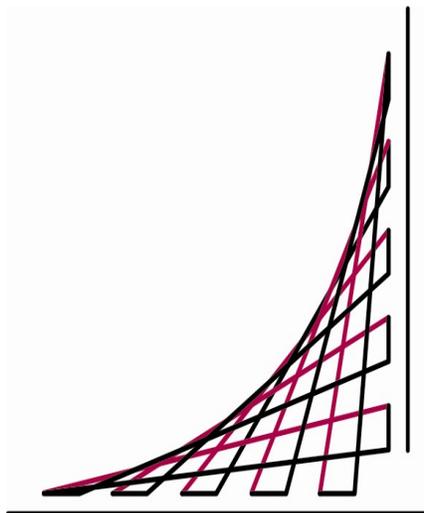


**CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIBILIDAD Y RESISTENCIA DE ARCILLAS
TÍPICAS DEL DEPÓSITO LACUSTRE DE BOGOTÁ**



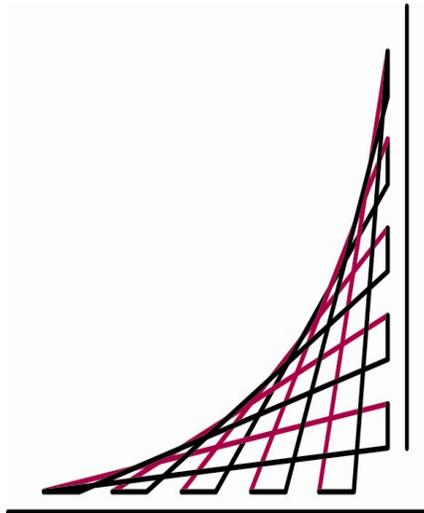
DANILO MONTAÑA SANABRIA

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO**

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

**BOGOTÁ D.C.
2013**

**CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIBILIDAD Y RESISTENCIA DE ARCILLAS
TÍPICAS DEL DEPÓSITO LACUSTRE DE BOGOTÁ**



DANILO MONTAÑA SANABRIA

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO
DE MAGISTER EN INGENIERÍA CIVIL CON ÉNFASIS EN GEOTECNIA**

DIRECTOR: ING. JORGE ENRIQUE DURÁN G.

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO**

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C.

2013

Nota de Aceptación:

Luego de haber revisado el texto del presente trabajo de grado y escuchar la presentación del mismo por parte del autor, Danilo Montaña Sanabria, el jurado acordó que el trabajo cumple a satisfacción con los objetivos planteados y por lo tanto lo aprueba como requisito para dar por culminados los estudios de Maestría en Ingeniería civil con énfasis en Geotecnia.

Jurado

Jurado

Director

Bogotá D.C, Mayo de 2013

*Con todo mi Amor a mi Esposa María
Cristina y a mis Hijos Danilo Esteban y
Juan David, quienes han sido y serán la
razón de mí existir.*

Danilo M.

Agradecimientos:

A la Dirección de la Maestría y a la Coordinación del énfasis en Geotecnia de la ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO, por haberme permitido ser uno de sus alumnos.

Al Señor Ingeniero Jorge Enrique Durán, por sus valiosos aportes y dirección del presente trabajo.

Al Señor Gregorio Rojas y Señora Alicia Pretel Berrocal, propietarios del laboratorio Suelos y Pavimentos Gregorio Rojas & Cía Ltda., por su apoyo incondicional y valiosa colaboración al permitir que en sus instalaciones y con sus equipos se llevaran a cabo algunos de los ensayos de consolidación para este trabajo.

A la dirección de los laboratorios de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia UNIAGRARIA, por su aporte, al permitir que en las instalaciones del laboratorio de Geotecnia y con sus equipos, se realizaran algunos de los ensayos de consolidación, triaxiales y clasificación.

RESUMEN

El presente estudio se orientó hacia la caracterización avanzada de los parámetros de compresibilidad y resistencia de las arcillas lacustres de la sabana de Bogotá en un sitio típico del depósito. Para tal efecto se llevó a cabo una exploración tipo perforación con muestreo de alta calidad y con ensayos de campo y de laboratorio confiables. De esta manera se desarrollaron ensayos de laboratorio de consolidación y de resistencia tipo triaxial con el fin establecer esos parámetros y estudiar su sensibilidad a algunas variaciones en los factores de ejecución de los ensayos de compresibilidad.

Además, se encontraron correlaciones entre los ensayos de campo y los obtenidos en el laboratorio, con un determinado grado de confiabilidad, y se estableció la aplicabilidad de las correlaciones obtenidas y sus limitaciones.

De otra parte, se presenta la importancia del estudio, con el fin de que se estudie la importancia de este en el desarrollo de actividades orientadas al mismo objetivo en el futuro inmediato.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	15
2.	OBJETIVOS.....	17
2.1	OBJETIVO GENERAL	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3.	LOCALIZACIÓN DEL DEPÓSITO	18
4.	CORRELACIONES DE COMPRESIBILIDAD OBTENIDAS EN TRABAJOS DE INVESTIGACIONES ANTERIORES	19
4.1	CORRELACIONES TÍPICAS DE CC A NIVEL GENERAL	19
4.2	CORRELACIONES DE C _c A NIVEL LOCAL.....	20
4.3	ESTADO DEL ARTE, VALORES TÍPICOS DE C _c Y OTRAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS DE BOGOTÁ.....	20
4.4	VALORES TÍPICOS DEL COEFICIENTE DE CONSOLIDACIÓN c _v	22
5.	EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO PARA EL ESTUDIO.....	23
5.1	EQUIPO Y NUMERO DE MUESTRAS.....	23
5.2	ENSAYOS DE CAMPO.....	25
5.3	DEDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA CON VELETA DE CAMPO.....	26
6.	PERFIL ESTRATIGRÁFICO	28
6.1	DATOS TOMADOS EN EL PERFIL DE CAMPO	28
6.2	ESTRATIGRAFÍA.....	28
6.3	POSICIÓN DEL NIVEL FREÁTICO.....	29
7.	ENSAYOS DE CAMPO Y DE LABORATORIO.....	31
7.1	CONTENIDO DE HUMEDAD Y LÍMITES DE ATTERBERG.....	31
7.2	COMPRESIÓN TRIAXIAL UU (TX).....	33
7.3	RESISTENCIA CON VELETA DE CAMPO.....	37
7.4	CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL.....	37
7.4.1	Montaje de muestras.....	38
7.4.2	Procedimiento	39
7.4.3	Determinación de propiedades de compresibilidad.....	39
7.4.4	Determinación de características de compresibilidad	42
8.	RESULTADOS	44
8.1	PROPIEDADES ÍNDICE (LL, LP, IP, ω_n , IL, IC, e, S, γ_t)	44
8.2	RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO.....	46
8.2.1	Con veleta de campo	46
8.2.2	En cámara triaxial	48
8.3	ESFUERZOS EN EL DEPÓSITO DE SUELO.....	48
8.4	COMPRESIBILIDAD	51
8.4.1	Índices de Compresión, Recompresión y Expansión (C _c , C _r , C _s)	51
8.4.2	Índice de Compresión de campo C _c (campo).....	51
8.4.3	Presión de preconsolidación (σ'_p)	52
8.4.4	Relación de sobre consolidación (RSC)	52

8.4.5	Coeficiente se consolidación c_v	52
9.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	67
9.1	RESISTENCIA AL CORTE	67
9.2	RELACIÓN DE ESFUERZOS.....	69
9.2.1	Relaciones propuestas por Jamiolkowski y Mesri	69
9.2.2	Comprobación de las relaciones de Jamiolkowski y Mesri.....	71
9.2.3	Análisis con los resultados obtenidos	72
9.3	CORRELACIONES DE COMPRESIBILIDAD.....	75
9.3.1	Variación del σ'_p de varios tipos de ensayos de consolidación.....	75
9.3.2	Relación entre los índices de recompresión y expansión, Cr/Cs.	75
9.3.3	Relación entre los índice de compresión, recompresión y expansión. Cs/Cc y Cr/Cc.....	76
9.3.4	Correlación entre el Índice de compresión virgen, Cc, y el Límite Líquido, LL.....	77
9.3.5	Correlación entre el Índice de Compresión virgen, Cc, y el Contenido de Humedad Natural, ω_n	78
9.3.6	Correlación entre el Índice de Compresión Virgen, Cc, y la Relación de Vacíos, e_o	79
9.3.7	Correlación entre el Índice de Expansión, Cs, y el Límite Líquido, LL.	80
9.3.8	Correlación entre el Índice de Expansión, Cs, y el Contenido de Humedad Natural, ω_n	81
9.3.9	Correlación entre el Índice de Expansión, Cs, y la relación de vacíos e_o	82
9.4	COMPARACIÓN ENTRE CORRELACIONES AQUÍ OBTENIDAS Y ALGUNAS CONOCIDAS ..	83
9.4.1	Entre Índice de compresión, Cc, vs Límite Líquido, LL.	83
9.4.2	Entre el índice de Compresión, Cc, vs el Contenido de Humedad Natural, ω_n	85
9.4.3	Entre el Índice de Compresión virgen, Cc, vs la Relación de Vacíos e_o	86
10.	CONCLUSIONES	88
11.	RECOMENDACIONES	91
12.	BIBLIOGRAFÍA	93

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Símbolos utilizados	13
Tabla 2. Valores de referencia de la consistencia del suelo.....	14
Tabla 3. Valores de sensibilidad del suelo	14
Tabla 4. Características zona geotécnica Lacustre A.....	18
Tabla 5. Correlaciones difundidas mundialmente	19
Tabla 6. Correlaciones de Cc para las arcillas de Bogotá.	20
Tabla 7. Valores de propiedades del suelo calle 92 Bogotá.....	21
Tabla 8. Valores de propiedades del suelo en el norte de Bogotá	22
Tabla 9. Valores de propiedades del suelo en la ECI.....	22
Tabla 10. Valores típicos del coeficiente de consolidación de los suelos	22
Tabla 11. Número y profundidad de muestras	24
Tabla 12. Cálculo de las propiedades índices del suelo	33
Tabla 13. Presiones de cámara en ensayo triaxial.....	34
Tabla 14. Resultados de las propiedades índice.....	44
Tabla 15. Resultados de Su obtenidos con veleta de campo	47
Tabla 16. Resultados de Su con ensayos triaxiales.....	48
Tabla 17. Resultados de los índices de compresibilidad	51
Tabla 18. Resultados Cc(campo).....	51
Tabla 19. Presión de preconsolidación y esfuerzos efectivos.....	52
Tabla 20. Resultados de Relación de sobreconsolidación.....	52
Tabla 21. Resultados de Coeficiente de consolidación c_v	53
Tabla 22. Resumen de resultados obtenidos de ensayos de resistencia Su	67
Tabla 23. Resumen de los Resultados obtenidos.....	68
Tabla 24. Valores de esfuerzos en suelo ligeramente sobreconsolidado	71
Tabla 25. Relaciones de Resistencia - Esfuerzos.....	71
Tabla 26. Valores obtenidos recomendados por Jamiolkowski.....	72
Tabla 27. Valores de la relación S_u/σ'_p	73
Tabla 28. Presión de preconsolidación según el tipo de ensayo de consolidación realizado	75
Tabla 29. Relación C_r/C_s	76
Tabla 30. Relación C_s/C_c y C_r/C_c	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Geometría de la veleta cónica de campo utilizada	26
Figura 2. Perfil de campo obtenido en el proceso exploratorio	30
Figura 3. Método gráfico para obtener el LL	32
Figura 4. Representación gráfica del ensayo de compresión triaxial	35
Figura 5. Representación gráfica de esfuerzos en prueba triaxial	36
Figura 6. Montaje del suelo en el consolidómetro	39
Figura 7. Curva de deformación, método de Taylor	40
Figura 8. Modelación del suelo en el proceso de consolidación	41
Figura 9. Representación de la curva de compresibilidad.	42
Figura 10. Construcción por el método de Casagrande	43
Figura 11. Metodología para determinar C_c de campo.	43
Figura 12. Carta de clasificación de suelos de Casagrande	46
Figura 13. Variación de S_u con la profundidad.....	49
Figura 14. Esfuerzos geostáticos en el depósito de suelo.....	50
Figura 15. Presión de preconsolidación, σ'_p y esfuerzo efectivo vertical actual, σ'_{vo}	54
Figura 16. Curvas de compresibilidad para cada tipo de carga Muestra 1	55
Figura 17. Curvas de compresibilidad para cada tipo de carga Muestra 2	57
Figura 18. Curvas de compresibilidad para cada tipo de carga Muestra 3	59
Figura 19. Curvas de compresibilidad para cada tipo de carga Muestra 4	61
Figura 20. Curvas de compresibilidad para cada tipo de carga Muestra 5	63
Figura 21. Curvas de compresibilidad para cada tipo de carga Muestra 6	65

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Variación de la humedad natural y del Límite Líquido (W_n y LL) con la profundidad.	45
Gráfica 2. Variación del peso unitario con la profundidad	45
Gráfica 3. Relación S_u/σ'_{vo} , varios autores	69
Gráfica 4. Relación S_u/σ'_{vo} , obtenida por Jamiolkowski	69
Gráfica 5. Relación S_u/σ'_p , Mesri 1975.....	70
Gráfica 6. Relación S_u/σ'_p , Mesri 1975-1989.....	70
Gráfica 7. Relación resistencia al corte Vs Esfuerzo vertical con el IP	71
Gráfica 8. Valores obtenidos vs Recomendados por Jamiolkowski.....	72
Gráfica 9. Representación de la relación S_u/σ'_p	74
Gráfica 10. Correlación C_c vs LL	77
Gráfica 11. Correlación C_c vs ω_n	78
Gráfica 12. Correlación entre C_c y e_o	79
Gráfica 13. Correlación C_s vs LL	80
Gráfica 14. Correlación C_s vs ω_n	81
Gráfica 15. Correlación C_s vs e_o	82
Gráfica 16. Curvas de correlación entre C_c y LL.....	84
Gráfica 17. Valor medio de correlaciones conocidas (con LL entre 130% y 220%).....	85
Gráfica 18. Curvas de correlación entre C_c y ω_n	86
Gráfica 19. Curvas de correlación entre C_c y e_o	87

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Localización general del sitio del proyecto	18
---	----

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Equipo mecánico de percusión y lavado	23
Fotografía 2. Hincado del tubo Shelby	24
Fotografía 3. Obtención y conservación de muestra No. 3.....	24
Fotografía 4. Veleta cónica utilizada en la exploración.....	25
Fotografía 5. Toma de lectura de momento de giro T en el ensayo con veleta	25
Fotografía 6. DMS Preparación de suelo para ensayo de Límites.....	32
Fotografía 7. DMS realizando ensayo de LL	33
Fotografía 8. Proceso de tallado de muestra para ensayo Triaxial UU.....	35
Fotografía 9. Proceso de falla en cámara triaxial	35
Fotografía 10. Proceso de falla de muestra 4	36
Fotografía 11. Proceso de falla de muestra 5	36
Fotografía 12. Falla presentada en muestra 2	36
Fotografía 13. Falla en las muestras 3, 4, 5 y 6	36
Fotografía 14. Consolidómetros de UNIAGRARIA	38
Fotografía 15. Consolidómetros de Suelos y Pavimentos Gregorio Rojas & Cía Ltda.....	38

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Resultados ensayos propiedad índice. Límites líquido y plástico, y contenido de humedad	94
ANEXO 2. Resultados ensayos de compresión triaxial	101
ANEXO 3. Resultados ensayos de consolidación con LIR=1.0: $t_f=t_{100}$ y rebote intermedio.....	108
ANEXO 4. Resultados ensayos de consolidación con LIR=0.5 en las proximidades de σ'_p y $t_f=t_{100}$	140
ANEXO 5. Resultados Ensayos de consolidación con LIR=1.0 y carga cuando $t_f=24$ horas	147

Tabla 1. Símbolos utilizados

Símbolo	Definición	Unidad
ω	Contenido de Humedad Natural	%
LL	Contenido de agua en el límite líquido	%
LP	Contenido de agua en el límite plástico	%
IP	Índice de plasticidad	%
IL	Índice de liquidez	--
IC	Índice de consistencia	--
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos	--
γ_t	Peso unitario total	kN/m ³
γ_d	Peso unitario seco	kN/m ³
γ'	Peso unitario efectivo	kN/m ³
G_s	Gravedad específica del suelo	--
S	Grado de saturación del suelo	%
ε	Deformación unitaria en ensayo triaxial	%
Ac	Área corregida en ensayo triaxial	cm ²
σ_1	Esfuerzo principal mayor en ensayo triaxial	kPa
σ_2	Esfuerzo principal menor en ensayo triaxial	kPa
σ_d	Esfuerzo desviador en ensayo triaxial	kPa
T	Momento de giro en el ensayo de veleta	Lb-ft
Su	Resistencia del suelo al corte no drenado	kPa
λ	Factor de corrección de Bjerrum a Su	--
St	Sensitividad del suelo arcilloso	--
σ'_p	Esfuerzo de preconsolidación	kPa
σ'_{vo}	Esfuerzo efectivo vertical	kPa
C_c	Índice de compresión	--
C_r	Índice de recompresión	--
C_s	Índice de expansión	--
C_v	Coefficiente de consolidación	cm ² /s
OCR	Relación de sobreconsolidación	--
e_o	Relación de vacíos inicial	--
LIR	Load Increment Ratio (Relación de incremento de carga en ensayo de consolidación)	--

VALORES DE REFERENCIA

Los valores que se presentan en la Tabla 2 y 3, se tendrán como referencia para definir grado de consistencia del suelo y sensibilidad (sensibilidad) del mismo.

Tabla 2. Valores de referencia de la consistencia del suelo

Consistencia del suelo	Resistencia al corte no drenado S_u (kPa)
Muy blando	< 12.5
Blando	12.5 - 25
Mediano	25 - 50
Firme	50 - 100
Muy firme	100 - 200
Dura	>200

Tabla 3. Valores de sensibilidad del suelo

Clasificación	Rangos de sensibilidad
No sensitivo	< 2
Sensitividad media	2 a 4
Sensitivo	4 a 8
Muy sensitivo	8 a 16
Licuable	>16

1. INTRODUCCIÓN

La sabana de Bogotá está constituida por un gran depósito de suelos, predominantemente arcillas y limos, de origen lacustre, formados durante la última era.

La ciudad de Bogotá y algunas poblaciones circunvecinas como Chía, Cota, Funza, Mosquera, Cajicá, entre otras; se encuentran construidas sobre un gran depósito de materiales térreos predominantemente arcillosos, originados a partir de partículas depositadas en zonas inundadas tipo laguna o pantanos que existieron anteriormente en este territorio.

La formación de la sabana de Bogotá presenta características especiales de los suelos subyacentes a diferentes profundidades, en cuanto a resistencia y compresibilidad.

Las arcillas del depósito lacustre se han catalogado como problemáticas para la construcción de cimentaciones o para llevar a cabo proyectos de excavación o rellenos, especialmente por presentar poca estabilidad, baja resistencia y alto grado de compresibilidad.

En la mayoría de estudios de suelos que se hacen para proyectos de la ciudad de Bogotá es poca la caracterización que se hace de los materiales en el laboratorio con el fin de establecer propiedades confiables, que posteriormente permitan estimar el comportamiento de las cimentaciones a largo plazo, especialmente en cuanto a deformaciones del suelo manifestadas por medio de los asentamientos elásticos, por consolidación primaria y secundaria.

Para determinar las posibles deformaciones que se presentan en el suelo a causa de las cargas externas, que luego se manifiestan en asentamientos por consolidación, intervienen muchas variables, dentro de las cuales se pueden considerar:

- Magnitud de las cargas a nivel de cimentación.
- Calidad del proceso exploratorio.
- Precisión en la ubicación de los niveles piezométricos.
- Calidad de los especímenes extraídos del subsuelo.
- Confiabilidad de los ensayos realizados (operarios, equipos, condiciones ambientales, metodologías de ensayo).
- Propiedades reológicas del depósito.
- Propiedades de consolidación (relación de vacíos inicial y final e_0 , Esfuerzo vertical efectivo σ'_{vo} , esfuerzo de preconsolidación σ'_p , índice de compresión C_c , índice de recompresión C_r , índice de expansión C_s , coeficiente de consolidación c_v).
- Propiedades índices: contenido de humedad ω , límites de consistencia LL, LP, LC, peso unitario γ_t , gravedad específica G_s .

De lo anterior, es importante establecer que la determinación del esfuerzo vertical efectivo σ'_{vo} y el esfuerzo de preconsolidación σ'_p son parámetros relevantes en las propiedades reológicas de consolidación, las cuales, pueden ser inexactas debido a varias causas, entre las que se destacan:

- El grado de alteración (Remoldeo) de las muestras ensayadas.
- Variación en la metodología de ensayo de consolidación (Lento, ensayo estándar con incremento de carga cada 24 horas ó ensayo rápido con incremento de cargas cuando se alcance el valor de t_{100}).
- Ensayo estándar con relación de incrementos de carga $LIR=1.0$ —
- Ensayo especial con relación de incremento de carga $LIR<1.0$ — , en las proximidades de la preconsolidación σ'_p .

La importancia de establecer con cierta precisión los valores de los esfuerzos de preconsolidación σ'_p , corresponde, a que de éste valor dependen la estimación de asentamientos por consolidación, a la vez que define plenamente si el suelo es normalmente consolidado, preconsolidado o fuertemente sobreconsolidados.

2. OBJETIVOS

A continuación se presenta el objetivo general y los objetivos específicos planteados para el desarrollo del trabajo.

2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo de éste trabajo es el de establecer por medio de pruebas de campo y laboratorio las propiedades del suelo en cuanto a consolidación y resistencia al corte no drenado, en un sitio de la Ciudad de Bogotá. Se determinarán las propiedades a diferentes profundidades que estén entre la superficie y 30 m de profundidad. Se establecerán las relaciones que existen entre los diferentes factores de compresibilidad y resistencia del suelo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Hacer una perforación en cercanías de la pista sur del Aeropuerto el Dorado, en la Ciudad de Bogotá, hasta 30 m de profundidad, de la cual se extraerán muestras inalteradas para ensayarlas en el laboratorio. Se medirá la posición del nivel freático y se harán pruebas de resistencia con la veleta de campo para obtener **Su**.
- Hacer ensayos básicos de caracterización y clasificación de los suelos que se sometan a ensayos de consolidación.
- A las muestras se les realizará ensayos de compresión triaxial en condición no consolidada no drenada para obtener **Su**.
- Realizar ensayos de consolidación para 3 condiciones de carga a la misma muestra. Ensayo de consolidación con LIR = 1.0 y tiempo de carga cada 24 horas, LIR = 1.0 y tiempo de carga cada que se alcance t_{100} y LIR = 0.5 en las proximidades de la presión de pre-consolidación y tiempo de carga cada que se alcance t_{100} . Luego hacer la comparación y análisis de los resultados obtenidos en gráficos e_0 vs $\log \sigma'_v$.
- Determinar para cada uno de los casos el valor de **Cc**, **Cr**, σ'_p y relación de sobre consolidación OCR.
- Establecer, si existe, la relación entre las propiedades índice y las propiedades reológicas de los suelos ensayados.
- Establecer la relación entre las propiedades de consolidación y la resistencia cortante no drenada, medida con veleta de campo y ensayo triaxial **UU**, **TX(UU)**.

3. LOCALIZACIÓN DEL DEPÓSITO

Se realizó una perforación a 30 m de profundidad en inmediaciones de la Pista sur del Aeropuerto El Dorado, perteneciente a la Localidad 9 de Fontibón, Barrio Brisas Aldea Fontibón. El predio donde se llevó a cabo la exploración, se encuentra delimitado por el Norte con la Pista sur, por el sur con la calle 22C, por el este con la Transversal 129B y por el Oeste con la carrera 131 (aún sin construir). En la imagen 1 se presenta la localización del sitio exploración.

Imagen 1. Localización general del sitio del proyecto

(Imagen Tomada y adaptada de Google earth)



De acuerdo con la microzonificación sísmica de Bogotá, el depósito objeto de estudio se localiza en la zona geotécnica y sísmica que se presenta a continuación.

- Zonificación Geotécnica 2010 = Lacustre **A**
- Zonificación respuesta sísmica 2010 = Lacustre **500**

La descripción de la zona geotécnica se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Características zona geotécnica Lacustre A

ZONA GEOTÉCNICA	GEOTECNIA	GEOLOGÍA	GEOMORFOLOGÍA	COMPOSICIÓN PRINCIPAL	COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO GENERAL
Lacustre A	Suelo lacustre muy blando	Terraza alta lacustre	Planicie	Arcillas limosas muy blandas	Suelos de muy baja a media capacidad portante.

4. CORRELACIONES DE COMPRESIBILIDAD OBTENIDAS EN TRABAJOS DE INVESTIGACIONES ANTERIORES

A continuación se comentan algunos trabajos realizados en suelos de la sabana de Bogotá y correlaciones entre algunas características de compresibilidad y otras propiedades del suelo.

Se comentan correlaciones obtenidas por diversos investigadores, mencionadas en la literatura técnica geotécnica. También se menciona trabajos realizados a nivel local.

4.1 CORRELACIONES TÍPICAS DE C_c A NIVEL GENERAL

En la literatura técnica se encuentran correlaciones para el índices de compresión C_c e índice de expansión C_s , los cuales se referencia en la Tabla 5.

Tabla 5. Correlaciones difundidas mundialmente

RELACIÓN ENTRE C_c y C_s y OTRAS PROPIEDADES DEL SUELO, MÁS DIFUNDIDAS A NIVEL MUNDIAL.		
Relación propuesta	Autor del estudio	Suelo caracterizado
$C_c = -$	Terzaghi y Peck	Arcilla de Chicago
$C_c = -$	Skempton	Arcilla de Londres
$C_c = -$	Cozzolino	Arcilla de Sao Pablo
$C_c = -$	Marsal y Mazari	Arcilla de México
$C_c =$	Azzouz, Krizek y Corotis (1976)	Arcilla de Chicago.
$C_c = +$	Azzouz, Krizek y Corotis (1976)	Arcilla de Chicago.
$C_c = 1.2 \left(\begin{matrix} \\ \end{matrix} \right)$	Rendón – Herrero (1980)	----
$C_c = \left(\begin{matrix} \\ \end{matrix} \right)$	Nagaraj y Murthy	----
$C_s = \left(\begin{matrix} \\ \end{matrix} \right)$	Nagaraj y Murthy	----
$C_s = +$	Martín y otros (1995)	Suelos de Richmond, Virginia
$\frac{C_s}{C_c} = \begin{matrix} 1 & 1 \\ 5 & 10 \end{matrix}$	Varios	----

Donde:

- $G_s =$ Gravedad específica
- $w =$ Humedad natural
- $LL =$ Límite líquido

4.2 CORRELACIONES DE Cc A NIVEL LOCAL

Son innumerables los estudios que se han realizado para los suelos de Bogotá, sin embargo, se destacan los trabajos realizados por el Ing. Julio Moya (QEPD); quien presentó correlaciones entre Cc y la humedad natural y el límite líquido del suelo.

Otros estudios presentan la relación entre Cc con otras propiedades del suelo. Resultados de dichos estudios se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Correlaciones de Cc para las arcillas de Bogotá.

RELACIÓN ENTRE Cc Y OTRAS PROPIEDADES DEL SUELO, DEL DEPÓSITO DE ARCILLA DE BOGOTÁ	
Relación propuesta	Autor del estudio
Cc = -	Ing. Julio Moya
Cc = -	
Cc = -	Tarazona Castro y González
Cc = -	
Cc = -	
Cc = -	
Cc = -	Dumar y Fernández
Cc = +	Orlando Paredes Mesa
Cc = +	Hernando Uribe Ángel
Cc = -	Ingeominas
Cc = -	

4.3 ESTADO DEL ARTE, VALORES TÍPICOS DE Cc Y OTRAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS DE BOGOTÁ.

En el trabajo de grado “Características de Compresibilidad del depósito lacustre de arcillas de la Escuela Colombiana de Ingeniería” presentado por el Ingeniero Ferney Alonso Pachón Gómez; se relacionan trabajos de estudios de Suelos en diferentes zona de la Ciudad de Bogotá. (Ver trabajo de grado, páginas 100 a 123).

De los trabajos mencionados se destacan los desarrollados por los Ingenieros Augusto Espinosa Silva y Aquiles Arrieta (finales de 1975), quienes encontraron correlaciones tales como:

Cc = + Para Arcillas Pre-consolidadas de Bogotá.

Cc = + Para Arcilla Normalmente Consolidadas de Bogotá.

A finales de 1974, los Ingenieros J. González, E. Castro y P. Tarazona; Encontraron para las arcillas del depósito de Bogotá las siguientes correlaciones:

Cc = - Cc = - Cc = -
 Cc = - Cc = - Cc = + -
 Cc = + - Cc = + -

Otras correlaciones han sido obtenidas a partir de estudios desarrolladas por la Universidad de Los Andes, Javeriana e Ingeominas, entre otros. Comentarios al respecto se pueden ver en el trabajo de grado del Ing. Pachón que reposa en la Biblioteca de Escuela Colombiana de Ingeniería.

De diferentes estudios realizados en el depósito de arcillas de Bogotá se pueden destacar los realizados por Ing. Julio Moya e Ing. Germán Escobar, en el proyecto del puente de tercer nivel en inmediaciones de la calle 92 con Av NQS.

Del estudio de suelos realizados se encontraron valores típicos de las propiedades del suelo, las cuales se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Valores de propiedades del suelo calle 92 Bogotá

PROPIEDADES DEL SUELO EN CALLE 92 CON Av NQS				
Propiedad	Valor			
Profundidad	5.0 m	15.5 m	36.0 m	55.5 m
W (%)	108	90	46	79
LL (%)	214	116	71	111
LP (%)	66	34	30	44
e _o	2.81	2.39	1.14	2.080
Cc	1.575	1.535	0.53	1.36
Cr	0.233	0.118	0.066	0.177
RSC	5.51	1.51	1.43	1.04
Su (T/m ²)	3.5	2.3	2.5	3.6

En la Tabla 8 se presentan las propiedades del suelo, encontradas por el Ing. Jorge Enrique Durán en un estudio de suelos realizado en el Parque Cementerio Jardines del Recuerdo.

Tabla 8. Valores de propiedades del suelo en el norte de Bogotá

PROPIEDADES DEL SUELO EN EL PARQUE CEMENTERIO JARDINES DEL RECUERDO			
Propiedad	Valor		
<i>Profundidad</i>	3.0-8.0 m	8.0-14.0 m	14.0-20.0 m
W (%)	147	127	142
LL (%)	159	145	184
LP (%)	64	59	60
e _o	2.95	3.1	3.6
Cc	1.7	1.8	1.9
Cr	0.10	0.15	0.2
RSC	3.0	1.7	1.15

Un estudio llevado a cabo en el campus de la Escuela Colombiana de Ingeniería, presentó los valores de propiedades del suelo que se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Valores de propiedades del suelo en la ECI

PROPIEDADES DEL SUELO EN EL CAMPUS DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA			
Propiedad	Valor		
<i>Profundidad</i>	1.2-1.6 m	3.9-4.3 m	6.2-6.6 m
e _o	3.32	2.8	4.68
Cc	1.4	1.94	3.1
Cr	0.06	0.18	0.35
RSC	11.3	2.1	1.33

4.4 VALORES TÍPICOS DEL COEFICIENTE DE CONSOLIDACIÓN c_v

Algunos valores típicos del coeficiente de consolidación c_v , se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Valores típicos del coeficiente de consolidación de los suelos

VALORES TÍPICOS DEL COEFICIENTE DE CONSOLIDACIÓN			
Tipo de suelo	SUCS	C_v (10^{-4} cm ² /s)	Referencia
Arcilla azul de Boston	CL	40 ± 20	Ladd y Luscher, 1965
Limo orgánico	OH	2 -10	Lowe, Zaccheo y Feldamna, 1964
Arcilla glacial de lagos	CL	6.5-8.7	Wallace y Otto, 1964
Arcilla limosa de Chicago	CL	8.5	Terzaghi y Peck, 1967
Arcilla Sueca de sensibilidad media	CL-CH	0.4-0.7	Holtz y Broms, 1972
Arcilla de la Bahía de San Francisco	CL	2-4	-----
Arcilla de la ciudad de México	MH	0.9-1.5	Leonards y Girault, 1961

Tomado y traducido de An Introduction to Geotechnical Engineering, Second Edition: Robert D. Holtz, William D. Kovacs, Thomas C. Sheahan.

5. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO PARA EL ESTUDIO

La exploración del suelo se desarrolló con equipo mecánico de percusión y lavado, con diámetro de encamisado de 3 ¼". La Exploración la hizo la Empresa Suelos y Pavimentos Gregorio Rojas & Cía. Ltda.

5.1 EQUIPO Y NUMERO DE MUESTRAS

El equipo utilizado en la exploración tiene capacidad hasta de 60 m de profundidad, el varillaje es de 1 ½" de diámetro. Para la extracción de las muestras se utilizaron tubos de pared delgada tipo shelby de 3" de diámetro. Para las pruebas de campo se utilizó una Veleta Estándar para ensayo de resistencia y torcómetro con capacidad máxima de torsión T de 70 lb-ft.

Para las actividades de exploración se emplearon las metodologías estandarizadas que se presentan a continuación:

- Investigación de Suelos y Rocas con propósitos de ingeniería (INV E-101, ASTM D-420),
- Ensayo de Corte sobre suelos cohesivos en el terreno usando la Veleta (INV E 170, ASTM D-2573, AASHTO T-223)
- Obtención de muestras para probetas de ensayo mediante tubos de pared delgada (INV E-105 07, ASTM D-1587, AASHTO T-207, ICONTEC 2121).

En la Fotografía 1 se presenta el equipo utilizado en el proceso de exploración. En la Fotografía 2 se presenta el proceso de hincado del tubo Shelby.



Fotografía 1. Equipo mecánico de percusión y lavado



Fotografía 2. Hincado del tubo Shelby

De acuerdo con el plan de exploración planteado con el Señor Director del trabajo, se obtuvieron 6 muestras a diferentes profundidades, tal como se describen en la Tabla 11. En la Fotografía 3 se presenta la obtención y conservación de la muestra 3.

Tabla 11. Número y profundidad de muestras

Muestra No.	Tipo de Muestra	Profundidad de extracción (m)
1	Shelby	2.50 – 3.0
2	Shelby	5.0 – 5.50
3	Shelby	7.0 – 7.50
4	Shelby	11.0 – 11.50
5	Shelby	17.5 – 18.0
6	Shelby	27.0 – 27.50



Fotografía 3. Obtención y conservación de muestra No. 3

5.2 ENSAYOS DE CAMPO

Durante el proceso de exploración se llevó a cabo el ensayo de Veleta de Campo para determinar la resistencia al corte directamente "In situ". De manera simultánea se utilizó el ensayo de Penetración Estándar en los primeros 5.0 m de la perforación.

Se tomaron 13 mediciones a diferentes profundidades, cada una con un set de 3 hincas cada 20 cm. En el proceso se determinó la lectura del Momento de giro T (lb-ft) en estado inalterado, posteriormente se dieron en promedio 3 vueltas al varillaje para romper el suelo y dejarlo en estado alterado. Luego de 2 minutos, en promedio, se procedió nuevamente a realizar el ensayo para determinar T en estado inalterado.

En la Fotografía 4 se presenta la veleta utilizada, y en la Figura 1 el esquema de la geometría de la misma. En la Fotografía 5 se presenta la ejecución del ensayo de veleta de campo por parte de unos de los operarios asistentes a los trabajos de campo.



Fotografía 4. Veleta cónica utilizada en la exploración



Fotografía 5. Toma de lectura de momento de giro T en el ensayo con veleta

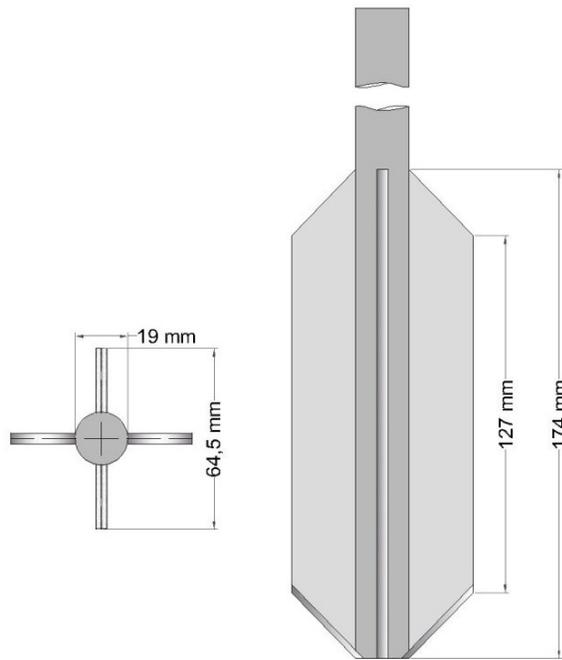


Figura 1. Geometría de la veleta cónica de campo utilizada
 (Fuente: Figura creada por el autor de este trabajo DM)

5.3 DEDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA CON VELETA DE CAMPO

A continuación se presenta la deducción completa de la resistencia **Su** del suelo en kPa, a partir del momento de giro T, leído en lb.ft, teniendo en cuenta la geometría de la veleta utilizada presentada en la Figura 1 y fotografía 4.

De acuerdo con la norma de ensayo de corte sobre suelos cohesivos en el terreno usando la veleta (INV E 170, ASTM D-2573, AASHTO T-223), se tiene:

Veleta utilizada = Cónica con $H \approx 2D$ (H altura y D diámetro de la veleta)

Dimensiones:

Dimensión	(mm)	(Pulgadas)
D=Diámetro	64.5	2.54
H=Altura de la veleta	127.0	5.00
D=Diámetro de la varilla	19.0	0.75

$$S_u = \frac{T}{K}$$

donde:

T = Constante de giro en lb.ft ó N.m

K = Constante que depende del tipo y dimensiones de la veleta (m^3 ó ft^3)

Su = Resistencia al corte del suelo kPa ó Psi

La constante K está dada por:

$$\frac{1}{10^9} \left[\quad \right] \text{ m}^3$$

$$\frac{1}{1728} \left[\quad \right] \text{ ft}^3$$

Con los valores de las dimensiones de la veleta, en unidades consistentes para cada sistema de unidades, se obtuvo:

$$K=0.00104 \text{ m}^3 \text{ y } K=0.03669 \text{ ft}^3$$

Lectura del momento de giro T:

Se utilizó un torcómetro de acero con división de escala (lectura) en lb.ft. Por lo tanto la determinación de la resistencia **Su**, se estableció empleando estas unidades o convirtiendo la lectura a N.m.

Para utilizar la lectura del momento de giro T, leído en lb.ft, se multiplica por 1.357 para obtener N.m. (valor calculado por DMS).

Determinación de Su:

Como $Su = \frac{T}{K}$	Entonces: T = Lectura de veleta en lb.ft x1.357 = Lectura en N.m
En Sistema Internacional de Unidades:	$Su = \frac{\text{lectura(lb.ft) } \times (1.357\text{N.m})}{0.00104\text{m}^3} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa}$ <p style="text-align: center;">Al dividir entre 1000 = kPa</p> <p>Con lectura de T en lb.ft → Su=T x 0.0133= kg/cm²</p> <p style="text-align: center;">Su=T x 1.3048= kPa</p>
En Sistema Ingles:	$Su = \frac{\text{lectura(lb.ft) } \times \text{ lb}}{0.03669 \text{ ft}^3} = \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}$ <p style="text-align: center;">Al multiplicar por 0.00694 = lb/in² (Psi)</p> <p style="text-align: center;">Su=T x 0.189152= psi</p>

Los valores anteriores de 1.3048 y 0.189152 se pueden establecer como constantes para determinar **Su**, en el Sistema Internacional de Unidades y Sistema Inglés, respectivamente.

6. PERFIL ESTRATIGRÁFICO

A continuación se presentan los aspectos relevantes obtenidos en el proceso exploratorio para definir la estratigrafía del sitio estudiado.

6.1 DATOS TOMADOS EN EL PERFIL DE CAMPO

En el proceso de exploración se hizo descripción visual de cada uno de los estratos encontrados y se registraron los datos de Veleta y profundidad de cada muestra. Los valores del momento de giro T con la Veleta de campo se registraron para sets de 3 lecturas en lb.ft, cada 20 cm de profundidad para la condición inalterada y remoldeada (alterada).

En los primeros 5 m de profundidad se realizó ensayo de Penetración Estándar (SPT), en el que se registraron los golpes para penetrar 15 cm. (En el análisis de resistencia con estos valores no se tuvieron en cuenta debido a los pocos datos que se pudieron obtener).

De otra parte, se tomaron los datos de las profundidades a las cuales se recuperaron las muestras inalteradas que se estudiaron en el laboratorio.

6.2 ESTRATIGRAFÍA

En el proceso de exploración hasta los 30 m de profundidad, se encontraron 6 estratos de suelo, los cuales se describieron de la siguiente manera:

Estrato 1.

De 0.00 m a 0.70 m: Pasto y raíces sobre limo orgánico negro, poroso con abundantes raíces.

Estrato 2.

De 0.70 m a 1.75 m: Limo arcilloso de color habano oscuro, poroso, con raíces, y oxidaciones, alta plasticidad y consistencia media.

Estrato 3.

De 1.75 m a 2.90 m: Arcilla de color gris claro, fisurada, con raíces y oxidaciones, alta plasticidad y consistencia media.

Estrato 4.

De 2.90 m a 5.0 m: Arcilla de color gris oscuro, con oxidaciones, algo fisurada, alta plasticidad y consistencia media.

Estrato 5.

De 5.00 m a 8.50 m: Arcilla de color gris oscuro con tonos verdes, algo fisurada, alta plasticidad y consistencia media a blanda.

Estrato 6.

De 8.50 m a 30.0 m: Arcilla limosa de color gris oscuro verdoso, de alta plasticidad y consistencia media.

6.3 POSICIÓN DEL NIVEL FREÁTICO

La determinación de la posición del nivel freático se realizó con la utilización de un piezómetro tipo Casagrande de 1/2" de diámetro, el cual, luego de 7 días se estabilizó en 3.10 m de profundidad.

La Figura 2 muestra el perfil de campo obtenido.

Figura 2. Perfil de campo obtenido en el proceso exploratorio

Figura 2.			PROYECTO:	CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIBILIDAD Y RESISTENCIA DE ARCILLAS TÍPICAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ.							
PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE CAMPO			LOCALIZACIÓN:	COSTADO SUR AEROPUERTO EL DORADO							
Prof. (m)	ESTRATO (DESCRIPCIÓN DEL SUELO)		MUESTRA No.	TIPO MUESTRA	Prof Inicial	Prof final	Prof Veleta	T Lectura Veleta (lb-ft)		Prof SPT	Lectura SPT
					(m)	(m)	(m)	Inalterado	Remoldeado	(m)	golpe/30 cm
0.00	Pasto y raíces sobre limo orgánico negro, poroso y con abundantes raíces.	1									
0.70	Limo arcilloso de color habano oscuro, poroso, con raíces y oxidaciones,	2					1.75	55-55-57	5-7-10	1.3	1-2-2
175	Arcilla de color gris claro, fisurada, con raíces y oxidaciones, alta plasticidad, consistencia media.	3 NF	1	SHELBY	25	30	NF			3.0	1-2-1
2.90	Arcilla de color gris oscuro, con oxidaciones, algo fisurada, alta plasticidad, consistencia media.	4					3.45	50-45-45	10-7-7		
5.00	Arcilla de color gris oscuro con tonos verdosos, algo fisurada, alta plasticidad y consistencia blanda a media.	5	2	SHELBY	5.0	5.5		5.50	40-40-45	5-7-7	
8.50			3	SHELBY	7.0	7.5		7.50	25-25-27	5-5-5	
8.50			4	SHELBY	11.0	11.5		11.5	27-25-27	5-5-5	
								12.5	30-27-30	5-7-7	
								14.5	30-30-30	5-7-7	14.0
								16.0	35-35-35	10-7-7	
			5	SHELBY	17.5	18.0		18.0	35-35-30	10-10-10	
								19.0	35-37-35	10-10-10	
								24.0	30-32-32	7-10-10	
								26.0	30-30-32	10-10-10	25.5
			6	SHELBY	27.0	27.5					1/12"
											1/6"
30.0										30.0	2-1-2

7. ENSAYOS DE CAMPO Y DE LABORATORIO

A continuación se presenta la descripción de las actividades desarrolladas en el laboratorio. Los ensayos de consolidación condicionados a incrementos de carga cuando se alcance el t_{100} , ensayos de gravedad específica y contenido de humedad; fueron desarrollados en el laboratorio de Suelos y Pavimentos Gregorio Rojas & Cía Ltda. Las pruebas desarrolladas en este laboratorio fueron hechas por los técnicos laboratoristas del mismo, bajo la dirección del señor Gregorio Rojas y supervisión de Danilo Montaña Sanabria.

Las pruebas de compresión triaxial no consolidada no drenada (UU), ensayos de consolidación con incrementos de carga cada 24 horas, ensayos de clasificación y peso unitario, se llevaron a cabo en el laboratorio de suelos de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia, en la ciudad de Bogotá. Los ensayos realizados en este laboratorio fueron desarrollados directamente por Danilo Montaña Sanabria, autor del presente trabajo.

Con el fin de tener resultados confiables, se siguieron los parámetros de las siguientes metodologías estandarizadas, para la ejecución de ensayos en muestras de suelo en el laboratorio:

- Determinación en el laboratorio del contenido de humedad. (INV E 122-07, ASTM D2216, NTC 1495).
- Determinación del límite líquido, plástico e índice de plasticidad de los suelos (INV E-125, 126, ASTM D-4318, AASHTO T-89).
- Determinación de la gravedad específica de los suelos y del llenante mineral (INV E128, ASTM D-854, AASHTO T-100).
- Consolidación unidimensional de los suelos (INV E-151, ASTM D-2435, AASHTO T2160).
- Parámetros de resistencia del suelo mediante compresión triaxial. (INV E-153, ASTM D-2850 - 4767, AASHTO T-234 - 297).

7.1 CONTENIDO DE HUMEDAD Y LÍMITES DE ATTERBERG

Se determinó el contenido de humedad natural a cada una de las 6 muestras obtenidas. A las mismas se les hizo ensayo de clasificación mediante la obtención de los límites líquido, plástico e índice de plasticidad.

En estas pruebas se utilizaron los equipos necesarios para garantizar la confiabilidad; horno con temperatura controlada a 110 °C, balanza con precisión de 0.01 g, cazuela de Casagrande y ranurador metálico curvo.

En el ensayo de límite líquido se determinó la humedad para 3 diferentes número de golpes que varían entre 15 y 35 con altura de caída de 10 mm. El valor de LL corresponde a la humedad del suelo para el cual este se cierra a 25 golpes en una, longitud de la ranura de 13 mm. Este se determinó mediante el método gráfico No. Golpes Vs humedad.

Para la obtención de la humedad y límites de Atterberg se emplearon las siguientes ecuaciones:

Por definición: $w = \frac{Ww}{Ws} \cdot 100$

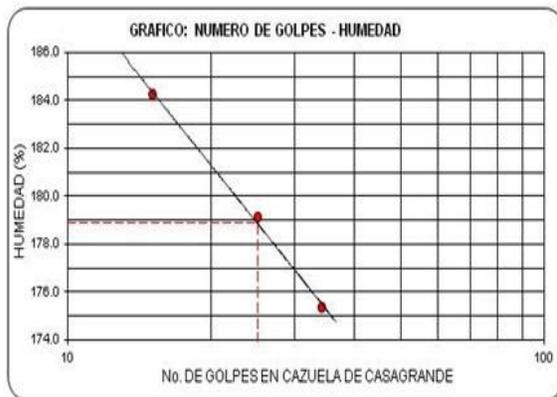
Donde: Ww = Masa del agua en el suelo
 Ws = Masa del suelo seco

En el laboratorio: $w = \frac{P1 - P3}{P2 - P3} \cdot 100$

Donde: $P1$ = Masa del suelo húmedo + recipiente
 $P2$ = Masa del suelo seco + recipiente
 $P3$ = Masa del recipiente

En la Figura 3 se presenta un ejemplo del método gráfico para determinar el valor del LL y en la Tabla 12, se presenta un ejemplo de cálculo de las propiedades índice del suelo, tomado para la muestra 4. En el anexo correspondiente a ensayo de laboratorio se presentan todas las memorias de cálculo de las pruebas realizadas. En la fotografía 6 y 7 se presenta a DMS, realizando el ensayo de Límites.

Figura 3. Método gráfico para obtener el LL



Fotografía 6. DMS Preparación de suelo para ensayo de Límites



Fotografía 7. DMS realizando ensayo de LL

Tabla 12. Cálculo de las propiedades índices del suelo

VALORES CALCULADOS	
LIMITE LIQUIDO	178.9 %
LIMITE PLASTICO	50.3 %
INDICE DE PLASTICIDAD	128.6 %
INDICE DE LIQUIDEZ	0.613
INDICE DE CONSISTENCIA	0.387
INDICE DE FLUIDEZ	25.018
CLASIFICACION U.S.C.S	C H

7.2 COMPRESIÓN TRIAXIAL UU (TX)

Dadas las características de los suelos del depósito de la Sabana de Bogotá, se realizaron 6 ensayos de compresión triaxial en condiciones No consolidadas No drenadas (UU).

Los ensayos se llevaron a cabo en un equipo de compresión triaxial con tres cámaras de presión y posibilidad de aplicar presiones de cámara σ_3 y aplicar cargas axiales σ_d con equipo eléctrico de velocidad controlada.

Metodología aplicada:

De acuerdo con la profundidad a la que se extrajo cada una de las muestras, se determinó el esfuerzo total vertical σ_{vo} . Con este valor se decidió aplicar presión de confinamiento en cámara equivalente a $2/3$ de σ_{vo} .

A cada una de las muestras se les determinó el diámetro, longitud (altura), masa y contenido de humedad. Para los cálculos de resistencia se empleó el área corregida (A_c) y para graficar se determinó la deformación unitaria (ϵ) durante el proceso de carga.

Luego de aplicada la presión de cámara se procedió a aplicar el esfuerzo desviador a velocidad controlada, que en promedio fue de 0.5 mm/min.

Las presiones de cámara aplicadas a cada una de las muestras se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Presiones de cámara en ensayo triaxial

Muestra No.	Profundidad (m)	σ_3 (kPa) Presión de cámara
1	2.50 – 3.0	27.4
2	5.0 – 5.50	34.6
3	7.0 – 7.50	39.8
4	11.0 – 11.50	49.0
5	17.5 – 18.0	57.8
6	27.0 – 27.50	92.2

Las siguientes ecuaciones se utilizaron en el proceso de cálculo:

Deformación unitaria vertical: $\epsilon = \frac{\Delta h}{h_i}$ Donde: h_i = Altura de la muestra
 Δh = cambio de longitud

Área corregida: $A_c = \frac{A_i}{(1 - \epsilon)}$ Donde: A_i = Área inicial de la muestra
 ϵ = Deformación unitaria vertical.

Esfuerzos principales: $\sigma = -$ Para cada ensayo se determinó y dibujó el círculo de Mohr y luego se halló la resistencia S_u .

En la Figura 4 se presenta en forma gráfica el esfuerzo desviador con la deformación y el círculo de Mohr para la muestra 1. En el Anexo 2 se presentan las memorias de cálculo de los ensayos triaxiales realizados.

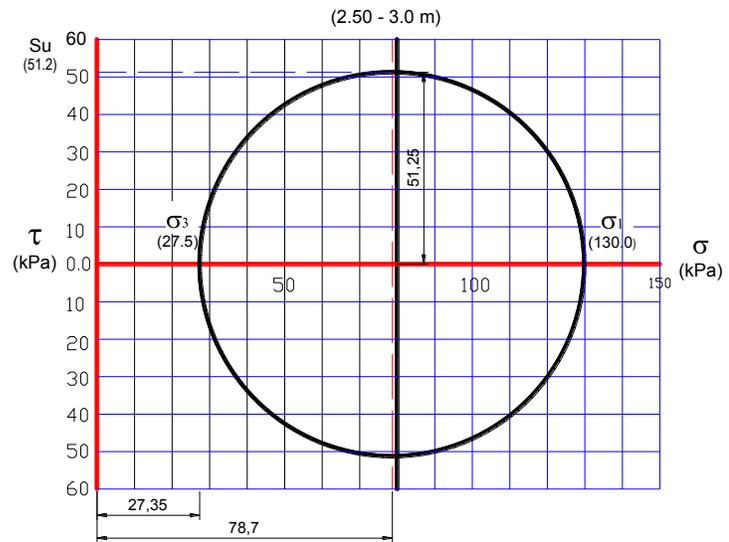
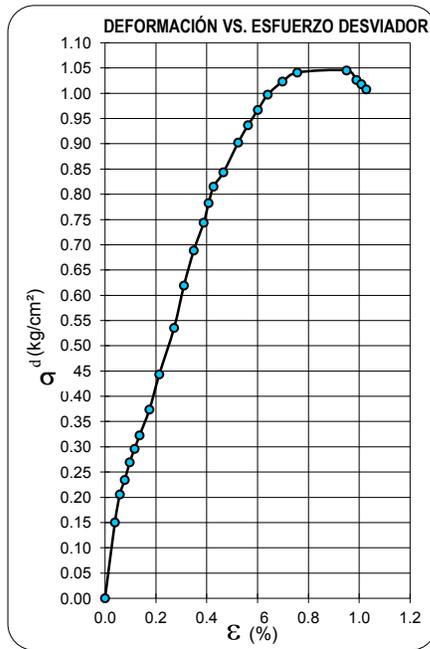


Figura 4. Representación gráfica del ensayo de compresión triaxial

En las fotografías siguientes se aprecia el ensayo de compresión triaxial y los tipos de fallas que presentaron los suelos.



