0	755,0	1550,0	756,0	1034,0	2057,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	81	16	32	49	27	53	83	53	110	167	55	82	168	81	111	224
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	104,5	18,9	39,6	60,3	33,0	67,0	102,8	67,1	139,8	210,1	67,1	102,5	210,5	102,5	140,3	279,4
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	94,6	16,9	35,6	54,3	29,6	60,5	92,6	60,6	126,3	189,6	60,4	92,5	189,9	92,6	126,7	252,0
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	9,9	2,0	3,9	6,0	3,3	6,5	10,2	6,5	13,5	20,5	6,7	10,0	20,6	9,9	13,6	27,4
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0550	0,0150	0,0280	0,0390	0,0250	0,0420	0,0530	0,0440	0,0670	0,0910	0,0410	0,0640	0,0900	0,0640	0,0730	0,1000
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0490	0,0130	0,0260	0,0370	0,0220	0,0390	0,0500	0,0380	0,0630	0,0850	0,0380	0,0520	0,0830	0,0510	0,0620	0,1040
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,052	0,014	0,027	0,038	0,024	0,041	0,052	0,041	0,065	0,088	0,040	0,058	0,087	0,058	0,068	0,102
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0003	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0004	0,0002	0,0003	0,0004	0,0003	0,0003	0,0005
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>375,6</b>	<b>249,4</b>	<b>272,7</b>	<b>295,0</b>	<b>260,6</b>	<b>308,6</b>	<b>371,4</b>	<b>305,5</b>	<b>401,3</b>	<b>445,1</b>	<b>315,8</b>	<b>329,4</b>	<b>453,4</b>	<b>332,7</b>	<b>387,6</b>	<b>510,3</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PF . (PF-FA2.6-V2.5)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>		
	I.N.V E- 156-13		

<b>Identificación (descripción):</b>	<b>2,5%CaO-2,6%FA-Material PF</b>		
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>samaca-Boyaca-Colombia.</b>	<b>Fecha:</b>	<b>29 de Enero de 2018</b>

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,179
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,191
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>99,5%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3835,2
Peso final (g)	3833,73
Perdida (g)	0,04%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	202,20	204,00	204,05	206,16	204,10	8107
<b>Diametro (mm)</b>	102,31	101,55	101,51	101,01	101,60	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00811

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	800	Peso del Agua (g)	72,16
M recipiente (Mr) (g)	118,46	Peso del Material Seco (g)	1140,24
Mr+Muestra Húmeda (g)	1330,86	Peso del Material húmedo (g)	1212,4
Mr+Muestra Seca (g)	1258,7	Húmeda inicial W (%)	<b>6,33%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>7,10%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>	1655		
Peso humedo(g)	3833,73		
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio	2,351		
Maxima variacion	3%		
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,280</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,422</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,317</b>	
		ok	
Grado de compactacion (%)		<b>98,6%</b>	

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**

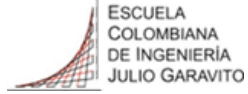
I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	2,5%CaO-2,6%FA-Material PF	
Procedencia (localización):	samaca-Boyaca-Colombia.	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	841,0	156,0	323,0	491,0	273,0	547,0	832,0	549,0	1139,0	1711,0	549,0	835,0	1713,0	837,0	1142,0	2281,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	760,0	140,0	292,0	444,0	247,0	492,0	753,0	496,0	1031,0	1546,0	496,0	754,0	1548,0	757,0	1034,0	2061,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	81	16	31	47	26	55	79	53	108	165	53	81	165	80	108	220
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	103,7	19,2	39,8	60,6	33,7	67,5	102,6	67,7	140,5	211,1	67,7	103,0	211,3	103,3	140,9	281,4
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	93,8	17,3	36,0	54,8	30,5	60,7	92,9	61,2	127,2	190,7	61,2	93,0	191,0	93,4	127,6	254,2
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	10,0	2,0	3,8	5,8	3,2	6,8	9,7	6,5	13,3	20,4	6,5	10,0	20,4	9,9	13,3	27,1
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0420	0,0120	0,0230	0,0300	0,0180	0,0320	0,0420	0,0310	0,0540	0,0730	0,0320	0,0430	0,0710	0,0420	0,0530	0,0930
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0500	0,0130	0,0250	0,0340	0,0210	0,0370	0,0500	0,0370	0,0640	0,0850	0,0360	0,0500	0,0830	0,0470	0,0590	0,1030
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,046	0,013	0,024	0,032	0,020	0,035	0,046	0,034	0,059	0,079	0,034	0,047	0,077	0,045	0,056	0,098
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0002	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0004	0,0002	0,0002	0,0004	0,0002	0,0003	0,0005
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>416,0</b>	<b>282,0</b>	<b>306,3</b>	<b>349,3</b>	<b>318,9</b>	<b>359,1</b>	<b>412,1</b>	<b>367,3</b>	<b>440,0</b>	<b>492,7</b>	<b>367,3</b>	<b>408,3</b>	<b>506,2</b>	<b>428,3</b>	<b>464,9</b>	<b>529,5</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PF . (PF-FA2.8-V2.5)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	2,5%CaO-2,8%FA-Material PF		
<b>Procedencia (localización):</b>	samaca-Boyaca-Colombia.	<b>Fecha:</b>	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,144
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,191
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>97,9%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3723,3
Peso final (g)	3720,7
Perdida (g)	0,07%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	204,00	203,69	204,31	204,82	204,21	8035
<b>Diametro (mm)</b>	101,05	101,31	101,14	101,09	101,15	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00804

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	9	Peso del Agua (g)	65,9
M recipiente (Mr) (g)	107,76	Peso del Material Seco (g)	1147,44
Mr+Muestra Húmeda (g)	1321,1	Peso del Material húmedo (g)	1213,34
Mr+Muestra Seca (g)	1255,2	Húmeda inicial W (%)	<b>5,74%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>7,10%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>		1641	
Peso humedo(g)		3720,7	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio		2,351	
Maxima variacion		3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,280</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,422</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,268</b>	
		ok	
Grado de compactacion (%)		<b>96,5%</b>	

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	2,5%CaO-2,8%FA-Material PF	
Procedencia (localización):	samaca-Boyaca-Colombia.	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	846,0	155,0	321,0	487,0	266,0	544,0	829,0	542,0	1133,0	1696,0	543,0	831,0	1701,0	831,0	1133,0	2262,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	766,0	141,0	292,0	439,0	240,0	491,0	749,0	488,0	1024,0	1532,0	491,0	752,0	1537,0	751,0	1025,0	2043,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	80	14	29	48	26	53	80	54	109	164	52	79	164	80	108	219
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	105,3	19,3	39,9	60,6	33,1	67,7	103,2	67,5	141,0	211,1	67,6	103,4	211,7	103,4	141,0	281,5
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	95,3	17,5	36,3	54,6	29,9	61,1	93,2	60,7	127,4	190,7	61,1	93,6	191,3	93,5	127,6	254,3
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	10,0	1,7	3,6	6,0	3,2	6,6	10,0	6,7	13,6	20,4	6,5	9,8	20,4	10,0	13,4	27,3
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0460	0,0130	0,0250	0,0330	0,0200	0,0350	0,0440	0,0350	0,0550	0,0720	0,0250	0,0470	0,0700	0,0460	0,0550	0,0860
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0430	0,0120	0,0230	0,0310	0,0190	0,0320	0,0410	0,0320	0,0520	0,0680	0,0220	0,0440	0,0660	0,0420	0,0500	0,0810
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,045	0,013	0,024	0,032	0,020	0,034	0,043	0,034	0,054	0,070	0,024	0,046	0,068	0,044	0,053	0,084
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0002	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0003	0,0001	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,0004
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>437,5</b>	<b>286,7</b>	<b>309,2</b>	<b>348,6</b>	<b>312,8</b>	<b>372,5</b>	<b>447,9</b>	<b>370,2</b>	<b>486,4</b>	<b>556,2</b>	<b>531,0</b>	<b>420,0</b>	<b>574,4</b>	<b>433,8</b>	<b>496,2</b>	<b>621,8</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PF . (PF-FA2.4-M3.0)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	3,0%Ca(OH)2-2,4%FA-Material PF		
<b>Procedencia (localización):</b>	Samaca-Boyaca-Colombia	<b>Fecha:</b>	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,157
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,191
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>98,4%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3758
Peso final (g)	3756,45
Perdida (g)	0,04%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	200,61	199,87	198,93	201,82	200,31	8133
<b>Diametro (mm)</b>	102,46	102,18	101,07	101,34	101,76	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00813

