

Carbonatación acelerada de agregados finos reciclados y su influencia en mezclas de mortero

Ing. Andrés Felipe de Jesús Muñoz Cuellar

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Facultad de Ingeniería Civil

Programa de Maestría en Ingeniería Civil

Énfasis en estructuras

Bogotá

2017

Carbonatación acelerada de agregados finos reciclados y su influencia en mezclas de mortero

Presentado por:

Ing. Andrés Felipe de Jesús Muñoz Cuellar

PROYECTO DE GRADO

Directora:

I.C., M. Sc, Ph.D. Nancy Torres Castellanos

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Facultad de Ingeniería Civil

Programa de Maestría en Ingeniería Civil

Énfasis en estructuras

Bogotá

2017

Agradecimientos

Ya como última tarea, que me queda para completar este documento, es el deber de escribir la sección de agradecimientos, que en realidad se convierte en un gusto para la cual deseo poner de lado, cualquier intento de prosa, o del adecuado contexto, e inclusive dejar la rigurosa escritura técnica y científica.

Es por ello que me resulta un honor, primeramente, agradecer a mis padres, Gladys y Martin, almas inseparables que me han apoyado todo este tiempo en el desarrollo de la maestría y de este proyecto de investigación. Por supuesto, no dejare de lado a mis abuelas Jova y Belma, junto con mis hermanas María José y María Paula, todas a quienes amo con el alma, muchas gracias por todo su apoyo.

Ahora, deseo seguir con mi lugar de trabajo y estudio durante mucho tiempo, el Laboratorio de Materiales de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Por ello, deseo agradecerles a mis colegas y amigos, Andres, Laura, David, Daniel, Álvaro, Pedro Nel, quienes me han inspirado y apoyado en diferentes partes de esta investigación, de verdad, muchas gracias; espero que, si por cuestiones de la vida, no nos volvemos a ver, siempre tengan fortuna y entusiasmo en todo lo que hagan. Por supuesto, mencionar al laboratorio también es nombrar a los técnicos que laboran en el: Cristian, Jairo, Ramón y Luis, todos quienes me han ayudado inmensamente en el desarrollo de esta investigación. Quiero que sepan, si alguna vez llegan a leer estas líneas, que los considero amigos cercanos que gozan de mi confianza y todo mi aprecio, muchas gracias por todo en lo que me han ayudado. María Isabel, nuestra secretaria, me ha aguantado todo este tiempo, con mis retrasos ocasionales en algunas labores y siempre me ha soportado con una paciencia absoluta, ayudándome en todo lo que he requerido, no sabe María, todo lo que le agradezco.

Por último, aunque no menos importante, le agradezco profundamente a la Ing. Nancy Torres, la cual fue mi directora de tesis, de esta misma investigación. Ingeniera, muchas gracias por toda su ayuda, por las explicaciones, por compartirme su pasión por la investigación y los materiales, lo cual me ha ayudado inmensamente en esta larga investigación. Desde el primer día hasta hoy, ha sido una gran amiga, estaré siempre en deuda.

A todos los demás, que no nombre personalmente debido a las limitaciones de esta página, como los técnicos del laboratorio de mecánica, de suelos y las ingenieras de ambiental, muchas gracias por toda su contribución y ayuda, tampoco lo habría podido lograr sin ustedes.

Y finalmente, al lector empedernido, que ha llegado a estas últimas líneas, gracias por abrir este documento, en el cual he volcado mi mayor esfuerzo, espero sinceramente, le sea de utilidad.

Andres Felipe Muñoz

11 de febrero de 2017

Índice

1. Introducción	15
2. Marco Teórico	19
2.1. Agregado reciclado.....	19
2.2. Mecanismos de transporte en el concreto	22
2.2.1. Permeabilidad	22
2.2.2. Succión Capilar	23
2.2.3. Difusión	25
2.2.4. Migración	26
2.3. Carbonatación del Concreto.....	27
2.3.1. Carbonatación Natural:	27
2.3.2. Carbonatación Acelerada:	30
2.4. Zona de transición Interfacial:	32
2.5. Determinación de la carbonatación:	34
2.6. Tecnologías de captura de CO ₂ :.....	35
3. Estado del arte	38
3.1. Variables del proceso de carbonatación acelerada:	38
3.2. Influencia de las propiedades de los agregados carbonatados y no carbonatados en los nuevos concretos.....	39
3.2.1. Propiedades del agregado reciclado.....	39
3.2.2. Propiedades del mortero en estado fresco.	40
3.2.3. Propiedades mecánicas del mortero endurecido	42
3.2.4. Propiedades de Durabilidad:	49
4. Objetivos	58

5. Metodología y materiales utilizados	59
5.1. Consulta Bibliográfica	59
5.2. Materiales Utilizados	59
5.2.1. Cemento	60
5.2.2. Agregado fino natural.....	60
5.2.3. Agregado fino reciclado.....	60
5.2.4. Agregado fino reciclado carbonatado	61
5.2.5. Tipo de sulfato.....	61
5.3. Etapas principales de la investigación	62
5.4. Nomenclatura utilizada para las mezclas	65
5.5. Ambiente de curado	66
6. Ensayos realizados.....	68
6.1. Ensayos en el cemento	68
6.1.1. Composición Química.....	68
6.1.2. Densidad y Finura del cemento	69
6.2. Ensayos en el agregado fino reciclado.....	70
6.2.1. Granulometría	70
6.2.2. Peso unitario	72
6.2.3. Densidad y Absorción	72
6.2.4. Termo gravimetría y Análisis Térmico Diferencial	73
6.3. Diseño y preparación de mezclas de mortero	73
6.4. Ensayos en el mortero endurecido.....	75
6.4.1. Resistencia a la compresión en cilindros	75
6.4.2. Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU):	76
6.4.3. ISAT (Tasa de absorción superficial inicial)	77
6.4.4. Sortividad	78

6.4.5. Densidad, absorción y vacíos en el mortero endurecido	79
6.4.6. Cambios Volumétricos:.....	80
6.4.7. Expansión por sulfatos	81
6.4.8. SEM (Microscopia Electrónica de Barrido)	83
7. Resultados y análisis de resultados	84
7.1. Ensayos en el agregado fino reciclado.....	84
7.1.1. Granulometría	85
7.1.2. Peso Unitario	85
7.1.3. Densidad y absorción	85
7.1.4. Termo gravimetría y análisis térmico diferencial.....	88
7.2. Ensayos en el mortero endurecido.....	90
7.2.1. Resistencia a la compresión en cilindros:	90
7.2.2. ISAT (Tasa de absorción superficial inicial)	94
7.2.3. Sortividad	100
7.2.4. Densidad, absorción y vacíos en el mortero endurecido	105
7.2.5. Velocidad de pulso ultrasónico (VPU).....	116
7.2.6. Cambio volumétrico del mortero	119
7.2.7. Expansión por sulfatos	124
7.2.8. SEM (Microscopia Electrónica de Barrido)	128
8. Conclusiones	137
9. Recomendaciones	139
10. Bibliografía	140
11. Anexos.....	151
a. Granulometría	151
b. Densidad y Absorción	152
c. Resistencia a la compresión en cilindros	154

d. ISAT (Tasa de absorción superficial)	167
e. Sortividad	189
f. Densidad, absorción y vacíos en el mortero endurecido.....	249
g. Velocidad de pulso ultrasónico (VPU)	255
h. Cambio volumétrico del mortero	256
i. Expansión por sulfatos	275

Lista De Tablas

Tabla 1. Resumen de los factores requeridos para una carbonatación efectiva (Pan et al., 2012). .31	
Tabla 2. Perfil por procesos o actividades industriales de las grandes fuentes. (Millones de toneladas)	37
Tabla 3. Variables principales del estudio	62
Tabla 4. Relación de ensayos realizados en el mortero endurecido, con la normativa y cantidad de probetas correspondiente.....	64
Tabla 5. Ensayos realizados sobre el cemento.	65
Tabla 6. Ensayos realizados sobre el agregado fino reciclado.	65
Tabla 7. Descomposición química del Cemento Concreteero utilizado.....	68
Tabla 8. Densidad y Finura del cemento utilizado.	69
Tabla 9. Variables principales para los diseños de mezcla.....	74
Tabla 10. Tipos principales de mezcla de mortero.	74
Tabla 11. Cantidad de material utilizado según diseño de mezcla.	74
Tabla 12. Condiciones de la cámara de humedad y temperatura controlada.	81
Tabla 13. Resultados de peso unitario para arena natural y reciclada.	85
Tabla 14. Densidad y absorción para el agregado natural.....	85
Tabla 15. Resultados de densidad y absorción para el agregado reciclado carbonatado y no carbonatado.....	86
Tabla 16. Resultados de resistencia promedio a la compresión en cilindros de mortero.	91
Tabla 17. Resultados del ISAT para los 28 días.	94
Tabla 18. Resultados del ISAT para los 90 días.	94
Tabla 19. Resultados del ISAT para los 180 días.	95
Tabla 20. Resultados de sortividad para los primeros 30 días de curado.	100
Tabla 21. Resultados de sortividad para los 90 días de curado.	101
Tabla 22. Resultados de sortividad para los 180 días de curado.	102
Tabla 23. Resultados para el volumen de poros permeables.	106
Tabla 24. Resultados para absorción.....	107
Tabla 25. Resultados para la Densidad Aparente.	108
Tabla 26. Comparativo de la velocidad de pulso ultrasónico.	116
Tabla 27. Valoración total de mezclas - Resultado final.	137

Lista De Ilustraciones

Ilustración 1. Diferentes tipos de trituradoras (Impacto y Compresión) (ECCO, 1999)	21
Ilustración 2. Nivel del agua en el capilar según diámetro (Fuente propia)	24
Ilustración 3. Relación entre la tasa de carbonatación y la humedad relativa del ambiente.	30
Ilustración 4. Esquema de un proceso de carbonatación acelerada (Fernández Bertos et al., 2004).	32
Ilustración 5. ITZ antigua en una nueva ITZ.	33
Ilustración 6. Comparación de los métodos de mezclado simple y doble (Otsuki et al., 2003).	34
Ilustración 7. Ejemplo de descomposición de la nomenclatura utilizada	66
Ilustración 8. Granulometría del agregado reciclado.	70
Ilustración 9. Granulometría del agregado natural.	71
Ilustración 10. Granulometrías superpuestas de ambos tipos de agregado.....	72
Ilustración 11. Esquema general del montaje del ensayo ISAT.	77
Ilustración 12. Seccionamiento del cilindro para obtener la probeta del ensayo de Sortividad.....	78
Ilustración 13. Seccionamiento del cilindro para obtener la probeta de Densidad, absorción y vacíos en el mortero endurecido.	80
Ilustración 14. Resultado de densidad aparente para los tres tipos de agregado	87
Ilustración 15. Resultados de densidad nominal para los tres tipos de agregado	87
Ilustración 16. Resultados de absorción para los tres tipos de agregado.....	88
Ilustración 17. Resultados TGA/DTG para una muestra de material No Carbonatado	88
Ilustración 18. Resultados TGA/DTG para una muestra de material Carbonatado.	89
Ilustración 19. Comparativo de resistencia a la compresión de cilindros de mortero.	91
Ilustración 20. Comparativa de resistencias a la compresión de las mezclas en el tiempo.	93
Ilustración 21. Resultados del ISAT para los 10 minutos en las mezclas tipo A.	96
Ilustración 22. Resultados del ISAT para los 10 minutos en las mezclas tipo B.	97
Ilustración 23. Resultados del ISAT para los 20 minutos en las mezclas tipo A	98
Ilustración 24. Resultados del ISAT para los 20 primeros minutos en las mezclas tipo B.	98
Ilustración 25. Resultados del ISAT para los 30 minutos en las mezclas tipo A	99
Ilustración 26. Resultados del ISAT para los 30 minutos en las mezclas tipo B.	99
Ilustración 27. Tasa inicial de absorción para la mezcla tipo A.	102
Ilustración 28. Tasa secundaria de absorción para la mezcla tipo A.....	103

Ilustración 29. Tasa inicial de absorción para la mezcla tipo B.	104
Ilustración 30. Tasa secundaria de absorción para la mezcla tipo B.	105
Ilustración 31. Volumen de Poros permeables - Mezcla A.	109
Ilustración 32. Volumen de poros permeables – Mezcla B.....	110
Ilustración 33. Absorción después de inmersión - Mezcla A.	111
Ilustración 34. Absorción después de inmersión – Mezcla B.....	112
Ilustración 35. Densidad Aparente - Mezcla A.....	113
Ilustración 36. Densidad Aparente – Mezcla B.	114
Ilustración 37. Densidad Aparente - Seca - Mezcla Tipo A.	115
Ilustración 38. Densidad Aparente - Seca - Mezcla Tipo B.....	116
Ilustración 39. Velocidad de Pulso ultrasónico para mezcla tipo A	117
Ilustración 40. Velocidad de Pulso Ultrasónico para mezcla tipo B.	118
Ilustración 41. Comparativo del cambio volumétrico del mortero para la mezcla tipo A.	120
Ilustración 42. Relación de las contracciones a los 180 días para el grupo tipo A de mezclas.....	121
Ilustración 43. Comparativo del cambio volumétrico del mortero para la mezcla tipo B.....	121
Ilustración 44. Relación de las contracciones a los 180 días para el grupo tipo B de mezclas.	122
Ilustración 45. Comparativo de la expansión por sulfatos para la mezcla tipo A.	124
Ilustración 46. Expansiones por sulfatos a los 180 días para el grupo tipo A de mezclas.	125
Ilustración 47. Comparativo de la expansión por sulfatos para la mezcla tipo B.....	126
Ilustración 48. Expansiones por sulfatos a los 180 días para el grupo tipo B de mezclas.	127

Lista De Fotografías

Fotografía1. Izquierda - Máquina trituradora. Derecha – Cilindros descartados para reciclaje	60
Fotografía2. Agregado fino reciclado en bolsas herméticas.....	61
Fotografía3. Bolsa de sulfato de magnesio	61
Fotografía4. Fotografías del agregado reciclado en cámara de carbonatación.....	62
Fotografía5. Cámara de carbonatación usada en el estudio.	63
Fotografía6. Izquierda. Material sin carbonatar reaccionando a la fenolftaleína. Derecha - Material carbonatado sin reacción.	63
Fotografía 7. Cámara de humedad y temperatura controlada.....	67
Fotografía8. Piscina de curado.	67
Fotografía9. Izquierda - Agregado en una condición SSS. Derecha – Bolón volumétrico usado en la prueba.....	73
Fotografía10. Izquierda - Detalle de la probeta en la máquina de ensayo. Derecha - Probeta en la maquina universal Shimadzu.	75
Fotografía 11. Montaje del ensayo de Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU).	76
Fotografía12. Izquierda - Prueba en ensayo. Derecha - Fotografía del reservorio.	77
Fotografía13. Muestras en ensayo.....	79
Fotografía14. Izquierda - Muestras en el desecador. Derecha - Muestra con recubrimiento epoxico.	79
Fotografía15. Izquierda - Probetas en inmersión por 48 horas. Derecha - Probetas hirviendo al finalizar el periodo de 5 horas.....	80
Fotografía16. Izquierda - Molde utilizado en la fabricación de las probetas. Derecha - Probetas en la cámara de humedad y temperatura controlada.	81
Fotografía17. Muestras de mortero en la solución de sulfatos.....	82
Fotografía18. Izquierda- Muestra de solución siendo procesada. Derecha - Aparato de medición de pH.....	82
Fotografía19. Muestra del aire atrapado en la mezcla A.....	129
Fotografía20. Muestra del aire atrapado en la mezcla AN25.	130
Fotografía21. Muestra del aire atrapado en la mezcla BN50.	130
Fotografía22. Muestra del aire atrapado en la mezcla AS50.....	130
Fotografía23. Muestra del aire atrapado en la mezcla AN50.	131

Fotografía24. Identificación de etringita en la mezcla A.	132
Fotografía25. Identificación de etringita en la mezcla AN25.....	132
Fotografía26. Identificación de etringita en la mezcla BN50.....	132
Fotografía27. Identificación de etringita en la mezcla AS50.....	133
Fotografía28. Identificación de etringita en la mezcla AN50.....	133
Fotografía 29. Cristales de Etringita en el mortero. Obtenido de (Gemelli, Lourenci, Folgueras, & Camargo, 2004).....	133
Fotografía30. Fisuras en la mezcla A.	135
Fotografía31. Fisuras en la mezcla AN25.....	135
Fotografía32. Fisuras en la mezcla BN50.....	135
Fotografía33. Fisuras en la mezcla AN50.....	136

Carbonatación acelerada de agregados finos reciclados y su influencia en mezclas de mortero

Muñoz, Andrés

Resumen

Los agregados reciclados, obtenidos de los residuos de la demolición y construcción, han demostrado ser una alternativa económica, ambiental y técnicamente viable para su uso en nuevos proyectos de construcción, donde, además, haciendo uso de tecnologías de captura de CO₂, se puede mejorar las propiedades de dichos residuos para su uso en aplicaciones estructurales. La presente investigación evalúa algunas de las propiedades a corto, mediano y largo plazo de mezclas de mortero con reemplazos en distintas proporciones de agregado reciclado carbonatado por natural. El agregado reciclado utilizado en la investigación fue obtenido en laboratorio, mediante la trituración de núcleos de concreto sin caracterizar y de diversa procedencia. Se preparan un total de 10 mezclas de mortero, con porcentajes de reemplazo de 0, 25 y 50%, para las cuales fueron determinadas algunas de sus propiedades mecánicas a 3, 28, 90 y 180 días. El análisis comparativo se realiza para cada una de las edades junto con un análisis por microscopía electrónica de barrido que se realiza a los 28 días. Los resultados obtenidos, demuestran una mejoría en la resistencia a la compresión del mortero conforme se incrementa el porcentaje de reemplazo del AFRC (agregado fino reciclado carbonatado), una menor sortividad y tasa de absorción superficial inicial, además de una mejora de calidad en el concreto, según la velocidad de pulso ultrasónico.

Palabras clave: concreto reciclado, carbonatación, agregado, sulfatos, mortero, propiedades mecánicas, propiedades de durabilidad.

Accelerated carbonation of recycled fine aggregates and it's influence in mortar mixes

Muñoz, Andres

Abstract

The recycled aggregates, obtained from demolition and construction works, have proven to be feasible in an economic, environmental, and technically way for its use in new construction projects, with which alongside the use of a CO₂ capture technology, it can be improved the properties of said aggregates for structural applications. The present investigation evaluates some properties in a short, medium, and longtime range of mortar mixes with replacements of carbonated recycled aggregates in different proportions. The recycled aggregates were obtained in the laboratory, with means of mechanical crushing of discarded concrete cylinders without any characterization or clear origin. It was prepared a total of 10 different mixes, with replacement percentages of 0, 25 and 50%, for whom were determined some mechanical properties at 3, 28, 90 and 180 days. Comparatives analyses were done for each age along with a scanning electron microscope done at 28 days' samples age. The results obtained, shown an improvement in the mortar compressive resistance in a linear way with the recycled aggregate concrete (RAC), also, it was obtained a lesser sorptivity and initial absorption rate, with a better mortar quality according to the ultrasonic pulse velocity tests.

Key Words: Recycled concrete, carbonation, aggregate, sulfate, mortar, mechanical properties, durability properties.

1. Introducción

Se debe admitir en primer lugar la íntima relación que existe entre progreso económico, manejo ambiental y conflicto social, que surge como resultado de los rápidos procesos de industrialización y desarrollo humano (Goosen, 2012), que han tenido lugar en los últimos años alrededor del mundo. Uno de estos procesos se representa como el rápido desarrollo de la construcción debido a la versatilidad que se ha encontrado en el concreto, principalmente por su alta resistencia, bajo costo de mantenimiento, resistencia al ambiente, economía sobre otros materiales y su gran rendimiento estructural (Behera, Bhattacharyya, Minocha, Deoliya, & Maiti, 2014).

Los efectos de la producción del concreto son factores claves que deben entrar en consideración principalmente por la utilización extensiva de este material alrededor del mundo (Fernández-Jiménez & Palomo, 2009). Esta popularidad ha llevado a alcanzar un consumo anual mundial de concreto cercano a los 20 billones de metros cúbicos, doblando la huella de carbono emitida en su proceso de producción, en tan solo 15 años (1990-2005) (Mehta & Meryman, 2009), donde la mayor parte de la generación del gas invernadero procede de la producción del Clinker (ibíd.).

Extendiendo lo anterior, es claro que la industria de la construcción consume gran cantidad de recursos renovables y no renovables, en cuanto a que es responsable de un 50% de la toma de materia bruta de la naturaleza, además de consumir un 40% de la energía total y producir un 50% del total de residuos de los vertederos (Oikonomou, 2005). La principal razón de la existencia de estos últimos, se debe a la demolición de estructuras que han cumplido con su vida útil o que no cumplen con requisitos de normativas de seguridad y sismo-resistencia, además de aquellas que han sido dañadas de forma irreparable durante desastres naturales (ibíd.).

El caso colombiano no es diferente, a pesar de la gran cantidad de residuos que se generan como subproductos de la demolición de estructuras y residuos de construcción, solo se recicla un bajo porcentaje de estos; como en la ciudad de Bogotá, donde se recicla solo entre el 5 y el 10% (Castaño, Misle Rodríguez, Lasso, Gómez Cabrera, & Ocampo, 2013) de 2.000 m³/año per cápita de residuos constructivos (Castaño et al., 2013). A comparación, en la ciudad de Cali, valle del cauca, se genera diariamente un promedio de 2.480 m³ de residuos sólidos, de los cuales hasta el 40% es reutilizado (Pedro Matthey, Rafael Robayo, Yimmy Silva, Norman Alvarez, 2014).

Debido a lo anterior, se ha venido desarrollado metodologías para subsanar el problema del deterioro del medio ambiente y la disposición de los residuos de construcción y demolición de estructuras de concreto, con fines de utilizarlos en nuevas mezclas de mortero o concreto, como reemplazo total o parcial de los agregados naturales; en términos comparativos, este agregado reciclado presenta una mayor absorción de humedad, menor densidad aparente y nominal, menor coeficiente de forma, y menor resistencia al desgaste en la máquina de Los Ángeles, junto con el ensayo de MicroDeval (Castañeda, 2013). El reemplazo total o parcial de agregado natural por los residuos de concretos tratados en plantas de reciclaje, permite ahorrar recursos naturales y por tanto disminuir la exigencia sobre el medio ambiente, sin mencionar posibles ahorros económicos si el reciclaje y la trituración se hace en el sitio del proyecto. Esto ha hecho que este proceso se haya vuelto tendencia principalmente en países Europeos y algunos Latinoamericanos en las últimas décadas (Tovar Rodriguez, 2011).

Con respecto a las políticas que rigen la utilización de los residuos de construcción, se han realizado estudios que comparan las normativas de diversos países y como cada una de ellas regula el uso de los agregados reciclados; (P. Goncalves y J. de Brito, 2010) encontraron, que como control general en la mayoría de estas, se pueden identificar tres principales puntos; el primero concerniente a la clasificación de los agregados reciclados, el segundo que trata los requerimientos mecánicos y de durabilidad, y el tercero que regula su campo de aplicación. Con respecto a esta última categoría se encuentra que las normativas especifican el porcentaje de reemplazo del agregado natural por reciclado, además de los campos de aplicación (estructural y no estructural), y la mínima resistencia permisible del concreto. Los autores además aclaran que en muchos de los países no está permitida la utilización del agregado fino reciclado, siendo la normativa Brasileña y Japonesa la excepción, principalmente por su baja demanda y su uso en aplicaciones no estructurales (Brito & Gonçalves, 2010).

Cabe mencionar, en el contexto de las normativas de uso del agregado reciclado de concreto, la **Resolución 2397** (*Por la cual se regula técnicamente el tratamiento y/o aprovechamiento de escombros en el distrito capital, Secretaria distrital de Ambiente, Bogotá, 2011*) que creó un nuevo nicho en el mercado, en el cual empresas de reciclaje pueden recolectar, tratar y distribuir los residuos de la construcción para después venderlos a constructoras, dado que según la normativa, para el 2016 se deben utilizar al menos un 25% de concreto reciclado en los nuevos proyectos de

infraestructura. Para lograr dicho aprovechamiento, se hace un tratamiento de estos residuos en plantas especializadas, con un esquema básico de funcionamiento como se describe a continuación:

1. Ingreso del RCD por medio de volquetas, provenientes de las diferentes partes de la ciudad.
2. Inspección y evaluación del residuo, comprobando que sean aprovechables en la cadena de valor.
3. Separación de los residuos por tipo y tratamiento a realizar.
4. Trituración del RCD, realizado a través de una trituradora de mandíbulas, triaje manual o sistemas de cribado, hasta la zona de acopio final según su granulometría.
5. Despacho a los diferentes agentes que aprovecharán el material resultante.

Dentro de los agregados reciclados se distinguen dos tipos: Agregado Reciclado Grueso (ARG) y Agregado Reciclado Fino (AFR), que aparte de su origen, comparten otra característica: Cuentan en sus partículas con pasta de cemento adherida, material que crea una capa porosa y quebradiza, el cual además de aumentar la porosidad de la nueva mezcla disminuye también su calidad y propicia el nacimiento de micro-fisuras dentro del concreto o mortero nuevo (Geng & Sun, 2013a).

Existen tres tipos principales de agregados reciclados utilizados con frecuencia en la construcción de obras civiles, que son producidos y certificados en plantas especializadas, estos son: Concreto triturado, mampostería triturada y escombros mixtos de construcción. (R. V. Silva, Neves, de Brito, & Dhir, 2015). Diversos autores han realizado pruebas de mezclas de concreto utilizando reemplazos parciales de agregados reciclados ya sean gruesos, finos o desechos de bloque de arcilla. Para los primeros se reporta que sin importar las condiciones de curado y adiciones de ceniza volante en las muestras de concreto, fueron capaces de alcanzar una resistencia superior a la de diseño reemplazando el 100% de los agregados naturales gruesos y 60% de los agregados finos con sus contrapartes recicladas (Sim & Park, 2011). También se ha encontrado que un reemplazo del 40% del agregado grueso natural por reciclado no produce disminución de los valores de las propiedades mecánicas del concreto y, además, la resistencia a compresión del concreto con este valor de reemplazo fue similar a la de la muestra control, mientras que la de concreto con 20% de reemplazo de agregado natural por el mismo tipo de ARC fue ligeramente superior (Castañeda, 2013; Evangelista & de Brito, 2010). Lo anterior se comprueba en ensayos donde en términos de características mecánicas y de durabilidad no existe una diferencia significativa entre los agregados naturales de fuentes controladas y aquellos obtenidos como residuos constructivos o productos de

demolición (Pedro, de Brito, & Evangelista, 2014). Resultados similares se han encontrado también con pruebas de reemplazo de agregado fino reciclado utilizado en mortero para mampostería (Ledesma et al., 2014) y además con desechos de bloque de arcilla donde las propiedades mecánicas de dichas mezclas es comparable con aquellas encontradas en los concretos con contenido de agregado reciclado (Chaparro, 2012).

Las principales diferencias entre el agregado natural y el reciclado se mencionaron anteriormente, pero se agrega que la mayoría de estas diferencias implica para el agregado reciclado un impacto negativo en las propiedades mecánicas de la mezcla de mortero/concreto (Shi et al., 2015), sin embargo, esto no debería restringir su utilización en un marco constructivo, sobre todo considerando que en específicas aplicaciones y limitando el porcentaje de reemplazo con adecuados criterios de diseño, se llega a convenientes niveles de eficiencia (Evangelista, Guedes, Brito, Ferro, & Pereira, 2015).

Debido a la atención generada por las posibilidades que ofrecen los concretos y morteros con agregados reciclados, se han desarrollado y estudiado métodos para mejorar las propiedades de estos; entre los principales estudios sobresale la utilización de dióxido de carbono para hacer un pre-tratamiento de los agregados, lo cual ha demostrado ser un método eficiente y ambientalmente amigable que mejora las características del mortero adherido en los agregados gruesos reciclados (Shi et al., 2015). Resultados obtenidos de las pruebas realizadas por (Ramezani-pour, Ghahari, & Esmaili, 2014), muestran que este tratamiento le otorga a los especímenes una mayor resistencia a la compresión y a la resistividad eléctrica, esto debido a la producción de carbonato de calcio durante el pre tratamiento con CO₂. Lo anterior es posible gracias a la reciente tecnología de captura y almacenamiento de carbono (CCS), la cual puede reducir significativamente el daño ambiental del CO₂ al almacenarlo de forma estable en una forma controlada (Sanna, Dri, Hall, & Maroto-Valer, 2012).

El reciclaje de residuos de la construcción entonces se presenta como una necesidad real, crítica y factible técnicamente en tiempos modernos, en donde la utilización de agregados reciclados es una respuesta natural a esta necesidad que debe ser acogida en cualquier tipo de proyecto si se desea llegar a un desarrollo sostenible o al menos ambientalmente responsable.

Del contexto anterior, se determina que los agregados reciclados de concreto son beneficiosos para el medio ambiente y esencial para un proceso de desarrollo sostenible. Sin embargo, estos poseen una menor resistencia que su contraparte natural, por lo que pueden generar un impacto negativo en las propiedades mecánicas del concreto o mortero en el que se utilice (Shi et al., 2015). Para remediar esta situación es factible mejorar sus propiedades a través de procesos de carbonatación acelerada, que utilicen las nuevas tecnologías de captura de CO₂.

Dado lo anterior, el propósito de este proyecto consistió en recolectar la información que ya se encuentra en el medio sobre la tecnología de la carbonatación acelerada aplicada a agregados reciclados, y cubrir el estudio de algunas propiedades mecánicas y de durabilidad de morteros, cuyo agregado natural fue reemplazado por agregados finos reciclados (AFR) carbonatados y no carbonatados, en porcentajes de 0%, 25% y 50%.

Se espera entonces que este documento brinde un aporte hacia una solución definitiva, en la que podamos cimentar un mejor futuro ambientalmente sostenible.

2. Marco Teórico

Este capítulo se centra principalmente en la descripción teórica de algunos de los conceptos claves involucrados en la presente investigación y que se considera son de utilidad para comprender los ensayos, procesos y observaciones realizadas en la investigación.

2.1. Agregado reciclado

Uno de los ejes fundamentales alrededor del cual gira el presente estudio, es el uso del agregado reciclado de concreto, clave para una construcción ambientalmente responsable. Este agregado se puede obtener en su mayoría de los residuos de demolición de construcciones o elementos de concreto puestos fuera de servicio, sin embargo, es factible también de obtener de las nuevas obras, en forma de: Residuos de las plantas de mezclado y prefabricado, operaciones de concreto lanzado e inclusive, de las muestras utilizadas para el control de calidad en obra/planta (Behera et al., 2014).

Para lograr un aprovechamiento de los residuos de construcción, este primero debe ser ingresado en una planta de tratamiento especializada, con un esquema básico de funcionamiento como se describe a continuación (Castaño et al., 2013):

1. Ingreso del RCD por medio de volquetas, provenientes de las diferentes partes de la ciudad.
2. Inspección y evaluación del residuo, comprobando que sean aprovechables en la cadena de valor.
3. Separación de los residuos por tipo y tratamiento a realizar.
4. Trituración del RCD y su traslado hasta la zona de acopio final según su granulometría.
5. Despacho a los diferentes agentes que aprovecharán el material resultante.

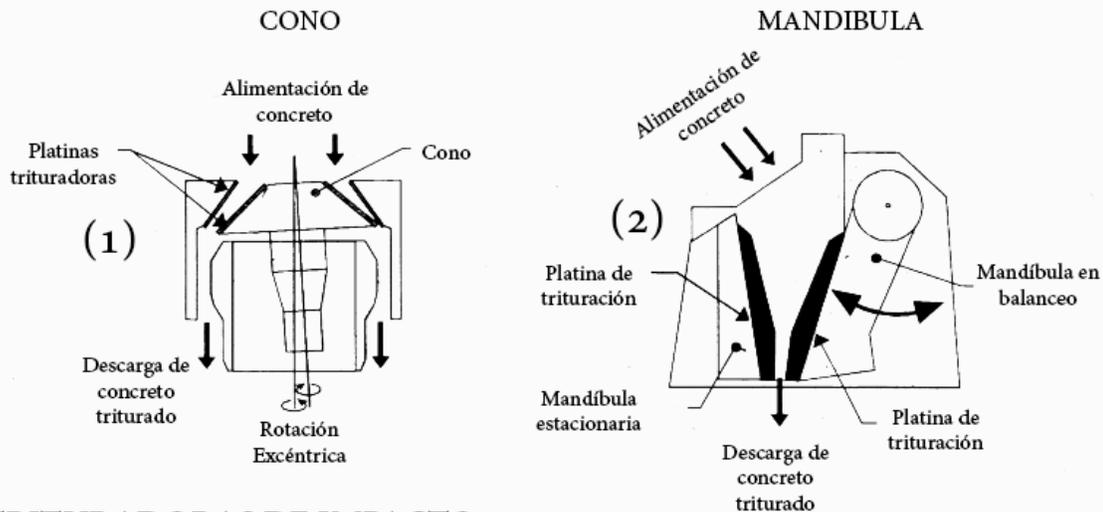
Profundizando en el proceso de la trituración de los agregados, se aclara que esto se realiza a través de una de las muchas técnicas que existen en la actualidad: Trituradoras de compresión, como la de cono o mandíbula, y las de impacto, que se pueden utilizar en una posición vertical u horizontal (ECCO, 1999). Se introduce entonces la Ilustración 1, en la cual se muestra esquemáticamente los 4 diferentes tipos de trituradora existentes.

De estas trituradoras, se utiliza generalmente las de mandíbula para una primera trituración (2), dado el gran tamaño de los bloques que acepta, mientras que para una segunda trituración se prefiere una trituradora de impacto (3 y 4), dado que estas generan una mejor calidad de agregado con una menor cantidad de mortero adherido (Behera et al., 2014). Un manejo de los residuos a través de los procesos de trituración primaria y secundaria permite llegar a las curvas de gradación deseadas, facilitando su correcta incorporación en las mezclas de concreto o mortero.

Otras técnicas de aprovechamiento de los residuos de construcción, que permiten obtener agregado reciclado son los siguientes: Método de la disolución en ácido nítrico, tratamiento por ablandadores, método de congelamiento-descongelamiento, método de expansión térmica, método de calentamiento por micro-hondas, método de molienda y tratamiento por ultrasonido, entre otros. (Behera et al., 2014)

Es necesario tener en cuenta, durante el proceso de trituración, la remoción de todo acero de refuerzo y otros elementos embebidos dentro del concreto, teniendo además cuidado de prevenir la contaminación por polvo u otros desechos constructivos, como tuberías y yeso (ECCO, 1999).

TRITURADORAS DE COMPRESIÓN



TRITURADORAS DE IMPACTO

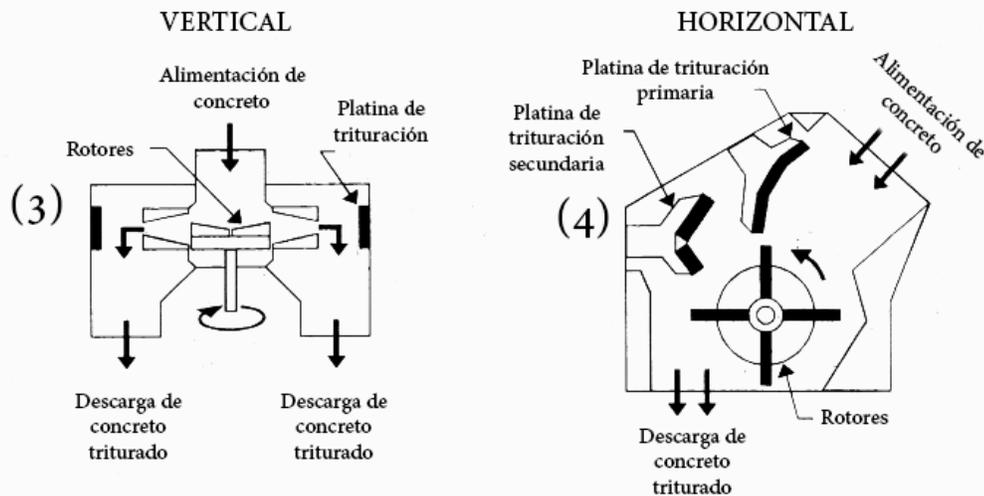


Ilustración 1. Diferentes tipos de trituradoras (Impacto y Compresión) (ECCO, 1999)

El concreto reciclado, tanto en su forma gruesa como fina, es usado en diversas aplicaciones no estructurales y estructurales (ECCO, 1999), tales como: Rellenos, bases drenantes, sub-bases de pavimentos, concreto asfáltico, y para la construcción de andenes, bolardos, bordillos, sardineles y cimentaciones.

Respecto a la resistencia del concreto origen en la trituración, se distingue un rango de resistencia entre 17.5 MPa y 25 MPa, donde esta se verá influenciada por la edad del concreto al momento de la trituración (Ccañz, 2011) y las afectaciones a su durabilidad, como el nivel carbonatación, los iones de sulfato y cloruro ya presentes en la pasta, presencia de la reacción álcali-sílice u otros efectos

que haya sufrido en su vida útil y, que finalmente, pueden afectar de forma negativa la resistencia del concreto hecho con el material reciclado.

2.2. Mecanismos de transporte en el concreto

En el mortero, y por defecto también en el concreto, existen diversos procesos que afectan tanto sus propiedades mecánicas como su durabilidad, ya sea el ataque de sulfatos, la carbonatación, la reactividad álcali-sílice, e inclusive, el daño por congelamiento. Sin embargo, para que estos se lleven a cabo, es necesario el transporte de los agentes dañinos del ambiente al interior del material (P. a. Claisse, 2005), por cualquiera de los mecanismos actualmente identificados: La permeabilidad, la cual es debida a los diferenciales de presión; La succión capilar, la cual debe su afecto a la acción dentro de los capilares del concreto; La difusión, como consecuencia de los gradientes de concentración y la migración, originada por un gradiente eléctrico.

A continuación, se presenta cada uno de los mecanismos anteriormente nombrados y se especifica su incidencia en una pasta endurecida de cemento, tratando sus ecuaciones y su principio físico.

2.2.1. Permeabilidad

La permeabilidad, en términos simples, es la propiedad que tiene un fluido, sea líquido o gas, de fluir a través del material cuando se aplica un diferencial de presión (P. A. Claisse, 2014). En ciertas estructuras, tales como túneles, presas o muros de contención, la presión se debe generalmente a un diferencial por un elemento externo, como volúmenes de agua o suelo, sin embargo, puede ser la succión capilar la que crea el diferencial (P. A. Claisse, 2014). El flujo a través de los poros del concreto se define a través de la ley de Darcy's:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{K * \Delta P * A}{L * \mu}$$

Donde:

dq/dt = Flujo del fluido (m^3/s).

μ = Es la viscosidad del fluido ($N s/m^2$).

K = Representa la permeabilidad intrínseca del concreto (m^2).

ΔP = Es la cabeza aplicada de presión (Pa).

A = Es la sección del corte transversal de la sección (m^2).

L = Es el espesor del espécimen (m).

La ecuación anterior debe ser ajustada dependiendo del tipo de fluido considerado, si este es líquido o gas. Mediante esta consideración, se ha encontrado que la permeabilidad de las pastas de cemento depende de la porosidad capilar, donde el coeficiente de permeabilidad decrece conforme lo hace la relación agua/cemento de la mezcla e inversamente según el nivel de hidratación de la pasta (Bertolini, Elsener, Pedferri, & Polder, 2004). Vale la pena anotar, que las condiciones para la medición de la permeabilidad para un tipo de fluido serán propias a este y ensayos solo podrán ser comparados si reúnen las mismas condiciones en su ejecución.

Existen diversas normativas y procedimientos de ensayo que buscan determinar la permeabilidad del concreto a través de la aplicación de un gradiente de presión, entre algunas de estas se encuentran: El estándar europeo EN 12390-8, el alemán DIN 1048 y el británico BS 1881: Parte 1. Sin embargo, se ha demostrado que estos ensayos no necesariamente representan la durabilidad de un concreto/mortero, en cuando que los agentes agresivos ingresan al material en condiciones diferentes a las normales en campo (Bertolini et al., 2004).

2.2.2. Succión Capilar

La succión capilar es un proceso por el cual un líquido es absorbido por el material a través de una red fina de poros. Este mecanismo depende de diversas variables, como la tensión superficial del líquido, su densidad y viscosidad, además del ángulo de contacto entre el líquido y las paredes de los poros, junto con su radio. Un ejemplo del nivel del agua que se alcanza dependiendo del radio de poros se representa en la siguiente imagen:

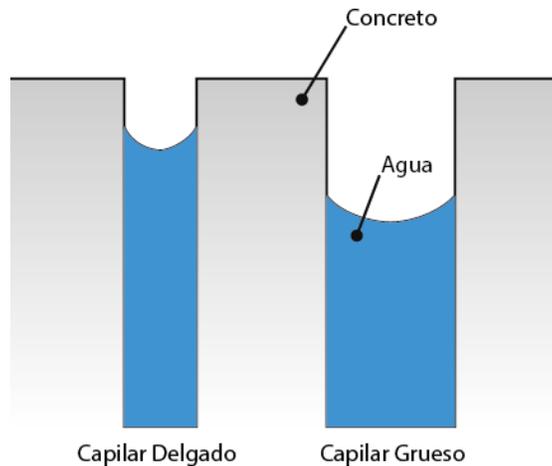


Ilustración 2. Nivel del agua en el capilar según diámetro (Fuente propia)

Se ha comprobado que, la acción capilar es más fuerte mientras más pequeño sea el radio de los poros, sin embargo, mientras más pequeño sea este, más lento será el transporte del líquido debido a un aumento en la fricción (Bertolini et al., 2004). Según lo anterior en una pasta de cemento, mientras más alta sea la porosidad, mayor será la absorción de agua por acción capilar.

De resultados experimentales y observaciones en el laboratorio, se ha notado que la absorción capilar sigue la siguiente relación:

$$i = S * \sqrt{t}$$

Donde:

i = Absorción capilar, determinado como un cambio de masa o volumen en el tiempo (m^3/s o g/m^2).

S = Variable que depende de las características del concreto $g/(m^2s^{0.5})$.

t = Tiempo (s).

Según la literatura, valores típicos de S varían de $5 g/(m^2s^{0.5})$ para un concreto de resistencia normal (43 MPa), a $0.7 g/(m^2s^{0.5})$ para uno de alta resistencia (90 MPa) (Bertolini et al., 2004). Uno de los factores que puede afectar considerablemente el valor de esta variable, es el proceso de secado al que se sometió la muestra, dado que puede haberse generado micro-grietas que afectaran los valores obtenidos de absorción. Un proceso de secado recomendado es exponer las muestras en un cuarto con humedad y temperatura controlada a $20\text{ }^\circ\text{C}$ y 65% de HR antes del ensayo o, utilizar un horno a $40\text{ }^\circ\text{C}$ hasta que la muestra tenga una masa constante (*ibíd.*).