Fotografía 8. Proceso de tallado de muestra para ensayo Triaxial UU



Fotografía 9. Proceso de falla en cámara triaxial



Fotografía 10. Proceso de falla de muestra 4



Fotografía 11. Proceso de falla de muestra 5



Fotografía 12. Falla presentada en muestra 2



Fotografía 13. Falla en las muestras 3, 4, 5 y 6

La Figura 5 representa los esfuerzos que actúan en el suelo en el ensayo triaxial.

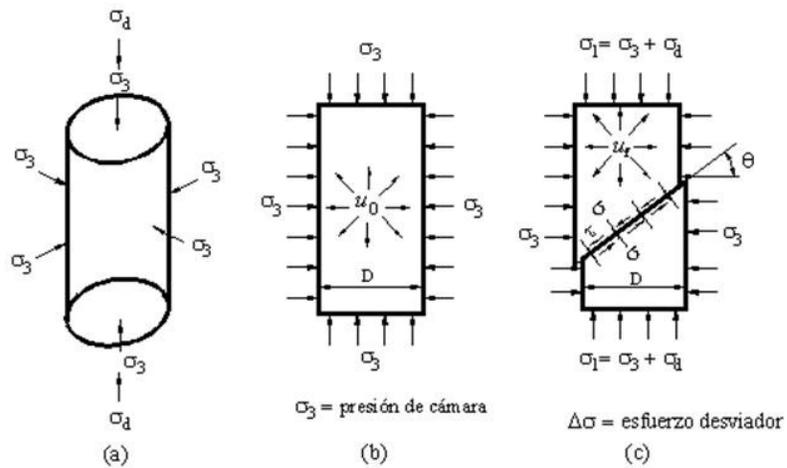


Figura 5. Representación gráfica de esfuerzos en prueba triaxial

(Imagen tomada de <http://www.ingenierocivilinfo.com/search/label/LABORATORIO/SUELOS>)

7.3 RESISTENCIA CON VELETA DE CAMPO.

La resistencia del suelo in situ se determinó con pruebas de veleta de campo, en función del momento de giro T y la geometría de la misma.

Su se determinó para la condición Inalterada y para la condición alterada, con el propósito de establecer el grado de sensibilidad de la arcilla del depósito.

De otra parte, los valores de Su fueron corregidos por un factor λ sugerido por Bjerrum (1972) en función del índice de plasticidad.

Los cálculos se desarrollaron a partir de las siguientes ecuaciones:

$S_r = \frac{S_u(\text{inalterada})}{S_u(\text{alterada})}$	$S_u = T \times 1.3048 \times \lambda$	Donde:	S_r = Sensitividad del suelo
$\lambda = 54 \times \text{Log}(IP)$			S_u = Resistencia no drenada del suelo (kPa)
			T = Momento de giro con veleta (lb.ft)
			λ = Factor de corrección de Bjerrum (1972)
			IP = Índice de plasticidad (%)

7.4 CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL

Como se mencionó en los objetivos específicos, se realizaron tres tipos de ensayos de consolidación, los cuales se comentan a continuación.

- Ensayo con LIR = 1.0 y tiempo de carga cuando t_f sea igual a t_{100} y rebote intermedio en cercanías a la iniciación de la curva virgen.
- Ensayo con LIR = 0.5 en las proximidades del esfuerzo de preconsolidación del suelo y tiempo de carga cuando t_f sea igual a t_{100}
- Ensayo con LIR = 1.0 con aplicación de incremento de carga cada 24 horas.

Con estas variaciones de incrementos de carga se pretende establecer la variación de las características de compresibilidad, cuando las cargas se inducen sobre el suelo en magnitudes y tiempos diferentes.

En cada uno de los ensayos se aplicaron esfuerzos equivalentes en promedio a 12.5, 25, 50, 100, 200, 400, 800 y 1600 kPa.

El método requiere que una muestra del suelo sea restringida lateralmente y que se cargue axialmente con incrementos constantes de carga, aplicados hasta que todo exceso de la presión de agua en los poros se disipe cuando actúa cada uno de los incrementos. Durante el proceso de compresión se tomaron lecturas de la disminución del espesor de la muestra,

datos que se usaron para calcular los parámetros que describen la relación entre el esfuerzo efectivo y la relación de vacíos ó deformación, así como la tasa a la cual pueda ocurrir (INVE-151:2007).

Se utilizaron consolidómetros de anillo flotante, en los cuáles se permite el drenaje en las dos direcciones.

En la fotografía 14 y 15 se muestra los consolidómetros del laboratorio de UNIAGRARIA y de Suelos y Pavimentos Gregorio Rojas & Cía Ltda.



Fotografía 14. Consolidómetros de UNIAGRARIA
(En la fotografía DMS, tomando lecturas en el proceso de ensayo de consolidación)



Fotografía 15. Consolidómetros de Suelos y Pavimentos Gregorio Rojas & Cía Ltda.
(En la fotografía Don Gregorio Rojas, tomando lecturas en el proceso de ensayo de consolidación)

A continuación se presenta la metodología de ensayo y cálculo de las propiedades del suelo en el ensayo de consolidación.

7.4.1 Montaje de muestras

Se colocaron las muestras inalteradas en anillos de bronce con diámetro promedio 64 mm y altura de 25.5 mm. El gradiente hidráulico se estableció en sentido vertical con desplazamiento hacia arriba y hacia abajo. En la Figura 6 se presenta en forma esquemática el montaje de la muestra de suelo. En éste se colocan piedras porosas de buena permeabilidad en los dos extremos para garantizar el drenaje en el sentido vertical pero en distancia equivalente a la mitad de la altura de la muestra.

La presión inducida en la muestra se hizo por medio de brazos que hacen el efecto de palanca y multiplican la carga que se coloca en el extremo libre.

La relación de brazo varía entre 8 y 10, dependiendo del aparato utilizado. En las memorias de cálculo de cada ensayo se presenta la relación de brazo del equipo empleado.

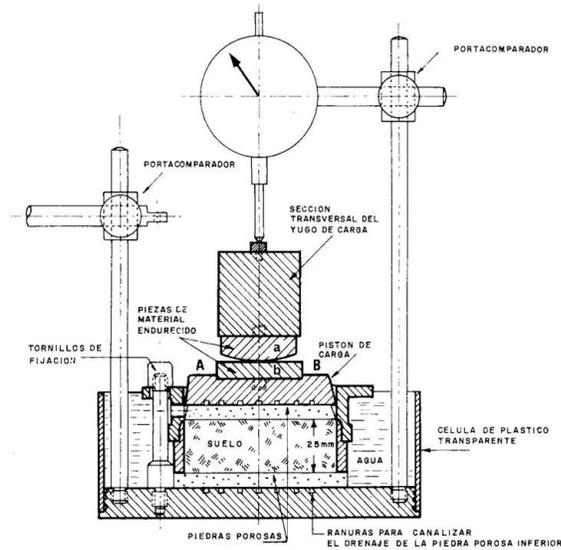


Figura 6. Montaje del suelo en el consolidómetro

7.4.2 Procedimiento

A cada muestra se le midió el diámetro, altura y masa. A la vez se realizó alternativamente el ensayo de Gravedad Específica (Gs) y conenido de humedad.

Con estos datos se determinó el peso unitario total peso unitario seco.

$$\gamma = \frac{W_t}{V_t} \quad \gamma_d = \frac{W_d}{V_t} \quad \text{Donde:}$$

- γ_t = Peso unitario total (kN/m^3)
- γ_d = Peso unitario seco (kN/m^3)
- W_t = masa del suelo húmedo
- W_d = Masa del suelo seco
- V_t = Volumen del suelo húmedo

La presión a en cada muestra se aplicó por medio del brazo y se determinó de la siguiente manera:

$$\sigma_v = \frac{P \cdot R_b}{A} \quad \text{Donde:}$$

- σ_v = Presión aplicada (kPa)
- P = Carga en el brazo (kg)
- R_b = Relación de brazo
- A = Área de la muestra ensayada

7.4.3 Determinación de propiedades de compresibilidad

Para cada incremento de carga se tomaron datos de la deformación presentada versus el tiempo de duración de la deformación. Con estos datos se dibujó una gráfica \sqrt{t} vs

deformación. En esta gráfica se aplicó el modelo de Taylor para determinar el momento en que se presenta el 100% de la consolidación y posteriormente incrementar la carga para llevar a cabo el mismo proceso.

En la Figura 7 se encuentra la forma de graficar la deformación versus la raíz del tiempo empleando el método de Taylor

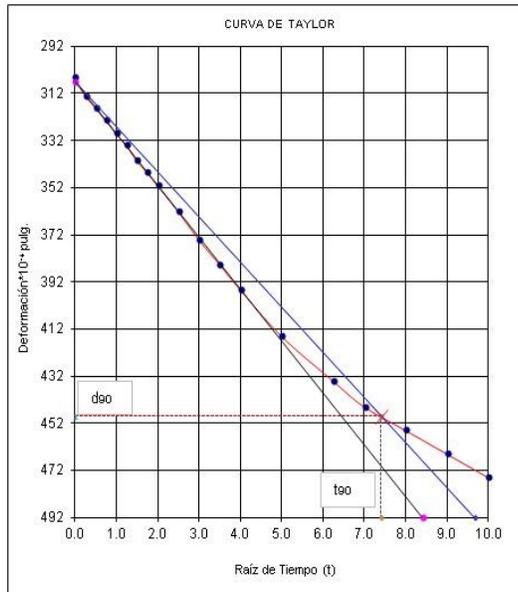


Figura 7. Curva de deformación, método de Taylor

De la gráfica se obtuvieron parámetros importantes para el control del ensayo y determinación de propiedades del suelo como el d_{100} (Deformación para el 100% de consolidación) y C_v (Coeficiente de consolidación).

$d_{100} = d_0 + \frac{100}{9} C_v H^2$	d_0 = deformación inicial d_{90} = deformación al 90 % de consolidación primaria
$C_v = \frac{t_{90}}{H^2}$	H^2 = Longitud de drenaje (mitad de la altura de la muestra) t_{90} = factor de tiempo adimensional (para 90% = 0.848)

Para cada incremento de carga, sabiendo que el suelo sufre deformación vertical en el proceso de consolidación, se determinó el volumen total del suelo, volumen de vacíos, volumen de sólidos y relación de vacíos inicial y al final de cada incremento. Estas fases se determinaron de la siguiente manera:

$V_t =$	Donde:	$V_t =$ Volumen total de la muestra (cm^3)	$V_v =$ -	Donde:	$V_v =$ Volumen de vacíos (cm^3)
$V_s = \frac{W_s}{G_s \cdot \gamma_w}$		$A =$ Área de la muestra (cm^2)	$e_o = \frac{V_v}{V_s}$		$e_o =$ Relación de vacíos
$W_s = \frac{W}{1+w}$		$h =$ Altura de la muestra (cm)	$G_s =$ Gravedad específica del suelo		$S = \frac{V_v}{V_v + V_s}$
		$V_s =$ Volumen de sólidos (cm^3)			
		$W_s =$ Masa de sólidos (g)			
		$\gamma_w =$ Peso específico del agua (g/cm^3)			
		$w =$ Contenido de humedad natural (%)			

En la determinación de las anteriores relaciones, especialmente la del volumen total, es importante destacar que este se obtiene al final de cada uno de los incrementos de carga y que es función de la deformación presentada. Por lo tanto, la altura de la muestra para determinar el volumen total es la diferencia entre la altura inicial y la deformación medida al final cuando se llega a d_{100} . Proceso que se hace para cada incrementos de carga.

De lo anterior, se deduce que el volumen de sólidos es constante y que solamente varía el volumen de vacíos. Este procedimiento se aplicó a todas las muestras ensayadas.

La Figura 8 presenta las fases del suelo en el proceso de consolidación, y el efecto de la carga normal P_v que genera esfuerzos verticales σ_v en el suelo ensayado.

En la Figura 8 se puede observar que H es la longitud máxima de drenaje y h la altura del suelo para determinar el volumen.

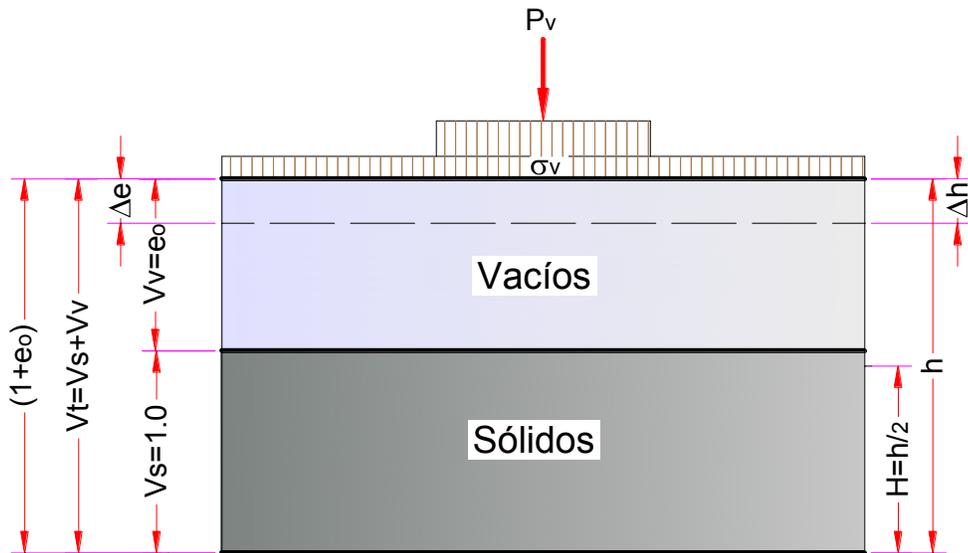


Figura 8. Modelación del suelo en el proceso de consolidación

(Imagen creada por DMS)

Además se puede proponer la siguiente relación:

$$\frac{\Delta}{h} = \frac{\sigma_v}{1 + \dots}$$

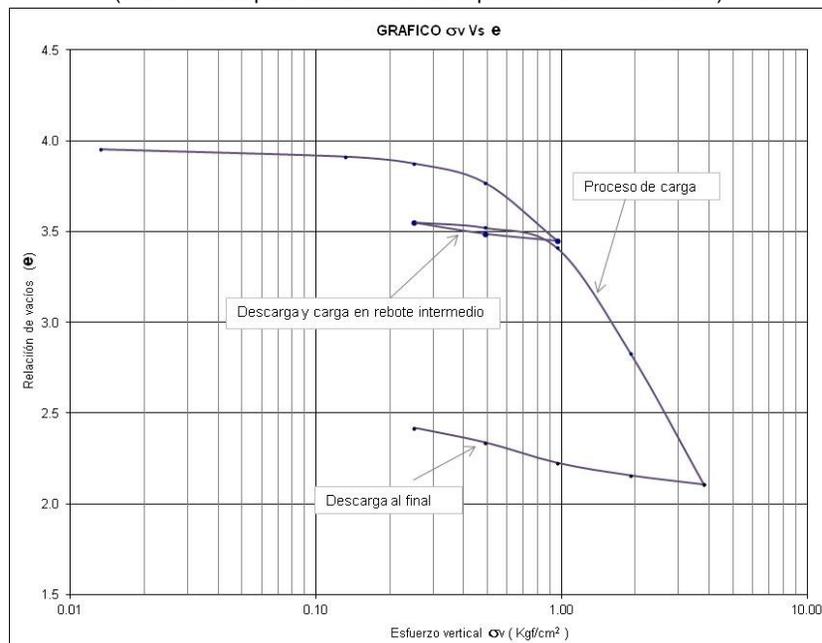
Esta relación es la que permite deducir las ecuaciones para determinar asentamientos por consolidación primaria.

Determinado el valor de la relación de vacíos inicial y la relación de vacíos al final de cada una de los esfuerzos aplicados, se construyó una gráfica que representa la relación σ_v vs e_o .

A la gráfica se le conoce como curva de compresibilidad, la cual se presenta en la Figura 9.

Figura 9. Representación de la curva de compresibilidad.

(Curva creada para la Muestra 3 en el proceso de consolidación)



A todas las muestras ensayadas se les hizo el mismo proceso, excepto que para condiciones de carga aplicadas cada 24 horas y esfuerzos con LIR = 0.5 en las proximidades de la presión de preconsolidación. En este proceso no se realizó descarga intermedia.

7.4.4 Determinación de características de compresibilidad

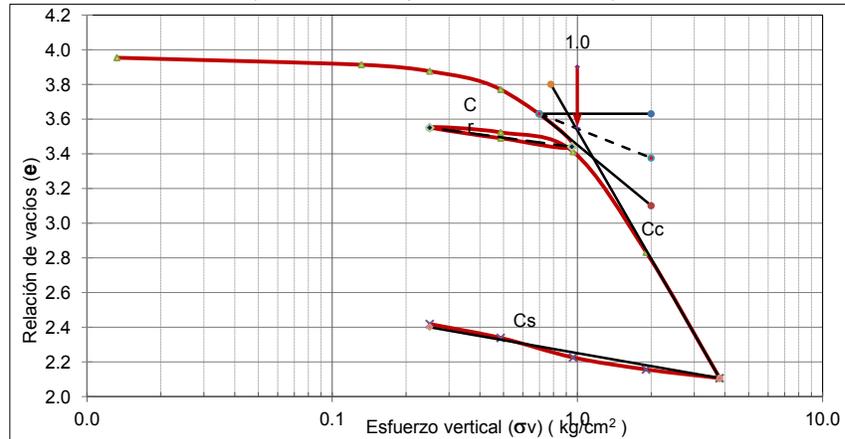
En cada una de las curvas de compresibilidad se implementó la metodología de Casagrande para determinar las siguientes características de compresibilidad del suelo:

$\sigma_p =$	presión de preconsolidación	$C_r =$	índice de recompresión
$\sigma'_{vo} =$	presión efectiva vertical	$C_s =$	índice de expansión
$C_c =$	índice de compresión	OCR ó RSC =	presión de sobreconsolidación

En la Figura 10 se presenta la aplicación del método de Casagrande realizado sobre los resultados de la muestra 3. Este procedimiento se empleó para todas las muestras ensayadas.

Figura 10. Construcción por el método de Casagrande

(Curva obtenida para la muestra No. 3)

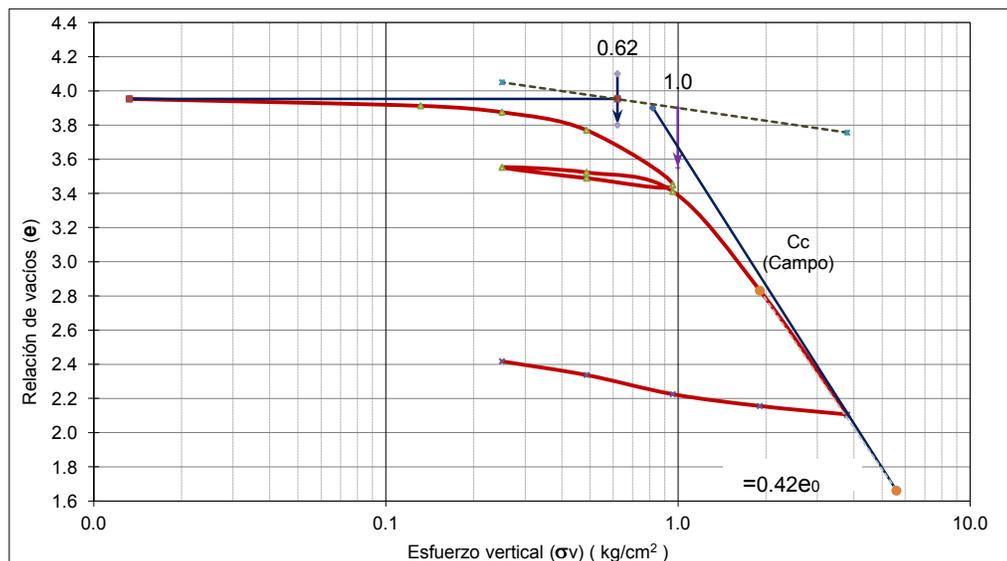


Cc, Cr y Cs: se determinaron obteniendo la pendiente de cada uno de los sectores donde el proceso de reducción o incremento de la relación de vacíos es aproximadamente lineal. Conocidas las coordenadas del esfuerzo vertical vs e, se determinaron empleando la expresión:

$$C_c, C_s, C_r = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma_v}$$

La Figura 11 presenta la aplicación de la metodología de Schmertmann (1955) para determinar el valor del Índice de compresión Cc de campo (In situ).

Figura 11. Metodología para determinar Cc de campo.



8. RESULTADOS

Teniendo en cuenta la información obtenida en campo y en el laboratorio, se obtuvieron resultados relacionados con los valores de las propiedades índice, características de resistencia en condiciones no drenadas y características de compresibilidad. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

8.1 PROPIEDADES ÍNDICE (LL, LP, IP, ω_n , IL, IC, E, S, γ_t)

Las propiedades índice del suelo representan las características en las que se encuentra el suelo en el sitio.

Dentro las propiedades índices se obtuvieron valores del contenido de humedad natural, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, peso unitario, relación de vacíos y grado de saturación. Con los valores de los ensayos se determinaron adicionalmente otros valores índices como son el índice de liquidez y el índice de consistencia del suelo. Para esto últimos valores se emplearon las ecuaciones conocidas que se presentan a continuación:

$$IP=LL-LP \quad IL=\frac{W_n-LP}{LL-LP}=\frac{W_n-LP}{IP} \quad IC=\frac{LL-W_n}{LL-LP}=\frac{LL-W_n}{IP}$$

(La formulación para determinar las demás propiedades índice se presentó en el numeral 7.4.3)

En la Tabla 14 se encuentran los resultados de estas propiedades, además de la clasificación por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Tabla 14. Resultados de las propiedades índice

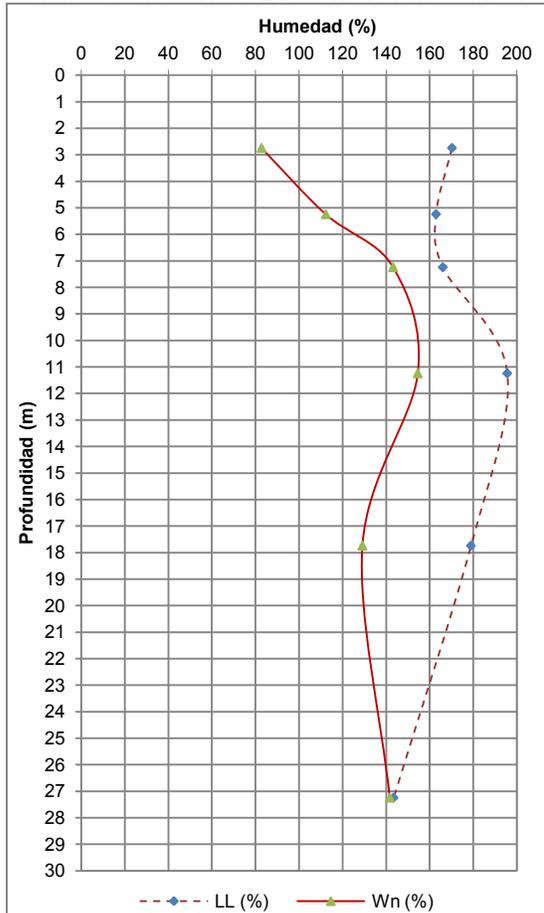
Muestra No.	Prof (m)	W _n (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	IC	γ_t (kN/m ³)	S (%)	eo	SUCS
1	2.75	82.8	170	47	123	0.293	0.707	14.2	93.6	2.37	CH
2	5.25	112.3	163	37	126	0.598	0.402	14.0	99.5	3.08	CH
3	7.25	143.2	166	53	113	0.799	0.201	13.0	98.0	3.96	CH
4	11.25	154.5	196	47	149	0.723	0.276	12.8	98.3	4.19	CH
5	17.75	129.1	179	50	129	0.613	0.387	13.4	98.8	3.49	CH
6	27.25	141.7	143	44	99	0.983	0.017	12.9	96.8	3.88	CH

En la Gráfica 1 se presenta la variación de la humedad y el límite líquido con la profundidad y en la Gráfica 2 se encuentra la variación del peso unitario.

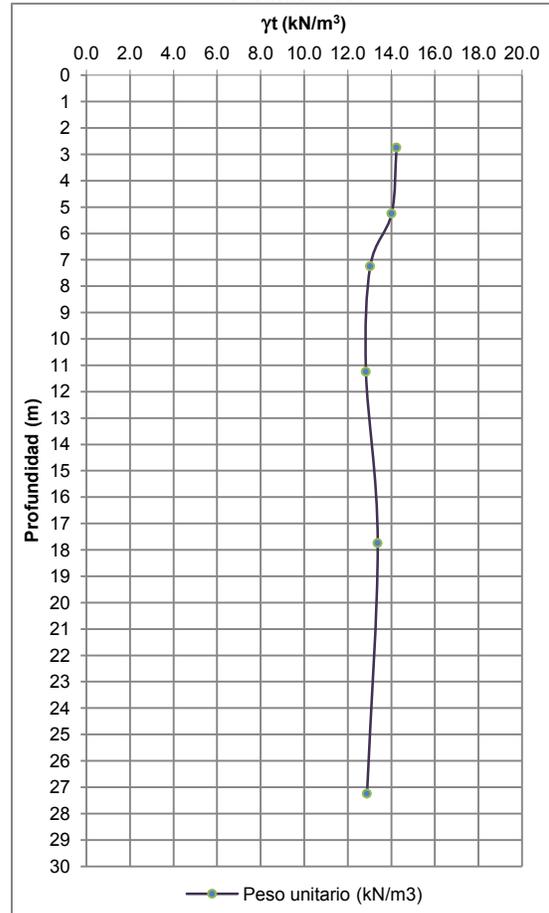
De los valores obtenidos se puede apreciar que en todos los casos el contenido de humedad natural es menor que el límite líquido. En la muestra 6 de 27.5 m de profundidad, se aprecia que el límite líquido es muy similar a la humedad natural.

En el suelo que se encuentra por encima del nivel freático, se aprecia una diferencia importante entre el límite líquido y la humedad natural.

Gráfica 1. Variación de la humedad natural y del límite líquido (Wn y LL) con la profundidad.



Gráfica 2. Variación del peso unitario con la profundidad



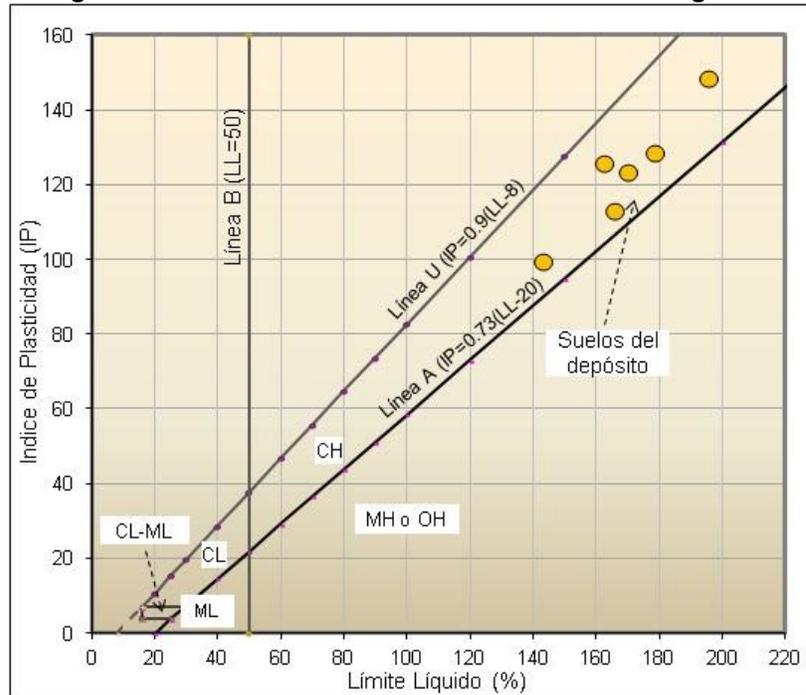
En la Gráfica 2 se aprecia que el peso unitario no presenta mayor variación con la profundidad y se encuentra entre 12.8 kN/m³ y 14.0 kN/m³.

En la Tabla 14 se puede ver que, a pesar de que desde la muestra 2 hasta la muestra 6 se encuentran por debajo del nivel freático, el grado de saturación (S) no llega al 100 % y el valor rodea el 96 %.

De otra parte, se aprecia que el valor de la relación de vacíos (e_0) es alta, pero típica de las arcillas de la sabana de Bogotá. El valor está entre 3.1 y 4.2, para los suelos que se encuentran por debajo del nivel freático.

En la Figura 12 se presenta la localización del suelo en la carta de clasificación de Casagrande.

Figura 12. Carta de clasificación de suelos de Casagrande



8.2 RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO

Como se explicó en capítulos anteriores, este valor se determinó por medio del ensayo de torsión con la veleta de campo y por medio de ensayos triaxiales en condiciones no consolidadas no drenadas (UU).

8.2.1 Con veleta de campo

El ensayo de veleta se realizó en toda la columna estratigráfica. Los valores de S_u se determinaron de acuerdo con el procedimiento que se comentó, describió y dedujo en el numeral 5.3. En la Tabla 15 se presentan los resultados obtenidos.

En los resultados presentados se observa la determinación de la resistencia en condiciones alteradas e inalteradas, ambas corregidas por plasticidad. De los resultados se puede ver que el suelo tiene un comportamiento predominantemente sensitivo y consistencia media.

Tabla 15. Resultados de Su obtenidos con veleta de campo

Tabla 15			DETERMINACIÓN DE Su A PARTIR DE VELETA DE CAMPO									
PROYECTO:		CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIBILIDAD Y RESISTENCIA DE ARCILLAS TÍPICAS DEL DEPÓSITO LACUSTRE DE LA SABANA DE BOGOTÁ										
Su = T(lb-ft)x0.0133 = kg/cm ² x98.1=kPa						Corrección Bjerrum: λ = 1.7-0.54xLog(IP)				Constante =		1.30473
PERF. No.	Profundidad (m)			T (lb.ft)		IP (%)	λ Corrección (Bjerrum 1972)	Su (veleta)	Su (veleta)	Su (veleta)	St SENSITIVIDAD	TIPO
	Inicial	Final	Media	Lectura inalterad	Lectura alterada			Inalterado (kPa)	Alterado (kPa)	CORREGIDO (kPa)		
Única	1.75	1.95	1.85	55	5	124	0.57	72	7	41	11.0	Muy sensitiva
	1.95	2.15	2.05	55	7	124	0.57	72	9	41	7.9	Sensitiva
	2.15	2.35	2.25	57	10	124	0.57	74	13	42	5.7	Sensitiva
	Promedio = 2.05									Promedio = 41		
Única	3.45	3.65	3.55	50	10	124	0.57	65	13	37	5.0	Sensitiva
	3.65	3.85	3.75	45	7	124	0.57	59	9	33	6.4	Sensitiva
	3.85	4.05	3.95	45	7	124	0.57	59	9	33	6.4	Sensitiva
	Promedio = 3.75									Promedio = 35		
Única	5.50	5.70	5.60	40	5	126	0.57	52	7	30	8.0	Sensitiva
	5.70	5.90	5.80	40	7	126	0.57	52	9	30	5.7	Sensitiva
	5.90	6.10	6.00	45	7	126	0.57	59	9	33	6.4	Sensitiva
	Promedio = 5.80									Promedio = 31		
Única	7.50	7.70	7.60	25	5	113	0.59	33	7	19	5.0	Sensitiva
	7.70	7.90	7.80	25	5	113	0.59	33	7	19	5.0	Sensitiva
	7.90	8.10	8.00	27	5	113	0.59	35	7	21	5.4	Sensitiva
	Promedio = 7.80									Promedio = 20		
Única	9.45	9.65	9.55	27	5	113	0.59	35	7	21	5.4	Sensitiva
	9.65	9.85	9.75	27	5	113	0.59	35	7	21	5.4	Sensitiva
	9.85	10.05	9.95	27	5	113	0.59	35	7	21	5.4	Sensitiva
	Promedio = 9.75									Promedio = 21		
Único	11.50	11.70	11.60	27	5	149	0.53	35	7	19	5.4	Sensitiva
	11.70	11.90	11.80	25	5	149	0.53	33	7	17	5.0	Sensitiva
	11.90	12.10	12.00	27	5	149	0.53	35	7	19	5.4	Sensitiva
	Promedio = 11.80									Promedio = 18		
Única	12.50	12.70	12.60	30	5	149	0.53	39	7	21	6.0	Sensitiva
	12.70	12.90	12.80	27	7	149	0.53	35	9	19	3.9	Sensitivamedia
	12.90	13.10	13.00	30	7	149	0.53	39	9	21	4.3	Sensitiva
	Promedio = 12.80									Promedio = 20		
Única	14.50	14.70	14.60	30	5	149	0.53	39	7	21	6.0	Sensitiva
	14.70	14.90	14.80	30	7	149	0.53	39	9	21	4.3	Sensitiva
	14.90	15.10	15.00	30	7	149	0.53	39	9	21	4.3	Sensitiva
	Promedio = 14.80									Promedio = 21		
Única	16.00	16.20	16.10	35	10	149	0.53	46	13	24	3.5	Sensitivamedia
	16.20	16.40	16.30	35	7	149	0.53	46	9	24	5.0	Sensitiva
	16.40	16.60	16.50	35	7	149	0.53	46	9	24	5.0	Sensitiva
	Promedio = 16.30									Promedio = 24		
Única	18.00	18.20	18.10	35	10	129	0.56	46	13	26	3.5	Sensitivamedia
	18.20	18.40	18.30	35	10	129	0.56	46	13	26	3.5	Sensitivamedia
	18.40	18.60	18.50	30	10	129	0.56	39	13	22	3.0	Sensitivamedia
	Promedio = 18.30									Promedio = 24		
Única	19.00	19.20	19.10	35	10	129	0.56	46	13	26	3.5	Sensitivamedia
	19.20	19.40	19.30	37	10	129	0.56	48	13	27	3.7	Sensitivamedia
	19.40	19.60	19.50	35	10	129	0.56	46	13	26	3.5	Sensitivamedia
	Promedio = 19.30									Promedio = 26		
Única	24.00	24.20	24.10	30	7	99	0.62	39	9	24	4.3	Sensitiva
	24.20	24.40	24.30	32	10	99	0.62	42	13	26	3.2	Sensitivamedia
	24.40	24.60	24.50	32	10	99	0.62	42	13	26	3.2	Sensitivamedia
	Promedio = 24.30									Promedio = 25		
Única	26.00	26.20	26.10	30	10	99	0.62	39	13	24	3.0	Sensitivamedia
	26.20	26.40	26.30	30	10	99	0.62	39	13	24	3.0	Sensitivamedia
	26.40	26.60	26.50	32	10	99	0.62	42	13	26	3.2	Sensitivamedia
	Promedio = 26.30									Promedio = 25		

8.2.2 En cámara triaxial

Los resultados obtenidos en los ensayos triaxiales en condiciones no consolidadas no drenadas, se presentan en la Tabla 16. El procedimiento de ensayo y valores obtenidos se estableció de acuerdo con lo descrito en el numeral 7.2.

Tabla 16. Resultados de Su con ensayos triaxiales

Muestra No.	Profundidad (m)	Presión de cámara σ_3 (kPa)	Esfuerzo desviador σ_d (kPa)	Esfuerzo principal mayor σ_1 (kPa)	Su (TX) (kPa)
1	2.75	27.5	102.5	130.0	51.3
2	5.25	34.3	49.6	83.9	24.6
3	7.25	39.8	51.1	90.9	25.6
4	11.25	49.0	64.3	113.3	32.1
5	17.75	57.9	84.7	142.6	42.4
6	27.25	92.2	74.6	166.8	37.3

En la Figura 13 se puede ver la variación de la resistencia al corte no drenado, Su, obtenida con veleta de campo y con ensayos triaxiales.

8.3 ESFUERZOS EN EL DEPÓSITO DE SUELO

Con los valores de peso unitario, posición del nivel freático y espesor de la estratigrafía se determinaron los esfuerzos geostáticos en el suelo (Esfuerzos totales, presión de poros y esfuerzos efectivos).

Para determinar dichos esfuerzos se emplearon las siguientes ecuaciones:

$$\sigma'_v = \sigma_t - u \quad \sigma_t = \Sigma(\gamma)$$

Donde: σ'_v = Esfuerzo vertical efectivo

u = Presión de poros

γ = Peso unitario del suelo

h = Espesor del estrato de suelo

En la Figura 14 se presenta el valor de los esfuerzos efectivos y totales en el depósito de suelo.

Figura 13. Variación de Su con la profundidad

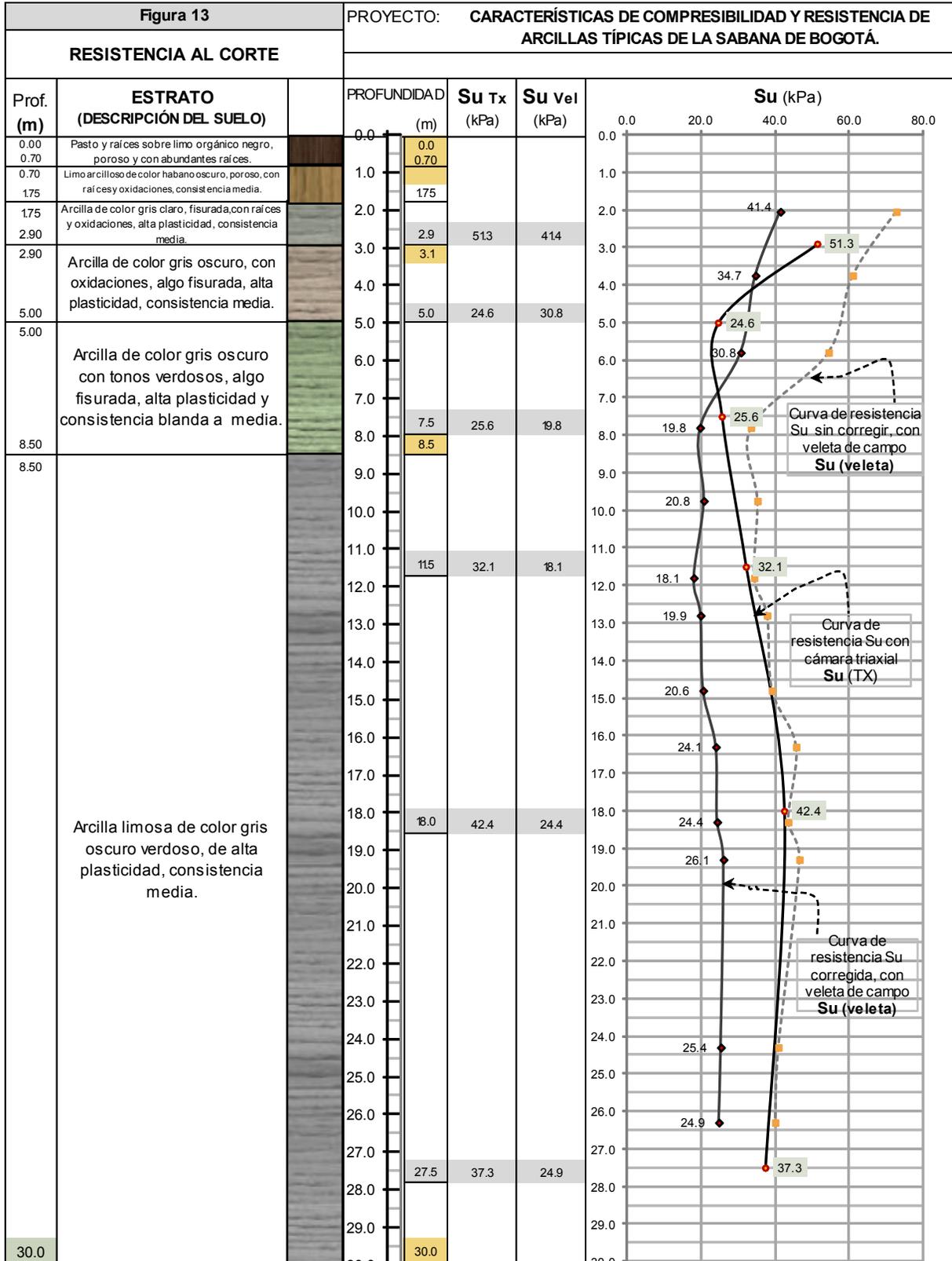
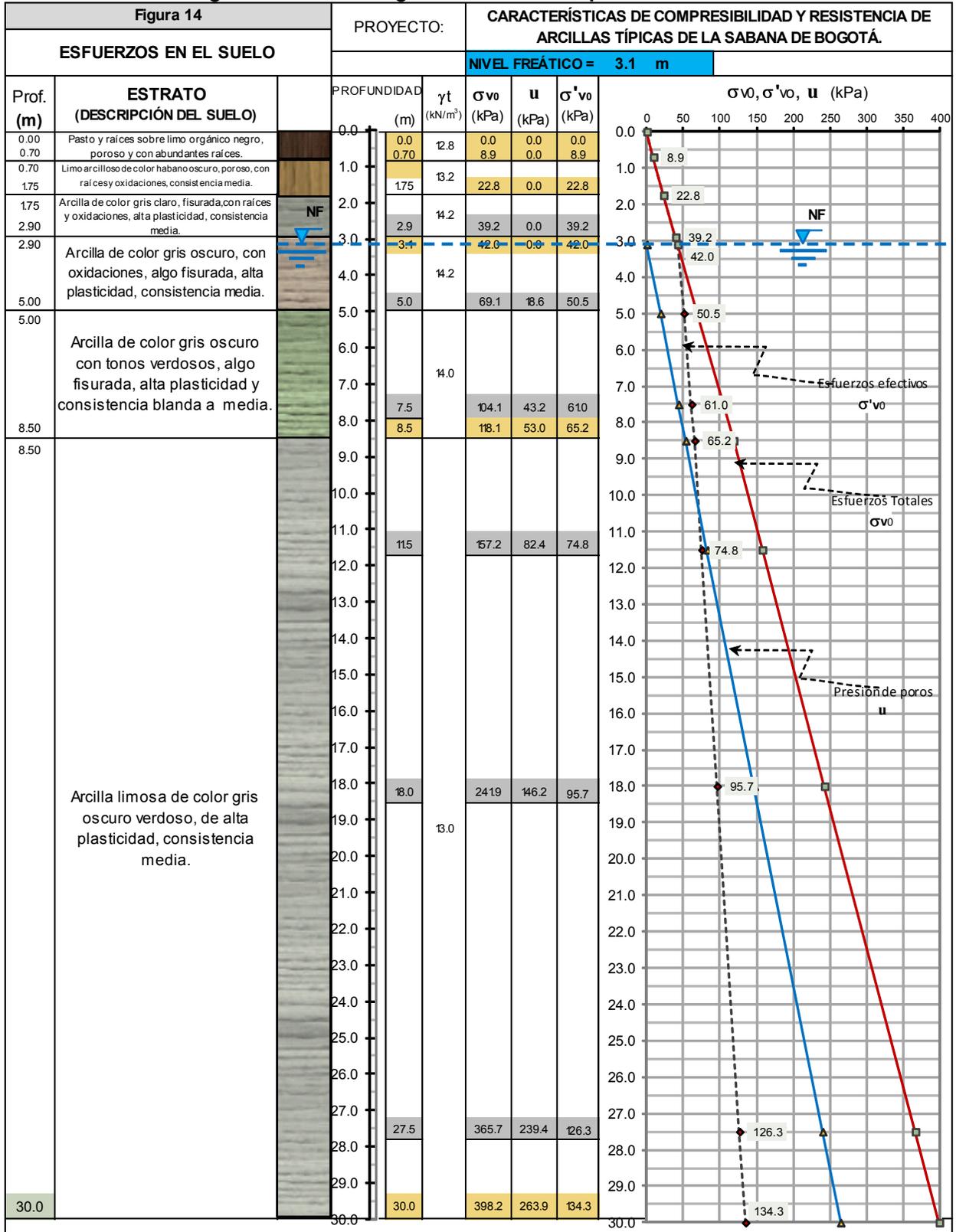


Figura 14. Esfuerzos geostáticos en el depósito de suelo



8.4 COMPRESIBILIDAD

De los ensayos de consolidación unidimensional se determinaron factores como: σ'_p , σ'_{vo} , $Cc(\text{lab})$, $Cc(\text{Campo})$, Cs , Cr , c_v , y RSC.

8.4.1 Índices de Compresión, Recompresión y Expansión (Cc , Cr , Cs)

Las características de compresibilidad se determinaron a partir de las curvas de compresibilidad presentadas en las figuras 16, 17, 18, 19, 20 y 21 que se encuentran al final del presente capítulo. En el capítulo 9 se presentan los análisis y discusión de los resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos de los índices de Compresión, Recompresión y expansión se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17. Resultados de los índices de compresibilidad

Muestra	Prof. (m)	$Cc(\text{lab})$ LIR=1.0 tf=t100	$Cc(\text{lab})$ LIR=0.5 (prox. σ'_p) tf =t100	$Cc(\text{lab})$ LIR=1.0 tf =t24 h	Cr LIR=1.0 tf=t100	Cs LIR=1.0 tf=t100	Cs LIR=0.5 (prox. σ'_p) tf=t100	Cs LIR=1.0 tf =t24 h
1	2.75	1.09	1.06	1.10	0.07	0.15	0.12	0.08
2	5.25	1.38	1.65	1.46	0.11	0.15	0.21	0.15
3	7.25	2.46	2.24	2.28	0.19	0.25	0.23	0.24
4	11.25	2.31	2.53	2.38	0.19	0.27	0.30	0.09
5	17.75	1.87	1.85	2.11	0.10	0.22	0.22	0.22
6	27.25	2.42	2.04	2.29	0.22	0.29	0.21	0.31

8.4.2 Índice de Compresión de campo $Cc(\text{campo})$

Los resultados del Índice de Compresión de campo, obtenido mediante la construcción del modelo de Schmertmann, se encuentran en la Tabla 18

Tabla 18. Resultados $Cc(\text{campo})$

Muestra	Prof. (m)	Cc (campo) LIR=1.0 tf=t100
1	2.75	1.09
2	5.25	1.59
3	7.25	2.68
4	11.25	2.76
5	17.75	2.11
6	27.25	2.78

8.4.3 Presión de preconsolidación (σ'_p)

Los resultados de los esfuerzos efectivos verticales y esfuerzos de preconsolidación se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19. Presión de preconsolidación y esfuerzos efectivos

Muestra	Prof. (m)	σ'_{vo} (kPa)	σ'_p LIR=1.0 $t_f=t_{100}$ (kPa)	σ'_p LIR=0.5 (prox. σ'_p) $t_f=t_{100}$ (kPa)	σ'_p LIR=1.0 $t_f=t_{24 h}$ (kPa)
1	2.75	39.2	315.0	314.0	314.0
2	5.25	50.4	68.7	78.5	69.7
3	7.25	60.9	98.1	80.4	79.5
4	11.25	74.6	98.1	98.1	84.4
5	17.75	95.7	108.0	123.0	104.0
6	27.25	126.0	203.0	184.0	157.0

8.4.4 Relación de sobre consolidación (RSC)

La relación de sobreconsolidación OCR se determinó únicamente para los ensayos con LIR=1.0 y tiempo de incremento de carga cuando se alcanza el tiempo t_{100} .

En la Tabla 20 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 20. Resultados de Relación de sobreconsolidación

Muestra	Prof. (m)	σ'_{vo} (kPa)	σ'_p LIR=1.0 $t_f=t_{100}$ (kPa)	RSC	Clasificación de sobreconsolidación
1	2.75	39.2	315.0	8.0	Fuertemente sobreconsolidada
2	5.25	50.4	68.7	1.36	Ligeramente Sobreconsolidadas
3	7.25	60.9	98.1	1.61	Ligeramente sobreconsolidadas
4	11.25	74.6	98.1	1.32	Ligeramente sobreconsolidadas
5	17.75	95.7	108.0	1.13	Ligeramente sobreconsolidadas
6	27.25	126.0	203.0	1.61	Ligeramente sobreconsolidadas

8.4.5 Coeficiente de consolidación c_v

Los valores c_v se determinaron para el promedio de incrementos de carga para cada una de las pruebas realizadas. Sin embargo, en la Tabla 21 se presentan únicamente los resultados

que corresponden a los esfuerzos efectivos que están actuando en el suelo en cada una de las profundidades establecidas.

El coeficiente de consolidación c_v se presenta en cm^2/s por 10^{-4} . En los gráficos adjuntos y en los anexos de las memorias de cálculo se presenta la determinación de cada uno estos valores.

Tabla 21. Resultados de Coeficiente de consolidación c_v

Muestra	Prof. (m)	σ'_{vo} (kPa)	C_v ($\text{cm}^2/\text{s}) \times 10^{-4}$
1	2.75	39.2	22.4
2	5.25	50.4	3.4
3	7.25	60.9	197.8
4	11.25	74.6	6.3
5	17.75	95.7	8.3
6	27.25	126.0	2.1

Para los análisis de resultados y conclusiones que se presentan más adelante, no se tendrán en cuenta los valores obtenidos para las muestras 1 y 3. Estos valores fueron revisados cuidadosamente y son atípicos de los otros valores encontrados.

En la Figura 15 se presenta la variación del esfuerzo de preconsolidación y el esfuerzo efectivo vertical con la profundidad.

De la Figuras 16 a Figura 21 se presentan las curvas de compresibilidad obtenidas para cada una de las condiciones de carga en cada una de las muestras sometidas a ensayo.