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	10	Peso del Agua (g)	78,54
M recipiente (Mr) (g)	104,45	Peso del Material Seco (g)	1137,25
Mr+Muestra Húmeda (g)	1320,24	Peso del Material húmedo (g)	1215,79
Mr+Muestra Seca (g)	1241,7	Húmeda inicial W (%)	<b>6,91%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>7,10%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>		1629	
Peso humedo(g)		3756,45	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio		2,351	
Maxima variacion		3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,280</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,422</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,306</b>	
		ok	
Grado de compactacion (%)		<b>98,1%</b>	

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	<b>3,0%Ca(OH)2-2,4%FA-Material PF</b>	
Procedencia (localización):	<b>Samaca-Boyaca-Colombia</b>	Fecha: <b>29 de Enero de 2018</b>

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	828,0	147,0	325,0	493,0	266,0	546,0	827,0	547,0	1110,0	1706,0	546,0	828,0	1713,0	829,0	1115,0	2275,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	746,0	132,0	295,0	446,0	241,0	492,0	745,0	493,0	1000,0	1541,0	492,0	746,0	1548,0	748,0	1004,0	2054,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	82	15	30	47	25	54	82	54	110	165	54	82	165	81	111	221
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	101,8	18,1	40,0	60,6	32,7	67,1	101,7	67,3	136,5	209,8	67,1	101,8	210,6	101,9	137,1	279,7
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	91,7	16,2	36,3	54,8	29,6	60,5	91,6	60,6	123,0	189,5	60,5	91,7	190,3	92,0	123,4	252,5
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	10,1	1,8	3,7	5,8	3,1	6,6	10,1	6,6	13,5	20,3	6,6	10,1	20,3	10,0	13,6	27,2
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0540	0,0120	0,0260	0,0370	0,0210	0,0400	0,0470	0,0380	0,0630	0,0750	0,0440	0,0570	0,0730	0,0580	0,0630	0,0870
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0470	0,0130	0,0250	0,0330	0,0210	0,0340	0,0440	0,0340	0,0570	0,0730	0,0340	0,0460	0,0700	0,0450	0,0540	0,0870
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,051	0,013	0,026	0,035	0,021	0,037	0,046	0,036	0,060	0,074	0,039	0,052	0,072	0,052	0,059	0,087
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0003	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0004	0,0002	0,0003	0,0004	0,0003	0,0003	0,0004
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>363,8</b>	<b>260,1</b>	<b>284,9</b>	<b>313,8</b>	<b>282,6</b>	<b>327,5</b>	<b>403,3</b>	<b>337,3</b>	<b>410,5</b>	<b>512,9</b>	<b>310,7</b>	<b>356,7</b>	<b>533,2</b>	<b>357,7</b>	<b>422,7</b>	<b>581,5</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PF . (PF-FA2.6-M3.0)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	3,0%Ca(OH)2-2,6%FA-Material PF		
<b>Procedencia (localización):</b>	Samaca-Boyaca-Colombia	<b>Fecha:</b>	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,150
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,191
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>98,1%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3779,3
Peso final (g)	3776,87
Perdida (g)	0,06%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	203,76	201,30	200,57	201,22	201,71	8161
<b>Diametro (mm)</b>	100,95	102,51	102,30	101,99	101,94	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00816

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	103	Peso del Agua (g)	77,24
M recipiente (Mr) (g)	122,18	Peso del Material Seco (g)	1154,42
Mr+Muestra Húmeda (g)	1353,84	Peso del Material húmedo (g)	1231,66
Mr+Muestra Seca (g)	1276,6	Húmeda inicial W (%)	<b>6,69%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>7,10%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>	1646		
Peso humedo(g)	3776,87		
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio	2,351		
Maxima variacion	3%		
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,280</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,422</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,294</b>		
	ok		
Grado de compactacion (%)	<b>97,6%</b>		

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez





**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	<b>3,0%Ca(OH)2-2,6%FA-Material PF</b>		
Procedencia (localización):	<b>Samaca-Boyaca-Colombia</b>	Fecha:	<b>29 de Enero de 2018</b>

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	835,0	149,0	322,0	489,0	267,0	545,0	828,0	547,0	1126,0	1728,0	548,0	831,0	1722,0	833,0	1131,0	2290,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	753,0	135,0	292,0	441,0	240,0	492,0	747,0	495,0	1016,0	1564,0	493,0	750,0	1555,0	753,0	1020,0	2068,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	82	14	30	48	27	53	81	52	110	164	55	81	167	80	111	222
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	102,3	18,3	39,5	59,9	32,7	66,8	101,5	67,0	138,0	211,7	67,1	101,8	211,0	102,1	138,6	280,6
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	92,3	16,5	35,8	54,0	29,4	60,3	91,5	60,7	124,5	191,6	60,4	91,9	190,5	92,3	125,0	253,4
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	10,0	1,7	3,7	5,9	3,3	6,5	9,9	6,4	13,5	20,1	6,7	9,9	20,5	9,8	13,6	27,2
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0630	0,0140	0,0280	0,0410	0,0230	0,0420	0,0600	0,0460	0,0640	0,0890	0,0400	0,0560	0,0880	0,0560	0,0680	0,1070
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0633	0,0125	0,0283	0,0400	0,0238	0,0438	0,0608	0,0463	0,0630	0,0890	0,0400	0,0550	0,0880	0,0560	0,0690	0,1080
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,063	0,013	0,028	0,041	0,023	0,043	0,060	0,046	0,064	0,089	0,040	0,056	0,088	0,056	0,069	0,108
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0003	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,0004	0,0002	0,0003	0,0004	0,0003	0,0003	0,0005
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>294,8</b>	<b>251,8</b>	<b>256,6</b>	<b>269,1</b>	<b>253,8</b>	<b>283,6</b>	<b>305,8</b>	<b>265,2</b>	<b>395,5</b>	<b>434,3</b>	<b>304,6</b>	<b>334,0</b>	<b>436,7</b>	<b>332,3</b>	<b>368,0</b>	<b>475,5</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PF . (PF-FA2.8-M3.0)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	3,0%Ca(OH)2-2,8%FA-Material PF		
<b>Procedencia (localización):</b>	Samaca-Boyaca-Colombia	<b>Fecha:</b>	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,142
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,191
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>97,8%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3766,5
Peso final (g)	3763,66
Perdida (g)	0,08%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	202,52	201,46	203,07	202,71	202,44	8139
<b>Diametro (mm)</b>	101,58	101,70	103,00	100,91	101,80	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00814