Algunas de las normativas que se utilizan para determinar la absorción son la ASTM C1585 y la británica BS 1881: Parte 122.

2.2.3. Difusión

El mecanismo de la difusión, es aquel por el cual un ion puede pasar a través de un concreto saturado sin flujo de agua, únicamente por efectos de un gradiente de concentración. Los iones como el O₂, CO₂, Cl⁻ y SO₄ se mueven a través de los poros presentes en la superficie del material, desde zonas de mayor concentración a zonas internas, donde la concentración es menor. Los gases tienen una mayor difusión a través de poros que se encuentran saturados de agua, sin embargo, algunos como los cloruros e iones de sulfato solo ingresan por difusión cuando están disueltos en agua de poros (Bertolini et al., 2004). Un ejemplo de un sencillo caso de difusión es la disolución de sal en un recipiente de agua, donde eventualmente se llegara a un estado de homogénea concentración de la sal en el volumen del líquido, esto es gracias al mecanismo de la difusión (P. A. Claisse, 2014).

En términos generales, existen dos tipos de difusión, la estacionaria y la no estacionaria. La primera de ellas se utiliza para un flujo de masa unidireccional y constante, mientras que la segunda para el caso contrario. La difusión estacionaria se rige por la primera ley de Fick's:

$$F = -D \frac{dC}{dx}$$

Donde:

F = Es el flujo continuo de ion (kg/m² s).

C = Es la concentración del elemento (ion) en difusión (kg/m³) a una distancia x desde la superficie.

D = El coeficiente de difusión (m²/s), el cual depende del material, el elemento que está en difusión, el estado de la red de poros y las condiciones ambientales.

Para la difusión no estacionaria, como generalmente ocurre en los concretos y morteros, se utiliza la segunda ley de Fick's:

$$\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2C}{dx^2}$$

En la ecuación anterior, se asume que: 1) la concentración del ion en difusión y por tanto su coeficiente es constante en el tiempo, 2) El concreto es homogéneo, 3) El coeficiente de difusión no varía en profundidad y, 4) el material inicialmente no tiene ningún contenido de cloruros (Bertolini et al., 2004).

Según la literatura, algunos elementos que entran en difusión al concreto, pueden unirse hasta cierto punto con algunos componentes de la matriz de cemento, como los cloruros que se unen a las fases de aluminato o que son absorbidos por el gel C-S-H; y el dióxido de carbono, que reacciona con los componentes alcalinos, en especial con el hidróxido de calcio, Ca(OH)_2 (ibíd.). El proceso gradual de las anteriores reacciones modificara las condiciones de la difusión, la cual ya no puede ser descrita simplemente por las leyes de Fick's y requieren de un coeficiente de corrección.

Igual como se verá en el mecanismo de *migración* más adelante, las moléculas de CO_2 se mueven a través de la red de poros del concreto, lo cual permite su difusión al interior de este.

2.2.4. Migración

La migración (o electro-migración, como a veces es llamada) ocurre cuando un campo eléctrico, ocasionado por un diferencial de voltaje, fuerza el flujo de iones a través del material. La velocidad del movimiento que puede llegar a desarrollar el ion es proporcional a la fuerza del campo eléctrico, la carga y el tamaño del ion (Bertolini et al., 2004).

Para el caso de una matriz de cemento, un material no conductivo, se debe medir la electro-migración como una resistencia eléctrica en función del contenido de agua, el tipo de cemento utilizado, la relación agua/cemento, la presencia de iones de cloruros dentro del material y si el concreto se encuentra carbonatado o no. De la misma forma, la resistividad varia con la edad, incrementándose, debido a la hidratación del cemento (ibíd.).

Se puede establecer una relación entre la movilidad de un ion y el coeficiente de difusión D, según la ecuación de Nernst-Einstein (P. A. Claisse, 2014):

$$D = \frac{RT\sigma}{z^2 F_a^2 C}$$

Donde:

D = El coeficiente de difusión (m^2/s).

R = Constante de los gases, 8.31 J/mol/K.

T = Temperatura (K).

Z = Valencia del ion (La carga de este dividida por la carga del electrón).

F_a = Constante de Faraday, 9.65×10^4

En este mecanismo, los iones se mueven a través de la red de poros del material, por lo que su velocidad se ve afectada por el tamaño de los poros, su geometría, nivel de saturación (los iones solo se transportan en poros saturados) y distribución (Bertolini et al., 2004).

Según lo anterior, puede considerarse la resistividad del concreto como una medida de la susceptibilidad a la migración de iones de cloruro dentro del concreto/mortero, que puede ser determinada en un ensayo de resistividad, como el descrito en la ASTM C-1202.

Por último, se aclara que en la realidad no existe la actuación única de los mecanismos de transporte, por el contrario, se presenta generalmente una combinación de estos que permiten el transporte de los agentes nocivos en el concreto, por lo que un amplio rango de propiedades de este siempre deben ser consideradas (Bertolini et al., 2004).

2.3. Carbonatación del Concreto

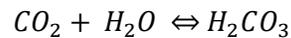
La carbonatación, en términos generales puede considerarse un proceso químico único, sin embargo, según la escala de tiempo en la que sucede y su aplicación en la ingeniería permite clasificarlo en las dos maneras siguientes.

2.3.1. Carbonatación Natural:

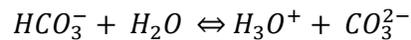
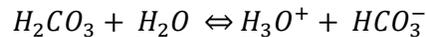
La carbonatación es un proceso natural que ocurre cuando el CO_2 atmosférico, que se encuentra naturalmente entre una concentración de 0.03 y 0.06 % v/v, entra en contacto con los silicatos alcalinos naturales del concreto (Pan, Chang, & Chiang, 2012).

Un detallado estudio de las reacciones químicas del proceso de la carbonatación tal como ocurre en el concreto, es dado por varios autores como (Fernández Bertos, Simons, Hills, & Carey, 2004) y (Johannesson & Utgenannt, 2001). Se recapitula el proceso brevemente: La carbonatación empieza con el CO_2 que se encuentra de forma gaseosa en la atmosfera y entra en contacto con el concreto,

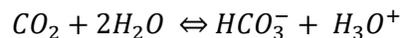
penetrando su superficie. Después de la difusión inicial, el CO_2 se disuelve en el agua de poros como ácido carbónico, según la siguiente estequiometría:



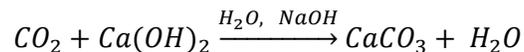
Este ácido se disocia en los iones HCO_3^- y CO_3^{2-} que terminan disminuyendo el pH del agua, dado que propician la formación de H_3O^+ :



Simplificando las ecuaciones anteriores, tenemos:



Es de interés notar en el desarrollo de esta reacción, que el proceso de carbonatación consume los álcalis del cemento al reaccionar con el hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) o el gel de silicato de calcio hidratado (C-S-H). En especial el hidróxido de calcio es la molécula que reacciona con mayor facilidad ante la presencia del CO_2 (Bertolini et al., 2004). La reacción, que ocurre en una solución acuosa, puede ser escrita como:



Según es mencionado por (J. H. M. Visser, 2014), la principal fuerza que rige la carbonatación es la formación del carbonato de calcio ($CaCO_3$), el cual es insoluble por encima de un pH de 5 y solo se precipita por debajo de un pH de 8, lo cual conduce la ecuación anterior hacia la derecha. En otras palabras, la formación del carbonato de calcio ($CaCO_3$) continuará mientras el pH no caiga por debajo de 8 y existan material para la reacción, es decir, mientras exista gas carbónico e hidróxido de calcio, o en su defecto gel de silicato hidratado cuando se agote el anterior, como en el caso de un concreto adicionado con puzolanas en reemplazo del cemento. Otras fuentes de calcio que están presentes en las fases del cemento y permiten la carbonatación son: la etringita (Aft) y el mono-sulfato hidratado (AFm).

En el momento que todo el calcio disponible haya sido consumido y no queden otros componentes que sean fácilmente solubles se detendrá la reacción y el pH se detendrá en su caída para estabilizarse en un valor cercano a 9.

En las revisiones realizadas por (Bertolini et al., 2004) se identifica que la carbonatación del hidróxido de calcio y el gel de silicato hidratado tiene efectos diversos en el concreto. Se sugiere que el consumo de $Ca(OH)_2$ en la reacción produce expansión, mientras que hay contracción para el caso de la carbonatación del C-S-H. De lo anterior, los concretos que se encuentran adicionados con puzolanas sufren un deterioro debido a la carbonatación, dado que estas consumen el hidróxido de calcio en la reacción; por otra parte, los concretos hechos únicamente con cemento portland reducen su porosidad durante la carbonatación y mejoran su resistencia debido a la formación y precipitación del hidróxido de calcio.

Generalmente existe una franja de concreto medida desde el exterior hacia el interior del elemento donde ha ocurrido la carbonatación de la pasta de cemento. En los límites de avance de esta franja hay un cambio brusco entre concreto carbonatado y no carbonatado. Esto se debe esencialmente a la necesidad de una reacción completa de todos los álcalis del cemento antes de que las moléculas de CO_2 puedan penetrar más. Es entonces por conveniencia y debido a la metodología de rociar fenolftaleína para identificar las zonas carbonatadas que se encuentran con un pH de 9, que esta zona bien definida se conoce como el frente de carbonatación (J. Visser, n.d.).

Según lo anterior, la carbonatación del concreto depende del contenido de álcalis presente y la permeabilidad de este, dado que el CO_2 debe primero ingresar al material para generar el frente. Sin embargo, esta reacción depende también de factores ambientales, como la humedad, temperatura y la concentración del gas (CO_2). A continuación se realizara una revisión breve de estas variables (Bertolini et al., 2004).

Humedad: En esencia, durante la reacción de carbonatación las moléculas de CO_2 en su difusión se mueven a través de toda la red de poros del concreto, sin embargo, para que este mecanismo ocurra el gas carbónico debe estar disuelto en agua y los capilares del concreto estar parcialmente saturados. Expandiendo lo anterior, la difusión del CO_2 no ocurrirá en concreto que se encuentre completamente seco ni en aquel que se encuentre completamente saturado.

Según lo anterior, existe un rango de humedad relativa óptimo en el cual se desarrolla la reacción de interés. La gráfica siguiente muestra la relación entre la variable anterior y la tasa de carbonatación en el concreto, donde se identifica un intervalo entre 60% y 70% como el rango óptimo de humedad relativa.

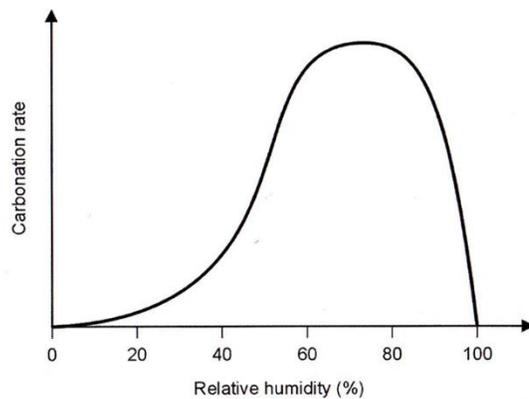


Ilustración 3. Relación entre la tasa de carbonatación y la humedad relativa del ambiente.

Debido a lo anterior, el clima local afecta en gran manera el progreso de la carbonatación en una misma estructura. Tómesese por ejemplo el exterior de una edificación, que se encuentra en un gran contraste con el interior como consecuencia de la exposición directa a la lluvia, sol y al aire que no se presenta en el segundo. Dado que el concreto se humedece mucho más rápido de lo que se seca, frecuentes, aunque más cortos periodos de humedecimiento son más efectivos en reducir la penetración de la carbonatación que aquellos periodos más largos y poco frecuentes (Bertolini et al., 2004)

Concentración de CO₂: La concentración del dióxido de carbono que se encuentra en la atmosfera puede variar de 0.03% en ambientes rurales, a casi el 0.1% en las grandes urbes. Conforme la concentración de este gas (CO₂) se incrementa, lo mismo ocurrirá con la profundidad de carbonatación. Ensayos con el proceso acelerado han dado cuenta que una semana de exposición a una atmosfera al 4% de CO₂ causara la misma penetración por carbonatación, que aquellas muestras que han sido sometidas a un año de exposición a una atmosfera normal (Bertolini et al., 2004).

Temperatura: (Bertolini et al., 2004) explica, que un incremento en la temperatura producirá un incremento en el tasa de carbonatación, bajo la misma concentración de CO₂ atmosférico, ya sea en una condición normal o acelerada.

2.3.2. Carbonatación Acelerada:

La primera persona que propuso la carbonatación acelerada fue (Seifritz, 1990), quien expuso un método en el cual se utiliza una alta concentración de CO₂ en una cámara cerrada que reaccionaria con los silicatos pulverizados con fines de atrapar el gas y permitir una segura disposición de este.

Este método no ha cambiado mucho en las dos décadas desde que fue planteado, puesto que aún se utilizan materiales alcalinos que se disponen para reaccionar con gas de CO₂ en una alta concentración y pureza, donde se recomienda según la literatura valores de concentración de hasta el 10% sin diferencias notables en la microscopia con respecto al proceso de carbonatación natural (Morandea, Thiéry, & Dangla, 2014). Lo anterior permite acelerar la reacción en una escala de tiempo de varios días a unos minutos y horas (Johnson, 2000; Pan et al., 2012), de lo contrario el proceso tardaría años o décadas, debido a la baja concentración del gas en la atmósfera (Gunning, 2011).

Los principales factores que intervienen en el proceso de carbonatación y que se deben tener en cuenta para un efectivo proceso de carbonatación son:

Tabla 1. Resumen de los factores requeridos para una carbonatación efectiva (Pan et al., 2012).

	Fase Sólida	Fase Líquida	Fase Gaseosa
Propiedades Físicas	Tamaño de partícula	Temperatura	Presión
	Mineralogía		Tasa de flujo de CO
	Área superficial específica		Humedad Relativa
	Porosidad	Tasa Líquido/sólido	Temperatura
	Permeabilidad		
	Microestructura		
Propiedades Químicas	Composición (Contenido de Ca y CaO)	Orgánico/Inorgánico	Concentración de CO
	Metales Pesados (Pb, Cd, Ni, Cr)	Aniones/Cationes	Orgánico
	Contenido libre de agua	pH	Inorgánico
	Permeabilidad	Permeabilidad	Material Articulado

Uno de los principales factores a tener en cuenta para una posible aplicación industrializada es el tamaño de partículas del agregado, dado que la molienda es uno de los procesos más demandantes en términos energéticos en todo el proceso productivo de agregados, por lo que se debe determinar el tamaño máximo de este que puede ser utilizado (Huijgen, Witkamp, & Comans, 2006; Pan et al., 2012). De lo anterior, (Eloneva, Said, Fogelholm, & Zevenhoven, 2012) sugirió un tamaño de ~100 µm en promedio y un límite superior en torno a las 500 µm como tamaño óptimo para el proceso de carbonatación.

El desarrollo de un proceso industrial experimental y a gran escala es presentado a través de la siguiente gráfica:

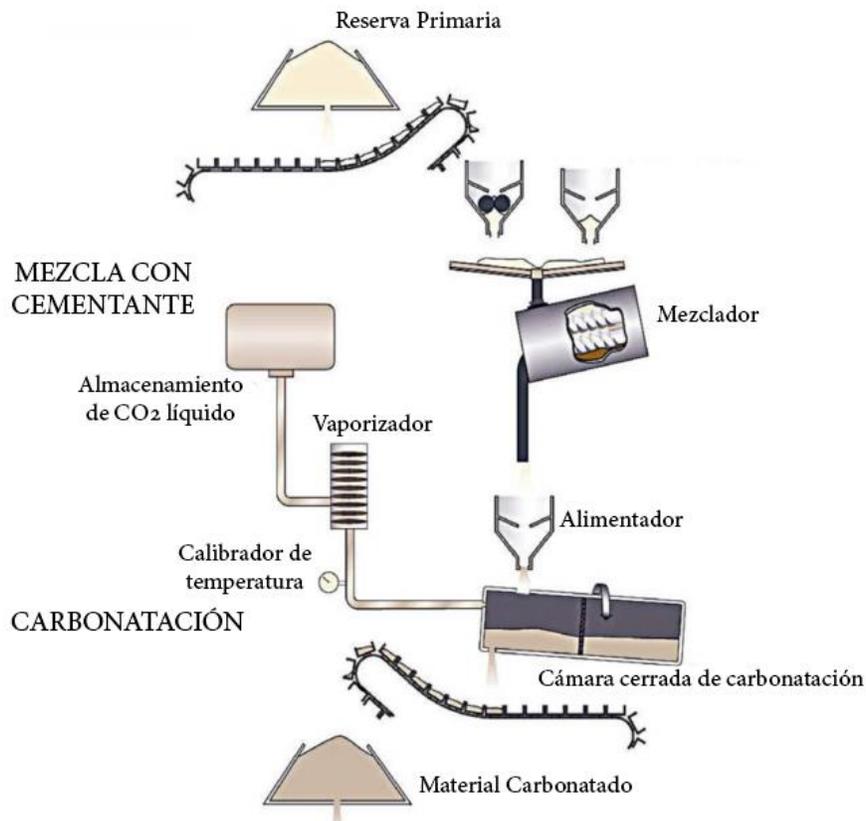


Ilustración 4. Esquema de un proceso de carbonatación acelerada (Fernández Bertos et al., 2004).

En el esquema anterior se puede observar la mezcla de los agregados y su carbonatación como procesos independientes, lo que permitiría su adaptación a las diferentes plantas de agregados existentes. Un proceso más desarrollado y continuo permitiría obtener un flujo de agregados de 50 t/h (Fernández Bertos et al., 2004).

2.4. Zona de transición Interfacial:

La zona de transición interfacial (ITZ) en el concreto/mortero, es la zona de unión entre los agregados y la pasta de cemento, formada inicialmente por la presencia de una capa de agua alrededor de los agregados durante la mezcla y más tarde en la hidratación del cemento, lo cual crea una pasta con una relación agua/cemento más alta que la circundante. Con respecto a esta zona y para un cemento normal, múltiples estudios reportan un espesor de hasta 50 μm , además de estar compuesta por partículas menos hidratadas, más porosas y una mayor concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ junto con etringita (Behera et al., 2014).

Es precisamente por esta mayor porosidad de la ITZ con respecto a la matriz de cemento que la rodea, que se considera esta zona como el eslabón más débil en las fases del cemento delimitando la resistencia del concreto/mortero (Behera et al., 2014; Lotfy & Al-Fayez, 2015; Otsuki, Miyazato, & Yodsudjai, 2003). Lo anterior en otras palabras, implica que el concreto fallará a una menor carga que la resistencia individual de la pasta o de los agregados.

A lo anterior se debe sumar una segunda interfaz en los casos de un concreto con agregado reciclado: La vieja zona de transición interfacial entre el agregado original y la pasta de cemento, además de la nueva ITZ entre el agregado reciclado con este último (Shi Cong Kou, 2006; Xiao, Lei, & Zhang, 2012).

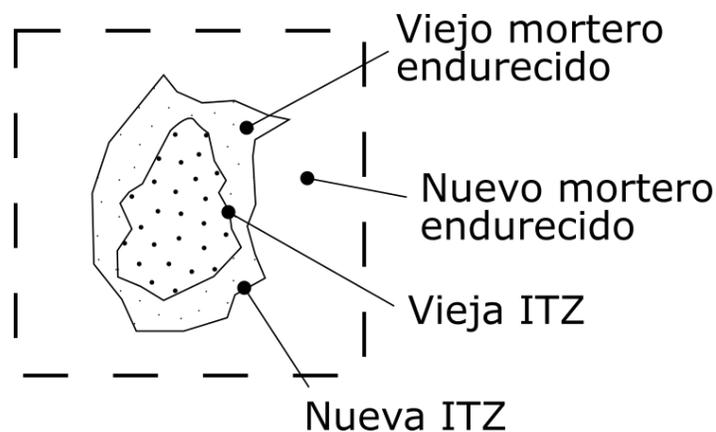


Ilustración 5. ITZ antigua en una nueva ITZ.

En un interesante estudio, (Otsuki et al., 2003) encontró que la vieja ITZ gobernaba la resistencia del concreto con agregado reciclado para los casos de una baja relación agua/cemento (0.25 para este estudio en particular), mientras que para los casos de un alto valor de esta relación, la nueva ITZ se vuelve más débil que la vieja, lo cual condiciona la resistencia del concreto a esta primera.

Debido a lo anterior, múltiples autores han sugerido la modificación de la ITZ para mejorar las propiedades no solo del concreto normal, sino también del reciclado (Katz, 2004; Kong et al., 2010). Para lograr lo anterior se ha sugerido la utilización de un método de doble mezclado (Kong et al., 2010; Shi Cong Kou, Zhan, & Poon, 2014; Otsuki et al., 2003), el cual basa su efectividad esencialmente en dividir la adición del agua de la mezcla en dos etapas, con el fin de recubrir los agregados con un mortero de menor relación agua/cemento que la mezcla final. Con menos agua cerca de los agregados, los cristales productos de la hidratación no se producirán y la ITZ se volverá más compacta. En el siguiente esquema lógico se comparan los pasos necesarios en cada uno de los métodos (simple y doble), con fines de lograr un mejor entendimiento de los procesos.

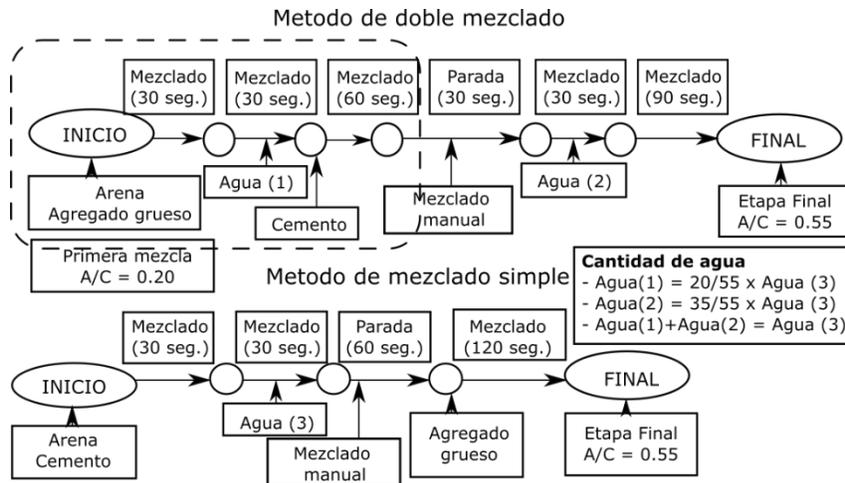


Ilustración 6. Comparación de los métodos de mezclado simple y doble (Otsuki et al., 2003).

Cabe además resaltar, el estudio de la microestructura de la ITZ realizado por (Zhang et al., 2015) a muestras de concreto no carbonatado y carbonatado, encontrado para el primer caso cristales de etringita y un agregado poroso. Para el agregado carbonatado los autores no identificaron cristales de etringita o de mono sulfatos, además de identificar una ITZ más densa y poco porosa, lo cual puede deberse a la reducción en la absorción de agua del mortero después de la carbonatación.

2.5. Determinación de la carbonatación:

En los procesos de carbonatación es importante contar con un ensayo que sea rápido, económico y nos permita determinar con un buen grado de confiabilidad la carbonatación de un concreto/mortero. Una de las opciones que cumple con las anteriores condiciones, es una solución de fenolftaleína, manejada por algunos autores como (Chi, Huang, & Yang, 2002; Roy, Poh, & Northwood, 1999) en sus investigaciones sobre concretos.

La solución de interés se prepara como una mezcla al 1% de fenolftaleína en alcohol etílico al 90%. Preparada la solución se rocía con un atomizador sobre la muestra de interés, momento para el cual el concreto no carbonatado tomara un vivo color purpura, mientras el concreto carbonatado no cambiara de color.

El método es útil, sin embargo, tiene limitaciones. La más importante a tener en cuenta se debe a la reacción (cambio de color) de la fenolftaleína en concretos, únicamente cuando estos se encuentran por debajo de un pH de 8.3 (Morandea et al., 2014) por lo que no funciona para determinar la magnitud de cambios sutiles de pH en el concreto y/o mortero.

Este ensayo puede aplicarse a la pasta de cemento endurecida, ya sea en el agregado triturado o aquella que hace parte de un espécimen cualquiera, tal como un cilindro de ensayo.

2.6. Tecnologías de captura de CO₂:

El dióxido de carbono, desde un punto de vista industrial, es generado como un subproducto de los procesos en grandes fuentes estacionarias (como plantas energéticas o de procesos industriales) o en fuentes móviles más pequeñas (tales como casas y autos), donde la tecnología de captura de CO₂ es conveniente solo para la primera (Bert M., Ogunlade D., Coninck H., Loos M., 2005), dado que se requiere de una alta concentración del gas disuelto para justificar su captura.

Ahora, para capturar el CO₂ se debe en primer lugar separarlo de los demás gases resultante de la combustión, para luego comprimirlo y purificarlo, facilitando su transporte. Cada uno de los tres sistemas siguientes es capaz de capturar el dióxido de carbono disuelto, producido por un combustible fósil primario (carbón, gas natural o petróleo), por la biomasa o por una mezcla de los anteriores. Los sistemas son: Post-combustión, Pre-combustión y Oxidación (GreenFacts, 2005), los cuales se presentan a continuación:

- **Sistemas de Post-combustión o Secuestro de CO₂:** Para este sistema, los gases que resultan de un proceso de combustión y que contienen pequeñas cantidades de CO₂, es pasado por un líquido que captura únicamente el dióxido de carbono, siendo posible liberar el gas al calentar el líquido o liberar la presión almacenada. Entre los procesos más factibles, ya sea por desarrollo técnico o costo económico, se encuentra el ciclo de Calcinación – Carbonatación y la absorción química con aminas. A continuación, se hace un repaso general de todos los procesos que hacen uso de este sistema.

Absorción Química: En este proceso, el dióxido de carbono reacciona con un compuesto químico (generalmente aminas), que tiene gran afinidad por compuestos ácidos, como el gas nombrado. Este sistema es el más usado comercialmente, dado su bajo costo, facilidad y alto grado de eficiencia en la captura del gas (90% o más), debido a la rápida cinética y fuerte reactividad de la reacción de adsorción (Brunetti, Scura, Barbieri, & Drioli, 2010).

Ciclo de calcinación/carbonatación: Para este proceso, que también utiliza principios de absorción química, usa como sorbente la caliza, en cuanto a la capacidad de esta para almacenar el CO₂ a través de la carbonatación del óxido de calcio (CaO) para formar

carbonatos. El CO_2 se puede recuperar al calcinar el CaCO_3 , dado que produce la descomposición de este en CO_2 y CaO .

Adsorción Física: Para este se hace necesario la utilización de materiales como el carbón activo o las zeolitas, los cuales son materiales capaces de adsorber el dióxido de carbono a altas temperaturas, para luego ser recuperado al incinerar el material o aplicando cambios de presión.

Membranas: Este proceso es utilizado para la captura de altas concentraciones de CO_2 en gas natural a alta presión (Morales, Torres, & Muñoz, 2008). En esencia, se utilizan una serie de membranas que separan el CO_2 del flujo de gas entrante y lo transfieren a un líquido, el cual puede ser fácilmente separado en un proceso posterior.

Destilación criogénica: A grandes rasgos, el proceso utiliza una serie de etapas de compresión, enfriamiento y expansión, en los cuales los componentes de un flujo de gas de alta pureza se separan en cámaras de destilación. El principal problema de este sistema es el agua que pueda haber en el flujo de gas y que debe ser removida antes de iniciar el proceso, además de un elevado costo de utilización.

- **Sistemas de Pre-Combustión:** trata principalmente de utilizar gas natural o sintético (el cual puede provenir de la gasificación del carbón) y producir una mezcla principalmente de hidrógeno (H_2) y CO_2 para así separar estos dos gases mediante técnicas de descarbonización antes de la combustión. Una vez son separados estos gases, se puede utilizar métodos similares a los utilizados en el sistema de captura post-combustión (Morales et al., 2008).
- **La oxicomustión:** Para este sistema se utiliza oxígeno a una alta concentración y pureza (95%) en vez de aire para quemar el combustible. El resultado es un gas compuesto esencialmente de hidrógeno y de CO_2 que pueden ser fácilmente separados mediante el enfriamiento y la compresión del gas.

Al día de hoy, ya se están llevando a cabo los procesos mostrados para la separación del CO_2 en plantas industriales a gran escala, en especial en centrales de refinamiento de gas natural e instalaciones que producen amoníaco (Bert M., Ogunlade D., Coninck H., Loos M., 2005). Lamentablemente, sustraer el CO_2 proveniente de los gases residuales de producción solo se ha realizado en contadas ocasiones, siendo la mayor parte de los casos emitido directamente a la

atmosfera. En la siguiente tabla se muestra un perfil con los procesos o actividades industriales que tienen la mayor cuota como fuente estacionaria de CO₂ en todo el mundo, la cual permite una visión de la magnitud del problema.

Tabla 2. Perfil por procesos o actividades industriales de las grandes fuentes. (Millones de toneladas)

Obtenido de (Bert M., Ogunlade D., Coninck H., Loos M., 2005)

Proceso	Numero de fuentes	Emisiones (MtCo ₂ /año)
<u>Combustibles fósiles</u>		
Energía	4942	10539
Producción de cemento	1175	932
Refinerías	638	798
Industria siderúrgica	269	646
Industria petroquímica	470	379
Refinamiento de petróleo y gas	No Disponible	50
Otras fuentes	90	33
<u>Biomasa</u>		
Bioetanol y bioenergía	303	91
<u>Total</u>	7887	13468

3. Estado del arte

Para este apartado se realiza una recopilación de la información encontrada en la bibliografía relacionada con las investigaciones más recientes que nos ayudan a enmarcar los agregados reciclados (AR) y los agregados reciclados carbonatados (ARC), ambos de concreto, en términos de sus propiedades mecánicas y de durabilidad, con miras a ser incluidos en nuevas mezclas de concreto y mortero.

3.1. Variables del proceso de carbonatación acelerada:

El proceso de carbonatación es un mecanismo por el cual el CO_2 penetra en los poros no saturados del concreto y migra al interior a través de la difusión de un frente. Entre las variables ambientales que regulan el proceso se encuentran: La concentración de CO_2 , la temperatura y la humedad relativa (Collins, 2010). Los investigadores interesados en modificar el agregado reciclado de concreto a través de un proceso de carbonatación acelerada, deben seleccionar con base a su experiencia los valores de las tres últimas variables. En la investigación de (Wang, Xiao, Zhang, & Li, 2016) se estudió la carbonatación de cilindros de mortero que contaban con reemplazos de agregado fino reciclado, para lo cual se utilizó una cámara ambiental configurada según las variables siguientes: una temperatura promedio de 30 ± 3 °C, humedad relativa de $70 \pm 5\%$ y una concentración de CO_2 del 20 ± 2 . En una investigación similar, (Zhang et al., 2015) comprobaron la influencia de agregados finos reciclados carbonatados en probetas de mortero de cemento; para el estudio utilizaron una cámara ambiental a una temperatura de 20 ± 2 °C, humedad relativa de 60 ± 5 °C y una concentración de CO_2 del $20 \pm 2\%$.

Los investigadores (Molano, Torres, & Molano, 2014) obtuvieron buenos resultados carbonatado agregados reciclados de concreto durante 14 días bajo las siguientes condiciones: humedad relativa de 65%, temperatura de 25 °C y una concentración de 6% de CO_2 . Los autores reportan una significativa reducción en el porcentaje de absorción de agua y un aumento de la densidad del nuevo mortero utilizando este agregado reciclado carbonatado.

En un proceso ligeramente diferente, los autores (Shi Cong Kou et al., 2014; Zhan, Poon, Liu, Kou, & Shi, 2014) utilizaron una cámara de vacío a una presión determinada para evitar la saturación de los poros del concreto/mortero por el agua, facilitando la carbonatación. Para ambas investigaciones,

la humedad relativa no fue modificada electrónicamente si no a través de gel de sílice, que servía para controlar el agua producida por los agregados de concreto durante el proceso de carbonatación y evitar que esta saturara los poros, impidiendo dicho proceso. Los autores encontraron una mayor densidad, menor absorción de agua y menor densidad en los agregados reciclados carbonatados que en los mismos sin carbonatar.

3.2. Influencia de las propiedades de los agregados carbonatados y no carbonatados en los nuevos concretos

3.2.1. Propiedades del agregado reciclado

3.2.1.1 Absorción:

La determinación de la absorción en los agregados reciclados de concreto (ARC) y su comparación directa con el agregado reciclado carbonatado y natural ha sido una de las variables de estudio en numerosas investigaciones.

En el marco de lo anterior, (Zhan, Poon, Liu, Kou, & Shi, 2013) determinaron la absorción de agregado grueso reciclado proveniente de la trituración de concreto con variada resistencia (30,45,60 y 80 MPa), obteniendo valores que rondaban el 6% y que disminuía conforme se incrementaba el valor de resistencia del concreto origen. Los autores tomaron estos mismos agregados y los carbonataron durante 24 horas en un proceso acelerado, obteniendo reducciones de hasta el 2% en los valores de absorción para todos los agregados, según los investigadores, como consecuencia de los productos de carbonatación al precipitarse y saturar la red de poros.

En un estudio similar al anterior, (Zhang et al., 2015) determinaron la absorción de agua del agregado reciclado fino antes y después de carbonatar, obteniendo de la misma forma reducciones del 2% en el valor de la absorción al terminar el proceso de carbonatación. Para el estudio se manejaba una absorción promedio de 8.38% antes de carbonatar y 6.23% después del proceso.

Otro resultado interesante del estudio inmediatamente anterior, es la diferencia entre la absorción del agregado reciclado y su contraparte natural, encontrándose valores hasta 4 veces más altos para el primero (8.38%) con respecto al segundo (2.35%). Esto también fue comprobado por (Khoshkenari, Shafigh, Moghimi, & Mahmud, 2014), quienes afirman que según sus resultados, la absorción del ARC está 3.5 a 11.5 veces por encima del agregado natural, debido principalmente a

la alta porosidad del mortero presente en los agregados reciclados. Con respecto a lo anterior, (de Juan & Gutiérrez, 2009) demostraron en su estudio, que existe una relación lineal entre el porcentaje de mortero adherido a los agregados y sus valores de absorción.

3.2.1.2 Densidad aparente:

La densidad aparente del agregado reciclado es otra de las propiedades que se deben tener en cuenta en un estudio de carbonatación acelerada. Así lo han demostrado los autores (Zhan et al., 2013), quienes obtuvieron incrementos del 2%, después de la carbonatación, en la densidad aparente de los ARC (agregados reciclados de concreto) provenientes de mezclas con altas resistencias.

(Zhang et al., 2015) también determinaron los valores de esta propiedad en su estudio, obteniendo un valor de densidad del ARC entre 6.3 y 7.8% menor al agregado natural, diferencia que se disminuye a 1.9-2.6% al carbonatar el agregado reciclado en un proceso acelerado.

En otra investigación, (Molano et al., 2014) encontraron una densidad aparente del agregado reciclado sin carbonatar de 1.93 g/cm³, el cual al pasar por un proceso acelerado de carbonatación se incrementó a 2.05%, corroborando estudios anteriores.

3.2.2. Propiedades del mortero en estado fresco.

3.2.2.1 Asentamiento:

En la bibliografía investigada se encontraron varias aproximaciones referentes al estudio de esta propiedad. Algunos autores, tales como (S. C. Kou & Poon, 2012) decidieron mantener constante el valor del asentamiento (slump) a un valor de 100 mm mediante la ayuda de súper-plastificantes, mientras investigaban el efecto del agregado reciclado en otras propiedades del concreto endurecido, tales como la resistencia a la compresión, la profundidad de carbonatación y la retracción por secado. Lo anterior fue realizado para las dos series de mezclas de concreto consideradas en el estudio, donde se reemplazaba agregado reciclado por agregado natural en porcentajes de 0, 20, 50 y 100. La diferencia principal en las series fue el uso de ceniza volante, en un intento de mejorar la durabilidad y manejabilidad de la mezcla.

Otros autores decidieron mantener constante el valor del asentamiento (slump) variando la relación agua/cemento y estudiando sus diferencias; tal es el caso de (De Brito, Ferreira, Pacheco, Soares, & Guerreiro, 2016), los cuales en su estudio observaron una relación directamente proporcional entre el incremento del porcentaje de reemplazo de AR y el agua necesaria para alcanzar un valor de asentamiento predeterminado, constante en todas las mezclas. Los autores utilizaron cuatro diferentes porcentajes de reemplazo de agregado natural por reciclado de 0, 25, 50 y 100%, siendo necesario para la última el uso de un súper-plastificante.

Respecto a la variación del asentamiento por reemplazo de agregado, (Khatib, 2005) reporta un incremento en el asentamiento conforme se incrementa el porcentaje de reemplazo de ARC, mientras que para los casos de mampostería triturada este disminuye. Estos resultados son contrarios a los encontrados por (Zega & Di Maio, 2011), los cuales reportan un mismo asentamiento que el estudio anterior para el caso de un 20% de reemplazo de agregado natural por reciclado, y un decremento significativo en el mismo para el caso de un reemplazo del 30%.

(Tabsh & Abdelfatah, 2009) investigaron el efecto del cambio en el asentamiento para morteros, utilizando como base la comparación entre el agregado reciclado seco y saturado en el tiempo. Los autores concluyen que el asentamiento fue siempre mayor para los casos en los que el agregado se encontraba seco que para su contraparte saturada, sin embargo, la pérdida de asentamiento o trabajabilidad en el tiempo es mayor para el primer caso que para el segundo. De la información reportada por los autores se identifica una relación inversamente proporcional entre el asentamiento y el porcentaje de reemplazo de los agregados reciclados.

En otra investigación, (Le, Rémond, Le Saout, & Garcia-Diaz, 2016) encontraron valores de asentamientos similares al anterior estudio, comprobando además, que los asentamientos eran los mismos después de saturar en agua los ARC durante 7 días.

En un estudio similar de la trabajabilidad de los morteros, (Sosa, Zega, & Maio, 2015) evaluaron la fluidez de las mezclas con reemplazos de agregado natural por reciclado. Los autores concluyen que las mezclas en los que se saturó previamente el agregado presentó una mayor fluidez para un 40% de reemplazo respecto al de 20%. Este comportamiento fue contrario cuando se utilizó un AFR seco.

3.2.3. Propiedades mecánicas del mortero endurecido

3.2.3.1 Resistencia a la compresión:

En términos del agregado fino reciclado de concreto, se encuentra que se ha investigado la resistencia a la compresión en mezclas de mortero y concreto. En primer lugar, los autores (Evangelista & de Brito, 2007) en un estudio de las propiedades mecánicas del concreto, hecho con este material, reportan que un reemplazo de hasta el 30% de agregado natural por AFR no es nociva para la resistencia a la compresión del material. En un estudio posterior, de los mismos autores (Evangelista & de Brito, 2010), mientras verificaban propiedades de durabilidad, comprobaron también la resistencia a la compresión del concreto con un reemplazo de hasta el 100% de AFR con la muestra control hecha de agregados naturales, reportando ninguna o muy poca diferencia entre las resistencias de las muestras. Un resultado comparable se obtuvo de la investigación de (Khoshkenari et al., 2014), donde se encontró que el efecto del AFR, en especial con partículas de 0 a los 2 mm, puede ser significativa o irrelevante para la resistencia del material, dependiendo del método utilizado para lograr una buena trabajabilidad. Para el mismo estudio y en los casos en los que se adicionó más agua a la mezcla, la diferencia en los tipos de agregado generó una gran discrepancia entre las resistencias, mientras que no existió prácticamente ninguna para el caso del uso de un súper-plastificante.

En el estudio de los morteros, (Ledesma et al., 2014) encontraron una reducción en la resistencia a la compresión en cubos conforme se incrementa el reemplazo de agregado natural por reciclado para toda edad de curado. Los autores además encontraron un ligero incremento en la resistencia para el caso de un reemplazo del 10%, el cual explican a través del incremento en la cantidad de finos por la inclusión del AFR. Un resultado similar fue reportado por (Raeis Samiei, Daniotti, Pelosato, & Dotelli, 2015), en los que hacen una relación inversa entre la resistencia a compresión del mortero con el porcentaje de reemplazo del AFR.

Otros autores han investigado la aplicación de los procesos de carbonatación acelerada en agregados finos para ser usados en mezclas de mortero, y la influencia de estos en la resistencia a la compresión. En el estudio de (Zhang et al., 2015), se calculan ganancias de resistencias del 13, 10, y 18%, respectivamente para las edades de 7, 28 y 90 días, en las mezclas con AFRC sobre aquellas con material no carbonatado para un mismo reemplazo de agregado. Los autores en este mismo estudio, compararon la efectividad del proceso de carbonatación a través de la resistencia de

mezclas de mortero con AFRC, en donde la pasta de cemento de dichos agregados tenía mayor y menor relación agua/cemento, encontrando que el proceso parece resultar más efectivo al aplicarse a agregados reciclados de concreto, que originalmente fueron de baja resistencia (alta relación agua/cemento). En otro estudio (Molano et al., 2014) determinaron que el porcentaje de reemplazo de agregado natural por el reciclado carbonatado en un proceso acelerado, que entregaba los mejores resultados de resistencia, correspondía al de 25%.

3.2.3.2 Velocidad de pulso ultrasónico

No se encontró en la bibliografía consultada estudios que relacionaran la velocidad de pulso ultrasónico como una medida de durabilidad, para morteros hechos con agregados reciclados. Sin embargo, estudios de reemplazo de agregado fino natural por su contraparte reciclada fueron encontrados para el estudio de concretos. (Mardani-Aghabaglou, Tuyan, & Ramyar, 2014) determinaron una caída de hasta 4% en la velocidad de pulso ultrasónico (VPU), para el caso de un reemplazo de hasta el 60% de agregado natural por reciclado, adjudicando este efecto a una mayor porosidad del AFR. Resultados similares fueron encontrados por (Khatib, 2005), donde la VPU caía hasta un 8% para el caso de un reemplazo de agregado natural por AFR, lo cual parece indicar un decremento en la calidad y durabilidad del concreto con reemplazo de agregado reciclado.