Figura 15. Presión de preconsolidación, σ'_p y esfuerzo efectivo vertical actual, σ'_{vo}

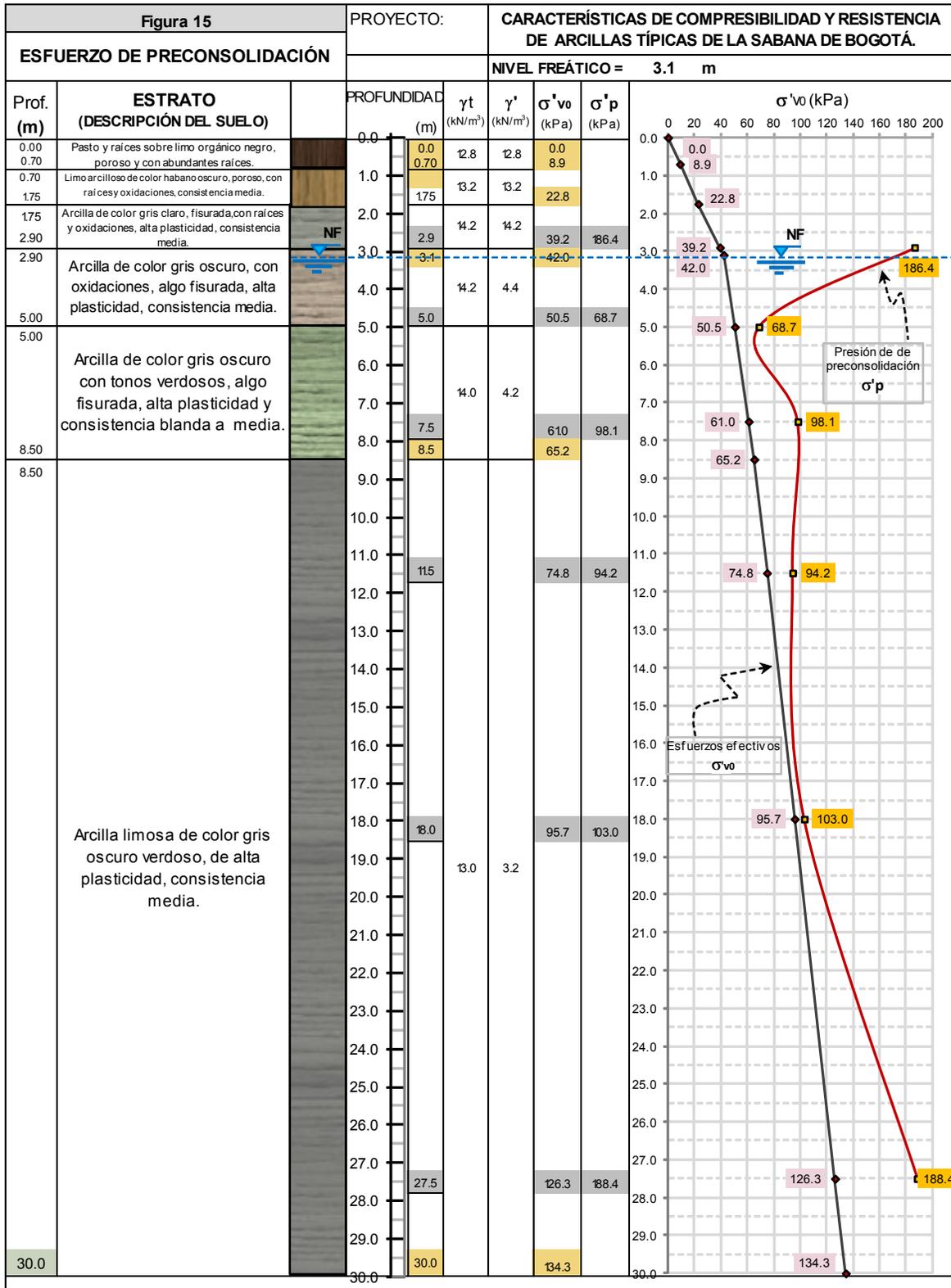
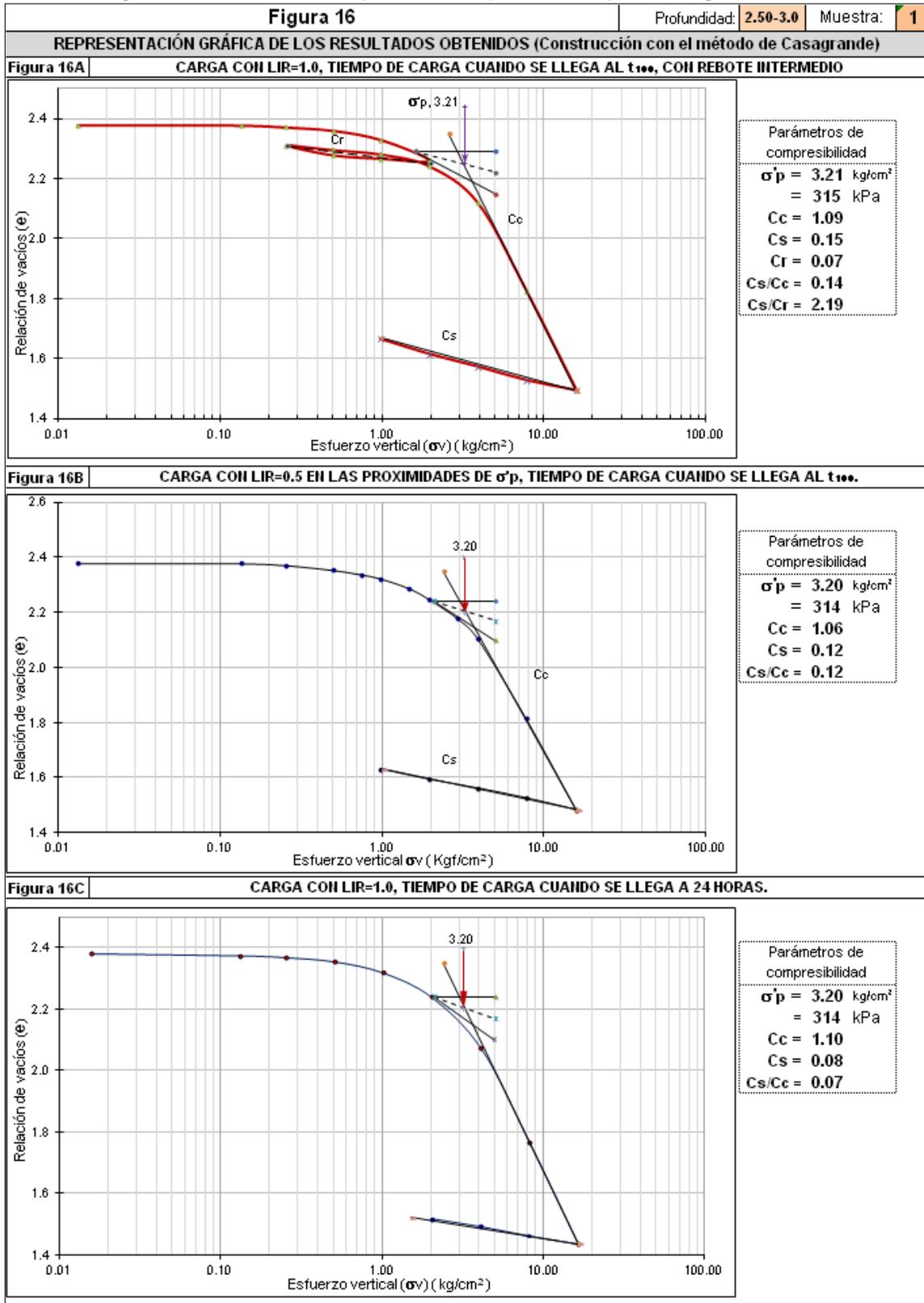


Figura 16. Curvas de compresibilidad para cada tipo de carga Muestra 1



Continuación Figura 16 curvas de compresibilidad para cada tipo de carga Muestra 1

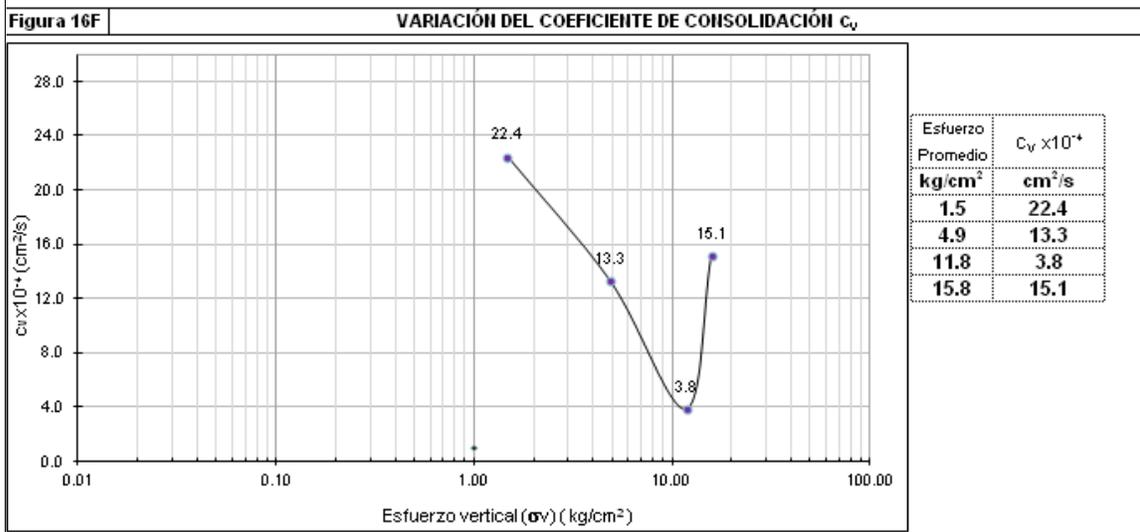
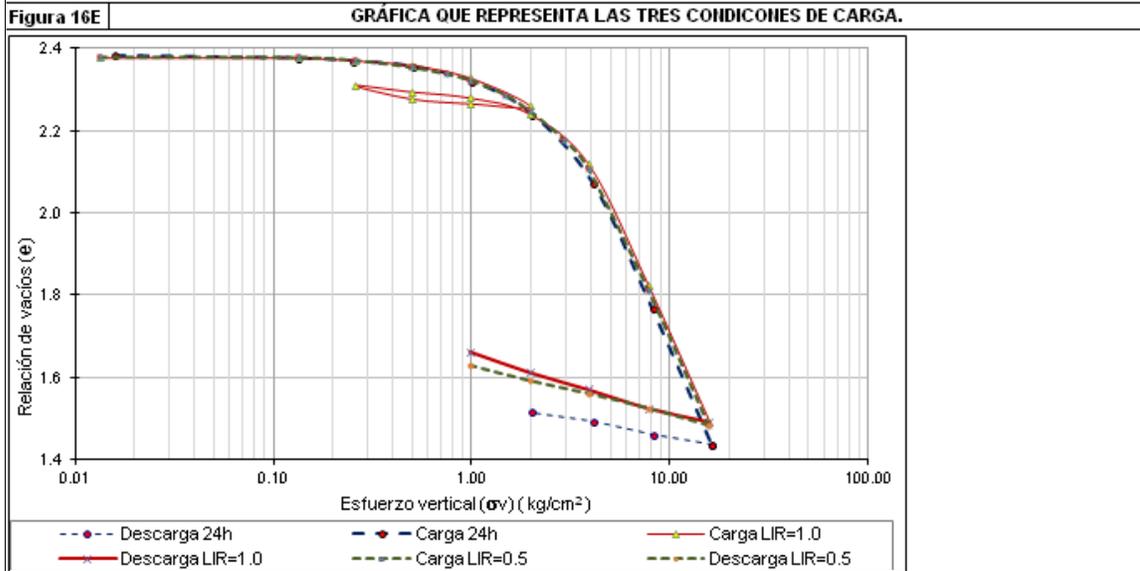
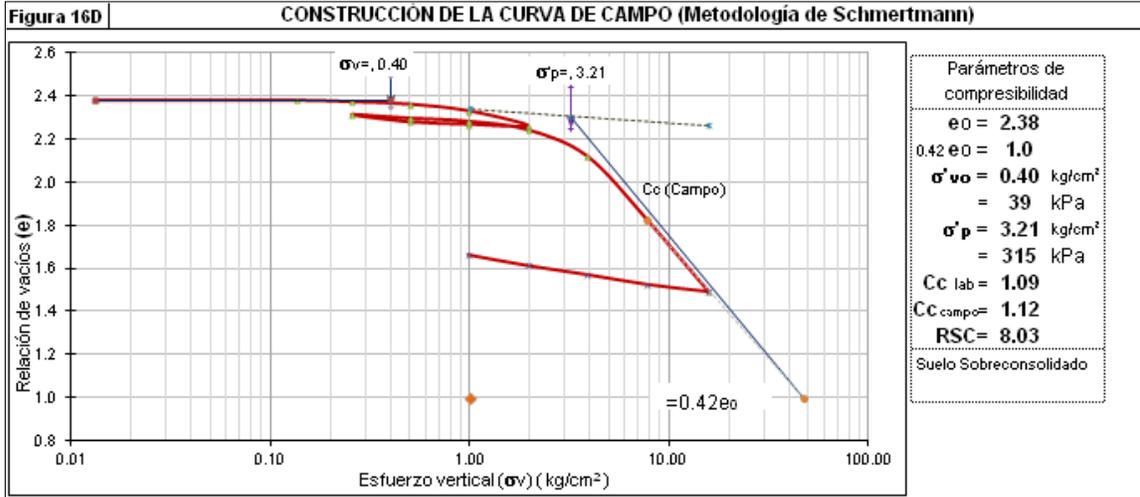
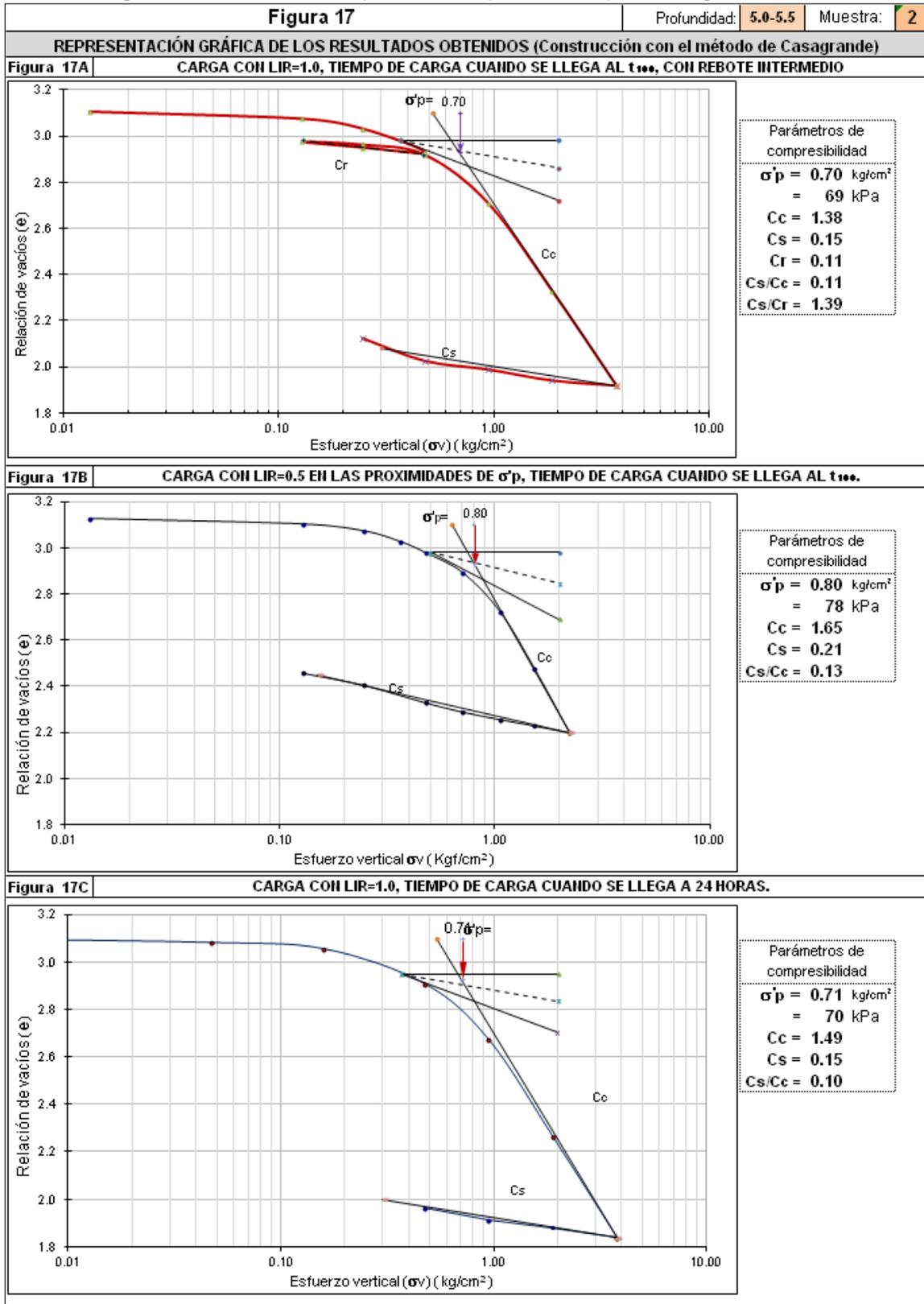


Figura 17. Curvas de compresibilidad para cada tipo de carga Muestra 2



Continuación Figura 17 curvas de compresibilidad para cada tipo de carga Muestra 2

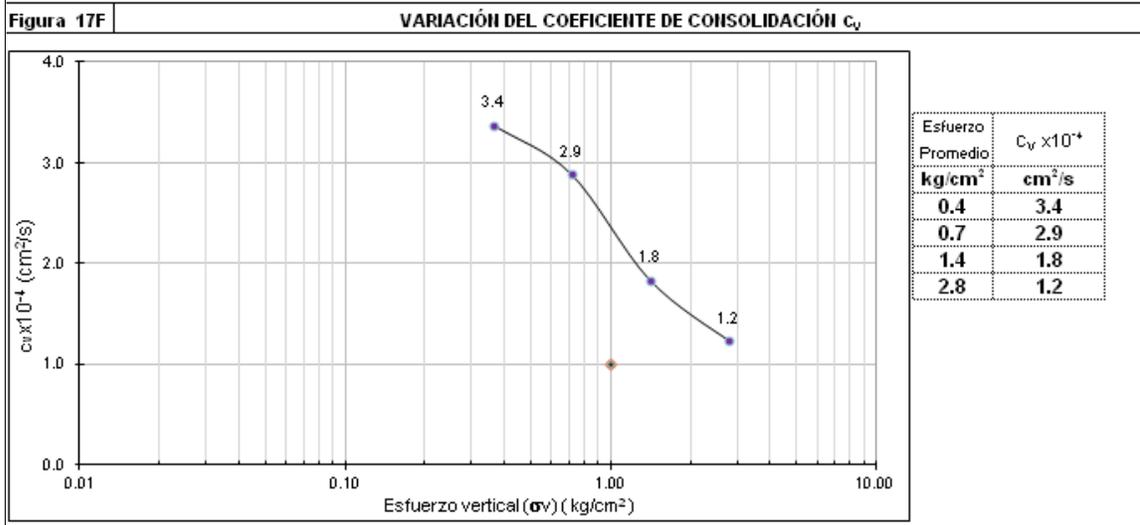
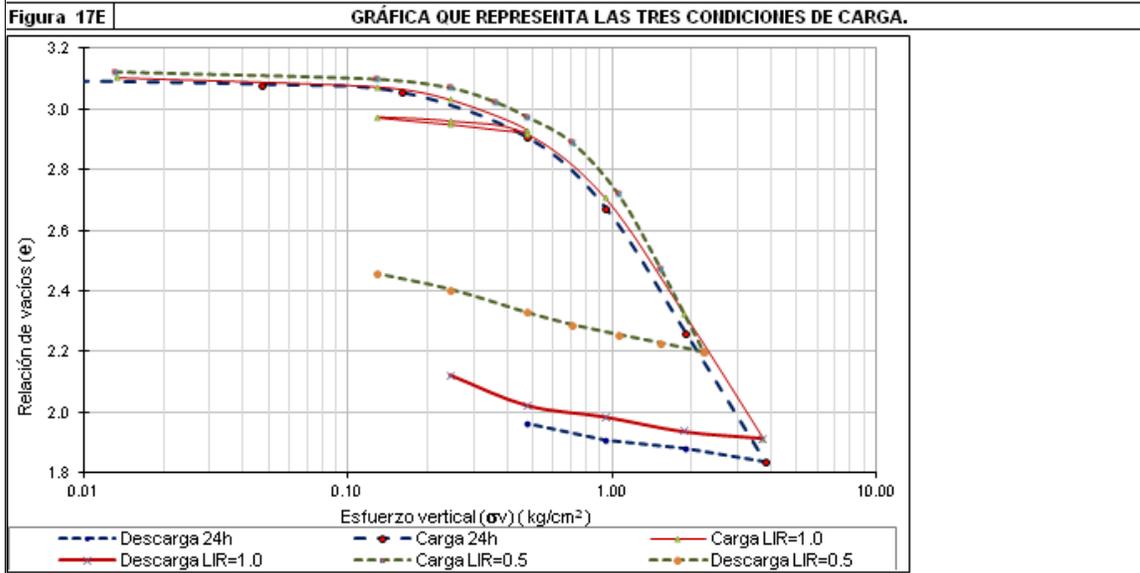
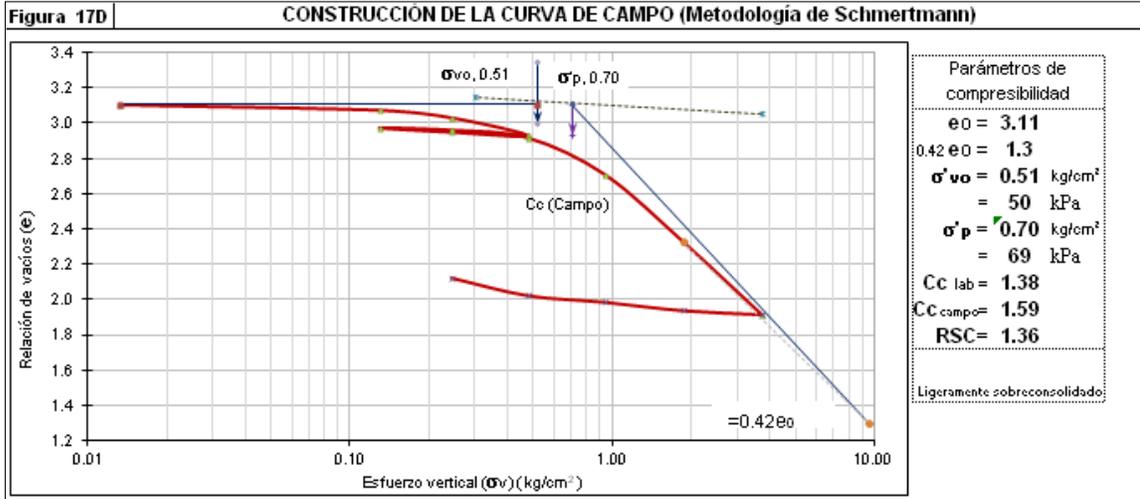
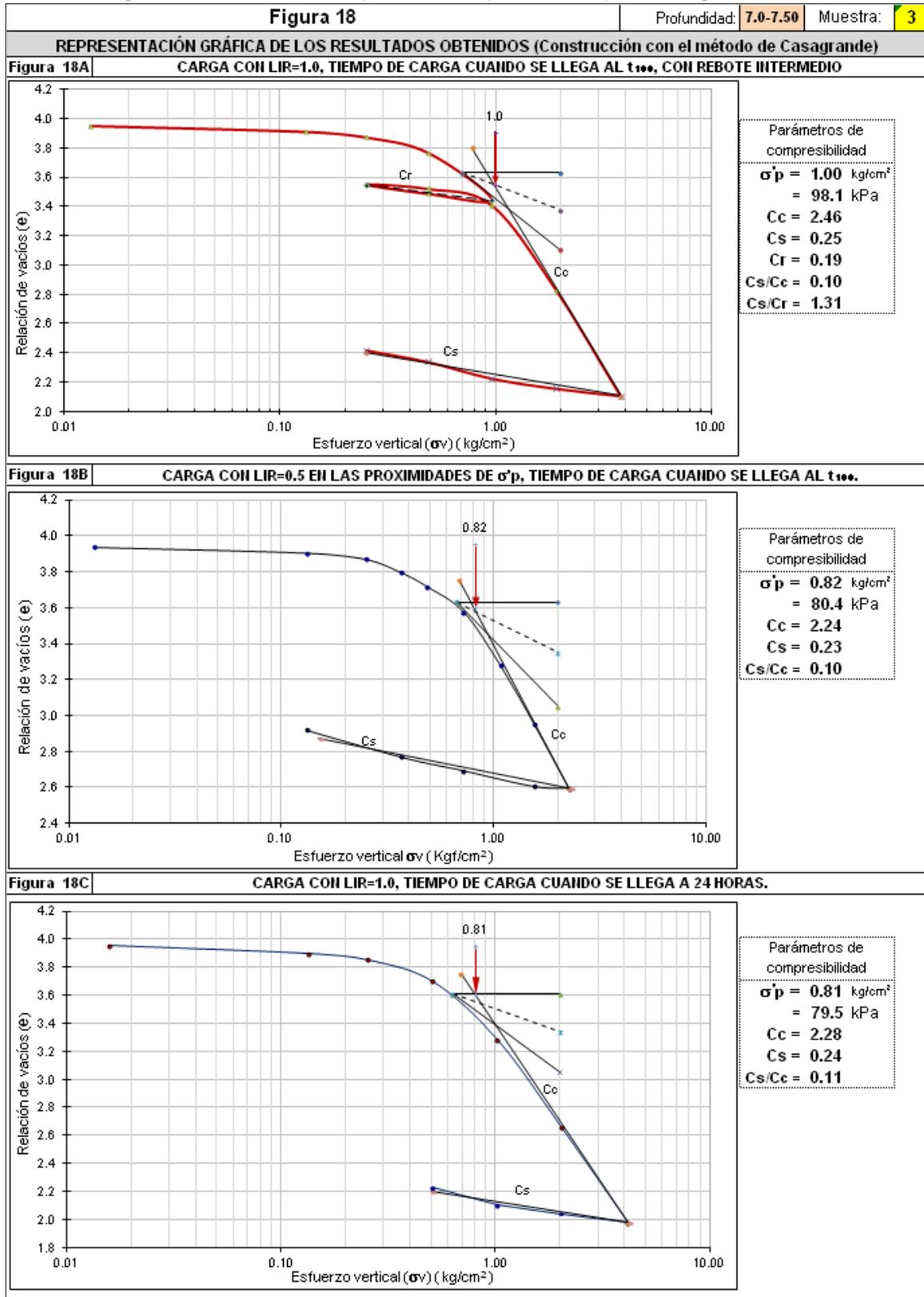


Figura 18. Curvas de compresibilidad para cada tipo de carga Muestra 3



Continuación Figura 18 curvas de compresibilidad para cada tipo de carga Muestra 3

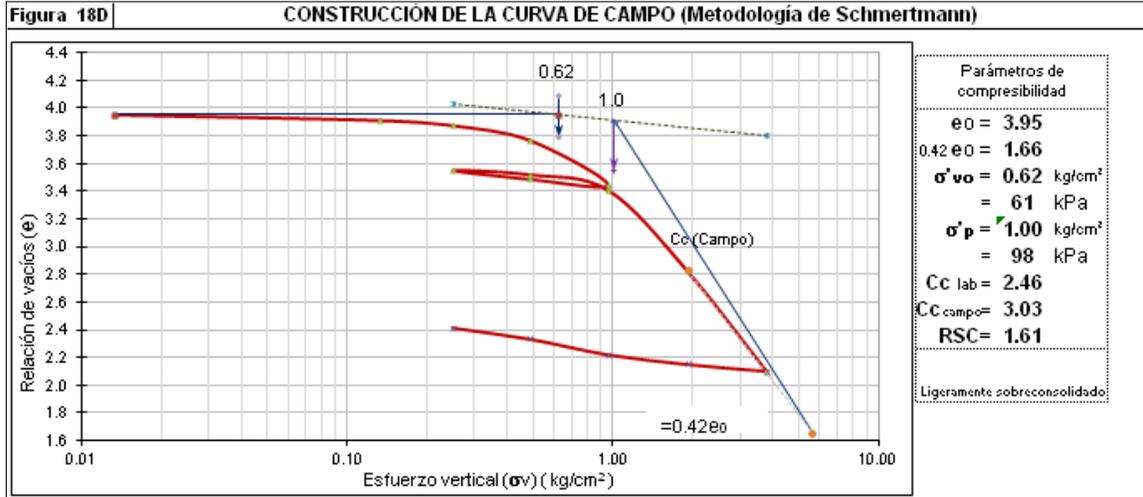


Figura 18E A LAS TRES CONDICIONES DE CARGA.

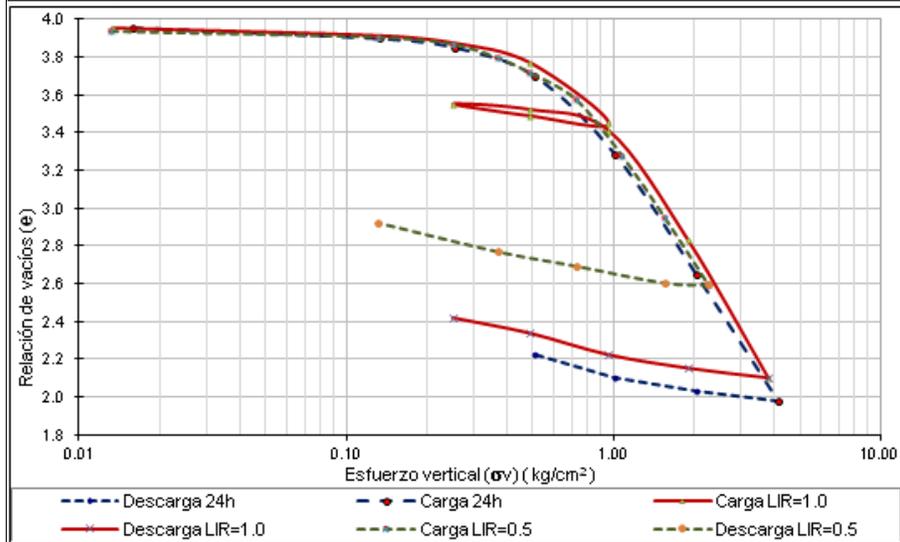


Figura 18F VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE CONSOLIDACIÓN c_v

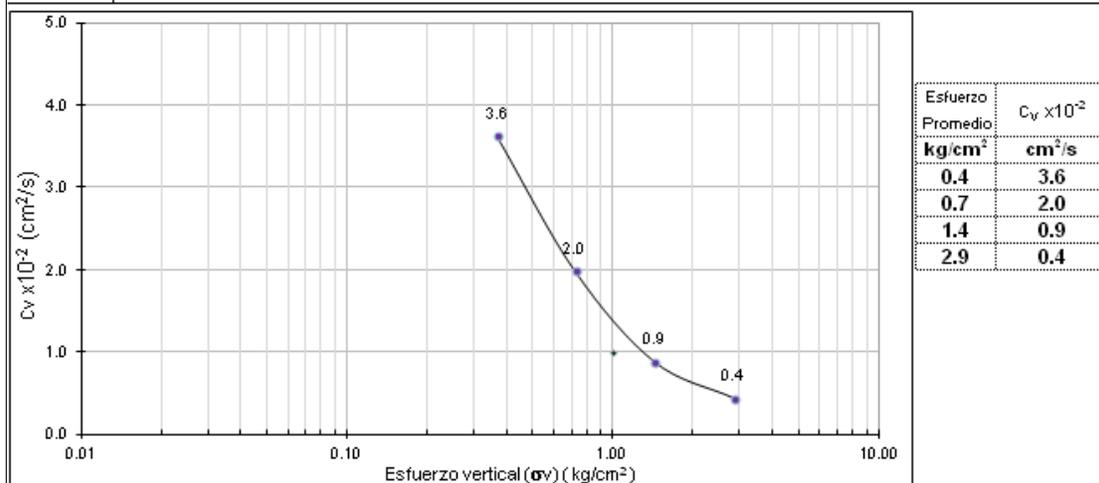
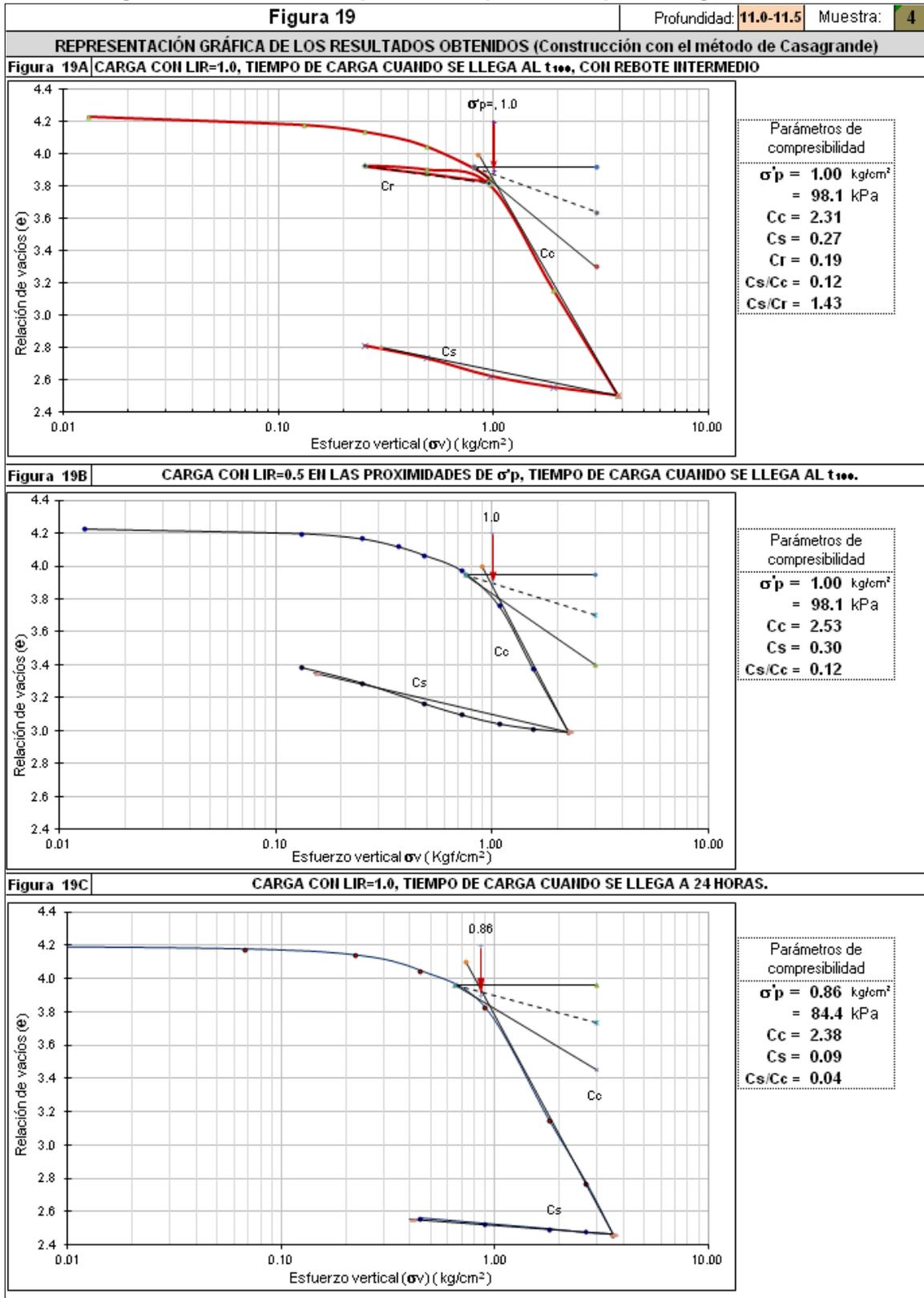


Figura 19. Curvas de compresibilidad para cada tipo de carga Muestra 4



Continuación Figura 19 curvas de compresibilidad para cada tipo de carga Muestra 4

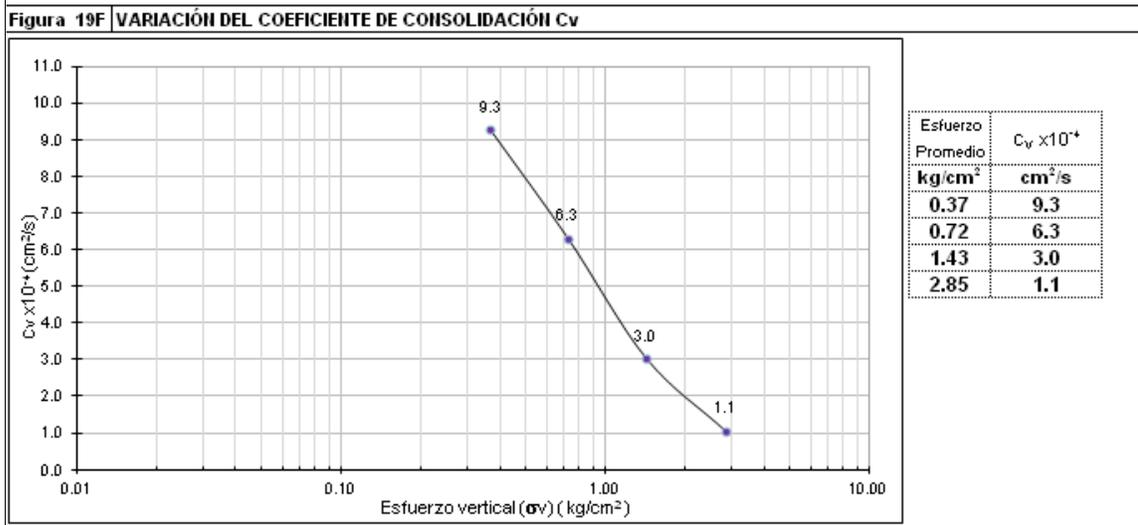
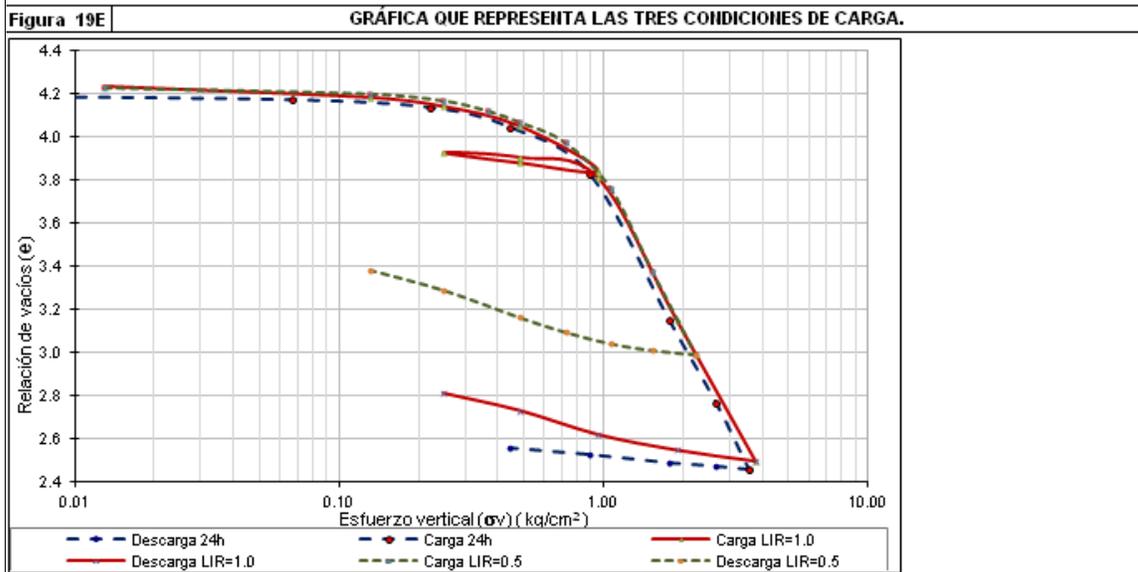
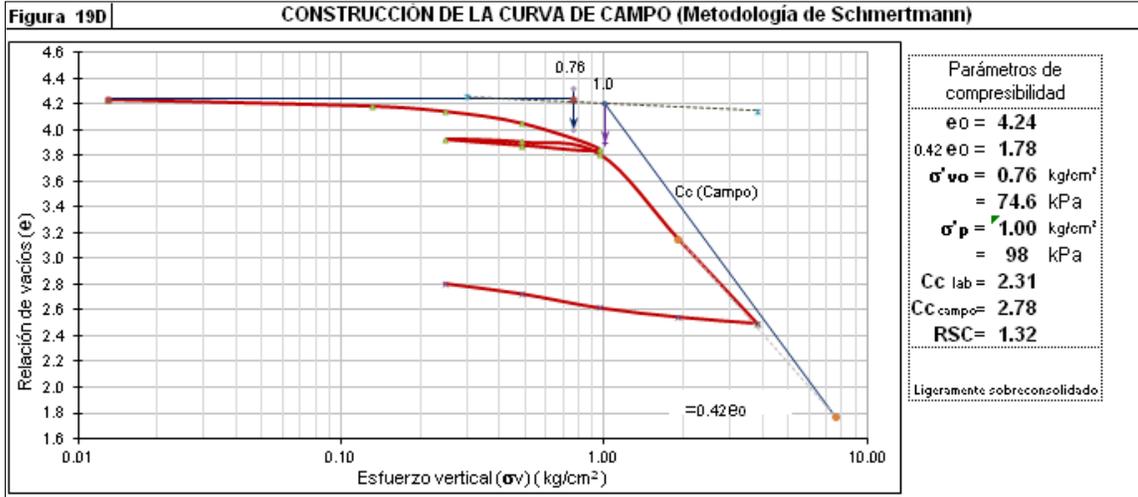
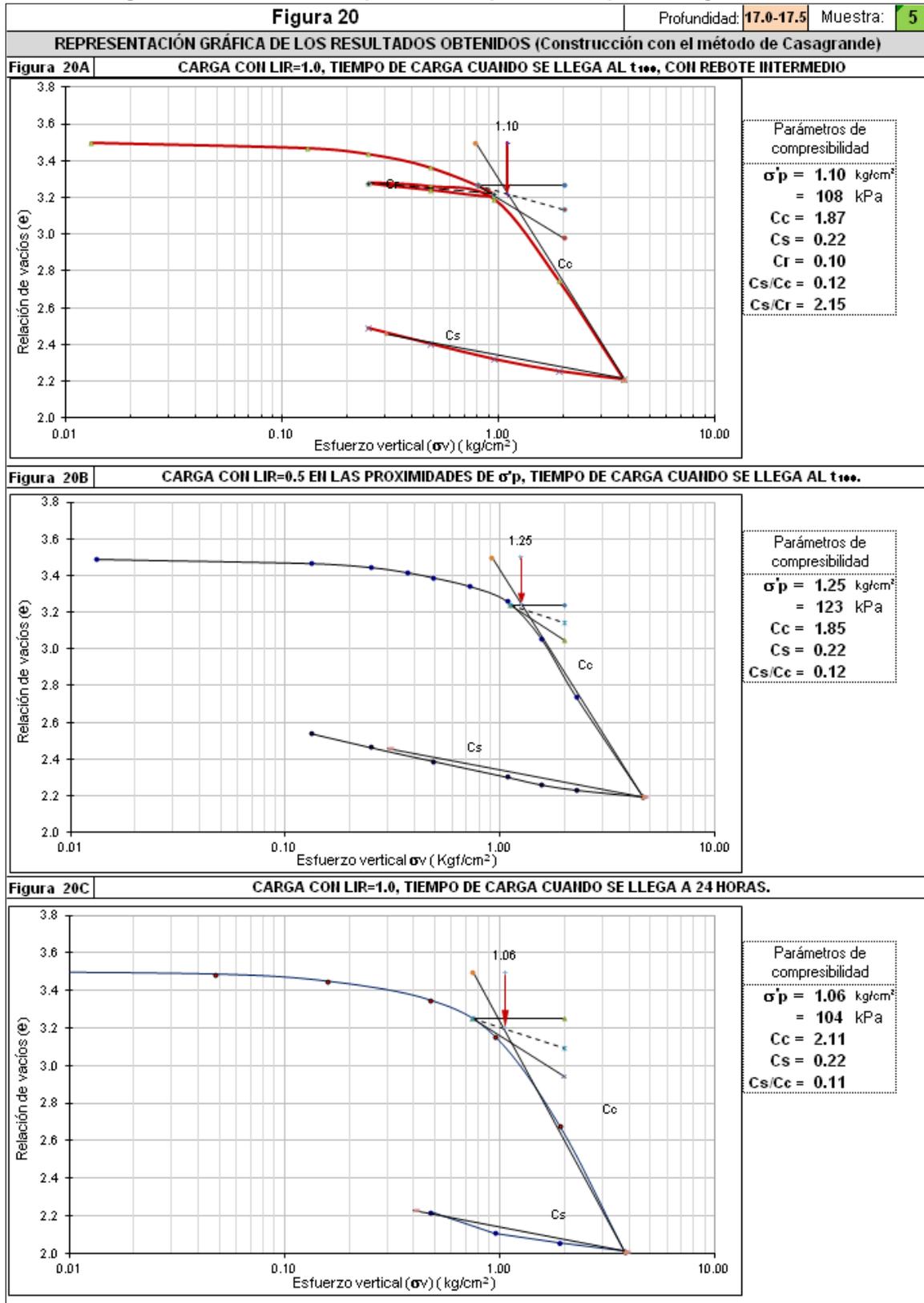


Figura 20. Curvas de compresibilidad para cada tipo de carga Muestra 5



Continuación Figura 20 curvas de compresibilidad para cada tipo de carga Muestra 5

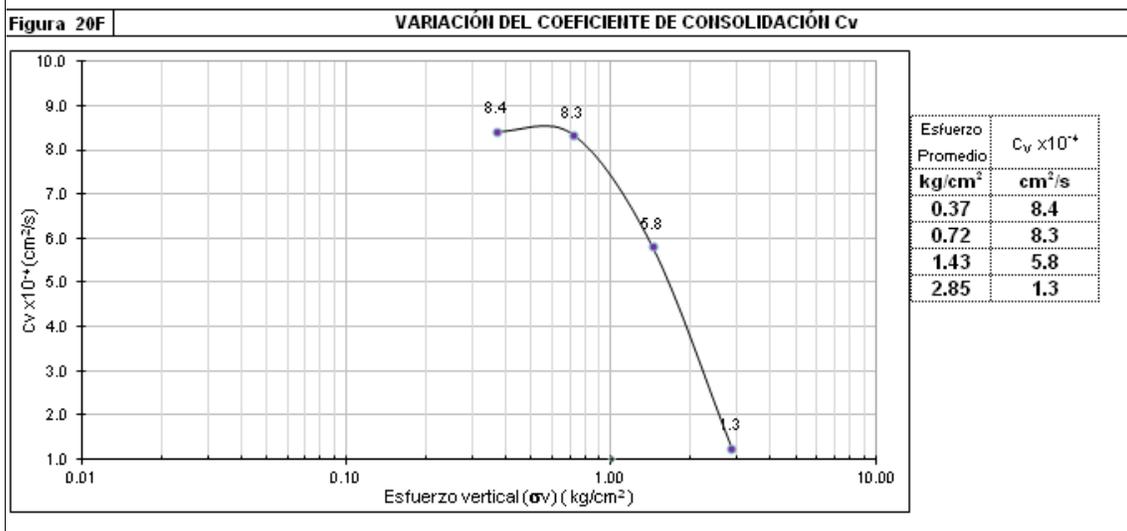
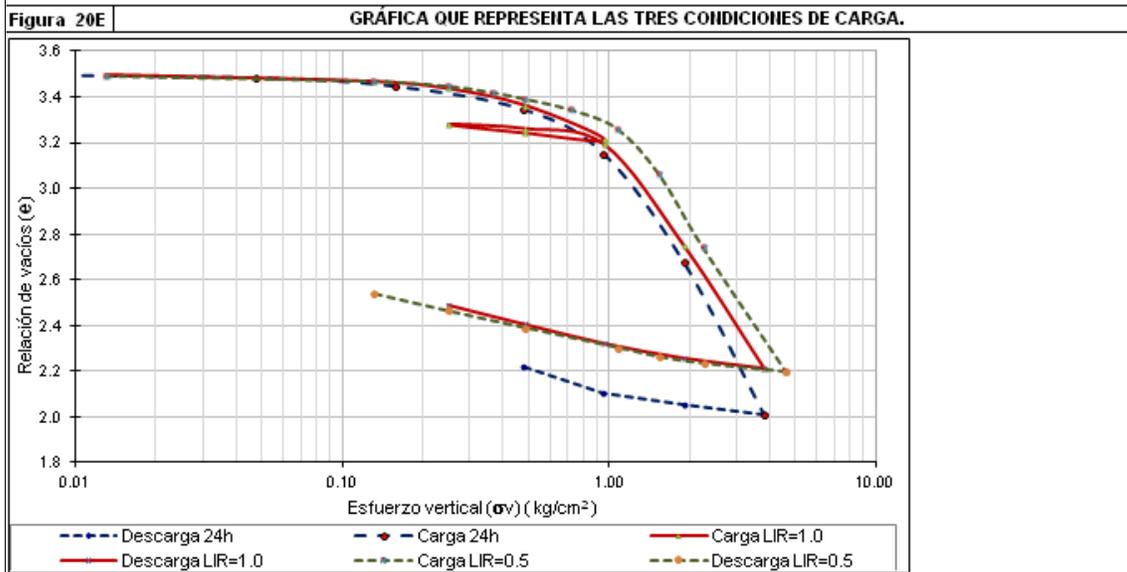
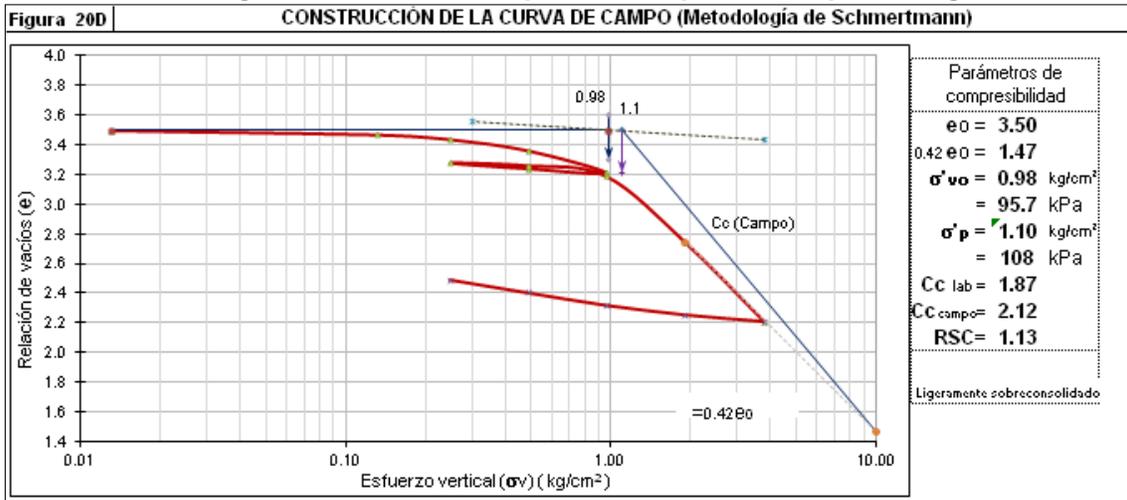
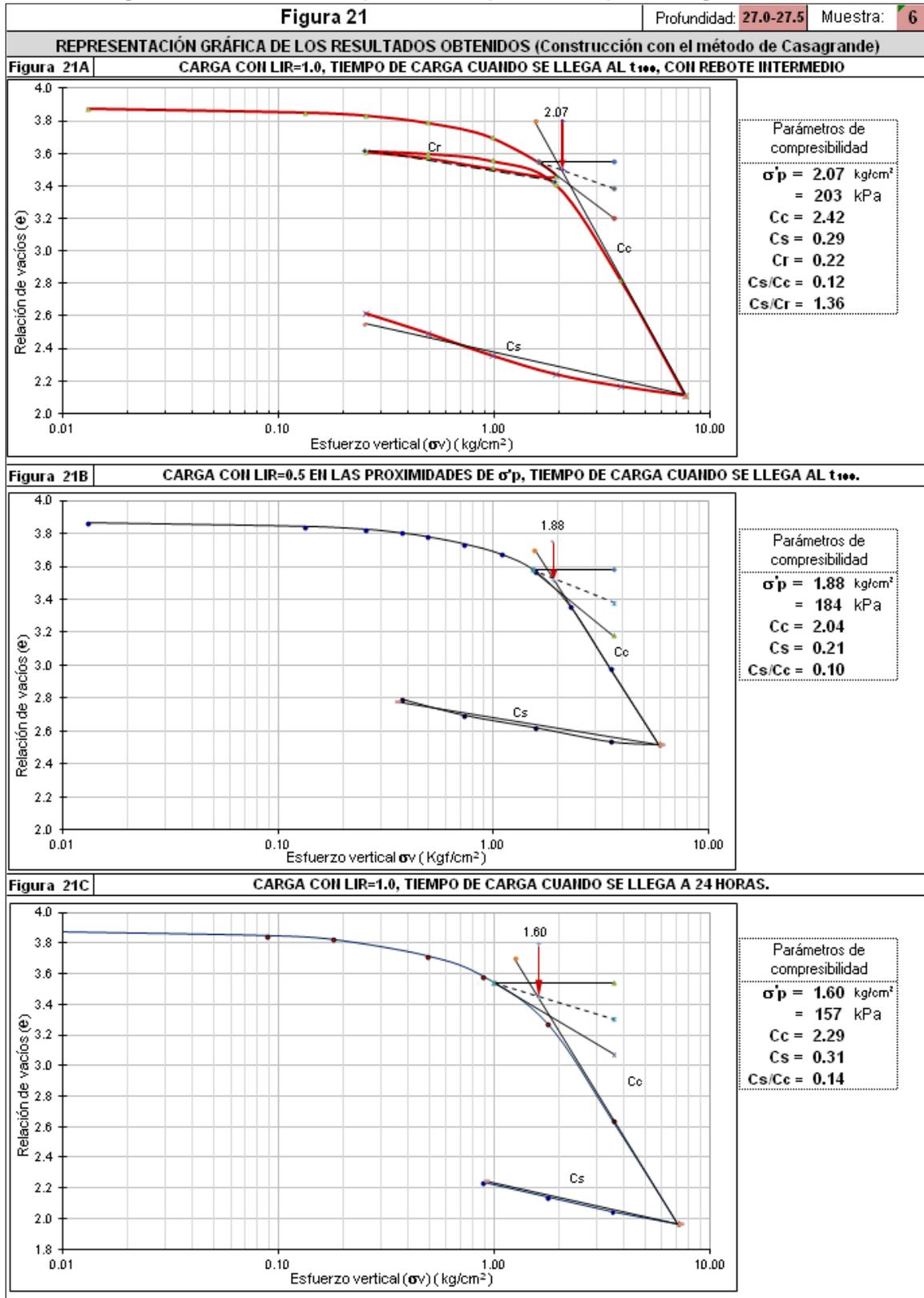
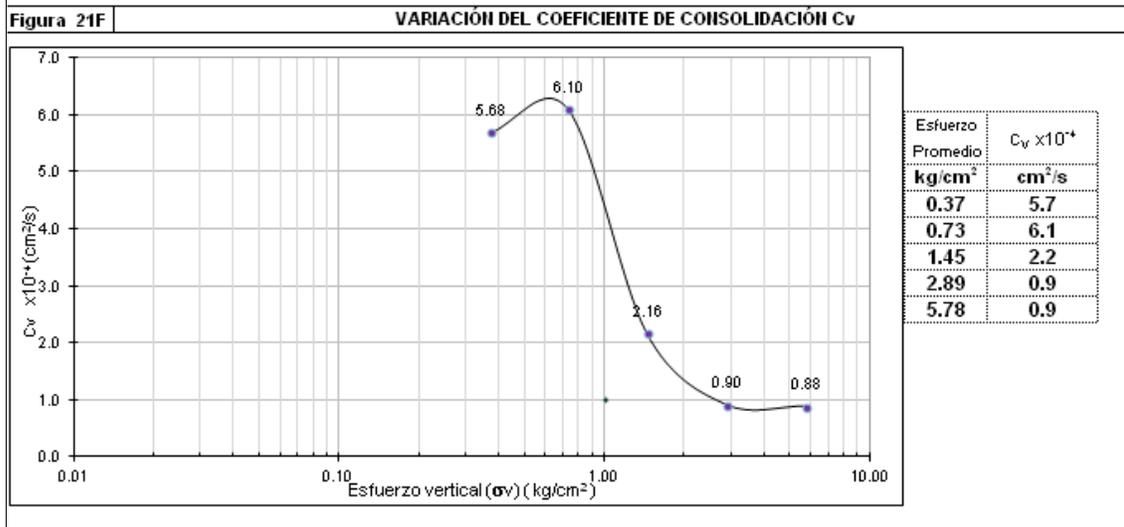
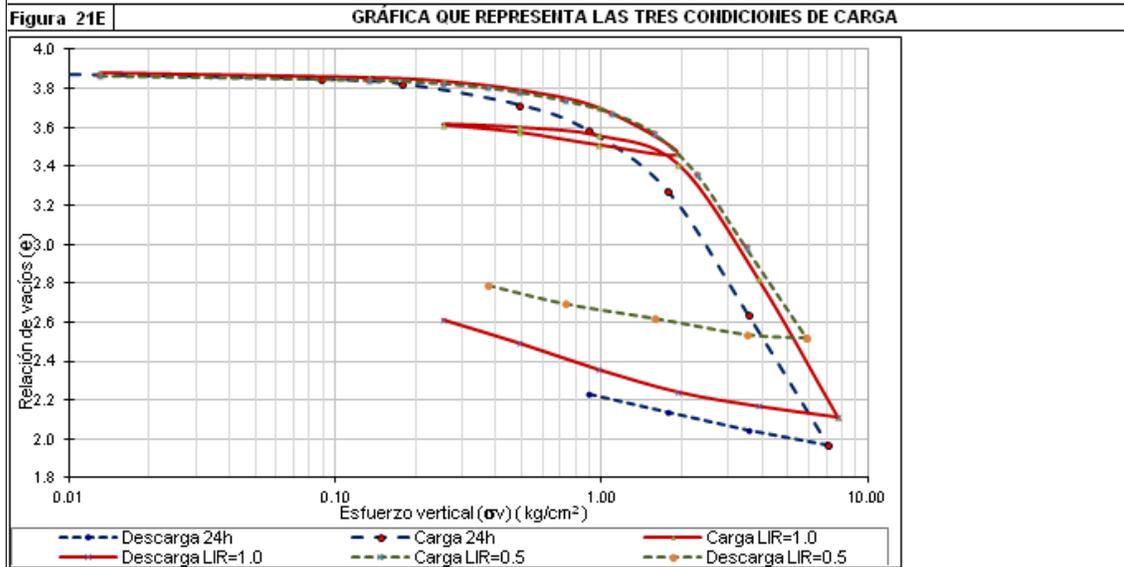
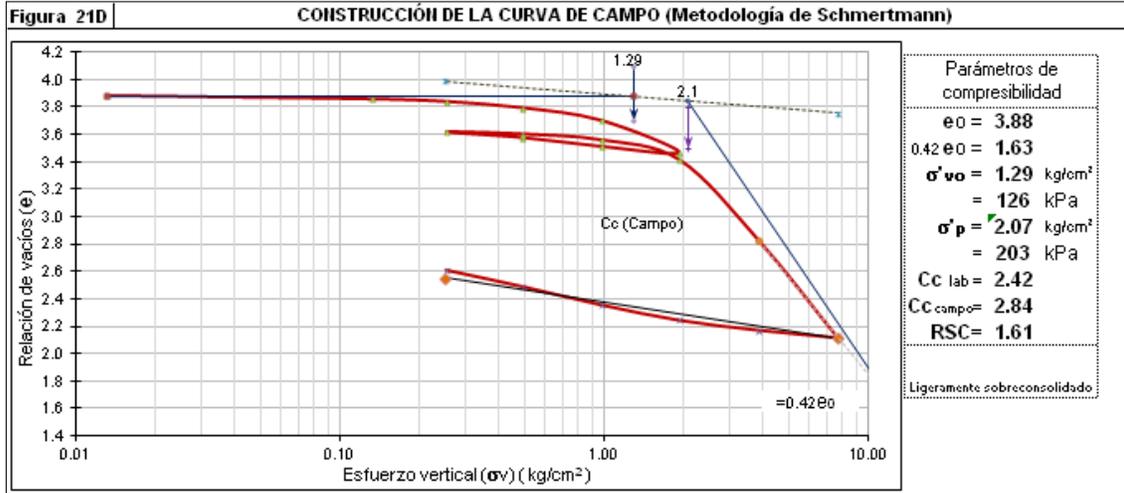


Figura 21. Curvas de compresibilidad para cada tipo de carga Muestra 6



Continuación Figura 21 curvas de compresibilidad para cada tipo de carga Muestra 6



9. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta el análisis y discusión de acuerdo con los resultados obtenidos y comparados con algunas teorías o relaciones que se presentaron anteriormente.