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	38	Peso del Agua (g)	74,82
M recipiente (Mr) (g)	119,27	Peso del Material Seco (g)	1127,63
Mr+Muestra Húmeda (g)	1321,72	Peso del Material húmedo (g)	1202,45
Mr+Muestra Seca (g)	1246,9	Húmeda inicial W (%)	<b>6,64%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>7,10%</b>

Datos de Densidad Humeda			
Volumen promedio cm <sup>3</sup>	1648		
Peso humedo(g)	3763,66		
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio	2,351		
Maxima variacion	3%		
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,280</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,422</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,284</b>		
	ok		
Grado de compactacion (%)	<b>97,2%</b>		


<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

Identificación (descripción):	3,0%Ca(OH)2-2,8%FA-Material PF		
Procedencia (localización):	Samaca-Boyaca-Colombia	Fecha:	29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	843,0	146,0	317,0	483,0	264,0	538,0	824,0	538,0	1135,0	1707,0	538,0	825,0	1710,0	826,0	1137,0	2277,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	762,0	130,0	286,0	435,0	237,0	484,0	742,0	485,0	1024,0	1540,0	484,0	743,0	1544,0	745,0	1027,0	2056,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	81	16	31	48	27	54	82	53	111	167	54	82	166	81	110	221
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	103,6	17,9	38,9	59,3	32,4	66,1	101,2	66,1	139,5	209,7	66,1	101,4	210,1	101,5	139,7	279,8
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	93,6	16,0	35,1	53,4	29,1	59,5	91,2	59,6	125,8	189,2	59,5	91,3	189,7	91,5	126,2	252,6
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	10,0	2,0	3,8	5,9	3,3	6,6	10,1	6,5	13,6	20,5	6,6	10,1	20,4	10,0	13,5	27,2
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0330	0,0110	0,0190	0,0250	0,0160	0,0260	0,0360	0,0260	0,0450	0,0630	0,0220	0,0390	0,0620	0,0380	0,0460	0,0800
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0350	0,0120	0,0210	0,0270	0,0170	0,0270	0,0390	0,0270	0,0480	0,0650	0,0270	0,0400	0,0650	0,0400	0,0470	0,0820
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,034	0,012	0,020	0,026	0,017	0,027	0,038	0,027	0,047	0,064	0,025	0,040	0,064	0,039	0,047	0,081
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002	0,0003	0,0001	0,0002	0,0003	0,0002	0,0002	0,0004
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>557,5</b>	<b>281,2</b>	<b>355,7</b>	<b>416,1</b>	<b>357,3</b>	<b>454,3</b>	<b>492,2</b>	<b>455,2</b>	<b>547,7</b>	<b>598,5</b>	<b>491,4</b>	<b>467,9</b>	<b>604,8</b>	<b>475,1</b>	<b>549,4</b>	<b>631,4</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PF . (PF-FA2.4-V3.0)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	3,0%CaO-2,4%FA-Material PF	
<b>Procedencia (localización):</b>	Samaca-Boyaca-Colombia	<b>Fecha:</b> 29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,167
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,191
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>98,9%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3774,4
Peso final (g)	3772,64
Perdida (g)	0,05%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	200,65	200,10	201,30	202,65	201,18	8134
<b>Diametro (mm)</b>	101,26	101,65	101,83	102,32	101,77	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00813

Datos de Densidad Humeda		
Volumen promedio cm <sup>3</sup>		1636
Peso humedo(g)		3772,64
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio		2,351
Maxima variacion		3%
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,280</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup> <b>2,422</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,306</b>
		ok
Grado de compactacion (%)		<b>98,1%</b>

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	77	Peso del Agua (g)	71,9
M recipiente (Mr) (g)	152,6	Peso del Material Seco (g)	1126,1
Mr+Muestra Húmeda (g)	1350,6	Peso del Material húmedo (g)	1198
Mr+Muestra Seca (g)	1278,7	Húmeda inicial W (%)	<b>6,38%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>7,10%</b>


<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

Identificación (descripción):	3,0%CaO-2,4%FA-Material PF		
Procedencia (localización):	Samaca-Boyaca-Colombia	Fecha:	29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	$S_3$	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	$S_{ciclico}$	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
Ciclo #	$C_1$	un	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Carga maxima axial real	$P_{max}$	N	840,0	143,0	326,0	501,0	260,0	558,0	838,0	557,0	1116,0	1686,0	555,0	839,0	1693,0	837,0	1118,0	2281,0
Carga ciclica aplicada real	$P_{ciclico}$	N	760,0	127,0	294,0	455,0	234,0	505,0	756,0	504,0	1006,0	1520,0	502,0	758,0	1528,0	757,0	1009,0	2061,0
Carga de contacto aplicada real	$P_{contacto}$	N	80	16	32	46	26	53	82	53	110	166	53	81	165	80	109	220
Esfuerzo maximo real aplicado	$S_{max r}$	kPa	103,3	17,6	40,1	61,6	32,0	68,6	103,0	68,5	137,2	207,3	68,2	103,2	208,1	102,9	137,5	280,4
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	$S_{ciclico r}$	kPa	93,4	15,6	36,1	55,9	28,8	62,1	92,9	62,0	123,7	186,9	61,7	93,2	187,9	93,1	124,1	253,4
Esfuerzo de contacto aplicado real	$S_{contacto r}$	kPa	9,8	2,0	3,9	5,7	3,2	6,5	10,1	6,5	13,5	20,4	6,5	10,0	20,3	9,8	13,4	27,0
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	$H_1$	mm	0,0430	0,0100	0,0220	0,0300	0,0170	0,0320	0,0420	0,0320	0,0550	0,0740	0,0310	0,0430	0,0700	0,0410	0,0510	0,0910
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	$H_2$	mm	0,0650	0,0140	0,0320	0,0470	0,0240	0,0490	0,0630	0,0490	0,0790	0,1070	0,0530	0,0720	0,1040	0,0740	0,0860	0,1260
Deformacion resiliente promedio	$H_{promedio}$	mm	0,054	0,012	0,027	0,039	0,021	0,041	0,053	0,041	0,067	0,091	0,042	0,058	0,087	0,058	0,069	0,109
Deformacion resiliente unitaria	$\epsilon_r$	mm/mm	0,0003	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,0004	0,0002	0,0003	0,0004	0,0003	0,0003	0,0005
Modulo resiliente	$M_r$	Mpa	348,1	261,8	269,3	292,3	282,3	308,4	356,2	307,8	371,4	415,4	295,6	326,1	434,4	325,6	364,3	469,8

Proyecto:	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
Autor:	Leonardo Gutiérrez Tejedor	Directora:	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PF . (PF-FA2.6-V3.0)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

<b>Identificación (descripción):</b>	<b>3,0%CaO-2,6%FA-Material PF</b>	
<b>Procedencia (localización):</b>	<b>Samaca-Boyaca-Colombia</b>	<b>Fecha: 29 de Enero de 2018</b>

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,146
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,191
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>97,9%</b>

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3767,8
Peso final (g)	3765,82
Perdida (g)	0,05%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
<b>Altura (mm)</b>	203,64	204,93	204,54	203,00	204,03	8078
<b>Diametro (mm)</b>	100,73	100,97	102,06	101,90	101,42	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00808

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	7	Peso del Agua (g)	76,3
M recipiente (Mr) (g)	117,6	Peso del Material Seco (g)	1174,4
Mr+Muestra Húmeda (g)	1368,3	Peso del Material húmedo (g)	1250,7
Mr+Muestra Seca (g)	1292	Húmeda inicial W (%)	<b>6,50%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>7,10%</b>