3.2.3.3 Densidad aparente

Numerosas investigaciones se han realizado en la determinación de diversas propiedades de interés en el mortero para establecer su comportamiento estructural, con la densidad de este como una de las variables de estudio (Dapena, Alaejos, Lobet, & Pérez, 2011; Vegas, Azkarate, Juarrero, & Frías, 2009). Entre algunos de ellos se encuentran el trabajo realizado por (Ledesma et al., 2014), los cuales durante su investigación elaboraron cinco mezclas de mortero con porcentajes de reemplazo de arena natural por AFR de: 0, 5, 10, 20 y 40%, obteniendo para el concreto fresco y endurecido, valores de densidad menores que para los elementos fabricados con agregado natural. Los autores acusan de este comportamiento a la menor densidad aparente de los agregados reciclados, los cuales alcanzaron una diferencia de hasta un 16% en densidad con su contraparte natural. Resultados similares fueron reportados por (Jiménez, Ayuso, López, Fernández, & De Brito, 2013), los cuales realizaron mezclas con los mismos porcentajes de reemplazo, obteniendo igualmente menores valores de densidad del mortero al utilizar agregado fino cerámico reciclado, valor que

descendía conforme se incrementaba la cantidad de AFR. Los anteriores resultados fueron nuevamente similares a los encontrados en el estudio de (Neno, Brito, & Veiga, 2014).

Respecto a la variación de la densidad en agregados reciclados carbonatados, se encontró en el estudio de (Zhan et al., 2014), un incremento en la densidad aparente para los agregados provenientes de concretos de altas resistencias (60 MPa y 80 MPa) después de haber sido carbonatados, mientras que para aquellos de una resistencia normal (30 MPa y 45 MPa) no hubo cambios significativos en la densidad aun con los efectos de la carbonatación. Estos resultados se obtuvieron al comparar las densidades de los agregados antes y después de llevar a cabo un proceso de carbonatación acelerada. Los autores del estudio evaluaron únicamente el cambio en las propiedades de los agregados reciclados, sin ser incluidos en nuevas pastas de cemento.

(Zhang et al., 2015) realizaron de forma similar, una carbonatación acelerada de los agregados reciclados, encontrando un incremento entre el 4.7 y 5.6% de su densidad con respecto a su contraparte reciclada no carbonatada, lamentablemente en el estudio no se reportaron valores de densidad del mortero endurecido con la adición de agregado carbonatado.

3.2.3.4 Absorción:

De toda la bibliografía consultada, solo se encontró referencias a la absorción de mezclas endurecidas de mortero en la investigación de (Molano et al., 2014), quienes evaluaron el comportamiento de esta variable en mezclas de mortero con diferentes porcentajes de reemplazo de agregado natural por reciclado en su condición carbonatada y no carbonatada. Las autoras determinaron un incremento de la absorción del material con respecto a la mezcla control conforme se incrementaba el porcentaje de reemplazo de ARC. Además, las mezclas que incorporaban agregado reciclado carbonatado presentaron un valor de absorción menor, con respecto al ARC no carbonatado, de hasta un 25%. En el estudio, este comportamiento se le atribuye a la formación de los productos de carbonatación que, al precipitarse, bloqueaban la red de poros del material.

3.2.3.5 Volumen de vacíos (Espacio de poros permeables):

No se encontró, en la bibliografía consultada, investigaciones que determinaran el volumen de vacíos de mezclas endurecidas de mortero con agregados finos reciclados de concreto carbonatado, salvo en el estudio de (Molano et al., 2014), quienes compararon el volumen de vacíos de 7 diferentes mezclas de mortero, donde una de ellas era la mezcla control y las otras contenían un

reemplazo parcial de agregado reciclado carbonatado y no carbonatado del orden de 25, 50 y 100%. Las autoras reportaron un incremento en el volumen de vacíos conforme se aumentaba el reemplazo de agregado natural por ARC, llegando a valores de 10% por encima de la muestra control para la mezcla con 100% de agregado reciclado. Ahora, comparativamente hablando, las mezclas con ARC carbonatado, tuvieron un volumen de vacíos menor que sus mezclas homologas con ARC no carbonatado, llegando a diferencias de hasta un 3.5% para un reemplazo del 50% de agregado natural por reciclado. Las autoras, en su investigación, afirman que esta disminución se da por la precipitación de productos de la carbonatación en la red de poros, disminuyendo su interconectividad.

3.2.3.6 [Resistencia a la tracción:](#)

La pasta de cemento presenta muy baja resistencia a la tracción debido a su naturaleza frágil, por lo que en general en el diseño no se espera se vea sometido a esta sollicitación. Dado el caso que esfuerzos de tensión sean aplicados a la pasta, se generaran fisuras/agrietamientos que pueden poner en riesgo la funcionalidad de la estructura y/o su estabilidad estructural. Por ello, algunos autores han investigado la variación de la resistencia a la tracción de morteros y concretos que han sido adicionados con agregado reciclado.

(Corinaldesi, 2009) en su investigación, construyó muretes con mortero adicionado con AFR (agregado fino reciclado) y caracterizó varias de sus propiedades, incluyendo la resistencia a la tracción. La autora encontró, que al reemplazar el 100% del agregado natural por el reciclado, ocurre una disminución de todos los valores de las propiedades elásticas para todas las edades de curado, de esta forma reportando una disminución de la resistencia a la tracción y resistencia a compresión. Respecto a lo anterior, (Raeis Samiei et al., 2015) encontraron resultados similares, para lo cual reportaron una disminución de la resistencia a la tracción de casi el 33%, en morteros con AFR al comparar con su control de agregado natural. Estos resultados son similares aun en mezclas de concreto con reemplazo de agregado fino natural por reciclado, según lo encontrado por (Mardani-Aghabaglou et al., 2014).

No se encontró, en la bibliografía consultada, estudios que determinaran la variación de la resistencia a la tracción para morteros adicionados con agregado reciclado carbonatado. Sin embargo, para mezclas de concreto existen estudios como el realizado por (Shi Cong Kou et al., 2014), en el cual realizaron mezclas de concreto con agregado grueso carbonatado y natural,

fabricado y triturado en laboratorio, en un reemplazo del 100%. Los autores encontraron un incremento en la resistencia a la tracción de entre 5% y 10%, a los 90 días de curado húmedo. Sin embargo, este solo supera la resistencia del grupo control, con solo agregado natural, después de los 28 días. Resultados similares se reportan por (Chi et al., 2002), donde el incremento en la resistencia a la tensión, por el uso de agregados carbonatados, es sutil.

3.2.3.7 Módulo de elasticidad:

No se encuentra en la bibliografía consultada muchas investigaciones que traten el módulo de elasticidad, como una variable de estudio en los morteros con agregado reciclado, salvo por la investigación de (Neno et al., 2014). Los autores utilizaron AFR (agregado fino reciclado) para reemplazar un 20% del agregado natural en una mezcla de mortero, obteniendo un aumento en el módulo de elasticidad para el caso de la mezcla con reemplazo de material reciclado, al compararlo con la mezcla control. Se debe tener en cuenta, que este resultado no es necesariamente alentador, dado que un incremento en el módulo de elasticidad puede significar un material más propenso a la fisuración.

En contraste con el resultado anterior, y en el marco de investigaciones realizadas sobre concretos, se ha concluido un comportamiento contrario en el módulo de elasticidad para los casos de mezclas con ARC. (Dapena et al., 2011) encontraron que los valores del módulo de elasticidad en las mezclas decaían con la adición de agregado grueso reciclado. En el estudio, los autores reportan un valor de 40.68 GPa en el módulo de elasticidad para la mezcla control, mientras que para la mezcla adicionada con un 100% de agregado reciclado dicho módulo decaía a 29.62 GPa, casi un 30%. En estudios anteriores, (Zaharieva, Buyle-Bodin, & Wirquin, 2004) reportaron una caída del 45% en el valor del módulo de elasticidad para un reemplazo de 100% de agregado grueso reciclado en mezclas de concreto.

No se encuentra en la bibliografía consultada, mención de estudios del módulo de elasticidad en mezclas con agregado reciclado carbonatado para los casos de mortero. Sin embargo, en términos de concreto, se menciona la investigación de (Shi Cong Kou et al., 2014), quienes carbonataron agregado grueso reciclado y lo utilizaron en la fabricación de una mezcla de concreto con un reemplazo del 100%, elaborando también una con el mismo tipo de agregado pero sin carbonatar, y una mezcla de control, con solo agregado natural. Los resultados obtenidos con el agregado no carbonatado, revelan una disminución del 13.5% en promedio para el módulo de elasticidad, con

respecto a la mezcla de control, mientras que para el agregado carbonatado la reducción fue del 4%, presentándose una mejora de la propiedad debido al proceso de carbonatación al que fue sometido el agregado reciclado.

3.2.3.8 Resistencia a la abrasión:

Ninguna información fue encontrada en la bibliografía respecto a la resistencia a la abrasión de morteros con adiciones de agregado reciclado y relativamente poca en concretos con el mismo agregado. Se destaca entonces, la investigación realizada por (Evangelista & de Brito, 2007), en la cual se generaron dos mezclas de concreto con agregado fino reciclado (AFR) en reemplazos del 30% y 100%, para las cuales hubo una reducción respectivamente del 5% y 30% de la abrasión con respecto a la muestra control, de solo agregados naturales. Los autores concluyen que hay una relación lineal entre la resistencia a la abrasión y el contenido de AFR en el concreto.

Resultados similares a los anteriores fueron obtenidos por (De Brito, Pereira, & Correia, 2005; Evangelista & de Brito, 2010), donde utilizaron agregados reciclados cerámicos en una mezcla de concreto, obteniendo igualmente una relación lineal entre la resistencia a la abrasión y el porcentaje de reemplazo de agregado natural por reciclado. Los autores concluyen de su investigación, que el incremento en la resistencia es debido a la mayor porosidad del agregado reciclado, además, se determinó que la abrasión está controlada directamente por el desgaste de la pasta de cemento y su vínculo con los agregados, lo cual es más fuerte cuando hay mayor cantidad de agregados finos, como sucede al utilizar agregados reciclados.

3.2.3.9 Resistencia a la flexión:

De la literatura consultada, no existe consenso en el comportamiento del módulo de rotura en morteros, según lo reportan algunas investigaciones que afirman un incremento del módulo con el reemplazo de natural por reciclado, mientras que otros investigadores reportan una disminución, según fue afirmado por (Neno et al., 2014).

(Ledesma et al., 2014) concluyeron que un reemplazo de hasta el 10% de agregado natural por AFR, en las mezclas de mortero, resulta en una mayor resistencia a la flexión para toda edad de curado al compararla con la muestra control de solo agregados naturales. Resultados similares fueron obtenidos por (Joao Silva, Brito, & Veiga, 2009), quienes utilizaron reemplazos de hasta el 10% de agregado natural por AFR, obteniendo una relación lineal entre resistencia a la flexión y el

porcentaje de reemplazo. Los últimos autores explican esta tendencia por la presencia de un mayor contenido de finos en el material reciclado, y al potencial de hidratación presente en la pasta de cemento que compone el reciclado. En un estudio posterior, (Neno et al., 2014) utilizaron reemplazos de 0, 20, 50 y 100 % de agregado natural por reciclado, obteniendo mejoras en la resistencia a flexión para todos ellos en una relación directamente lineal. A modo de ejemplo, los autores reportaron una mejoría del 35% con respecto a la muestra control de la mezcla con un 20% de reemplazo en AFR.

Otros autores han estudiado el efecto de agregados reciclados de mampostería en las mezclas de mortero y su influencia en la resistencia a flexión. (Jiménez et al., 2013) realizaron pruebas reemplazando el 0, 5, 10, 20, y 40% del agregado natural por AFR de mampostería. En el estudio, se demuestra un ligero incremento de las propiedades mecánicas, incluyendo resistencia a flexión, hasta un reemplazo del 40%. Estos resultados están en sintonía con los reportados por (J. Silva, de Brito, & Veiga, 2010), quienes calculan una ligera mejoría en la propiedad de interés para un intervalo de reemplazo de entre el 20% y 50%. En el último caso, los autores investigaron reemplazos del 0%, 20%, 50% y 100%. Cabe resaltar que, para todos los estudios presentados con anterioridad, las mezclas se cuantificaron volumétricamente.

Contrario a lo encontrado en las investigaciones anteriores, (Dapena et al., 2011) reportan una caída de la resistencia a flexión conforme se incrementa el porcentaje de reemplazo de agregado natural por AFR. Los autores realizaron reemplazos de 0, 5, 10, 15, 20 y 50%, obteniendo caídas de hasta un 30% en resistencia, particularmente para el rango entre 5% y 20%, mientras que para un 50% la resistencia a flexión fue prácticamente nula. Caídas en la resistencia a flexión fueron reportadas también por (Chen, 2013) al utilizar agregados reciclados en mezclas de mortero, calculando caídas de un 8.9% a los 28 días para un reemplazo del 50% de agregado natural por AFR. Resultados similares fueron encontrados por (Corinaldesi, 2009; Corinaldesi & Moriconi, 2009), para quienes en su estudio existe una relación inversamente lineal entre la resistencia a flexión y el porcentaje de reemplazo. Se ha encontrado que varias de las investigaciones anteriores han cuantificado las mezclas por volumen, que junto con una menor densidad del agregado reciclado producen un mayor volumen de mortero de baja calidad (Jiménez et al., 2013).

No se encuentra bibliografía, estudios que traten la variación de la resistencia a flexión de morteros adicionados con agregado reciclado carbonatado, sin embargo, (Xuan, Zhan, & Poon, 2016) estudiaron los efectos de este tipo de agregado en mezclas de concreto. Los autores realizaron un

proceso de carbonatación acelerada y generaron reemplazos de 0, 20, 40, 60, 80 y 100%. Comparando los resultados obtenidos con la muestra control, se encontró que incorporar el agregado reciclado carbonatado a las mezclas de concreto, mejora la resistencia a flexión del material hasta en un 28.7% utilizado un reemplazo del 100%. Los autores señalan, además, que un reemplazo del 60% cumple con los mismos valores de resistencia que la mezcla control.

3.2.4. Propiedades de Durabilidad:

3.2.4.1 Profundidad de Carbonatación:

La carbonatación es conocida por mejorar la dureza de la superficie, la resistencia y durabilidad de los productos con una matriz cementicia mediante el refinamiento de los poros de dicha matriz (Shi Cong Kou et al., 2014) y la conversión de hidratos de calcio en carbonatados. Sin embargo, esta también resulta perjudicial para nuestras estructuras, dado que disminuye el pH del concreto y permite la corrosión del acero de refuerzo al dañar la capa pasiva de este (BroomField, 2003).

En general, se ha encontrado en la bibliografía un incremento en la profundidad de carbonatación de los concretos adicionados con agregado reciclado, ya sean finos o gruesos. En su estudio, los autores (Geng & Sun, 2013a) determinaron, no solo un incremento en la profundidad de carbonatación, en relación directa con el incremento en el reemplazo de agregado natural fino por su contraparte reciclada, sino también, el incremento la profundidad en una relación inversamente proporcional con el tamaño de las partículas del agregado. Según los autores, se debe a que un tamaño pequeño de partícula implica una mayor cantidad de pasta de mortero adherida en el agregado reciclado, lo cual retrasa la carbonatación y disminuye la permeabilidad del material. (Bravo, de Brito, Pontes, & Evangelista, 2015) evaluaron, de la misma forma, la penetración del frente de carbonatación en mezclas de mortero adicionadas con AFR en un reemplazo del 100%, sometidas a un proceso de carbonatación acelerada a 7, 28, 56 y 91 días. Los autores reportan un incremento del 190% en la profundidad del frente de carbonatación a los 28 días para las mezclas con AFR con respecto a la muestra control, sometida al mismo proceso de carbonatación acelerada.

En otra investigación, (R. V. Silva et al., 2015) determinaron de forma detallada la influencia del agregado reciclado de concreto y mampostería en mezclas de concreto. Los autores encontraron una relación directamente proporcional entre el porcentaje de reemplazo de agregado reciclado y la profundidad de carbonatación, llegando hasta un valor de dos veces la profundidad para un

reemplazo del 100% de ARC al comparar con la muestra control. Se determinó, además, una mayor profundidad de carbonatación al utilizar agregado reciclado de mampostería, que aquel hallado con el reciclado de concreto para un mismo porcentaje de reemplazo. Este resultado es de esperar si se toma en cuenta una mayor porosidad del reciclado de mampostería, lo que crea un concreto más permeable, incrementando la profundidad del frente.

Otros autores han llegado a la misma conclusión anterior, en cuanto a una relación inversa entre la profundidad de carbonatación y el porcentaje de reemplazo del ARC, tal como lo reporta (Bravo et al., 2015; Evangelista & de Brito, 2010). Sin embargo, (Xiao et al., 2012) encontraron una disminución de la profundidad de carbonatación al incrementar el porcentaje de reemplazo de AN por ARC por encima del 70%, este resultado es soportado por el autor a razón de la pasta de mortero adherida a los agregados, la cual incrementa el contenido de cemento total que se debe carbonatar y por tanto aumentando el tiempo que toma alcanzar una misma profundidad de carbonatación.

3.2.4.2 Ingreso de cloruros:

(Geng & Sun, 2013b) aclara que, respecto a la permeabilidad a cloruros, muchos autores han encontrado que esta incrementa conforme lo hace el porcentaje de reemplazo de agregado natural por reciclado, ya sea en su forma gruesa o fina, y disminuye con la adición de ceniza volante. Acorde con lo anterior, se encuentran resultados de investigaciones como los de (Evangelista & de Brito, 2010), quienes reportan un incremento en la permeabilidad a cloruros en un 12% cuando el reemplazo de agregado natural (AN) por AFR es de un 30% en mezclas de mortero, el cual sube a un 33.8% cuando dicho reemplazo es del 100%. Resultados similares son reportados por (Lotfy & Al-Fayez, 2015; Otsuki et al., 2003), quienes determinaron incrementos de los valores de esta permeabilidad al aumentar el reemplazo de AN por su contraparte reciclada para una misma relación agua/cemento y tiempo de curado. Los autores concuerdan en el hecho que un aumento en la permeabilidad de cloruros es ocasionado por la mayor porosidad del concreto elaborado con el agregado reciclado, al compararlo con la muestra control.

Frente a lo anterior, algunos autores han evaluado el efecto de la adición de puzolanas, como la ceniza volante, en la permeabilidad a cloruros del concreto fabricado con ARC. (Sim & Park, 2011) examinaron la variación del ingreso de cloruros, comparando la ganancia de resistencia a la penetración del ion en mezclas adicionadas con AFR y ceniza volante. Los autores encontraron interesantes resultados, donde determinaron que el porcentaje de AFR no variaba

fundamentalmente la permeabilidad a cloruros, tanto como si lo hacia el reemplazo de ceniza volante. Resultados similares fueron reportados por (S. C. Kou & Poon, 2012), los cuales adjudicaron la perdida de permeabilidad a tres causas: (1) el uso de ceniza volante refina la distribución del tamaño de poros y su forma en el concreto, (2) más productos de C-S-H se forman al hidratar la ceniza volante, los cuales absorben más iones cloruros y bloquean las rutas de ingreso, (3) la ceniza volante se utilizó como reemplazo parcial del cemento, disminuyendo efectivamente la relación agua/cemento.

En un estudio utilizando carbonatación acelerada, (Zhang et al., 2015) analizaron el cambio de varias propiedades físicas y de durabilidad de los agregados reciclados carbonatados y no carbonatados. Los resultados que obtuvieron, respecto a la permeabilidad de cloruros, fue una disminución para las muestras de concreto con ARC (agregados reciclados carbonatados) de hasta once veces los valores obtenidos por las muestras de concreto con agregados reciclados sin carbonatar. Los autores explican esta mejora en términos de una disminución de la porosidad de los agregados, un incremento en su densidad y una mejora en la zona de transición interfacial (ITZ), lo que mejoró la resistencia al paso de cloruros. (Shi Cong Kou et al., 2014) aportan otros resultados comparando resistencias de concreto con reemplazos de agregados carbonatados y sin carbonatar, determinando mejoras en la resistencia al paso de cloruros hasta en un 40% estos primeros en comparación con los segundos.

3.2.4.3 Resistencia a los sulfatos:

El comportamiento ante sulfatos, ya sea de morteros o concretos, compuesto con reemplazos de agregado reciclado, no es un tema recurrente en la bibliografía. Sin embargo, existen algunos estudios que se han enfocado enteramente a este tema; como los realizados por (S. T. Lee, 2009), quien hizo una extensa caracterización de mortero fabricado con ARC, expuesto a una solución de sulfato de magnesio y agua. El autor utilizó dos tipos de agregados reciclados, los cuales provenían de una misma planta de trituración de concreto y variaban ligeramente en su composición química. Además, genero mezclas con porcentajes de reemplazo de agregado natural por reciclado del orden 0, 25, 50, 75 y 100%, sumergiendo las probetas en una solución de sulfato de magnesio al 4.24% durante un tiempo de exposición total de 12 meses.

De los resultados del estudio anterior, se destaca la apariencia visual de las barras y su expansión, donde el autor identificó daños en los bordes y las esquinas de todas las barras independiente de

su porcentaje de reemplazo. Sin embargo, aquellas que contenían porcentajes de 25% y 50% de AFR mantuvieron una apariencia similar a la mezcla control, mientras que un daño extensivo se identificó en aquellas probetas con un reemplazo del 100%. Además de lo anterior, se pudo identificar una sustancia de color blanco con una textura granular fina, la cual más adelante sería identificada como yeso por el autor con la ayuda de un análisis de difracción de rayos X (DRX). En adición, en los resultados de pruebas de expansión, el autor concluye que un reemplazo del 50% de agregado natural por AFR llevó a desarrollar menores valores de expansión en comparación con las muestras control, mientras que las más altas expansiones fueron alcanzadas por las probetas con un reemplazo del 100%. Una observación interesante que realizan los autores, apoyándose en los resultados de (Tian & Cohen, 2000), trata de la formación del yeso como un agente que participa en la expansión de las barras de mortero y no solo debido a la formación tardía de etringita, sin embargo, los mecanismos exactos de reacción no son conocidos.

Resultados similares a los anteriores fueron obtenidos por (S.-T. Lee, Swamy, Kim, & Park, 2008). En su investigación, compararon dos tipos de agregados reciclados (con su diferencia fundamental siendo la absorción) en una mezcla de mortero expuesta a una solución de sulfatos de sodio y magnesio por 15 meses y utilizando tres diferentes reemplazos: 0, 50 y 100%. En un examen visual de los cubos de mortero, los autores reportan un daño en las esquinas de estos independiente del reemplazo utilizado, sin embargo, la mezcla de 50% de AFR presentó una apariencia similar a las muestras control, mientras que aquellas con un reemplazo del 100% se percibieron daños extensivos en su superficie, identificando, además, deposiciones de material blanco de textura fina en la superficie de las probetas.

En el mismo estudio anterior y respecto a la expansión de las probetas, se identificó que para un reemplazo del 50% hubo un efecto beneficioso del agregado fino reciclado, dado que la expansión fue menor que aquellas de las muestras control hasta en un 39% para los primeros nueve meses, mientras que para las muestras con un reemplazo del 100% se pudo identificar una expansión de hasta cinco veces las obtenidas para un 100% de agregados naturales, en aquellas que no se desintegraron después de los primeros 9 meses. Los autores identificaron un comportamiento beneficioso del agregado fino reciclado en mezclas de mortero con un reemplazo del 50% que se encuentren expuestas a soluciones de sulfato, ya sea de magnesio o sodio.

No se encontró en la bibliografía estudiada referencias a la resistencia a ataques de sulfatos de mezclas de mortero adicionadas con agregado reciclado carbonatado.

3.2.4.4 ISAT (Permeabilidad – Tasa inicial de absorción):

Para el estudio de esta propiedad, (Bojaca, 2013) implementó reemplazos de agregado fino reciclado en mezclas de mortero del orden de 0, 20 y 40%. El autor reportó un incremento de la tasa inicial de absorción conforme se incrementa el reemplazo de AN por AFR, llegando a diferencias de hasta un 19% en los valores de tasa inicial para un reemplazo de 40% de agregados. Se concluyó del estudio, que la permeabilidad del concreto está linealmente relacionada con la cantidad de agregado reciclado usado como reemplazo del agregado natural. Resultados similares fueron encontrados por (Chaparro, 2012; Yang, Du, & Bao, 2011), donde estos últimos utilizaron no solo agregados reciclados de concreto sino también de mampostería, obteniendo la misma tendencia de relación lineal entre porcentaje de reemplazo y valor de ISAT.

Otra investigación a destacar es aquella realizada por los autores (Molano et al., 2014) quienes evaluaron la permeabilidad de concretos adicionados con agregado fino reciclado carbonatado y no carbonatado, con porcentajes de reemplazo de 0, 25, 50 y 100%. Los autores en su investigación encontraron que para mezclas adicionadas en un 25% y 50%, independiente de la carbonatación, disminuía los valores de tasa de absorción inicial con respecto a la mezcla control. Además, en el estudio, se identificaron valores ligeramente menores de tasas de absorción inicial para las muestras que contenían agregados finos reciclados carbonatados, comportamiento atribuido a la formación de productos de carbonatación en los ARC, que saturan el sistema de poros de la muestra y disminuyen la permeabilidad del concreto. Conclusiones similares se llegaron en el estudio de (García-González et al., 2008), quienes consideraron un concreto con agregado reciclado carbonatado supercríticamente, para el cual encontraron se mejoraba notablemente la resistencia a la permeabilidad en comparación con un concreto con agregado reciclado sin carbonatar.

Se cree, que la mejora en la resistencia a la permeabilidad del concreto o mortero, adicionado con agregado fino reciclado carbonatado, se debe a la precipitación de cristales de carbonato de calcio (Venhuis & Reardon, 2001), los cuales ejercen un efecto de llenado en el sistema de poros y conduce a una menor permeabilidad de la mezcla (Molano et al., 2014).

3.2.4.5 Sortividad:

Otro de los mecanismos de transporte en el concreto, que vale la pena considerar como una medida de la durabilidad, es la absorción del agua. Este mecanismo se le conoce al proceso por el cual un

fluido penetra en un material poroso y no saturado bajo la acción de fuerzas capilares, la cual depende de la geometría de los poros y el grado de saturación del material (Olorunsogo & Padayachee, 2002).

Se han encontrado varios estudios que han evaluado esta propiedad, tales como el perteneciente a (Molano et al., 2014), quienes encontraron, que para mezclas de concreto adicionadas con AFR se incrementan los valores de sortividad para todas las edades de ensayo, conforme se incrementa el porcentaje de reemplazo de agregado natural por reciclado. Sin embargo, los autores también compararon los valores obtenidos para agregado fino reciclado carbonatado (AFRC) y no carbonatado, obteniendo que para el primer tipo de agregado se presentaba un menor valor de sortividad en un 23.8% y 28.6%, para reemplazos respectivos de 30% y 50%, al compararlo con las mezclas de AFR no carbonatado. A pesar de esta mejoría, los valores de este índice fueron significativamente mayores comparado con la mezcla control, llegando a incrementos de la sortividad en un 43.8% para reemplazos del 25% y 15.4% para un reemplazo del 50% de AFRC. Los autores atribuyen este comportamiento a la alta porosidad de los agregados reciclados en comparación con el natural.

Resultados de la misma naturaleza a los anteriores fueron obtenidos por (Zega & Di Maio, 2011), los cuales compararon la sortividad obtenida en tres mezclas de concreto, con porcentajes de reemplazo de AN por agregado fino reciclado no carbonatado de 0, 20 y 30%. Los autores determinaron que no había variación considerable de este índice entre las mezclas con 20% y 30% de reemplazo, mientras que comparadas con la mezcla control se identificaba un aumento en la sortividad del 13%.

Adicionalmente, algunos estudios reportan que la sortividad del concreto con agregado reciclado puede ser disminuida al bajar la relación agua/cemento (Kubissa, Jaskulski, Koper, & Szpetulski, 2015) sin importar la calidad del agregado y, también curando más tiempo el concreto (Olorunsogo & Padayachee, 2002), ya que esto ayuda a refinar la red de poros del material, disminuyendo su absorción. Por último, se encontró que el uso de súper-plastificantes, en su función de disminuir la relación agua/cemento conservando la manejabilidad, permiten también una disminución de la sortividad (Medina, Zhu, Howind, Sánchez De Rojas, & Frías, 2014).

3.2.4.6 Contracción por secado:

Respecto a esta variable, los investigadores (Neno et al., 2014) identificaron un aumento del 45% de la contracción para morteros con reemplazos del 20% de ARC. Además, (Joao Silva et al., 2009) encontraron que morteros con un reemplazo del 10% de agregado natural por reciclado, presentan una contracción 13% mayor con respecto a la mezcla de control.

En contraste con los resultados anteriores, (Lotfy & Al-Fayez, 2015) no encontraron diferencias susceptibles entre las mezclas de concreto cuyo agregado grueso natural fue reemplazado por reciclado hasta en un 30% y la mezcla control. Sin embargo, se encontró diferencias entre las contracciones de las mezclas con únicamente agregado reciclado grueso y aquellas con solo agregado reciclado fino, donde esta última presenta mayores valores de contracción. Este incremento en la variabilidad dimensional al utilizar agregado reciclado fino de concreto, se cree es debido a una mayor porosidad de este tipo de agregados, llevando a una reducción de la rigidez del material. Es posible que lo anterior, tenga un mayor efecto sobre la contracción del material, que la disminución de dicha contracción debido al llenado de poros que produce el agregado fino reciclado (Neno et al., 2014).

En otra investigación, (Zhang et al., 2015) compararon los efectos sobre la contracción que implica el reemplazo de AFR carbonatado y no carbonatado en mezclas de mortero. Los autores obtuvieron un incremento en los valores para las primeras con el reciclado sin carbonatar, comparadas con morteros que contenían solo agregado natural y, además, determinaron una disminución de hasta el 13% de dicha contracción en las mezclas con agregados finos reciclados de concreto carbonatados (AFRC). Los autores explicaron el fenómeno a través de una disminución de la porosidad y absorción de agua de la pasta de mortero en los agregados reciclados como consecuencia de la carbonatación, lo cual reduce la evaporación del agua y por consiguiente la retracción del mortero al cual este agregado se adicione.

3.2.4.7 Interface Pasta-Agregado (ITZ):

Diversos autores han dedicado esfuerzos al estudio de la ITZ en los agregados reciclados y aquella formada en mezclas de concreto y mortero con dichos agregados. Un estudio extensivo de la propiedad fue realizado por (Otsuki et al., 2003), quienes compararon la resistencia de las dos zonas intersticiales anteriores a través de ensayos de micro-resistencia de Vicker. Los autores

determinaron una menor dureza de la nueva ITZ con respecto a la vieja para los casos de una alta relación agua/cemento (0.40, 0.55 y 0.70) y un comportamiento contrario para los casos de una baja relación agua/cemento (0.25 en el estudio), independiente del tipo de agregado utilizado y su resistencia. De lo anterior, se concluye que es posible lograr un control de las características de la mezcla al utilizar agregado reciclado en una alta relación agua/cemento, dado que para este caso la resistencia de la nueva zona de transición gobierna el comportamiento del material (Ryu, 2002).

Otros estudios se han centrado en determinar la composición y apariencia de la ITZ formada en agregados naturales comparada con aquella formada en agregado reciclado de concreto, con ayuda de técnicas de microscopía. (Chen, 2013) examinó la morfología de la zona de transición formada en un concreto normal y aquella perteneciente a un concreto adicionado con ARC en un reemplazo del 50%; el autor encontró en un concreto normal, una interface principalmente compuesta de Hidróxido de Calcio $-Ca(OH)_2-$, mientras que la interface que genera el agregado reciclado con la nueva pasta se compone de gel C-S-H y cristales de etringita. Adicionalmente, los autores afirman que la nueva ITZ de los concretos reciclados, es mucho más ancha que la perteneciente a un agregado natural y con un mayor agrietamiento. Resultados similares fueron encontrados por (Geng & Sun, 2013b) quienes atribuyen este comportamiento a la mayor absorción de agua del ARC, lo cual lleva a una menor disposición de agua para la hidratación de la interface.

En el mismo contexto, (Zhang et al., 2015) estudiaron los efectos que un agregado fino reciclado carbonatado tenía sobre la ITZ en una mezcla de mortero. En sus resultados, los autores describen la descomposición de la etringita en iones de sulfato e hidróxido de aluminio durante la carbonatación, productos que tienen una menor porosidad que la sustancia origen y contribuyen a reducir la absorción del mortero, modificando la estructura de su ITZ. De acuerdo a los autores, el cambio principal en la interface se debe esencialmente a la reducción de la absorción de agua que los ARC sufrieron por la carbonatación, lo cual disminuyó el espesor de la capa de agua alrededor de los agregados y consecuentemente disminuyó la relación agua/cemento. Lo anterior se traduce en una densificación de la ITZ, donde no se aprecian los grandes poros interconectados que caracterizaban a un ARC no carbonatado y que finalmente permite un incremento en la resistencia.

Basados en este contexto, la zona de transición entre pasta y agregados se identifica como un elemento importante a analizar en el mejoramiento de la resistencia, dado su estrecha relación con esta, lo cual puede hacerse disminuyendo la porosidad y absorción del agregado reciclado (Poon, Shui, & Lam, 2004), mediante procesos de carbonatación acelerada.

Las investigaciones que se han tomado como referencia en la elaboración de este documento y sus resultados, han demostrado que el uso del agregado reciclado de concreto en mezclas de mortero y concreto es una opción factible para el uso de residuos de construcción y demolición, el cual dosificado en porcentajes de reemplazo adecuados no afecta negativamente las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto endurecido. Se ha determinado, además, que la carbonatación de estos mismos agregados reciclados puede mejorar ciertas propiedades de la mezcla de concreto y mortero, al mismo tiempo que permiten la captura de CO₂ fijándola a la matriz calcárea, todo esto en una metodología sostenible y amigable con el medio ambiente.

Sin embargo, se evidencia también de toda la bibliografía consultada, que las investigaciones sobre morteros que utilizan agregados reciclados carbonatados no ha sido extensamente desarrollada, como si lo es el caso del concreto, por lo que se decide realizar la presente investigación con el fin de estudiar algunas de las propiedades del mortero fabricado con este material, confirmando los resultados de investigaciones ya reportadas y/o añadiendo a estas en un movimiento por la conservación del ambiente que se ha desarrollado en todo el mundo. Con lo anterior se busca promover el uso de agregados reciclados carbonatados en mezclas de mortero, el cual con un poco más de estudio podría llegarse a aplicar para los casos de resistencia estructural.

Para finalizar, es importante recalcar que, hasta el momento en Colombia, no se encontraron investigaciones que relacionen el comportamiento de morteros adicionados con agregados reciclados carbonatados a través de un proceso acelerado, ya sea en reemplazo total o parcial del agregado natural. Por tanto, se considera que la presente investigación es un primer paso en el país, para un mejor entendimiento del AFR carbonatado con miras a un uso masivo, dado que muy probablemente se mejoren algunas propiedades de los nuevos morteros y concretos. Se aclara que, si bien este estudio no será la prueba definitiva, si espera ser una parte de la base sobre la que se construya esta.

4. Objetivos

Objetivo general:

Evaluar algunas propiedades mecánicas y de durabilidad de morteros con agregado fino reciclado carbonatado y no carbonatado como reemplazo parcial del agregado fino natural.

Objetivos Específicos:

1. Determinar la efectividad del proceso de carbonatación en los agregados reciclados a través del cambio de algunas propiedades físicas claves, tales como: masa unitaria, densidad aparente, nominal, en condición SSS, absorción y composición, esta última utilizando una técnica termo gravimétrica.
2. Estudiar el efecto de un reemplazo del 0, 25 y 50% del agregado fino natural por su contraparte reciclada en una condición carbonatada y no carbonatada en específicas propiedades mecánicas y de durabilidad. Para ello se utilizarán los ensayos de: Resistencia a la compresión, tasa de absorción superficial inicial, sortividad, porcentaje de absorción de vacíos y su volumen, velocidad de pulso ultra-sónico, estabilidad de volumen, Fisuración durante el secado y microscopía electrónica de barrido.
3. Valorar la combinación óptima del porcentaje de reemplazo de agregado fino natural por reciclado, es decir, la relación que entregue los mejores índices de resistencia mecánica y de durabilidad.

5. Metodología y materiales utilizados

Para la investigación aquí presentada se dividieron las actividades en tres etapas esenciales, cada una de las cuales tuvo como finalidad determinar propiedades fundamentales del material o de las probetas de ensayo.

Sin embargo, se debe aclarar que la consulta bibliográfica y la trituration del agregado fino se consideraron como un paso previo (y constante, para el primer caso) en la presente investigación, por lo que se explicaran previamente al desarrollo de las etapas.

5.1. Consulta Bibliográfica

La búsqueda de material de consulta se realizó a través de diferentes bases académicas utilizando numerosas palabras claves que pudieran arrojar resultados de relevancia. Fueron consultados artículos de investigación, libros, revistas de construcción, memorias de congresos, manuales técnicos, tesis de postgrado, entre otros., como paso previo y durante el transcurso de toda la investigación aquí presentada.

Con la recolección de esta información se formuló una serie de objetivos, tanto generales como específicos, que se consideran apropiados para colaborar en el avance del tema y por ultimo ayudar a la resolución de la problemática identificada. Se evaluaron entonces los materiales necesarios y los ensayos requeridos.

Para el manejo de la extensa información bibliográfica encontrada se utilizó el programa de manejo de bibliografía "Mendeley", el cual resultó de gran utilidad para el desarrollo de la consulta.

5.2. Materiales Utilizados

Se debe aclarar, todos los materiales utilizados durante la presente investigación fueron suministrados por la *Escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito*, a la cual se le agradece su soporte.

5.2.1. Cemento

Para el presente ensayo se utilizó un cemento portland tipo concretero marca Argos, el cual es utilizado en construcciones con producción industrializada de concretos con altos requerimientos estructurales o en las cuales se deba hacer reparaciones, entre otros usos.

5.2.2. Agregado fino natural

El agregado fino natural que fue utilizado para todas las mezclas de la investigación proceden del municipio de Tabio, en el departamento de Cundinamarca, y fue utilizado en distinta proporción según los porcentajes de reemplazo mostrados en el diseño de mezcla.

5.2.3. Agregado fino reciclado

El agregado reciclado fue obtenido por medio de un proceso de trituración de cilindros fundidos y descartados en obra de los cuales no se tiene conocimiento de su resistencia u homogeneidad de esta a lo largo de todos los cilindros, lo que permite tener condiciones similares a como sucede en las plantas de reciclaje de concreto.



Fotografía1. Izquierda - Máquina trituradora. Derecha – Cilindros descartados para reciclaje

Con fines de evitar la carbonatación natural del agregado reciclado por su contacto con la atmosfera, se almacenó este después de triturado y tamizado en bolsas plásticas que se mantenían herméticas hasta el día de la fundida. Cada una de las bolsas contenía un (1) kilogramo de material.



Fotografía2. Agregado fino reciclado en bolsas herméticas

5.2.4. Agregado fino reciclado carbonatado

Este material hace parte del mismo lote del agregado reciclado mostrado con anterioridad, pero fue carbonatado siguiendo los procedimientos descritos que se presentaran en la etapa 1.

5.2.5. Tipo de sulfato

Para la prueba de expansión se utilizó sulfato de magnesio obtenido de la tienda de químicos “Químicos Campota”, ubicada en la ciudad de Bogotá. La solución se realizó como una mezcla por masa a una concentración de 50 gr/litro, según lo establece la normativa ASTM C157.



Fotografía3. Bolsa de sulfato de magnesio

5.3. Etapas principales de la investigación

Las etapas desarrolladas durante el proyecto fueron cuatro, en las que se incluye la carbonatación de los agregados, su caracterización, la fabricación de las probetas y el análisis de los resultados. A continuación, se presentan cada una de estas:

- **ETAPA 1:** Consistió en la carbonatación de los ARC finos, empleando diferentes condiciones ambientales, con el fin de encontrar los parámetros del proceso de carbonatación que permitieran obtener una mejora de las propiedades del agregado reciclado. Las variables ambientales consideradas se relacionan en la siguiente tabla.

Tabla 3. Variables principales del estudio

Proceso de Carbonatación	Temperatura	Ambiente - 23 °C
	Humedad Relativa	65%
	Concentración de CO ₂	10%
	Tiempo de Carbonatación	Alcanzar una carbonatación total
Material a Carbonatar: ARC fino	Condición de humedad del agregado	1 - Secos al horno (105 °C)
		2 - Contenido de humedad constante de aproximadamente 20% durante el proceso de carbonatación.

En cuanto al procedimiento para la carbonatación durante esta etapa, se dispuso el material dentro de una cámara de carbonatación acelerada con control electrónico de humedad, temperatura y concentración de CO₂, que se encuentra en los laboratorios de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. En la carbonatación se utilizó una serie de bandejas apiladas y separadas a través de tubos plásticos, que permitían una optimización del espacio. En las imágenes siguientes se presenta la disposición de las bandejas con material en la cámara de carbonatación acelerada.



Fotografía4. Fotografías del agregado reciclado en cámara de carbonatación.



Fotografía5. Cámara de carbonatación usada en el estudio.

El material permaneció de esta forma por cerca de dos semanas (15 días), donde era diariamente removido para garantizar una carbonatación uniforme y optima, lo cual se determinó con la ayuda de ensayos de densidad y absorción, los cuales no mostraban diferencias significativas en el tiempo para el final de dicho periodo. El material, al ser removido de la cámara de carbonatación, fue guardado en bolsas plásticas herméticas. También se utilizó una prueba de fenolftaleína, donde por inspección visual se identifica una carbonatación total del agregado, tal como se observa en las siguientes figuras.



Fotografía6. Izquierda. Material sin carbonatar reaccionando a la fenolftaleína. Derecha - Material carbonatado sin reacción.

Durante esta etapa se evaluó el estado de carbonatación del agregado fino a través de su absorción, densidad aparente y nominal, con fines de determinar el punto en el cual estas propiedades disminuyeran su variación o se detuviera en absoluto, indicativo de una carbonatación completa.

- **ETAPA 2:** Con la caracterización realizada sobre el agregado fino reciclado, se estimó el número de días que fue necesario, con las condiciones ambientales establecidas, para lograr

el punto de carbonatación óptimo que posibilitaba retirar el material de la cámara de carbonatación y almacenar estos en bolsas plásticas herméticas, de tal forma que las propiedades del material no variaran significativamente hasta el momento de la fundida de las probetas.

- **ETAPA 3:** Esta etapa fue la más extensa de la investigación, pues en ella se fundieron las probetas de acuerdo a los diseños de mezcla de mortero mostrados en tablas posteriores, y se realizaron los ensayos de laboratorio sobre estas, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4. Relación de ensayos realizados en el mortero endurecido, con la normativa y cantidad de probetas correspondiente.