En la Tabla 22 se presentan los resultados obtenidos de la resistencia al corte no consolidadas no drenadas medidas mediante ensayos triaxiales y con ensayos de veleta de campo.

En la Tabla 23 se presenta el resumen de los resultados obtenidos, de la cual se harán los análisis correspondientes.

Tabla 22. Resumen de resultados obtenidos de ensayos de resistencia Su

Muestra No.	Su (TX) (kPa)	Su (veleta) Corregida (kPa)	Su (veleta) Sin Corregir (kPa)	$\frac{Su(TX)}{Su(vel)corr}$	$\frac{Su(TX)}{Su(vel) sin corr}$
1	51.3	41.4	71.6	1.24	0.72
2	24.6	30.8	52.0	0.80	0.47
3	25.6	19.8	32.4	1.30	0.79
4	32.1	18.1	35.3	1.77	0.90
5	42.4	24.4	46.1	1.73	0.91
6	37.3	24.8	39.2	1.50	0.95

9.1 RESISTENCIA AL CORTE

Se encontró que en 5 casos, de las seis muestras ensayadas, el valor obtenido de la resistencia al corte no drenada **Su** en pruebas triaxiales es mayor que la resistencia **Su** obtenida por medio de la veleta de campo, corregida ésta por velocidad del ensayo y con el Índice de Plasticidad, IP.

El valor de Su, determinada con ensayos triaxiales es de **1.30** a **1.77** veces que el obtenido con ensayos de veleta de campo corregida por plasticidad.

Los valores de Su, determinada con ensayo triaxiales es de **0.47** a **0.95** veces que el obtenido con veleta de campo sin corregir por plasticidad.

En 5 casos, de la muestra 2 a la muestra 6, se encontró $RSC < 2.0$ (Arcillas ligeramente sobreconsolidadas). En la Figura 13 que se presentó en el numeral 8.3, se pueden ver las diferencias comentadas.

Tabla 23. Resumen de los resultados obtenidos

RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS																					
PROYECTO: CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIBILIDAD Y RESISTENCIA DE ARCILLAS TÍPICAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ.																					
Muestra No.	Tipo muestra	Profundidad (m)		Clasificación SUCS	γ (kN/m ³)	Gs	w _n (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	σ'_{vo} (kPa)	σ'_p (kPa)	Cc Lab	Cc Campo	Cr	Cs	e ₀	RSC	Su TX (UU) (kPa)	Su (Veleta corregida) (kPa)	Su (Veleta No corregida) (kPa)
		Inicial	Final																		
1	SH	2.50	3.00	2.75	14.2	2.88	83	170	47	124	39.2	315.0	1.09	1.12	0.07	0.15	2.38	8.0	51.3	41.4	71.6
2	SH	5.00	5.50	5.25	14.0	2.76	112	163	37	126	50.5	68.7	1.38	1.59	0.11	0.15	3.09	1.4	24.6	30.8	52.0
3	SH	7.00	7.50	7.25	13.0	2.71	143	166	53	113	60.9	98.1	2.46	3.03	0.19	0.25	3.96	1.6	25.6	19.8	32.4
4	SH	11.00	11.50	11.25	12.8	2.69	155	186	47	149	74.8	98.1	2.31	2.78	0.19	0.27	4.19	1.3	32.1	18.1	35.3
5	SH	17.50	18.00	17.75	13.4	2.68	129	179	50	129	95.7	110.0	1.87	2.12	0.10	0.22	3.50	1.1	42.4	24.4	46.1
6	SH	27.00	27.50	27.25	12.9	2.65	142	143	44	99	126.3	203.0	2.42	2.84	0.22	0.29	3.88	1.6	37.3	24.8	39.2

SÍMBOLOS UTILIZADOS														
SH:	Shelby	LP:	Límite Plástico	σ'_{vo} :	Esfuerzo vertical efectivo	Cs:	Índice de expansión							
USCS:	Clasificación Unificada de Suelos	IP:	Índice de plasticidad	σ'_p :	Presión de preconsolidación	Su TX (UU):	Resistencia al corte no drenado en cámara triaxial							
γ :	Peso unitario	w _n :	Humedad Natural	Cc:	Índice de compresión	Su (Velet):	Resistencia al corte con veleta de campo							
LL:	Límite líquido	Gs:	Gravedad específica	Cr:	Índice de recompresión	RSC:	Relación de sobreconsolidación							
				eo:	Relación de vacíos									

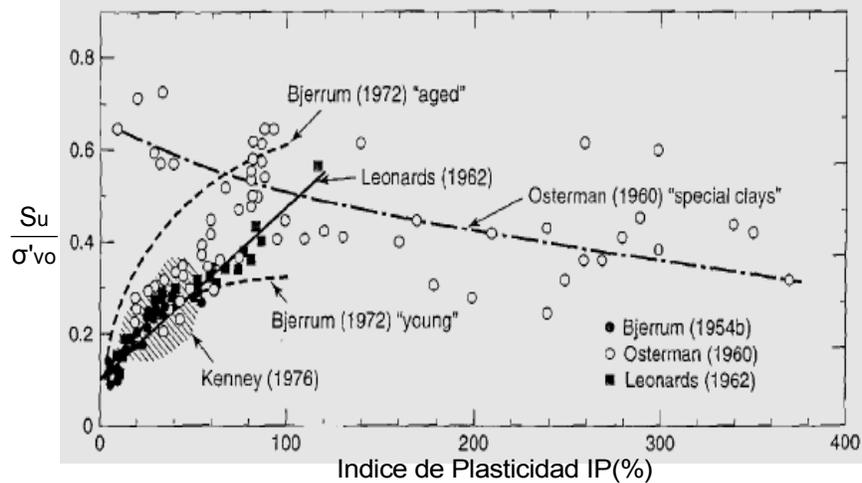
9.2 RELACIÓN DE ESFUERZOS

9.2.1 Relaciones propuestas por Jamiolkowski y Mesri

Bjerrum (1972), Leonards (1962, Osterman (1960), Kenney (1976), encontraron que en arcillas consolidadas existía una relación entre la resistencia al corte no drenado y el esfuerzo efectivo vertical, S_u/σ'_{vo} , que varían con el índice de plasticidad IP y otros factores, en arcillas normalmente consolidadas o ligeramente sobreconsolidadas. La relación obtenida por cada uno de los investigadores se presenta en la gráfica 3.

Gráfica 3. Relación S_u/σ'_{vo} , varios autores

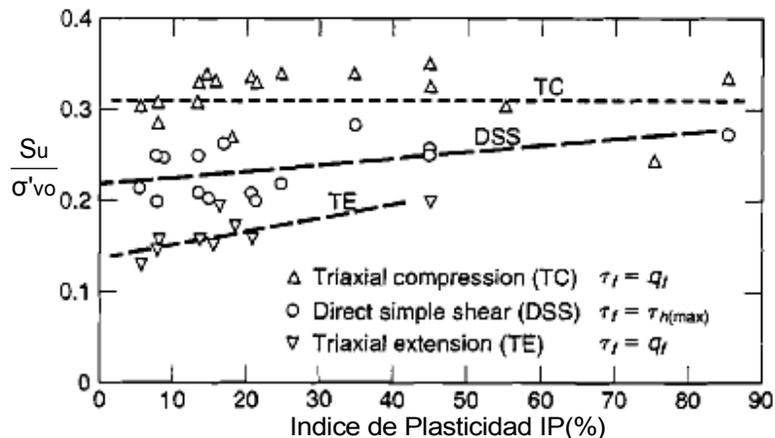
(Gráfica tomada de An Introduction to Geotechnical Engineering, Holtz, Kovacs, Sheahan, pg 711)



En 1985 **Jamiolkowski**, al igual que **Bjerrum** en 1972; recomendó que, en lo posible, para determinar S_u , se realizaran pruebas de compresión triaxial, extensión triaxial o corte directo en muestras de suelo de muy buena calidad. Los ensayos de compresión triaxial dan resultados mayores que los valores obtenidos en otros ensayos de laboratorio y los obtenidos con veleta en campo; como se muestra en la gráfica 4.

Gráfica 4. Relación S_u/σ'_{vo} , obtenida por Jamiolkowski

(Gráfica tomada de An Introduction to Geotechnical Engineering, Holtz, Kovacs, Sheahan, pg 725)



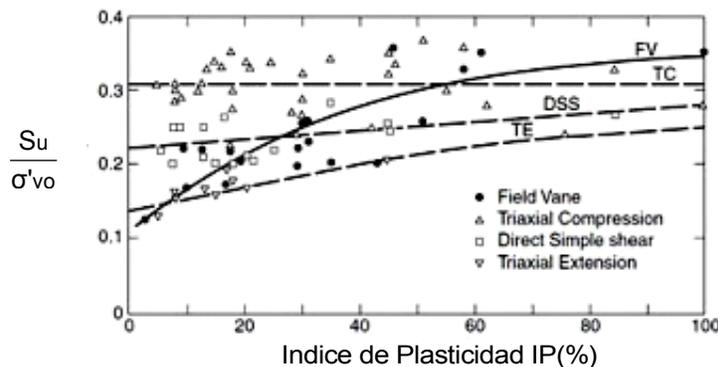
Si no es posible realizar ensayos triaxiales ó de corte directo, **Jamiolkowski** recomienda realizar ensayos de consolidación en muestras de buena calidad y obtener σ'_p y **RSC**. Con estos valores se puede utilizar la siguiente ecuación para obtener Su/σ'_{vo} , independiente de la plasticidad.

$$\frac{Su}{\sigma'_{vo}} = \pm C)^{0.8} \quad \text{y} \quad \frac{Su}{\sigma'_p} = \pm$$

En 1975, **Mesri** encontró que la relación Su/σ'_p era poco dependiente del índice de plasticidad y que era variable en función del tipo de ensayo que se realice: compresión triaxial, extensión triaxial, corte simple ó veleta de campo. La gráfica 5 muestra resultados de la relación Su/σ'_p en diferentes condiciones de ensayo.

Gráfica 5. Relación Su/σ'_p , Mesri 1975

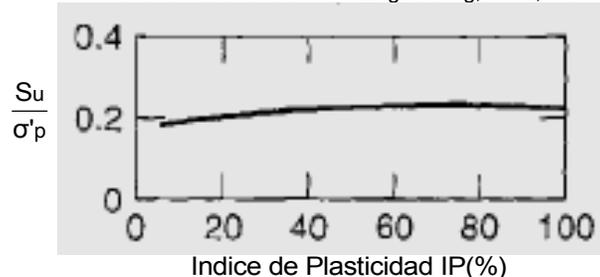
(Gráfica tomada de An Introduction to Geotechnical Engineering, Holtz, Kovacs, Sheahan, pg 727)



Mesri en 1989 concluyó que la relación Su/σ'_p es independiente del índice de plasticidad y que es constante en 0.22. Los análisis se presentan en la gráfica 6.

Gráfica 6. Relación Su/σ'_p , Mesri 1975-1989

(Gráfica tomada de An Introduction to Geotechnical Engineering, Holtz, Kovacs, Sheahan, pg 715)



Entonces, según **Mesri**, a partir de perfiles de σ'_p obtenidos mediante ensayos confiables de consolidación, es posible obtener los valores de resistencia al corte del suelo Su . Si se cuentan con valores confiables de Su , es posible completar el perfil de σ'_p . esto se puede lograr con el uso de la siguiente ecuación.

$$\frac{Su}{\sigma'_p} = \Rightarrow =$$

9.2.2 Comprobación de las relaciones de Jamiolkowski y Mesri

De acuerdo con los resultados obtenidos, en el presente trabajo de grado, para los suelos en condición de ligeramente sobreconsolidados, con RSC entre 1 y 2, muestras 2 a la 6, se presentan los valores de RSC, σ'_p y σ'_{vo} e IP con el fin de establecer las relaciones planteadas.

Tabla 24. Valores de esfuerzos en suelo ligeramente sobreconsolidado

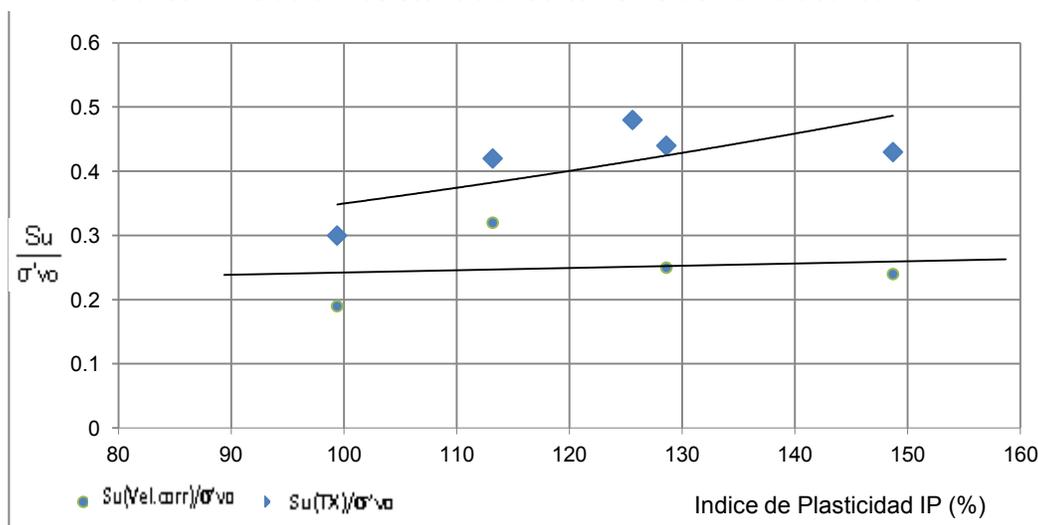
Muestra	Su (TX) (kPa)	Su (veleta) Corr (kPa)	Su (veleta) Sin Corr (kPa)	σ'_p (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	IP (%)	RSC
2	24.6	30.8	52.0	68.7	50.5	126	1.36
3	25.6	19.8	32.4	98.1	60.9	113	1.61
4	32.1	18.1	35.3	98.1	74.8	149	1.31
5	42.4	24.4	46.1	110.0	95.7	129	1.15
6	37.3	24.8	39.2	203.0	126.3	99	1.61

Tabla 25. Relaciones de Resistencia - Esfuerzos

Muestra	$\frac{Su(TX)}{\sigma'_{vo}}$	$\frac{Su(vel - corr)}{\sigma'_{vo}}$	$\frac{Su(vel - sin corr)}{\sigma'_{vo}}$	$\frac{Su(TX)}{\sigma'_p}$	$\frac{Su(vel - corr)}{\sigma'_p}$	$\frac{Su(vel - sin corr)}{\sigma'_p}$	RSC ^{0.8}
2	0.48	0.60	1.0	0.35	0.44	0.75	1.28
3	0.42	0.32	0.53	0.26	0.20	0.33	1.46
4	0.43	0.24	0.47	0.32	0.18	0.36	1.24
5	0.44	0.25	0.48	0.38	0.22	0.42	1.12
6	0.30	0.19	0.31	0.18	0.12	0.19	1.46

En la gráfica 7 se representa la resistencia Su Vs IP para los dos tipos de ensayos realizados.

Gráfica 7. Relación resistencia al corte Vs Esfuerzo vertical con el IP

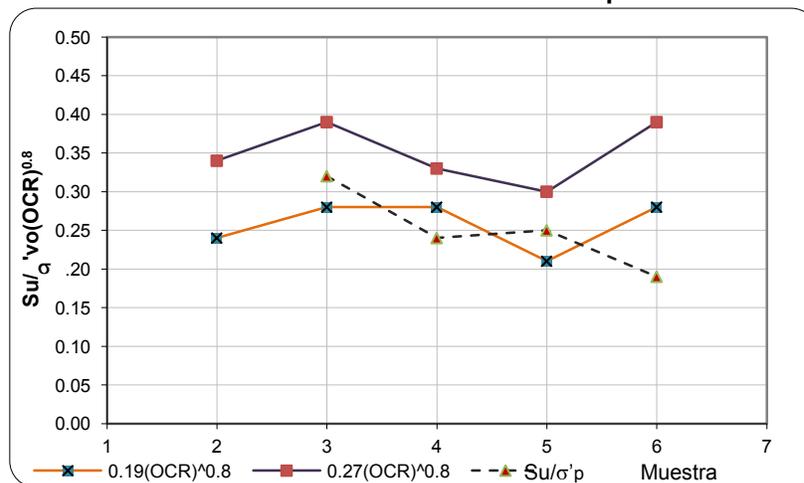


Al tomar los valores de la relación Su/σ'_{vo} y multiplicarlos por $OCR^{0.8}$, teniendo en cuenta que los análisis son aplicables más convenientemente a los resultados obtenidos con veleta de campo corregida por plasticidad, se tienen los resultados de la Tabla 26 representados en la gráfica 8.

Tabla 26. Valores obtenidos recomendados por Jamiolkowski

No	$\frac{Su_{(vel - corr)}}{\sigma'_{vo}}$	$RSC^{0.8}$	$0.19(RSC)^{0.8}$	$0.23(RSC)^{0.8}$
2	0.60	1.28	0.24	0.34
3	0.32	1.46	0.28	0.39
4	0.24	1.24	0.28	0.33
5	0.25	1.12	0.21	0.30
6	0.19	1.46	0.28	0.39

Gráfica 8. Valores obtenidos vs Recomendados por Jamiolkowski



Se observa que el ensayo de la muestra 2 es atípico con respecto a los demás y que solamente la muestra 3 y 5 están dentro de la recomendación de Jamiolkowski. Los resultados de la muestra 4 y 6 se salen del rango pero con diferencia poco significativa.

Se puede comentar que la relación entre la resistencia al corte no drenada Su y el esfuerzo vertical efectivo σ'_{vo} , en función de la relación de sobreconsolidación RSC , presentada por Jamiolkowski es bastante acertada para los suelos ensayados en el presente trabajo.

9.2.3 Análisis con los resultados obtenidos

Con los resultados obtenidos se hizo un análisis de la relación Su/σ'_{vo} , apoyado con la gráfica 8. En los análisis se determinaron datos estadísticos de los valores en los que se incluyó la media y la desviación estándar de los datos disponible. Los resultados de la muestra 2 resaltados en las Tablas se consideran atípicos. De la misma manera, en la

estratigrafía se encontró en la muestra 1 suelo fuertemente sobre consolidado, en el cual por disponer de un solo dato se hace difícil hacer algún tipo de análisis.

A continuación se presentan los análisis realizados independientes del Índice de plasticidad IP y relación de sobreconsolidación RSC.

Muestra	Su/σ'_{vo}	Su/σ'_{vo}
	TX	Veleta corregida
3	0.42	0.33
4	0.43	0.24
5	0.44	0.26
6	0.30	0.20
Media =	0.40	0.25
Desviación Estándar =	0.07	0.04
Valor menor =	0.33	0.21
Valor mayor =	0.47	0.30
$Su/\sigma'_{vo} \approx$	0.40 ± 0.07	0.25 ± 0.04
Su \approx	$(0.40 \pm 0.07)\sigma'_{vo}$	$(0.25 \pm 0.04)\sigma'_{vo}$

De los análisis se plantea que para las arcillas ligeramente sobreconsolidadas típicas de Bogotá, se podría usar la siguiente relación para determinar la resistencia al corte no drenada S_u .

$$\frac{S_u}{\sigma'_{vo}} = 0.25 \pm 0.04 \Rightarrow S_u = (0.25 \pm 0.04)\sigma'_{vo}$$

La anterior expresión corresponde a la determinación de la resistencia In situ tomada con veleta de campo corregida con IP, por velocidad del ensayo, motivo a que ensayos de otro tipo tienden a dar valores mayores.

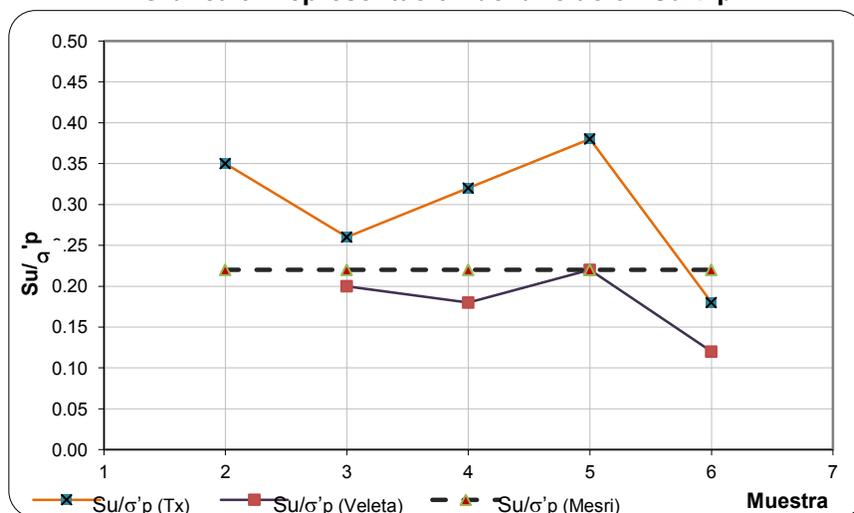
Ahora, teniendo en cuenta la relación S_u/σ'_p , se obtuvieron los valores para dicha relación y se presentan en la Tabla 27 y en la gráfica 9.

Tabla 27. Valores de la relación S_u/σ'_p

Muestra	$\frac{S_u(Tx)}{\sigma'_p}$	$\frac{S_u(vel - corr)}{\sigma'_p}$	$\frac{S_u}{\sigma'_p}$ Según Mesri
2	0.35	0.44	0.22
3	0.26	0.20	0.22
4	0.32	0.18	0.22
5	0.38	0.22	0.22
6	0.18	0.12	0.22

De la misma manera que se detectó en los análisis anteriores, los valores obtenidos para la muestra 2 son atípicos y no serán tenidos en cuenta.

Gráfica 9. Representación de la relación $Su/\sigma'p$



De lo anterior se puede observar que uno solo de los valores, muestra 5, cumple exactamente con la recomendación de Mesri (1975). Las demás muestras presentan relación por debajo pero muy próximas a la línea de referencia. Si se descartara en los análisis la muestra 6, se aprecia que los valores se acercan bastante a la teoría de Mesri.

A continuación se presentan los análisis realizados independientes del Índice de plasticidad IP.

Muestra	$Su/\sigma'p$	$Su/\sigma'p$
	TX	Veleta corregida
3	0.26	0.20
4	0.33	0.19
5	0.39	0.22
5	0.18	0.12
Media =	0.29	0.18
Desviación Estándar =	0.09	0.02
Valor menor =	0.20	0.16
Valor mayor =	0.38	0.20
$Su/\sigma'vo \approx$	0.29 ± 0.09	0.18 ± 0.02
Su \approx	$(0.29 \pm 0.09)\sigma'p$	$(0.18 \pm 0.02)\sigma'vo$

De los análisis realizados, se plantea que para las arcillas ligeramente sobreconsolidadas típicas de Bogotá en el sector de Fontibón, se podría usar la siguiente relación, para

determinar la resistencia al corte no drenada **Su**, si se tienen ensayos de consolidación de buena calidad, en los que se pueda determinar con buena exactitud el esfuerzo de preconsolidación.

$$\frac{S_u}{\sigma'_p} = 0.18 \pm 0.02 \Rightarrow S_u = (0.18 \pm 0.02) \sigma'_p$$

9.3 CORRELACIONES DE COMPRESIBILIDAD

De los resultados obtenidos a partir de los ensayos de consolidación se presentan a continuación diferentes relaciones y correlaciones obtenidas.

9.3.1 Variación del σ'_p de varios tipos de ensayos de consolidación

La Tabla 28 muestra los valores del esfuerzo de preconsolidación para cada uno de los tipos de ensayos planteados.

Tabla 28. Presión de preconsolidación según el tipo de ensayo de consolidación realizado

Muestra No.	σ'_p			Desviación Estándar	Valor medio	Variación respecto al mayor valor (%)
	LIR=1.0 tf=t ₁₀₀	LIR=0.5 tf=t ₁₀₀	LIR=1.0 tf=24 horas			
1	315	314	314	0.6	314	0.2
2	69	78	70	5.4	72	7.8
3	98	80	80	10.5	86	10.7
4	98	98	84	7.9	94	8.1
5	108	123	104	10.0	112	9.3
6	203	184	157	23.1	181	11.4
Promedio =						9.5

En todos los casos se observa que el valor de σ'_p es menor en los ensayos proyectados con incrementos de carga cuando se cumplen 24 horas (tf=t_{24horas}). Para arcillas ligeramente sobreconsolidadas, el valor de σ'_p obtenido con ensayos de consolidación con incrementos de carga a las 24 horas es del orden de **0.9** σ'_p obtenido con ensayos de consolidación con incrementos de carga cuando se llega al t₁₀₀.

9.3.2 Relación entre los índices de recompresión y expansión, Cr/Cs.

De los resultados obtenidos del índice de recompresión Cr e índice de expansión Cs, obtenidos en los ensayos con incrementos de carga en t₁₀₀ y con rebote intermedio en las proximidades del σ'_p , se tiene la relación que se presentan en la Tabla 29.

Tabla 29. Relación Cr/Cs

Muestra No	Cr	Cs	Cr/Cs
1	0.07	0.15	0.47
2	0.11	0.15	0.73
3	0.19	0.25	0.76
4	0.19	0.27	0.70
5	0.10	0.22	0.45
6	0.22	0.29	0.76
MEDIA=			0.74

La relación Cr/Cs tiende a 0.74, de lo cual se puede ver que:

$$\text{Cr} = 0.74\text{Cs}$$

9.3.3 Relación entre los índice de compresión, recompresión y expansión. Cs/Cc y Cr/Cc

De la misma manera que para la relación anterior se tuvo en cuenta el ensayo con incrementos de carga en t₁₀₀, con rebote intermedio. En la Tabla 30 se encuentra los valores obtenidos.

Las relaciones y correlaciones que involucren al Cc, éste corresponde al de campo.

Tabla 30. Relación Cs/Cc y Cr/Cc

Muestra No	Cc(lab)	Cc(campo)	Cr	Cs	Cs/Cc(campo)	Cr/Cc(campo)	Cc(campo)/Cc(lab)
1	1.09	1.12	0.07	0.15	0.14	0.06	1.03
2	1.38	1.59	0.11	0.15	0.09	0.07	1.15
3	2.46	3.03	0.19	0.25	0.08	0.06	1.23
4	2.31	2.78	0.19	0.27	0.10	0.07	1.20
5	1.87	2.12	0.10	0.22	0.10	0.05	1.13
6	2.42	2.84	0.22	0.29	0.10	0.07	1.17
MEDIA=					0.10	0.06	1.15

La relación **Cs/Cc** tiende a **0.10**, de lo cual se puede ver que $\frac{Cs}{Cc} = 0.10 = \frac{1}{10}$

La literatura indica valores típicos entre $\frac{1}{5}$ y $\frac{1}{10}$

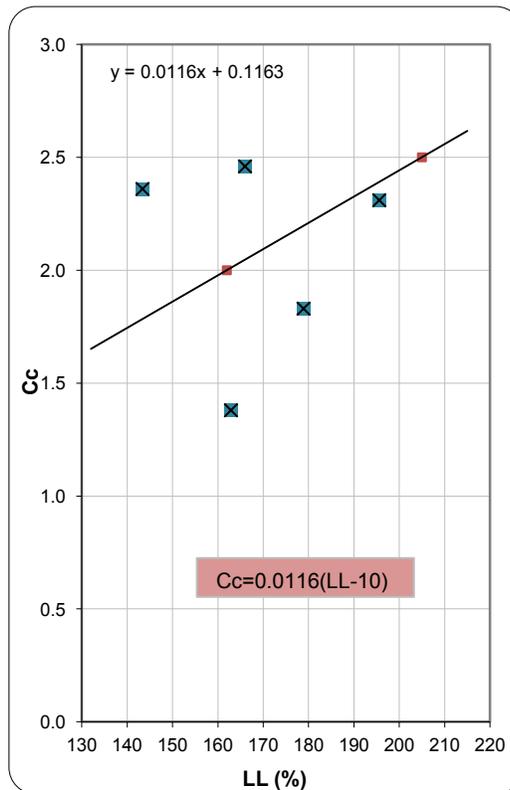
La relación **Cr/Cc** tiende a **0.06**, de lo cual se puede ver que $\frac{Cr}{Cc} = 0.06 = \frac{1}{16}$

La relación **Cc(campo)/Cc(lab)** tiende a **1.15**, de lo cual se puede ver que $Cc(campo) = 1.15 Cc(lab)$

9.3.4 Correlación entre el Índice de compresión virgen, Cc, y el Límite Líquido, LL.

La gráfica 10 presenta la variación entre el Límite Líquido del suelo y el Índice de compresión del mismo.

Gráfica 10. Correlación Cc vs LL



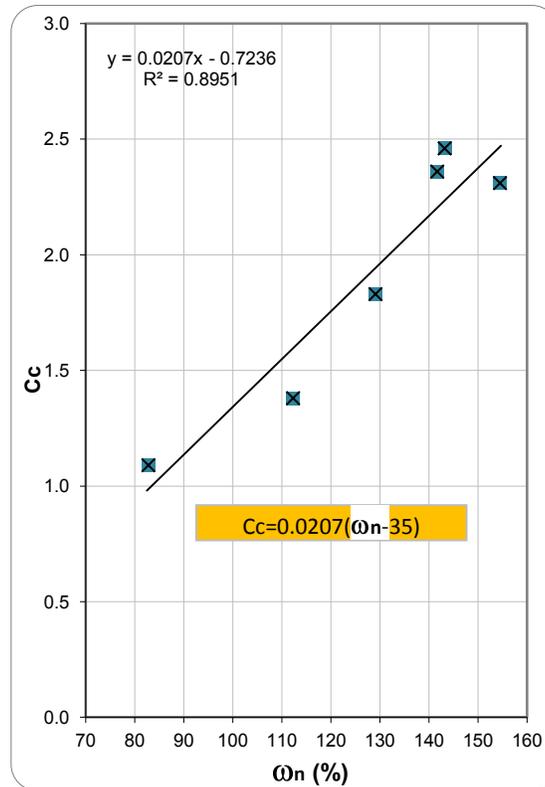
La correlación más ajustada que se encontró entre el índice de compresión virgen y el límite líquido, con una confiabilidad del 70%, es:

$$C_c = 0.0116(LL - 10)$$

9.3.5 Correlación entre el Índice de Compresión virgen, C_c , y el Contenido de Humedad Natural, ω_n .

La gráfica 11 presenta la variación entre el índice de Compresión y el Contenido de Humedad Natural.

Gráfica 11. Correlación C_c vs ω_n



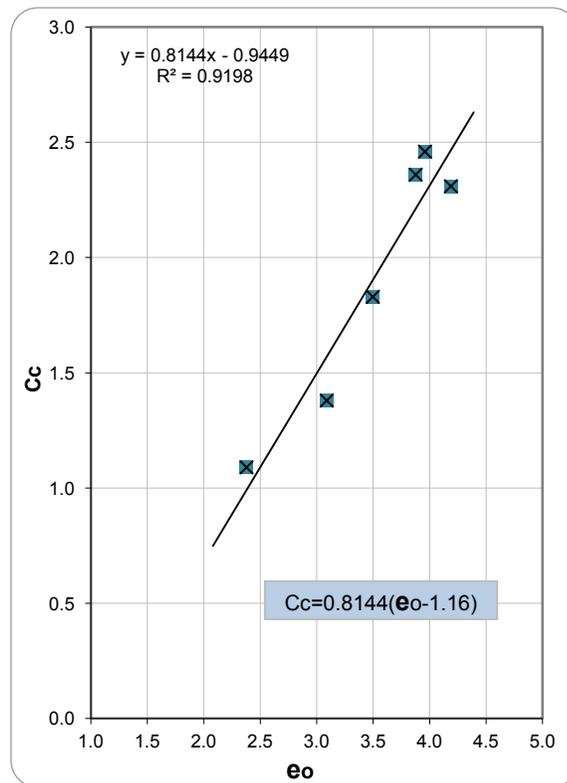
La correlación más ajustada que se encontró entre el Índice de Compresión Virgen y el Contenido de Humedad Natural, con una confiabilidad del 89%, es:

$$C_c = 0.0207(\omega_n - 34.95)$$

9.3.6 Correlación entre el Índice de Compresión Virgen, C_c , y la Relación de Vacíos, e_o .

La gráfica 12 presenta la variación entre el Índice de Compresión y la Relación de Vacíos del suelo en estado natural.

Gráfica 12. Correlación entre C_c y e_o

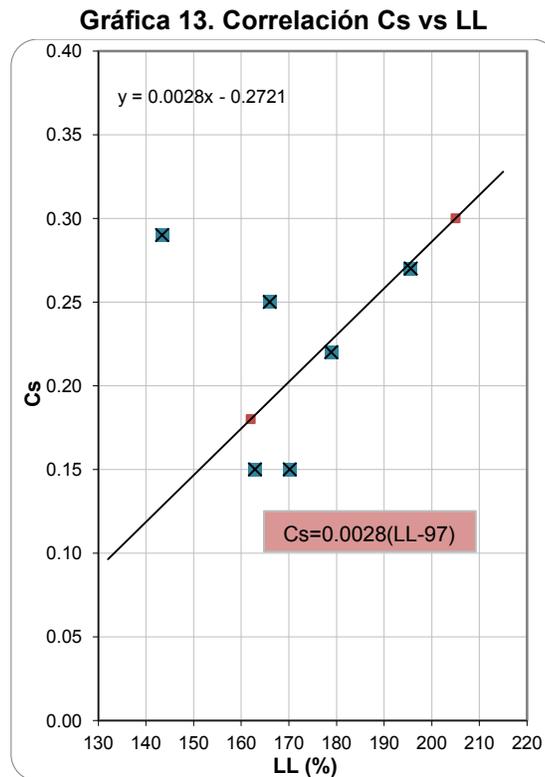


La correlación más ajustada que se encontró entre el Índice de Compresión y la Relación de Vacíos "In situ", con una confiabilidad del 92%, es:

$$C_c = 0.8144(e_o - 1.16)$$

9.3.7 Correlación entre el Índice de Expansión, Cs, y el Límite Líquido, LL.

La gráfica 13 presenta la variación entre el Índice de Expansión y el Límite Líquido.

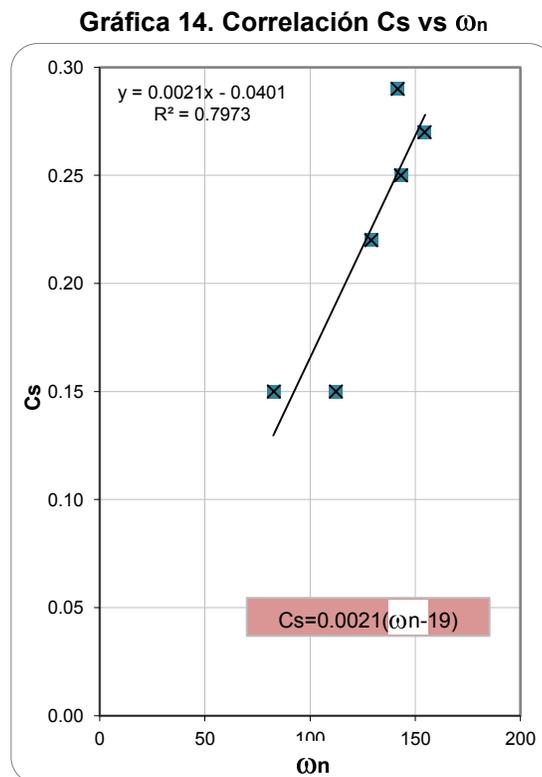


De la relación entre magnitudes, se pudo determinar, con una confiabilidad del 70%, la siguiente correlación:

$$Cs = 0.0028(LL - 97)$$

9.3.8 Correlación entre el Índice de Expansión, C_s , y el Contenido de Humedad Natural, ω_n

La gráfica 14 presenta la variación entre el Índice de Expansión y el Contenido de Humedad Natural.



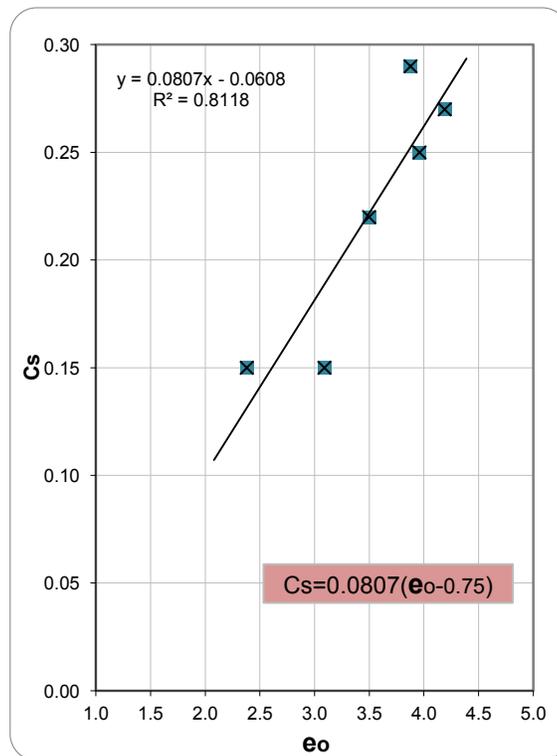
De la relación entre magnitudes, se pudo determinar, con una confiabilidad del 80%, la siguiente correlación:

$$C_s = 0.0021(\omega_n - 19)$$

9.3.9 Correlación entre el Índice de Expansión, Cs, y la relación de vacíos eo

La gráfica 15 presenta la variación entre el Índice de Expansión y la Relación de Vacíos en estado natural del depósito.

Gráfica 15. Correlación Cs vs eo



De la relación entre magnitudes se pudo determinar, con una confiabilidad del 81%, la siguiente correlación:

$$Cs = 0.0807(eo - 0.75)$$

Las correlaciones obtenidas, en el presente trabajo, son aplicables para el depósito evaluado con límite líquido entre 130% y 220%, y con relación de sobre consolidación, RSC, de 1 a 2.

9.4 COMPARACIÓN ENTRE CORRELACIONES AQUÍ OBTENIDAS Y ALGUNAS CONOCIDAS

A continuación se presenta, gráficamente, comparaciones entre algunas de las correlaciones obtenidas por algunos autores, para varios tipos de suelos de la sabana de Bogotá, y las correlaciones encontradas y presentadas en este trabajo.

9.4.1 Entre Índice de compresión, C_c , vs Límite Líquido, LL .

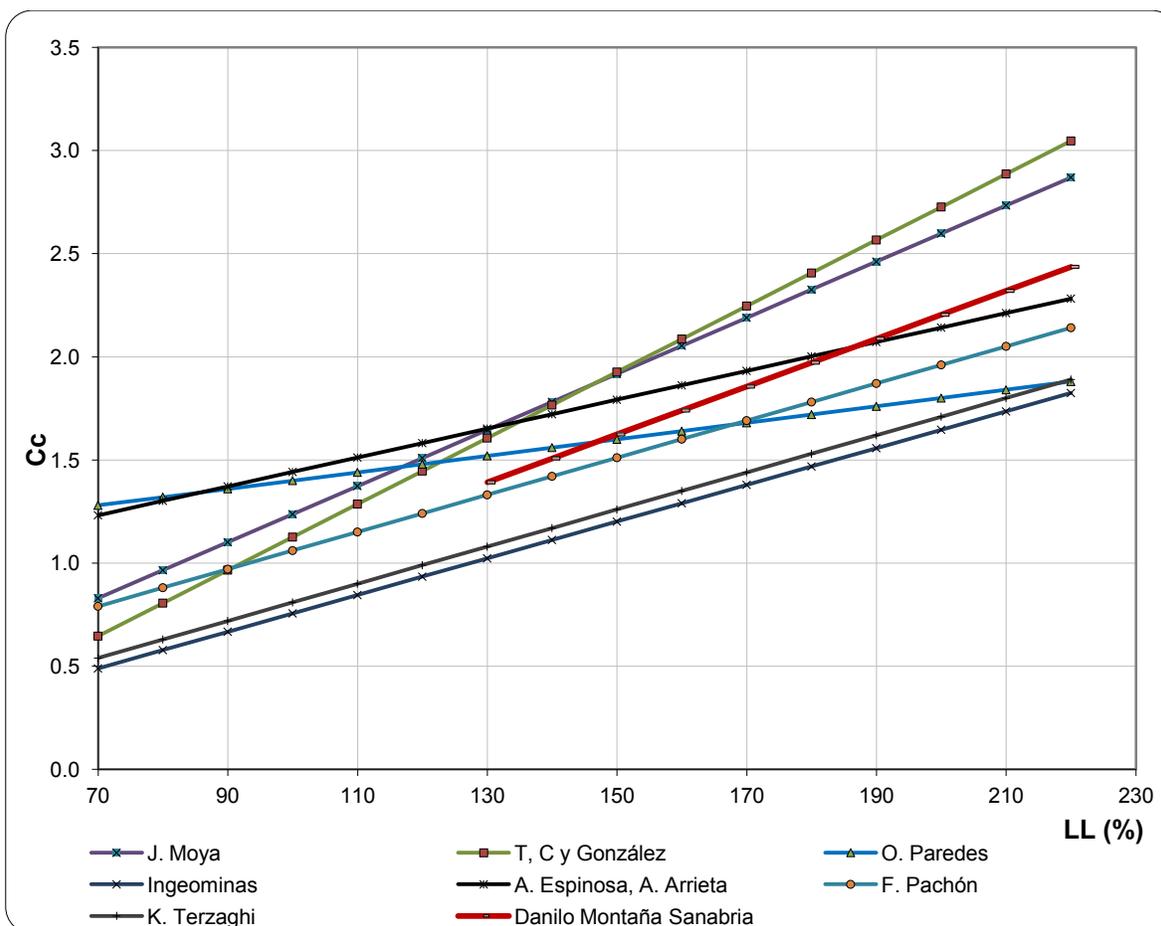
A continuación se presentan las principales correlaciones entre el Índice de compresión y el Límite Líquido, encontradas por algunos autores, para suelos de Bogotá. Adicionalmente se incluye la correlación, comúnmente conocida, presentada por Karl Terzaghi.

Fuente	Correlación
Karl Terzaghi (Arcilla de Chicago)	$C_c=0.009(LL-10)$
Ing. Julio Moya	$C_c=0.0136(LL-9)$
Tarazona, Castro y González	$C_c=0.016(LL-29.8)$
Augusto Espinosa y Aquiles Arrieta	$C_c=0.007(LL+106)$
Orlando Paredes	$C_c=0.004(LL+250)$
Ingeominas	$C_c=0.0089(LL-15)$
Ferney Pachón	$C_c=0.009LL+0.161$
Danilo Montaña Sanabria	$C_c=0.0116(LL-10)$

La gráfica 16 presenta las curvas obtenidas para cada una de las correlaciones conocidas y la obtenida en este trabajo.

Se aclara, nuevamente, que la correlación obtenida, en este trabajo es aplicable para suelos que contengan Límite Líquido entre 130 % y 220 %. Por lo tanto, en la gráfica 16 se presenta la correlación de Danilo Montaña en éste rango del límite líquido.

Gráfica 16. Curvas de correlación entre Cc y LL

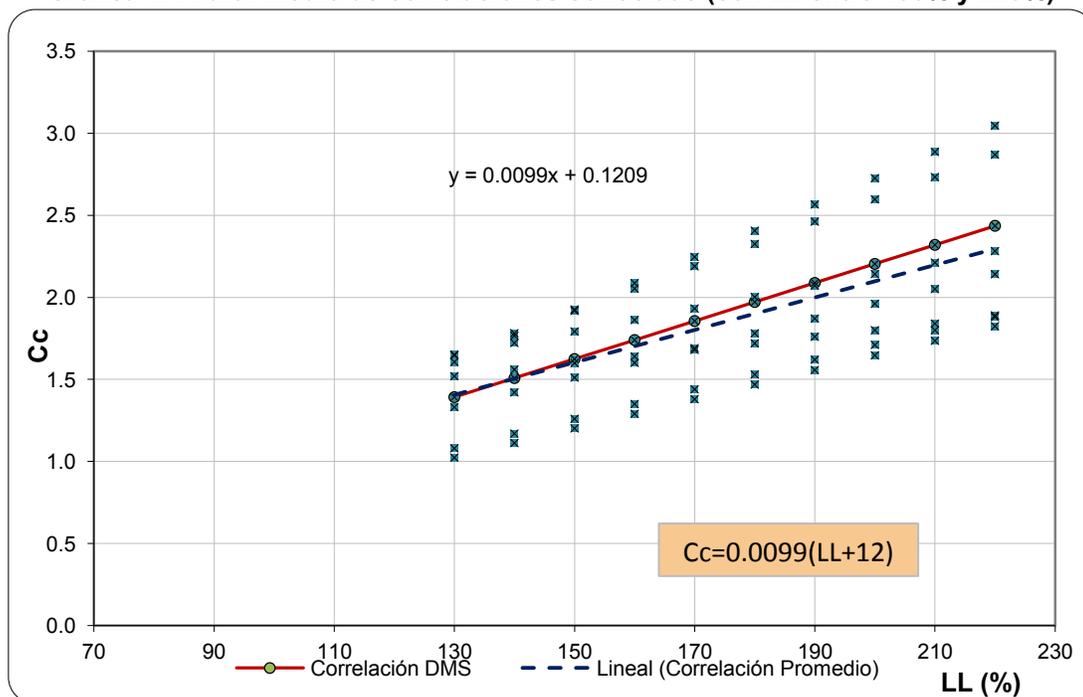


La correlación que se encuentra en el límite inferior, del grupo de correlaciones presentadas, corresponde a la presentada por Ingeominas, mientras que los valores del límite superior los presenta la correlación de Tarazona Castro y González. La correlación propuesta en este trabajo, se encuentra en el intermedio de las demás.

Al obtener una regresión lineal de todas las correlaciones presentadas, incluida la de este trabajo, se obtiene una ecuación que representa una correlación intermedia entre aquellas conocidas.

La gráfica 17, representa la regresión lineal de todas las correlaciones, con valores de límite líquido entre 130% y 220%.

Gráfica 17. Valor medio de correlaciones conocidas (con LL entre 130% y 220%)



La correlación promedio de todas se puede plantear como: **$Cc = 0.0099(LL + 12)$**

De la gráfica se puede ver la proximidad de la correlación encontrada en éste trabajo, con la promedio de todas las correlaciones conocidas.

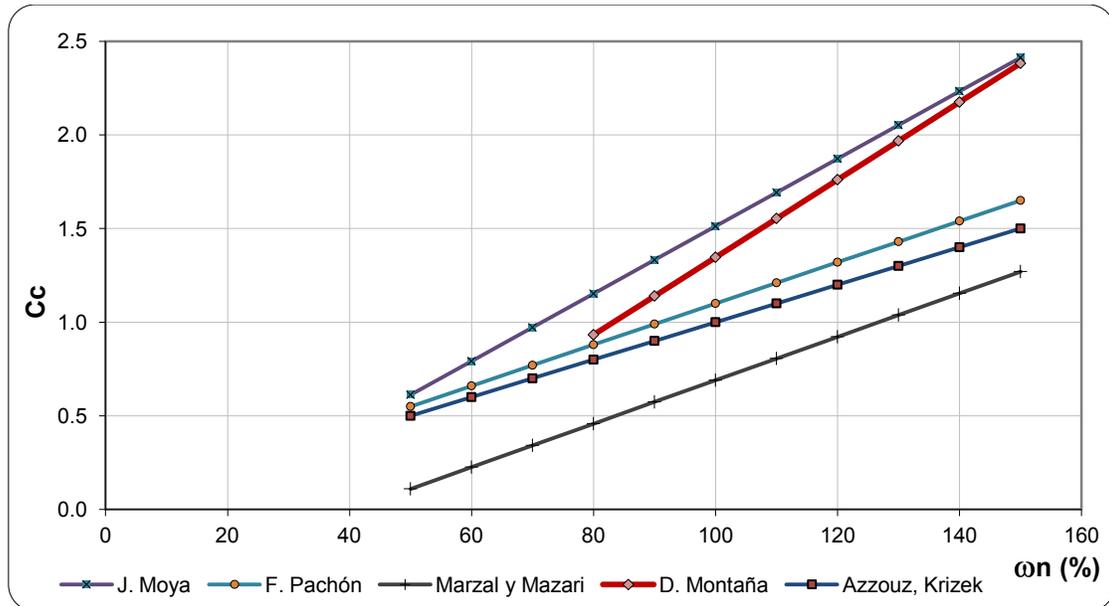
9.4.2 Entre el índice de Compresión, C_c , vs el Contenido de Humedad Natural, ω_n .

A continuación se presentan las principales correlaciones entre el Índice de compresión y el contenido de Humedad Natural, presentadas por algunos autores, para suelos de Bogotá. Adicionalmente se incluyen correlaciones, presentadas por otros autores, en suelos de Chicago y Ciudad de México.

Fuente	Correlación
Ing. Julio Moya	$Cc = 0.018(\omega_n - 16)$
Ferney Pachón	$Cc = 0.011(\omega_n)$
Danilo Montaña Sanabria	$Cc = 0.0207(\omega_n - 35)$
Azzouz, Krizek y Corotis (1976) (Arcilla de Chicago)	$Cc = 0.01(\omega_n)$
Marzal y Mazari (Arcilla de Mexico)	$Cc = 0.0116(\omega_n - 40.5)$

La gráfica 18 muestra las curvas obtenidas para cada una de las correlaciones conocidas y la obtenida en este trabajo. La correlación obtenida, se evaluó para valores de humedad entre 80% y 160%.

Gráfica 18. Curvas de correlación entre C_c y ω_n



Para las arcillas de Bogotá, La correlación que arroja resultados menores de C_c , corresponde a la presentada por Ferney Pachón, mientras que los valores más altos los presenta la correlación del Ingeniero Julio Moya. La correlación propuesta en este trabajo se encuentra en el intermedio de las dos anteriores, pero cercana a la de J. Moya. Existen grandes diferencias entre la correlación presentada por Ferney Pachón y la de J. Moya. Mientras que las presentadas por Marzal y Azzouz, presentan grandes diferencias, que para el caso de los suelos de Bogotá no son aplicables.