Datos de Densidad		
Volumen promedio cm <sup>3</sup>	1648	
Peso humedo(g)	3765,82	
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio	2,351	
Maxima variacion	3%	
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,280</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup>
		<b>2,422</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,285</b>	
		ok
Grado de compactacion (%)	<b>97,2%</b>	

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



**MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS**


I.N.V E- 156-13

Identificación (descripción):	3,0%CaO-2,6%FA-Material PF		
Procedencia (localización):	Samaca-Boyaca-Colombia	Fecha:	29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	<b>S<sub>3</sub></b>	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	<b>S<sub>ciclico</sub></b>	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
<b>Ciclo #</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	un	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Carga maxima axial real	<b>P<sub>max</sub></b>	N	833,0	161,0	327,0	492,0	271,0	547,0	828,0	545,0	1131,0	1703,0	545,0	829,0	1701,0	829,0	1132,0	2267,0
Carga ciclica aplicada real	<b>P<sub>ciclico</sub></b>	N	752,0	147,0	296,0	444,0	245,0	493,0	748,0	492,0	1022,0	1539,0	492,0	749,0	1536,0	748,0	1023,0	2047,0
Carga de contacto aplicada real	<b>P<sub>contacto</sub></b>	N	81	14	31	48	26	54	80	53	109	164	53	80	165	81	109	220
Esfuerzo maximo real aplicado	<b>S<sub>max r</sub></b>	kPa	103,1	19,9	40,5	60,9	33,5	67,7	102,5	67,5	140,0	210,8	67,5	102,6	210,6	102,6	140,1	280,6
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	<b>S<sub>ciclico r</sub></b>	kPa	93,1	18,2	36,6	55,0	30,3	61,0	92,6	60,9	126,5	190,5	60,9	92,7	190,2	92,6	126,6	253,4
Esfuerzo de contacto aplicado real	<b>S<sub>contacto r</sub></b>	kPa	10,0	1,7	3,8	5,9	3,2	6,7	9,9	6,6	13,5	20,3	6,6	9,9	20,4	10,0	13,5	27,2
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	<b>H<sub>1</sub></b>	mm	0,0450	0,0120	0,0250	0,0350	0,0200	0,0360	0,0480	0,0340	0,0600	0,0810	0,0320	0,0480	0,0760	0,0440	0,0570	0,0910
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	<b>H<sub>2</sub></b>	mm	0,0490	0,0130	0,0270	0,0380	0,0210	0,0400	0,0530	0,0380	0,0660	0,0910	0,0360	0,0540	0,0860	0,0500	0,0640	0,1040
Deformacion resiliente promedio	<b>H<sub>promedio</sub></b>	mm	0,047	0,013	0,026	0,037	0,021	0,038	0,051	0,036	0,063	0,086	0,034	0,051	0,081	0,047	0,061	0,098
Deformacion resiliente unitaria	<b>ε<sub>r</sub></b>	mm/mm	0,0002	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0004	0,0002	0,0002	0,0004	0,0002	0,0003	0,0005
Modulo resiliente	<b>M<sub>r</sub></b>	Mpa	<b>404,1</b>	<b>297,0</b>	<b>287,5</b>	<b>307,2</b>	<b>301,9</b>	<b>327,7</b>	<b>374,1</b>	<b>345,2</b>	<b>409,7</b>	<b>452,0</b>	<b>365,5</b>	<b>370,9</b>	<b>479,0</b>	<b>402,0</b>	<b>427,1</b>	<b>530,3</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

## Resultados de módulo resiliente material PG . (PG-FA2.8-V3.0)

	<b>MODULO RESILIENTE SUELOS Y AGREGADOS</b>	
	I.N.V E- 156-13	

Identificación (descripción):	3,0%CaO-2,8%FA-Material PF		
Procedencia (localización):	Samaca-Boyaca-Colombia	Fecha:	29 de Enero de 2018

Datos Iniciales	
Material tipo	1
<70% pasa tamiz 10	ok
<20% pasa tamiz 200	ok

Datos de Densidad Seca.	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,128
Densidad maxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,191
<b>Grado de compactacion (%)</b>	<b>97,1%</b>
Cumple	ok

Datos Perdida de Humedad	
Peso inicial (g)	3754,8
Peso final (g)	3752,54
Perdida (g)	0,06%
Maxima variacion	1%
Cumple	ok

Datos Dimensiones					Promedio (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
Altura (mm)	202,74	202,28	202,49	204,50	203,00	8174
Diametro (mm)	102,32	101,50	102,54	101,70	102,02	
					Area en m <sup>2</sup>	0,00817

Datos de Humedad Final del ensayo			
# de Recipiente	301	Peso del Agua (g)	71,3
M recipiente (Mr) (g)	110,7	Peso del Material Seco (g)	1133
Mr+Muestra Húmeda (g)	1315	Peso del Material húmedo (g)	1204,3
Mr+Muestra Seca (g)	1243,7	Húmeda inicial W (%)	<b>6,29%</b>
		Húmeda Optima W (%)	<b>7,10%</b>

Datos de Densidad Humeda		
Volumen promedio cm <sup>3</sup>		1659
Peso humedo(g)		3752,54
Densidad maxima humeda (g/cm <sup>3</sup> ) laboratorio		2,351
Maxima variacion		3%
Valor minimo g/cm <sup>3</sup>	<b>2,280</b>	Valor maximo g/cm <sup>3</sup> <b>2,422</b>
Densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,262</b>
		ok
Grado de compactacion (%)		<b>96,2%</b>

<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez



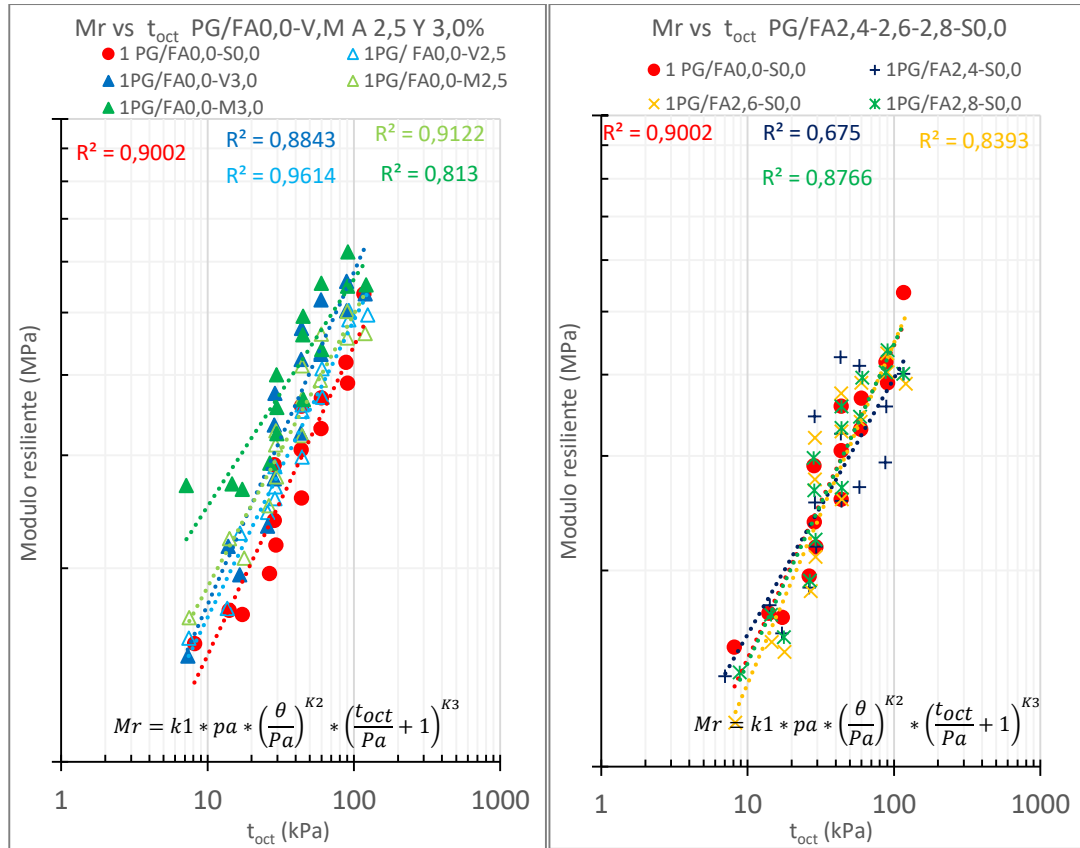
Identificación (descripción):	3,0%CaO-2,8%FA-Material PF	
Procedencia (localización):	Samaca-Boyaca-Colombia	Fecha: 29 de Enero de 2018