	Ensayo	Normativa	Tipo de Probeta	Cantidad de Probetas (Probetas x Combinación)
Propiedades en el mortero endurecido	Resistencia a la compresión en cilindros	ASTM C39	Cilindro de 5x10 cm	3 x 40 = 120 Cilindros
	ISAT (Tasa de absorción superficial inicial)	Norma Británica BS 1881	Cilindro de 10x20 cm	3x10 = 30 Cilindros
	Sortividad	ASTM C1585	Discos de 10 x 5 cm obtenidos de cilindros de 10x20 cm	1 de cada cilindro - 20 cilindros en total
	Porcentaje de absorción de vacíos y volumen de vacíos	ASTM C642	Cilindro de 5x10 cm	Se usan los mismos cilindros del ensayo de ISAT
	Velocidad de pulso ultrasónico	NTC 4325	Cilindro de 5x10 cm	Se usan los mismos cilindros del ensayo de ISAT
	Estabilidad de volumen	ASTM C157 (Cambio de longitud en morteros)	Viguetas de 2.5x2.5x28.5 cm	4 x 10 = 40 Viguetas
	Expansión por sulfatos	ASTM C596	Viguetas de 2.5x2.5x28.5 cm	4 x 10 = 30 Viguetas
Opcional: Ensayos Microscópicos	SEM (Microscopia Electrónica de Barrido)	-No específica -	No definida - Fragmentos	1 x 5 = 5 Muestras

Los ensayos realizados sobre el cemento tipo concretero utilizado en el estudio se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Ensayos realizados sobre el cemento.

	Propiedad	Normativa
Propiedades del cemento	Composición química	-
	Densidad	NTC 221 (ASTM C188)
	Finura (Aparato Blaine)	NTC 33 (ASTM C204)

Y en la Tabla 6 se presentan los ensayos que fueron realizados al agregado fino reciclado.

Tabla 6. Ensayos realizados sobre el agregado fino reciclado.

	PROPIEDAD	NORMA
Granulometría	Gradación	NTC 77, ASTM C136 y ASTM C117
Requerimientos Físicos	Masa Unitaria	ASTM C29
	Densidad aparente, nominal y en condición SSS	ASTM C128 (Agregado Fino)
	Porcentaje de absorción	ASTM C128 (Agregado Fino)

- **ETAPA 4:** Última etapa de la investigación, consistió en el análisis e interpretación de resultados, en conjunto con la redacción de las conclusiones y la escritura de los documentos pertinentes (artículo y tesis).

5.4. Nomenclatura utilizada para las mezclas

Dadas las diferentes variables consideradas en el estudio, se rotuló cada una de las probetas de la siguiente forma:

- La primera letra del nombre, A o B, indica la relación de agua cemento donde A se utilizó para un 0.55 y B para un 0.65 de a/c.
- La segunda letra indica si el agregado reciclado se encuentra carbonatado, con una N para NO y una S para un SI.

- Los siguientes dos números indican el porcentaje de reemplazo del agregado natural por el reciclado y para lo cual existen dos posibilidades: 25% y 50%.
- El siguiente número, precedido de un guion, indica el lote de ensayo al que corresponde la muestra, utilizando 1-4 (3,28,90 y 180 días) para las muestras utilizadas en ensayos de resistencia mecánica y 1-3 (28,90 y 180 días) para las muestras sometidas a ensayos de durabilidad.
- El último dígito indica el número de probeta dentro del conjunto de probetas similares, pudiendo variar desde 1 hasta 4 para la mayoría de los ensayos propuestos en la Tabla 4.

Se presenta un ejemplo de la nomenclatura:

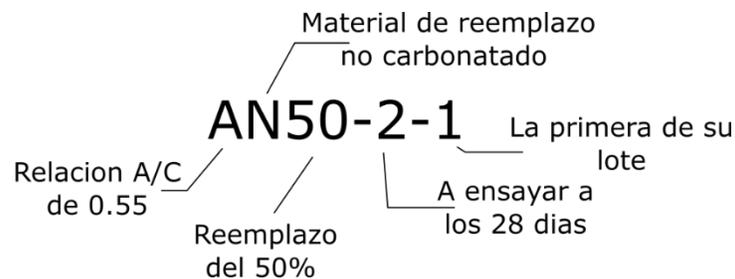


Ilustración 7. Ejemplo de descomposición de la nomenclatura utilizada

5.5. Ambiente de curado

Todas las probetas utilizadas fueron fundidas en laboratorio y desencofradas a las 24 horas, al término de lo cual se ingresaron a la piscina de curado donde permanecerían hasta su ensayo. La piscina se encontraba llena de agua potable proveniente del acueducto a la cual se le adicionó cal para evitar el crecimiento de micro-organismos y también para ayudar al curado.

No se utilizó ningún otro ambiente de curado durante la investigación, a excepción de una cámara de humedad y temperatura controlada, utilizada para almacenar las probetas en la solución de sulfatos y aquellas utilizadas en el ensayo de cambio volumétrico del mortero. Los parámetros de dicha cámara eran vigilados y controlados las 24 horas por un sistema electrónico. Además, se especifica que esta cuenta con una capacidad volumétrica de aproximadamente 22.5 m³ y se encuentra en el laboratorio de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Se presenta a continuación en la Fotografía 7 una parte de dicha cámara, la cual fue mantenida a una temperatura de 25 ± 2 °C y una humedad relativa de 55 ± 5 %.



Fotografía 7. Cámara de humedad y temperatura controlada.



Fotografía 8. Piscina de curado.

6. Ensayos realizados

Durante la continuidad de la investigación se realizaron una serie de ensayos sobre los materiales y probetas que servirían para caracterizarlos y tener una visión específica de su comportamiento. A continuación, se presentan los resultados de los ensayos realizados y se anexan en diversos casos los resultados obtenidos de caracterización del material.

6.1. Ensayos en el cemento

6.1.1. Composición Química

El cemento utilizado se denomina “tipo concretero”, obtenido a través de la empresa cementera Argos. Este material fue sujeto a un ensayo de fluorescencia de rayos X para determinar su composición química, lo cual fue realizado en el laboratorio de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, a través de un convenio inter-institucional. A continuación, se transcribe los resultados obtenidos y el procedimiento de la prueba según fueron reportados.

Tabla 7. Descomposición química del Cemento Concretero utilizado.

Elemento y/o Compuesto	Cemento Concretero (% en peso) *
CaO	61,015%
SiO ₂	20,906%
SO ₃	5,868%
Al ₂ O ₃	4,783%
Fe ₂ O ₃	3,632%
K ₂ O	1,047%
MgO	0,911%
Na ₂ O	0,680%
TiO ₂	0,311%
P ₂ O ₅	0,298%
Mn ₂ O ₃	0,271%
Ba	0,087%
SrO	0,084%
Cl	0,070%
ZnO	0,021%

Elemento y/o Compuesto	Cemento Concretero (% en peso) *
Pb	0,006%
Rb	0,005%
Y	0,005%
Total	100,000%

* Los valores en negrilla son informativos

Como se puede observar, la composición del cemento analizado es similar al de uno normal, el cual se encuentra principalmente compuesto por óxido de calcio (CaO) aportado por la cal, el dióxido de silicio (SiO₂), el óxido de Aluminio (Al₂O₃) y el óxido de Hierro (Fe₂O₃) los cuales son aportados por la arcilla y por último, se tiene una cantidad alta (+4%) de trióxido de Azufre (SO₃), el cual es aportado por el yeso, que actúa como regulador del fraguado (Edwin & Jorge, 2014).

6.1.2. Densidad y Finura del cemento

Para este ensayo se utilizó el permeabilmetro de Blaine en conjunto con las normativas NTC 33 y NTC 221. Los resultados obtenidos de la caracterización del cemento se presentan a continuación:

Tabla 8. Densidad y Finura del cemento utilizado.

Densidad del cemento (g/cm ³):	3,07
Finura del cemento (cm ² /g):	4213,34

En primer lugar, la densidad del cemento es menor a los 3.15 g/cm³, lo cual implica que se puede catalogar como puro o de baja adición, dado que su densidad se encuentra entre 3.10 y 3.15 g/cm³.

Respecto a la finura, esta es menor que otros cementos tipo I analizados por (Edwin & Jorge, 2014), quien analizo cuatro marcas diferentes producidas en Colombia. Esta menor finura puede implicar un bajo uso de adiciones, como la ceniza volante o la escoria de alto horno, cuyo uso es común en Colombia y las cuales tienen un tamaño menor a las partículas de Clinker y el yeso molido (ibíd.) típicamente usado en la fabricación del cemento. También se destaca, que esta mayor finura permite que el cemento se hidrate más rápido y sus reacciones de ganancia de resistencia se aceleren de la misma forma, aunque al costo de aumentar el calor de hidratación del mortero, lo cual puede ser un problema en estructuras de gran tamaño.

La densidad de este material, se utilizó para el diseño de las mezclas durante la investigación.

6.2. Ensayos en el agregado fino reciclado

6.2.1. Granulometría

Esta prueba se realizó sobre los dos tipos de agregados finos a usar en la fabricación de las probetas, el natural y el reciclado, donde la granulometría del agregado natural fue otorgada por el laboratorio mientras que la reciclada fue realizada durante la investigación.

6.2.1.1 Agregado fino reciclado:

Para la granulometría del agregado fino reciclado se siguieron las recomendaciones dadas por la normativa ASTM C136 en conjunto con la I.N.V.E-213-07. Para este ensayo se utilizó 2.5 kilogramos de material y la siguiente serie de matices: N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 40, N° 50, N° 60, N° 80, N° 100 y N° 200. De los resultados del ensayo, se puede decir que se obtuvo una granulometría continua con preferencia de finos, confirmándose esto con el módulo de finura, cuya magnitud calculada es de 1.77, el cual es mucho más bajo que el obtenido para una arena convencional (2.5-3.0). A continuación, en la Ilustración 8, se presenta la curva granulometría obtenida.

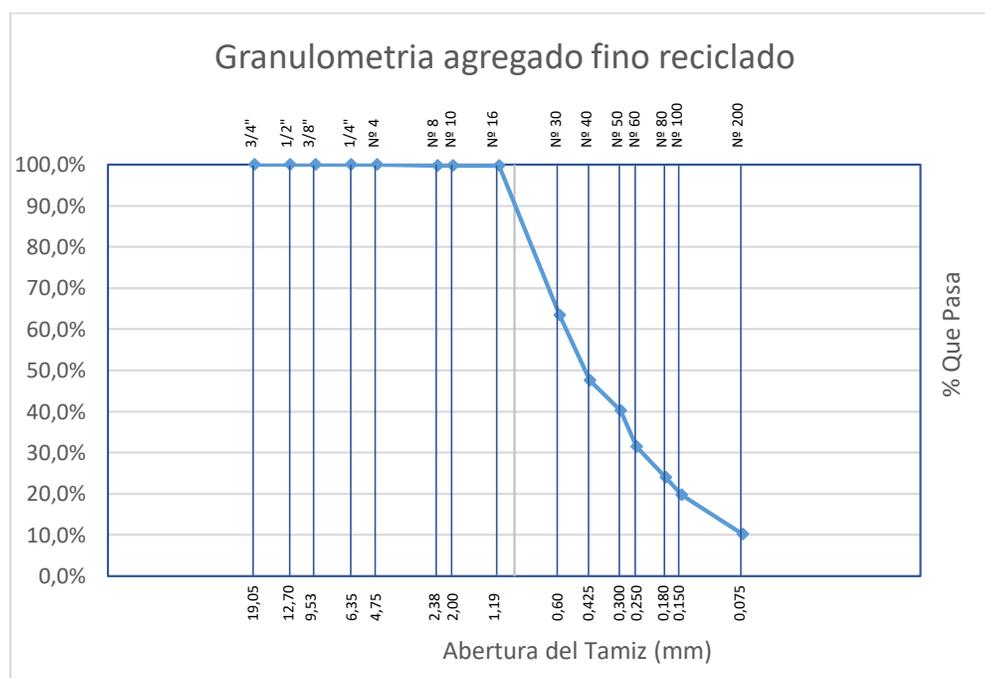


Ilustración 8. *Granulometría del agregado reciclado.*

6.2.1.2 Agregado fino natural:

Esta granulometría presenta una buena gradación de tamaños y un módulo de finura de 3.36, ligeramente más alto que el obtenido para una arena convencional (2.5-3.0), esto puede deberse, que al haber estado expuesto al ambiente haya ocurrido un lavado de finos como consecuencia de las lluvias que se presentaron, o si fue obtenida de una planta de trituración, el proceso no fue suficientemente efectivo. La granulometría obtenida se grafica a continuación:

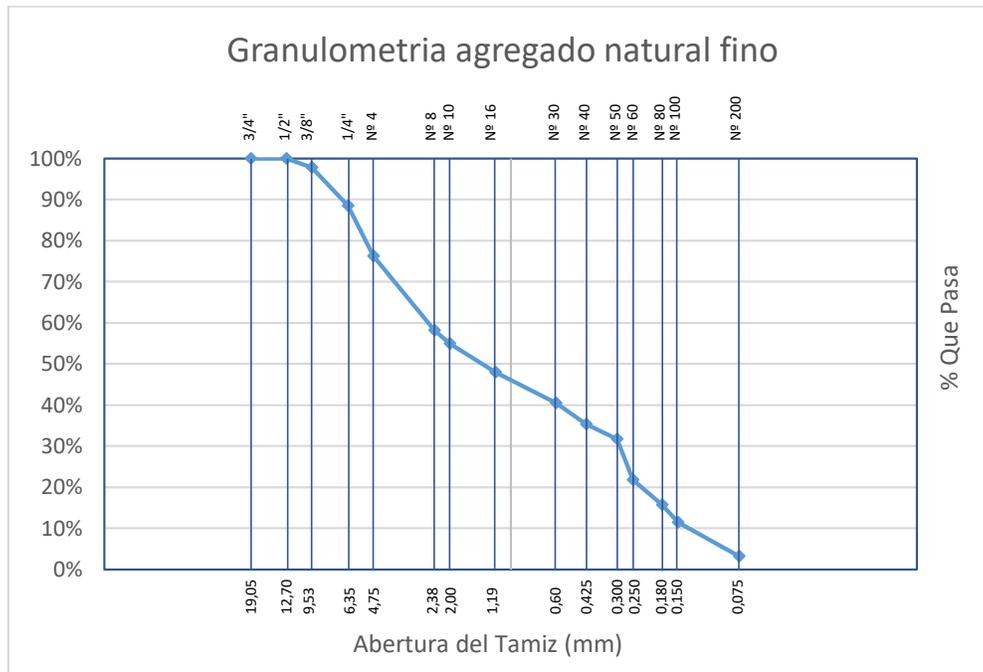


Ilustración 9. Granulometría del agregado natural.

Es importante resaltar el papel que cumplen las dos curvas para un análisis comparativo en el capítulo de resultados.

En la gráfica siguiente se observan superpuestas las granulometrías obtenidas para las arenas utilizadas en la presente investigación, de forma que su comparación resulta más sencilla.

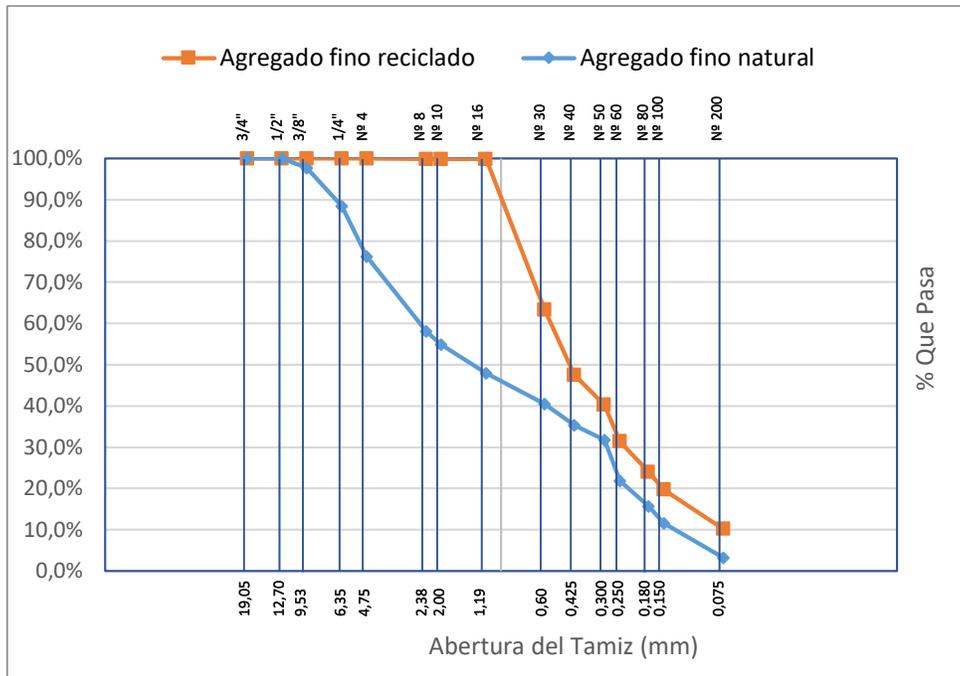


Ilustración 10. Granulometrías superpuestas de ambos tipos de agregado

De la comparación de las granulometrías, se puede observar como el agregado fino reciclado posee una mayor fracción fina, superior en un 7% al agregado natural. Además, este último posee una mejor distribución de tamaños a lo largo de un rango más amplio que el AFR.

6.2.2. Peso unitario

También conocido como densidad bulk; es la relación entre el peso total del material dividido entre el volumen total que ocupa. En este volumen se incluye no solo las partículas del material si no también el espacio entre ellas, y el volumen de la red interna de poros.

Esta prueba se realizó sobre el agregado natural, reciclado y reciclado carbonatado, siguiendo la normativa ASTM C 29.

6.2.3. Densidad y Absorción

La ASTM C128-05 fue la normativa seguida para este ensayo, el cual fue realizado en diferentes muestras a lo largo del proceso de carbonatación, teniendo como fin el de determinar el cambio de las propiedades del agregado durante dicho proceso.



Fotografía9. Izquierda - Agregado en una condición SSS. Derecha – Bolón volumétrico usado en la prueba.

Además, el ensayo fue practicado en el agregado natural con propósitos comparativos y como requerimiento para el diseño de mezcla.

6.2.4. Termo gravimetría y Análisis Térmico Diferencial

Este ensayo es en realidad un análisis térmico, en el cual se mide la variación de la masa de una muestra de material cuando es sometida a un programa de temperaturas. Dicha variación de masa puede ser tanto positiva como negativa.

Junto con la termo gravimetría es posible hacer un Análisis Térmico Diferencial (DTA), en el cual se miden las transiciones endotérmicas y exotérmicas como función de la temperatura. Estos puntos de variación permiten concluir acerca de los compuestos presentes en la muestra y otros elementos constituyentes.

Intentando determinar el cambio en las propiedades del material carbonatado y asegurar la efectividad del proceso, se realizó una prueba de termo gravimetría diferencial sobre el agregado reciclado carbonatado y sin carbonatar. El ensayo se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia a través de un convenio inter-institucional.

6.3. Diseño y preparación de mezclas de mortero

Para el diseño de cada una de las mezclas de mortero se siguió la metodología expuesta por el Ing. Alejandro Sardino y posteriormente por el Ing. Diego Sanchez de Guzman. Para el diseño se tuvieron en cuenta las propiedades del cemento y agregado determinadas durante el procedimiento experimental. En total, se realizaron 10 mezclas con reemplazos parciales de agregado,

natural/reciclado/reciclado carbonatado, corrigiendo la cantidad de agua por humedad y absorción de la arena en un diseño por volumen.

En la Tabla 9 se presentan las variables principales del diseño de mezcla de mortero, en donde se muestran los porcentajes de reemplazo de agregado natural por reciclado carbonatado y no carbonatado, además de las edades de ensayo planteadas en la investigación.

Tabla 9. Variables principales para los diseños de mezcla.

Mezclas de mortero	Relaciones agua/cemento	0.55 y 0.65
	% de reemplazo de agregado natural por ARC fino no carbonatado	0% - 25% - 50%
	% de reemplazo de agregado natural por ARC fino carbonatado óptimamente	0% - 25% - 50%
	Edades de ensayo (días)	3d - 28d - 90d - 180d

Para los dos tipos fundamentales de mezclas, A y B, se fijó un valor de relación a/c, siendo 0.55 para la primera y 0.65 para la segunda. Las relaciones a/c seleccionadas representan los siguientes tipos de mortero estipulados en el reglamento de construcciones sismo-resistentes. Ver Tabla 10.

Tabla 10. Tipos principales de mezcla de mortero.

Mezcla	Tipo de mortero*	Resistencia (MPa)
A	H	22,5
B	M	16,5

* Según la tabla D.3.4-1 del título D, de la NSR-10

Con lo anterior se realizó el diseño de las mezclas utilizadas en la presente investigación y que se presentan por conveniencia resumidas a continuación:

Tabla 11. Cantidad de material utilizado según diseño de mezcla.

Mezcla	Cemento (kg/m ³)	Agregado (kg/m ³)		Agua (kg/m ³)	Relación Agua/Cemento
		Natural	Reciclado		
A	561,2	1353,3	0,0	308,3	0,55
AN25	548,8	992,5	330,8	301,5	0,55
AS25	548,8	992,5	330,8	301,5	0,55
AN50	535,8	646,0	646,0	294,4	0,55
AS50	535,8	646,0	646,0	294,4	0,55

Mezcla	Cemento (kg/m ³)	Agregado (kg/m ³)		Agua (kg/m ³)	Relación Agua/Cemento
		Natural	Reciclado		
B	452,3	1480,9	0,0	295,3	0,65
BN25	441,3	1083,8	361,3	288,2	0,65
BS25	441,3	1083,8	361,3	288,2	0,65
BN50	430,0	703,9	703,9	280,7	0,65
BS50	430,0	703,9	703,9	280,7	0,65

Los morteros se fundieron en moldes cilíndricos, para lo cual se siguieron las recomendaciones de mezclado y colocación dadas por la normativa **NTC 3546**.

6.4. Ensayos en el mortero endurecido

Con las probetas de mortero ya fabricadas, se procede a realizar los ensayos propuestos en la Tabla 4, en los que se determinaron algunas de las propiedades mecánicas y de durabilidad más relevantes del material, las cuales se presentan a continuación.

6.4.1. Resistencia a la compresión en cilindros

El ensayo se rige a través de la normativa ASTM C39 utilizando para ello muestras de cilindros de mortero de dimensiones nominales 4.5 cm de diámetro y 9 cm de alto. En total se ensayaron 120 cilindros, divididos en 3 cilindros para cada mezcla y para cada una de las edades de estudio: 3, 28, 90 y 180 días. El equipo utilizado corresponde a una maquina universal Shimadzu, con capacidad máxima de 100 ton, presentada en las fotografías siguientes.



Fotografía 10. Izquierda - Detalle de la probeta en la máquina de ensayo. Derecha - Probeta en la maquina universal Shimadzu.

6.4.2. Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU):

Antes de realizar la prueba del ISAT y Sortividad, se utilizan los cilindros de mortero (100 mm x 200 mm) para un ensayo de velocidad de pulso ultra-sónico, siguiendo los parámetros establecidos por la NTC 4325. Para cada muestra, al momento de ensayar, se tomaron 8 mediciones de VPU, con las cuales se obtuvo un promedio de velocidad.

El ensayo, en términos generales, consistió en utilizar un equipo de velocidad de pulso ultrasónico para correlacionar la velocidad de la onda con el grado de homogeneidad del material, asumiendo una frecuencia constante de la onda en el medio mecánico. Se tiene entonces, que la velocidad del pulso:

$$\text{Velocidad del pulso} = \text{Distancia} / \text{Tiempo}$$

El sistema, en su configuración más simple, consiste de dos transductores piezoeléctricos, de los cuales uno actúa como generador y otro como receptor. Estos se colocaron a cada lado de la probeta, de tal manera que quedaron enfrentados en su eje axial. Un pulso eléctrico fue entonces generado por el equipo, el transductor lo convirtió en una onda, la cual viajó por la probeta y llegó finalmente al receptor, donde fue traducida a otro impulso eléctrico. El equipo finalmente determina el tiempo de viaje de la onda en milisegundos, lo cual fue utilizado para determinar la velocidad de la onda y poder correlacionar esta con el grado de durabilidad de la muestra, relacionado con los diferentes ensayos a los que se sometió el mortero.



Fotografía 11. Montaje del ensayo de Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU).

6.4.3. ISAT (Tasa de absorción superficial inicial)

La absorción superficial inicial, determinada con este método, se define como la tasa de flujo de agua (bajo una presión y temperatura constante), su determinación se realiza por unidad de área a intervalos establecidos de tiempo desde el inicio del ensayo. La teoría, de este ensayo se fundamenta en la presunción de que la muestra absorbe agua por acción capilar, a un ritmo que es inicialmente rápido pero va disminuyendo conforme pasa el tiempo y los poros de la muestra en estudio se van saturando progresivamente del fluido (Wilson et al., 1998).

Este ensayo se realizó usando la norma británica BS 1881: Parte 208: 1996. A diferencia del ensayo anterior, esta prueba utiliza cilindros de dimensiones nominales 10 cm de diámetro y 20 cm de alto.

Se ensayaron un total 60 cilindros, divididos para las edades de 28, 90 y 180 días.

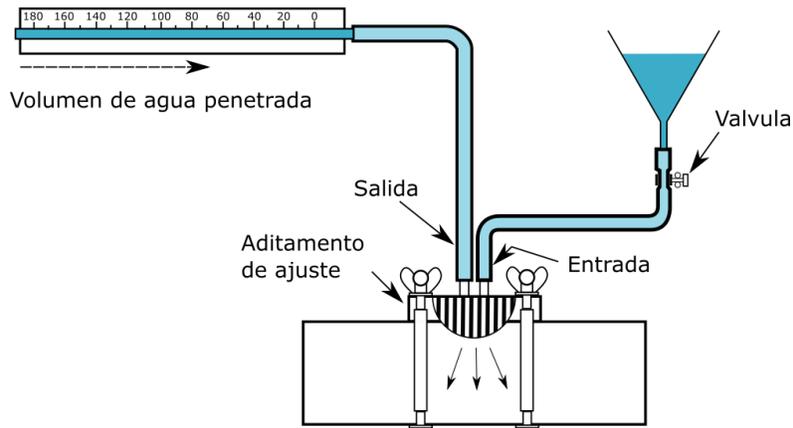


Ilustración 11. Esquema general del montaje del ensayo ISAT.



Fotografía 12. Izquierda - Prueba en ensayo. Derecha - Fotografía del reservorio.

6.4.4. Sortividad

Para el caso del ensayo de sortividad, el mecanismo principal de transporte es la succión capilar, entendiéndose como el proceso por el cual un fluido es succionado dentro de un material poroso e insaturado bajo la acción de fuerzas capilares. La succión capilar de este proceso depende entre otras cosas, de la geometría de los poros y el grado de saturación del concreto. De esta manera, la tasa de movimiento de un frente de flujo a través de un material poroso bajo las fuerzas capilares se conoce como sortividad (Alexander, Ballim, & Stanish, 2008).

Este ensayo, al igual que el movimiento de fluidos (gases y líquidos) e iones a través del concreto/mortero, es importante dadas las reacciones potenciales que puede ocurrir dentro de este y, que pueden alterar finalmente la integridad del material de una forma directa siendo este fluido el agente dañino, o de una forma indirecta siendo el agente de transporte.

Las muestras en este caso son obtenidas una vez realizada la prueba del ISAT (prueba no destructiva), donde los cilindros fueron cortados en rodajas de 5 cm de espesor, siendo una de estas la utilizada para realizar la prueba de sortividad según la normativa ASTM C1585; el seccionamiento de la muestra, utilizada en el ensayo, se presenta en la Ilustración 12. En total fueron ensayadas 60 probetas, divididas para las edades de 28, 90 y 180 días.

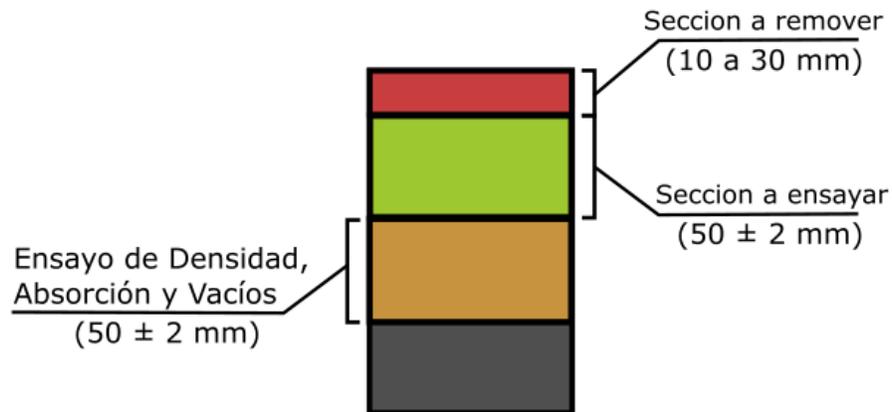
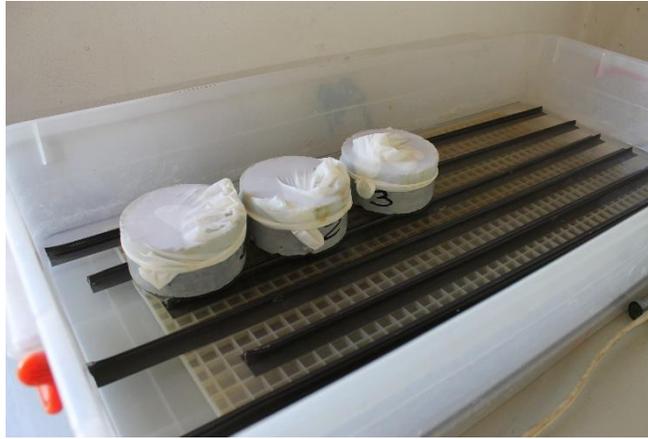


Ilustración 12. Seccionamiento del cilindro para obtener la probeta del ensayo de Sortividad.



Fotografía13. Muestras en ensayo.



Fotografía14. Izquierda - Muestras en el desecador. Derecha - Muestra con recubrimiento epoxico.

6.4.5. Densidad, absorción y vacíos en el mortero endurecido

Otro de los discos obtenidos de los cilindros de ISAT, según se ejemplifica en la Ilustración 13, fue utilizado para realizar la prueba de densidad, absorción y vacíos en el mortero, la cual se realiza bajo los requerimientos de la normativa ASTM C642. En las fotografías siguientes (Fotografía15), se muestran algunos de los pasos desarrollados para este ensayo, en el cual, de la misma manera que con la sortividad, se ensayaron 60 probetas.

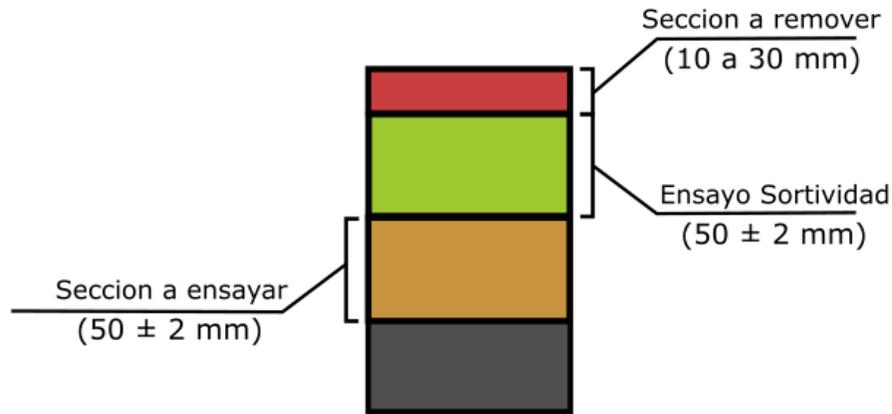
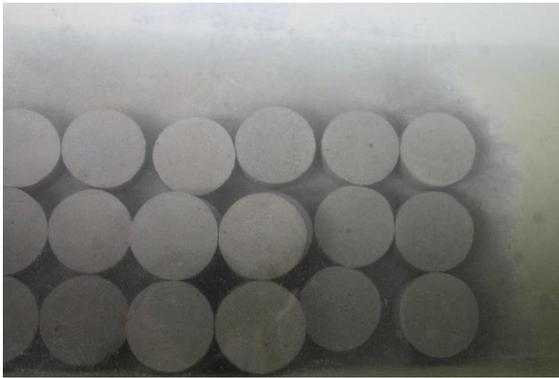


Ilustración 13. Seccionamiento del cilindro para obtener la probeta de Densidad, absorción y vacíos en el mortero endurecido.



Fotografía 15. Izquierda - Probetas en inmersión por 48 horas. Derecha - Probetas hirviendo al finalizar el periodo de 5 horas.

6.4.6. Cambios Volumétricos:

El ensayo aquí presentado, buscó determinar la variación volumétrica de las probetas de mortero, en la forma de un cambio de longitud de la probeta ocasionado durante la retracción por secado. Para ello, se mide dicho cambio y se expresa como un porcentaje de la longitud inicial de la muestra.

La retracción que se mide en este caso se desarrolla principalmente por la evaporación del agua de los poros capilares de la pasta de mortero hidratada al exponer su superficie al aire y el sol. La principal diferencia entre esta y la retracción plástica son los tiempos de aparición, donde la primera es tardía con respecto a la segunda.

Para esta prueba se fabricaron viguetas de mortero con un tamaño de 25x25x285 mm, las cuales se almacenaron y ensayaron de acuerdo a los requisitos estipulados en la ASTM C596. Esto fue realizado con la ayuda de una cámara de humedad y temperatura controlada, la cual regulaba

electrónicamente la temperatura y la humedad del recinto durante los seis meses que duró la investigación. Las condiciones de la cámara se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 12. Condiciones de la cámara de humedad y temperatura controlada.

Variable Ambiental	Rango
Temperatura:	$25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$
Humedad Relativa:	$55 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$

Para este ensayo, se fabricaron 4 probetas por cada mezcla, obteniendo un total de 40 muestras medidas con una frecuencia semanal.



Fotografía16. Izquierda - Molde utilizado en la fabricación de las probetas. Derecha - Probetas en la cámara de humedad y temperatura controlada.

6.4.7. Expansión por sulfatos

El ataque de sulfatos, en términos de procedencia, puede clasificarse como interno o externo. Aquel que sucede desde dentro del elemento de concreto, se le conoce como ataque interno, mientras el debido a la acción de los agentes externos (brisa y agua de mar, sales añadidas a la estructura para evitar congelación, entre otras), es catalogado como ataque externo.

El ataque externo de sulfatos, fundamento de este ensayo, es un fenómeno complejo en el cual una serie de interacciones químicas y físicas en el concreto o mortero causan su expansión y fisuramiento. El proceso por el cual esto ocurre se debe principalmente a la difusión de iones de sulfato, desde el exterior hacia el interior de la muestra, interactuando estos con la estructura mineralógica/química de la pasta de cemento (Ikumi, Cavalaro, Segura, de la Fuente, & Aguado, 2016).

De la misma forma que el ensayo inmediatamente anterior, se moldearon viguetas de mortero de 25x25x285 mm, las cuales fueron inmersas en una solución de sulfato de magnesio a una

concentración de 50 g/litro, según las recomendaciones de la normativa ASTM C 1012. Las muestras en solución fueron mantenidas en la cámara de temperatura y humedad controlada, con las variables ya presentadas en la Tabla 12, durante los seis meses que duró la investigación. Se fabricaron 4 probetas por cada mezcla, obteniendo un total de 40 probetas para este ensayo, las cuales fueron medidas en el comparador de caratula con una frecuencia semanal.



Fotografía17. Muestras de mortero en la solución de sulfatos.

Se optó por cambiar la solución de magnesio cada semana, con el fin de mantener controlado su pH dentro del rango permitido (6 a 8, evitando la utilización de otros medios para el control de la alcalinidad, por ejemplo, la adición de ácido sulfúrico, lo cual puede tener consecuencias no previstas sobre las probetas.



Fotografía18. Izquierda- Muestra de solución siendo procesada. Derecha - Aparato de medición de pH.

En las fotografías anteriores, se presenta el equipo utilizado para controlar el pH de la solución, lo cual se hacía con una frecuencia semanal.

6.4.8. SEM (Microscopía Electrónica de Barrido)

Se obtuvieron fragmentos de mortero endurecido de 5 tipos de mezcla: A, AN25, AN50, AS50, BN50, los cuales fueron escaneados a través de una prueba SEM con fines de hacer comparaciones cualitativas entre las mezclas y correlacionar dichas observaciones con los resultados obtenidos de otras pruebas de laboratorio en el mismo marco de la presente investigación. Este ensayo se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, gracias a un convenio inter-institucional.

Se debe aclarar, además, que se utilizaron las técnicas de Back-Scattered electrons (BSE) y de Secondary Electrons (SE) para el análisis de las muestras. La primera de estas, trata de la utilización de la reflexión de los electrones por la interacción con el volumen del material, lo cual sirve para generar un contraste entre áreas de diferente composición química; mientras que la segunda utiliza electrones secundarios de baja energía que ejercen una dispersión inelástica sobre el material y que una vez fotografiados nos permiten obtener una imagen de apariencia 3D con formas bien definidas de las estructuras del material.

7. Resultados y análisis de resultados

En el presente capítulo, se presentan los resultados obtenidos en los ensayos desarrollados durante el curso del estudio junto con el análisis correspondiente para cada caso.

Se debe tener en cuenta que los resultados presentados en este documento poseen un error inherente al procedimiento experimental y, además, a la misma naturaleza del diseño, la fabricación y el curado del mortero. Para subsanar este tipo de inconveniente se han desarrollado metodologías como el criterio de Chauvenet o el de Pierce's, además de la prueba de Grubb, que utilizan análisis estadísticos para la detección de datos anómalos, los cuales se basan en los principios del teorema del límite central en un modelo de distribución normal. Sin embargo, tales implementaciones no son posibles para el presente caso, dado que para su ejecución se requiere de: 1). Una gran cantidad de datos por tipo de variable analizada, 2). La eliminación de los datos anómalos.

De los problemas anteriores, el primero resulta de la limitante cantidad de muestras que fueron utilizadas en la investigación para cada tipo de variable investigada (de dos a 4 por cada tipo, mezcla y ensayo), mientras que el segundo da pie a controversias dentro del ámbito científico e investigativo, sin mencionar la pérdida de confiabilidad en el promedio de un reducido número de datos.

Ahora, si bien no podemos utilizar un complejo método para la detección de datos anómalos, si es factible realizar un análisis de error a través de la desviación estándar, la cual se utiliza como una medida de la dispersión en un conjunto de datos de variables cuantitativas, lo cual podemos representar como barras de error en nuestras gráficas.

Se presentan entonces a continuación, las gráficas, tablas y comentarios obtenidos durante la realización del presente estudio.

7.1. Ensayos en el agregado fino reciclado

Los resultados de los ensayos referidos a continuación, corresponden a la caracterización de los agregados naturales y reciclados, donde estos últimos se trataron tanto en su estado carbonatado como sin carbonatar. El fin último de todos estos, fue la identificación del agregado carbonatado en

su estado óptimo, junto con la recolección de la información necesaria para generar los diseños de las diferentes mezclas de mortero.

7.1.1. Granulometría

Los resultados granulométricos del agregado reciclado y natural ya se han mostrado anteriormente, por lo que no son expuestos en esta sección.

7.1.2. Peso Unitario

Este ensayo, realizado sobre la arena natural y la reciclada sin carbonatar, arroja los valores presentados en la Tabla 13 , la cual se muestra a continuación:

Tabla 13. Resultados de peso unitario para arena natural y reciclada.

	Densidad (kg/m ³)
Arena Natural:	1580
Arena Reciclada Sin Carbonatar:	1346

Estos resultados nos dejan entrever una diferencia de cerca del 15% entre la arena natural y la reciclada, donde esta última obtuvo la menor densidad. Se cree que este resultado, es debido principalmente a la presencia de pasta de mortero adherida a los agregados reciclados, la cual tiene una menor densidad que el agregado natural, como consecuencia de una mayor porosidad de este primero (Bojaca, 2013). La diferencia entre las densidades de los dos tipos de arena, puede ser una de las razones por las cuales se obtuvo una menor densidad en el mortero endurecido para muestras con agregado reciclado en el ensayo de densidad y volumen de vacíos (Ver 7.2.4.).

7.1.3. Densidad y absorción

A continuación, en la Tabla 14, se presentan los resultados del ensayo de densidad y absorción para el agregado fino natural:

Tabla 14. Densidad y absorción para el agregado natural.

Agregado Natural	
Absorción (%):	2,1
Densidad Aparente (g/cm ³):	2,64
Densidad Nominal (g/cm ³):	2,65

En la Tabla 15, por otra parte, se presentan los resultados de densidad y absorción practicados al agregado reciclado sin carbonatar y carbonatado 15 días, con las variables ambientales ya

mencionadas en la Tabla 3. Las propiedades de este agregado carbonatado, y su seguimiento a través del tiempo (Anexo B), además de los resultados encontrados en la prueba termo gravimétrica (más adelante), los cuales nos permite aceptar dicho agregado como el óptimo.

Tabla 15. Resultados de densidad y absorción para el agregado reciclado carbonatado y no carbonatado.

Agregado reciclado de concreto	
Absorción (%):	8,82
Densidad Aparente (g/cm ³):	2,20
Densidad Nominal (g /cm ³):	2,46
Agregado carbonatado de concreto	
Absorción (%):	7,25
Densidad Aparente (g/cm ³):	2,40
Densidad Nominal (g/cm ³):	2,67
Diferencia entre el AFR carbonatado y el no carbonatado	
Absorción (%):	-1,57
Densidad Aparente (g/cm ³):	0,20
Densidad Nominal (g/cm ³):	0,21

Con respecto a la densidad del agregado reciclado, se obtuvo en el presente estudio un valor de 2.20 g/cm³, magnitud menor al agregado natural, el cual posee una densidad de 2.64 g/cm³, diferenciándose de la primera en un 16%. Esta reducción, muy posiblemente se deba a la menor densidad de la pasta de mortero adherida a las partículas de AFR, según es afirmado por autores como (Zhang et al., 2015). Dicha diferencia del agregado natural con el AFR se hace menor al carbonatar el agregado reciclado, para el cual se obtiene una densidad de 2.40 g/cm³, lo cual está de acuerdo con lo encontrado por (Molano et al., 2014). Este incremento en la densidad aparente del material, es atribuido a la reacción del Hidróxido de Calcio (Ca(OH)₂) presente en la pasta de cemento con el CO₂ durante el proceso de carbonatación, lo cual convierte este compuesto en Carbonato de Calcio (CaCO₃), que tiene una masa molar de 218.89 g/mol, casi tres veces más grande que el hidróxido anterior (74.09 g/mol). Las relaciones entre los valores anteriores, se representan más claramente en las siguientes ilustraciones, donde se muestra la gran diferencia en densidad aparente (Ilustración 14) y nominal (Ilustración 15) que existe entre el agregado natural y reciclado, además de la mejora en esta propiedad al carbonatar este último.