9.4.3 Entre el Índice de Compresión virgen, C_c , vs la Relación de Vacíos e_o .

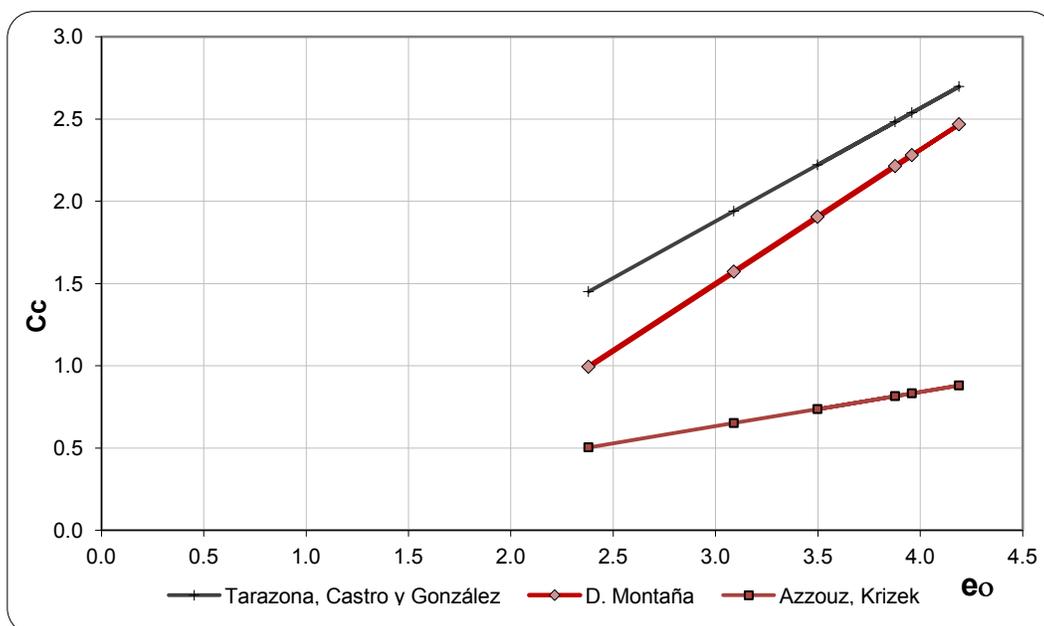
A continuación se presentan dos correlaciones obtenidas para los suelos de Bogotá, y adicionalmente una correlación propuesta por Azzouz, Krizek y Corotis, para Arcillas de Chicago.

Fuente	Correlación
Tarazona, Castro y González	$C_c = 0.689(e_o - 0.275)$
Danilo Montaña Sanabria	$C_c = 0.8144(e_o - 1.16)$
Azzouz, Krizek y Corotis (1976) (Arcilla de Chicago)	$C_c = 0.208e_o + 0.0083$

La gráfica 19 presenta las curvas obtenidas para cada una de las correlaciones conocidas y la obtenida en este trabajo. Se puede ver que para las arcillas de Bogotá, las dos correlaciones de Tarazona, Castro y González, y D. Montaña; presentan similitud. Los mayores valores de C_c los presenta la correlación de Tarazona, Castro y González y menores valores de C_c la de D. Montaña. Las diferencia entre estas dos correlaciones están entre el 10% y 50%.

De la gráfica, se puede apreciar que la correlación de Azzouz, Krizek y Corotis (1976) para las arcillas de Chicago, presenta grandes diferencias con las obtenidas para las arcillas de Bogotá. Se aprecia que las diferencias están entre el 100% y el 300%. Se puede concluir que esta correlación no es aplicable para los suelos arcillosos de la sabana de Bogotá.

Gráfica 19. Curvas de correlación entre C_c y e_o



10. CONCLUSIONES

De acuerdo con el trabajo realizado se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- La estratigrafía del sitio estudiado, corresponde a una sucesión de capas de arcillas de origen lacustre de color variable desde habano y gris claro hasta gris verdoso y gris café a mayor profundidad. En todos los casos, el suelo pasa el tamiz 200 en 100% y clasifican como CH según el Sistema Unificado de Suelos.
- Todos los estratos por debajo del nivel freático se encuentran en un estado de esfuerzos ligeramente sobreconsolidados $1 < RSC < 2$.
- Se logró determinar la resistencia In situ, mediante el uso de la veleta de campo y la resistencia en el laboratorio por medio de ensayos triaxial, los cuales presentaron resultados variables. Los resultados obtenidos con ensayo triaxial son mayores que los resultados obtenidos con veleta de campo.

De acuerdo con los análisis realizados en la Tabla 23, se concluye que el valor de **Su**, determinada con ensayos triaxial es de **1.30** a **1.77** veces que el obtenido con veleta de campo corregida por plasticidad. Se evidencia que, de acuerdo con los estudios de **Jamiolkowski**, los valores obtenidos en pruebas triaxial tienden a ser mayores.

Los valores de **Su**, determinados con ensayo triaxial son de **0.79** a **0.95** veces que el obtenido con veleta de campo sin corregir por plasticidad. En la Figura 13 se puede ver esta tendencia. En todos los casos, se encontró resistencia al corte **Su** de arcillas de consistencia media.

- En 1985 **Jamiolkowski**, encontró que la relación **Su/σ'vo** es aproximadamente igual que la presentada por **Bjerrum** en 1972; recomendó que en lo posible, para determinar **Su**, se realizaran pruebas de compresión triaxial, extensión triaxial o corte simple en muestras de suelo de muy buena calidad. Aunque, los ensayos de compresión triaxial dan resultados mayores que los valores obtenidos en otros ensayos y los obtenidos con veleta en campo; como se muestra en la gráfica 4.

Si no es posible realizar ensayos triaxial ó de corte simple, **Jamiolkowski** recomienda realizar ensayos de consolidación en muestras de buena calidad y obtener **RSC** y σ'_p . con estos valores se puede utilizar la siguiente ecuación para obtener **Su/σ'vo**, independiente de la plasticidad. Conocida cualquiera de las dos variables es posible construir un perfil de esfuerzos o de resistencia completo.

$$\frac{Su}{\sigma'_{vo}} = \pm C)^{0.8}$$

En el estudio realizado se estableció que ésta relación se cumple en 4 de los resultados obtenidos.

Sin embargo, se encontró una relación para los suelos de Bogotá en el sector de Fontibón, en suelos arcillosos ligeramente sobreconsolidados. Conociendo la posición del nivel freático y el peso unitario de cada uno de los estratos, se puede determinar el esfuerzo vertical efectivo σ'_{vo} y utilizar la siguiente ecuación para determinar la resistencia al corte nos drenada **Su**.

$$\frac{S_u}{\sigma'_{vo}} = 0.25 \pm 0.04 \Rightarrow S_u = (0.25 \pm 0.04) \sigma'_{vo}$$

(Se recomienda ver el capítulo de análisis y discusión de resultados)

La anterior expresión corresponde a la determinación de la resistencia In situ tomada con veleta de campo y corregida por plasticidad, motivo a que ensayos de otro tipo tienden a dar mayores.

→ **Mesri** en 1989 concluyó que la relación **Su**/ σ'_p es independiente del índice de plasticidad y que es constante en 0.22.

Según **Mesri**, a partir de perfiles de σ'_p es posible obtener los valores de resistencia al corte del suelo a partir de la siguiente ecuación.

$$\frac{S_u}{\sigma'_p} = \quad \Rightarrow \quad =$$

De acuerdo con los análisis y discusión de resultados, se encontró en este trabajo que esta relación se cumple. Sin embargo, para el suelo arcilloso del sitio de estudio, se encontró la siguiente relación con un 81% de confiabilidad.

$$\frac{S_u}{\sigma'_p} = 0.18 \pm 0.02 \Rightarrow S_u = (0.18 \pm 0.02) \sigma'_p$$

(Se recomienda ver el capítulo de análisis y discusión de resultados)

→ Se logró establecer que en ninguno de los tipos de ensayos de consolidación es posible obtener el esfuerzo de preconsolidación σ'_p directamente. Siempre es necesario acudir a alguno de los métodos conocidos, como la construcción de Casagrande para determinar dicho parámetro del suelo.

→ En todos los casos de observa que el valor de σ'_p es menor en los ensayos proyectados con incrementos de carga cuando se cumplan $t_f=24$ horas. Para arcillas

ligeramente sobre consolidadas, el valor de σ'_p obtenido con ensayos de consolidación con incrementos de carga a las 24 horas es del orden de $0.9\sigma'_p$ del obtenido con ensayos de consolidación con incrementos de carga cuando se llega al $t_f=t_{100}$.

Del estudio se pudo establecer que para obtener el esfuerzo de preconsolidación con incrementos de carga cada 24 horas, se pueden desarrollar ensayos con LIR=1.0 e incrementos de carga cuando se llegue al t_{100} , y utilizar la siguiente relación.

$$\sigma'_{p(\text{carga 24 horas})} = 0.9\sigma'_{p(\text{carga en } t_{100})}$$

→ Se determinó el valor del índice de compresión virgen C_c en todos los ensayos de consolidación, de los cuales se encontró que el valor mayor se obtiene en los ensayos de consolidación proyectados con incrementos de carga cada 24 horas. El valor menor en los ensayos con LIR=1.0 y tiempo de carga en t_{100} .

Se encontró que el índice de compresión virgen de los ensayos de consolidación realizados con incrementos de carga cada 24 horas, es aproximadamente **5.0%** mayor que el índice de compresión determinado en ensayos con incrementos de carga en t_{100} .

Como alternativa para obtener el índice de compresión virgen en ensayos con incrementos de carga cada 24 horas, se pueden hacer ensayos normales y utilizar la siguiente relación.

$$C_{c(\text{tf}=24 \text{ horas})} = 1.05C_{c(\text{tf}=t_{100})}$$

→ En lo relacionado con el índice de recompresión e índice de expansión se encontró la siguiente relación:

$$C_r = 0.74C_s$$

→ La relación $C_s/C_{c(\text{campo})}$ tiende a 0.10, de lo cual se puede ver que:

$$\frac{C_s}{C_{c(\text{campo})}} = 0.10 = \frac{1}{10}$$

La literatura indica valores entre $\frac{1}{5}$ y $\frac{1}{10}$

→ La relación entre el Índice de Recompresión y el Índice de Compresión de campo, $C_r/C_{c(\text{campo})}$ se estimó en:

$$\frac{C_r}{C_{c(\text{campo})}} = 0.06 = \frac{1}{16}$$

→ La relación entre el Índice de Compresión de campo y el Índice de Compresión de laboratorio, $Cc_{(campo)}/Cc_{(laboratorio)}$ se estimó en:

$$\frac{C_{c(campo)}}{C_{c(lab)}} = 1.15 \Rightarrow C_{c(campo)} = 1.15 C_{c(lab)}$$

→ Entre las características más importantes que se obtienen en los ensayos de consolidación está la determinación de la Presión de Preconsolidación, el Índice de Compresión y los Índices de Recompresión y Expansión. Teniendo en cuenta los análisis y discusiones hechas en el capítulo 9, a continuación se presenta una serie de correlaciones obtenidas en este trabajo.

Correlación obtenida por D. Montaña	Cumple con otras conocidas?	Grado de confiabilidad	Limitantes
$C_c = 0.0116(LL - 10)$	Si	70%	Límite Líquido entre 130% y 220%
$C_c = 0.0207(\omega_n - 34.95)$	Si	90%	Contenido de humedad entre 80% y 160%
$C_c = 0.8144(e_o - 1.16)$	Si	92%	Relación de Vacíos entre 2.3 y 4.0
$C_s = 0.0028(LL - 97)$	No	70%	Límite Líquido entre 130% y 220%
$C_s = 0.0021(\omega)$	Si	80%	Contenido de humedad entre 80% y 160%
$C_s = 0.0807(e_o - 0.75)$	Si	82%	Relación de Vacíos entre 2.3 y 4.0
$C_c = 0.0099(LL + 12.2)$	Si	70%	Correlación promedio de la obtenida y algunas conocidas

11. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta los trabajos de campo, ensayos de laboratorio, resultados obtenidos, análisis de los resultados obtenidos y conclusiones, se dan las siguientes recomendaciones.

Para cualquier estudio de suelos en La ciudad de Bogotá:

→ No se debe prescindir de la ejecución completa de perforaciones con equipo adecuado y obtención de muestras de excelente calidad.

En lo posible, se deben hacer ensayos triaxial para determinar la resistencia al corte del suelo S_u .

Disponer de un laboratorio de alta confiabilidad en cuanto a infraestructura, equipos y personal capacitado para la correcta ejecución de los ensayos que minimicen errores y permitan obtener propiedades del suelo lo más acertadas posible.

Todos los equipos utilizados en pruebas de campo y de laboratorio deberían estar debidamente calibrados o verificados, de tal manera que se garanticen que cumplen con los requerimientos de las normas de ensayo. Especialmente en los ensayos de consolidación, donde mínimos errores en la determinación de la masa del suelo ó de la gravedad específica del mismo, puede variar considerablemente la relación de vacíos. Valores errados en las relaciones de brazo para aplicación de carga, varían considerablemente las presiones y la curva de compresibilidad.

Con una veleta adecuada y la correcta ejecución del ensayo en campo, se pueden obtener resultados confiables en la determinación de la resistencia al corte del suelo.

Recomendaciones generales:

→ El uso de cualquier correlación, de las ya conocidas o de las obtenidas en este trabajo, debe hacerse bajo la responsabilidad de quien la utiliza, puesto que estas fueron obtenidas para sitios específicos. En la práctica ingenieril se deberían utilizar con el cuidado necesario, únicamente en la ausencia de datos que no permitan completar los análisis de un caso puntual y en los que haya seguridad de que el suelo estudiado es aproximadamente igual a aquel del que se obtuvieron dichas correlaciones.

El uso de las correlaciones no implica que se deban omitir los ensayos necesarios que permitan obtener características reales del depósito que se esté estudiando.

Para el uso de las correlaciones, se recomienda ver el capítulo de análisis y discusión de resultados, con el fin de ilustrar la aplicación de las mismas.

Este trabajo es complementario al realizado por el Ingeniero Ferney Pachón en suelos de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Se recomienda que se hagan estudios complementarios de éste tipo, con el fin de obtener una buena base de datos que permitan con posterioridad establecer características confiables de varias zonas de la sabana de Bogotá, si es posible a cargo del programa de Maestría en Ingeniería Civil con énfasis en Geotecnia, de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

Se recomienda que se aumente la base de datos obtenida de varios ensayos de consolidación y de resistencia al corte, determinada con ensayos triaxiales UU y con ensayos de veleta de campo. Con estos datos ajustar las correlaciones obtenidas hasta aumentar el grado de confiabilidad por lo menos al 95%.

12. BIBLIOGRAFÍA

- HOLTZ, ROBERT D., KOVACS, WILLIAM D., An Introduction to Geotechnical Engineering, Prentice Hall, New Jersey.
- BOWLES, JOSEPH E. Foundation Analysis and Design, Third Edition, McGraw-Hill book Company, 1982.
- DAS, Braja M., Principios de ingeniería de cimentaciones, cuarta edición, International Thomson Editores, 2001.
- LAMBE, T. William, WHITMAN, Robert V., Mecánica de Suelos, Limusa Noriega Editores, 2006.
- DELGADO, Manuel Vargas, Ingeniería de Fundaciones, Fundamentos e introducción al análisis geotécnico., Editorial Escuela colombiana de Ingeniería, 2008.
- BADILLO, Juárez. RODRÍGUEZ, Rico., Mecánica de Suelos tomo I, fundamentos de la Mecánica de Suelos, tercera edición, Editorial Limusa.
- Instituto Nacional de Vías, Normas de ensayo para materiales para carreteras, 2007.
- PACHÓN, Ferney Alonso, Características de compresibilidad del depósito lacustre de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Trabajo de grado. Biblioteca Escuela colombiana de Ingeniería, 2009.
- INVIAS, Instituto Nacional de Vías, Normas de ensayo de materiales para carreteras, 2007
- Normas de ensayo NTC, Normas Técnicas Colombianas.

ANEXO 1

Resultados ensayos propiedad índice. Límites líquido y plástico,
y contenido de humedad

PROYECTO : PROPIEDADES DE COMPRESIBILIDAD ARCILLA TÍPICA DE LA SABANA DE BOGOTÁ FECHA
LOCALIZACIÓN COSTADO SUR, PISTA SUR AEROPUERTO EL DORADO - FONTIBÓN - BOGOTÁ. 10/09/2012

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

PERFORACIÓN: ÚNICA
MUESTRA No. 1
PROFUNDIDAD: 2.50-3.0 m

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris con algo de raíces.

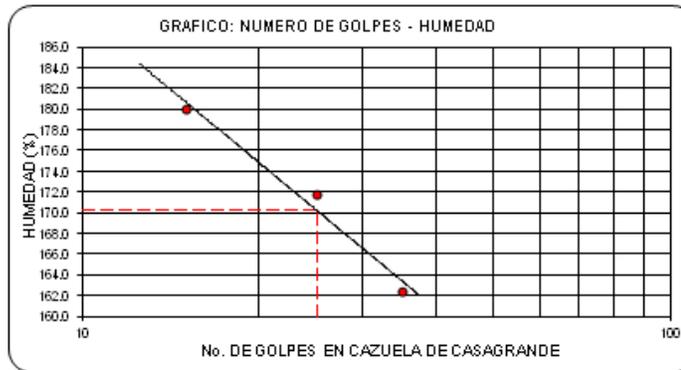
CONDICIÓN DE ENSAYO:

A humedad Natural	X
Seco al aire	

DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO

No. de Golpe	VALORES PARA LÍMITE LÍQUIDO			VALORES PARA LÍMITE PLÁSTICO			HUMEDAD
	35	25	15	21	55	57	
Recipiente	A	B	C	21	55	57	5
P1 (g)	39.91	39.30	41.86	18.94	19.37	18.51	185.50
P2 (g)	19.10	18.41	18.67	14.68	15.20	14.77	134.80
P3 (g)	6.29	6.25	5.79	5.43	6.31	6.80	73.6
W (%)	162.5	171.8	180.0	46.1	46.9	46.9	82.8

P₁ = Peso Recipiente + muestra húmeda P₂ = Peso Recipiente + muestra seca P₃ = Peso Recipiente W = Contenido de humedad



VALORES CALCULADOS	
LÍMITE LÍQUIDO	170.2 %
LÍMITE PLÁSTICO	46.6 %
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	123.6 %
ÍNDICE DE LIQUIDEZ	0.293
ÍNDICE DE CONSISTENCIA	0.707
ÍNDICE DE FLUIDEZ	47.817
CLASIFICACION U.S.C.S	C H

Realizado por Danilo Montaña Sanabria

PROYECTO : PROPIEDADES DE COMPRESIBILIDAD ARCILLA TÍPICA DE LA SABANA DE BOGOTÁ
LOCALIZACIÓN COSTADO SUR, PISTA SUR AEROPUERTO EL DORADO - FONTIBÓN - BOGOTÁ.

FECHA
10/09/2012

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

PERFORACIÓN: ÚNICA
MUESTRA No. 2
PROFUNDIDAD: 5.0 - 5.50 m

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris.

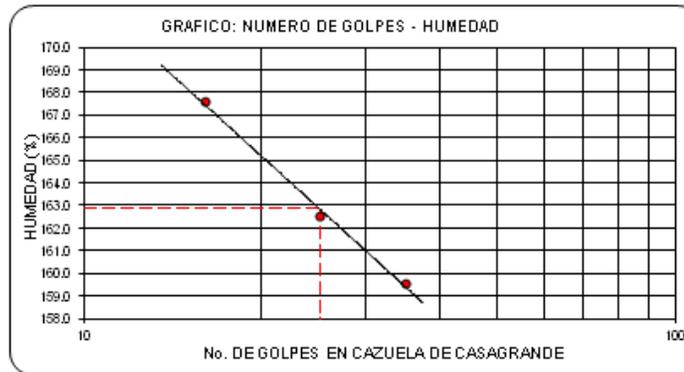
CONDICIÓN DE ENSAYO:

A humedad Natural	X
Seco al aire	

DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO

No. de Golpe	VALORES PARA LÍMITE LÍQUIDO			VALORES PARA LÍMITE PLÁSTICO			HUMEDAD
	35	25	16	A4	A5	A6	
Recipiente	A1	A2	A3	A4	A5	A6	7
P1 (g)	38.02	42.39	42.28	18.41	18.63	18.98	150.60
P2 (g)	18.36	19.93	19.67	15.12	15.22	15.50	79.89
P3 (g)	6.04	6.11	6.18	6.20	5.94	6.16	16.9
W (%)	159.6	162.5	167.6	36.9	36.7	37.3	112.3

P₁ = Peso Recipiente + muestra húmeda P₂ = Peso Recipiente + muestra seca P₃ = Peso Recipiente W = Contenido de humedad



VALORES CALCULADOS	
LÍMITE LÍQUIDO	162.9 %
LÍMITE PLÁSTICO	37.0 %
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	125.9 %
ÍNDICE DE LIQUIDEZ	0.598
ÍNDICE DE CONSISTENCIA	0.402
ÍNDICE DE FLUIDEZ	23.615
CLASIFICACION U.S.C.S	C H

Realizado por Danilo Montaña Sanabria

PROYECTO : PROPIEDADES DE COMPRESIBILIDAD ARCILLA TÍPICA DE LA SABANA DE BOGOTÁ FECHA
LOCALIZACIÓN : COSTADO SUR, PISTA SUR AEROPUERTO EL DORADO - FONTIBÓN - BOGOTÁ. 10/09/2012

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

PERFORACIÓN: ÚNICA
MUESTRA No. 3
PROFUNDIDAD: 7.0 - 7.50 m

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris verdosa

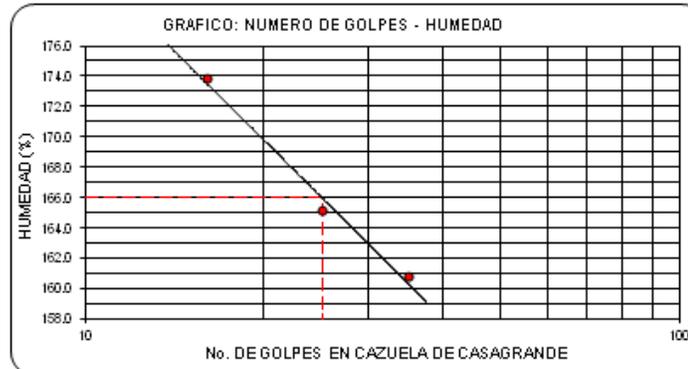
CONDICIÓN DE ENSAYO:

A humedad Natural	X
Seco al aire	

DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO

	VALORES PARA LÍMITE LÍQUIDO			VALORES PARA LÍMITE PLÁSTICO			HUMEDAD
	No. de Golpe	35	25	16	A10	A11	
Recipiente	A7	A8	A9	A10	A11	12	§
P1 (g)	42.16	40.94	42.86	17.38	17.88	16.89	143.40
P2 (g)	19.88	19.34	19.42	13.50	13.64	13.06	68.92
P3 (g)	6.02	6.26	5.94	6.18	5.63	5.74	16.9
W (%)	160.8	165.1	173.9	53.0	52.9	52.3	143.2

P₁ = Peso Recipiente+muestra húmeda P₂ = Peso Recipiente + muestra seca P₃ = Peso Recipiente W = Contenido de humedad



VALORES CALCULADOS	
LIMITE LIQUIDO	166.0 %
LIMITE PLASTICO	52.8 %
INDICE DE PLASTICIDAD	113.2 %
INDICE DE LIQUIDEZ	0.799
INDICE DE CONSISTENCIA	0.201
INDICE DE FLUIDEZ	38.644
CLASIFICACION U.S.C.S	C H

Realizado por Danilo Montaña Sanabria

PROYECTO : PROPIEDADES DE COMPRESIBILIDAD ARCILLA TÍPICA DE LA SABANA DE BOGOTÁ FECHA
LOCALIZACIÓN COSTADO SUR, PISTA SUR AEROPUERTO EL DORADO - FONTIBÓN - BOGOTÁ. 10/09/2012

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

PERFORACIÓN: ÚNICA
MUESTRA No. 4
PROFUNDIDAD: 11.0 - 11.5 m

DESCRIPCIÓN: Arcilla algo limosa de color gris con tonos verdosos

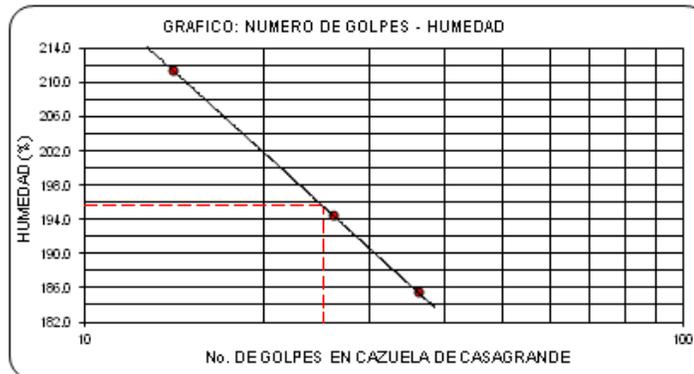
CONDICIÓN DE ENSAYO:

A humedad Natural	X
Seco al aire	

DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO

No. de Golpe	VALORES PARA LÍMITE LÍQUIDO			VALORES PARA LÍMITE PLÁSTICO			HUMEDAD
	36	26	14	B4	B5	B6	
Recipiente	B1	B2	B3	B4	B5	B6	10
P1 (g)	39.68	37.99	39.89	22.78	23.75	21.29	104.50
P2 (g)	21.20	20.41	20.18	19.13	19.77	18.07	52.72
P3 (g)	11.24	11.37	10.86	11.33	11.33	11.20	19.2
W (%)	185.5	194.5	211.5	46.8	47.2	46.9	154.5

P₁ = Peso Recipiente+muestra húmeda P₂ = Peso Recipiente + muestra seca P₃ = Peso Recipiente W = Contenido de humedad



VALORES CALCULADOS	
LÍMITE LÍQUIDO	195.6 %
LÍMITE PLÁSTICO	46.9 %
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	148.7 %
ÍNDICE DE LIQUIDEZ	0.723
ÍNDICE DE CONSISTENCIA	0.276
ÍNDICE DE FLUIDEZ	63.238
CLASIFICACION U.S.C.S	C H

Realizado por Danilo Montaña Sanabria

PROYECTO : PROPIEDADES DE COMPRESIBILIDAD ARCILLA TÍPICA DE LA SABANA DE BOGOTÁ FECHA
LOCALIZACIÓN COSTADO SUR, PISTA SUR AEROPUERTO EL DORADO - FONTIBÓN - BOGOTÁ. 10/09/2012

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

PERFORACIÓN: ÚNICA
MUESTRA No. 5
PROFUNDIDAD: 17.5-18.0 m

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa gris verdosa.

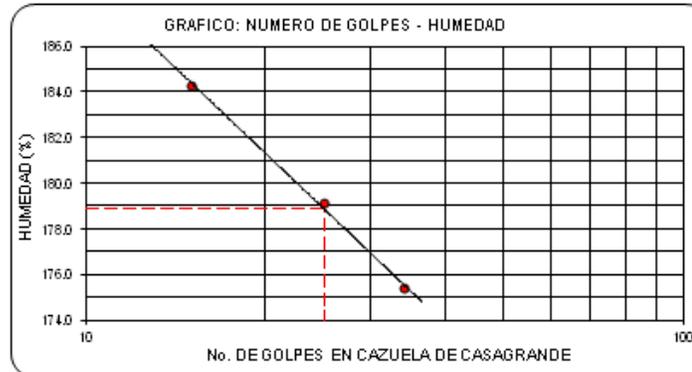
CONDICIÓN DE ENSAYO:

A humedad Natural	X
Seco al aire	

DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO

	VALORES PARA LÍMITE LÍQUIDO			VALORES PARA LÍMITE PLÁSTICO			HUMEDAD
	No. de Golpe	34	25	15	B10	B11	
Recipiente	B7	B8	B9	B10	B11	B12	17
P1 (g)	39.40	38.36	39.69	23.03	23.16	23.18	148.40
P2 (g)	21.35	20.68	21.02	19.13	19.17	19.10	77.40
P3 (g)	11.06	10.81	10.89	11.41	11.23	10.97	22.4
W (%)	175.4	179.1	184.3	50.5	50.3	50.2	129.1

P₁ = Peso Recipiente+muestra húmeda P₂ = Peso Recipiente + muestra seca P₃ = Peso Recipiente W = Contenido de humedad



VALORES CALCULADOS	
LÍMITE LÍQUIDO	178.9 %
LÍMITE PLÁSTICO	50.3 %
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	128.6 %
ÍNDICE DE LIQUIDEZ	0.613
ÍNDICE DE CONSISTENCIA	0.387
ÍNDICE DE FLUIDEZ	25.018
CLASIFICACION U.S.C.S	C H

Realizado por Danilo Montaña Sanabria

PROYECTO : PROPIEDADES DE COMPRESIBILIDAD ARCILLA TÍPICA DE LA SABANA DE BOGOTÁ
LOCALIZACIÓN COSTADO SUR, PISTA SUR AEROPUERTO EL DORADO - FONTIBÓN - BOGOTÁ.

FECHA
10/09/2012

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

PERFORACIÓN: ÚNICA
MUESTRA No. 6
PROFUNDIDAD: 27.0-27.5 m

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa gris oscura verdosa.

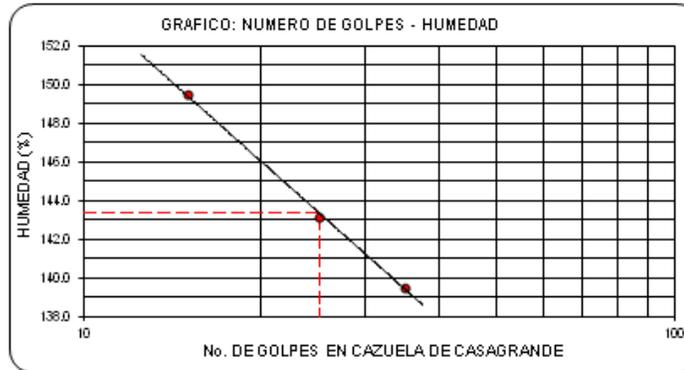
CONDICIÓN DE ENSAYO:

A humedad Natural	X
Seco al aire	

DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO

No. de Golpe	VALORES PARA LÍMITE LÍQUIDO			VALORES PARA LÍMITE PLÁSTICO			HUMEDAD
	35	25	15	C4	C5	C6	
Recipiente	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Z5
P1 (g)	40.72	39.85	39.89	23.35	23.92	23.88	154.20
P2 (g)	23.81	23.29	22.91	19.59	20.09	20.02	75.35
P3 (g)	11.69	11.72	11.55	11.03	11.40	11.24	19.7
W (%)	139.5	143.1	149.5	43.9	44.1	44.0	141.7

P₁ = Peso Recipiente + muestra húmeda P₂ = Peso Recipiente + muestra seca P₃ = Peso Recipiente W = Contenido de humedad

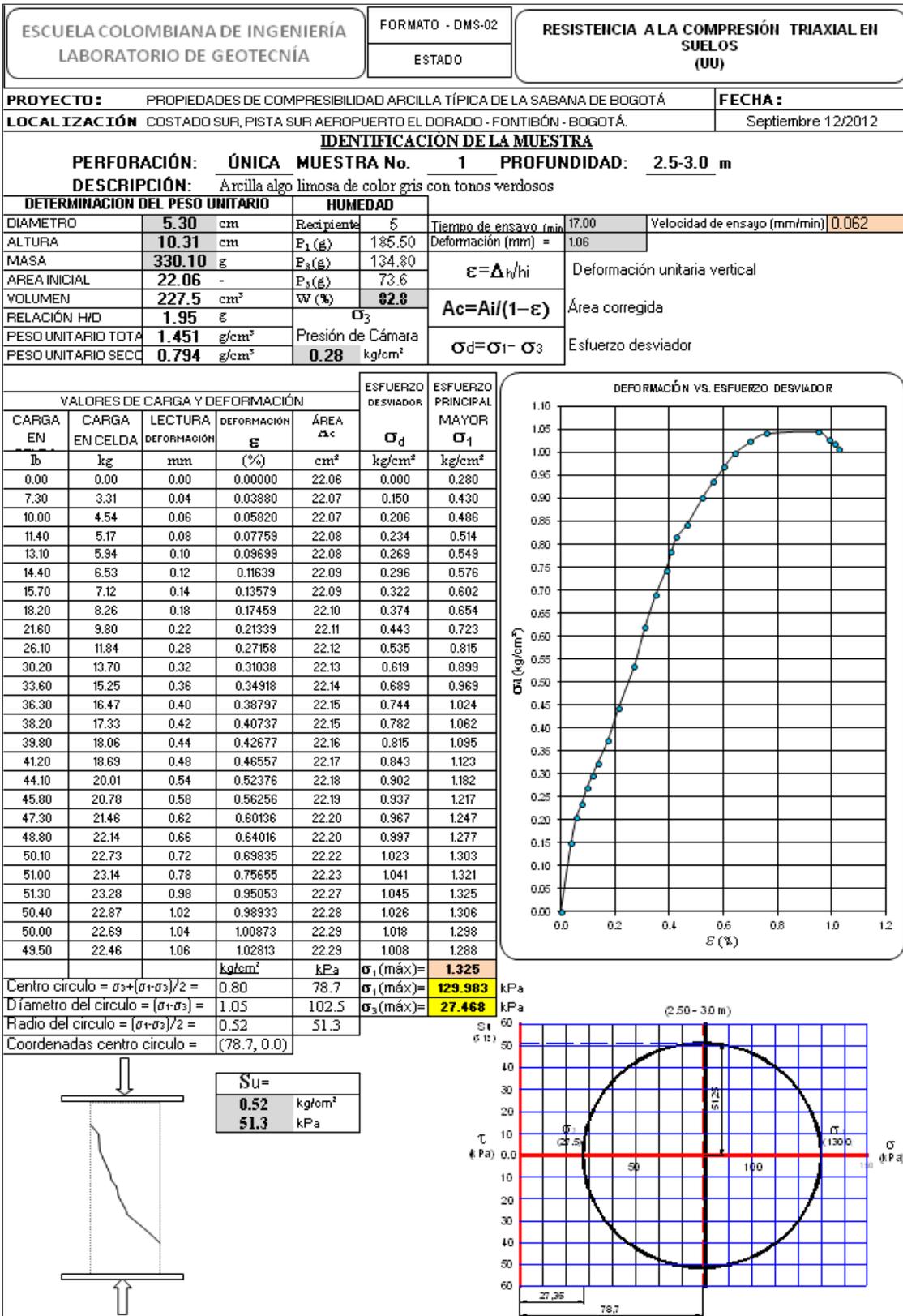


VALORES CALCULADOS	
LÍMITE LÍQUIDO	143.4 %
LÍMITE PLÁSTICO	44.0 %
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	99.4 %
ÍNDICE DE LIQUIDEZ	0.983
ÍNDICE DE CONSISTENCIA	0.017
ÍNDICE DE FLUIDEZ	27.041
CLASIFICACION U.S.C.S	C H

Realizado por Danilo Montaña Sanabria

ANEXO 2

Resultados ensayos de compresión triaxial



PROYECTO: PROPIEDADES DE COMPRESIBILIDAD ARCILLA TÍPICA DE LA SABANA DE BOGOTÁ

FECHA:

LOCALIZACIÓN: COSTADO SUR, PISTA SUR AEROPUERTO EL DORADO - FONTIBÓN - BOGOTÁ.

Septiembre 12/2012

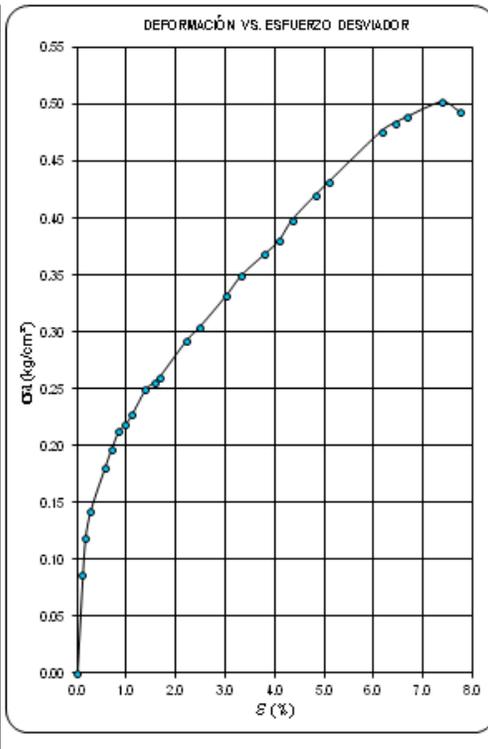
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

PERFORACIÓN: ÚNICA MUESTRA No. 2 PROFUNDIDAD: 5.0-5.5 m

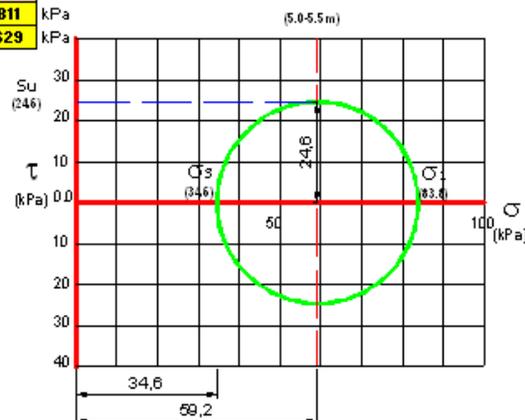
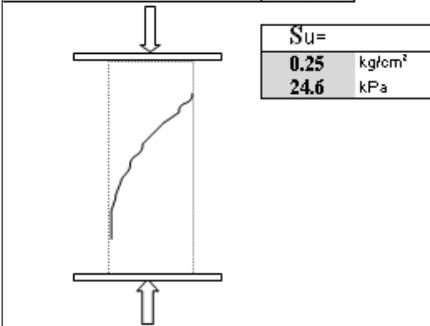
DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris.

DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO		HUMEDAD			
DIAMETRO	5.04 cm	Recipiente	7	Tiempo de ensayo (min)	32.00
ALTURA	10.98 cm	P_1 (g)	150.60	Velocidad de ensayo (mm/min)	0.281
MASA	312.80 g	P_2 (g)	79.89	Deformación (mm) =	9.0
AREA INICIAL	19.95 -	P_3 (g)	16.9	$\epsilon = \Delta h / h_i$	Deformación unitaria vertical
VOLUMEN	219.1 cm ³	W (%)	112.3	$A_c = A_i / (1 - \epsilon)$	Área corregida
RELACIÓN H/D	2.18	σ_3		$\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$	Esfuerzo desviador
PESO UNITARIO TOTAL	1.428 g/cm ³	Presión de Cámara			
PESO UNITARIO SECC	0.673 g/cm ³		0.353 kg/cm ²		

VALORES DE CARGA Y DEFORMACIÓN					ESFUERZO DESVIADOR σ_d	ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR σ_1
CARGA EN lb	CARGA EN CELDA kg	LECTURA DEFORMACIÓN mm	DEFORMACIÓN ϵ (%)	ÁREA A_c cm ²		
0.00	0.00	0.00	0.00000	19.95	0.000	0.353
3.80	1.72	0.12	0.10929	19.97	0.086	0.439
5.20	2.36	0.18	0.16393	19.98	0.118	0.471
6.30	2.86	0.30	0.27322	20.01	0.143	0.496
8.00	3.63	0.62	0.56466	20.06	0.181	0.534
8.70	3.95	0.76	0.69217	20.09	0.196	0.549
9.40	4.26	0.92	0.83789	20.12	0.212	0.565
9.70	4.40	1.08	0.98361	20.15	0.218	0.571
10.10	4.58	1.22	1.11111	20.17	0.227	0.580
11.10	5.04	1.52	1.38434	20.23	0.249	0.602
11.40	5.17	1.72	1.56648	20.27	0.255	0.608
11.60	5.26	1.82	1.65756	20.29	0.259	0.612
13.10	5.94	2.42	2.20401	20.40	0.291	0.644
13.70	6.22	2.72	2.47723	20.46	0.304	0.657
15.00	6.81	3.30	3.00546	20.57	0.331	0.684
15.90	7.21	3.66	3.33333	20.64	0.350	0.703
16.80	7.62	4.16	3.78871	20.74	0.368	0.721
17.40	7.89	4.48	4.08015	20.80	0.380	0.733
18.30	8.30	4.78	4.35337	20.86	0.398	0.751
19.40	8.80	5.30	4.82696	20.96	0.420	0.773
20.00	9.07	5.60	5.10018	21.02	0.432	0.785
22.30	10.12	6.76	6.15665	21.26	0.476	0.829
22.70	10.30	7.06	6.42987	21.32	0.483	0.836
23.00	10.44	7.32	6.66667	21.38	0.488	0.841
23.80	10.80	8.10	7.37705	21.54	0.501	0.854
23.50	10.66	8.50	7.74135	21.62	0.493	0.846



Centro círculo = $\sigma_3 + (\sigma_1 + \sigma_3) / 2 =$	0.60	59.2	σ_1 (máx) = 0.854
Díametro del círculo = $(\sigma_1 - \sigma_3) =$	0.50	49.2	σ_1 (máx) = 83.811
Radio del círculo = $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2 =$	0.25	24.6	σ_3 (máx) = 34.629
Coordenadas centro círculo =	(59.2, 0.0)		



ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA LABORATORIO DE GEOTECNÍA	FORMATO - DMS-02	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TRIAXIAL EN SUELOS (UU)
	ESTADO	

PROYECTO: PROPIEDADES DE COMPRESIBILIDAD ARCILLA TÍPICA DE LA SABANA DE BOGOTÁ FECHA: Septiembre 12/2012
 LOCALIZACIÓN: COSTADO SUR, PISTA SUR, AEROPUERTO EL DORADO - FONTIBÓN - BOGOTÁ.

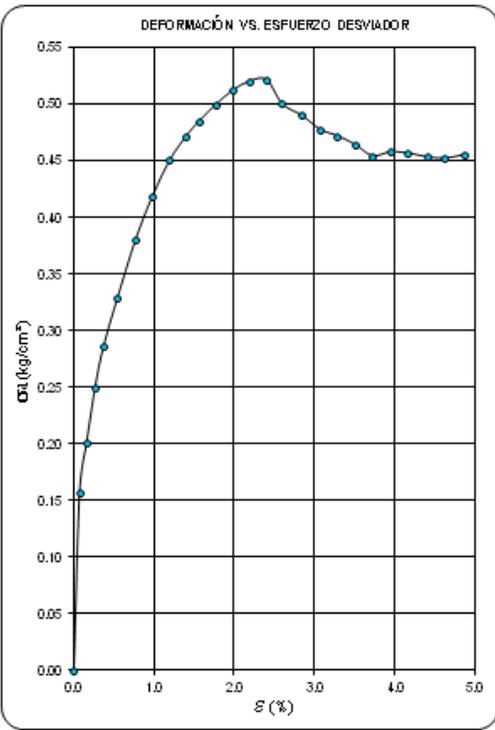
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

PERFORACIÓN: ÚNICA MUESTRA No. 3 PROFUNDIDAD: 7.0-7.50 m

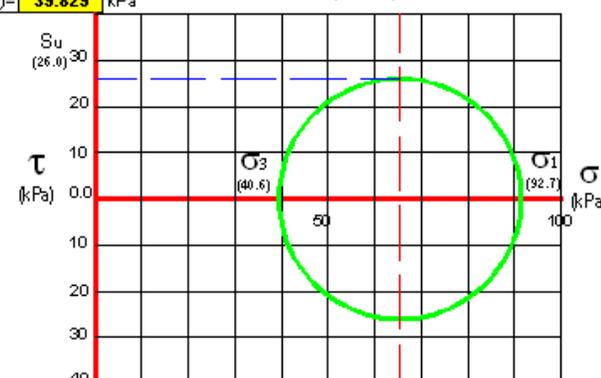
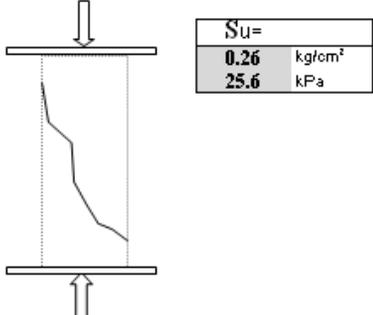
DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris verdosa

DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO		HUMEDAD		Tiempo de ensayo (min)	Velocidad de ensayo (mm/min)
DIAMETRO	5.00 cm	Recipiente	§		
ALTURA	11.42 cm	E ₁ (g)	143.40	Deformación (mm)	5.56
MASA	300.80 g	E ₂ (g)	68.92	$\epsilon = \Delta h/h_i$	Deformación unitaria vertical
AREA INICIAL	19.63 -	E ₃ (g)	16.9		
VOLUMEN	224.2 cm ³	W (%)	143.2	$A_c = A_i / (1 - \epsilon)$	Área corregida
RELACIÓN H/D	2.28 ϵ	σ_3			
PESO UNITARIO TOTA	1.341 g/cm ³	Presión de Cámara		$\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$	Esfuerzo desviador
PESO UNITARIO SECC	0.552 g/cm ³	0.406 kg/cm ³			

VALORES DE CARGA Y DEFORMACIÓN					ESFUERZO DESVIADOR σ_d	ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR σ_1
CARGA EN lb	CARGA EN CELDA kg	LECTURA DEFORMACIÓN mm	DEFORMACIÓN ϵ (%)	ÁREA A_c cm ²		
0.00	0.00	0.00	0.00000	19.63	0.000	0.406
6.80	3.09	0.08	0.07005	19.65	0.157	0.563
8.70	3.95	0.18	0.15762	19.67	0.201	0.607
10.80	4.90	0.30	0.26270	19.69	0.249	0.655
12.40	5.63	0.42	0.36778	19.71	0.285	0.691
14.30	6.49	0.62	0.54291	19.74	0.329	0.735
16.60	7.53	0.88	0.77058	19.79	0.381	0.787
18.30	8.30	1.12	0.98074	19.83	0.419	0.825
19.70	8.94	1.36	1.19089	19.87	0.450	0.856
20.70	9.39	1.60	1.40105	19.91	0.472	0.878
21.30	9.66	1.78	1.55867	19.95	0.485	0.891
22.00	9.98	2.02	1.76883	19.99	0.499	0.905
22.60	10.25	2.26	1.97898	20.03	0.512	0.918
23.00	10.44	2.50	2.18914	20.07	0.520	0.926
23.10	10.48	2.74	2.39930	20.12	0.521	0.927
22.20	10.07	2.96	2.59194	20.16	0.500	0.906
21.80	9.89	3.24	2.83713	20.21	0.489	0.895
21.30	9.66	3.50	3.06480	20.26	0.477	0.883
21.10	9.57	3.74	3.27496	20.30	0.472	0.878
20.80	9.44	4.00	3.50263	20.35	0.464	0.870
20.40	9.26	4.24	3.71278	20.39	0.454	0.860
20.60	9.35	4.50	3.94046	20.44	0.457	0.863
20.60	9.35	4.74	4.15061	20.49	0.456	0.862
20.50	9.30	5.04	4.41331	20.54	0.453	0.859
20.50	9.30	5.28	4.62347	20.59	0.452	0.858
20.70	9.39	5.56	4.86865	20.64	0.455	0.861



Centro círculo = $\sigma_3 + (\sigma_1 - \sigma_3)/2 =$	0.67	σ_1 (máx) =	0.927
Díametro del círculo = $(\sigma_1 - \sigma_3) =$	0.52	σ_1 (máx) =	90.937 kPa
Radio del círculo = $(\sigma_1 - \sigma_3)/2 =$	0.26	σ_3 (máx) =	39.829 kPa
Coordenadas centro círculo =	(65.4, 0.0)		



PROYECTO: PROPIEDADES DE COMPRESIBILIDAD ARCILLA TÍPICA DE LA SABANA DE BOGOTÁ
LOCALIZACIÓN: COSTADO SUR, PISTA SUR, AEROPUERTO EL DORADO - FONTIBÓN - BOGOTÁ. FECHA: Septiembre 12/2012

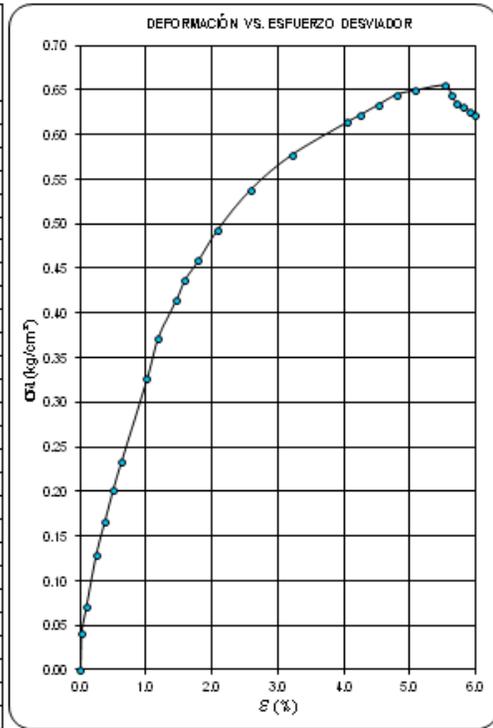
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

PERFORACIÓN: ÚNICA MUESTRA No. 4 PROFUNDIDAD: 11.0-11.5 m

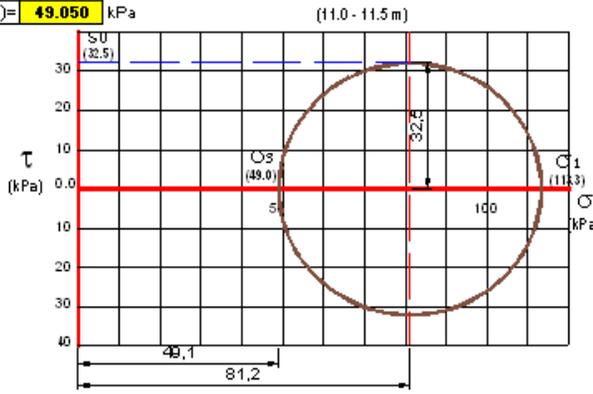
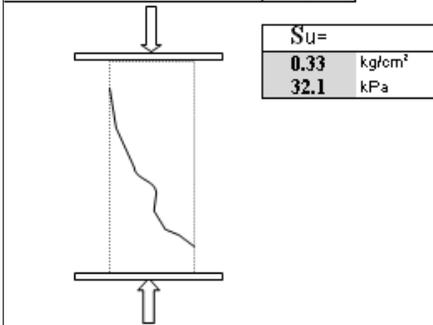
DESCRIPCIÓN: Arcilla algo limosa de color gris con tonos verdosos

DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO		HUMEDAD			
DIAMETRO	5.00 cm	Recipiente	10	Tiempo de ensayo (min)	15.00
ALTURA	10.84 cm	E_1 (g)	104.50	Velocidad de ensayo (mm/min)	0.433
MASA	278.41 g	E_2 (g)	52.72	Deformación (mm) =	6.5
AREA INICIAL	19.63 cm ²	E_3 (g)	19.2	$\epsilon = \Delta h / h_i$	Deformación unitaria vertical
VOLUMEN	212.8 cm ³	W (%)	154.5	$Ac = Ai / (1 - \epsilon)$	Área corregida
RELACIÓN HD	2.17 g/g	σ_3		$\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$	Esfuerzo desviador
PESO UNITARIO TOTAL	1.308 g/cm ³	Presión de Cámara			
PESO UNITARIO SECC	0.514 g/cm ³	0.50 kg/cm ²			

VALORES DE CARGA Y DEFORMACIÓN					ESFUERZO DESVIADOR σ_d	ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR σ_1
CARGA EN EN	CARGA EN CELDA	LECTURA DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN ϵ	ÁREA A_c		
lb	kg	mm	(%)	cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
0.00	0.00	0.00	0.00000	19.63	0.000	0.500
1.80	0.82	0.02	0.01845	19.64	0.042	0.542
3.10	1.41	0.10	0.09225	19.65	0.072	0.572
5.60	2.54	0.26	0.23985	19.68	0.129	0.629
7.20	3.27	0.40	0.36900	19.71	0.166	0.666
8.80	3.99	0.54	0.49815	19.73	0.202	0.702
10.20	4.63	0.68	0.62731	19.76	0.234	0.734
14.30	6.49	1.10	1.01476	19.84	0.327	0.827
16.30	7.40	1.28	1.18081	19.87	0.372	0.872
18.20	8.26	1.58	1.45756	19.93	0.414	0.914
19.20	8.71	1.72	1.58672	19.95	0.437	0.937
20.20	9.17	1.94	1.78967	19.99	0.458	0.958
21.80	9.89	2.26	2.08487	20.05	0.493	0.993
23.90	10.84	2.80	2.58303	20.16	0.538	1.038
25.80	11.71	3.48	3.21033	20.29	0.577	1.077
27.70	12.57	4.40	4.05904	20.47	0.614	1.114
28.10	12.75	4.60	4.24354	20.51	0.622	1.122
28.70	13.02	4.90	4.52030	20.56	0.633	1.133
29.30	13.29	5.20	4.79705	20.62	0.645	1.145
29.60	13.43	5.50	5.07380	20.68	0.649	1.149
30.00	13.61	6.00	5.53506	20.79	0.655	1.155
29.50	13.38	6.10	5.62731	20.81	0.643	1.143
29.10	13.20	6.20	5.71956	20.83	0.634	1.134
29.00	13.16	6.30	5.81181	20.85	0.631	1.131
28.80	13.07	6.40	5.90406	20.87	0.626	1.126
28.60	12.98	6.50	5.99631	20.89	0.621	1.121



Centro círculo = $\sigma_3 + (\sigma_1 + \sigma_3) / 2 = 0.83$ kPa
 Diámetro del círculo = $(\sigma_1 + \sigma_3) = 0.65$ kPa
 Radio del círculo = $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2 = 0.33$ kPa
 Coordenadas centro círculo = (81.2, 0.0)



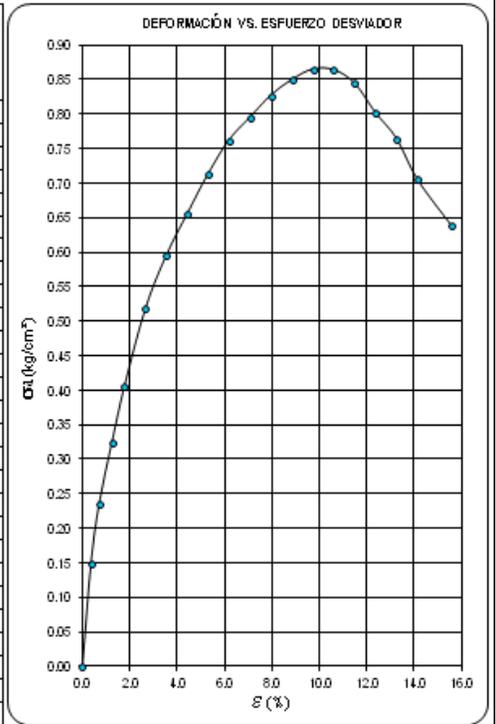
PROYECTO: PROPIEDADES DE COMPRESIBILIDAD ARCILLA TÍPICA DE LA SABANA DE BOGOTÁ **FECHA:** Septiembre 12/2012
LOCALIZACIÓN: COSTADO SUR, PISTA SUR AEROPUERTO EL DORADO - FONTIBÓN - BOGOTÁ.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

PERFORACIÓN: ÚNICA **MUESTRA No.** 5 **PROFUNDIDAD:** 17.5-18.0 m
DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa gris verdosa.