Parametro	Designacion	Unidad	Datos															
Presion de camara	$S_3$	kPa	103,4	20,7	20,7	20,7	34,5	34,5	34,5	68,9	68,9	68,9	103,4	103,4	103,4	137,9	137,9	137,9
Esfuerzo ciclico	$S_{ciclico}$	kPa	93,1	18,6	37,3	55,9	31	62	93,1	62	124,1	186,1	62	93,1	186,1	93,1	124,1	248,1
Ciclo #	$C_1$	un	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Carga maxima axial real	$P_{max}$	N	837,0	148,0	329,0	498,0	273,0	553,0	837,0	554,0	1122,0	1721,0	556,0	837,0	1727,0	838,0	1127,0	2294,0
Carga ciclica aplicada real	$P_{ciclico}$	N	758,0	133,0	298,0	451,0	247,0	500,0	755,0	500,0	1013,0	1557,0	504,0	756,0	1562,0	757,0	1019,0	2073,0
Carga de contacto aplicada real	$P_{contacto}$	N	79	15	31	47	26	53	82	54	109	164	52	81	165	81	108	221
Esfuerzo maximo real aplicado	$S_{max r}$	kPa	102,4	18,1	40,3	60,9	33,4	67,7	102,4	67,8	137,3	210,6	68,0	102,4	211,3	102,5	137,9	280,7
Esfuerzo ciclico aplicado real (esfuerzo desviador cilico real)	$S_{ciclico r}$	kPa	92,7	16,3	36,5	55,2	30,2	61,2	92,4	61,2	123,9	190,5	61,7	92,5	191,1	92,6	124,7	253,6
Esfuerzo de contacto aplicado real	$S_{contacto r}$	kPa	9,7	1,8	3,8	5,8	3,2	6,5	10,0	6,6	13,3	20,1	6,4	9,9	20,2	9,9	13,2	27,0
Deformacion resiliente lectura TLDV #1	$H_1$	mm	0,0620	0,0130	0,0300	0,0420	0,0240	0,0450	0,0610	0,0460	0,0780	0,1070	0,0440	0,0630	0,1040	0,0620	0,0790	0,1220
Deformacion resiliente lectura TLDV #2	$H_2$	mm	0,0650	0,0130	0,0310	0,0420	0,0240	0,0450	0,0630	0,0450	0,0810	0,1130	0,0430	0,0620	0,1100	0,0620	0,0800	0,1320
Deformacion resiliente promedio	$H_{promedio}$	mm	0,064	0,013	0,031	0,042	0,024	0,045	0,062	0,046	0,080	0,110	0,044	0,063	0,107	0,062	0,080	0,127
Deformacion resiliente unitaria	$\epsilon_r$	mm/mm	0,0003	0,0001	0,0002	0,0002	0,0001	0,0002	0,0003	0,0002	0,0004	0,0005	0,0002	0,0003	0,0005	0,0003	0,0004	0,0006
Modulo resiliente	$M_r$	Mpa	385,4	330,3	315,5	346,7	332,3	358,7	393,2	354,8	411,4	457,0	374,1	390,5	471,3	394,2	413,8	527,0

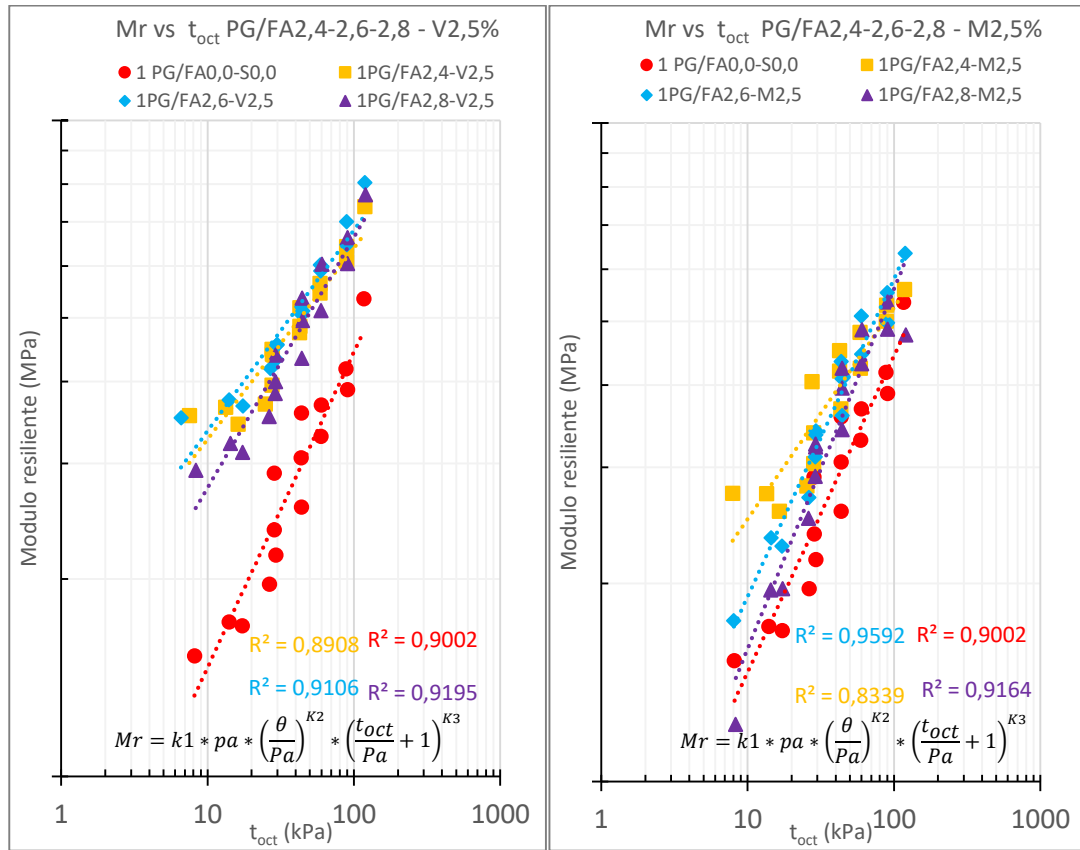
<b>Proyecto:</b>	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar, tratados conjuntamente con asfalto espumado.		
<b>Autor:</b>	Leonardo Gutiérrez Tejedor	<b>Directora:</b>	Sandra Campagnoli Martínez