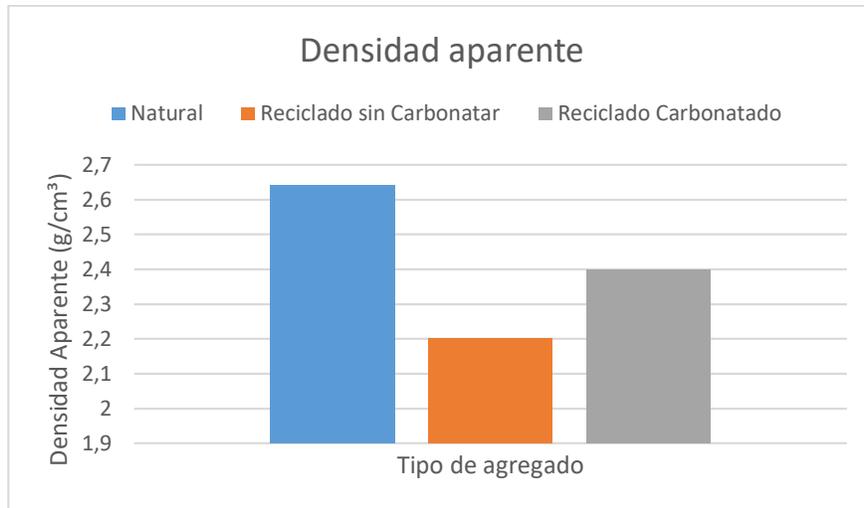


Ilustración 14. Resultado de densidad aparente para los tres tipos de agregado

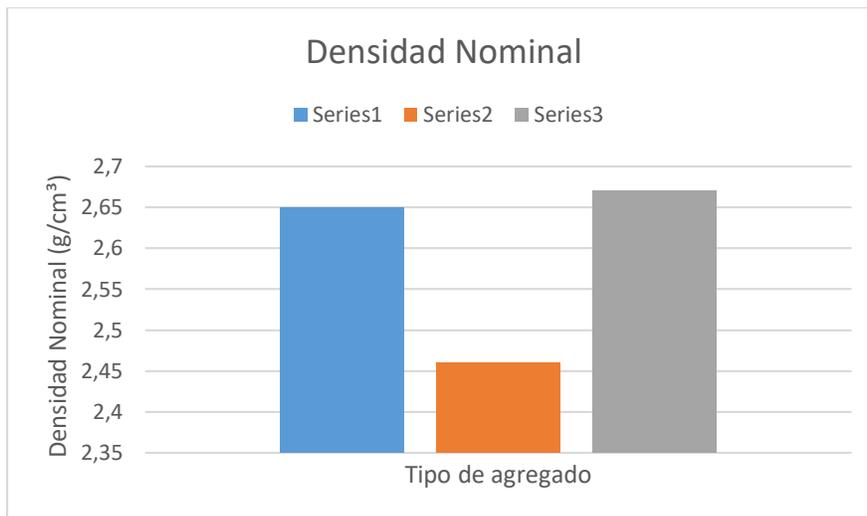


Ilustración 15. Resultados de densidad nominal para los tres tipos de agregado

De la tabla anterior, también se encuentra que los AFR lograron una absorción del 8.82%, mientras que el agregado natural alcanzó un 2.64%. Los valores anteriores son muy similares a los obtenidos por (Zhang et al., 2015), quien además reportaba absorciones del agregado reciclado carbonatado del 6.23%, valor que es menor al 7.25% obtenido para el presente caso de estudio, después del proceso acelerado de carbonatación del agregado reciclado, diferencias que se representan claramente en la Ilustración 16. La explicación de esta reducción de absorción en los AFR, se debe principalmente a la precipitación del carbonato de calcio en la red de poros de la pasta de mortero adherida durante el proceso de carbonatación, lo cual satura dicha red y dificulta el paso del agua.

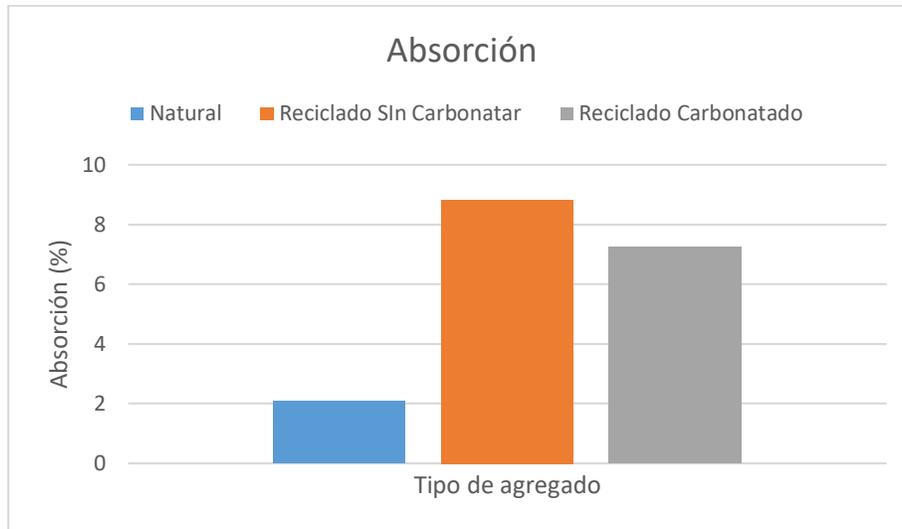


Ilustración 16. Resultados de absorción para los tres tipos de agregado

7.1.4. Termo gravimetría y análisis térmico diferencial

Los resultados que a continuación se presentan, fueron reportados por el laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. El ensayo fue realizado en un crisol de alúmina, con un calentamiento a 10°C/min desde una temperatura ambiente hasta los 1000°C, con una atmosfera de nitrógeno y un flujo de 50 mL/min.

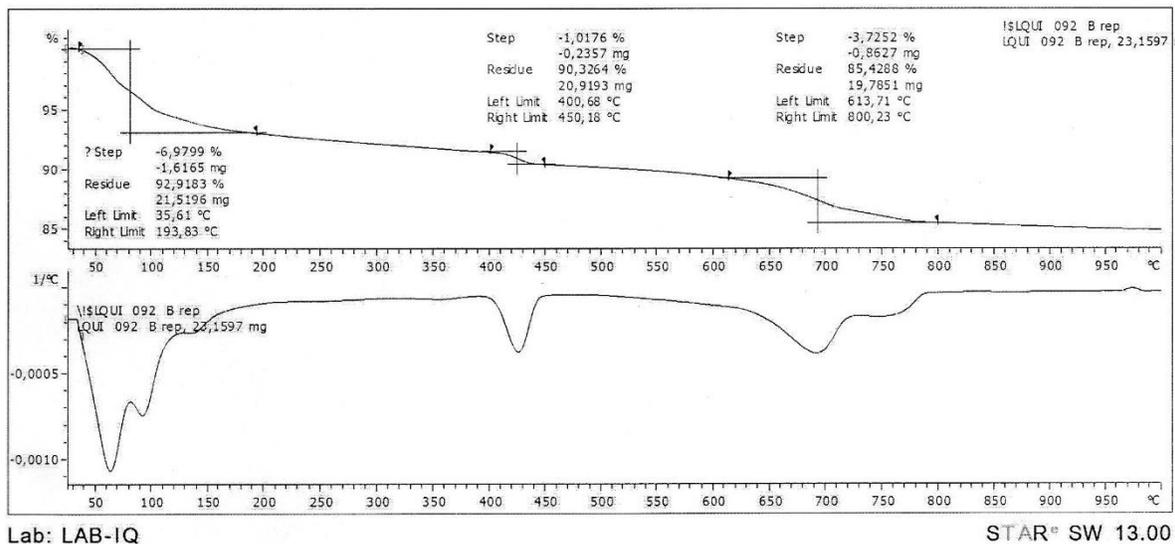


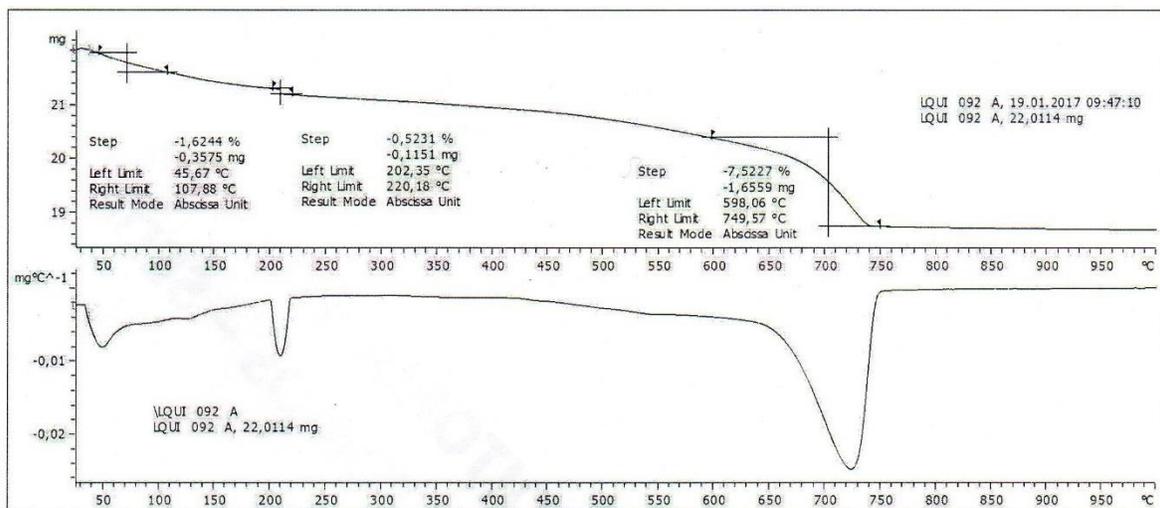
Ilustración 17. Resultados TGA/DTG para una muestra de material No Carbonatado

Los resultados de la gráfica anterior, pertenecen a una muestra de AFR que no ha sido carbonatada, en la cual se puede observar tres picos de pérdida de masa a diferentes rangos de temperatura. El

primero de ellos, corresponde al encontrado entre temperaturas de 50 y 120 °C, en el cual sucede la deshidratación del silicato hidratado CSH y la etringita (Izquierdo, Diaz, Mejía, & Torres, 2013), así como la evaporación de la humedad. El segundo pico corresponde al producido entre los 400 y 450 °C, causado por la des-hidroxilación del hidróxido de calcio (CH) (ibíd). Finalmente, el tercer pico, ubicado después de los 600 °C, se genera por el consumo de los carbonatos del material (Rostami, Shao, Boyd, & He, 2012). Respecto a este último pico, los autores anteriores afirman, que la pérdida entre los 540 y 720 °C se encuentra asociada con una estructura cristalina pobre del carbonatado de calcio, mientras que entre los 720 y 950 °C se da la pérdida de carbonatados de fuertes, o estables estructuras cristalinas.

Con la información anterior, es evidente que el material contenía rastros de gel CSH, el cual le otorga a la pasta de mortero su capacidad alcalina y de resistencia, además de proteger al hierro de la corrosión (BroomField, 2003). Se detecta también, con el segundo pico, la presencia de un contenido de hidróxido de calcio, el cual puede convertirse en gel CSH insoluble, beneficiando la resistencia del mortero. El último pico denota una carbonatación del material, si bien ligera, posiblemente acontecida en las probetas de concreto, origen del AFR, mientras este estaba almacenado en espera de su trituración.

Con un comportamiento significativamente diferente a la anterior, se presente la siguiente grafica de los resultados obtenidos para una muestra de AFR en su estado óptimo de carbonatación, según como se ha definido en el presente estudio.



Lab: LAB-IQ

STAR® SW 13.00

Ilustración 18. Resultados TGA/DTG para una muestra de material Carbonatado.

Se presentan nuevamente tres picos de interés, en los cuales hubo una pérdida significativa de masa de la muestra. El primer pico, ocurrido entre los 45 y 107 °C ocurrió probablemente por la deshidratación del agregado, y dado que no hubo una pérdida significativa entre los 100 y 150 °C se cree que no hubo deshidratación del silicato cálcico hidratado (C-S-H) o que este no se encontraba presente en el material, por lo menos en una cantidad significativa. A pesar de lo anterior, si ocurre una deshidratación de aluminatos cálcicos hidratados (CAH) y los silico aluminatos cálcicos hidratados (CASH) en el rango de temperaturas 202 a 220 °C. Finalmente salta a la vista el tercer y último pico de pérdida de masa, el cual ocurre en el rango de 613 a 800 °C, correspondiente a la descomposición del carbonato de calcio.

Comparando los dos resultados, se puede determinar, que la muestra carbonatada presento una menor cantidad de hidratos de calcio que su contraparte no carbonatada, dado que la primera sufrió pérdidas alrededor del 2.1%, mientras que la segunda alcanzo el 8%. Lo anterior se cree es debido al consumo de dichos hidratos para producir carbonatos de calcio (CaCO_3) durante el proceso de carbonatación. Esto también se comprueba comparando la perdida de carbonatos de los dos materiales, donde la muestra no carbonatada sufrió pérdidas del 3.7%, mientras que la carbonatada llego a un valor del 7.5%, el doble de la primera, confirmando la mayor cantidad de CaCO_3 en esta última.

Con el análisis anterior, se puede argumentar que la muestra de agregado fino reciclado esta efectivamente carbonatada, con unos remanentes (0.5%) de hidratos de calcio que no se consideran significativos para el presente estudio, por lo que se califica como efectivo el proceso de carbonatación acelerado utilizando las variables ambientales ya presentadas (Tabla 3).

7.2. Ensayos en el mortero endurecido

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos practicados sobre los morteros en un estado endurecido.

7.2.1. Resistencia a la compresión en cilindros:

Se muestra a continuación, los resultados obtenidos para los múltiples ensayos de resistencia a compresión realizados sobre los cilindros de mortero según su edad y tipo de mezcla.

Tabla 16. Resultados de resistencia promedio a la compresión en cilindros de mortero.

Mezcla	Resistencia a la Compresión (f'cp) (MPa)							
	3 Días	Comp. De Resistencia (%)*	28 Días	Comp. De Resistencia (%)*	90 Días	Comp. De Resistencia (%)*	180 Días	Comp. De Resistencia (%)*
A	14.1	100%	20.9	100%	29.1	100%	29.3	100%
AN25	11.9	84%	22.3	107%	23.6	81%	33.0	113%
AS25	11.5	82%	24.1	115%	29.2	101%	34.5	118%
AN50	16.3	116%	30.0	143%	38.3	132%	41.3	141%
AS50	14.3	101%	32.0	153%	38.1	131%	45.6	156%
B	11.4	100%	20.1	100%	28.3	100%	32.2	100%
BN25	7.4	65%	13.6	68%	20.3	72%	23.6	73%
BS25	10.2	89%	21.0	104%	26.9	95%	31.9	99%
BN50	9.0	79%	17.5	87%	25.5	90%	24.5	76%
BS50	8.8	77%	22.6	112%	24.6	87%	30.6	95%

* Resistencia de las mezclas en términos de porcentaje con respecto a la mezcla control.

Con la tabla anterior, en conjunto con la Ilustración 19 e Ilustración 20, se puede observar un incremento en la resistencia de todas las mezclas conforme avanza el tiempo. Además, en un resultado no esperado de la investigación, la mezcla A, con una relación a/c de 0.55, obtuvo valores similares de resistencia a la mezcla B para las edades de 28, 90 y 180 días, donde esta última se desarrolló con una relación a/c de 0.65. Lo anterior puede deberse a una resistencia similar de la ITZ para ambos casos en conjunto con una alta resistencia de los agregados.

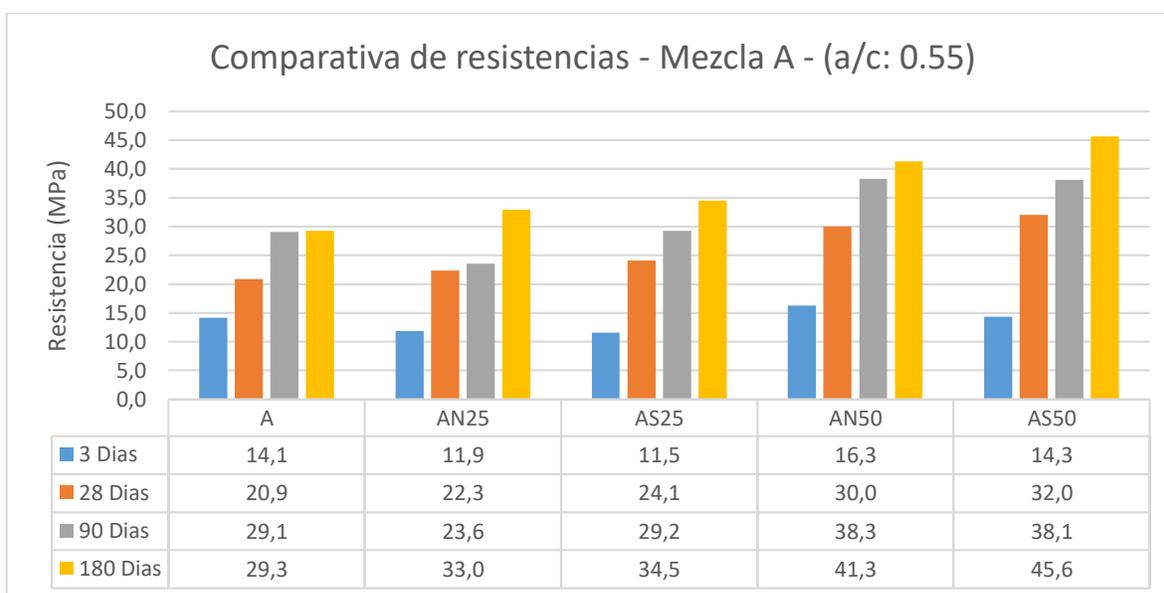


Ilustración 19. Comparativo de resistencia a la compresión de cilindros de mortero.

En los resultados obtenidos, se observa que para los 180 días hubo un incremento en la resistencia a la compresión de las mezclas de mortero tipo A con respecto al control (A), cuando estas son adicionadas con AFR no carbonatado. Estos resultados contradicen las conclusiones de la investigación de (Raeis Samiei et al., 2015), quienes afirman la existencia de una relación inversa entre la resistencia a compresión del mortero con el porcentaje de reemplazo de los AFR en un estado no carbonatado. Estas ganancias de resistencia pueden deberse esencialmente al efecto de llenado que tienen los agregados finos reciclados, al poseer un mayor porcentaje de partículas finas que el agregado natural. Esto mismo ha sido descrito en el estudio de (Ledesma et al., 2014), quien observó el mismo fenómeno en mezclas con reemplazos del 10% de agregado reciclado por natural.

De la Ilustración anterior, también se identificó un incremento en las resistencias de las mezclas, para todas las edades, cuando el agregado reciclado utilizado se encontraba carbonatado en comparación con aquellos que no. Estas ganancias de resistencia a la compresión se encuentran del orden de un 4.5% para reemplazos del 25% y un 10% para reemplazos del 50%. Esto también fue identificado por (Ramezani pour et al., 2014), quienes obtuvieron incrementos de hasta un 22% en la resistencia a la compresión de morteros con reemplazos de agregado natural por reciclado carbonatado.

Cabe destacar de la gráfica, además, que la mayor resistencia alcanzada por las muestras de este tipo fue la AS50, la cual tenía un reemplazo del 50% de agregado natural por reciclado carbonatado. Esto difiere de lo concluido por (Molano et al., 2014), quienes afirman en su estudio que la mejor mezcla de mortero es aquella con un reemplazo del 25% de AFR carbonatado.

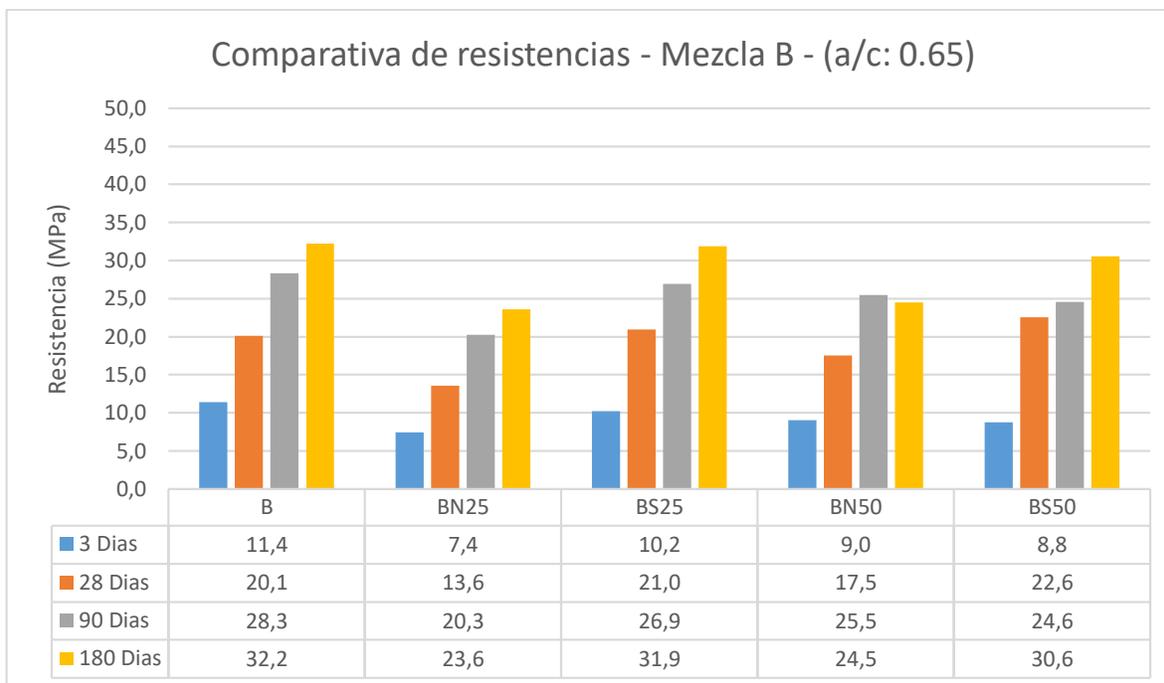


Ilustración 20. Comparativa de resistencias a la compresión de las mezclas en el tiempo.

En contraste con lo anterior, las mezclas tipo B con reemplazos de AFR, ya sean carbonatados y no carbonatados, desarrollan una resistencia menor a aquella de control, para todas las edades, posiblemente debido al mayor porcentaje de participación del agregado dentro del volumen del material, siendo sus propiedades más susceptibles al reemplazo del agregado natural por reciclado. Por lo anterior, la menor densidad y mayor absorción del AFR no alcanza a ser compensada por el efecto de llenado de poros que este agregado ejerce sobre el material.

Respecto al incremento en la resistencia de morteros con AFR carbonatado, se ha obtenido en los resultados a 180 días, aumentos de resistencia en aquellas mezclas que utilizan agregado reciclado carbonatado en comparación con aquellas que lo utilizan sin carbonatar. De esta forma se determinó un aumento del 37% en la resistencia a compresión para reemplazos del 25% y un incremento del 19% para reemplazos del 50% al utilizar AFR carbonatado.

Comparativamente, solo la mezcla tipo A presentó valores superiores al control al utilizar agregados reciclados carbonatados y no carbonatados, sin embargo, el cambio en la resistencia entre mezclas con AFR no fue significativa. Por otra parte, las muestras tipo B presentaron valores por debajo del control, sin embargo, el cambio de resistencia al carbonatar el material fue mucho más significativo que para el primer tipo. Lo anterior pareciera implicar la factibilidad de utilizar agregados finos

reciclados en mezclas con una baja relación agua/cemento y el gran beneficio que implicaría la carbonatación de los agregados finos reciclados cuando estos son usados en mezclas con una alta relación agua/cemento.

7.2.2. ISAT (Tasa de absorción superficial inicial)

Los resultados del ensayo de ISAT, se han dividido para las tres edades en las cuales se realiza determinaciones de tasa de absorción. Los resultados de cada uno de estos periodos se han tabulado y graficado a continuación.

Tabla 17. Resultados del ISAT para los 28 días.

Mezcla	28 días (ml/m ² *s)		
	10 Minutos	20 Minutos	30 Minutos
A	0.475	0.328	0.275
AN25	0.452	0.276	0.218
AS25	0.346	0.244	0.201
AN50	0.257	0.179	0.118
AS50	0.237	0.151	0.116
B	0.254	0.183	0.145
BN25	0.436	0.334	0.228
BS25	0.446	0.325	0.263
BN50	0.482	0.323	0.260
BS50	0.465	0.319	0.257

Como primera observación, de la Tabla 17, se reconoce una disminución de la tasa de absorción inicial conforme se incrementa el reemplazo de agregado natural por su contraparte reciclada para las mezclas tipo A (primer grupo). Este efecto, puede deberse en primera medida, al llenado de la red de poros que ejerce la mayor fracción fina del AFR, la cual no alcanza a compensar una mayor porosidad en las mezclas tipo B (segundo grupo), para las cuales el valor de la tasa aumenta conforme el reemplazo de agregado natural por reciclado también lo hace.

Tabla 18. Resultados del ISAT para los 90 días.

Mezcla	90 días (ml/m ² *s)		
	10 Minutos	20 Minutos	30 Minutos
A	0.149	0.093	0.072

90 días (ml/m ² *s)			
Mezcla	10 Minutos	20 Minutos	30 Minutos
AN25	0.196	0.125	0.079
AS25	0.196	0.132	0.101
AN50	0.193	0.144	0.106
AS50	0.137	0.091	0.073
B	0.120	0.084	0.064
BN25	0.199	0.144	0.111
BS25	0.133	0.102	0.074
BN50	0.395	0.264	0.204
BS50	0.197	0.132	0.106

Tabla 19. Resultados del ISAT para los 180 días.

180 días (ml/m ² *s)			
Mezcla	10 Minutos	20 Minutos	30 Minutos
A	0.084	0.054	0.042
AN25	0.067	0.042	0.030
AS25	0.000	0.000	0.000
AN50	0.230	0.150	0.106
AS50	0.230	0.147	0.108
B	0.048	0.032	0.022
BN25	0.191	0.128	0.108
BS25	0.189	0.127	0.100
BN50	0.168	0.108	0.074
BS50	0.201	0.122	0.094

Ya con la Tabla 18 y

Tabla 19, se confirmó una disminución de la tasa de absorción superficial inicial para los 10, 20 y 30 minutos en todas las muestras, a medida que se incrementa la edad del espécimen, dado que los productos de hidratación saturan cada vez más los poros del material, haciendo más difícil el paso del agua hacia el interior del material.

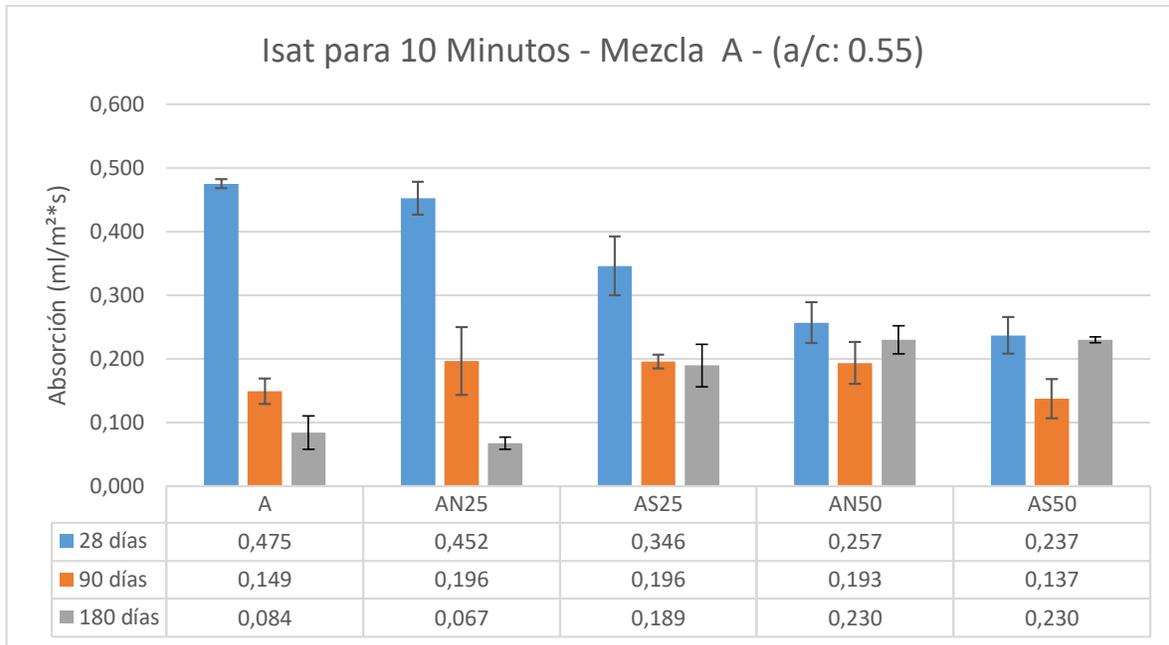


Ilustración 21. Resultados del ISAT para los 10 minutos en las mezclas tipo A.

En la ilustración anterior, se observó un comportamiento interesante de la tasa de absorción, en la cual hubo una disminución de su valor conforme se incrementaba el porcentaje de reemplazo del agregado natural por reciclado, los cuales fueron para todos los casos menores al de control. Sin embargo, este comportamiento es inverso a los 90 días, para el cual la tasa de absorción tuvo valores superiores a los de control, hasta en un 31%. Un comportamiento similar se identifica a los 180 días, con valores de ISAT superiores hasta en un 170% a los de control, para el caso de la mezcla AN50.

El comportamiento anterior, se trata de explicar desde el punto de vista de la hidratación de la pasta y los productos que esta libera: A los 28 días, las muestras con agregado reciclado carbonatado y no carbonatado tienen una mayor fracción fina que saturan la red de poros y disminuyen la permeabilidad del material. Sin embargo, lo anterior también retrasa la hidratación de la pasta al obstruir la red de poros, por lo que aquellas mezclas que inicialmente presentaban una menor tasa de permeabilidad con respecto al control, presentaran ahora una mayor tasa con respecto a este, dado que la hidratación de la pasta y los productos que esta libera se han reducido en comparación. Esto explicaría porque a los 90 días, las mezclas AN25 y AS25 presentaron menores valores de resistencia a compresión con respecto al control, aun cuando a 28 días fueron mayores que este. Sin embargo, esto no explica la mayor resistencia de las mezclas AN25 y AS25 para los 180 días, aun cuando presentaron una baja permeabilidad, lo cual hace creer que hay factores cuya influencia aún no ha sido tomada en cuenta.

Una última observación de la Ilustración 21, es el poco efecto que tiene la carbonatación del agregado fino reciclado en la permeabilidad de las mezclas de mortero a los 180 días.

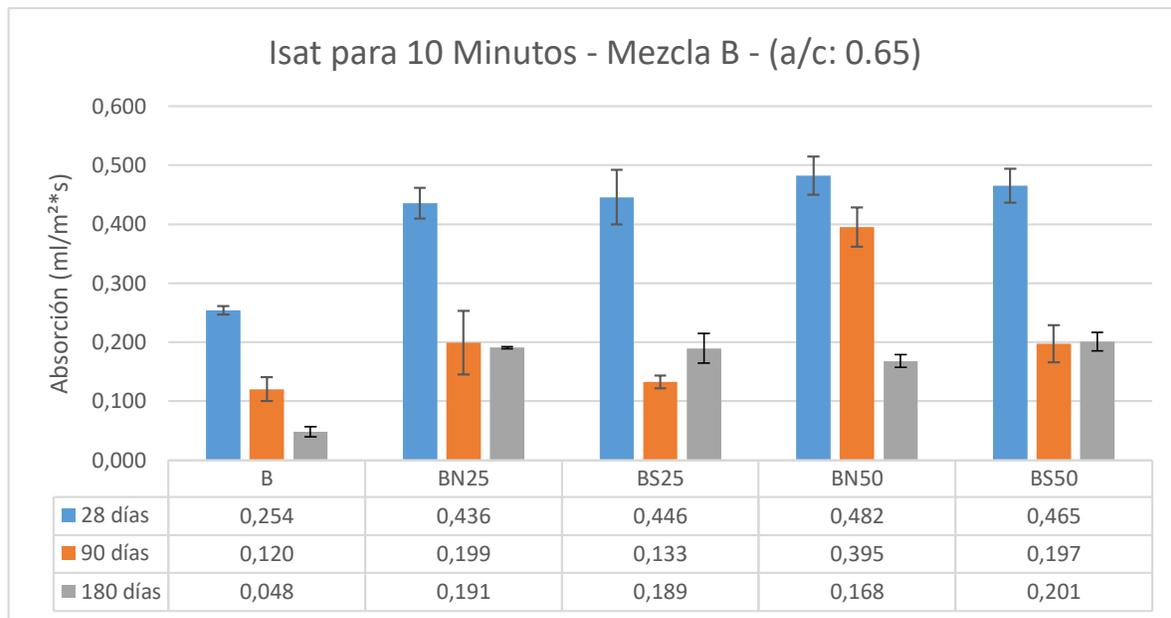


Ilustración 22. Resultados del ISAT para los 10 minutos en las mezclas tipo B.

Para las mezclas tipo B, en la ilustración anterior, se observó un aumento en la tasa de absorción superficial inicial conforme se incrementa el porcentaje de reemplazo del agregado natural por AFR para todas las mezclas a todas las edades. Para este tipo de mezcla se identificó una significativa reducción en la permeabilidad de las mezclas al reemplazar el agregado reciclado por su contraparte carbonatada a los 90 días, del orden de 33% para un reemplazo del 25% y 50% para un reemplazo del mismo porcentaje con respecto a los 28 días. Por el contrario, a los 180 días no hubo una diferencia sustancial para la permeabilidad entre las mezclas con agregado reciclado carbonatado y no carbonatado, aunque sí con valores mayores al de control.

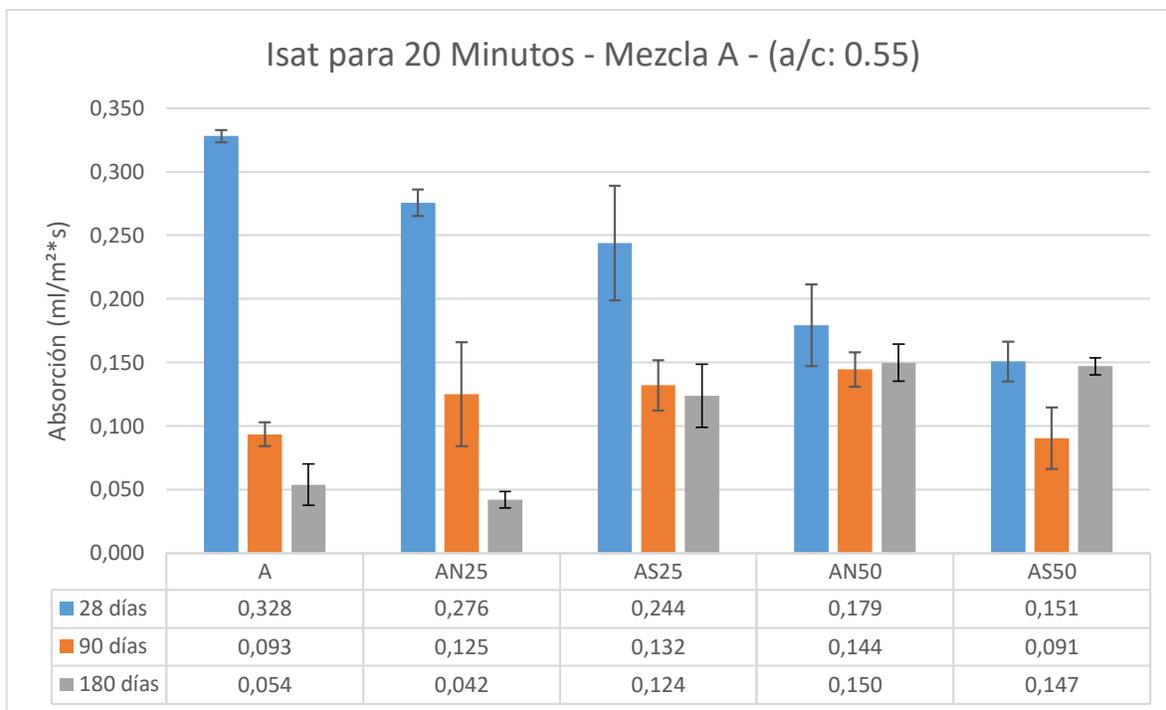


Ilustración 23. Resultados del ISAT para los 20 minutos en las mezclas tipo A

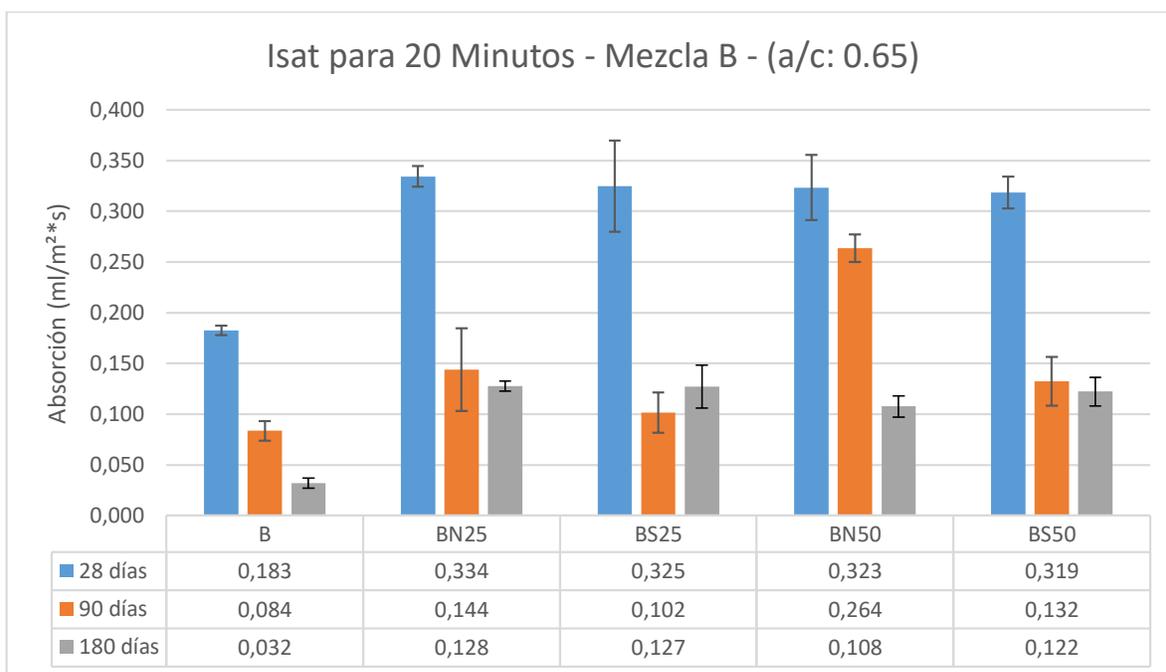


Ilustración 24. Resultados del ISAT para los 20 primeros minutos en las mezclas tipo B.

Tanto para las mezclas tipo A, como tipo B, a los 20 minutos del ISAT, se presentan comportamientos y conclusiones de los valores de tasa de absorción similares a los obtenidos para los 10 minutos del ensayo, al igual que para el caso de los 30 minutos, que se grafica en las siguientes ilustraciones.

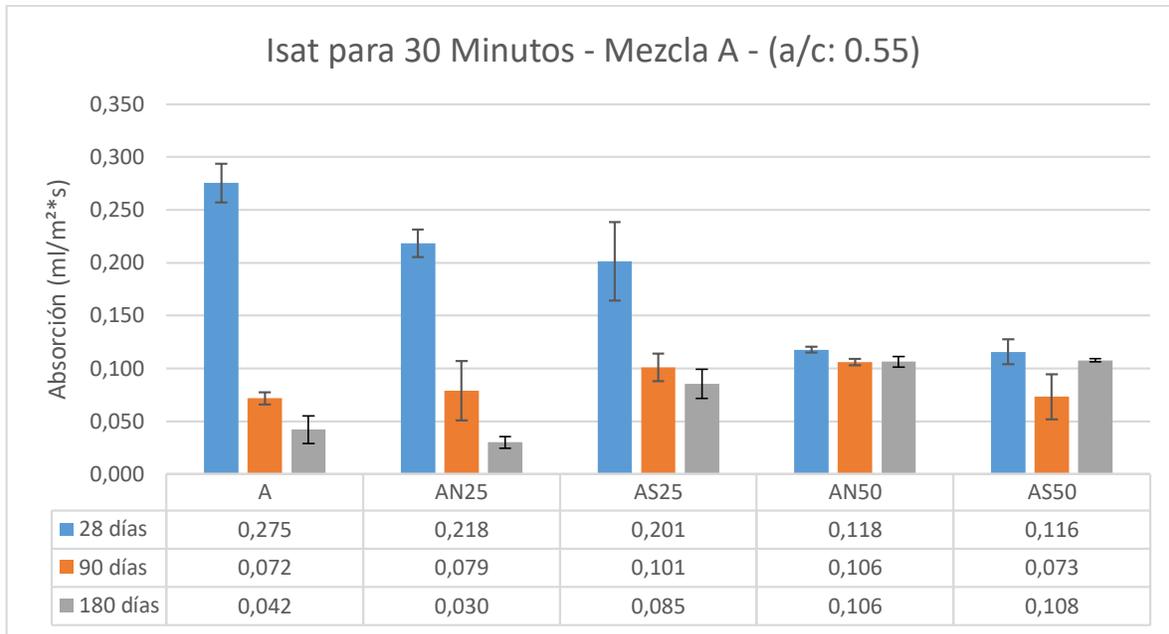


Ilustración 25. Resultados del ISAT para los 30 minutos en las mezclas tipo A

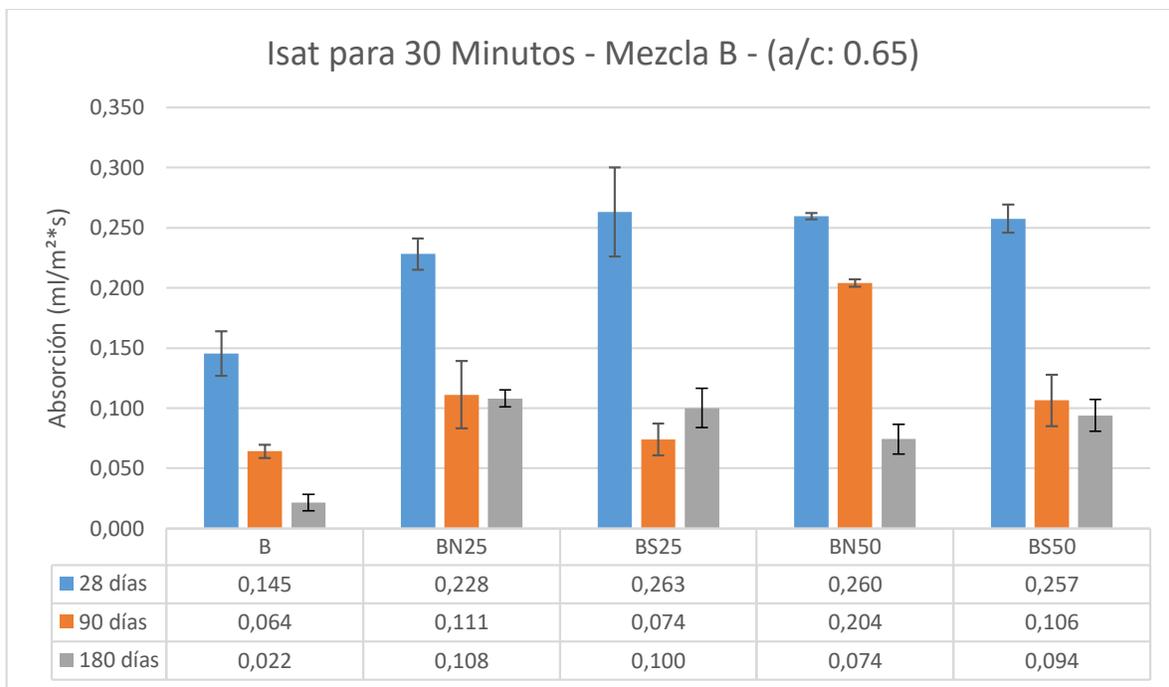


Ilustración 26. Resultados del ISAT para los 30 minutos en las mezclas tipo B.