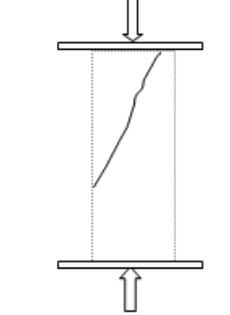
DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO		HUMEDAD			
DIAMETRO	3.65 cm	Recipiente	17	Tiempo de ensayo (min)	14.90
ALTURA	7.18 cm	$P_1(\%)$	148.40	Velocidad de ensayo (mm/min)	0.752
MASA	102.80 g	$P_2(\%)$	77.40	Deformación (mm) =	11.2
ÁREA INICIAL	10.46 cm ²	$P_3(\%)$	22.4	$\epsilon = \Delta h/h_i$	Deformación unitaria vertical
VOLUMEN	75.1 cm ³	W (%)	129.1		
RELACIÓN HD	1.97	σ_3		$A_c = A_i / (1 - \epsilon)$	Área corregida
PESO UNITARIO TOTAL	1.368 g/cm ³	Presión de Cámara			
PESO UNITARIO SECO	0.597 g/cm ³			$\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$	Esfuerzo desviador

VALORES DE CARGA Y DEFORMACIÓN					ESFUERZO DESVIADOR	ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR
Deforma *10E-3 in	CARGA EN CELDA	LECTURA DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN ϵ	ÁREA A_c	σ_d	σ_1
in	kg	mm	(%)	cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
0.00	0.00	0.00	0.00	10.46	0.000	0.590
10.00	1.55	0.25	0.35	10.50	0.148	0.738
20.00	2.49	0.51	0.71	10.54	0.236	0.826
35.00	3.42	0.89	1.24	10.59	0.323	0.913
50.00	4.31	1.27	1.77	10.65	0.405	0.995
75.00	5.56	1.91	2.65	10.75	0.517	1.107
100.00	6.45	2.54	3.54	10.85	0.595	1.185
125.00	7.17	3.18	4.42	10.95	0.655	1.245
150.00	7.88	3.81	5.31	11.05	0.713	1.303
175.00	8.50	4.45	6.19	11.15	0.762	1.352
200.00	8.95	5.08	7.08	11.26	0.795	1.385
225.00	9.40	5.72	7.96	11.37	0.827	1.417
250.00	9.75	6.35	8.84	11.48	0.849	1.439
275.00	10.02	6.99	9.73	11.59	0.864	1.454
300.00	10.11	7.62	10.61	11.71	0.864	1.454
325.00	9.98	8.26	11.50	11.82	0.844	1.434
350.00	9.57	8.89	12.38	11.94	0.801	1.391
375.00	9.22	9.53	13.27	12.06	0.764	1.354
400.00	8.59	10.16	14.15	12.19	0.705	1.295
440.00	7.92	11.18	15.57	12.39	0.639	1.229

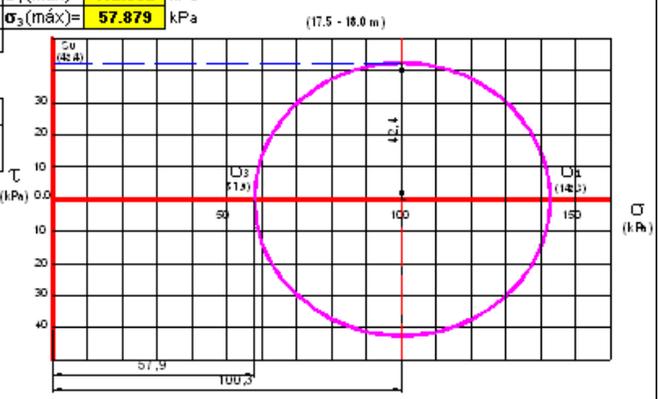


σ_1 (máx) = 1.454 kg/cm² σ_1 (máx) = 14.2682 kPa
 σ_3 (máx) = 57.879 kPa

Centro círculo = $\sigma_3 + (\sigma_1 - \sigma_3)/2 = 1.02$ 100.3 kPa
 Diámetro del círculo = $(\sigma_1 - \sigma_3) = 0.86$ 84.8 kPa
 Radio del círculo = $(\sigma_1 - \sigma_3)/2 = 0.43$ 42.4 kPa
 Coordenadas centro círculo = (100.3, 0.0)



$S_u =$
0.43 kg/cm²
42.4 kPa



PROYECTO: PROPIEDADES DE COMPRESIBILIDAD ARCILLA TÍPICA DE LA SABANA DE BOGOTÁ

FECHA:

LOCALIZACIÓN: COSTADO SUR, PISTA SUR AEROPUERTO EL DORADO - FONTIBÓN - BOGOTÁ.

Septiembre 12/2012

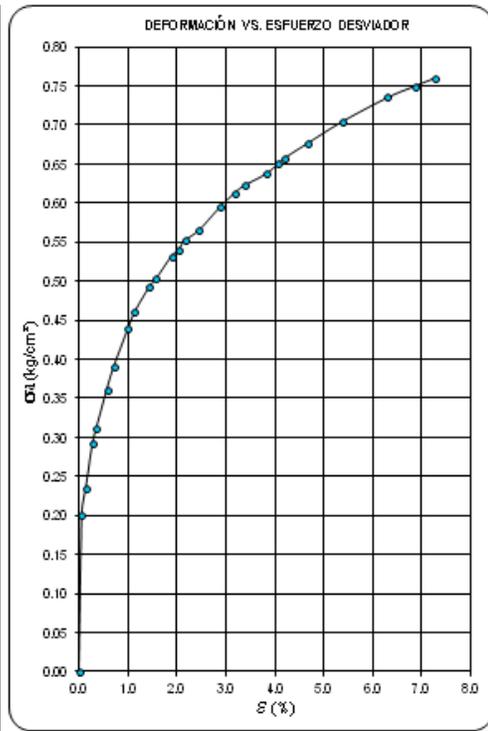
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

PERFORACIÓN: ÚNICA MUESTRA No. 6 PROFUNDIDAD: 27.0-27.5 m

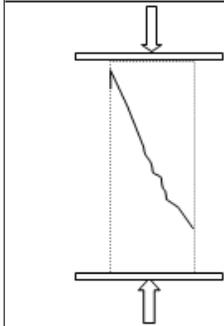
DESCRIPCIÓN: Arcilla algo limosa de color gris con tonos verdosos

DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO		HUMEDAD		Tiempo de ensayo (min)	Velocidad de ensayo (mm/min)
DIAMETRO	5.09 cm	Recipiente	Z5		
ALTURA	10.18 cm	E_1 (g)	154.20	Deformación (mm) =	7.7
MASA	272.00 g	E_2 (g)	75.35	$\epsilon = \Delta h / h_i$	Deformación unitaria vertical
AREA INICIAL	20.35 -	E_3 (g)	19.7		
VOLUMEN	207.1 cm ³	W (%)	141.7	$A_c = A_i / (1 - \epsilon)$	Área corregida
RELACIÓN H ₂ O	2.00 g	σ_3			
PESO UNITARIO TOTAL	1.313 g/cm ³	Presión de Cámara		$\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$	Esfuerzo desviador
PESO UNITARIO SECC	0.543 g/cm ³	σ_3	0.94 kg/cm ²		

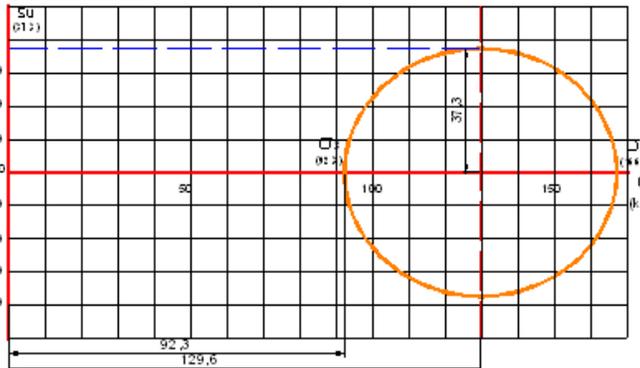
VALORES DE CARGA Y DEFORMACIÓN					ESFUERZO DESVIADOR σ_d	ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR σ_1
CARGA EN lb	CARGA EN CELDA kg	LECTURA DEFORMACIÓN mm	DEFORMACIÓN ϵ (%)	ÁREA A_c cm ²		
0.00	0.00	0.00	0.00000	20.35	0.000	0.940
9.00	4.08	0.06	0.05894	20.36	0.201	1.141
10.50	4.76	0.14	0.13752	20.38	0.234	1.174
13.10	5.94	0.28	0.27505	20.40	0.291	1.231
14.00	6.35	0.36	0.35363	20.42	0.311	1.251
16.30	7.40	0.58	0.56974	20.46	0.361	1.301
17.60	7.99	0.72	0.70727	20.49	0.390	1.330
19.90	9.03	1.02	1.00196	20.55	0.439	1.379
20.90	9.48	1.16	1.13949	20.58	0.461	1.401
22.40	10.16	1.46	1.43418	20.64	0.492	1.432
22.90	10.39	1.60	1.57171	20.67	0.503	1.443
24.30	11.03	1.92	1.88605	20.74	0.532	1.472
24.70	11.21	2.06	2.02358	20.77	0.540	1.480
25.30	11.48	2.20	2.16110	20.80	0.552	1.492
26.00	11.80	2.50	2.45580	20.86	0.566	1.506
27.50	12.48	2.94	2.88802	20.95	0.595	1.535
28.40	12.89	3.24	3.18271	21.02	0.613	1.553
28.90	13.11	3.44	3.37917	21.06	0.623	1.563
29.70	13.48	3.88	3.81139	21.15	0.637	1.577
30.40	13.79	4.14	4.06680	21.21	0.650	1.590
30.80	13.97	4.28	4.20432	21.24	0.658	1.598
31.80	14.43	4.74	4.65619	21.34	0.676	1.616
33.40	15.15	5.48	5.38310	21.51	0.705	1.645
35.20	15.97	6.42	6.30648	21.72	0.735	1.675
36.10	16.38	6.98	6.85658	21.85	0.750	1.690
36.80	16.70	7.42	7.28880	21.95	0.761	1.701



Centro círculo = $\sigma_3 + (\sigma_1 + \sigma_3) / 2 = 1.32$ kPa
 Diámetro del círculo = $(\sigma_1 - \sigma_3) = 0.76$ kPa
 Radio del círculo = $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2 = 0.38$ kPa
 Coordenadas centro círculo = (129.5, 0.0)



$S_u =$
0.38 kg/cm²
37.3 kPa



ANEXO 3

Resultados ensayos de consolidación con LIR=1.0: $t_f=t_{100}$ y rebote intermedio.

ENSAYO REALIZADO EN SUELOS Y PAVIMENTOS GREGORIO ROJAS & CIA LTDA		CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS NTC 1967-00			Página 1 de 6				
ENSAYO CON LIR = 1.0 T=t100 y REBOTE INTERMEDIO									
PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TIPICA DE BOGOTÁ				FECHA ENSAYO:		2012-07-14			
SONDEO:	ÚNICO		MUESTRA:	1		PROFUNDIDAD:	2,50 - 3,00 m		
DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris, con oxidaciones.									
OBSERVACIONES: -									
Consolidación: Rápida (B) <u>-</u>		Ensayo realizado a: Humedad natural <u>-</u>		Tipo de muestra: Inalterada <u>X</u>					
Lenta (A) <u>X</u>		Saturado <u>X</u>		Compactada <u>-</u>					
Banco número	<u>2</u>		Peso de la celda + muestra inicial	<u>598.2</u> g					
Celda número	<u>6G</u>		Peso de la celda + muestra final	<u>581.8</u> g					
Diámetro de la muestra	<u>6.44</u> cm		Peso de la celda	<u>476.4</u> g					
Altura de la muestra	<u>2.58</u> cm		Peso del bloque + piedra porosa	<u>430.9</u> g					
Área de la muestra	<u>32.60</u> cm ²		Peso unitario total	<u>1.451</u> g/cm ³					
Volumen de la muestra	<u>83.95</u> cm ³		Peso unitario seco	<u>0.794</u> g/cm ³					
Relación de brazo	<u>7.920</u>		Peso específico	<u>2.682</u>					
			Grado de saturación inicial	<u>93.3</u> %					
CONTENIDO DE HUMEDAD									
			Recipiente	INICIAL	FINAL				
			P ₁ (g)	120	7T				
			P ₂ (g)	103.6	145.5				
			P ₃ (g)	65.2	104.9				
			Humedad	18.8	40.4				
				82.8%	63.0%				
FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO	FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg			min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg
2012-07-14	12:40		0	0.0					
2012-07-14	15:15		2	0.5					
2012-07-15	10:20		22	10					
2012-07-16	07:50		55	2.0					
2012-07-16	07:50	0	55	4.0	2012-07-17	07:30	0	147	8.0
		4"	74				4"	170	
		15"	79				15"	180	
		34"	83				34"	188	
		100"	86				100"	197	
		134"	89				134"	205	
		2'15"	92				2'15"	214	
		3'04"	95				3'04"	222	
		4'00"	98				4'00"	230	
		6'15"	103				6'15"	245	
		9'00"	107				9'00"	259	
		12'15"	110				12'15"	272	
		16'00"	113				16'00"	282	
		25'00"	118				25'00"	303	
		36'00"	122				36'00"	314	
		49'00"	125				49'00"	323	
		64'00"	128				64'00"	331	
		81'00"	131				81'00"	336	
		100'00"	134				100'00"	3415	
2012-07-16	12:30	280'00"	140	4.0	2012-07-17	10:40	180'00"	352	8.0
2012-07-16	18:50		144	4.0	2012-07-17	20:00		354	8.0
2012-07-17	07:30		147	4.0	2012-07-18	07:05		780	16.0
P ₁ = Peso del recipiente mas muestra húmeda			P ₂ = Peso del recipiente mas muestra seca			P ₃ = Peso del recipiente			

ENSAYO REALIZADO EN SUELOS Y PAVIMENTOS GREGORIO ROJAS & CIA LTDA			CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS NTC 1967-00			Página 2 de 6			
PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TIPICA DE BOGOTÁ					FECHA ENSAYO:		2012-07-14		
SONDEO: ÚNICO			MUESTRA: 1		PROFUNDIDAD: 2,50 - 3,00 m				
DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris, con oxidaciones.									
OBSERVACIONES: -									
FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO	FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg			min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg
2012-07-18	07:05	0	780	32.0	2012-07-19	07:00	0	1765	65.0
		4"	822				4"	1815	
		15"	848				15"	1842	
		34"	879				34"	1875	
		100"	899				100"	1910	
		134"	939				134"	1945	
		2'15"	970				2'15"	1980	
		3'04"	1002				3'04"	2013	
		4'00"	1033				4'00"	2046	
		6'15"	1095				6'15"	2100	
		9'00"	1155				9'00"	2140	
		12'15"	1215				12'15"	2172	
		16'00"	1280				16'00"	2209	
		25'00"	1382				25'00"	2269	
		36'00"	1484				36'00"	2332	
		49'00"	1535				49'00"	2381	
		64'00"	1580				64'00"	2420	
		81'00"	1612				81'00"	2449	
		100'00"	1642				100'00"	2469	
2012-07-18	14:35	450'00"	1726	32.0	2012-07-20	10:35	1655'00"	2659	65.0
2012-07-18	18:40		1743	32.0	2012-07-20	18:10		2559	32.0
2012-07-19	06:30		1765	32.0	2012-07-21	08:25		2422	16.0
LECTURA	CARGA EN	ESFUERZO	ALTURA	RELACIÓN	2012-07-21	18:20		2295	8.0
DEFORMACIÓ	BRAZO			DE VACÍOS	2012-07-22	16:35		2145	4.0
*10 ⁻⁴ in	Kg	Kgf/cm ²	cm	%	2012-07-23	07:10		2001	2.0
0	0.00	0.013	2.575	2.379					
2	0.50	0.135	2.574	2.378					
22	100	0.256	2.569	2.371					
55	2.00	0.499	2.561	2.360					
147	4.00	0.985	2.538	2.330					
354	8.00	1.957	2.485	2.261					
335	4.00	0.985	2.490	2.267					
301	2.00	0.499	2.499	2.278					
200	100	0.256	2.524	2.312					
249	2.00	0.499	2.512	2.296					
293	4.00	0.985	2.501	2.281					
411	8.00	1.957	2.471	2.242					
780	16.00	3.900	2.377	2.119					
1665	32.00	7.787	2.152	1824					
2659	65.00	15.803	1900	1492					
2559	32.00	7.787	1925	1526					
2422	16.00	3.900	1960	1571					
2295	8.00	1.957	1992	1614					
2145	4.00	0.985	2.030	1664					
2001	2.00	0.499	2.067	1712					

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS
NTC 1967-00**

Página 3 de 6

PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ

FECHA ENSAYO:

2012-07-14

SONDEO: **ÚNICO**

MUESTRA: **1**

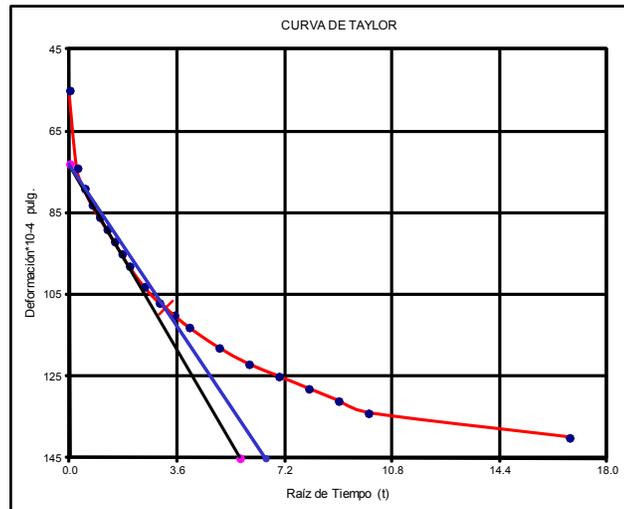
PROFUNDIDAD:

2,50 - 3,00 m

OBSERVACIONES: -

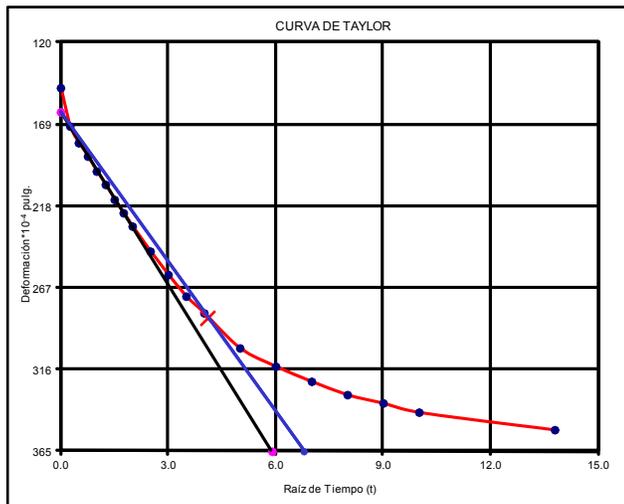
CARGA 1 (2,00 - 4,00 kg)

TIEMPO		RAÍZ DE TIEMPO	LECT. DEFORM. *10E-4 plg
minutos	segundos		
0	0	0.000	55
0	4	0.258	74
0	15	0.500	79
0	34	0.753	83
1	0	1.000	86
1	34	1.252	89
2	15	1.500	92
3	4	1.751	95
4	0	2.000	98
6	15	2.500	103
9	0	3.000	107
12	15	3.500	110
16	0	4.000	113
25	0	5.000	118
36	0	6.000	122
49	0	7.000	125
64	0	8.000	128
81	0	9.000	131
100	0	10.000	134
280	0	16.733	140



CARGA 2 (4,00 - 8,00 kg)

TIEMPO		RAÍZ DE TIEMPO	LECT. DEFORM. *10E-4 plg
minutos	segundos		
0	0	0.000	147
0	4	0.258	170
0	15	0.500	180
0	34	0.753	188
1	0	1.000	197
1	34	1.252	205
2	15	1.500	214
3	4	1.751	222
4	0	2.000	230
6	15	2.500	245
9	0	3.000	259
12	15	3.500	272
16	0	4.000	282
25	0	5.000	303
36	0	6.000	314
49	0	7.000	323
64	0	8.000	331
81	0	9.000	336
100	0	10.000	341.5
190	0	13.784	352



**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS
NTC 1967-00**

Página 4 de 6

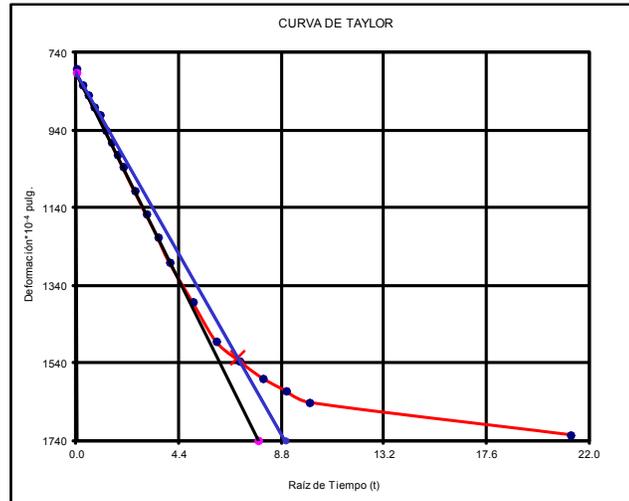
PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ FECHA ENSAYO: 2012-07-14

SONDEO: **ÚNICO** MUESTRA: **1** PROFUNDIDAD: **2,50 - 3,00 m**

OBSERVACIONES: -

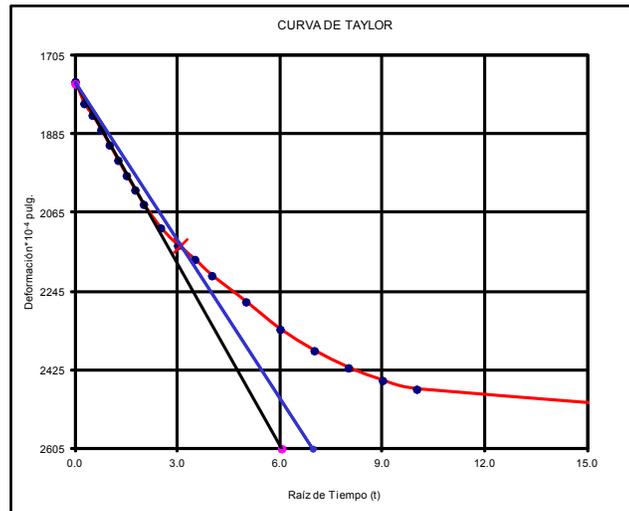
CARGA 3 (16,00 - 32,00 kg)

TIEMPO		RAÍZ DE TIEMPO	LECT. DEFORM. *10 ⁻⁴ plg
minutos	segundos		
0	0	0.000	780
0	4	0.258	822
0	15	0.500	848
0	34	0.753	879
1	0	1.000	899
1	34	1.252	939
2	15	1.500	970
3	4	1.751	1002
4	0	2.000	1033
6	15	2.500	1095
9	0	3.000	1165
12	15	3.500	1215
16	0	4.000	1280
25	0	5.000	1382
36	0	6.000	1484
49	0	7.000	1535
64	0	8.000	1580
81	0	9.000	1612
100	0	10.000	1642
450	0	21.213	1726



CARGA 4 (32,00 - 65,00 kg)

TIEMPO		RAÍZ DE TIEMPO	LECT. DEFORM. *10 ⁻⁴ plg
minutos	segundos		
0	0	0.000	1765
0	4	0.258	1815
0	15	0.500	1842
0	34	0.753	1875
1	0	1.000	1910
1	34	1.252	1945
2	15	1.500	1980
3	4	1.751	2013
4	0	2.000	2046
6	15	2.500	2100
9	0	3.000	2140
12	15	3.500	2172
16	0	4.000	2209
25	0	5.000	2269
36	0	6.000	2332
49	0	7.000	2381
64	0	8.000	2420
81	0	9.000	2449
100	0	10.000	2469
655	0	40.682	2659



PROCEDIMIENTO: SYP-PT-001
CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS
 NTC 1967-00
 Referencia SYP-PT-DT-1009-3/07

Página 5 de 6

PROYECTO: PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ **FECHA ENSAYO:** 2012-07-14

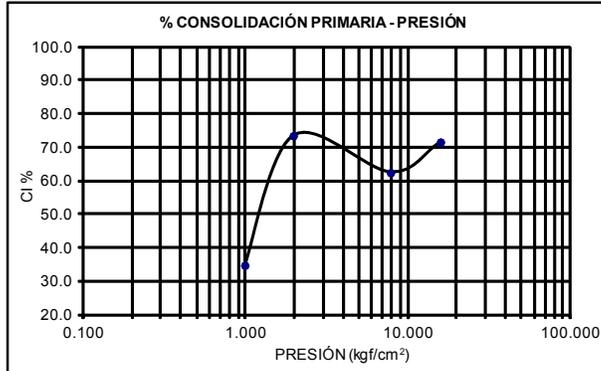
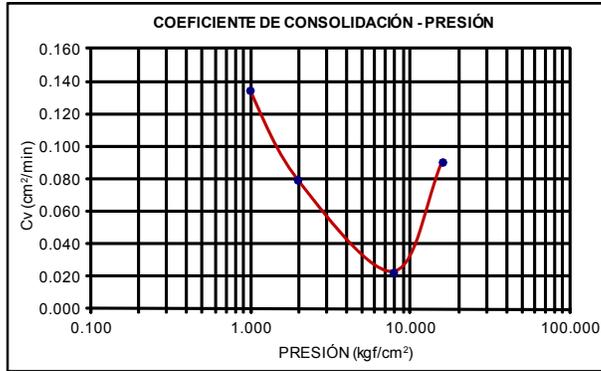
SONDEO: ÚNICO **MUESTRA:** 1 **PROFUNDIDAD:** 2,50 - 3,00 m

OBSERVACIONES: -

INCREMENTO DE CARGA	ALTURA (cm)	ESFUERZO (kgf/cm ²)	Cv (cm ² /min)	CI (%)	ESFUERZO (kgf/cm ²)	Cv (cm ² /s)
2,00 - 4,00	2,550	0,985	0,135	34,8	0,985	0,00224
					1,957	0,00133
4,00 - 8,00	2,512	1,957	0,080	73,4	7,787	0,00038
					15,803	0,00151
16,00 - 32,00	2,257	7,787	0,023	62,4		
32,00 - 65,00	2,013	15,803	0,091	71,6		

Cv: Coeficiente de consolidación

Rc: Relación de consolidación primaria



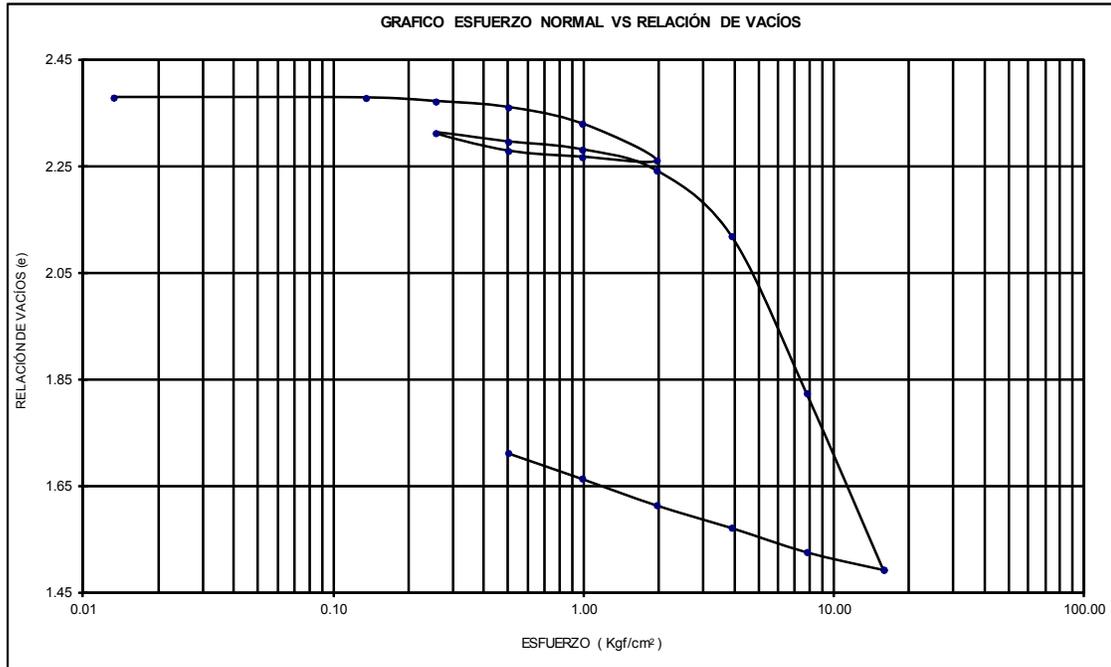
CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS
NTC 1967-00

Página 6 de 6

PROYECTO: PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ FECHA ENSAYO: 2012-07-14

SONDEO: ÚNICO MUESTRA: 1 PROFUNDIDAD: 2,50 - 3,00 m.

OBSERVACIONES: -



ENSAYO REALIZADO EN SUELOS Y PAVIMENTOS GREGORIO ROJAS & CIA LTDA	ENSAYO UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS NTC-1967:2000	Página 1 de 4
--	--	---------------

ENSAYO CON LIR = 1.0 T=t100 y REBOTE INTERMEDIO

PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ **FECHA ENSAYO:** 2012-07-23

SONDEO: **ÚNICO** MUESTRA: **2** PROFUNDIDAD: **5,00 - 5,50** m

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris.

OBSERVACIONES: -

Consolidación: Rápida (B)	X	Ensayo realizado a: Humedad natural	-	Tipo de muestra: Inalterada	X
Lenta (A)	-	Saturado	X	Compactada	-

Banco número	1	Peso de la celda + muestra inicial	617.6 g	CONTENIDO DE HUMEDAD		
Celda número	1G	Peso de la celda + muestra final	600.2 g		INICIAL	FINAL
Diámetro de la muestra	6.44 cm	Peso de la celda	499.1 g	Recipiente	13	16T
Altura de la muestra	2.55 cm	Peso del bloque + piedra porosa	432.6 g	P ₁ (g)	133.9	132.4
Área de la muestra	32.55 cm ²	Peso unitario total	1.428 g/cm ³	P ₂ (g)	72.9	89.3
Volumen de la muestra	83.01 cm ³	Peso unitario seco	0.672 g/cm ³	P ₃ (g)	18.6	33.3
Relación de brazo	7.558	Peso específico	2.760	Humedad	112.3%	77.0%
		Grado de saturación inicial	99.8 %			

FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO	FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg			min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg
2012-07-23	14:45		0	0.0					
2012-07-24	07:10		75	0.5					
2012-07-24	07:10	0	75	10	2012-07-24	09:15	0	179	2.0
		4"	82				4"	198	
		15"	85				15"	205	
		34"	88				34"	212	
		100"	91				100"	219	
		134"	94				134"	226	
		2'15"	96				2'15"	234	
		3'04"	99				3'04"	241	
		4'00"	103				4'00"	247.5	
		6'15"	108				6'15"	262.5	
		9'00"	115				9'00"	277.5	
		12'15"	121				12'15"	292	
		16'00"	127				16'00"	306	
		25'00"	138				25'00"	332.5	
		36'00"	148				36'00"	357	
		49'00"	157				49'00"	378.5	
		64'00"	163				64'00"	397	
		81'00"	169				81'00"	415	
2012-07-24	09:15	100'00"	173	10	2012-07-24	10:55	100'00"	428	2.0
		125'00"	179		2012-07-24	14:20		379	10
					2012-07-24	18:30		320	0.5
					2012-07-25	07:20		350	10

P₁ = Peso del recipiente mas muestra húmeda P₂ = Peso del recipiente mas muestra seca P₃ = Peso del recipiente

PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ **FECHA ENSAYO:** 2012-07-23

SONDEO: **ÚNICO** MUESTRA: **2** PROFUNDIDAD: **5,00 - 5,50** m

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris.

OBSERVACIONES: -

FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg
2012-07-25	07:20	0	350	2.0
		4"	359	
		15"	362	
		34"	365	
		100"	369	
		134"	373	
		2'15"	377	
		3'04"	381	
		4'00"	384	
		6'15"	392	
		9'00"	399	
		12'15"	406	
		16'00"	413	
		25'00"	426	
		36'00"	434	
2012-07-25	09:00	49'00"	441	2.0
		64'00"	447	
		81'00"	451	
		100'00"	456	

FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg
2012-07-25	09:00	0	456	4.0
		4"	471	
		15"	483	
		34"	499	
		100"	509	
		134"	520	
		2'15"	532	
		3'04"	544	
		4'00"	555	
		6'15"	581	
		9'00"	607	
		12'15"	633	
		16'00"	655	
		25'00"	704	
		36'00"	756	
2012-07-25	12:10	49'00"	788	4.0
		64'00"	832	
		81'00"	864	
		100'00"	891	
		130'00"	968	

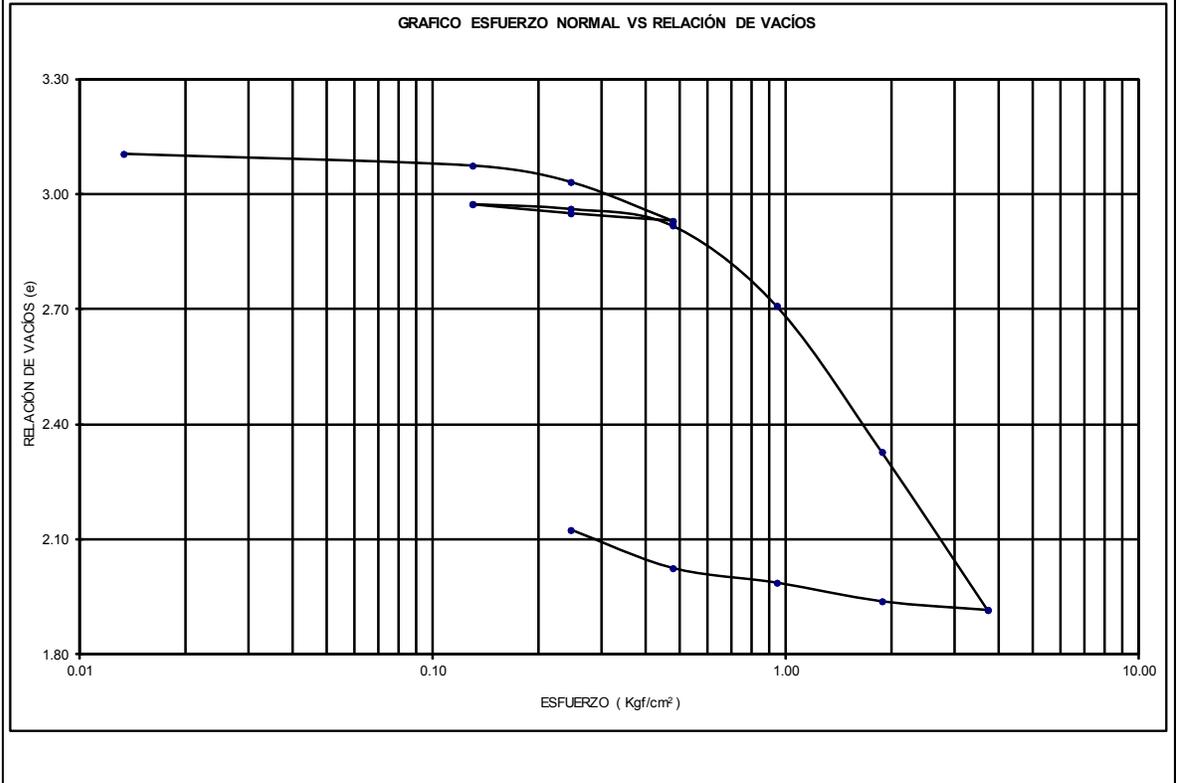
ENSAYO REALIZADO EN SUELOS Y PAVIMENTOS GREGORIO ROJAS & CIA LTDA		ENSAYO UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS NTC-1967:2000			Página 3 de 4				
PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ				FECHA ENSAYO:		2012-07-23			
SONDEO: ÚNICO MUESTRA: 2 PROFUNDIDAD: 5,00 - 5,50 m									
DESCRIPCIÓN : Arcilla limosa de color gris.									
OBSERVACIONES: -									
FECHA	TIEMPO	INTERVALO	DEFORM.	CARGA EN	FECHA	TIEMPO	INTERVALO	DEFORM.	CARGA EN
		DE TIEMPO		BRAZO			DE TIEMPO		BRAZO
		min. seg.	*10^-4 plg	kg			min. seg.	*10^-4 plg	kg
2012-07-25	12:10	0	968	8.0	2012-07-26	08:27	0	2007	16.0
		4"	999				4"	2042	
		15"	1013				15"	2056	
		34"	1030				34"	2072	
		100"	1047				100"	2090	
		134"	1064				134"	2109	
		2' 15"	1083				2' 15"	2128	
		3'04"	1101				3'04"	2150	
		4'00"	1125				4'00"	2166.5	
		6' 15"	1165				6' 15"	2214	
		9'00"	1204				9'00"	2254	
		12' 15"	1245				12' 15"	2298	
		15'00"	1285				15'00"	2341	
		25'00"	1369				25'00"	2431	
		36'00"	1453				36'00"	2512.5	
		49'00"	1525				49'00"	2598	
		64'00"	1604				64'00"	2677	
		81'00"	1677				81'00"	2743	
		100'00"	1725				100'00"	2775	
2012-07-25	14:11	12100"	1789	8.0	2012-07-26	10:28	12100"	2815	16.0
2012-07-25	15:26	196'00"	1909	8.0	2012-07-26	14:17	350'00"	2862	16.0
2012-07-25	17:50	340'00"	2007	8.0	2012-07-26	15:37	430'00"	2869	16.0
					2012-07-26	18:35	608'00"	2907	16.0
					2012-07-27	07:10		2852	8.0
					2012-07-27	09:40		2734	4.0
					2012-07-27	13:30		2641	2.0
					2012-07-27	17:00		2398	1.0

	LECTURA	CARGA EN	ESFUERZO	ALTURA	RELACIÓN	DH/H
	DEFORMACIÓN	BRAZO			DE VACÍOS	
CARGA	*10^-4 in	Kg	Kgf/cm ²	cm		%
	0	0.00	0.0133	2.550	3.105	0.00
	75	0.50	0.1294	2.531	3.075	0.75
	179	1.00	0.2455	2.505	3.032	1.78
	428	2.00	0.4776	2.441	2.930	4.26
	379	1.00	0.2455	2.454	2.950	3.78
	320	0.50	0.1294	2.469	2.975	3.19
	350	1.00	0.2455	2.461	2.962	3.49
	456	2.00	0.4776	2.434	2.919	4.54
	968	4.00	0.9420	2.304	2.710	9.64
	1900	8.00	1.8707	2.067	2.328	19.93
	2907	16.00	3.7281	1.812	1.917	28.96
	DESCARGA	2852	8.00	1.8707	1.826	1.939
2734		4.00	0.9420	1.856	1.987	27.23
2641		2.00	0.4776	1.879	2.025	26.31
2398		1.00	0.2455	1.941	2.125	23.89

PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ

SONDEO: **ÚNICO** MUESTRA: **2** PROFUNDIDAD: **5,00 - 5,50 m** FECHA ENSAYO: 2012-07-23

OBSERVACIONES: -



ENSAYO REALIZADO EN SUELOS Y PAVIMENTOS GREGORIO ROJAS & CIA LTDA	ENSAYO UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS NTC-1967:2000	Página 1 de 5																																
ENSAYO CON LIR = 1.0 T=t100 y REBOTE INTERMEDIO																																		
PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ		FECHA ENSAYO: 2012-07-27																																
SONDEO: ÚNICO MUESTRA: 3 PROFUNDIDAD: 7,00 - 7,50 m																																		
DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris verdoso																																		
OBSERVACIONES: -																																		
onsolidación: Rápida (B) <u>-</u> Ensayo realizado a: Humedad natural <u>-</u> Tipo de muestra: Inalterada <u>X</u> Lenta (A) <u>X</u> Saturado <u>X</u> Compactada <u>-</u>																																		
<table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Banco número <u>1</u></td> <td style="width: 30%;">Peso de la celda + muestra inicial <u>601.8</u> g</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">CONTENIDO DE HUMEDAD</td> </tr> <tr> <td>Celda número <u>3G</u></td> <td>Peso de la celda + muestra final <u>577.9</u> g</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>Diámetro de la muestra <u>6.44</u> cm</td> <td>Peso de la celda <u>493.2</u> g</td> <td style="text-align: center;">Recipiente</td> <td style="text-align: center;">INICIAL FINAL</td> </tr> <tr> <td>Altura de la muestra <u>2.51</u> cm</td> <td>Peso del bloque + piedra porosa <u>431.7</u> g</td> <td>P₁ (g)</td> <td style="text-align: center;">52 2T</td> </tr> <tr> <td>Área de la muestra <u>32.57</u> cm²</td> <td>Peso unitario total <u>1.328</u> g/cm³</td> <td>P₂ (g)</td> <td style="text-align: center;">169.8 119.0</td> </tr> <tr> <td>Volumen de la muestra <u>81.76</u> cm³</td> <td>Peso unitario seco <u>0.546</u> g/cm³</td> <td>P₃ (g)</td> <td style="text-align: center;">87.2 79.0</td> </tr> <tr> <td>Relación de brazo <u>7.716</u></td> <td>Peso específico <u>2.706</u></td> <td>Humedad</td> <td style="text-align: center;">29.5 38.9</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Grado de saturación inicial <u>98.0</u> %</td> <td></td> <td style="text-align: center;">143.2% 99.8%</td> </tr> </table>			Banco número <u>1</u>	Peso de la celda + muestra inicial <u>601.8</u> g	CONTENIDO DE HUMEDAD		Celda número <u>3G</u>	Peso de la celda + muestra final <u>577.9</u> g			Diámetro de la muestra <u>6.44</u> cm	Peso de la celda <u>493.2</u> g	Recipiente	INICIAL FINAL	Altura de la muestra <u>2.51</u> cm	Peso del bloque + piedra porosa <u>431.7</u> g	P ₁ (g)	52 2T	Área de la muestra <u>32.57</u> cm ²	Peso unitario total <u>1.328</u> g/cm ³	P ₂ (g)	169.8 119.0	Volumen de la muestra <u>81.76</u> cm ³	Peso unitario seco <u>0.546</u> g/cm ³	P ₃ (g)	87.2 79.0	Relación de brazo <u>7.716</u>	Peso específico <u>2.706</u>	Humedad	29.5 38.9		Grado de saturación inicial <u>98.0</u> %		143.2% 99.8%
Banco número <u>1</u>	Peso de la celda + muestra inicial <u>601.8</u> g	CONTENIDO DE HUMEDAD																																
Celda número <u>3G</u>	Peso de la celda + muestra final <u>577.9</u> g																																	
Diámetro de la muestra <u>6.44</u> cm	Peso de la celda <u>493.2</u> g	Recipiente	INICIAL FINAL																															
Altura de la muestra <u>2.51</u> cm	Peso del bloque + piedra porosa <u>431.7</u> g	P ₁ (g)	52 2T																															
Área de la muestra <u>32.57</u> cm ²	Peso unitario total <u>1.328</u> g/cm ³	P ₂ (g)	169.8 119.0																															
Volumen de la muestra <u>81.76</u> cm ³	Peso unitario seco <u>0.546</u> g/cm ³	P ₃ (g)	87.2 79.0																															
Relación de brazo <u>7.716</u>	Peso específico <u>2.706</u>	Humedad	29.5 38.9																															
	Grado de saturación inicial <u>98.0</u> %		143.2% 99.8%																															
FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO	FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO																									
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg			min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg																									
2012-07-23	15:30		0	0.0																														
2012-07-24	07:10		81	0.5																														
2012-07-24	07:10	0	81	10	2012-07-24	09:15	0	156	2.0																									
		4"	87				4"	172																										
		15"	91				15"	178																										
		34"	93				34"	185																										
		100"	95				100"	192																										
		134"	97				134"	198																										
		2' 15"	100				2' 15"	205																										
		3'04"	103				3'04"	211																										
		4'00"	105				4'00"	218																										
		6' 15"	110				6' 15"	230																										
		9'00"	115				9'00"	242.5																										
		12' 15"	119				12' 15"	254																										
		15'00"	123				15'00"	266																										
		25'00"	130				25'00"	287																										
		36'00"	137				36'00"	308.5																										
		49'00"	142				49'00"	326																										
		64'00"	146				64'00"	341																										
		81'00"	150				81'00"	358																										
		100'00"	153		2012-07-24	10:55	100'00"	366.5	2.0																									
2012-07-24	09:15	125'00"	156	10																														
P ₁ = P eso del recipiente mas muestra húmeda			P ₂ = P eso del recipiente mas muestra seca			P ₃ = P eso del recipiente																												

ENSAYO REALIZADO EN SUELOS Y PAVIMENTOS GREGORIO ROJAS & CIA LTDA		ENSAYO UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS NTC-1967:2000			Página 2 de 5				
PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ					FECHA ENSAYO: 2012-07-27				
SONDEO: ÚNICO MUESTRA: 3 PROFUNDIDAD: 7,00 - 7,50 m									
DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris verdoso									
OBSERVACIONES: -									
FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO	FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg			min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg
2012-07-24	10:55	0	367	4.0	2012-07-25	07:40	0	800	2.0
		4"	398				4"	805	
		15"	410				15"	808	
		34"	422				34"	810	
		100"	435				100"	813	
		134"	449				134"	815	
		2' 15"	462				2' 15"	817.5	
		3'04"	475				3'04"	820	
		4'00"	490				4'00"	822.5	
		6' 15"	519				6' 15"	827	
		9'00"	546				9'00"	832	
		12' 15"	574				12' 15"	835.5	
		15'00"	602				15'00"	839.7	
		25'00"	655				25'00"	845	
		36'00"	708				36'00"	850	
		49'00"	757				49'00"	853	
		64'00"	803				64'00"	855	
		81'00"	846				81'00"	857	
		100'00"	889		2012-07-25	09:20	100'00"	859	2.0
2012-07-24	12:56	12'100"	921						
2012-07-24	13:19	144'00"	950						
2012-07-24	14:22	200'00"	1007	4.0					
2012-07-24	18:30		926	2.0					
2012-07-25	07:40		800	10					

ENSAYO REALIZADO EN SUELOS Y PAVIMENTOS GREGORIO ROJAS & CIA LTDA		ENSAYO UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS NTC-1967:2000			Página 3 de 5				
PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ									
SONDEO: ÚNICO MUESTRA: 3 PROFUNDIDAD: 7,00 - 7,50 m									
DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris verdoso									
OBSERVACIONES: ÚNICO									
FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO	FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg			min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg
2012-07-25	09:20	0	859	4.0	2012-07-25	11:00	0	1082	8.0
		4"	870				4"	1126	
		6"	875				6"	1135	
		34"	882				34"	1148	
		100"	888				100"	1161	
		134"	894				134"	1186	
		2' 15"	900				2' 15"	1207	
		3'04"	908				3'04"	1228	
		4'00"	913				4'00"	1248	
		6' 15"	928				6' 15"	1291	
		9'00"	940				9'00"	1335	
		12' 15"	954				12' 15"	1380	
		16'00"	967				16'00"	1426	
		25'00"	994				25'00"	1515	
		36'00"	1014				36'00"	1603	
		49'00"	1033				49'00"	1692	
		64'00"	1054				64'00"	1778	
		81'00"	1066				81'00"	1864	
2012-07-25	11:00	100'00"	1082	4.0			100'00"	1942.5	
							121'00"	2020	
							15:16	2305	
					2012-07-25	18:00	420'00"	2440	8.0

PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ

FECHA ENSAYO:

2012-07-27

SONDEO: **ÚNICO** MUESTRA: **3** PROFUNDIDAD: **7,00 - 7,50** m

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris verdoso

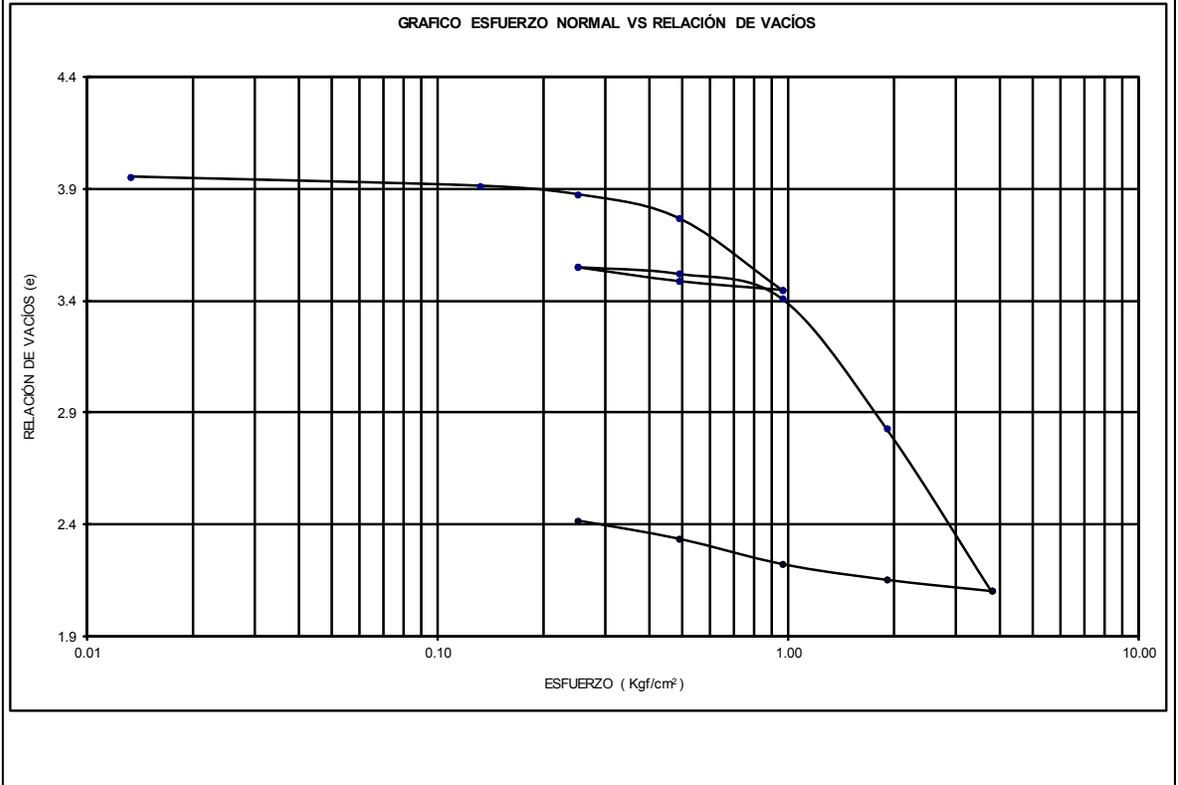
OBSERVACIONES: -

FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO	FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg			min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg
2012-07-26	08:27	0	2440	16.0	2012-07-27	07:10		3587	8.0
		4"	2473					3449	4.0
		15"	2492					3224	2.0
		34"	2510					3064	10
		100"	2530						
		134"	2548						
		2'15"	2570						
		3'04"	2590						
		4'00"	2610						
		6'15"	2652						
		9'00"	2695.5						
		12'15"	2737						
		16'00"	2779						
		25'00"	2866						
36'00"	2951								
49'00"	3039								
64'00"	3124								
81'00"	3204								
100'00"	3286								
2012-07-26	10:36	12'00"	3342						
2012-07-26	14:17	350'00"	3651						
2012-07-26	15:37	430'00"	3687	16.0					

LECTURA DEFORMACIÓN	CARGA EN BRAZO	ESFUERZO	ALTURA	RELACIÓN DE VACÍOS	DH/H
*10 ⁻⁴ in	Kg	Kgf/cm ²	cm		%
0	0.00	0.0133	2.510	3.954	0.00
81	0.50	0.1317	2.489	3.913	0.82
156	1.00	0.2501	2.470	3.875	1.58
367	2.00	0.4870	2.417	3.770	3.71
1007	4.00	0.9608	2.254	3.449	10.19
926	2.00	0.4870	2.275	3.489	9.37
800	1.00	0.2501	2.307	3.553	8.10
859	2.00	0.4870	2.292	3.523	8.69
1082	4.00	0.9608	2.235	3.411	10.95
2240	8.00	1.9083	1.941	2.831	22.67
3687	16.00	3.8034	1.574	2.105	37.31
3587	8.00	1.9083	1.599	2.155	36.30
3449	4.00	0.9608	1.634	2.225	34.90
3224	2.00	0.4870	1.691	2.337	32.63
3064	1.00	0.2501	1.732	2.418	31.01

PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ		FECHA ENSAYO: 2012-07-27
SONDEO: ÚNICO	MUESTRA: 3	PROFUNDIDAD: 7,00 - 7,50 m

OBSERVACIONES: -



ENSAYO REALIZADO EN SUELOS Y PAVIMENTOS GREGORIO ROJAS & CIA LTDA	ENSAYO UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS NTC-1967:2000	Página 1 de 5
--	--	---------------

ENSAYO CON LIR = 1.0 T=t100 y REBOTE INTERMEDIO

PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ	FECHA ENSAYO:	2012-07-23
---	---------------	------------

SONDEO: **UNICO** **MUESTRA 4** PROFUNDIDAD: **11,00 - 11,5 m**

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris verdoso.