**Anexo 9 Resultados de MR vs toct, para las diferentes mezclas.**

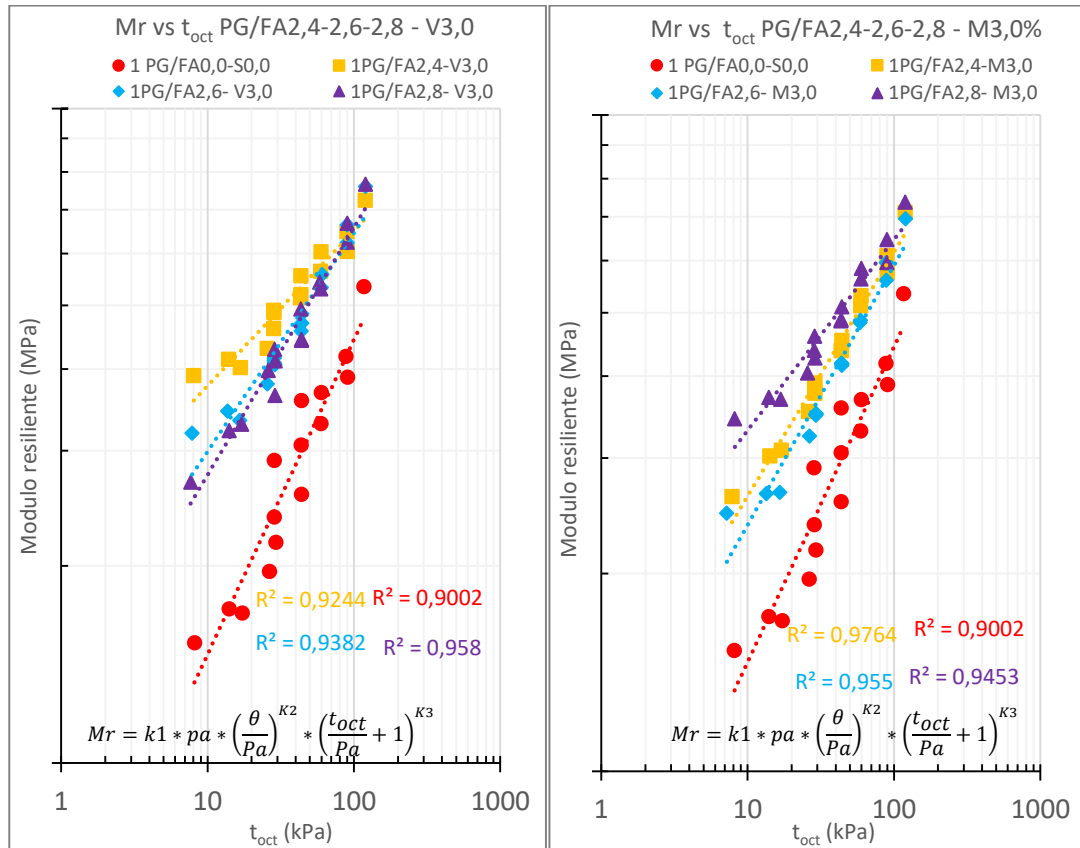
**Resultados de Mr Vs toct para el material PG virgen y mezclas tratadas solo con 2.5% o 3.0% de CaO o CA(OH)2 y mezclas estabilizadas con solo FA. Fuente: Elaboración del autor.**



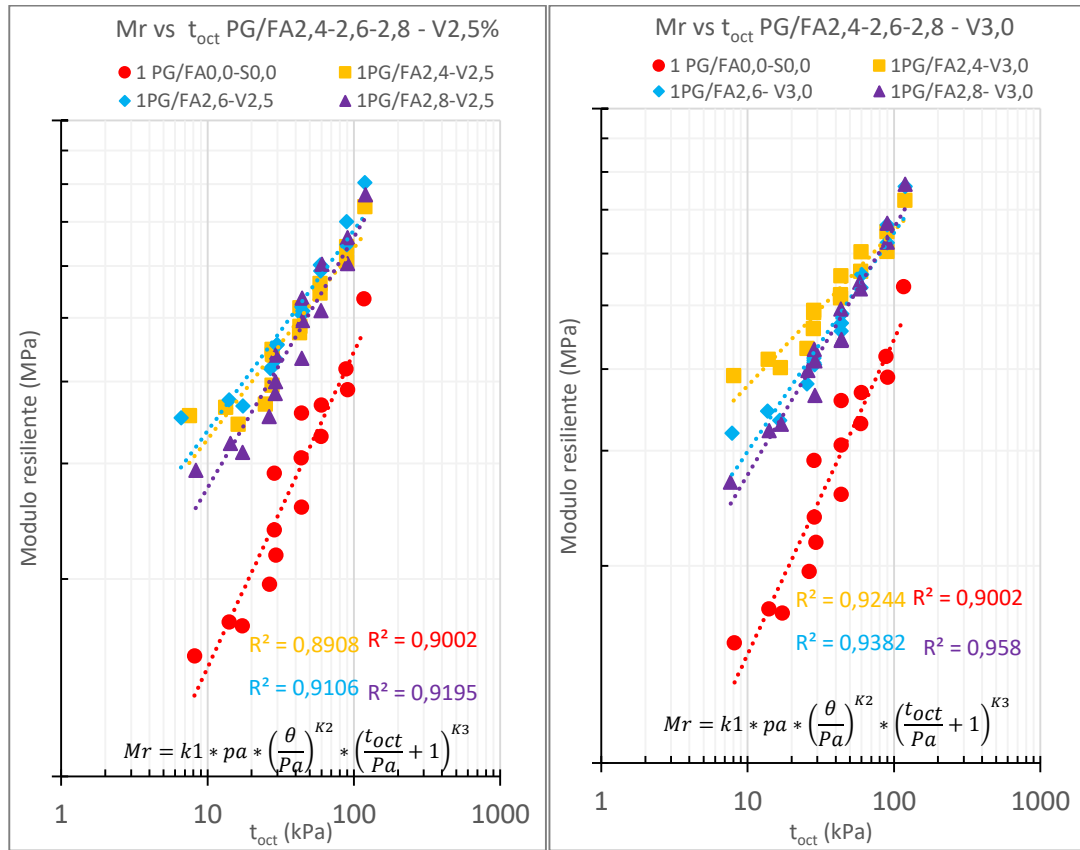
**Resultados de Mr vs toct, para las mezclas del material original tratadas con 2.5% de CaO o de Ca(OH)2 y FA. Fuente: Elaboración del autor.**