Una última comparación interesante a realizar, es la menor tasa de absorción de las mezclas tipo A con reemplazos de hasta un 25% cuando se comparan con mezclas homologas tipo B, mientras que son las mezclas de este último tipo las que presentan menores tasas de absorción en comparación con las mezclas tipo A cuando se utilizan reemplazos del 50%, para todas las edades. Lo anterior

parece implicar un mayor efecto del agregado fino reciclado sobre las mezclas con una alta relación agua/cemento y altos porcentajes de reemplazo.

Los resultados del ISAT para la presente investigación, son comparables a los obtenidos en las investigaciones de (García-González et al., 2008), quienes afirman que el agregado reciclado carbonatado disminuye notablemente la permeabilidad de un mortero. Además, la disminución (si bien ligera) en la tasa de absorción por la utilización del AFR carbonatado con respecto al no carbonatado revela la ventaja de utilizar el agregado reciclado en su condición carbonatada, y se ciñe a las observaciones de (Molano et al., 2014; Venhuis & Reardon, 2001) en cuanto a una mejora de la tasa de absorción por consecuencia del precipitado de cristales de carbonatado de calcio, que terminan ejerciendo un efecto de llenado en el sistema de poros y por tanto conduce a una menor permeabilidad del material. Sin embargo, cabe aclarar, que esta mejora en la permeabilidad sucede únicamente para una edad temprana (<180 días), según lo obtenido en esta investigación.

Bajo la observación anterior, resulta entonces lógico obtener una mayor reducción en las tasas de absorción para las mezclas tipo B, que al tener una mayor relación agua/cemento (0.65) tienen así mismo una mayor cantidad de arena reciclada en su constitución, en comparación con las mezclas tipo A (0.55). Lo anterior implicaría una mayor cantidad de carbonato de calcio llenando la red de poros para las mezclas tipo B y por tanto una menor tasa de absorción, compensando la mayor porosidad de la mezcla y el agregado reciclado.

7.2.3. Sortividad

Los resultados obtenidos para este ensayo, realizado para las edades de 30, 90 y 180 días, se muestran a continuación. Los datos se encuentran divididos en tablas según la edad de la muestra y en graficas según el tipo de índice de absorción para cada edad analizada (inicial y secundaria).

Tabla 20. Resultados de sortividad para los primeros 30 días de curado.

Mezcla	Tasa inicial de absorción (mm/s^{0,5})	R	Tasa secundaria de absorción (mm/s^{0,5})	R
A	0.0071	0.99	0.0044	0.96
AN25	0.0090	0.99	0.0040	0.99
AN50	0.0215	0.99	0.0044	0.99
AS25	0.0129	0.99	0.0065	0.98
AS50	0.0173	0.99	0.0040	0.99

Mezcla	Tasa inicial de absorción (mm/s ^{0,5})	R	Tasa secundaria de absorción (mm/s ^{0,5})	R
B	0.0088	0.99	0.0056	0.97
BN25	0.0287	0.99	0.0012	0.92
BN50	0.0303	0.99	0.0035	0.99
BS25	0.0176	0.99	0.0063	0.86
BS50	0.0156	0.99	0.0050	0.98

Se observó, de los resultados en la tabla anterior, un incremento de la tasa inicial de absorción por encima del valor de control conforme se aumenta el porcentaje de reemplazo de agregado natural por reciclado, ya sea en su condición carbonatada o sin carbonatar. Este comportamiento se observa especialmente en los especímenes de la mezcla tipo B (segundo grupo), los cuales alcanzaron valores de hasta un 240% el valor de la mezcla de control (B).

Tabla 21. Resultados de sortividad para los 90 días de curado.

Mezcla	Tasa inicial de absorción (mm/s ^{0,5})	R	Tasa secundaria de absorción (mm/s ^{0,5})	R
A	0.0022	0.99	0.0009	0.99
AN25	0.0056	0.99	0.0035	0.99
AN50	0.0027	0.98	0.0012	0.99
AS25	0.0043	0.99	0.0022	0.99
AS50	0.0058	0.98	0.0019	0.99
B	0.0025	0.99	0.0010	0.99
BN25	0.0103	0.99	0.0070	0.99
BN50	0.0101	0.99	0.0068	0.99
BS25	0.0080	0.99	0.0054	0.98
BS50	0.0067	0.99	0.0044	0.99

Ya con los resultados a 90 días, presentes en la tabla anterior, se distingue una disminución de la tasa inicial (y secundaria) de absorción conforme aumenta el tiempo de curado de las muestras para ambos tipos de mezclas. Esta tendencia continúa a los 180 días (Tabla 22), donde los valores obtenidos fueron menores a los reportados a los 90 días para todas las mezclas, exceptuando las de control (A y B), que reportaron valores a 180 días mayores a aquellos del periodo anterior. Esta disminución en el valor de la tasa inicial de absorción se atribuye principalmente al refinamiento de la red de poros del material (Kubissa et al., 2015), como consecuencia de la hidratación de la pasta.

Tabla 22. Resultados de sortividad para los 180 días de curado.

Mezcla	Tasa inicial de absorción (mm/s ^{0,5})	R	Tasa secundaria de absorción (mm/s ^{0,5})	R
A	0.0073	0.9350	0.0017	0.9900
AN25	0.0017	0.9450	0.0006	0.9650
AN50	0.0016	0.9600	0.0001	0.9600
AS25	0.0050	0.9600	0.0010	0.9150
AS50	0.0018	0.9050	0.0002	0.8250
B	0.0061	0.9350	0.0017	0.9900
BN25	0.0020	0.9400	0.0004	0.9600
BN50	0.0035	0.9650	0.0012	0.9550
BS25	0.0016	0.9500	0.0002	0.9850
BS50	0.0023	0.9400	0.0007	0.9900

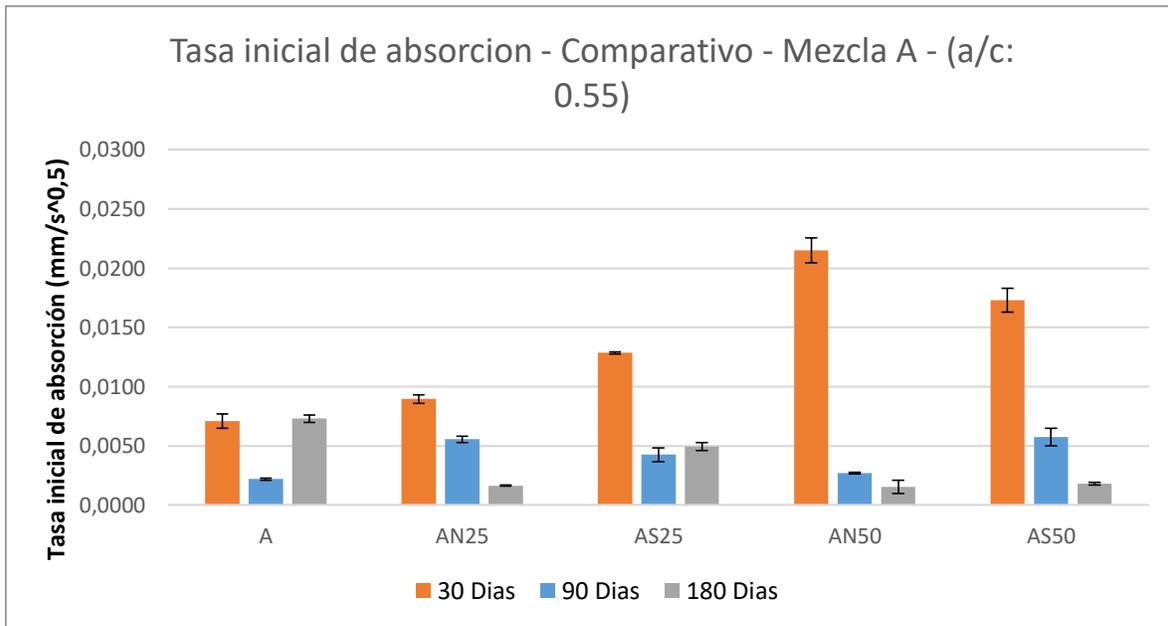


Ilustración 27. Tasa inicial de absorción para la mezcla tipo A.

En la ilustración anterior, se grafican los resultados para el tipo A de mezclas, en la cual se puede observar fácilmente la gran tasa de absorción que tienen las mezclas que incorporan hasta un 50% de agregados reciclados cuando son comparadas con la mezcla patrón a los 30 días de curado. Estos resultados están acorde con lo encontrado por (Molano et al., 2014), quienes atribuyeron este comportamiento a la alta porosidad de los agregados reciclados, en comparación con el natural.

(Molano et al., 2014), también comprobó una disminución de 23.8% y 28.6% en la sortividad del mortero a los 7 días, al utilizar AFR carbonatado en porcentajes de reemplazo de 25% y 50%

respectivamente, en comparación con el agregado reciclado sin carbonatar. Para el caso de la presente investigación, no se puede obtener una relación clara, dado que la relación entre los valores de sortividad de las mezclas carbonatadas y no carbonatadas parecen fluctuar entre las edades estudiadas. Más específicamente, a los 30 días, las mezclas con agregado carbonatado en un reemplazo del 25% presentaron una mayor sortividad que aquellas que hacían uso del no carbonatado, comportamiento que se invirtió a los 90 días y se volvió a invertir a los 180. Para el caso de un reemplazo del 50% en agregado natural por reciclado, se invierten las relaciones anteriores, por lo que nada concluyente puede ser obtenido.

La irregularidad del comportamiento anterior puede ser debido a una variación en la percolación de la red de poros del material como consecuencia de la formación/disolución de la etringita (Barger et al., 2001), las propiedades y grado de interconexión entre las distintas ITZ's del material (E J Garboczi & Bentz, 1999) y la lixiviación del hidróxido de calcio, lo cual puede aumentar la percolación de la red de poros del mortero (Edward J Garboczi & Bentz, 1999). Debido al desconocimiento de cuál de los efectos anteriores, o combinación de ellos, pueda estar actuando sobre las mezclas de mortero, sería irresponsable tratar de dar un veredicto sobre el comportamiento descrito en los párrafos anteriores, por lo que se recomienda un estudio a largo plazo (+ 180 días) que pueda descartar algunas de las posibilidades, o realizar un análisis petrográfico, mineralógico y composicional en profundidad.

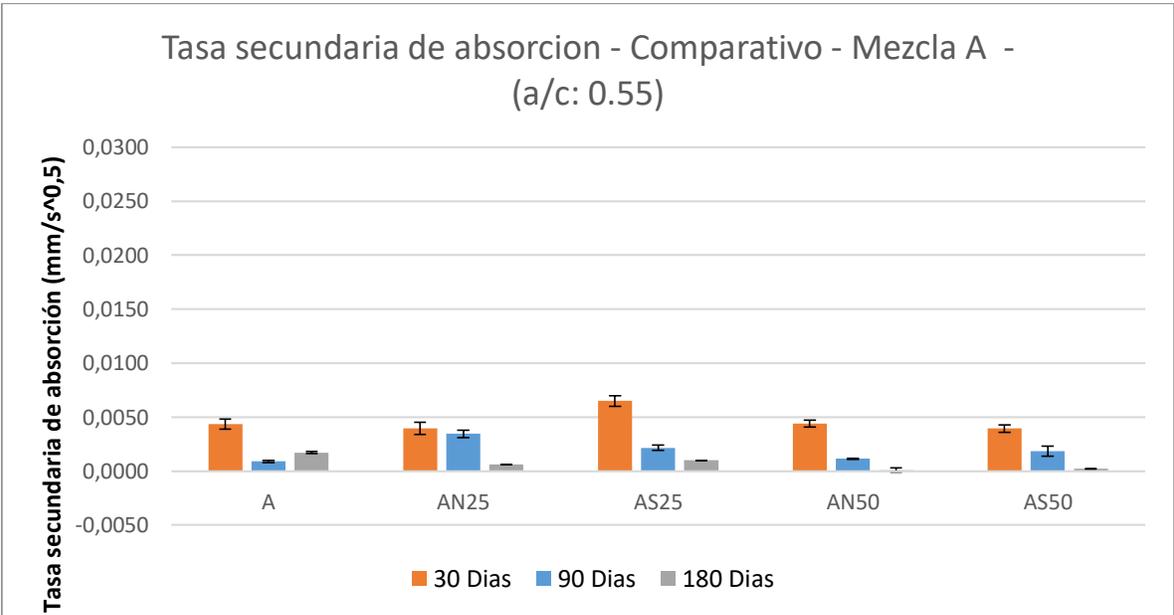


Ilustración 28. Tasa secundaria de absorción para la mezcla tipo A.

Por los datos referidos en las tablas anteriores y la Ilustración 28, se concluyó que la tasa de absorción secundaria sigue el mismo comportamiento en las relaciones descritas para la tasa primaria de absorción, por lo que no se profundiza en esta.

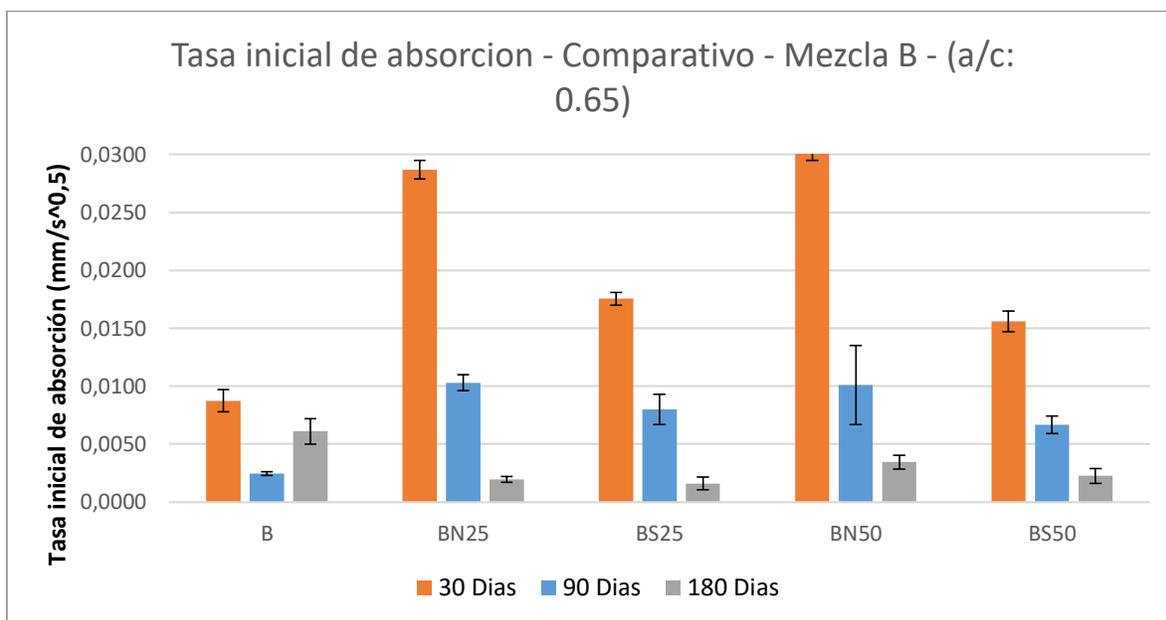


Ilustración 29. Tasa inicial de absorción para la mezcla tipo B.

La mezcla tipo B, representada en la ilustración anterior, se comporta según lo esperado en la investigación y lo descrito por (Molano et al., 2014), donde para las edades de 30 y 90 días todas las muestras presentaron valores mayores a los de control (B), además de presentarse una menor tasa de absorción en las mezclas que hacían uso del agregado en su condición carbonatada al compararse con aquellas que no lo poseían, en todas las edades analizadas. Ahora, a los 180 días se obtuvieron valores menores a los de control, llegando inclusive a alcanzarse valores de sortividad tan bajos como un 26% el obtenido en el control para el caso de la mezcla BS25.

Respecto a las disminuciones de la sortividad por el uso de agregados reciclados carbonatados, se distinguió disminuciones de hasta un 20% en las mezclas con AFR carbonatado con respecto a aquellas con agregado no reciclado en reemplazos de un 25%, y una disminución del 34% en la tasa inicial de absorción para el caso de un reemplazo del 50%.

Los resultados anteriores sugieren una mejora en el presente índice al utilizar agregado fino reciclado carbonatado, en comparación con su condición no carbonatada, por lo menos en morteros con una alta relación agua/cemento, de 0.6 o más. Esto puede representar una mejora en la

durabilidad del material, dado que muchos agentes dañinos entran al material con la ayuda del agua en un material permeable (Bertolini et al., 2004) a través de la red de poros.

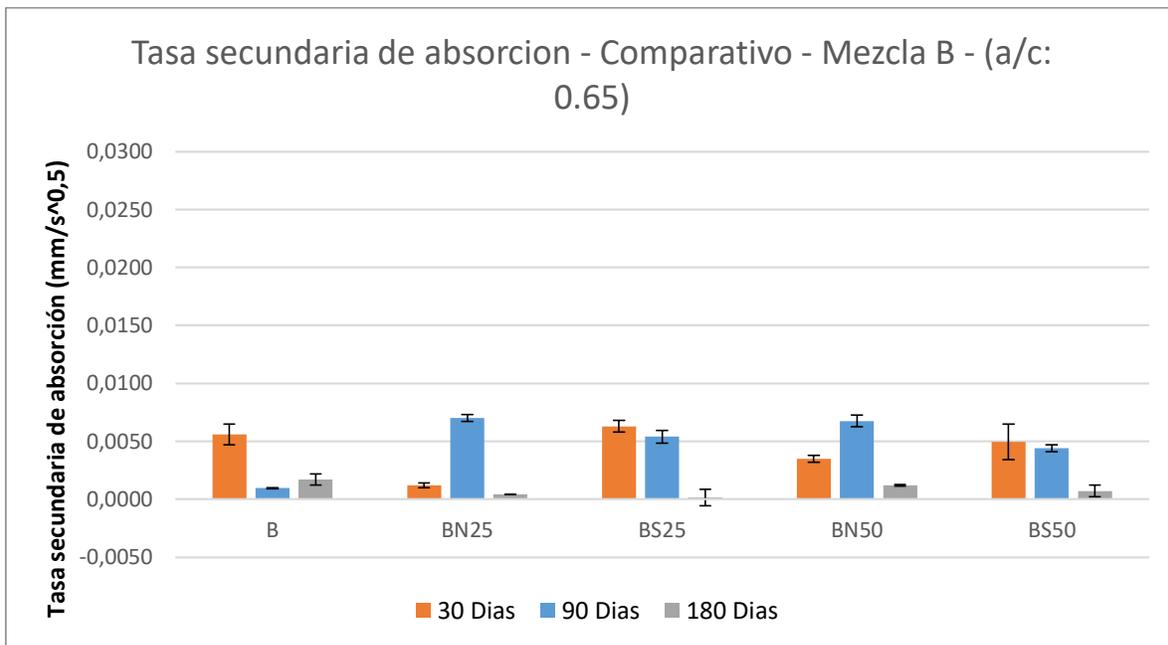


Ilustración 30. Tasa secundaria de absorción para la mezcla tipo B.

Determinaciones similares a las anteriores pueden realizarse para el caso de la tasa de absorción secundaria del mortero a 30, 90 y 180 días en el grupo B, por lo que de la misma forma que para la mezcla tipo A no se hacen otras determinaciones con esta última tasa.

Por último, comparando los tipos de mezclas, se distingue para todas estas una menor absorción del mortero en aquellas con una menor relación agua/cemento para todas las edades y sin importar la calidad del agregado, lo cual también fue comprobado y concluido por (Kubissa et al., 2015), implicando la gran relevancia que tienen las relaciones pasta-agregado dentro del material y su influencia en la formación y posterior refinamiento de la red de poros.

7.2.4. Densidad, absorción y vacíos en el mortero endurecido

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el presente ensayo, tabulando los resultados según el tipo de variable analizada y presentando en cada una de las tablas los dos grupos de análisis (mezcla A y B). Por otra parte, las ilustraciones más adelante se presentarán para cada variable de interés y tipo de mezcla.

Tabla 23. Resultados para el volumen de poros permeables.

Volumen de poros permeables (%)			
Mezcla	30 Días	90 Días	180 Días
A	22,6%	17,0%	15,6%
AN25	20,0%	15,9%	12,6%
AN50	19,0%	13,6%	11,5%
AS25	19,0%	16,1%	11,1%
AS50	18,3%	13,3%	10,1%
B	19,2%	16,6%	15,7%
BN25	21,7%	18,4%	15,4%
BN50	22,9%	18,5%	16,1%
BS25	19,7%	16,8%	12,0%
BS50	20,2%	18,1%	14,6%

En la tabla anterior, es fácil observar la disminución del volumen de poros permeables conforme se incrementa la edad del mortero y su tiempo en el curado húmedo para los dos grupos de mezclas.

Tabla 24. Resultados para absorción.

Mezcla	Absorción (%)		
	30 Días	90 Días	180 Días
A	12,17%	9,37%	8,42%
AN25	10,64%	8,66%	6,65%
AN50	10,45%	7,52%	6,1%
AS25	10,34%	8,71%	5,84%
AS50	10,14%	7,10%	5,48%
B	10,24%	8,87%	8,38%
BN25	11,68%	9,99%	8,25%
BN50	12,97%	10,24%	8,99%
BS25	10,45%	8,98%	6,26%
BS50	11,23%	10,01%	7,89%

Acorde con la reducción en el volumen de poros permeables (Tabla 23), la absorción de las mezclas de mortero también ha disminuido conforme el paso del tiempo, aunque el cambio ha sido a una menor tasa que la variable anterior.

Tabla 25. Resultados para la Densidad Aparente.

Mezcla	Densidad Aparente (g/cm ³)		
	30 Días	90 Días	180 Días
A	2,32	2,27	2,27
AN25	2,32	2,24	2,22
AN50	2,24	2,17	2,17
AS25	2,27	2,23	2,17
AS50	2,26	2,20	2,15
B	2,30	2,30	2,28
BN25	2,30	2,24	2,19
BN50	2,25	2,22	2,14
BS25	2,30	2,25	2,17
BS50	2,21	2,19	2,14

Sorpresivamente, la tabla anterior muestra también una disminución de la densidad aparente conforme incrementa la edad de todas las mezclas, lo cual en principio contradice lo esperado en el estudio, dado que se esperaba que esta incrementara por la formación de productos de hidratación. Más adelante se trata de dar una explicación de este fenómeno.

Graficando los valores obtenidos de las tablas anteriores, se obtiene:

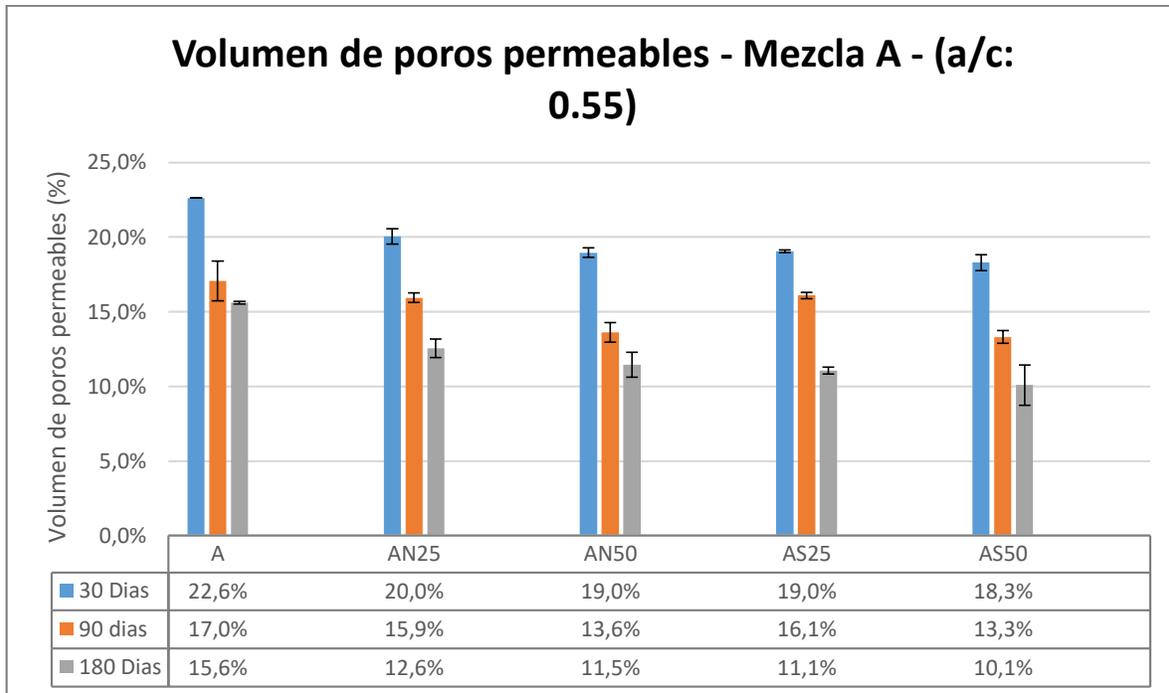


Ilustración 31. Volumen de Poros permeables - Mezcla A.

Ahora, comparando únicamente las mezclas tipo A, se observa para esta variable:

1. Para todas las mezclas, el valor del volumen de poros permeables es menor a su control, hasta en un 5.4% (AS50) a los 180 días, lo cual implica una disminución en el volumen de poros permeables de la mezcla, de más del 30% sobre el valor de control.
2. Para las mezclas con un mismo porcentaje de reemplazo de AFR, pero diferenciadas por la condición carbonatada de este, se encuentra que es menor el volumen de poros en aquellas mezclas con agregado reciclado carbonatado, aunque no de manera sustancial, ya que dicha diferencia, ronda el 1%.
3. El volumen de poros permeables en una mezcla desciende conforme se incrementa el reemplazo del agregado natural por agregado reciclado, tanto si este es carbonatado, como si no. Esto posiblemente se deba al efecto de llenado que tiene la mayor fracción fina del reciclado y la relativamente baja relación agua/cemento utilizada.
4. El volumen de poros permeables disminuyó según aumentó la edad del mortero, en aproximadamente 5% para todas las mezclas de 30 a 90 días, y aproximadamente 3% entre los 90-180 días, posiblemente debido a un curado continuo.

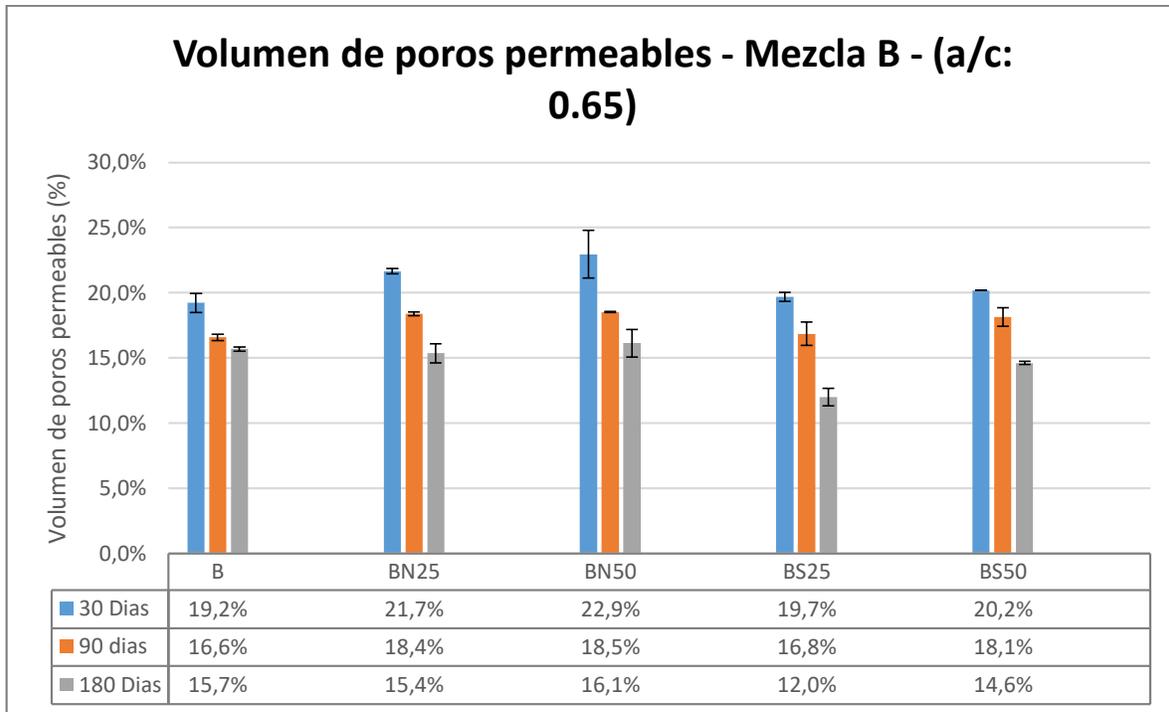


Ilustración 32. Volumen de poros permeables – Mezcla B.

Comparando ahora, las mezclas tipo B:

1. El volumen de poros permeables, para todas las mezclas es mayor a su control, hasta en un 2% a los 90 días, en una forma contraria a lo determinado en las mezclas tipo A; se sospecha que esto es debido a la mayor cantidad de agregado reciclado que integra en su estructura este mortero, para lo cual la mayor fracción fina no alcanza a compensar la porosidad de este tipo de agregado. Sin embargo, a los 180 días hubo mezclas que obtuvieron valores menores a los de control (BS25, BS50 y marginalmente la BN25), posiblemente debido a la formación de los productos de hidratación del cemento, que ayudaron a bloquear la red de poros.
2. Para aquellas con un mismo porcentaje de reemplazo de AFR, pero diferenciadas por la condición carbonatada de este, se encuentra que el volumen de poros es menor en aquellas mezclas con agregado reciclado carbonatado. La diferencia entre estas, ronda 2-3% el valor de esta variable.

En los resultados obtenidos, se puede observar un comportamiento de las mezclas A (con relación a/c de 0.55) contrario a aquel de las mezclas B (cuya relación a/c es de 0.65). De los cálculos se tiene que, para las primeras, el valor de absorción disminuye conforme se aumenta el porcentaje de agregado reciclado, mientras que en las segundas este valor se incrementó, por lo menos hasta los

90 días, disminuyendo para algunas mezclas del mismo grupo a los 180. A pesar de lo anterior, no se identificó diferencias significativas (+ 5%) entre mezclas con agregado fino reciclado carbonatado y sin carbonatar en un mismo porcentaje de reemplazo para ninguno de los dos tipos de mortero.

Lo anterior parece indicar que la mayor relación agua/cemento y mayor porosidad subsecuente de la pasta y agregado reciclado en las mezclas tipo B, no alcanza a ser compensada por la mayor fracción fina del AFR. El comportamiento anterior, es contrario a lo concluido por (Shi Cong Kou et al., 2014), según el cual se esperaba una disminución del volumen de poros permeables al aumentar el porcentaje de reemplazo del agregado natural por AFR, dada la capacidad de este de saturar la red de poros y disminuir la permeabilidad del material, tal como sucedió en las mezclas tipo A.

Comparativamente hablando, las autoras (Molano et al., 2014) obtuvieron un comportamiento de la variable similar al obtenido en las muestras de tipo B en este estudio, aun a pesar de utilizar una relación agua/cemento menor. Lo anterior podría explicarse en que las investigadoras poseían un agregado reciclado con una mayor absorción (3.4%) que el utilizado en el presente estudio.

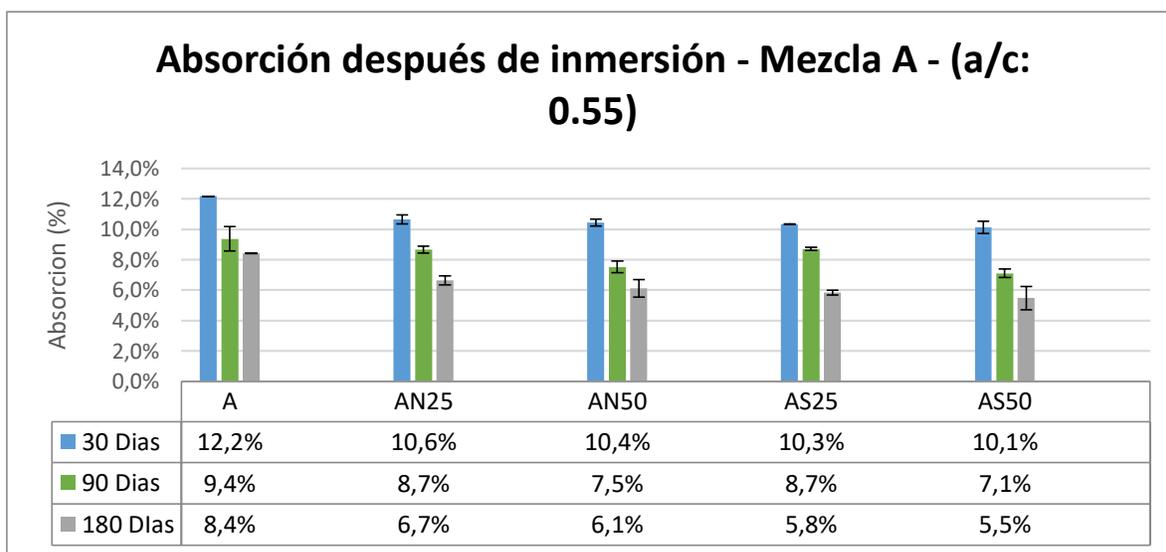


Ilustración 33. Absorción después de inmersión - Mezcla A.

Según la gráfica anterior, todos los valores de absorción para las mezclas de este primer tipo son menores al control (A) en todas las edades, lo cual se cree es debido a la mayor fracción fina del material, de la misma manera que para el volumen de poros, como fue comprobado anteriormente. De la gráfica se puede comprobar, además, una ligera disminución de la absorción conforme se incrementa el reemplazo de agregado natural por reciclado del 25 al 50%, aunque no existe diferencia sustancial entre las mezclas con reciclado carbonatado y sin carbonatar (+1%). Esto último

puede implicar, que los efectos del agregado reciclado sobre la red de poros no se modifican en función de si este se encuentra o no carbonatado, por lo menos para esta relación agua/cemento.

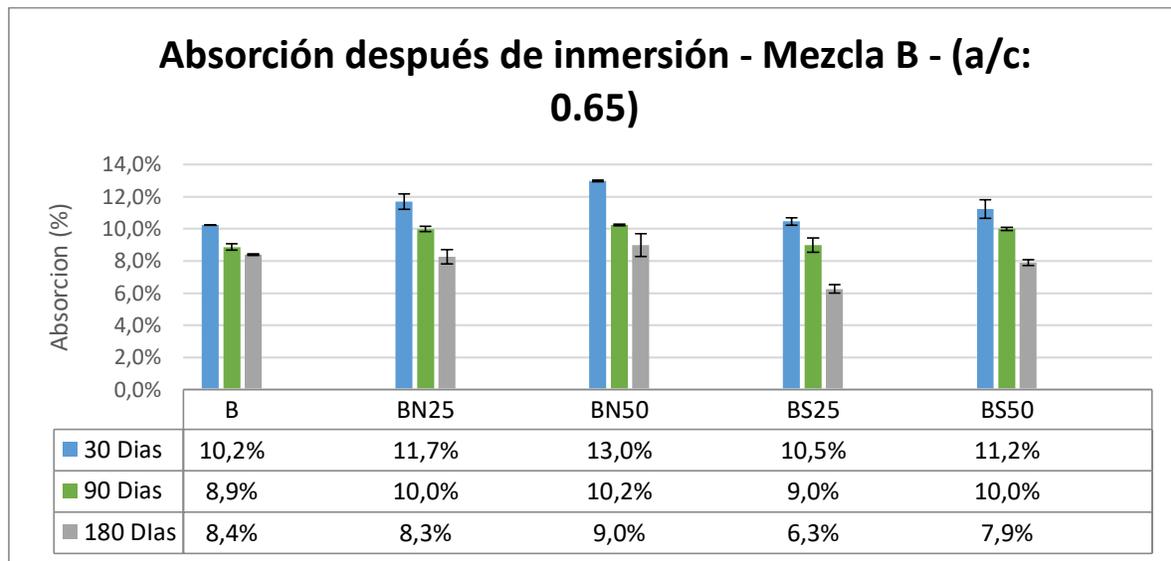


Ilustración 34. Absorción después de inmersión – Mezcla B

En el caso del segundo grupo de mezclas, se tiene que todas estas superaron los valores de control (B) a los 90 días, situación que cambio a los 180 días, donde las mezclas BN25, BS25 y BS50 obtuvieron valores menores a los de control. Se tiene, además, que la absorción aumentó conforme lo hizo el reemplazo de agregado natural por reciclado, y solo se encontró diferencias significativas entre mezclas con AFR carbonatado de aquellas con el agregado sin carbonatar para un reemplazo del 25%, lo cual también parece implicar, que los efectos del agregado reciclado en la absorción no dependen mucho de su estado de carbonatación, si no tal vez, de su granulometría y porcentaje de reemplazo.

La absorción tuvo un comportamiento similar al volumen de poros permeables discutido anteriormente. Al igual que este último, se presenta la misma diferencia entre el comportamiento de los tipos de mezcla A y B. En la primera, se determinó una disminución en la absorción según se incrementó el reemplazo de agregado reciclado, lo cual se cree, es debido a la saturación de la red de poros por parte de la mayor porción fina del agregado reciclado. La mezcla B, por el contrario, presentó un aumento en la magnitud de la variable conforme se incrementa el reemplazo por AFR, lo cual se atribuye al no compensar la fracción fina esta mayor porosidad de la pasta y el agregado reciclado. Al contrario que (Molano et al., 2014), no se encuentra diferencias sustanciales (+ 2%)

entre las mezclas que hacían uso del material carbonatado de aquellas que lo usaban sin carbonatar, por lo menos en edades avanzadas del mortero.

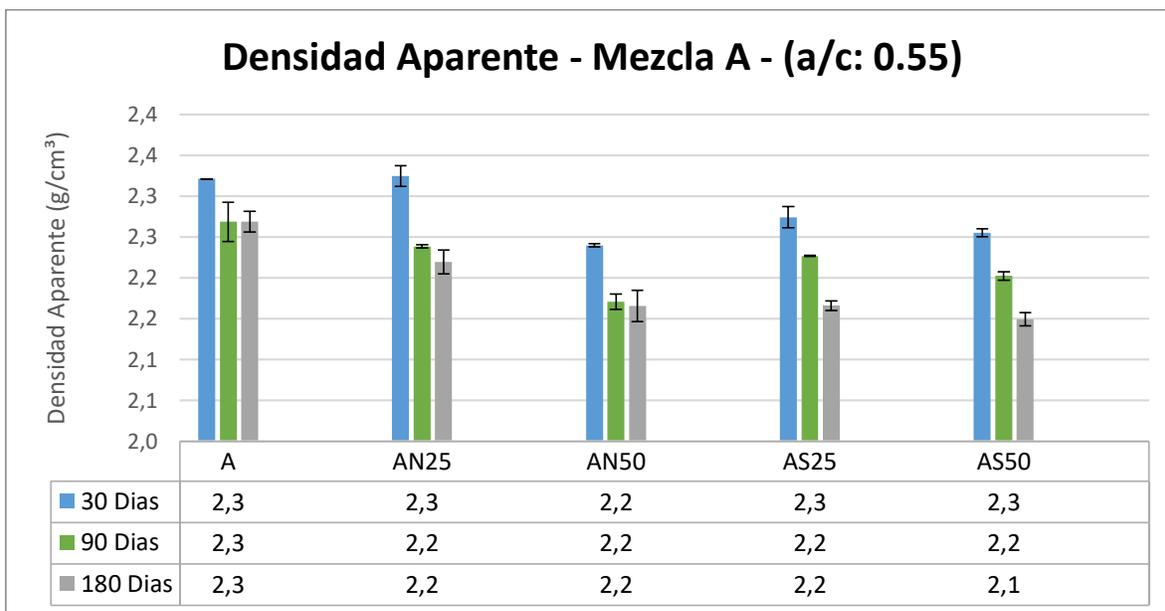


Ilustración 35. Densidad Aparente - Mezcla A.

Inicialmente, del ensayo se esperaba que todas las mezclas obtuvieran valores menores a los de control, dado que el agregado reciclado tiene una menor densidad que su contraparte natural, sin embargo, la mezcla AN25 presentó valores mayores a los de control a los 30 días, lo cual pudo deberse a un error en el ensayo o falta de sensibilidad en el método. Todos los demás datos de las mezclas se comportan según lo esperado, obteniendo menores valores de densidad conforme se incrementa el reemplazo de agregado reciclado. Sin embargo, no se esperaba en la investigación, que las densidades aparentes fueran menores para el caso de mezclas con AFR carbonatado, en comparación con sus homologas con este agregado sin carbonatar. Una explicación plausible que se desarrolló para explicar este fenómeno, se expone más adelante.