OBSERVACIONES: -

Consolidación: Rápida (B) - Ensayo realizado a: Humedad natural - Tipo de muestra: Inalterada X
 Lenta (A) X Saturado X Compactada -

Banco número	1	Peso de la celda + muestra inicial	604.6 g	CONTENIDO DE HUMEDAD		
Celda número	4G	Peso de la celda + muestra final	584.3 g		INICIAL	FINAL
Diámetro de la muestra	6.44 cm	Peso de la celda	496.4 g	Recipiente	140	1T
Altura de la muestra	2.54 cm	Peso del bloque + piedra porosa	421.7 g	P ₁ (g)	125.3	124.9
Área de la muestra	32.57 cm ²	Peso unitario total	1.308 g/cm ³	P ₂ (g)	60.4	80.4
Volumen de la muestra	82.74 cm ³	Peso unitario seco	0.514 g/cm ³	P ₃ (g)	18.4	37.7
Relación de brazo	7.712	Peso específico	2.690	Humedad	154.5%	104.2%
		Grado de saturación inicial	98.1 %			

FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO	FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg			min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg
2012-07-23	15:35		0	0.0					
2012-07-24	07:10		99	0.5					
2012-07-24	07:10	0	99	10	2012-07-24	09:15	0	178	2.0
		4"	105				4"	194	
		15"	109				15"	200	
		34"	112				34"	207	
		100"	115				100"	213.5	
		134"	118				134"	220	
		2' 15"	121				2' 15"	227	
		3' 04"	124				3' 04"	233	
		4' 00"	126				4' 00"	239	
		6' 15"	131				6' 15"	252	
		9' 00"	137				9' 00"	264	
		12' 15"	141				12' 15"	276	
		16' 00"	146				16' 00"	287	
		25' 00"	155				25' 00"	307	
		36' 00"	161				36' 00"	321	
		49' 00"	166				49' 00"	332	
		64' 00"	170				64' 00"	340	
		81' 00"	174				81' 00"	347	
2012-07-24	09:15	100' 00"	176	10	2012-07-24	10:55	100' 00"	352	2.0
		125' 00"	178						

P₁ = Peso del recipiente mas muestra húmeda P₂ = Peso del recipiente mas muestra seca P₃ = Peso del recipiente

ENSAYO REALIZADO EN SUELOS Y PAVIMENTOS GREGORIO ROJAS & CIA LTDA	ENSAYO UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS NTC-1967:2000	Página 2 de 5
--	--	---------------

PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ	FECHA ENSAYO: 2012-07-23

SONDEO: UNICO	MUESTRA: MUESTRA	PROFUNDIDAD: 11,00 - 11,50 m
DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris verdoso.		
OBSERVACIONES: -		

FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO	
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg	
2012-07-24	10:55	0	352	4.0	
		4"	377		
		8"	388		
		34"	399		
		100"	412		
		134"	423		
		2'15"	435		
		3'04"	447		
		4'00"	458		
		6'15"	481		
		9'00"	502		
		12'15"	526		
		16'00"	547		
		25'00"	587		
2012-07-24	13:05	30'00"	725		
		33'00"	745		
		2012-07-24	13:30	678	2.0
		2012-07-25	07:40	587	1.0

FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg
2012-07-25	07:40	0	587	2.0
		4"	592	
		8"	594	
		34"	596.5	
		100"	599	
		134"	601	
		2'15"	603	
		3'04"	605.5	
		4'00"	607	
		6'15"	611	
		9'00"	614	
		12'15"	617	
		16'00"	619	
		25'00"	622	
2012-07-25	09:20	36'00"	624	
		49'00"	625	
		64'00"	626	
		81'00"	627	
		100'00"	628	

ENSAYO REALIZADO EN SUELOS Y PAVIMENTOS GREGORIO ROJAS & CIA LTDA	ENSAYO UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS NTC-1967:2000	Página 3 de 5
--	--	---------------

PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TIPICA DE BOGOTÁ

SONDEO:	UNICO	MUESTRA: MUESTRA	PROFUNDIDAD: 11,00 - 11,50 m
DESCRIPCIÓN:	Arcilla limosa de color gris verdoso.		
OBSERVACIONES:	UNICO		

FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg
2012-07-25	09:20	0	628	4.0
		4"	639	
		15"	645	
		34"	652	
		100"	658	
		134"	664	
		2' 15"	671	
		3' 04"	678	
		4' 00"	684	
		6' 15"	698	
		9' 00"	709	
		12' 15"	720	
		16' 00"	730	
		25' 00"	750	
		36' 00"	765	
49' 00"	780			
2012-07-25	11:00	64' 00"	792	
		81' 00"	800	
		100' 00"	809	

FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg
2012-07-25	11:00	0	809	8.0
		4"	840	
		15"	855	
		34"	872	
		100"	892	
		134"	913	
		2' 15"	934	
		3' 04"	957	
		4' 00"	979	
		6' 15"	1026	
		9' 00"	1073	
		12' 15"	1122	
		16' 00"	1170	
		25' 00"	1265	
		36' 00"	1358	
49' 00"	1451			
64' 00"	1534			
81' 00"	1612			
100' 00"	1683			
2012-07-25	13:01	12' 10"	1748	8.0
2012-07-25	15:16	25' 00"	1968	8.0
2012-07-25	18:00	42' 00"	2064	8.0

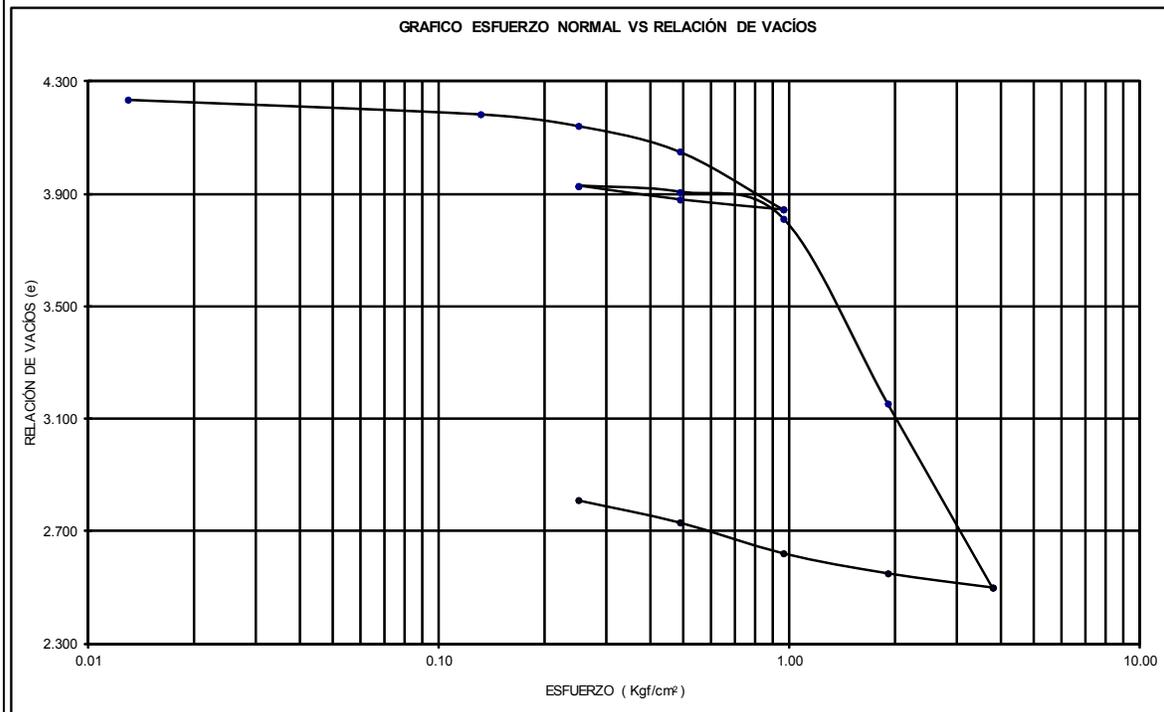
ENSAYO REALIZADO EN SUELOS Y PAVIMENTOS GREGORIO ROJAS & CIA LTDA		ENSAYO UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS NTC-1967:2000			Página 4 de 5				
PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ				FECHA ENSAYO: 2012-07-23					
SONDEO: UNICO MUESTRA: MUESTRA PROFUNDIDAD: 11,00 - 11,50 m									
DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris verdoso.									
OBSERVACIONES: -									
FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO	FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10^-4 plg	kg			min. seg.	*10^-4 plg	kg
2012-07-26	08:27	0	2064	16.0	2012-07-27	07:10		3217	8.0
		4"	2098		2012-07-27	09:40		3081	4.0
		15"	2120		2012-07-27	13:30		2871	2.0
		34"	2140		2012-07-27	17:00		2720	1.0
		100"	2165						
		134"	2187						
		2'15"	2215						
		3'04"	2238						
		4'00"	2271						
		6'15"	2310						
		9'00"	2359						
		12'15"	2410						
		16'00"	2451						
		25'00"	2557						
		36'00"	2657						
		49'00"	2752						
		64'00"	2842						
		81'00"	2923						
		100'00"	2995						
2012-07-26	10:28	12'10"	3059	16.0					
2012-07-26	14:17	350'00"	3287	16.0					
2012-07-26	15:37	430'00"	3314	16.0					
		LECTURA DEFORMACIÓN	CARGA EN BRAZO	ESFUERZO	ALTURA	RELACIÓN DE VACÍOS	DH/H		
		*10^-4 in	Kg	Kgf/cm^2	cm		%		
		0	0.00	0.029	2.540	4.235	0.00		
		99	0.50	0.1313	2.515	4.184	0.99		
		178	1.00	0.2497	2.495	4.142	1.78		
		352	2.00	0.4865	2.451	4.051	3.52		
		745	4.00	0.9600	2.351	3.845	7.45		
		678	2.00	0.4865	2.368	3.880	6.78		
		587	1.00	0.2497	2.391	3.928	5.87		
		628	2.00	0.4865	2.380	3.907	6.28		
		809	4.00	0.9600	2.335	3.812	8.09		
		2064	8.00	1.9070	2.016	3.155	20.64		
		3314	16.00	3.8011	1.698	2.500	33.14		
		3217	8.00	1.9070	1.723	2.551	32.17		
		3081	4.00	0.9600	1.757	2.622	30.81		
		2871	2.00	0.4865	1.811	2.732	28.71		
		2720	1.00	0.2497	1.849	2.811	27.20		

PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ

FECHA ENSAYO: 2012-07-23

SONDEO: **UNICO** MUESTRA: **4** PROFUNDIDAD: **11,00 - 11,50** m

OBSERVACIONES: -



ENSAYO REALIZADO EN SUELOS Y PAVIMENTOS GREGORIO ROJAS & CIA LTDA		ENSAYO UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS NTC-1967:2000			Página 1 de 5				
ENSAYO CON LIR = 1.0 T=t100 y REBOTE INTERMEDIO									
PROYECTO: PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ				FECHA ENSAYO: 2012-07-23					
SONDEO: UNICO MUESTRA: 5 PROFUNDIDAD: 17,50 - 18,00 m									
DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris verdoso.									
OBSERVACIONES: -									
Consolidación: Rápida (B) - Lenta (A) X		Ensayo realizado a: Humedad natural - Saturado X		Tipo de muestra: Inalterada X Compactada -					
Banco número 1 Celda número 2G		Peso de la celda + muestra inicial 606.2 g Peso de la celda + muestra final 590.7 g		CONTENIDO DE HUMEDAD					
Diámetro de la muestra 6.44 cm Altura de la muestra 2.52 cm		Peso de la celda 494.3 g Peso del bloque + piedra porosa 426.9 g		Recipiente		INICIAL FINAL			
Área de la muestra 32.57 cm ² Volumen de la muestra 82.08 cm ³		Peso unitario total 1.363 g/cm ³ Peso unitario seco 0.595 g/cm ³		P ₁ (g)		150.5 136.0			
Relación de brazo 7.697		Peso específico 2.676 Grado de saturación inicial 98.8 %		P ₂ (g)		88.8 89.5			
				P ₃ (g)		41.0 39.4			
				Humedad		129.1% 92.8%			
FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO	FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg			min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg
2012-07-23	15:05		0	0.0					
2012-07-24	07:10		64	0.5					
2012-07-24	07:10	0 4" 15" 34" 100" 134" 2'15" 3'04" 4'00" 6'15" 9'00" 12'15" 16'00" 25'00" 36'00" 49'00" 64'00" 8'100" 10'00"	64 72 75 78 80 83 85 88 90 95 100 103 108 114 120 124 127 129 132	10	2012-07-24	09:15	0 4" 15" 34" 100" 134" 2'15" 3'04" 4'00" 6'15" 9'00" 12'15" 16'00" 25'00" 36'00" 49'00" 64'00" 8'100" 10'00"	133.5 152 160 166 172 179 185 191 196 207 218 227 236 252 266 276 284 291 296	2.0
2012-07-24	09:15	125'00"	133.5	10	2012-07-24	10:55	100'00"	296	2.0
P ₁ = Peso del recipiente mas muestra húmeda			P ₂ = Peso del recipiente mas muestra seca			P ₃ = Peso del recipiente			

PROYECTO: PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TIPICA DE BOGOTÁ FECHA ENSAYO: 2012-07-23

SONDEO: **UNICO** MUESTRA: **5** PROFUNDIDAD: **17,50 - 18,00** m

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris verdoso.

OBSERVACIONES: -

FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg
2012-07-24	10:55	0	296	4.0
		4"	321	
		6"	333	
		34"	344	
		100"	356	
		134"	366	
		2' 6"	377	
		3'04"	388	
		4'00"	398	
		6' 6"	418.5	
		9'00"	437.5	
		12' 6"	457	
		16'00"	475	
		25'00"	510	
		36'00"	540	
		49'00"	565	
2012-07-24	13:05	100'00"	612	4.0
		130'00"	627	
2012-07-24	18:30		563	2.0
2012-07-25	07:40		480	10

FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg
2012-07-25	07:40	0	480	2.0
		4"	485	
		6"	488	
		34"	490	
		100"	492	
		134"	494	
		2' 6"	496	
		3'04"	498	
		4'00"	499.5	
		6' 6"	503	
		9'00"	506	
		12' 6"	508.5	
		16'00"	510.7	
2012-07-25	09:20	25'00"	513	2.0
		36'00"	515	
		49'00"	516	
		64'00"	517	
		81'00"	518	
		100'00"	519	

PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TIPICA DE BOGOTÁ

SONDEO: **UNICO** MUESTRA: **5** PROFUNDIDAD: **17,50 - 18,00 m**

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris verdoso.

OBSERVACIONES: UNICO

FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM. *10 ⁻⁴ plg	CARGA EN BRAZO kg
		min. seg.		
2012-07-25	09:20	0	519	4.0
		4"	530	
		6"	534	
		34"	539	
		100"	545	
		134"	550	
		2' 5"	556	
		3'04"	562	
		4'00"	567	
		6' 5"	579	
		9'00"	589.7	
		12' 5"	600	
		16'00"	610	
		25'00"	628	
		36'00"	641	
49'00"	651			
64'00"	661			
81'00"	666			
2012-07-25	11:00	100'00"	673	4.0

FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM. *10 ⁻⁴ plg	CARGA EN BRAZO kg
		min. seg.		
2012-07-25	11:00	0	673	8.0
		4"	706	
		6"	721	
		34"	738	
		100"	756	
		134"	774.5	
		2' 5"	794	
		3'04"	814	
		4'00"	833	
		6' 5"	872	
		9'00"	912	
		12' 5"	950	
		16'00"	988	
		25'00"	1064	
		36'00"	1130	
49'00"	1204			
64'00"	1268			
81'00"	1325			
100'00"	1377			
2012-07-25	13:01	12'100"	1424	8.0
2012-07-25	15:16	256'00"	1575	8.0
2012-07-25	18:00	420'00"	1648	8.0

PROYECTO: PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TIPICA DE BOGOTÁ FECHA ENSAYO: 2012-07-23

SONDEO: UNICO MUESTRA: 5 PROFUNDIDAD: 17,50 - 18,00 m

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris verdoso.

OBSERVACIONES: -

FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO	FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg			min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg
2012-07-26	08:27	0	1648	16.0	2012-07-27	07:10		2530	8.0
		4"	1686					2589	4.0
		5"	1703					2475	2.0
		34"	1722					2218	10
		100"	1745						
		134"	1768						
		2' 5"	1792						
		3'04"	1817						
		4'00"	1841						
		6' 5"	1890.5						
		9'00"	1936.5						
		12' 5"	1985						
		16'00"	2034						
		25'00"	2127						
36'00"	2220								
49'00"	2305								
64'00"	2386								
81'00"	2460								
10'00"	2520								
2012-07-26	10:28	12'100"	2581	16.0					
2012-07-26	14:17	35'000"	2803	16.0					
2012-07-26	15:37	43'000"	2828	16.0					

LECTURA DEFORMACIÓN	CARGA EN BRAZO	ESFUERZO	ALTURA	RELACIÓN DE VACÍOS	DH/H
*10 ⁻⁴ in	Kg	Kgf/cm ²	cm		%
0	0.00	0.0131	2.520	3.497	0.00
64	0.50	0.1313	2.504	3.468	0.65
134	1.00	0.2494	2.486	3.436	1.35
296	2.00	0.4857	2.445	3.363	2.98
627	4.00	0.9583	2.361	3.213	6.32
563	2.00	0.4857	2.377	3.242	5.67
480	1.00	0.2494	2.398	3.279	4.84
519	2.00	0.4857	2.388	3.262	5.23
673	4.00	0.9583	2.349	3.192	6.78
1648	8.00	1.9035	2.101	2.750	16.61
2828	16.00	3.7939	1.802	2.215	28.50
2730	8.00	1.9035	1.827	2.259	27.52
2589	4.00	0.9583	1.862	2.323	26.10
2405	2.00	0.4857	1.909	2.407	24.24
2218	1.00	0.2494	1.957	2.492	22.36

PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ

FECHA ENSAYO: 2012-07-23

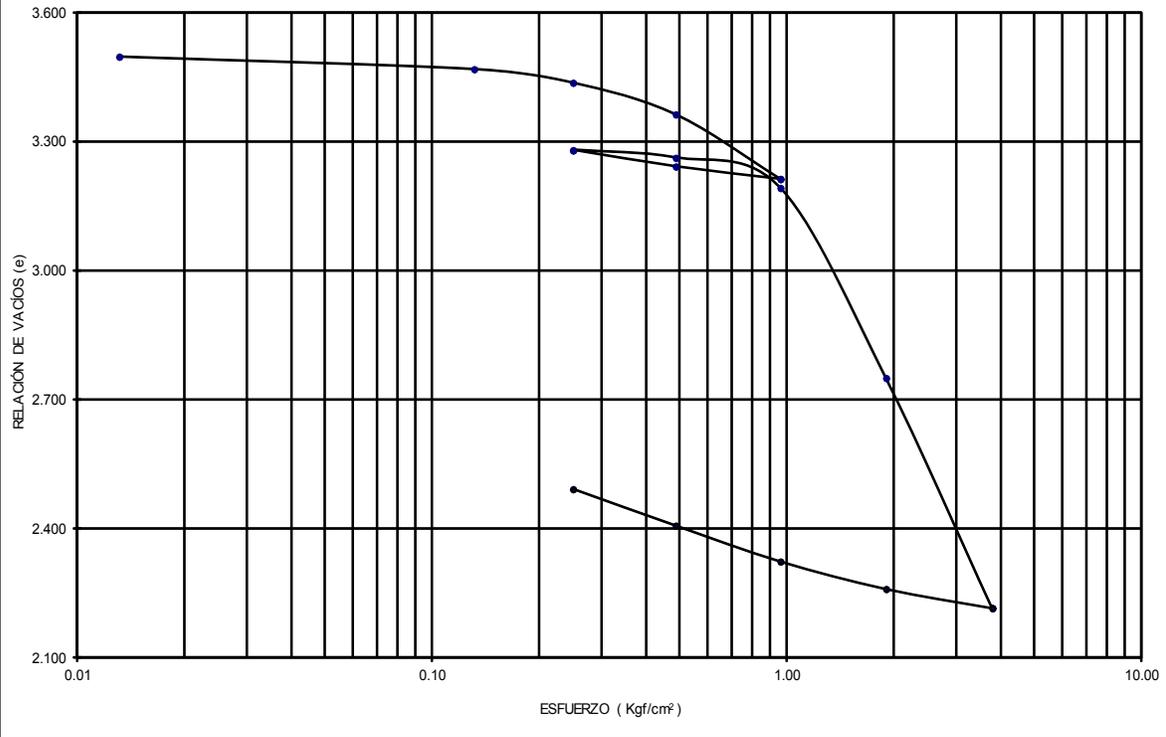
SONDEO: UNICO

MUESTRA: 5

PROFUNDIDAD: 17,50 - 18,00 m

OBSERVACIONES: -

GRAFICO ESFUERZO NORMAL VS RELACIÓN DE VACÍOS



LABORATORIO DE GEOTECNÍA	CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS NTC 1967-00, INV E- 153	Página 1 de 6							
ENSAYO CON LIR = 1.0 T=t₁₀₀ y REBOTE INTERMEDIO									
PROYECTO: PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ		FECHA ENSAYO: 2012-07-28							
SONDEO: ÚNICA	MUESTRA: 6	PROFUNDIDAD: 27,00 - 27,50 m							
DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris verdoso									
OBSERVACIONES: -									
Consolidación: Rápida (B) <input checked="" type="checkbox"/> X		Ensayo realizado a: Humedad natural <input type="checkbox"/> -							
Lenta (A) <input type="checkbox"/> -		Saturado <input checked="" type="checkbox"/> X							
		Tipo de muestra: Inalterada <input checked="" type="checkbox"/> X							
		Compactada <input type="checkbox"/> -							
Banco número	2	Peso de la celda + muestra inicial	568.8 g	CONTENIDO DE HUMEDAD					
Celda número	5G	Peso de la celda + muestra final	549.1 g		INICIAL	FINAL			
Diámetro de la muestra	6.45 cm	Peso de la celda	460.7 g	Recipiente	138	10T			
Altura de la muestra	2.52 cm	Peso del bloque + piedra porosa	427.6 g	P ₁ (g)	176.8	126.6			
Área de la muestra	32.67 cm ²	Peso unitario total	1.313 g/cm ³	P ₂ (g)	86.0	83.7			
Volumen de la muestra	82.34 cm ³	Peso unitario seco	0.543 g/cm ³	P ₃ (g)	21.9	40.1			
Relación de brazo	7.846	Peso específico	2.65	Humedad	141.7%	98.4%			
		Grado de saturación inicial	96.8 %						
FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO	FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg			min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg
2012-07-23	16:00		0	0.0					
2012-07-24	07:12		49	0,5					
2012-07-24	07:12	0	49	10	2012-07-24	09:17	0	86	2.0
		4"	55				4"	99	
		6"	57				6"	104	
		34"	59				34"	109	
		100"	61				100"	113	
		134"	63				134"	117	
		2' 15"	64				2' 15"	120	
		3'04"	65				3'04"	123.5	
		4'00"	67				4'00"	126.5	
		6' 15"	70				6' 15"	132.5	
		9'00"	73				9'00"	137.5	
		12' 15"	75				12' 15"	143	
		16'00"	77				16'00"	147.5	
		25'00"	79				25'00"	157	
36'00"	80.5		36'00"	166					
49'00"	81.5		49'00"	171					
64'00"	83		64'00"	174					
81'00"	84		81'00"	176					
100'00"	85		100'00"	180					
2012-07-24	09:17	125'00"	86	10	2012-07-24	10:57	100'00"	180	2.0
P ₁ = Peso del recipiente mas muestra húmeda			P ₂ = Peso del recipiente mas muestra seca			P ₃ = Peso del recipiente			
Ensayo realizado en las instalaciones del laboratorio SUELOS Y PAVIMENTOS GREGORIO ROJAS & CIA LTDA									

PROYECTO: PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOT. FECHA ENSAYO: 2012-07-28

SONDEO: ÚNICA MUESTRA: 6 PROFUNDIDAD: 27,00 - 27,50 m

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris verdoso

OBSERVACIONES: -

FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg
2012-07-24	10:57	0	180	4.0
		4"	202	
		15"	211	
		34"	219	
		100"	225	
		134"	235	
		2'15"	242	
		3'04"	249	
		4'00"	254	
		6'15"	266	
		9'00"	277	
		12'15"	289	
		16'00"	298	
		25'00"	318	
		36'00"	330	
2012-07-24	12:56	49'00"	338	
		64'00"	349	
		81'00"	358	
		100'00"	360	
		121'00"	364	

FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg
2012-07-24	12:56	0	364	8.0
		4"	394	
		15"	408	
		34"	421	
		100"	435	
		134"	448	
		2'15"	461	
		3'04"	474	
		4'00"	489	
		6'15"	513	
		9'00"	538	
		12'15"	562	
		16'00"	584	
		25'00"	630	
		36'00"	690	
2012-07-24	16:17	49'00"	716	
		64'00"	752	
		81'00"	780	
		100'00"	810	
		201'00"	841	
2012-07-24	18:30		751	4.0
2012-07-25	07:05		621	2.0
2012-07-25	11:02		538	1.0

PROYECTO: PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ FECHA ENSAYO: 2012-07-28

SONDEO: ÚNICA MUESTRA: 6 PROFUNDIDAD: 27,00 - 27,50 m

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris verdoso

OBSERVACIONES: ÚNICA

FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10^-4 plg	kg
2012-07-25	11:02	0	538	2.0
		4"	542	
		15"	544	
		34"	546	
		100"	548	
		134"	549	
		2' 15"	551	
		3' 04"	552	
		4' 00"	554	
		6' 15"	557	
		9' 00"	559	
		12' 15"	561	
		16' 00"	563	
		25' 00"	566	
2012-07-25	11:38	36' 00"	568	2.0

FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10^-4 plg	kg
2012-07-25	11:38	0	568	4.0
		4"	576	
		15"	580	
		34"	584	
		100"	588	
		134"	592	
		2' 15"	596	
		3' 04"	600	
		4' 00"	604.5	
		6' 15"	611	
		9' 00"	618	
		12' 15"	625	
		16' 00"	631	
		25' 00"	641	
2012-07-25	12:27	36' 00"	649	4.0
		49' 00"	654	

LABORATORIO DE GEOTECNÍA	CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS NTC 1967-00, INV E- 153	Página 4 de 6
---------------------------------	---	---------------

PROYECTO: PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ **FECHA ENSAYO:** 2012-07-28

SONDEO: ÚNICA **MUESTRA:** 6 **PROFUNDIDAD:** 27,00 - 27,50 m

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris verdoso

OBSERVACIONES: ÚNICA

FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg
2012-07-25	12:27	0	654	8.0
		4"	670	
		8"	679	
		12"	687	
		16"	695	
		20"	705	
		24"	712	
		28"	721	
		32"	729	
		36"	746	
		40"	764	
		44"	780	
		48"	797	
		52"	829	
		56"	856	
		60"	879	
2012-07-25	14:30	64"00"	899	8.0
		68"00"	916	
		72"00"	933	
		76"00"	950	
		80"00"	950	

FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg
2012-07-25	00:00	0	950	16.0
		4"	988	
		8"	1004	
		12"	1024	
		16"	1044	
		20"	1067	
		24"	1089	
		28"	1113	
		32"	1135	
		36"	1182	
		40"	1232	
		44"	1283	
		48"	1333	
		52"	1430	
		56"	1528	
		60"	1624	
2012-07-25	17:55	64"00"	1733	16.0
		68"00"	1805	
		72"00"	1893	
		76"00"	2142	
		80"00"	2142	

LABORATORIO DE GEOTECNÍA					CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS NTC 1967-00, INV E- 153					Página 5 de 6				
PROYECTO: PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ					FECHA ENSAYO: 2012-07-28									
SONDEO: ÚNICA					MUESTRA: 6					PROFUNDIDAD: 27,00 - 27,50 m				
DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris verdoso														
FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO	FECHA	TIEMPO	INTERVALO DE TIEMPO	DEFORM.	CARGA EN BRAZO					
		min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg			min. seg.	*10 ⁻⁴ plg	kg					
2012-07-26	08:29	0	242	32.0	2012-07-27	07:05		3474	16.0					
		4"	298		2012-07-27	09:40		3326	8.0					
		15"	2256		2012-07-27	13:30		3093	4.0					
		34"	2300		2012-07-27	17:05		2820	2.0					
		100"	2340		2012-07-28	07:50		2574	10					
		134"	2367.5											
		2' 15"	2389											
		3'04"	2413											
		4'00"	24315											
		6' 15"	2484											
		9'00"	2530.5											
		12' 15"	2584											
		16'00"	2628											
		25'00"	2736											
		36'00"	2828											
		49'00"	2924											
		64'00"	3020											
		81'00"	3109											
		100'00"	3156											
2012-07-26	10:30	12'00"	3264											
2012-07-26	14:19	350'00"	3554											
2012-07-26	15:39	430'00"	3588	32.0										
		LECTURA DEFORMACIÓN	CARGA EN BRAZO	ESFUERZO	ALTURA	RELACIÓN DE VACÍOS	DH/H							
		*10 ⁻⁴ in	Kg	Kgf/cm ²	cm		%							
		0	0.00	0.0131	2.520	3.878	0.00							
		49	0.50	0.1331	2.508	3.854	0.49							
		86	1.00	0.2532	2.498	3.836	0.87							
		180	2.00	0.4933	2.474	3.789	1.81							
		364	4.00	0.9736	2.428	3.699	3.67							
		841	8.00	1.9341	2.306	3.464	8.48							
		751	4.00	0.9736	2.329	3.509	7.57							
		621	2.00	0.4933	2.362	3.572	6.26							
		538	1.00	0.2532	2.383	3.613	5.42							
		568	2.00	0.4933	2.376	3.599	5.73							
		654	4.00	0.9736	2.354	3.556	6.59							
		950	8.00	1.9341	2.279	3.411	9.58							
		242	16.00	3.8551	1.976	2.825	21.59							
		3588	32.00	7.6971	1.609	2.114	36.16							
		3474	16.00	3.8551	1.638	2.170	35.02							
		3326	8.00	1.9341	1.675	2.243	33.52							
		3093	4.00	0.9736	1.734	2.357	31.18							
		2820	2.00	0.4933	1.804	2.491	28.42							
		2574	1.00	0.2532	1.866	2.612	25.94							

PROYECTO: PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ

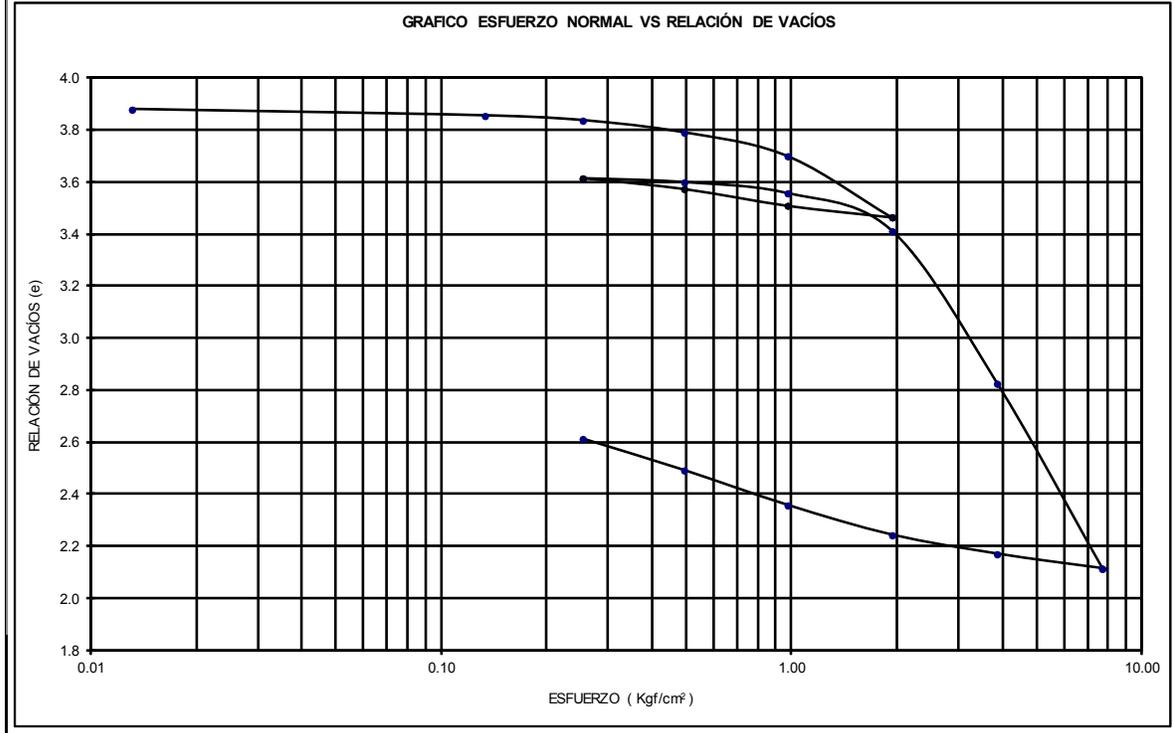
FECHA ENSAYO: 2012-07-28

SONDEO: ÚNICA

MUESTRA: 6

PROFUNDIDAD: 27,00 - 27,50 m

OBSERVACIONES: -



ANEXO 4

Resultados ensayos de consolidación con LIR=0.5 en las proximidades de σ'_p y $t_f=t_{100}$

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS (NTC-1967:2000)	REALIZADO EN SUELOS Y PAVIMENTOS GREGORIO ROJAS & Cia LTDA
---	---

ENSAYO CON INCREMENTOS DE CARGA LIR=0.5 CUANDO T=t₁₀₀

PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ FECHA ENSAYO: 2012-07-14

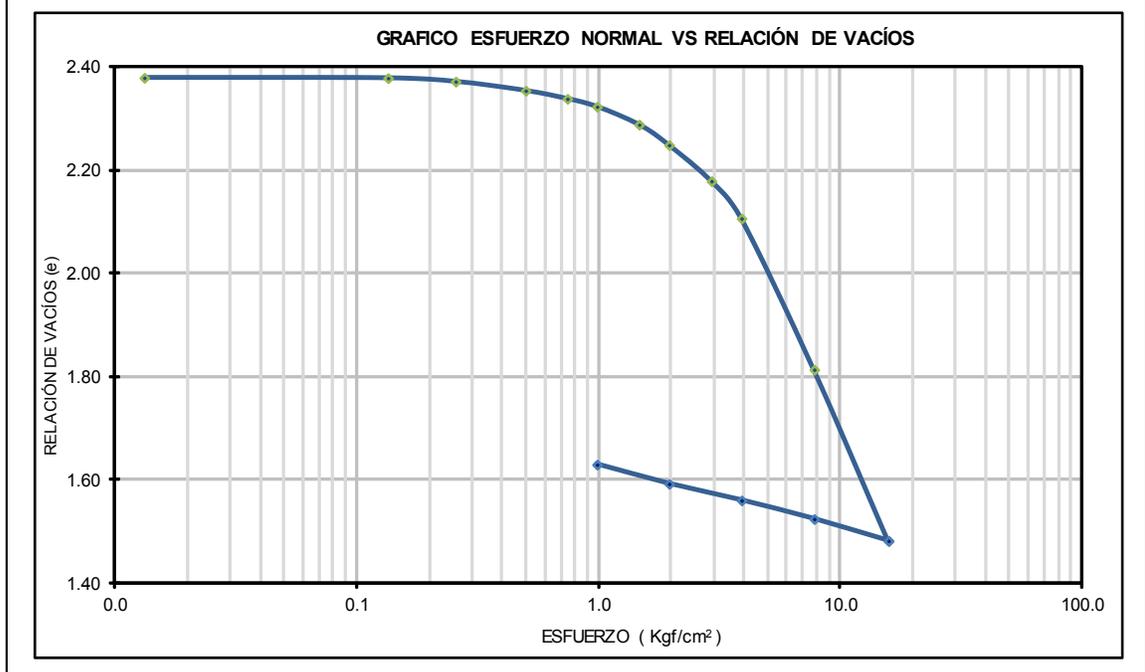
SONDEO: **UNICO** MUESTRA: **1** PROFUNDIDAD: **2,50 - 3,00** m

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris, con oxidaciones.

Consolidación: Rápida (B) Lenta (A) Ensayo realizado a: Humedad natural Saturado Tipo de muestra: Inalterada Compactada

Banco número <u>2</u>	Peso de la celda + muestra inicial <u>598.2</u> g	CONTENIDO DE HUMEDAD	
Celda número <u>6G</u>	Peso de la celda + muestra final <u>581.8</u> g		
Diámetro de la muestra <u>6.44</u> cm	Peso de la celda <u>476.4</u> g	INICIAL	FINAL
Altura de la muestra <u>2.58</u> cm	Peso del bloque + piedra porosa <u>430.9</u> g	120	7T
Área de la muestra <u>32.60</u> cm ²	Peso unitario total <u>1.451</u> g/cm ³	P ₁ (g)	103.6
Volumen de la muestra <u>83.95</u> cm ³	Peso unitario seco <u>0.794</u> g/cm ³	P ₂ (g)	65.2
Relación de brazo <u>7.920</u>	Peso específico <u>2.682</u>	P ₃ (g)	18.8
	Grado de saturación inicial <u>93.3</u> %	Humedad	82.8%
			63.0%

LECTURA DEFORMACIÓN	CARGA EN BRAZO	ESFUERZO	ALTURA	RELACIÓN DE VACÍOS	DH/H
*10 ⁻⁴ in	Kg	Kgf/cm ²	cm		%
0	0.0	0.01	2.58	2.38	0.00
2	0.5	0.13	2.57	2.38	0.02
22	1.0	0.26	2.57	2.37	0.22
75	2.0	0.50	2.56	2.35	0.74
122	3.0	0.74	2.54	2.34	1.20
168	4.0	0.98	2.53	2.32	1.66
272	6.0	1.47	2.51	2.29	2.68
391	8.0	1.96	2.48	2.25	3.86
600	12.0	2.93	2.42	2.18	5.92
817	16.0	3.90	2.37	2.11	8.06
1695	32.0	7.79	2.14	1.81	16.72
2689	65.0	15.80	1.89	1.48	26.52
2562	32.0	7.79	1.92	1.52	25.27
2454	16.0	3.90	1.95	1.56	24.21
2358	8.0	1.96	1.98	1.59	23.26
2246	4.0	0.98	2.00	1.63	22.15



ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS (NTC-1967:2000)	REALIZADO EN SUELOS Y PAVIMENTOS GREGORIO ROJAS & Cía LTDA
---	---

ENSAYO CON INCREMENTOS DE CARGA LIR=0.5 CUANDO T=t₁₀₀

PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ FECHA ENSAYO: 2012-07-14

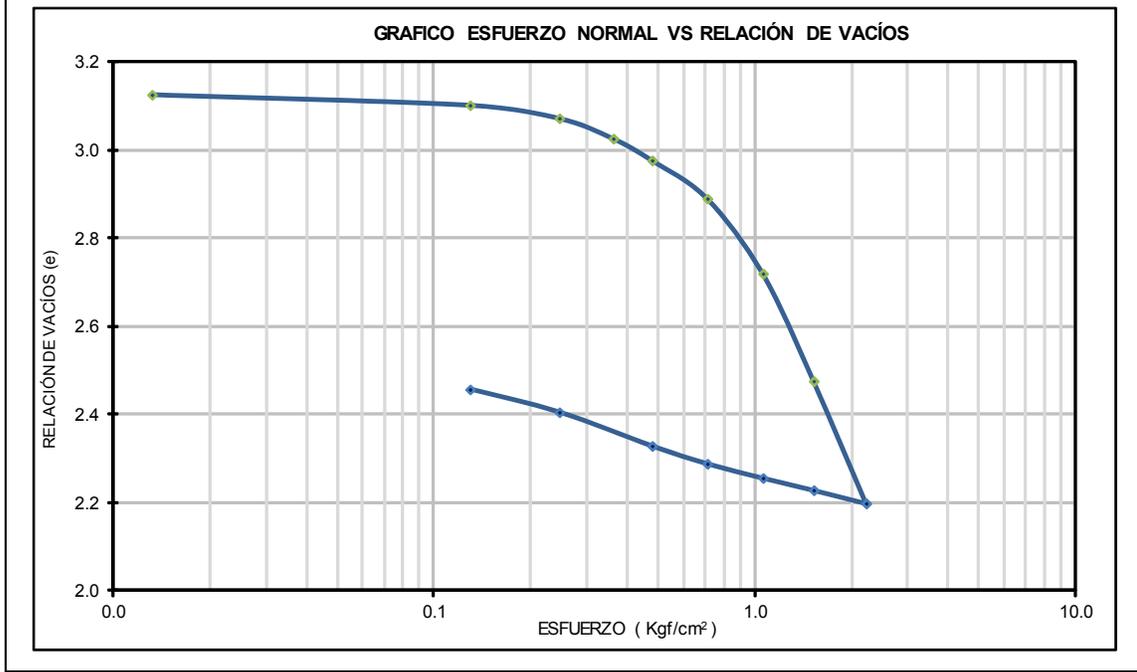
SONDEO: **UNICO** MUESTRA: **2** PROFUNDIDAD: **5.0-5.5** m

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris.

Consolidación: Rápida (B) Lenta (A) Ensayo realizado a: Humedad natural Saturado Tipo de muestra: Inalterada Compactada

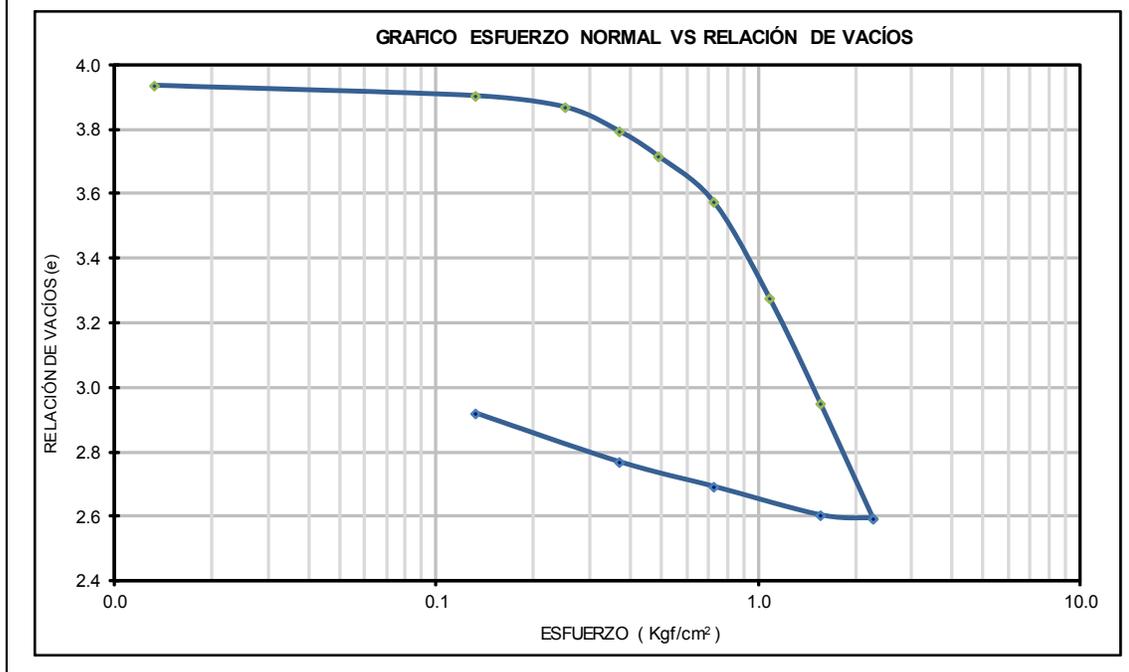
Banco número	1	Peso de la celda + muestra inicial	616.0 g	CONTENIDO DE HUMEDAD		
Celda número	1G	Peso de la celda + muestra final	603.4 g		INICIAL	FINAL
Diámetro de la muestra	6.44 cm	Peso de la celda	499.1 g	Recipiente	B45	10T
Altura de la muestra	2.55 cm	Peso del bloque + piedra porosa	429.3 g	P ₁ (g)	156.1	142.9
Área de la muestra	32.55 cm ²	Peso unitario total	1.408 g/cm ³	P ₂ (g)	93.9	93.8
Volumen de la muestra	83.01 cm ³	Peso unitario seco	0.669 g/cm ³	P ₃ (g)	37.6	38.5
Relación de brazo	7.558	Peso específico	2.760	Humedad	110.5%	88.8%
		Grado de saturación inicial	97.6 %			

LECTURA DEFORMACIÓN	CARGA EN BRAZO	ESFUERZO	ALTURA	RELACIÓN DE VACÍOS	DH/H
*10 ⁻⁴ in	Kg	Kgf/cm ²	cm		%
0	0.0	0.01	2.55	3.13	0.00
58	0.5	0.13	2.54	3.10	0.58
130	1.0	0.25	2.52	3.07	1.29
242	1.5	0.36	2.49	3.03	2.41
363	2.0	0.48	2.46	2.98	3.61
573	3.0	0.71	2.40	2.89	5.71
987	4.5	1.06	2.30	2.72	9.83
1580	6.5	1.52	2.15	2.48	15.74
2255	9.5	2.22	1.98	2.20	22.46
2182	6.5	1.52	2.00	2.23	21.73
2115	4.5	1.06	2.01	2.26	21.07
2036	3.0	0.71	2.03	2.29	20.28
1938	2.0	0.48	2.06	2.33	19.30
1752	1.0	0.25	2.10	2.41	17.45
1626	0.5	0.13	2.14	2.46	16.20



ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS (NTC-1967:2000)				REALIZADO EN SUELOS Y PAVIMENTOS GREGORIO ROJAS & Cía LTDA	
ENSAYO CON INCREMENTOS DE CARGA LIR=0.5 CUANDO T=t ₁₀₀					
PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ				FECHA ENSAYO: 2012-07-29	
SONDEO: UNICO		MUESTRA: 3		PROFUNDIDAD: 7.0-7.5 m	
DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris.					
Consolidación: Rápida (B) <input checked="" type="checkbox"/>		Ensayo realizado a: Humedad natural <input type="checkbox"/>		Tipo de muestra: Inalterada <input checked="" type="checkbox"/>	
Lenta (A) <input type="checkbox"/>		Saturado <input checked="" type="checkbox"/>		Compactada <input type="checkbox"/>	
Banco número <u>1</u>		Peso de la celda + muestra inicial <u>601.8</u> g		CONTENIDO DE HUMEDAD	
Celda número <u>3G</u>		Peso de la celda + muestra final <u>586.0</u> g		INICIAL	
Diámetro de la muestra <u>6.44</u> cm		Peso de la celda <u>493.2</u> g		FINAL	
Altura de la muestra <u>2.51</u> cm		Peso del bloque + piedra porosa <u>430.9</u> g		Recipiente	B24 4T
Área de la muestra <u>32.57</u> cm ²		Peso unitario total <u>1.328</u> g/cm ³		P ₁ (g)	140.6 132.1
Volumen de la muestra <u>81.76</u> cm ³		Peso unitario seco <u>0.548</u> g/cm ³		P ₂ (g)	78.1 84.4
Relación de brazo <u>7.706</u>		Peso específico <u>2.706</u>		P ₃ (g)	34.1 39.4
		Grado de saturación inicial <u>97.8</u> %		Humedad	142.3% 106.0%

LECTURA DEFORMACIÓN	CARGA EN BRAZO	ESFUERZO	ALTURA	RELACIÓN DE VACÍOS	DH/H
*10 ⁻⁴ in	Kg	Kgf/cm ²	cm		%
0	0.00	0.01	2.51	3.94	0.00
64	0.50	0.13	2.49	3.90	0.65
134	1.00	0.25	2.48	3.87	1.36
284	1.50	0.37	2.44	3.79	2.87
439	2.00	0.49	2.40	3.72	4.44
722	3.00	0.72	2.33	3.58	7.31
1320	4.50	1.08	2.17	3.28	13.36
1974	6.50	1.55	2.01	2.95	19.98
2688	9.50	2.26	1.83	2.59	27.20
2667	6.50	1.55	1.83	2.60	26.99
2490	3.00	0.72	1.88	2.69	25.20
2337	1.50	0.37	1.92	2.77	23.65
2035	0.50	0.13	1.99	2.92	20.59



ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS (NTC-1967:2000)	REALIZADO EN SUELOS Y PAVIMENTOS GREGORIO ROJAS & Cia LTDA
--	---

ENSAYO CON INCREMENTOS DE CARGA LIR=0.5 CUANDO T=t₁₀₀

PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ FECHA ENSAYO: 2012-07-29

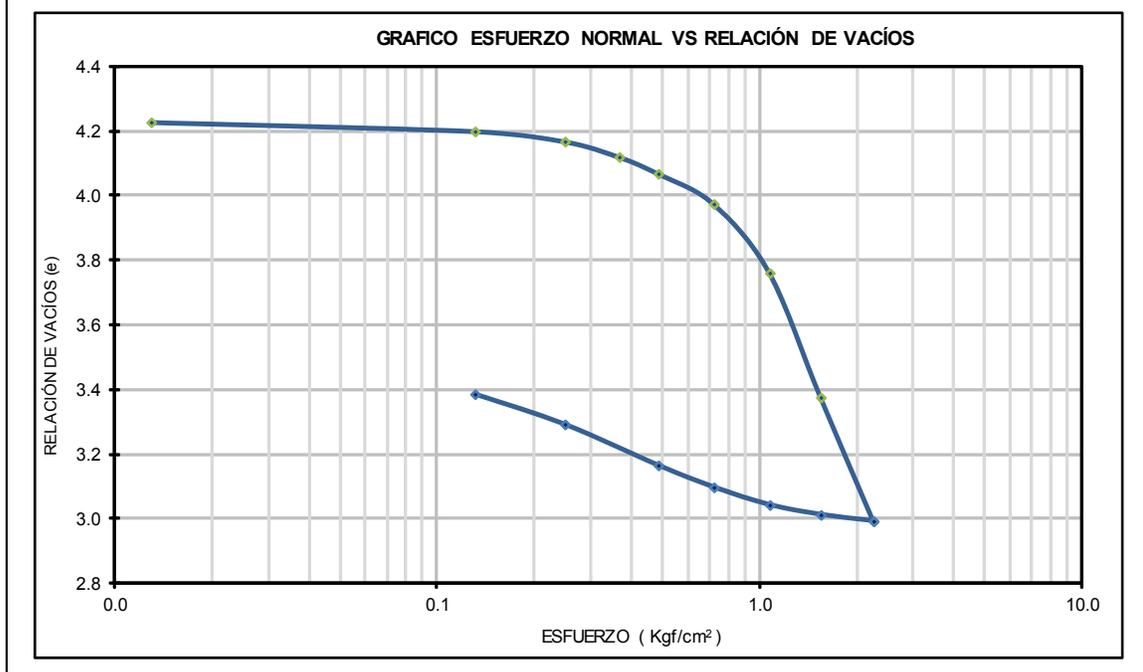
SONDEO: **UNICO** MUESTRA: **4** PROFUNDIDAD: **11.0-11.5** m

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris verdoso.