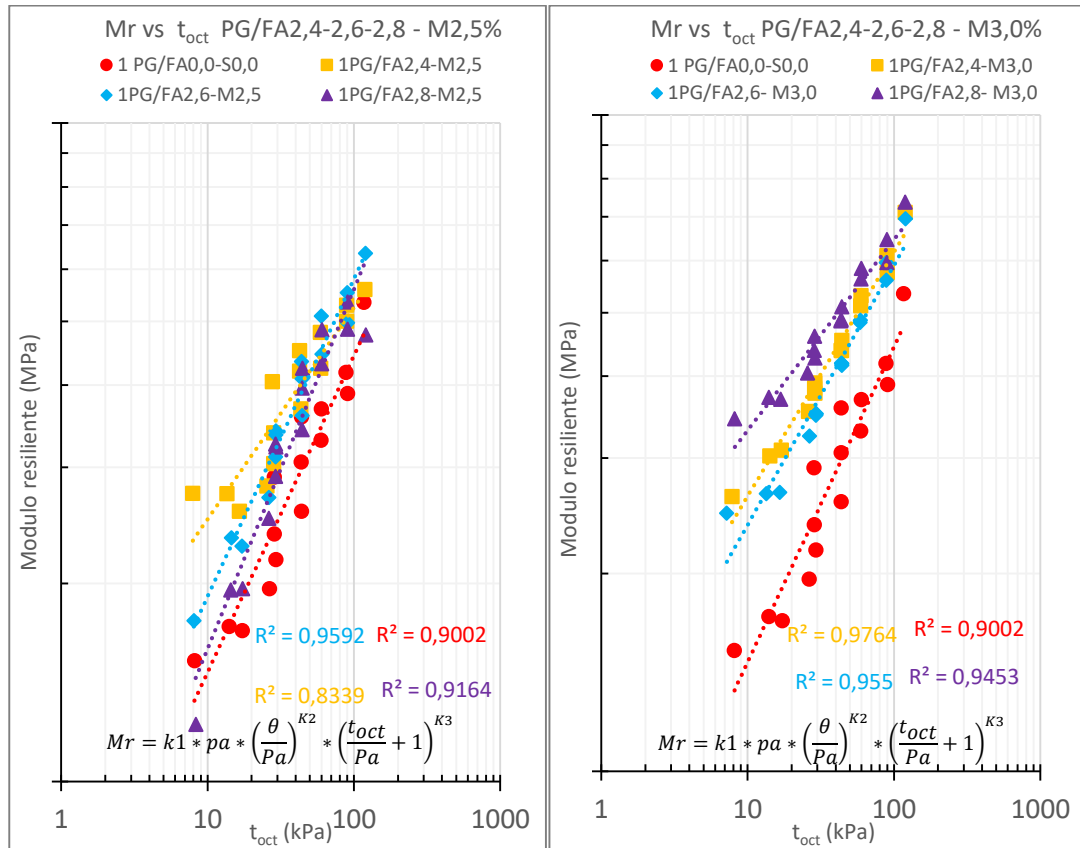
**Resultados de Mr vs toct, para las mezclas del material original tratadas con 3.0% de CaO o de Ca(OH)2 y FA. Fuente: Elaboración del autor**



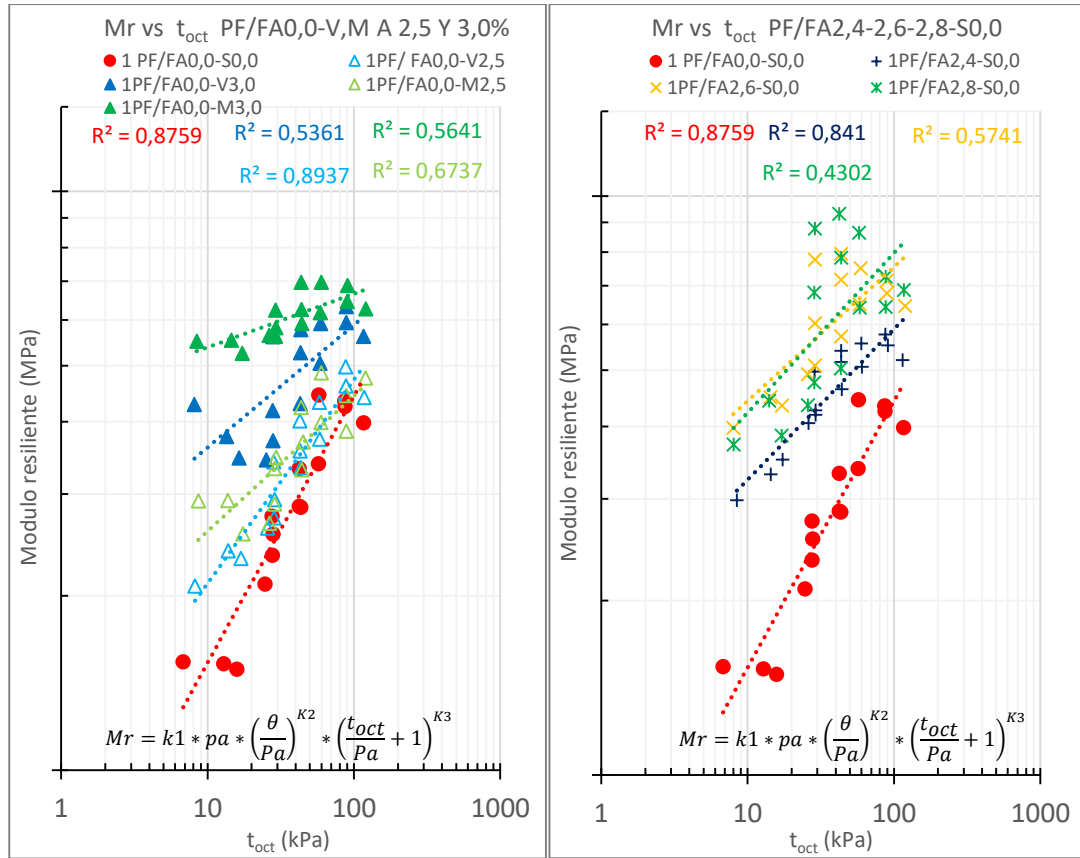
**Resultados de Mr Vs toct para el material PG virgen y para las mezclas tratadas conjuntamente con CaO y FA. Fuente: Elaboración del autor.**



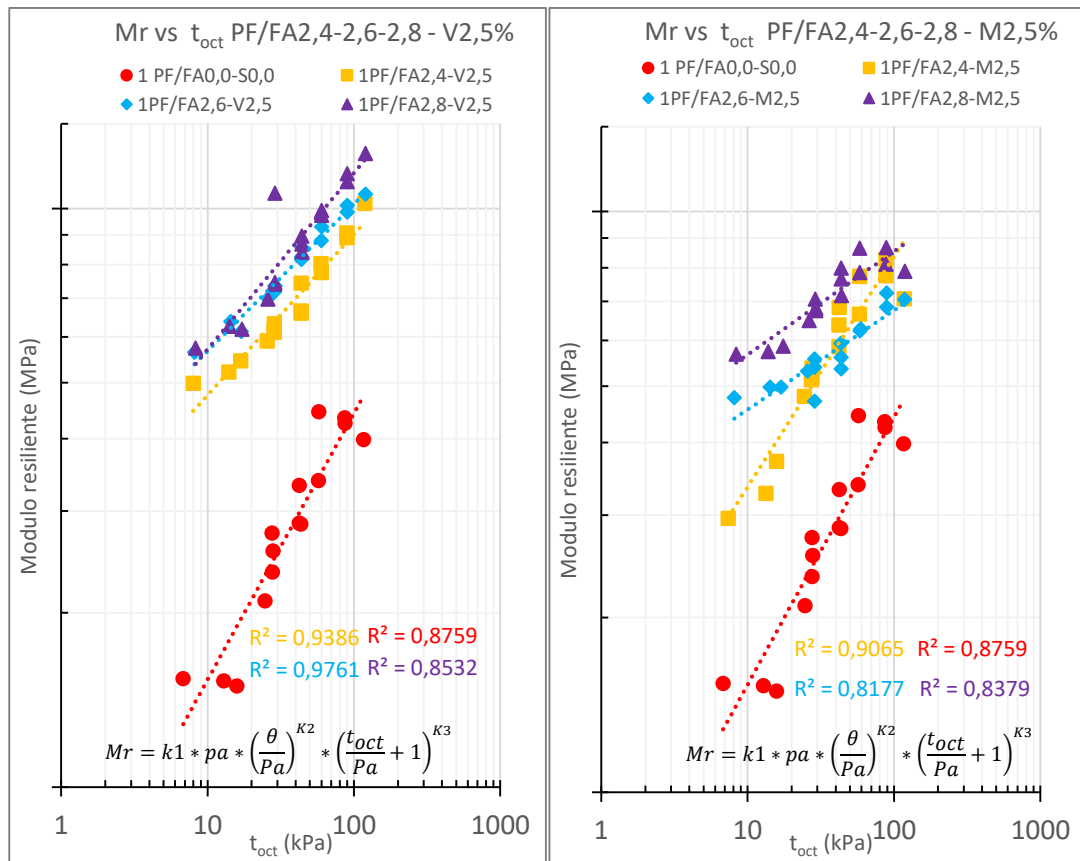
**Resultados de Mr vs toct para las mezclas tratadas con Ca(OH)2 y estabilizadas con FA. Fuente: Elaboración del autor.**