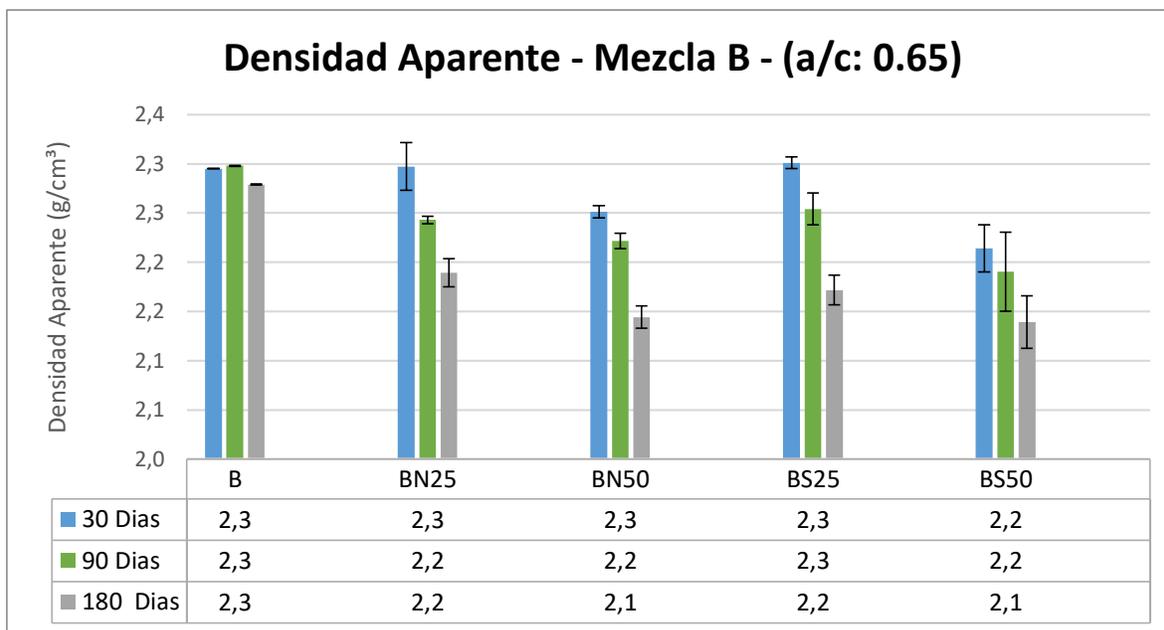


Ilustración 36. Densidad Aparente – Mezcla B.

En primer lugar, vale la pena notar, que no existe diferencia sustancial entre la densidad aparente de la mezcla control (B) a los 30, 90 y 180 días de edad, mientras que todas las demás mezclas presentaron una disminución de la densidad entre las tres edades. Esta disminución, la cual no se esperaba, se adjudica a un problema en la eficacia del ensayo, de la misma forma que ocurre con la disminución de la densidad para algunas mezclas con agregado reciclado carbonatado. Otra observación de interés, es la gran similitud entre los valores de densidad de las mezclas con AFR carbonatado y sus homologas sin carbonatar en todas las edades, aunque las primeras obtuvieron valores ligeramente inferiores a las segundas.

Del estudio de los resultados obtenidos y a modo de comparativo, se identifica disminuciones en la densidad aparente de hasta un 4.4% para un reemplazo de AFR del 50% en una mezcla tipo A, y de 6.1% para un reemplazo del mismo tipo en una mezcla tipo B, ambas a 180 días con respecto a la mezcla control. Estos datos concuerda en comportamiento, aunque no en magnitud, con lo encontrado por (Ledezma et al., 2014) en su investigación, donde se determinaron diferencias de hasta un 16% en densidad aparente con reemplazos del 40% de agregado natural por AFR. La menor densidad aparente del mortero con agregado reciclado puede explicarse si se tiene en cuenta la menor densidad del agregado reciclado en comparación con su contraparte natural, diferencia que alcanza los 0.44 g/cm³.

La explicación de la disminución de la densidad aparente, para las probetas con agregado reciclado carbonatado y en aquellas probetas de una misma mezcla, pero a diferente edad, es bastante sencilla, si se observa desde el punto de vista del principio de Arquímedes utilizado para el cálculo de esta. El error principal, que arroja una menor densidad, se debe a la consideración del peso del volumen de agua desplazado como una medida del volumen del cuerpo, sin considerar el volumen de vacíos no permeables, que es tomado como si fuera masa del cuerpo. Este mortero con AFR carbonatado o aquel que tiene una mayor edad, tiene una mayor cantidad de volumen no saturable, lo que provoca que el volumen desplazado sea mayor que el de sus mezclas homologas con AFR no carbonatado o más jóvenes, lo que termina arrojando una menor densidad. Se tiene entonces la regla: *A mayor volumen de poros no saturable, menor será su densidad aparente*. A pesar de lo anterior, todo esto dependerá del estado de la red de poros al momento de ensayar la probeta y de las micro fisuras que esta pueda presentar, por lo que la regla no es absoluta.

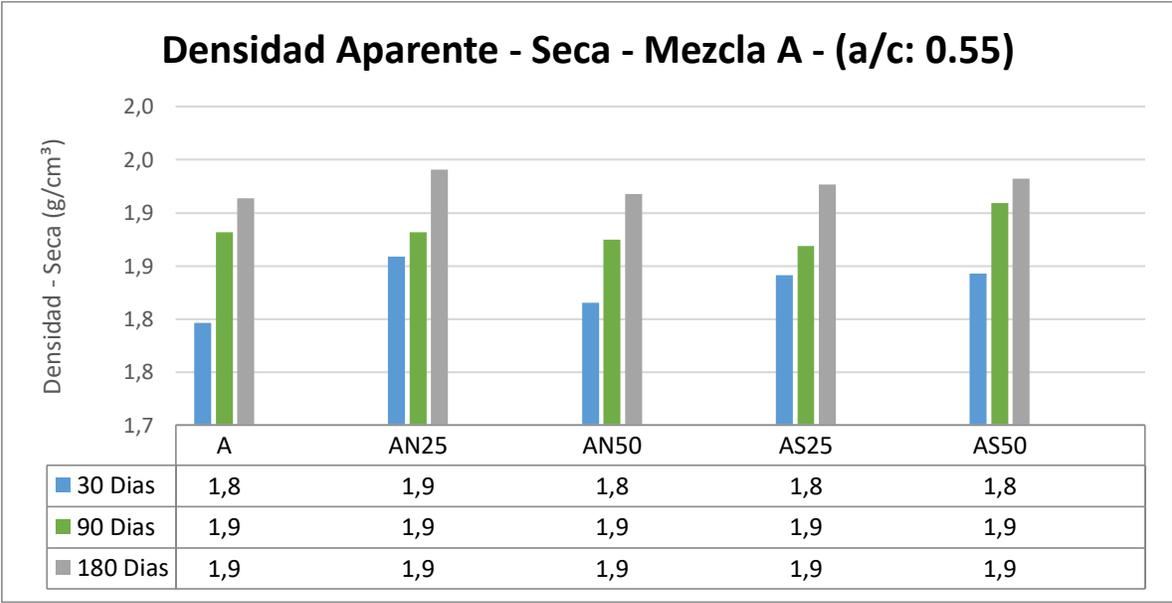


Ilustración 37. Densidad Aparente - Seca - Mezcla Tipo A.

Al contrario que la densidad anterior, para este grupo (Tipo A), el comportamiento a través del tiempo sigue lo esperado, dado que aumenta conforme este lo hace. Se distingue, además, que la densidad es mayor o igual a la de control para casi todos los casos, aumentando en comparación al agregar AFR en un reemplazo del 25% y disminuyendo al incrementar dicho reemplazo al 50%. Respecto a la carbonatación del agregado, se encuentra que hay una disminución en la densidad de las mezclas que hacían uso de este en un reemplazo del 25%, y un aumento similar al incrementar

dicho reemplazo al 50%. Con lo anterior y los datos obtenidos, se acusa de este resultado a la falta de sensibilidad del método.

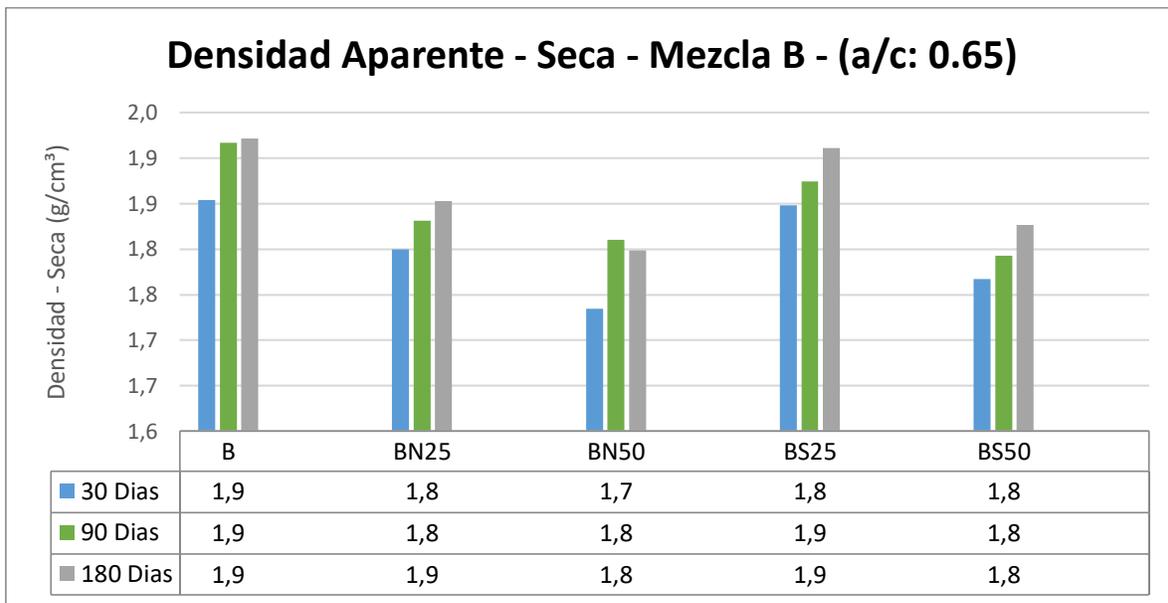


Ilustración 38. Densidad Aparente - Seca - Mezcla Tipo B.

En este segundo grupo (Tipo B), se aprecian mejor las relaciones que se esperaban obtener. Dado que el agregado carbonatado tiene mayor densidad que el no carbonatado, se identifica un aumento en la densidad de las mezclas con este primer tipo de AFR en comparación con las mezclas que hacen uso de los segundos (sin carbonatar). Además, la densidad incrementa con la edad y disminuye con el porcentaje de reemplazo de agregado natural por fino reciclado.

En comparación, la mezcla A tuvo valores de densidad mayores al tipo B, lo cual era de esperarse, dada la mayor cantidad de arena reciclada que posee la segunda, debido a su alta relación agua/cemento.

7.2.5. Velocidad de pulso ultrasónico (VPU)

En las gráficas y tablas siguientes, se presentan los resultados de velocidad de pulso ultrasónico, practicado a los cilindros de mortero.

Tabla 26. Comparativo de la velocidad de pulso ultrasónico.

Mezcla	Velocidad (m/s)		
	28 Días	90 Días	180 Días
A	3328	3560	3559
AN25	3345	3530	3645

Mezcla	Velocidad (m/s)		
	28 Días	90 Días	180 Días
AS25	3350	3537	3656
AN50	3401	3579	3659
AS50	3454	3693	3637
B	3333	3562	3540
BN25	3145	3360	3557
BS25	3210	3401	3658
BN50	3130	3349	3419
BS50	3150	3356	3481

Como observación inicial, se puede observar un aumento de la velocidad del pulso conforme se incrementa la edad de la probeta de mortero, lo que puede implicar una densificación del material o una disminución de la capacidad de percolación de la red de poros del material.

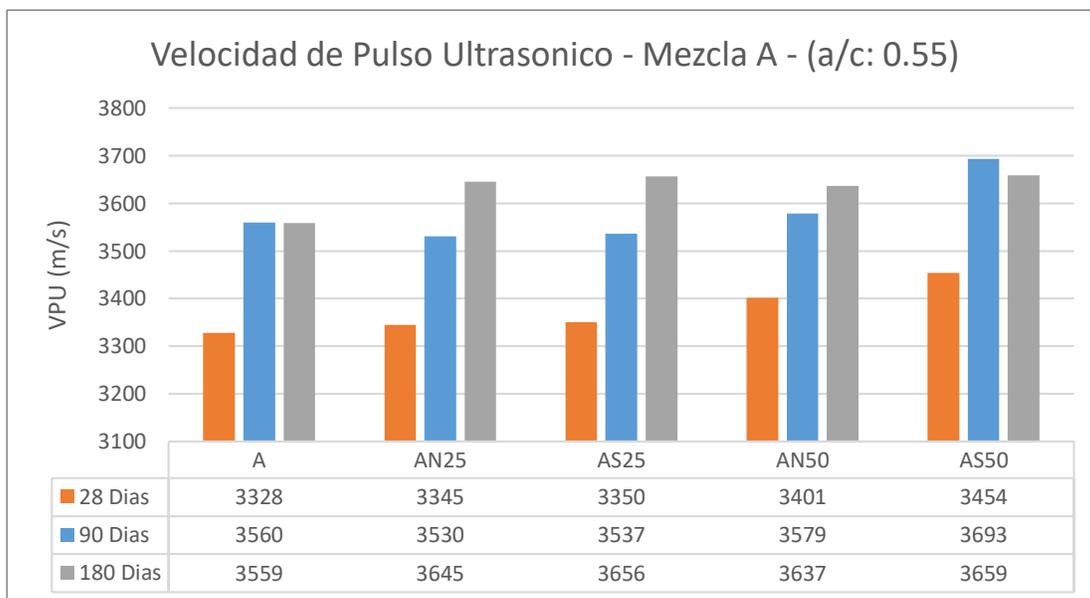


Ilustración 39. Velocidad de Pulso ultrasónico para mezcla tipo A

En primer lugar, puede notarse que todas las mezclas de este tipo (A) superan los valores de control obtenidos para una edad de 180 días, donde mezclas como la AS25 obtuvieron velocidades de hasta 2.7% por encima del valor de control, mostrando una mejora en términos de la VPU para morteros con adiciones de AFR. A pesar de lo anterior, se debe admitir que la mayoría de los valores (exceptuando control) presentan una magnitud similar en sus velocidades, obteniendo de esta manera un promedio de velocidad de 3649 m/s. Es, además, de interés notar, que las velocidades

de aquellas mezclas con AFR carbonatado son ligeramente superiores para todas las edades y porcentaje de reemplazo que sus contrapartes con agregado reciclado sin carbonatar, sin embargo, estas diferencias son bastantes pequeñas (- 1%), por lo que no puede argumentarse de una ventaja real obtenida por el uso de agregados finos reciclados carbonatados en comparación con el no carbonatado, por lo menos para esta relación agua/cemento.

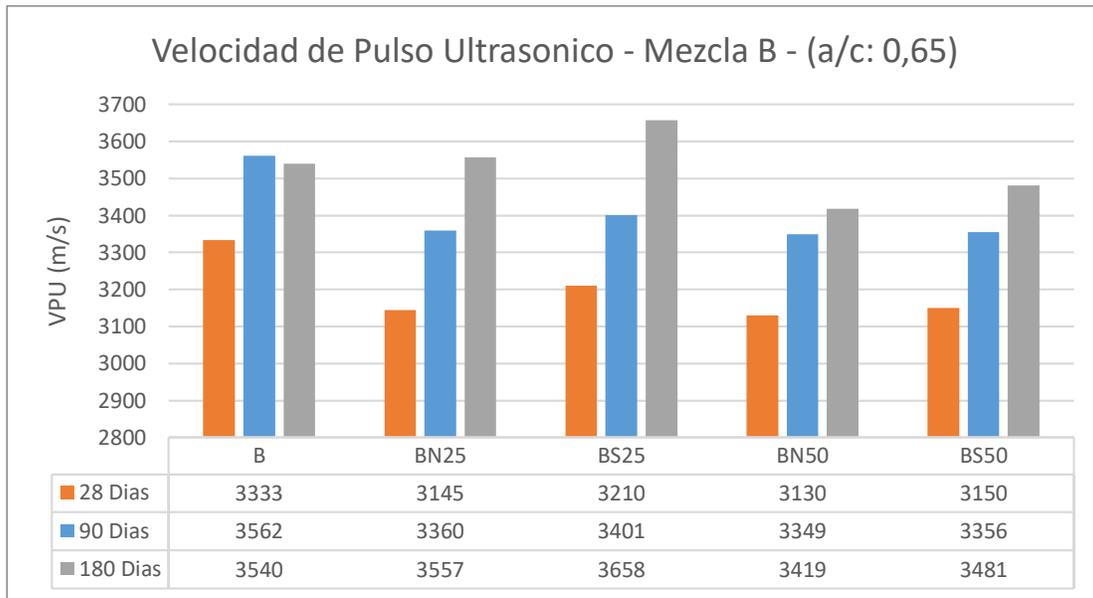


Ilustración 40. Velocidad de Pulso Ultrasonico para mezcla tipo B.

De la gráfica anterior, ha de notarse que tanto para las edades de 30 y 90 días, las velocidades de pulso de todas las mezclas estuvieron por debajo del valor de control (B). Lo anterior también ocurre a 180 días con la excepción de las mezclas BN25 y BS25, aunque la primera de una manera marginal. También ha de notarse que, para todas las edades, las mezclas que utilizaron reemplazos de AFR carbonatado en lugar del sin carbonatar obtuvieron mayores velocidades, indicando un incremento en la calidad del material desde un punto de vista de continuidad de su estructura. Por último, se distingue un incremento de velocidades según ocurre el incremento en la edad del espécimen, los cuales, recalcándolo, estuvieron en un curado húmedo constante.

De los resultados obtenidos en el estudio, se identifican velocidades de pulso con un rango entre 3400 y 3670 m/s a lo largo de todas las mezclas en estudio, donde se tiene un pico de velocidad para la mezcla AS50 con 3693 m/s. Tomando estos datos y comparándolos con la clasificación de (Solís Carcaño, Moreno, & Castillo Pak, 2004), se tiene que las mezclas de tipo A (A, AN25, AN50, AS25 y

AS50) alcanzaron una calidad de concreto “Buena”, mientras que solo las mezclas B, BN25 y BS25 alcanzaron esta misma clasificación, siendo “Regular” las demás mezclas en esta categoría.

Ahora, comparando los dos grupos de mezclas y por la tendencia observada en las mezclas a los 90 días, se tiene que el comportamiento de las velocidades está en línea con lo concluido por (Khatib, 2005), quien habla de una caída de hasta un 8% de la VPU en las mezclas con AFR, al comparar estas con las fabricadas con agregado natural. Sin embargo, lo anterior no parece aplicar a los 180 días, dado que se encuentran mezclas de mortero que han alcanzado velocidades mayores a los de control (todo el grupo de mezclas tipo A, además de las mezclas BN25 y BS25 en el grupo B), posiblemente indicando una mejora en la calidad del material debido al refinamiento en la red de poros que ocasiona el agregado reciclado. Por otra parte, las pérdidas de VPU en el material se adjudica principalmente a una mayor porosidad del AFR (Mardani-Aghabaglou et al., 2014), y de la pasta de mortero, la cual no alcanza a ser compensada por el efecto de llenado de este tipo de agregado. Por último, se distinguió que para ambas relaciones de a/c, las mezclas que hacían uso de AFR carbonatado obtuvieron VPU mayores que sus contrapartes sin carbonatar, posiblemente debido a la mayor densidad del primero con respecto al segundo.

7.2.6. Cambio volumétrico del mortero

A continuación, se presentan las gráficas del cambio volumétrico del mortero según tipo, medido como un cambio en longitud de barras a causa del secado, en las cuales se relaciona su cambio como la variación de un porcentaje a través del tiempo, siendo un valor negativo el correspondiente a una contracción de la probeta. Se debe tener en cuenta que, por limitaciones propias de la investigación y la metodología del ensayo, algunas muestras alcanzaron tiempos mayores de exposición, por lo que datos por encima de los 180 días será omitidos durante las comparaciones de las gráficas.

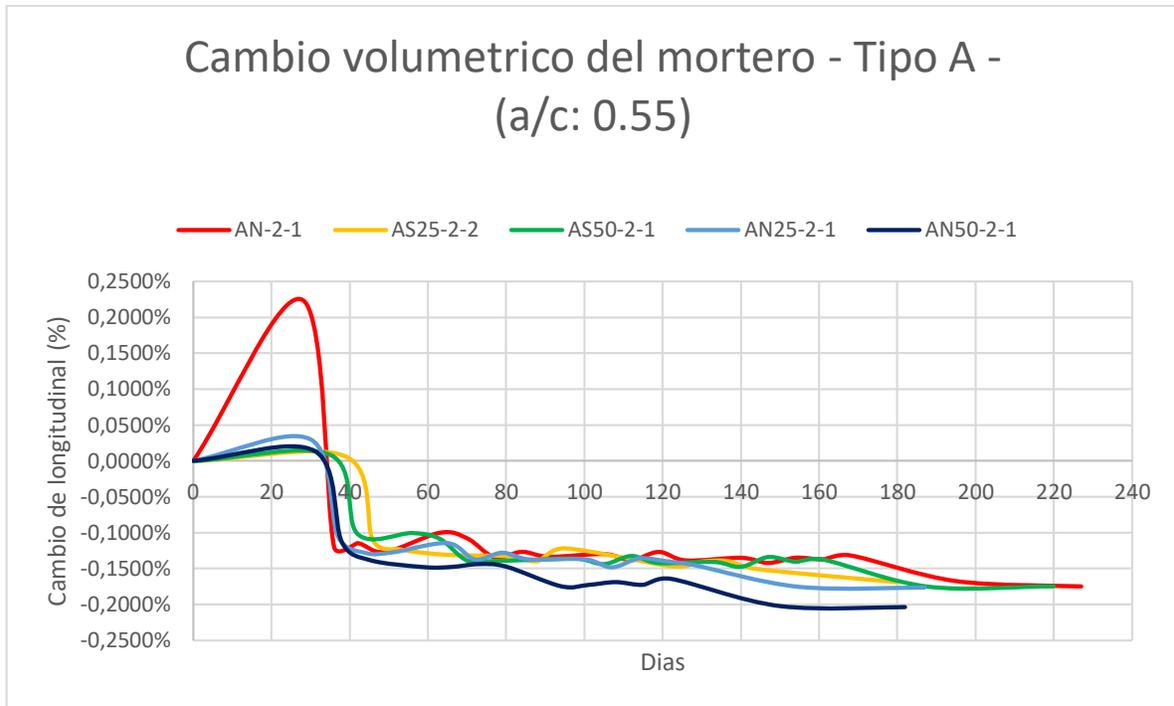


Ilustración 41. Comparativo del cambio volumétrico del mortero para la mezcla tipo A.

En primer lugar, se tiene las muestras tipo A, las cuales presentaron expansiones mientras se encontraban sumergidas en curado, hasta una edad de 28 días, después de los cuales sufrieron una gran contracción inicial al ser expuestas a la atmosfera de la cámara de humedad y temperatura controlada, lo cual abrió paso a una contracción lenta con un ritmo aparentemente constante. Las muestras en esta categoría presentaron expansiones ultimas que las ubican en un rango que va desde 0.15 a 0.20%, siendo la muestra de control la que tuvo la menor expansión y la AN50 aquella que tuvo la mayor. Se debe destacar, además, el gran pico que sufrió la mezcla de control (AN) a los 28 días en comparación con las demás, el cual se estima pudo haber sido causado por la formación de etringita a edades tempranas, causando una expansión de la probeta, la cual volvió a valores normales después de los 30 días.

Para observar claramente la relación entre los valores de contracciones a los 180 días, para las 5 muestras en estudio, se han ordenado estos en la siguiente ilustración.

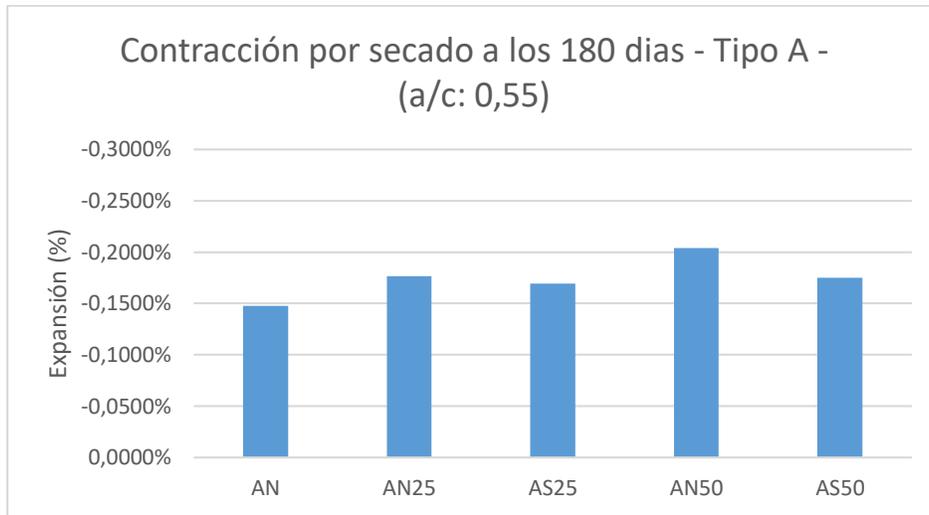


Ilustración 42. Relación de las contracciones a los 180 días para el grupo tipo A de mezclas.

De la gráfica anterior, y de los valores obtenidos, se calcula diferencias con respecto a la muestra patrón (AN) de 19.4, 14.4, 38.0 y 18.5%, para las muestras con 25% AFRSC, 25% AFRC, 50% AFRSC, 50% AFRC respectivamente. Ordenando los anteriores resultados, de mayor a menor, se obtiene la siguiente relación entre mezclas:

- AN50 > AN25 > AS25 > AS50 > A

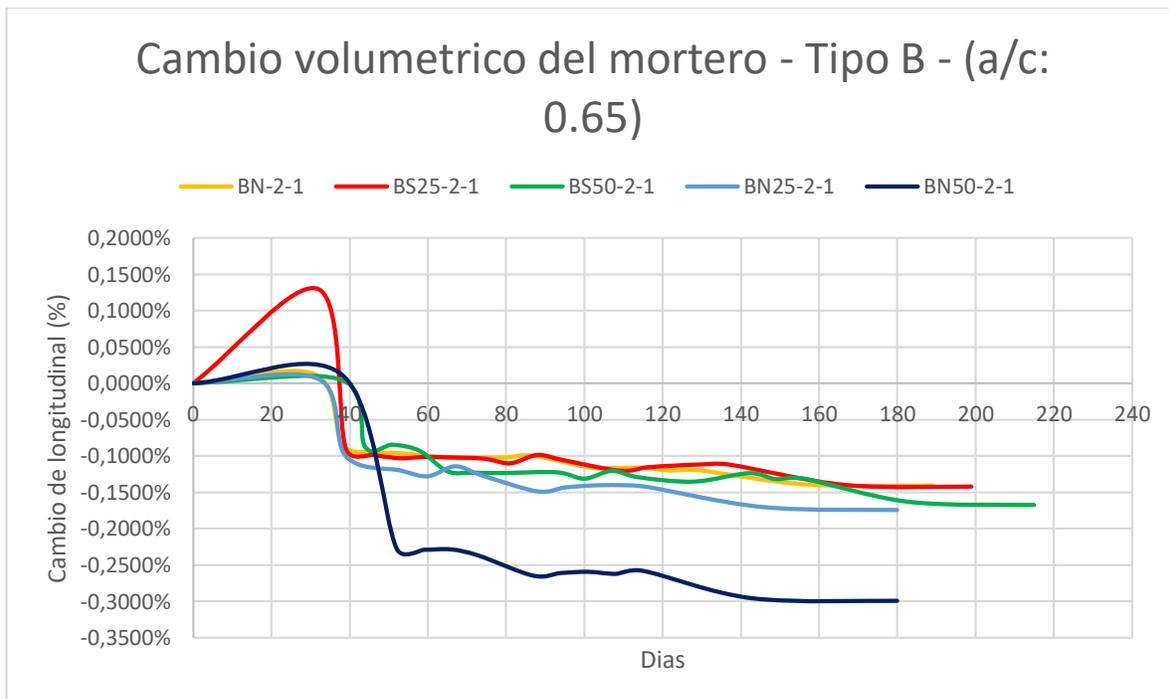


Ilustración 43. Comparativo del cambio volumétrico del mortero para la mezcla tipo B.

Las mezclas tipo B, representadas en la ilustración anterior, presentan una expansión y posterior contracción similar a lo discutido en el grupo anterior. Los resultados de sus expansiones ultimas, se encuentran en un rango que varía de 0.14 a 0.17%, con la excepción de una mezcla que presentó una contracción significativamente mayor a las demás.

De la misma forma que el grupo anterior, se ordenan los valores de las mezclas a los 180 días en la siguiente ilustración:

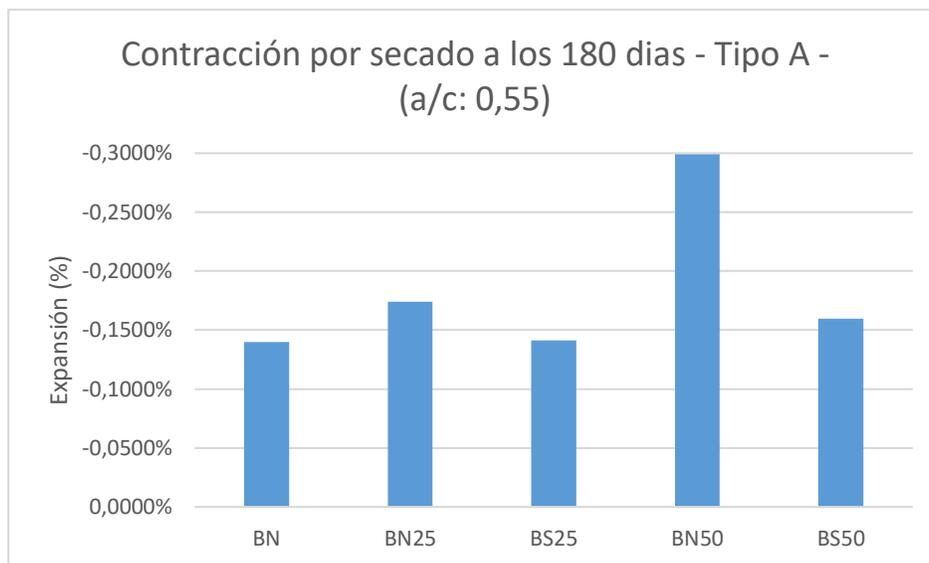


Ilustración 44. Relación de las contracciones a los 180 días para el grupo tipo B de mezclas.

De la gráfica anterior, y los resultados obtenidos, se calculan diferencias de expansión con respecto a la muestra patrón (BN) de 24.2, 0.7, 113.5 y 14.1% para las mezclas con 25% AFRSC, 25% AFRC, 50% AFRSC y 50% AFRC. Ordenando los anteriores resultados, de mayor a menor, se obtiene la siguiente relación entre mezclas:

- BN50 > BN25 > BS50 > BS25 > B

El análisis de este ensayo, simple a primera vista, revela información interesante que merece la pena profundizar utilizando los conceptos y comportamientos expuestos por (Brooks, 2015), respecto a la contracción por secado del concreto.

En términos comparativos, se puede observar como las muestras del tipo A tienen un comportamiento aproximadamente similar entre sí, en especial después del día 80, mientras que aquellas del tipo B son más dispersas, haciendo parecer que en estas últimas la contracción es más

sensible al tipo de agregado y los porcentajes de reemplazo. De la misma forma, en las mezclas tipo A fue la AN50 quien tuvo una mayor contracción con un máximo de 0.2042%, mientras que, en el conjunto de mezclas tipo B, fue la BN50 con un máximo de 0.2991%. Sin embargo, lo anterior es comparando las máximas contracciones obtenidas, pero si se compara los promedios de las contracciones a los 180 días, se obtendrá que fueron las mezclas tipo A las que presentaron mayores valores que las mezclas tipo B.

De lo anterior se puede comprobar dos cosas: La primera consiste en la verificación de lo comentado por (Brooks, 2015), el cual afirma que la mayor retracción por secado se dará en las mezclas que poseen la mayor cantidad de cemento, fase del concreto para la cual ocurren las contracciones. Esto se verifica al recordar la mayor cuantía de cemento con la que fueron intrínsecamente diseñadas las mezclas tipo A, en comparación con aquellas del tipo B (Ver Tabla 10), por lo cual las expansiones de estas primeras, se encuentran en conjunto por encima de las segundas, tal como sugiere la comparación de la Ilustración 41 e Ilustración 43.

Siguiendo con lo anterior, se tiene que lo segundo a verificar, es la importancia que tiene la calidad de los agregados en el comportamiento de las mezclas y el efecto de llenado que estos tienen en la red de poros del material. Para lograr lo anterior, nos podemos valer de la gráfica comparativa de las mezclas tipo B (Ilustración 43), en la cual existe una mayor participación de los agregados en la constitución del material y nos permite hacer comparaciones con mayor certeza. El ordenamiento de las contracciones (BN50 > BN25 > BS50 > BS25 > B) nos revela dos cosas: La contracción es mayor conforme también lo sea el reemplazo de agregado natural por reciclado, dada la alta absorción de este y su menor densidad, y que la carbonatación del material es un proceso que realmente ayuda a mejorar el agregado reciclado, aumentando su calidad o al menos mejorando algunas de sus propiedades, dado que aquellas mezclas con AFR carbonatado presentaron menores contracciones que sus homologas no carbonatadas, conclusiones válidas también para las mezclas tipo A (Ilustración 41). En esencia, lo anterior comprueba lo dicho por (Brooks, 2015), para el cual un aumento en la cantidad de agregados de calidad, reduciría la magnitud de las contracciones al saturar la red de poros y dificultar el secado del agua en los capilares de la pasta de cemento.

Otro comportamiento de interés, es la gran contracción que sufrió la mezcla BN50, la cual llega a valores de casi el doble con respecto a las otras 4. Esto parece sugerir que un reemplazo del 50% de agregado natural por AFR y la mayor absorción de este último, es demasiado para que la mayor fracción fina del reemplazo lo compense. Lo mismo sucede en las mezclas tipo A, conjunto para el

cual fue la muestra AN50 la que presentó los valores más altos de contracción, aunque de menor magnitud que la BN50. Se estima que la mayor expansión de esta última se debe a la mayor representatividad del agregado en las mezclas tipo B.

Complementando lo anterior y como observación final, se recalca la mejora en el comportamiento de las contracciones de las mezclas al carbonatar el agregado reciclado, las cuales, para todos los casos en estudio, fue menor que sus contrapartes con AFR no carbonatado, insistiendo con ello, en la ventaja de disminuir la absorción y aumentar la densidad de estos agregados para obtener un mejor comportamiento del mortero.

7.2.7. Expansión por sulfatos

En esta sección, se presentan las gráficas comparativas por tipo de mezcla, de las barras de mortero expuestas a una solución de sulfato, y que han sufrieron una expansión en consecuencia expresada como un porcentaje de su longitud inicial. Las gráficas relacionan el cambio de longitud en las probetas a lo largo del tiempo, con porcentajes positivos que representan la expansión de estas y se presentan a continuación:

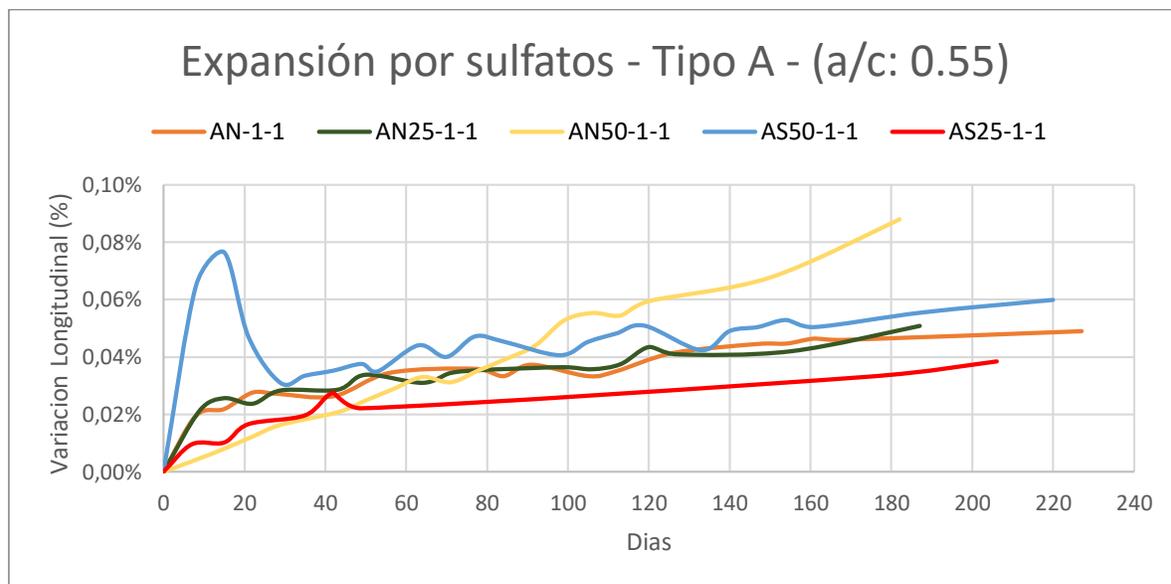


Ilustración 45. Comparativo de la expansión por sulfatos para la mezcla tipo A.

Se ha de tener en cuenta, para empezar, que todas las comparaciones de expansión se realizan a los 180 días, dado que al igual que el cambio volumétrico, este ensayo sufre de las mismas limitaciones en los procedimientos y la logística propia de la fabricación de las probetas. Lo anterior provoca que

algunas muestras hayan estado expuestas por más tiempo a la solución de sulfatos, por lo que se utiliza el mismo día como referencia para todas.

En primer lugar, debe notarse la diferente tendencia que poseen todas las mezclas de este primer grupo en cuanto la tasa de crecimiento de las expansiones, además, a diferencia del cambio volumétrico, no existen grandes saltos por diferencia en el ambiente de exposición, a excepción de la mezcla AS50, que parece haber sufrido una gran expansión al inicio del experimento. Una de las razones que puede haber, para el extraño comportamiento inicial de la mezcla anterior, es un error en la medición de las probetas, o puede ser quizás por una gran producción de cristales de etringita debido al ataque de sulfatos, causando la expansión de la muestra (Bertolini et al., 2004), la cual después se diluye y recristaliza en una forma de “etringita secundaria” (Barger et al., 2001), reduciendo así dichas expansiones. Sin embargo, buena parte de los mecanismos de expansión de la etringita no son bien conocidos (Bertolini et al., 2004), por lo que no puede ser alcanzada una conclusión satisfactoria.

De la gráfica inmediatamente anterior (Ilustración 45), y con ayuda de los resultados obtenidos, se presentan en la siguiente ilustración, los valores de expansión a los 180 días para el primer grupo de mezclas, con el objetivo de que sus relaciones se representen claramente.

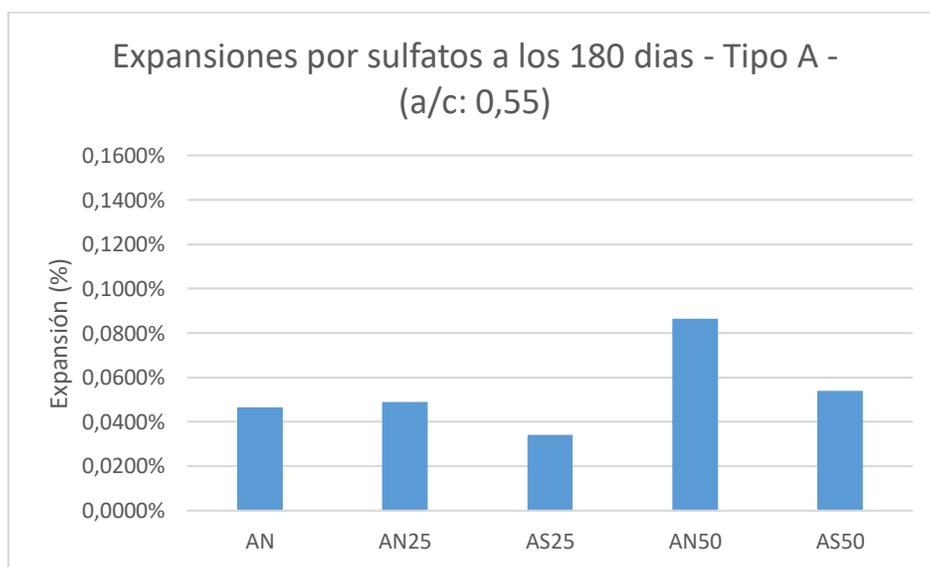


Ilustración 46. Expansiones por sulfatos a los 180 días para el grupo tipo A de mezclas.

De la misma forma, se calculan diferencias en las expansiones con respecto a la mezcla de control (AN) de 4.9, -26.8, 85.8, y 16.1% para el caso de una mezcla con 25% AFRSC, 25% AFRC, 50% AFRSC

y 50% AFRC respectivamente. Ordenando los valores anteriores, de mayor a menor, se obtiene la siguiente relación entre mezclas:

- AN50 > AS50 > AN25 > A > AS25

Con lo anterior, es factible argumentar un incremento de las expansiones de las probetas conforme se incrementa el reemplazo de agregado natural por reciclado, dado que, según lo obtenido, la mezcla con mayor expansión fue aquella que incorporaba un 50% de agregado reciclado en su constitución. Por otra parte, la carbonatación del AFR mostró susceptibles reducciones en las expansiones absolutas de las probetas, llegando a disminuir de 0.0872% para la AN50 a 0.0572% para la AS50, o de 0.0507% para la AN25 a 0.0400% para la AS25. Además, resulta de interés notar, que la mezcla que sufrió la menor expansión de este conjunto fue aquella que integraba hasta un 25% de agregado fino reciclado carbonatado.

Los anteriores resultados parecen indicar que, si bien la expansión se incrementa posiblemente debido a la mayor porosidad del AFR, se puede contrarrestar este efecto carbonatando el agregado antes de ser utilizado en las mezclas de mortero.