Consolidación: Rápida (B) X Ensayo realizado a: Humedad natural - Tipo de muestra: Inalterada X
Lenta (A) Saturado X Compactada -

Banco número <u> 1 </u>	Peso de la celda + muestra inicial <u> 604.6 </u> g	CONTENIDO DE HUMEDAD	
Celda número <u> 4G </u>	Peso de la celda + muestra final <u> 589.5 </u> g		
Diámetro de la muestra <u> 6.44 </u> cm	Peso de la celda <u> 496.4 </u> g	INICIAL	FINAL
Altura de la muestra <u> 2.54 </u> cm	Peso del bloque + piedra porosa <u> 421.8 </u> g	Recipiente	26T 11T
Área de la muestra <u> 32.57 </u> cm ²	Peso unitario total <u> 1.308 </u> g/cm ³	P ₁ (g)	153.5 134.7
Volumen de la muestra <u> 82.74 </u> cm ³	Peso unitario seco <u> 0.515 </u> g/cm ³	P ₂ (g)	83.2 82.1
Relación de brazo <u> 7.679 </u>	Peso específico <u> 2.690 </u>	P ₃ (g)	37.6 41.8
	Grado de saturación inicial <u> 98.1 </u> %	Humedad	154.2% 130.5%

LECTURA DEFORMACIÓN	CARGA EN BRAZO	ESFUERZO	ALTURA	RELACIÓN DE VACÍOS	DH/H
*10 ⁻⁴ in	Kg	Kgf/cm ²	cm		%
0	0.00	0.01	2.54	4.23	0.00
54	0.50	0.13	2.53	4.20	0.54
114	1.00	0.25	2.51	4.17	1.14
206	1.50	0.37	2.49	4.12	2.06
305	2.00	0.48	2.46	4.07	3.05
484	3.00	0.72	2.42	3.98	4.84
893	4.50	1.07	2.31	3.76	8.93
1630	6.50	1.55	2.13	3.38	16.30
2363	9.50	2.25	1.94	2.99	23.63
2325	6.50	1.55	1.95	3.01	23.25
2267	4.50	1.07	1.96	3.04	22.67
2162	3.00	0.72	1.99	3.10	21.62
2032	2.00	0.48	2.02	3.17	20.32
1789	1.00	0.25	2.09	3.29	17.89
1610	0.50	0.13	2.13	3.39	16.10



ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS (NTC-1967:2000)	REALIZADO EN SUELOS Y PAVIMENTOS GREGORIO ROJAS & Cia LTDA
---	---

ENSAYO CON INCREMENTOS DE CARGA LIR=0.5 CUANDO T=t₁₀₀

PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ	FECHA ENSAYO: 2012-08-03
---	--------------------------

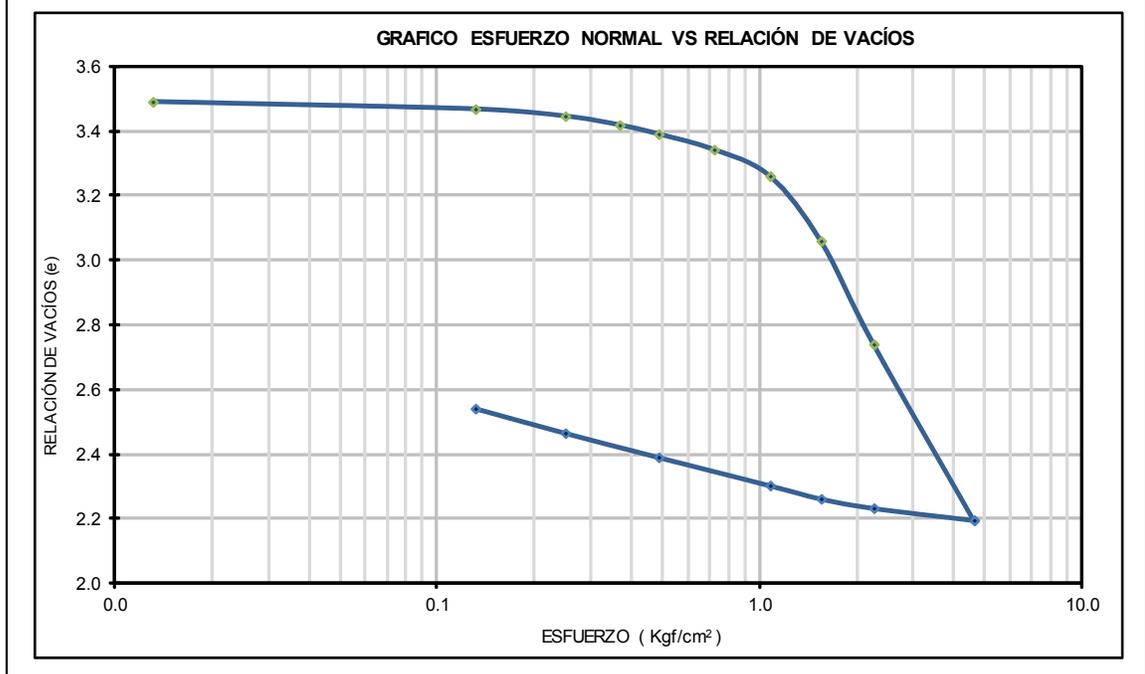
SONDEO: UNICO	MUESTRA: 5	PROFUNDIDAD: 17.0-17.5 m
----------------------	-------------------	---------------------------------

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris verdoso

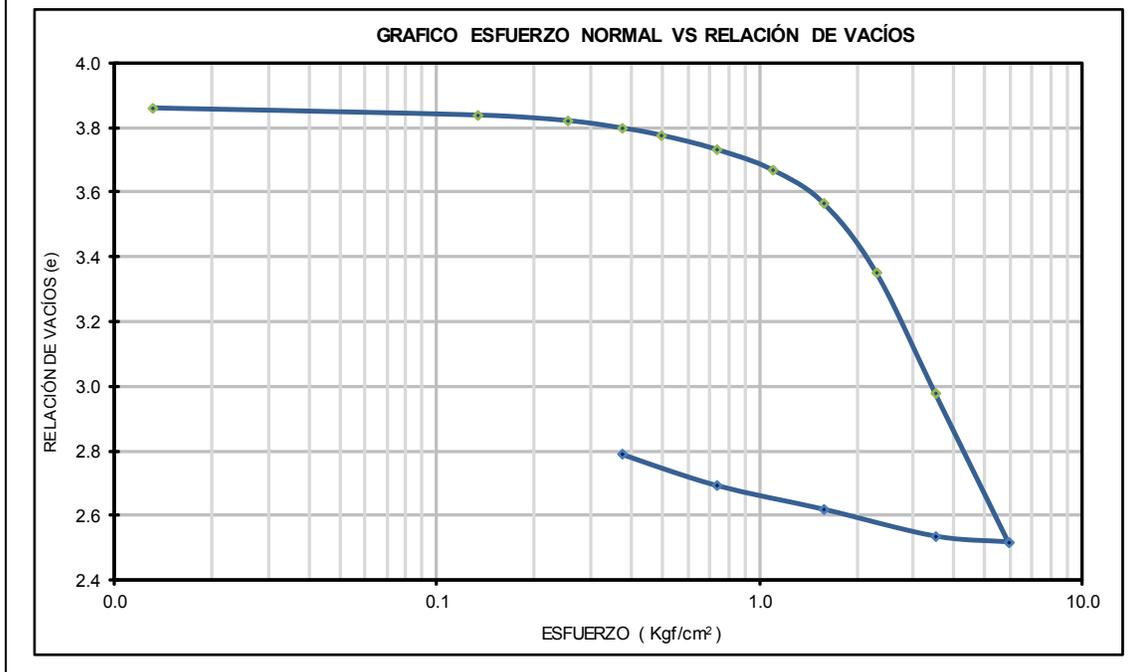
Consolidación: Rápida (B) <input checked="" type="checkbox"/>	Ensayo realizado a: Humedad natural <input type="checkbox"/>	Tipo de muestra: Inalterada <input checked="" type="checkbox"/>
Lenta (A) <input type="checkbox"/>	Saturado <input checked="" type="checkbox"/>	Compactada <input type="checkbox"/>

Banco número <u>1</u>	Peso de la celda + muestra inicial <u>606.2</u> g	CONTENIDO DE HUMEDAD	
Celda número <u>2G</u>	Peso de la celda + muestra final <u>590.7</u> g		
Diámetro de la muestra <u>6.44</u> cm	Peso de la celda <u>494.3</u> g	Recipiente	INICIAL FINAL
Altura de la muestra <u>2.52</u> cm	Peso del bloque + piedra porosa <u>426.9</u> g	P ₁ (g)	20T 7T
Área de la muestra <u>32.57</u> cm ²	Peso unitario total <u>1.363</u> g/cm ³	P ₂ (g)	142.9 140.4
Volumen de la muestra <u>82.08</u> cm ³	Peso unitario seco <u>0.596</u> g/cm ³	P ₃ (g)	85.2 95.2
Relación de brazo <u>7.697</u>	Peso específico <u>2.676</u>	Humedad	40.4 37.0
	Grado de saturación inicial <u>98.7</u> %		128.8% 77.7%

LECTURA DEFORMACIÓN	CARGA EN BRAZO	ESFUERZO	ALTURA	RELACIÓN DE VACÍOS	DH/H
*10 ⁻⁴ in	Kg	Kgf/cm ²	cm		%
0	0.00	0.01	2.52	3.49	0.00
50	0.50	0.13	2.51	3.47	0.50
98	1.00	0.25	2.50	3.45	0.99
159	1.50	0.37	2.48	3.42	1.60
221	2.00	0.49	2.46	3.39	2.23
327	3.00	0.72	2.44	3.34	3.30
508	4.50	1.08	2.39	3.26	5.12
952	6.50	1.55	2.28	3.06	9.60
1658	9.50	2.26	2.10	2.74	16.71
2862	19.50	4.62	1.79	2.20	28.85
2779	9.50	2.26	1.81	2.23	28.01
2715	6.50	1.55	1.83	2.26	27.37
2624	4.50	1.08	1.85	2.30	26.45
2431	2.00	0.49	1.90	2.39	24.50
2266	1.00	0.25	1.94	2.47	22.84
2098	0.50	0.13	1.99	2.54	21.15



ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS (NTC-1967:2000)				REALIZADO EN SUELOS Y PAVIMENTOS GREGORIO ROJAS & Cia LTDA	
ENSAYO CON INCREMENTOS DE CARGA LIR=0.5 CUANDO T=t ₁₀₀					
PROPIEDADES DE CONSOLIDACIÓN ARCILLA TÍPICA DE BOGOTÁ				FECHA ENSAYO: 2012-07-28	
SONDEO: UNICO		MUESTRA: 6		PROFUNDIDAD: 27.0-27.5 m	
DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris verdoso					
Consolidación: Rápida (B) <input checked="" type="checkbox"/>		Ensayo realizado a: Humedad natural <input type="checkbox"/>		Tipo de muestra: Inalterada <input checked="" type="checkbox"/>	
Lenta (A) <input type="checkbox"/>		Saturado <input checked="" type="checkbox"/>		Compactada <input type="checkbox"/>	
Banco número <u>2</u>		Peso de la celda + muestra inicial <u>569.2</u> g		CONTENIDO DE HUMEDAD	
Celda número <u>5G</u>		Peso de la celda + muestra final <u>552.0</u> g		INICIAL	
Diámetro de la muestra <u>6.45</u> cm		Peso de la celda <u>460.7</u> g		FINAL	
Altura de la muestra <u>2.52</u> cm		Peso del bloque + piedra porosa <u>427.6</u> g		Recipiente	17T
Área de la muestra <u>32.67</u> cm ²		Peso unitario total <u>1.318</u> g/cm ³		P ₁ (g)	17T
Volumen de la muestra <u>82.34</u> cm ³		Peso unitario seco <u>0.545</u> g/cm ³		P ₂ (g)	111.5
Relación de brazo <u>7.846</u>		Peso específico <u>2.65</u>		P ₃ (g)	40.4
		Grado de saturación inicial <u>97.3</u> %		Humedad	141.8%
					105.3%
LECTURA DEFORMACIÓN	CARGA EN BRAZO	ESFUERZO	ALTURA	RELACIÓN DE VACÍOS	DH/H
*10 ⁻⁴ in	Kg	Kgf/cm ²	cm		%
0	0.00	0.01	2.52	3.86	0.00
45	0.50	0.13	2.51	3.84	0.45
80	1.00	0.25	2.50	3.82	0.81
126	1.50	0.37	2.49	3.80	1.27
172	2.00	0.49	2.48	3.78	1.73
261	3.00	0.73	2.45	3.73	2.63
390	4.50	1.09	2.42	3.67	3.93
600	6.50	1.57	2.37	3.57	6.05
1038	9.50	2.29	2.26	3.35	10.46
1800	14.50	3.49	2.06	2.98	18.14
2742	24.50	5.90	1.82	2.52	27.64
2704	14.50	3.49	1.83	2.54	27.25
2533	6.50	1.57	1.88	2.62	25.53
2381	3.00	0.73	1.92	2.70	24.00
2183	1.50	0.37	1.97	2.79	22.00



ANEXO 5

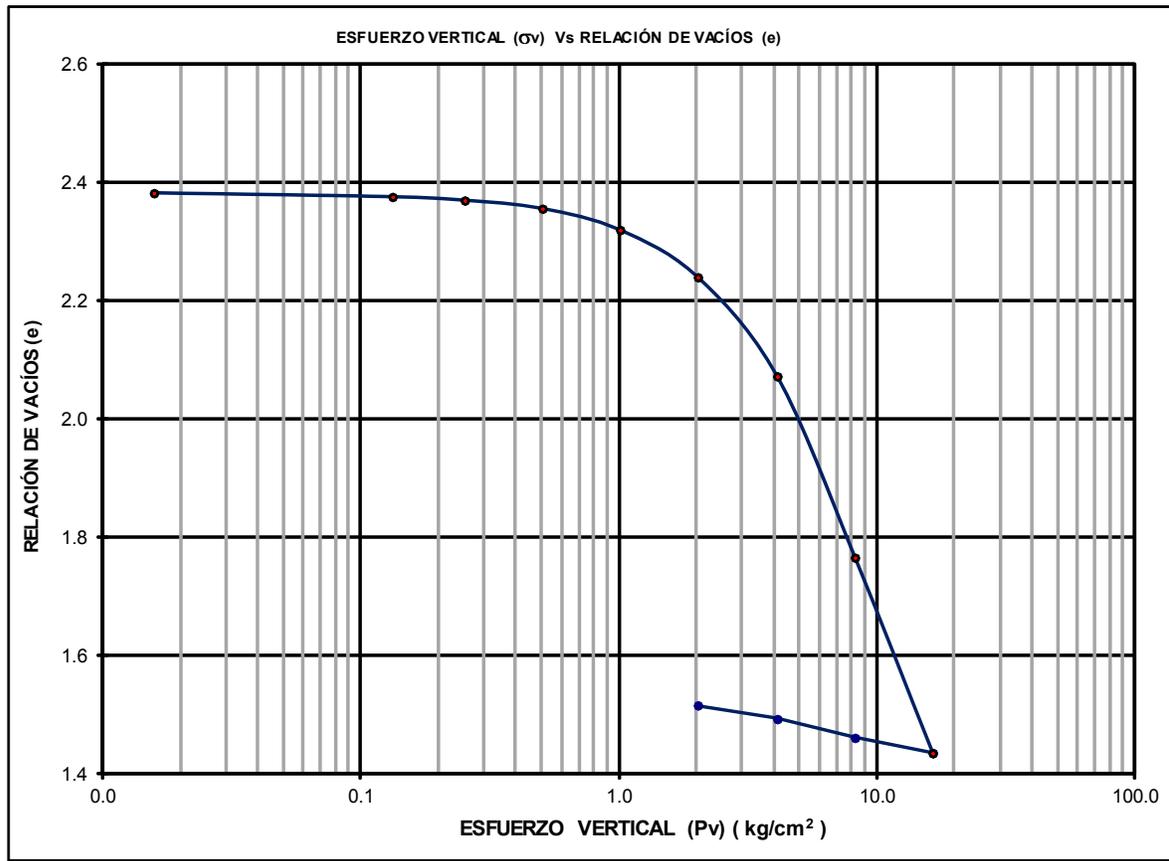
**Resultados Ensayos de consolidación con LIR=1.0 y carga
cuando $t_f=24$ horas**

LABORATORIO DE GEOTECNIA (Ensayo realizado en UNIAGRARIA)		FORMATO-10	CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS (NORMA INVE - 151:2007)							
		ESTADO 001								
CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIBILIDAD DE LAS ARCILLAS TÍPICAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ				FECHA: Septiembre 20/12						
LOCALIZACIÓN		DEPOSITO DE FONTIBÓN								
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA										
PERFORACIÓN:		ÚNICA MUESTRA No. 1		PROFUNDIDAD: 2.50-3.0 m						
DESCRIPCIÓN:		Arcilla limosa de color gris verdosa								
METODO UTILIZADO:		INCREMENTOS DE CARGA CADA 24 HORAS								
DATOS DE ENTRADA										
CONSOLIDÓMETRO:	No. 1	MASA DEL ANILLO (g)	72.53	DIAMETRO DEL ANILLO (cm)	6.35					
RELACIÓN DE BRAZO:	1:10	MASA ANILLO CON MUESTRA i (g)	164.41	ALTURA DEL ANILLO (cm)	2.0					
PROPIEDADES DEL SUELO										
HUMEDAD i =	82.9%	PESO UNITARIO TOTAL (g/cm ³) =	1.451	G _s DEL SUELO =	2.682					
		PESO UNITARIO SECO (g/cm ³) =	0.793	SATURACIÓN i (%) =	93.6					
MASA MUESTRA (g)	91.88	AREA DE LA MUESTRA (cm ²)	31.67	VOLUMEN INICIAL cm ³	63.34					
PROCESO DE CONSOLIDACIÓN										
CARGAS INICIALES					HUMEDAD					
FECHA	HORA	CARGA	DEFORM.	ESFUERZO	INICIAL					
		kg	mm	(kg/cm ²)						
06/08/2012	09:00	0		0.00	Recipiente DMS 6					
07/08/2012	09:00	0.2		0.06	P ₁ (g) 95.25					
08/08/2012	09:00	0.40		0.13	P ₂ (g) 64.50					
09/08/2012	09:00	1.10		0.35	P ₃ (g) 27.40					
					Humedad 82.9%					
HUMEDAD inicial =		82.9%		G _s DEL SUELO =	2.682					
				W _{sólidos} =	50.24 g					
V _s = W _s /G _s γ _w										
CARGA EN EL BRAZO	CARGA EN MUESTRA	ESFUERZO	LECTURA DEFORMACIÓN	ALTURA FINAL	VOLUMEN TOTAL	VOLUMEN SÓLIDOS	VOLUMEN VACÍOS	RELACIÓN DE VACÍOS	ΔH/H	AREA
kg	kg	kg/cm ²	mm	cm	cm ³	cm ³	cm ³	e	%	cm ²
0.05	0.5	0.016	0.00	2.000	63.338	18.732	44.606	2.381	0.000	CARGA
0.42	4.2	0.133	0.04	1.996	63.218	18.732	44.486	2.375	0.000	
0.80	8.0	0.253	0.07	1.993	63.105	18.732	44.373	2.369	0.178	
1.60	16.0	0.505	0.15	1.985	62.848	18.732	44.116	2.355	0.585	
3.20	32.0	1.010	0.37	1.963	62.172	18.732	43.440	2.319	1.654	
6.40	64.0	2.021	0.84	1.916	60.676	18.732	41.944	2.239	4.02	
13.00	130.0	4.105	1.79	1.817	57.539	18.732	38.807	2.072	8.98	
26.00	260.0	8.210	3.60	1.636	51.803	18.732	33.071	1.765	18.06	
52.00	520.0	16.420	5.56	1.440	45.618	18.732	26.885	1.435	27.84	
26.00	260.0	8.210	5.41	1.456	46.100	18.732	27.368	1.461	27.08	
13.00	130.0	4.105	5.22	1.474	46.695	18.732	27.963	1.493	26.14	
6.4	64.0	2.021	5.08	1.488	47.130	18.732	28.398	1.516	25.45	

LABORATORIO DE GEOTECNIA (Ensayo realizado en UNIAGRARIA)	FORMATO-10	CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS (NORMA INV E - 151:2007)
	ESTADO 001	

CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIBILIDAD DE LAS ARCILLAS TÍPICAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ		FECHA: Agosto 06/12
LOCALIZACIÓN	DEPOSITO DE FONTIBÓN	
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA		
PERFORACIÓN: ÚNICA	MUESTRA No. 1	PROFUNDIDAD: 2.50-3.0 m
DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris		

CURVA DE COMPRESIBILIDAD



LABORATORIO DE GEOTECNIA (Ensayo realizado en UNIAGRARIA)		FORMATO-10	CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS (NORMA INV E - 151:2007)							
		ESTADO 001								
CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIBILIDAD DE LAS ARCILLAS TÍPICAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ				FECHA: Agosto 06/12						
LOCALIZACIÓN		DEPOSITO DE FONTIBÓN								
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA										
PERFORACIÓN:		ÚNICA MUESTRA No. 2		PROFUNDIDAD: 5.0-5.5 m						
DESCRIPCIÓN:		Arcilla limosa de color gris								
METODO UTILIZADO:		INCREMENTOS DE CARGA CADA 24 HORAS								
DATOS DE ENTRADA										
CONSOLIDÓMETRO:	No. 1	MASA DEL ANILLO (g)	72.53	DIAMETRO DEL ANILLO (cm)	6.35					
RELACIÓN DE BRAZO:	1:10	MASA ANILLO CON MUESTRA i (g)	162.68	ALTURA DEL ANILLO (cm)	2.0					
PROPIEDADES DEL SUELO										
HUMEDAD i =	111.1%	PESO UNITARIO TOTAL (g/cm^3) =	1.423	G_s DEL SUELO =	2.76 e_0					
		PESO UNITARIO SECO (g/cm^3) =	0.674	SATURACIÓN i (%) =	99.5 3.08					
MASA MUESTRA (g)	90.15	AREA DE LA MUESTRA (cm^2)	31.67	VOLUMEN INICIAL cm^3	63.34					
PROCESO DE CONSOLIDACIÓN										
CARGAS INICIALES					HUMEDAD					
FECHA	HORA	CARGA	DEFORM.	ESFUERZO	INICIAL					
		kg	mm	(kg/cm^2)						
06/08/2012	10:00	0	0	0.00	Recipiente 3 Kate A					
07/08/2012	10:00	0.15	0.064	0.047	P ₁ (g) 67.53					
08/08/2012	10:00	0.5	0.193	0.158	P ₂ (g) 45.99					
					P ₃ (g) 26.60					
					Humedad 111.1%					
				$S = G_s * W/e$						
HUMEDAD inicial = 111.1%		G_s DEL SUELO = 2.76		$W_{sólidos} = 42.71$ g						
$V_s = W_s / G_s \gamma_w$										
CARGA EN EL BRAZO	CARGA EN MUESTRA	ESFUERZO	LECTURA DEFORMACIÓN	ALTURA FINAL	VOLUMEN TOTAL	VOLUMEN SÓLIDOS	VOLUMEN VACÍOS	RELACIÓN DE VACÍOS	$\Delta H/H$	AREA
kg	kg	kg/cm^2	mm	cm	cm^3	cm^3	cm^3	e	%	cm^2
0.00	0.2	0.006	0.00	2.000	63.338	15.474	47.865	3.093	0.000	CARGA
0.15	1.5	0.047	0.06	1.994	63.137	15.474	47.664	3.080	0.000	
0.50	5.0	0.159	0.19	1.981	62.727	15.474	47.253	3.054	0.650	
1.50	15.0	0.475	0.91	1.909	60.443	15.474	44.969	2.906	4.268	
3.00	30.0	0.947	2.07	1.793	56.799	15.474	41.325	2.671	10.039	
6.00	60.0	1.895	4.06	1.594	50.484	15.474	35.011	2.263	20.041	
12.00	120.0	3.789	6.13	1.387	43.920	15.474	28.447	1.838	30.44	
6.00	60.0	1.895	5.87	1.407	44.556	15.474	29.082	1.879	29.43	DESCARGA
3.00	30.0	0.947	5.72	1.422	45.038	15.474	29.565	1.911	28.67	
1.50	15.0	0.474	5.46	1.448	45.843	15.474	30.369	1.963	27.39	

LABORATORIO DE GEOTECNIA
(Ensayo realizado en UNIAGRARIA)

FORMATO-10

ESTADO
001

CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS
SUELOS
(NORMA INV E - 151:2007)

CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIBILIDAD DE LAS ARCILLAS TÍPICAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ

FECHA: Agosto 06/12

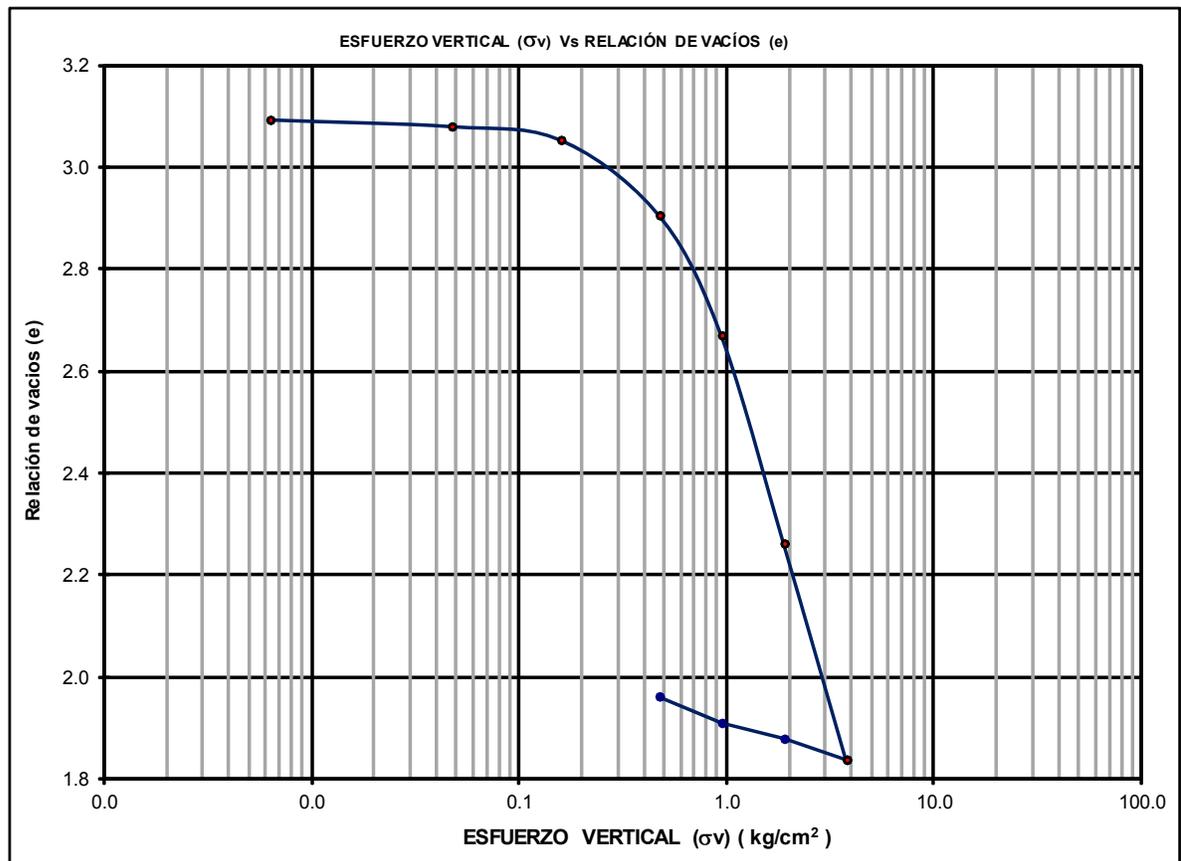
LOCALIZACIÓN DEPOSITO DE FONTIBÓN

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

PERFORACIÓN: ÚNICA MUESTRA No. 2 PROFUNDIDAD: 5.0-5.5 m

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris

CURVA DE COMPRESIBILIDAD



LABORATORIO DE GEOTECNIA (Ensayo realizado en UNIAGRARIA)		FORMATO-10	CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS (NORMA INV E - 151:2007)							
		ESTADO 001								
CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIBILIDAD DE LAS ARCILLAS TÍPICAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ				FECHA: Septiembre 15/12						
LOCALIZACIÓN		DEPOSITO DE FONTIBÓN								
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA										
PERFORACIÓN:		ÚNICA MUESTRA No. 3		PROFUNDIDAD: 7.0-7.50 m						
DESCRIPCIÓN:		Arcilla limosa de color gris verdosa								
METODO UTILIZADO:		INCREMENTOS DE CARGA CADA 24 HORAS								
DATOS DE ENTRADA										
CONSOLIDÓMETRO:	No. 2	MASA DEL ANILLO (g)	74.8	DIAMETRO DEL ANILLO (cm)	6.33					
RELACIÓN DE BRAZO:	1:10	MASA ANILLO CON MUESTRA <i>i</i> (g)	158.40	ALTURA DEL ANILLO (cm)	2.0					
PROPIEDADES DEL SUELO										
HUMEDAD <i>i</i> =	143.2%	PESO UNITARIO TOTAL (g/cm ³) =	1.328	G _s DEL SUELO =	2.706 e ₀					
		PESO UNITARIO SECO (g/cm ³) =	0.546	SATURACIÓN <i>i</i> (%) =	98.0 3.96					
MASA MUESTRA (g)	83.6	AREA DE LA MUESTRA (cm ²)	31.47	VOLUMEN INICIAL cm ³	62.94					
PROCESO DE CONSOLIDACIÓN										
CARGAS INICIALES					HUMEDAD					
FECHA	HORA	CARGA	DEFORM.	ESFUERZO						
		kg	mm	(kg/cm ²)						
06/08/2012	09:00	0		0.00	Recipiente					
07/08/2012	09:00	0.2		0.06	P ₁ (g)					
08/08/2012	09:00	0.40		0.13	P ₂ (g)					
09/08/2012	09:00	1.10		0.35	P ₃ (g)					
					Humedad					
					143.2%					
		S = G_s*W/e								
HUMEDAD inicial = 143.2%		G_s DEL SUELO = 2.706		W_s sólidos = 34.37 g						
V_s = W_s/G_s*w										
CARGA EN EL BRAZO	CARGA EN MUESTRA	ESFUERZO	LECTURA DEFORMACIÓN	ALTURA FINAL	VOLUMEN TOTAL	VOLUMEN SOLIDOS	VOLUMEN VACIOS	RELACIÓN DE VACÍOS	ΔH/H	AREA
kg	kg	kg/cm ²	mm	cm	cm ³	cm ³	cm ³	e	%	cm ²
0.05	0.5	0.016	0.00	2.000	62.940	12.702	50.238	3.955	0.000	CARGA
0.42	4.2	0.133	0.23	1.977	62.213	12.702	49.511	3.898	0.000	
0.80	8.0	0.254	0.42	1.958	61.621	12.702	48.919	3.851	0.951	
1.60	16.0	0.508	1.04	1.896	59.671	12.702	46.969	3.698	4.086	
3.20	32.0	1.017	2.72	1.728	54.395	12.702	41.693	3.282	12.566	
6.40	64.0	2.034	5.26	1.474	46.386	12.702	33.684	2.652	25.44	
13.00	130.0	4.131	7.75	1.202	37.825	12.702	25.123	1.978	39.20	
6.40	64.0	2.034	7.51	1.226	38.568	12.702	25.866	2.036	38.01	DESCARGA
3.20	32.0	1.017	7.24	1.253	39.424	12.702	26.721	2.104	36.63	
1.60	16.0	0.508	6.75	1.302	40.974	12.702	28.272	2.226	34.14	

LABORATORIO DE GEOTECNIA (Ensayo realizado en UNIAGRARIA)	FORMATO-10 ESTADO 001	CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS (NORMA INV E - 151:2007)
---	---------------------------------	--

CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIBILIDAD DE LAS ARCILLAS TÍPICAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ FECHA: Agosto 06/12

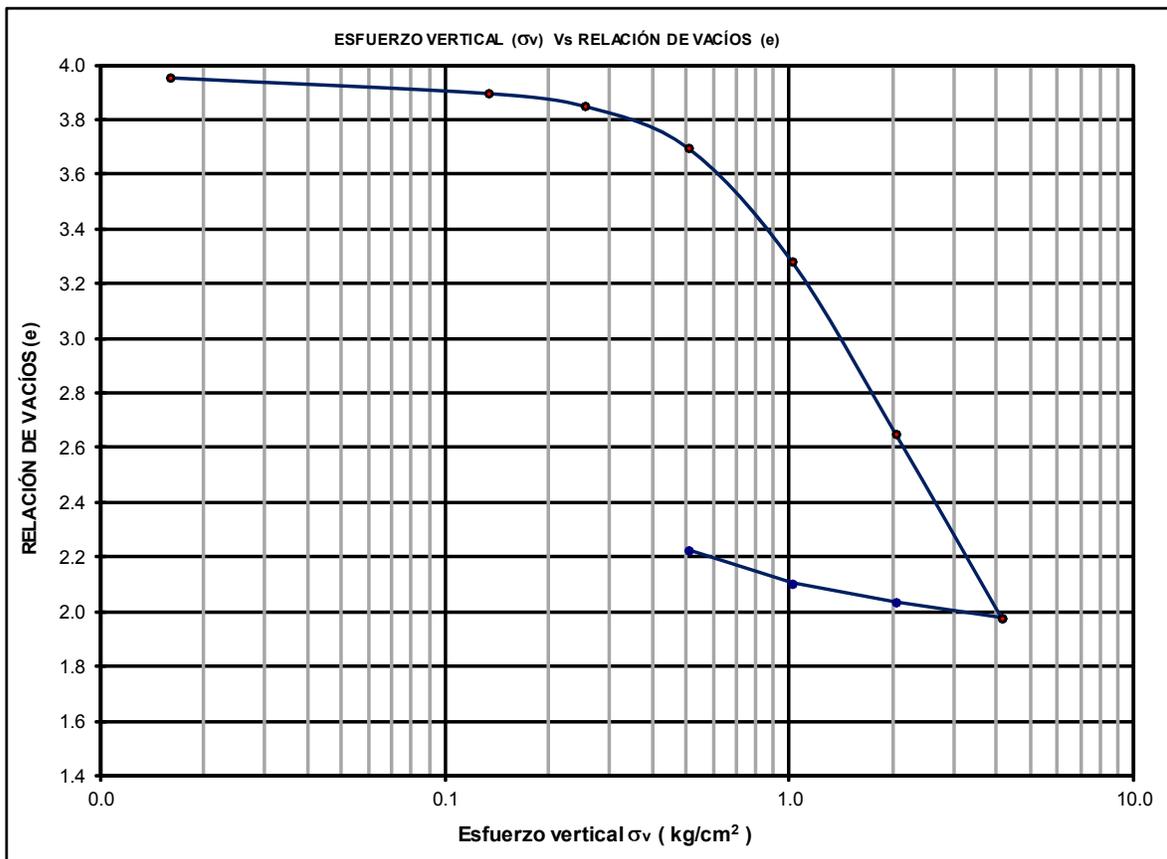
LOCALIZACIÓN: DEPOSITO DE FONTIBÓN

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

PERFORACIÓN: ÚNICA MUESTRA No. 3 PROFUNDIDAD: 7.0-7.50 m

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris

CURVA DE COMPRESIBILIDAD



LABORATORIO DE GEOTECNIA (Ensayo realizado en UNIAGRARIA)		FORMATO-10	CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS (NORMA INV E - 151:2007)							
		ESTADO 001								
CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIBILIDAD DE LAS ARCILLAS TÍPICAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ				FECHA: Agosto 22/12						
LOCALIZACIÓN		DEPOSITO DE FONTIBÓN								
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA										
PERFORACIÓN:		ÚNICA MUESTRA No. 4		PROFUNDIDAD: 11.0-11.5 m						
DESCRIPCIÓN:		Arcilla limosa de color gris								
METODO UTILIZADO:		INCREMENTOS DE CARGA CADA 24 HORAS								
DATOS DE ENTRADA										
CONSOLIDÓMETRO:	No. 3	MASA DEL ANILLO (g)	58.18	DIAMETRO DEL ANILLO (cm)	5.35					
RELACIÓN DE BRAZO:	1:10	MASA ANILLO CON MUESTRA i (g)	117.3	ALTURA DEL ANILLO (cm)	2.0					
PROPIEDADES DEL SUELO										
HUMEDAD i =	153.8%	PESO UNITARIO TOTAL (g/cm ³) =	1.315	G _s DEL SUELO =	2.69					
		PESO UNITARIO SECO (g/cm ³) =	0.518	SATURACIÓN i (%) =	98.7					
MASA MUESTRA (g)	59.12	AREA DE LA MUESTRA (cm ²)	22.48	VOLUMEN INICIAL cm ³	44.96					
PROCESO DE CONSOLIDACIÓN										
CARGAS INICIALES					HUMEDAD					
FECHA	HORA	CARGA	DEFORM.	ESFUERZO	INICIAL					
		kg	mm	(kg/cm ²)						
22/08/2012	11:00	0	0	0.00	DMS 1					
23/08/2012	11:00	0.2	0.19304	0.089	P ₁ (g) 84.23					
24/08/2012	11:00	0.4	0.70866	0.178	P ₂ (g) 49.82					
25/08/2012	11:00	0.6			P ₃ (g) 27.45					
					Humedad 153.8%					
HUMEDAD inicial =		153.8%		G _s DEL SUELO = 2.69						
				W _{sólidos} = 23.29 g						
V _s = W _s /G _s γ _w										
CARGA EN EL BRAZO	CARGA EN MUESTRA	ESFUERZO	LECTURA DEFORMACIÓN	ALTURA FINAL	VOLUMEN TOTAL	VOLUMEN SÓLIDOS	VOLUMEN VACÍOS	RELACIÓN DE VACÍOS	ΔH/H	AREA
kg	kg	kg/cm ²	mm	cm	cm ³	cm ³	cm ³	e	%	cm ²
										22.48
0.00	0.1	0.004	0.00	2.000	44.960	8.659	36.301	4.192	0.000	CARGA
0.15	1.5	0.067	0.06	1.994	44.817	8.659	36.159	4.176	0.000	
0.50	5.0	0.222	0.20	1.980	44.503	8.659	35.845	4.140	0.701	
1.00	10.0	0.445	0.56	1.944	43.704	8.659	35.045	4.047	2.484	
2.00	20.0	0.890	1.40	1.860	41.820	8.659	33.161	3.830	6.689	
4.00	40.0	1.779	4.01	1.599	35.950	8.659	27.291	3.152	19.786	
6.00	60.0	2.669	5.47	1.453	32.661	8.659	24.002	2.772	27.12	
8.00	80.0	3.559	6.60	1.334	29.983	8.659	21.324	2.463	33.10	
6.00	60.0	2.669	6.55	1.339	30.097	8.659	21.438	2.476	32.84	DESCARGA
4.00	40.0	1.779	6.48	1.346	30.251	8.659	21.593	2.494	32.50	
2.00	20.0	0.890	6.35	1.359	30.543	8.659	21.884	2.527	31.85	
1.00	10.0	0.445	6.23	1.371	30.817	8.659	22.158	2.559	31.24	

LABORATORIO DE GEOTECNIA (Ensayo realizado en UNIAGRARIA)	FORMATO-10 ESTADO 001	CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS (NORMA INVE - 151:2007)
---	---------------------------------	---

CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIBILIDAD DE LAS ARCILLAS TÍPICAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ **FECHA:** Agosto 06/12

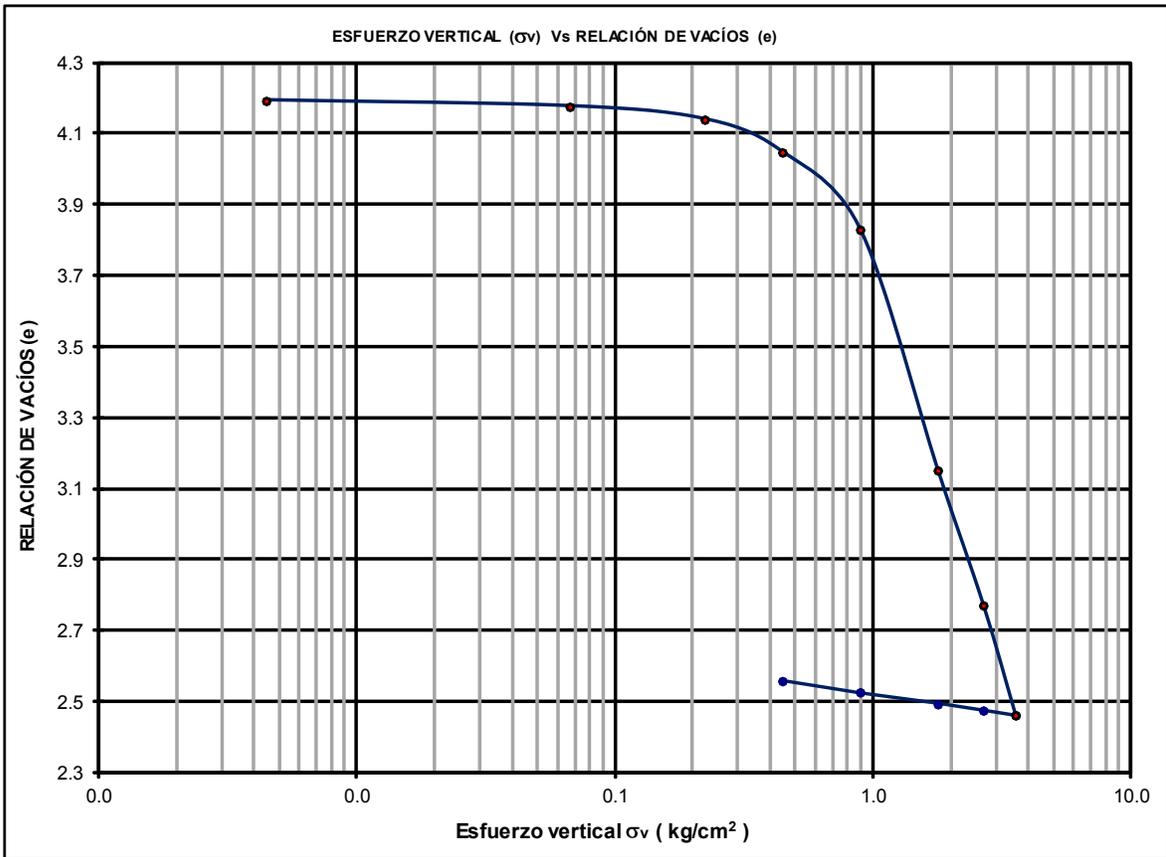
LOCALIZACIÓN: DEPOSITO DE FONTIBÓN

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

PERFORACIÓN: ÚNICA **MUESTRA No.** 4 **PROFUNDIDAD:** 11.0-11.5 m

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris

CURVA DE COMPRESIBILIDAD



LABORATORIO DE GEOTECNIA (Ensayo realizado en UNIAGRARIA)		FORMATO-10	CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS (NORMA INVE - 151:2007)							
		ESTADO 001								
CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIBILIDAD DE LAS ARCILLAS TÍPICAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ					FECHA: Agosto 22/12					
LOCALIZACIÓN		DEPOSITO DE FONTIBÓN								
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA										
PERFORACIÓN:		ÚNICA MUESTRA No. 5		PROFUNDIDAD: 17.0-17.5 m						
DESCRIPCIÓN:		Arcilla limosa de color gris								
METODO UTILIZADO:		INCREMENTOS DE CARGA CADA 24 HORAS								
DATOS DE ENTRADA										
CONSOLIDÓMETRO:	No. 2	MASA DEL ANILLO (g)	74.8	DIAMETRO DEL ANILLO (cm)	6.33					
RELACIÓN DE BRAZO:	1:10	MASA ANILLO CON MUESTRA i (g)	160.6	ALTURA DEL ANILLO (cm)	2.0					
PROPIEDADES DEL SUELO										
HUMEDAD i =	129.2%	PESO UNITARIO TOTAL (g/cm ³) =	1.363	Gs DEL SUELO =	2.676	e ₀				
		PESO UNITARIO SECO (g/cm ³) =	0.595	SATURACIÓN i (%) =	98.8	3.499				
MASA MUESTRA (g)	85.8	AREA DE LA MUESTRA (cm ²)	31.47	VOLUMEN INICIAL cm ³	62.94					
PROCESO DE CONSOLIDACIÓN										
CARGAS INICIALES					HUMEDAD					
FECHA	HORA	CARGA	DEFORM.	ESFUERZO	S = Gs*W/e					
		kg	mm	(kg/cm ²)						
22/08/2012	09:00	0		0.00	Recipiente	DMS 2				
23/08/2012	09:00	0.15		0.05	P ₁ (g)	56.57				
24/08/2012	09:00	0.50		0.16	P ₂ (g)	40.46				
25/08/2012	09:00	1.00		0.32	P ₃ (g)	27.99				
					Humedad	129.2%				
HUMEDAD inicial =		129.2%		Gs DEL SUELO =		2.676				
				W _{sólidos} =		37.44 g				
Vs = Ws/Gsγw										
CARGA EN EL BRAZO	CARGA EN MUESTRA	ESFUERZO	LECTURA DEFORMACIÓN	ALTURA FINAL	VOLUMEN TOTAL	VOLUMEN SÓLIDOS	VOLUMEN VACIOS	RELACIÓN DE VACÍOS	ΔH/H	AREA
kg	kg	kg/cm ²	mm	cm	cm ³	cm ³	cm ³	e	%	cm ²
										31.47
0.00	0.1	0.003	0.00	2.000	62.940	13.990	48.950	3.499	0.000	CARGA
0.15	1.5	0.048	0.06	1.994	62.740	13.990	48.751	3.485	0.000	
0.50	5.0	0.159	0.23	1.977	62.213	13.990	48.223	3.447	0.841	
1.50	15.0	0.477	0.68	1.932	60.806	13.990	46.816	3.347	3.083	
3.00	30.0	0.953	1.54	1.846	58.096	13.990	44.106	3.153	7.402	
6.00	60.0	1.907	3.65	1.635	51.446	13.990	37.456	2.677	18.00	
12.00	120.0	3.813	6.55	1.338	42.117	13.990	28.128	2.011	32.87	
6.00	60.0	1.907	6.36	1.357	42.717	13.990	28.727	2.053	31.91	DESCARGA
3.00	30.0	0.953	6.12	1.382	43.476	13.990	29.487	2.108	30.70	
1.50	15.0	0.477	5.62	1.431	45.043	13.990	31.053	2.220	28.21	

LABORATORIO DE GEOTECNIA (Ensayo realizado en UNIAGRARIA)	FORMATO-10	CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS (NORMA INV E - 151:2007)
	ESTADO 001	

CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIBILIDAD DE LAS ARCILLAS TÍPICAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ **FECHA:** Agosto 06/12

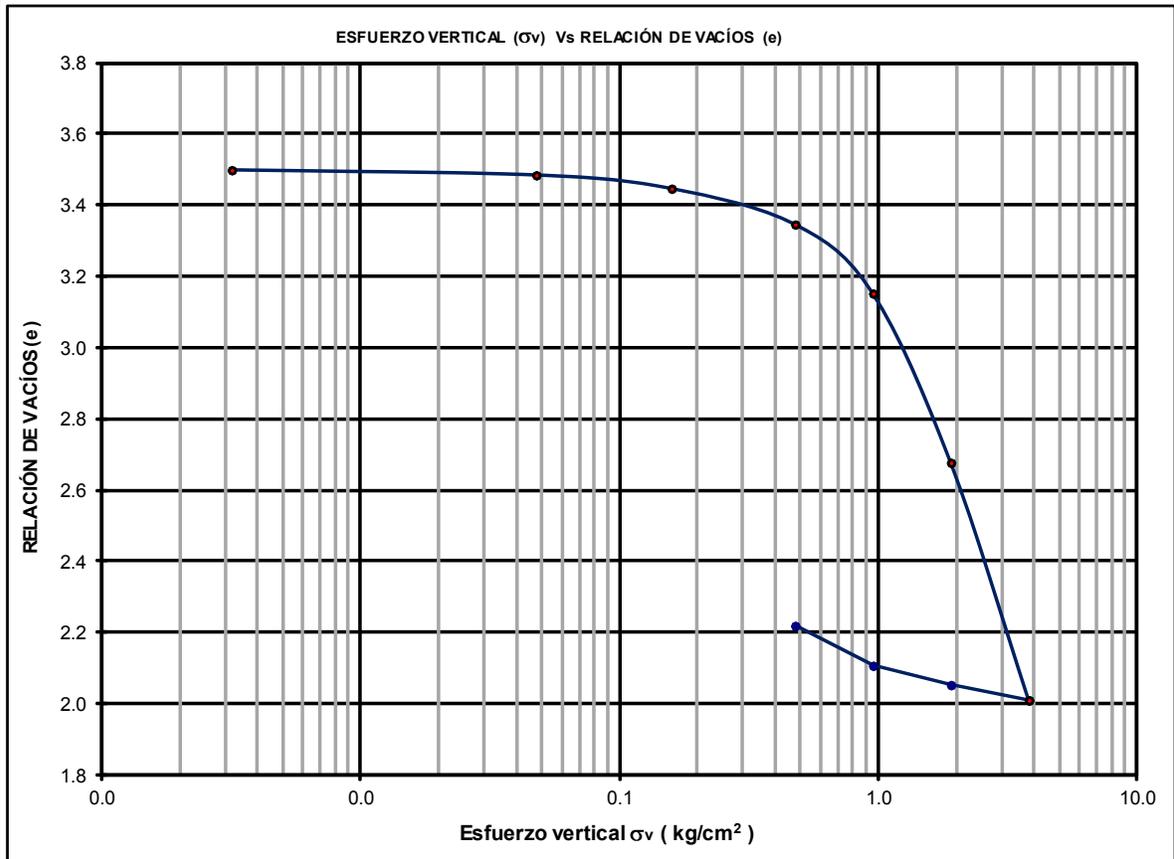
LOCALIZACIÓN DEPOSITO DE FONTIBÓN

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

PERFORACIÓN: **ÚNICA MUESTRA No.** **5** **PROFUNDIDAD:** **17.0-17.5 m**

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris

CURVA DE COMPRESIBILIDAD



LABORATORIO DE GEOTECNIA (Ensayo realizado en UNIAGRARIA)		FORMATO-10	CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS (NORMA INV E - 151:2007)							
		ESTADO 001								
CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIBILIDAD DE LAS ARCILLAS TÍPICAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ				FECHA: Agosto 22/12						
LOCALIZACIÓN		DEPOSITO DE FONTIBÓN								
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA										
PERFORACIÓN:		ÚNICA MUESTRA No. 6		PROFUNDIDAD: 27.0-27.5 m						
DESCRIPCIÓN:		Arcilla limosa de color gris								
METODO UTILIZADO:		INCREMENTOS DE CARGA CADA 24 HORAS								
DATOS DE ENTRADA										
CONSOLIDÓMETRO:	No. 3	MASA DEL ANILLO (g)	58.18	DIAMETRO DEL ANILLO (cm)	5.35					
RELACIÓN DE BRAZO:	1:10	MASA ANILLO CON MUESTRA i (g)	117.20	ALTURA DEL ANILLO (cm)	2.0					
PROPIEDADES DEL SUELO										
HUMEDAD i =	141.6%	PESO UNITARIO TOTAL (g/cm ³) =	1.313	G _s DEL SUELO =	2.65 e ₀					
		PESO UNITARIO SECO (g/cm ³) =	0.543	SATURACIÓN i (%) =	96.8 3.88					
MASA MUESTRA (g)	59.02	AREA DE LA MUESTRA (cm ²)	22.48	VOLUMEN INICIAL cm ³	44.96					
PROCESO DE CONSOLIDACIÓN										
CARGAS INICIALES					HUMEDAD					
FECHA	HORA	CARGA	DEFORM.	ESFUERZO	INICIAL					
		kg	mm	(kg/cm ²)						
06/08/2012	09:00	0		0.00	Recipiente DMS 4					
07/08/2012	09:00	0.2		0.09	P ₁ (g) 58.40					
08/08/2012	09:00	0.40		0.18	P ₂ (g) 41.22					
09/08/2012	09:00	1.10		0.49	P ₃ (g) 29.09					
					Humedad 141.6%					
HUMEDAD inicial =		141.6%		G _s DEL SUELO =	2.650					
				W _{sólidos} =	24.43 g					
Vs = Ws/Gsγw										
CARGA EN EL BRAZO	CARGA EN MUESTRA	ESFUERZO	LECTURA DEFORMACIÓN	ALTURA FINAL	VOLUMEN TOTAL	VOLUMEN SÓLIDOS	VOLUMEN VACÍOS	RELACIÓN DE VACÍOS	ΔH/H	AREA
kg	kg	kg/cm ²	mm	cm	cm ³	cm ³	cm ³	e	%	cm ²
0.00	0.1	0.004	0.00	2.000	44.960	9.217	35.743	3.878	0.000	CARGA
0.20	2.0	0.089	0.13	1.987	44.663	9.217	35.446	3.846	0.000	
0.40	4.0	0.178	0.23	1.977	44.435	9.217	35.218	3.821	0.511	
1.10	11.0	0.489	0.67	1.933	43.447	9.217	34.230	3.714	2.723	
2.00	20.0	0.890	1.22	1.878	42.225	9.217	33.008	3.581	5.459	
4.00	40.0	1.779	2.49	1.751	39.353	9.217	30.136	3.270	11.89	
8.00	80.0	3.559	4.95	1.491	33.529	9.217	24.312	2.638	24.93	
16.00	160.0	7.117	7.70	1.217	27.362	9.217	18.145	1.969	38.74	
8.00	80.0	3.559	7.40	1.247	28.030	9.217	18.813	2.041	37.24	DESCARGA
4.00	40.0	1.779	7.00	1.287	28.938	9.217	19.721	2.140	35.21	
2.00	20.0	0.890	6.60	1.326	29.817	9.217	20.600	2.235	33.24	

LABORATORIO DE GEOTECNIA
(Ensayo realizado en UNIAGRARIA)

FORMATO-10

CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS
SUELOS
(NORMA INV E - 151:2007)

ESTADO
001

CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIBILIDAD DE LAS ARCILLAS TÍPICAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ

FECHA: Agosto 06/12

LOCALIZACIÓN DEPOSITO DE FONTIBÓN

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

PERFORACIÓN: ÚNICA MUESTRA No. 6 PROFUNDIDAD: 27.0-27.5 m

DESCRIPCIÓN: Arcilla limosa de color gris

CURVA DE COMPRESIBILIDAD