**Resultados de Mr vs toct, para el material PF virgen y mezclas tratadas solo con 2.5% o 3.0% de CaO o CA(OH)<sub>2</sub> y mezclas estabilizadas con solo FA. Fuente: Elaboración del autor.**

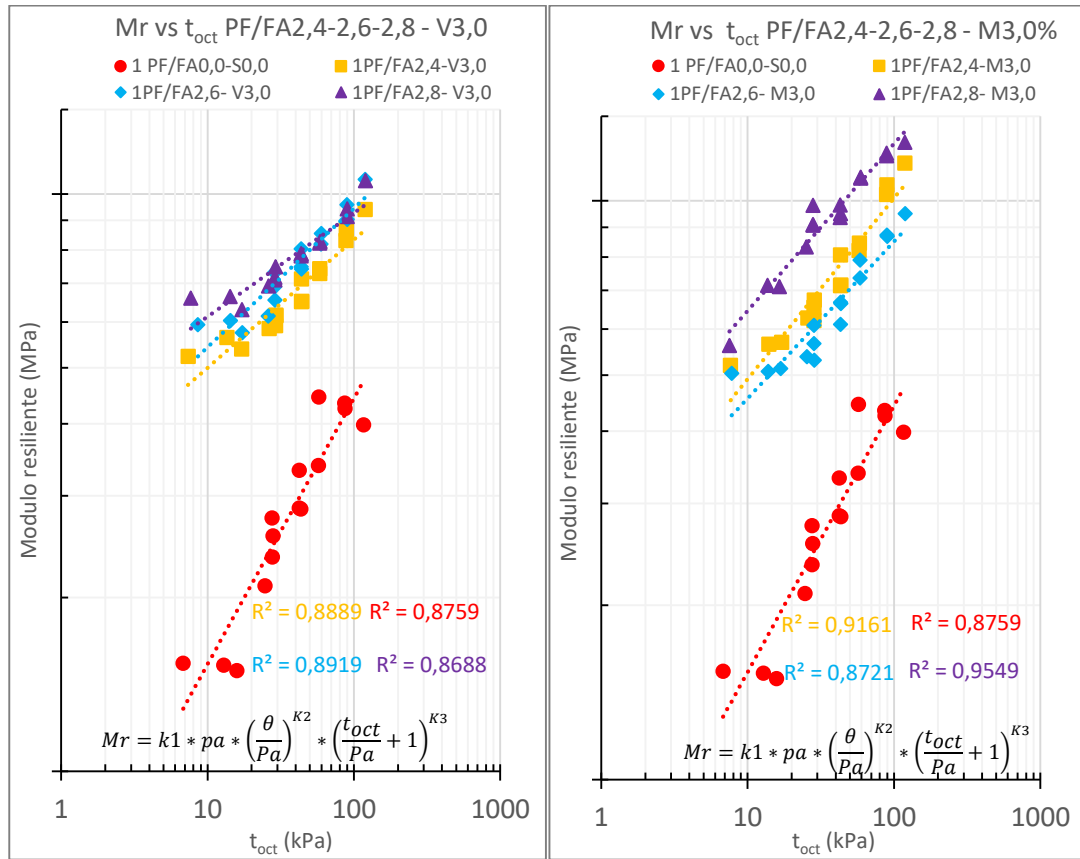


**Resultados de Mr vs toct para las mezclas del material original tratadas con 2.5% de CaO o de Ca(OH)2 y FA. Fuente: Elaboración del autor.**



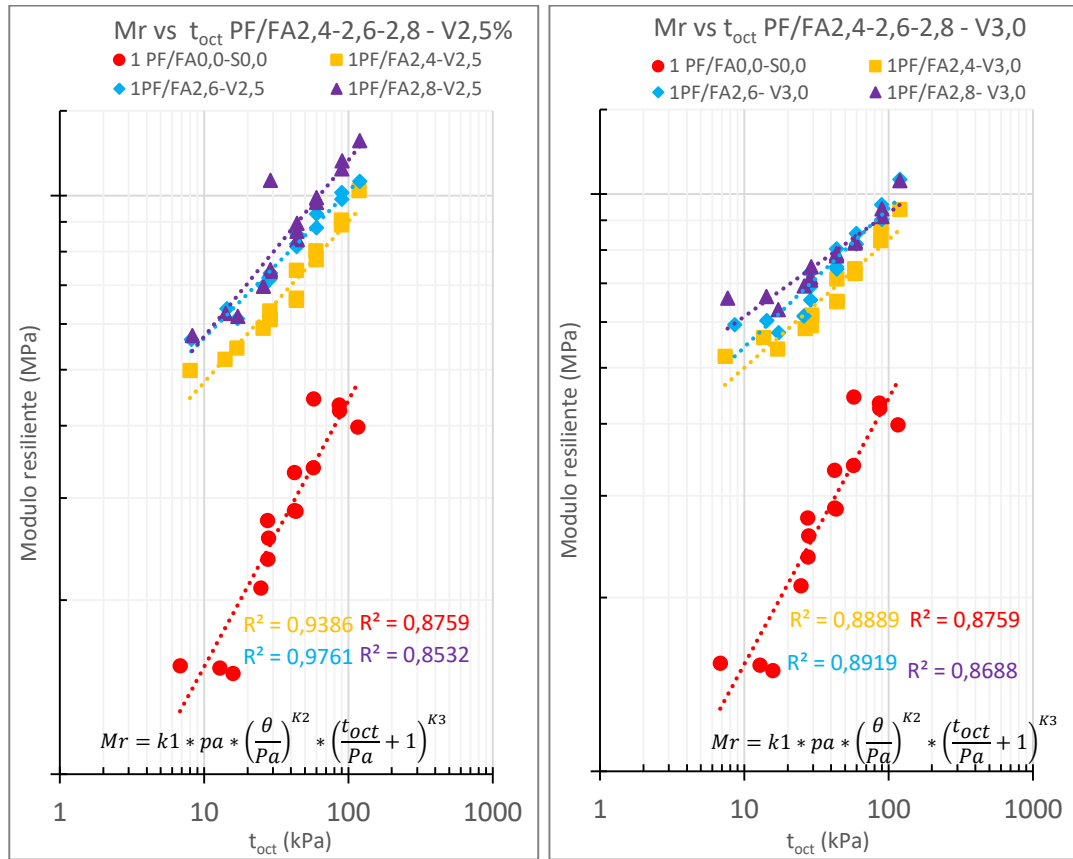


**Resultados de Mr vs toct para las mezclas del material original tratadas con 3.0% de CaO o de Ca(OH)2 y FA. Fuente: Elaboración del autor.**



**Resultados de Mr vs toct para las mezclas tratadas con CaO y estabilizadas con FA.**

Fuente: Elaboración del autor.



**Resultados de Mr -  $\theta$  para las mezclas tratadas con Ca(OH)<sub>2</sub> y estabilizadas con FA.**

Fuente: Elaboración del autor.