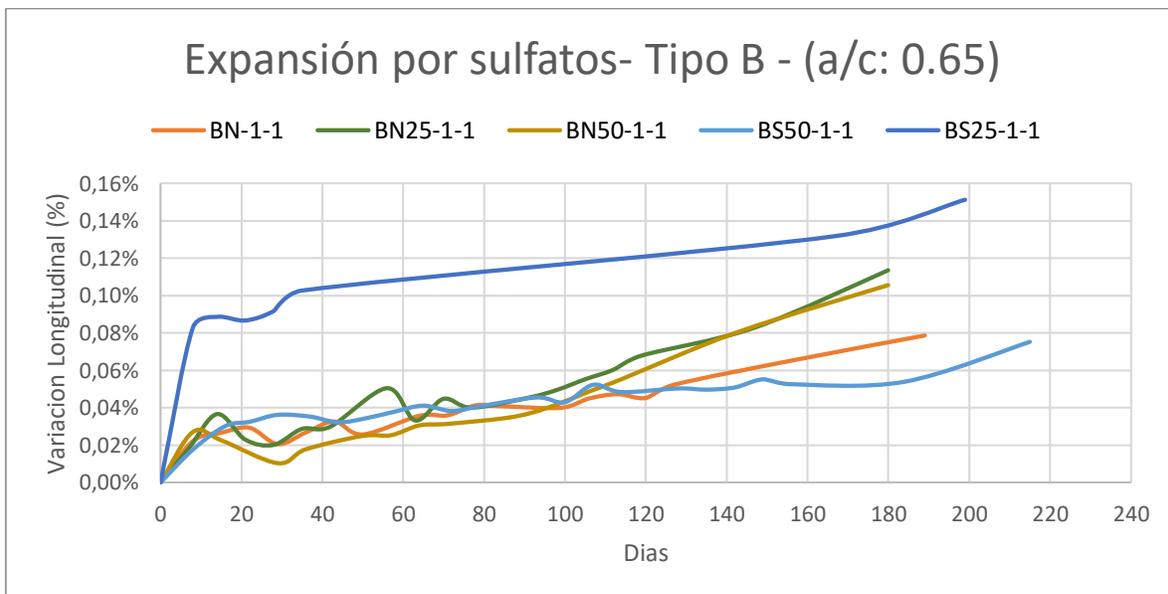


Ilustración 47. Comparativo de la expansión por sulfatos para la mezcla tipo B.

Con respecto al segundo grupo, de mezclas tipo B, resalta a la vista la gran expansión sufrida por la mezcla BS25, la cual contradice lo formulado en el grupo anterior, dado que al tener esta AFRC (agregado fino reciclado carbonatado), se esperaba que tuviera expansiones menores que su

contraparte con agregado no carbonatado. Con el mismo objetivo, perseguido en el grupo anterior, se representan los resultados de expansión para el conjunto B de muestras en la siguiente ilustración:

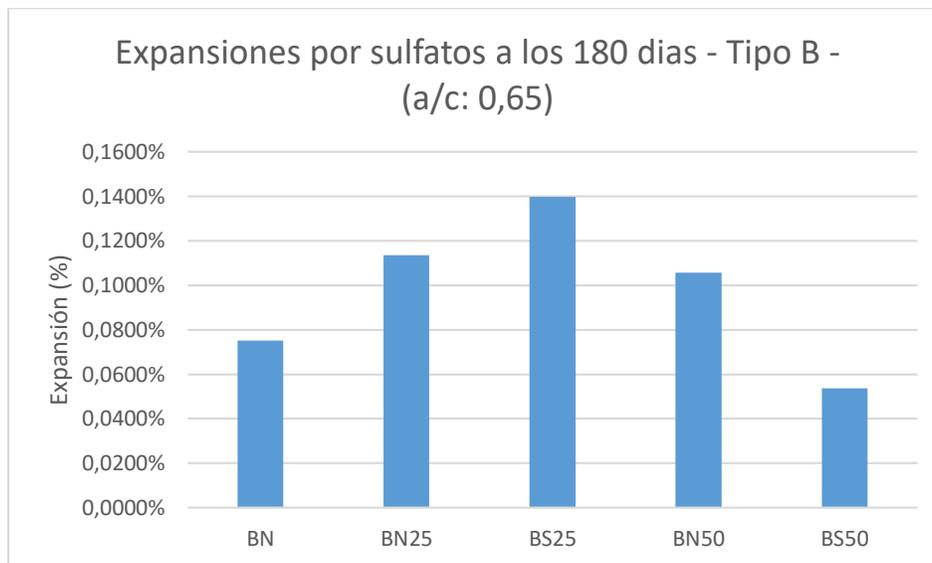


Ilustración 48. Expansiones por sulfatos a los 180 días para el grupo tipo B de mezclas.

Con los resultados obtenidos, se encuentran valores de expansión, con respecto a la mezcla de control (BN), de 51.3, 86.0, 40.7 y -28.4% en mezclas con 25% AFRSC, 25% AFRC, 50% AFRSC y 50% AFRC respectivamente. Ordenando los resultados anteriores, de mayor a menor, se obtiene la siguiente relación entre mezclas:

- BS25 > BN25 > BN50 > B > BS50

Se tiene entonces, que para esta relación agua/cemento (0.65), la adición de hasta un 50% de agregado fino reciclado representa una disminución de la expansión por sulfatos del mortero, en especial si dicho agregado se encuentra carbonatado, para lo cual se obtuvieron expansiones menores a las de control, por lo menos en un reemplazo del 50% de agregado natural por reciclado.

Respecto a los resultados obtenidos, a modo comparativo, se identifica que el comportamiento de la mezcla tipo A va en contra de lo supuesto, dado que al aumentar la cantidad de AFR hasta un 50% se esperaba se redujeran las expansiones sufridas por las probetas, tal como demostró (S. T. Lee, 2009) en su estudio, y que si se evidencia en las mezclas tipo B. La explicación de este comportamiento en las probetas del primer tipo, puede deberse a la mejor calidad de la pasta de mortero de las mezclas tipo A con respecto a las del segundo grupo, su menor relación a/c y por

tanto mayor cemento, o que la fracción fina del agregado reciclado utilizado en las mezclas tipo B fue más significativo, por lo que se recomienda que para una adecuada identificación del motivo en un futuro caso de estudio, se utilice pruebas de composición como la difracción de rayos X o XRD, además de una prueba SEM, en las probetas sometidas a un ensayo con sulfatos.

A pesar de lo anterior, es posible determinar una disminución en los porcentajes de expansión, en todas las muestras durante el estudio, para las cuales se ha utilizado AFR carbonatado. Dado que no se conocen los mecanismos exactos de la reacción de sulfatos (Tian & Cohen, 2000), se supone que esto se debe a la menor absorción y mayor densidad del material carbonatado.

Desde un punto de vista cualitativo, todas las muestras presentaron daños en sus bordes y esquinas similares a los de la mezcla control, con afloramientos de un polvo blanco en su superficie, similar al reportado por (S. T. Lee, 2009) y que fue identificado por dicho autor como yeso, en una prueba de DRX. Además, las probetas se sentían débiles al tacto después de estar en la solución por un periodo prolongado (+100 días), esto se identificaba por la facilidad de desprender material de estas con la fricción de los dedos. Este debilitamiento posiblemente se deba a una pérdida de la cohesión entre los productos de hidratación, según fue descrito por (Bertolini et al., 2004).

Para el caso de esta prueba, se decidió no reportar fotografías de las muestras que estuvieron expuestas a la solución de sulfatos. Se optó entonces, por escanear en 3D, cinco diferentes especímenes representativos de diferentes mezclas (AN, AS50, AS50, BN50 y BS50). Dichos modelos fueron cargados a la plataforma “SketchFab”, que se especializa en la visualización de este y muchos otros tipos de modelos de tercera dimensión. Se relaciona entonces a continuación, la serie de enlaces para acceder a cada uno de los modelos públicos.

AN:	https://skfb.ly/6nrGr
AN50:	https://skfb.ly/6nrIN
AS50:	https://skfb.ly/6nrHH
BN50:	https://skfb.ly/6nrHQ
BS50:	https://skfb.ly/6nrHW

7.2.8. SEM (Microscopia Electrónica de Barrido)

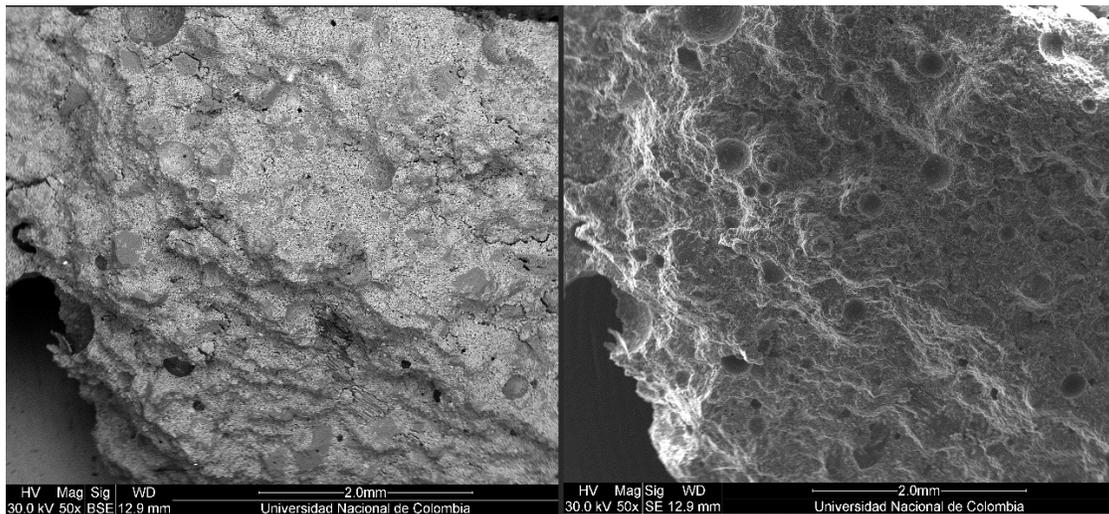
Para el análisis cualitativo de las muestras, se separó las fotografías en tres categorías principales que facilitan su análisis, estas son: Aire atrapado, Presencia de etringita y Fisuración de las muestras.

Se presentan a continuación las fotografías relevantes del estudio según cada una de las categorías nombradas. Se permite recordar que, para todos los casos, la fotografía de la izquierda es la correspondiente a la muestra vista con Back-Scattered electrons (BSE), mientras que la derecha corresponde a Secondary Electrons (SE), técnicas las cuales ya fueron expuestas en secciones anteriores (Ver 6.4.8.).

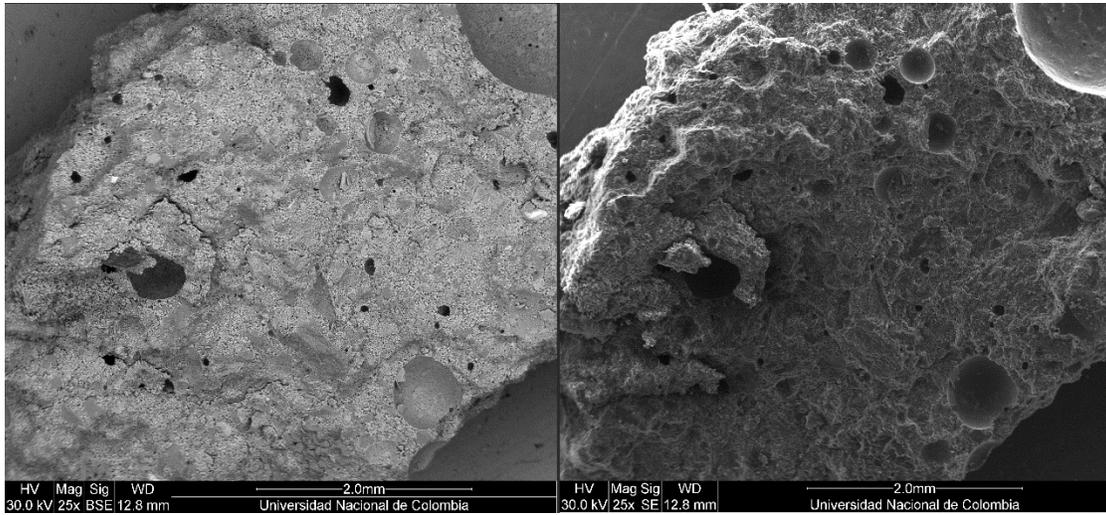
Se debe admitir, que a pesar de lo reveladora que puede resultar una prueba SEM, esta se encuentra limitada si no existen controles de comparación o el análisis en conjunto con una prueba de composición, como lo sería el uso de una sonda durante el ensayo. A pesar de lo anterior, se analiza cualitativamente las imágenes obtenidas, en busca de derivar juicios de valor.

7.2.8.1 Aire atrapado:

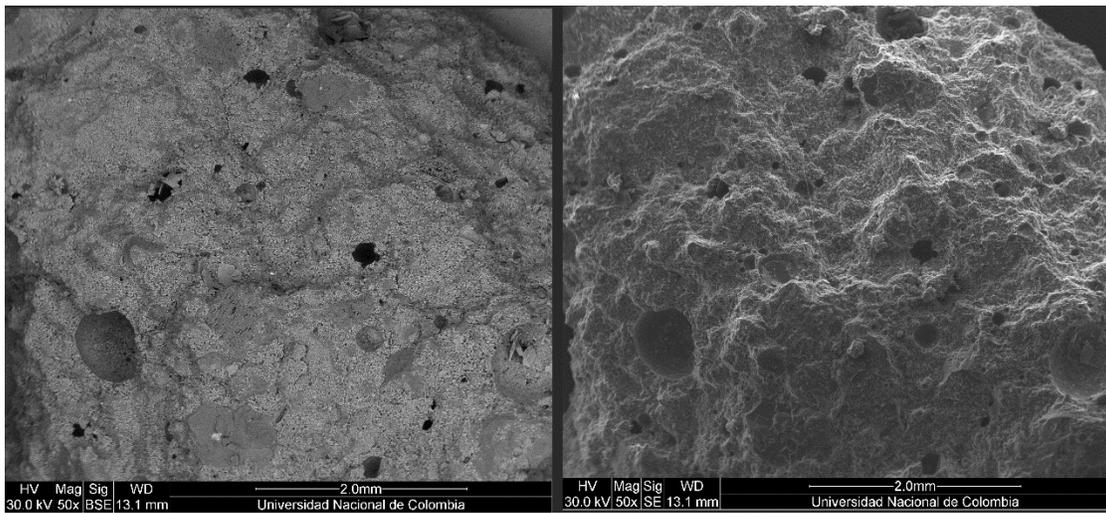
Las fotografías de esta categoría fueron específicamente tomadas para comparar la cantidad de aire atrapado en las mezclas de una manera más visual que aquel reflejado por los datos. Se considera que estas imágenes cumplen dicho propósito.



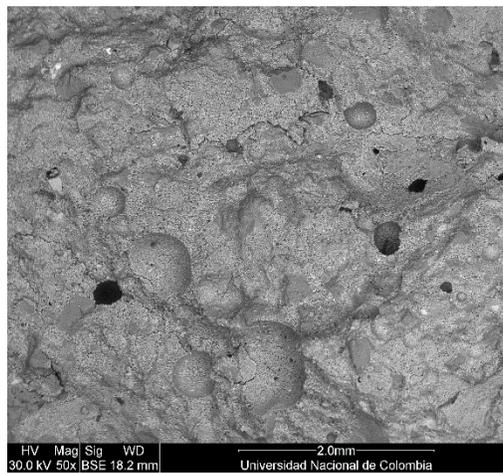
Fotografía19. Muestra del aire atrapado en la mezcla A



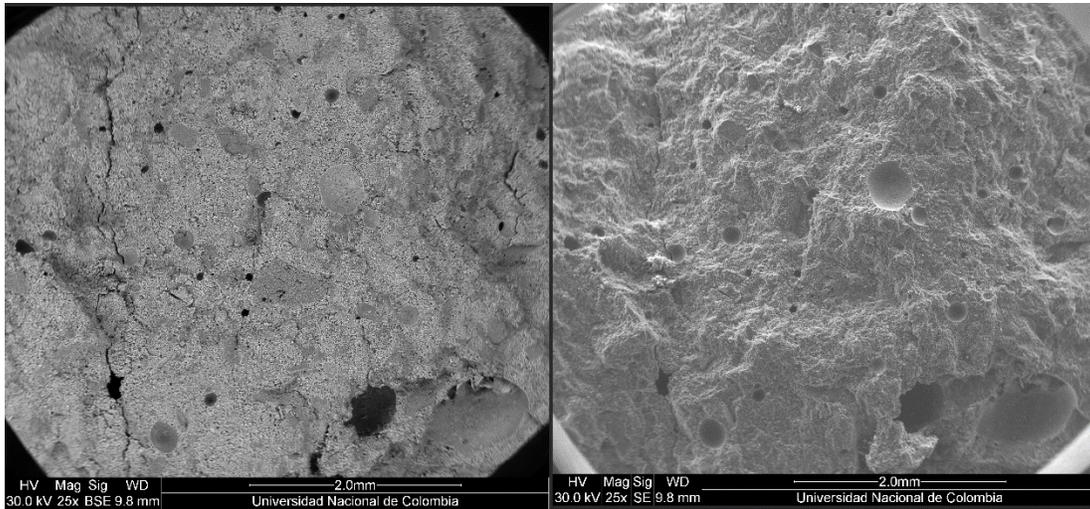
Fotografía20. Muestra del aire atrapado en la mezcla AN25.



Fotografía21. Muestra del aire atrapado en la mezcla BN50.



Fotografía22. Muestra del aire atrapado en la mezcla AS50.

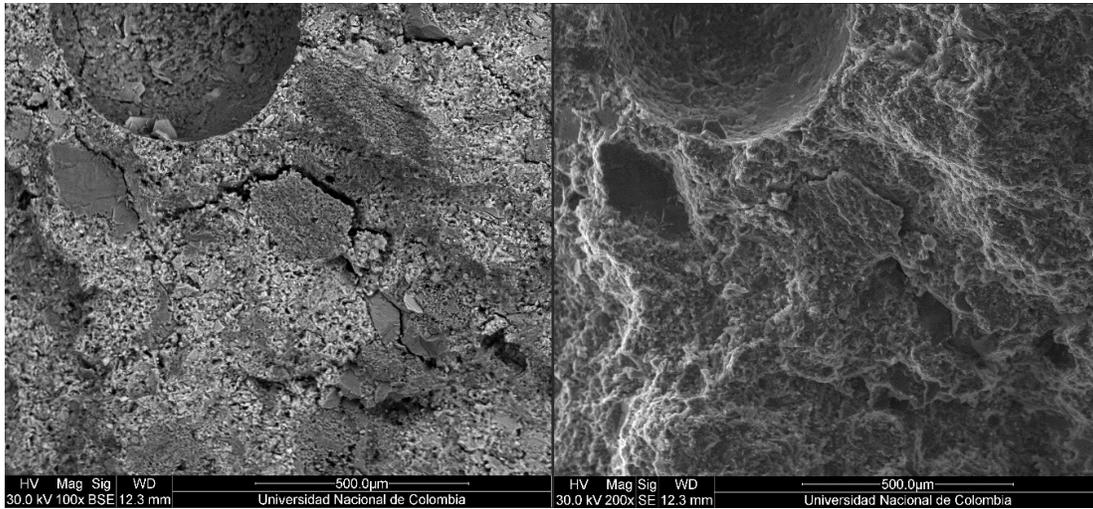


Fotografía23. Muestra del aire atrapado en la mezcla AN50.

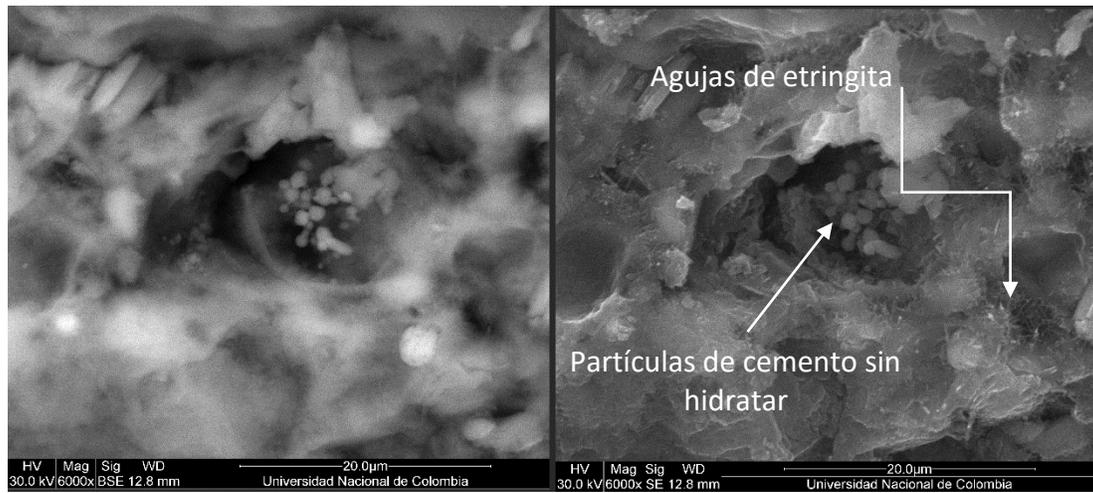
En primer lugar, respecto a la cantidad de aire atrapado en las muestras, se puede observar una mayor cuantía para la mezcla A en comparación con todas las otras analizadas, las cuales tenían varios grados de reemplazo de agregado reciclado, tanto carbonatado como no carbonatado. Sin embargo, estas últimas parecen tener burbujas de aire con una mayor dimensión que la primera, por lo que el efecto de una mayor cantidad de estas en la mezcla A podría balancearse con un mayor tamaño de burbujas en las demás muestras. De las fotografías obtenidas, no resulta evidente la diferencia entre las mezclas con agregado reciclado en esta categoría, por lo que se debe referir a las tablas de volumen de poros (Ver Tabla 23) para poder llegar a una conclusión significativa.

7.2.8.2 Presencia de Etringita:

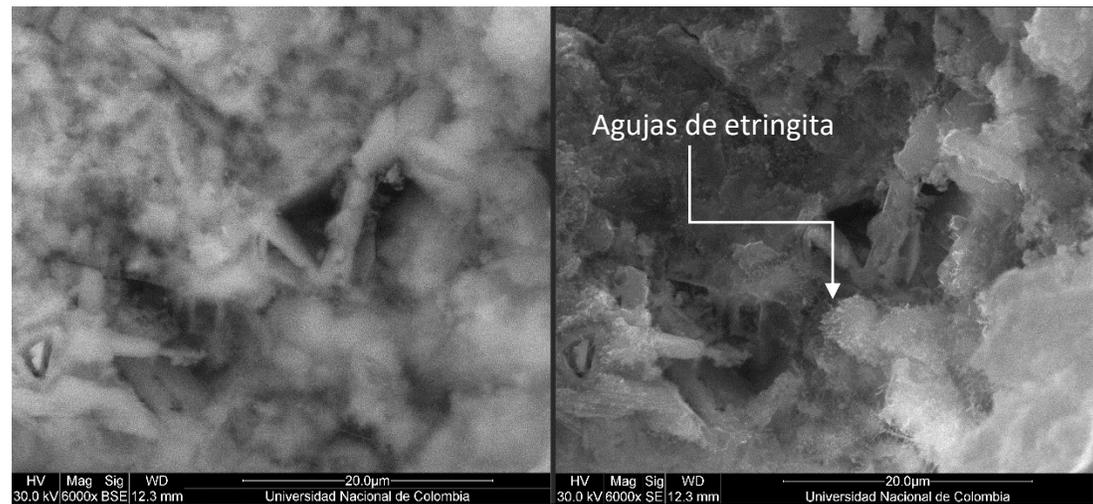
Para esta categoría se buscó en los poros de las muestras la presencia de cristales de etringita o de algún otro compuesto (como partículas de cemento sin hidratar), que pudiera dar testimonio de los procesos que se llevaron a cabo en el fraguado o que aún se estaban dando.



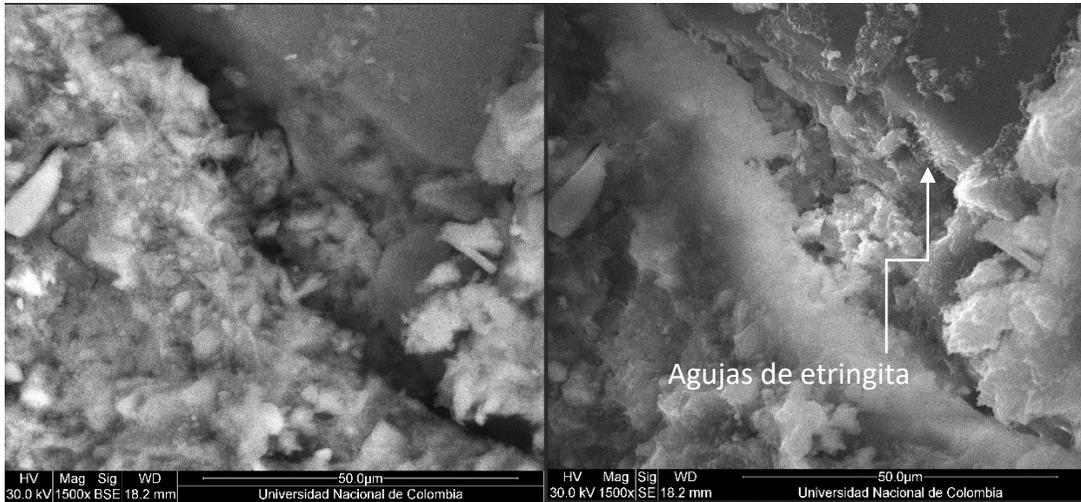
Fotografía24. Identificación de etringita en la mezcla A.



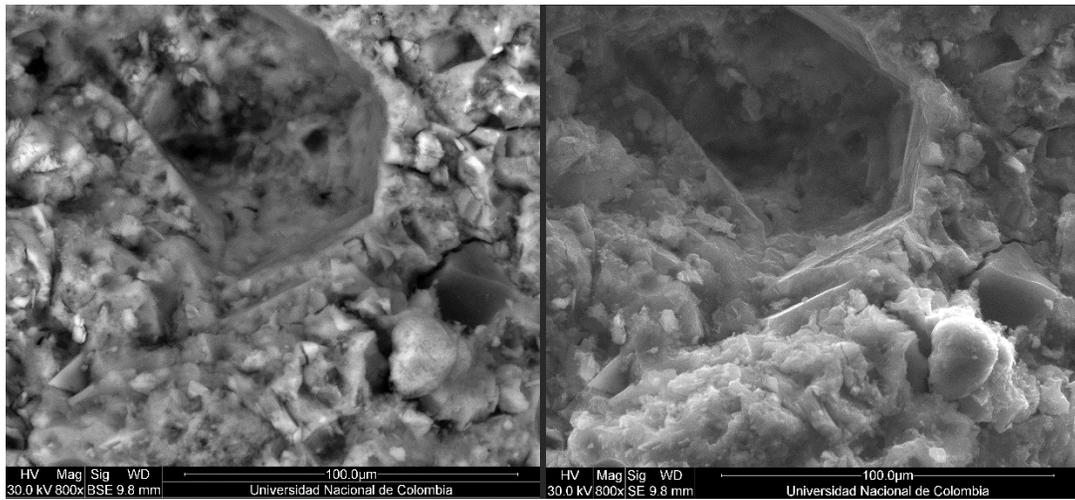
Fotografía25. Identificación de etringita en la mezcla AN25.



Fotografía26. Identificación de etringita en la mezcla BN50.

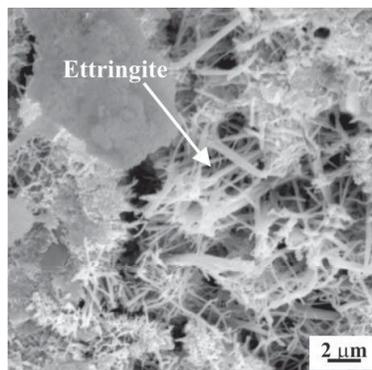


Fotografía27. Identificación de etringita en la mezcla AS50.



Fotografía28. Identificación de etringita en la mezcla AN50

Como referencia, se presenta la siguiente fotografía, obtenida de un ensayo SEM que muestra cristales de etringita formados en el mortero:

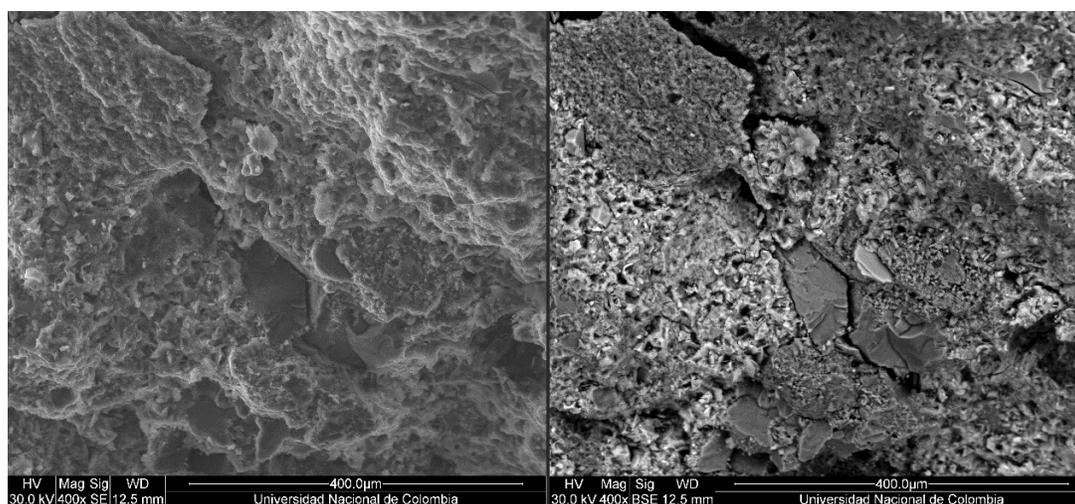


Fotografía 29. Cristales de Etringita en el mortero. Obtenido de (Gemelli, Lourenci, Folgueras, & Camargo, 2004)

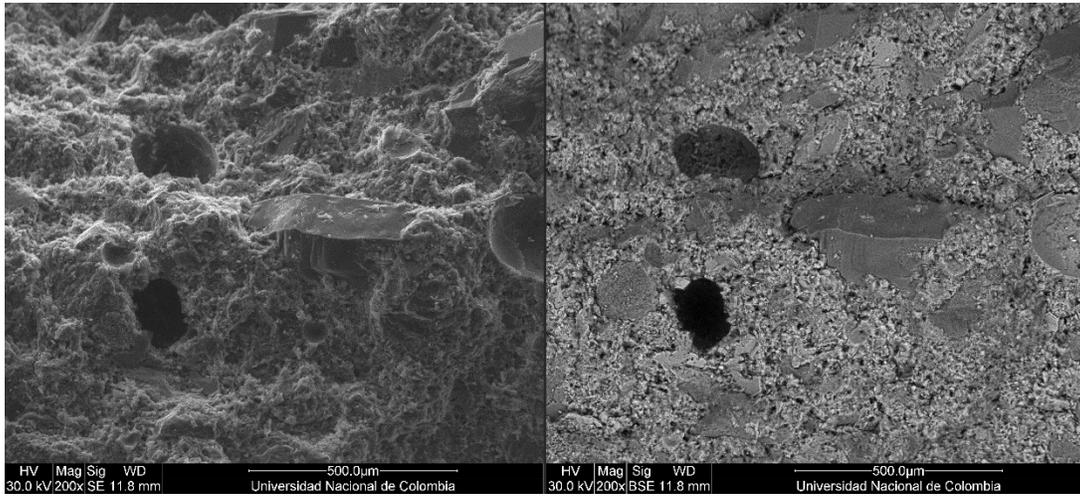
La etringita fue otro de los elementos cuya presencia se deseaba comprobar en las mezclas, dado que su presencia a una edad avanzada podría implicar daños en el mortero por un efecto de expansión conocido como *Formación Tardía de Etringita*, la cual se da especialmente en concretos expuestos a largos periodos de tiempo a una alta humedad ambiental (Barger et al., 2001). Este material, el cual es generalmente un producto de hidratación del cemento, fue observado en las mezclas AN25, BN50 y AS50, mientras que no se detectó su presencia en las mezclas A ni la AN50. Ahora, se debe admitir que el no detectar visualmente la presencia de la etringita (sulfoaluminato de calcio), no implica que esta no pueda aparecer más adelante en el material, ni que su presencia después del endurecimiento implique un daño en el concreto/mortero, dado que esta es conocida por disolverse y volver a aparecer en micro grietas y vacíos dentro del material en tiempos que no son posibles de determinar (ibíd.).

7.2.8.3 Fisuras de las muestras:

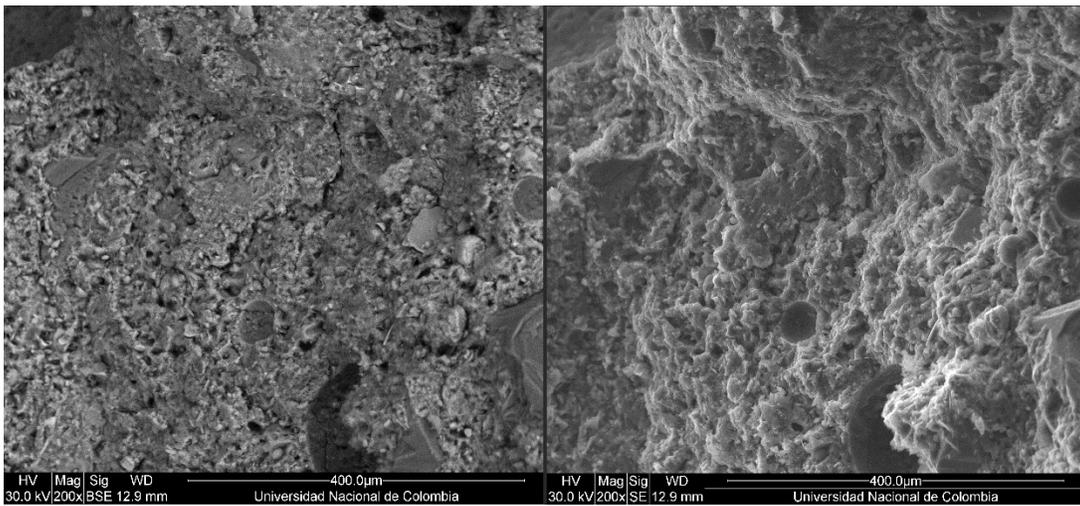
Lamentablemente no fue posible utilizar una sonda capaz de determinar la composición de una zona en específico de la imagen, por lo que un análisis de la zona ITZ no fue posible. Por otra parte, el agregado reciclado y el carbonatado embebido en la pasta de cemento resulta bastante complejo de diferenciar, por lo que la identificación de la ITZ no fue posible de una manera directa. Sin embargo, según se trató en el estado del arte, la ITZ es la zona de falla por la que generalmente ocurre la falla del espécimen, por lo que podría hacerse una relación entre las fisuras encontradas y la calidad de la zona de transición para una determinada mezcla. Las siguientes fotografías se tomaron con el propósito anterior.



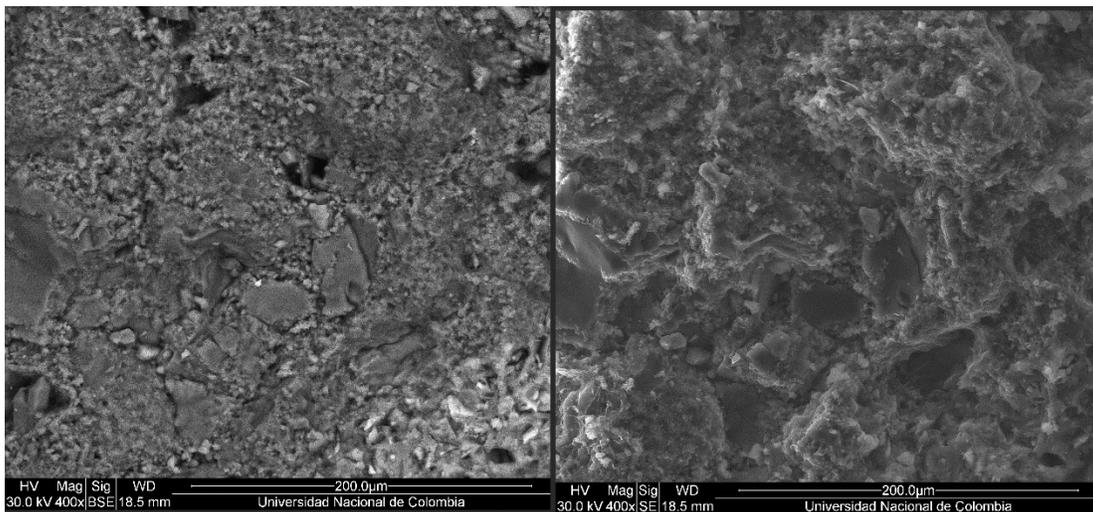
Fotografía30. Fisuras en la mezcla A.



Fotografía31. Fisuras en la mezcla AN25.



Fotografía32. Fisuras en la mezcla BN50.



Según se nombró con anterioridad, para esta categoría de fotos, se encuentran aquellas tomadas para intentar observar la calidad de la ITZ y estimar su calidad. Sin embargo, se encontró que, debido al tamaño fino de los agregados reciclados, y su apariencia similar a los naturales con pasta de cemento adherida, no era posible distinguir entre la vieja ITZ de la nueva. Por lo anterior, se planteó otra aproximación en el estudio, alejada de la bibliografía estudiada, y que consistió en utilizar las microfisuras encontradas en las muestras, su cantidad, extensión y espesor, como una medida de la calidad de la zona de transición interfacial, una vez se asume esta como el eslabón débil de la cadena de elementos que otorgan la resistencia al concreto (Lotfy & Al-Fayez, 2015). Dicho lo anterior, se debe agregar que la metodología no fue explorada con suficiencia, dado que las primeras observaciones no fueron concluyentes y no se aseguraba la relevancia estadística de estas.

8. Conclusiones

Dada la pluralidad de los ensayos realizados, es complejo tener una visión global de los resultados obtenidos, por lo cual se presenta la siguiente tabla, en la cual se ha asignado a las 10 mezclas ensayadas un valor de 1 a 5, que representa el orden en que estas están calificadas, de bajo a alto comportamiento, de acuerdo con los valores obtenidos en cada ensayo.

Tabla 27. Valoración total de mezclas - Resultado final.

Mezcla	Densidad aparente	Volumen de poros permeables	Resistencia a la compresión	ISAT	Sortividad	VPU	Contracción por secado	Expansión en sulfatos	Total
A	5	1	1	3	1	1	5	4	21
AN25	4	3	2	4	4	3	2	3	25
AN50	1	4	3	1	5	2	1	1	18
AS25	3	2	4	5	2	4	3	5	28
AS50	2	5	5	2	3	5	4	2	28
B	5	5	5	5	1	3	5	4	33
BN25	3	2	1	2	4	4	2	2	20
BN50	2	1	2	4	2	1	1	3	16
BS25	4	4	4	3	5	5	4	1	30
BS50	1	3	3	1	3	2	3	5	21

En primer lugar, de la tabla anterior, se observa que las mezclas con AFR parecen ayudar al mortero a obtener un mejor comportamiento en algunas de las propiedades analizadas, en especial cuando este agregado se encuentra carbonatado. Se obtuvo entonces, a nivel general, un mejor comportamiento de las mezclas AS25 y AS50, las cuales tuvieron una puntuación igualada, mayor a la muestra de control. Lo anterior, se considera fue gracias en mayor parte a la buena calidad de la pasta de mortero, el efecto de llenado del AFR sobre la red de poros y en el caso de estas dos últimas, una menor absorción y mayor densidad del agregado reciclado carbonatado. Respecto a las mezclas con el AFR sin carbonatar, se tiene que este solo representa una ventaja sobre los agregados naturales en un reemplazo máximo del 25%, según los resultados de esta investigación.

Para el caso de las mezclas tipo B, con una relación agua/cemento de 0.65, se resalta que ninguna de las mezclas superó en puntaje a la mezcla de control, siendo la más cercana la BS25, seguida por la BS50. Se considera que no hubo una ganancia real neta por el uso de agregados finos reciclados con respecto a su contraparte natural, especialmente debido a la mayor porosidad de la pasta de mortero y del AFR, para lo cual en la mayoría de las propiedades no alcanza a ser compensada por las ventajas del agregado reciclado aun a pesar de la carbonatación de este. En otras palabras, la alta relación agua/cemento de este tipo de mezcla no es propicia para el uso de agregados finos reciclados, a riesgo de afectar la durabilidad del mortero.

De la bibliografía consultada, y los datos obtenidos, se considera que el agregado fino reciclado carbonatado es una opción viable para utilizar como llenante en mezclas de mortero para aplicaciones no estructurales con reemplazos de hasta un 50% o 25% si dicho agregado no se encuentra carbonatado, siempre considerando un mortero con una baja relación agua/cemento (< 0.55), dado que estas tienen un comportamiento similar o mejor en algunas de sus propiedades, a las mezclas control. Sin embargo, se consideran necesarios más estudios a largo plazo (+ 1 año) para realmente recomendar su aplicación en soluciones estructurales, sin temor a efectos adversos sobre el material y sus propiedades.

Por otra parte, con los resultados expuestos en la sección 7.1. , en especial los consignados en la Tabla 15, se considera que se obtuvo el agregado fino reciclado carbonatado óptimo después de 15 días de exposición en la cámara de carbonatación acelerada bajo las condiciones ambientales planteadas en la Tabla 3, dado que a esta edad se lograron las máximas disminuciones en la absorción del AFR y el incremento en su densidad. Por lo anterior, se considera que el proceso podría ser escalado de forma efectiva para una aplicación a un nivel industrial, siempre y cuando los estudios financieros lo respalden.

9. Recomendaciones

De la investigación realizada, los problemas encontrados y lo concluido, se realizan las siguientes recomendaciones:

- Se debe hacer un ejercicio económico y financiero, que tenga en cuenta los costos de producción implicados en la producción y carbonatación de agregados finos reciclados de concreto, con fines de determinar su viabilidad en el mercado.
- Para confirmar la mejora en las propiedades del mortero con AFR carbonatado, se recomienda realizar una prueba de micro-resistencia de Vicker, con fines de determinar los cambios en resistencia y calidad de la ITZ del material.
- Realizar una investigación enfocada alrededor de la contracción por secado y expansión por sulfatos, de mezclas con reemplazos de hasta un 100% de agregado natural por reciclado carbonatado a largo plazo (más de un año), aplicando periódicamente pruebas de composición química y estructura mineralógica, que permitan determinar los cambios de estas a través del tiempo.
- Se puede trabajar con el agregado reciclado sin saturar previamente para obtener una mezcla más fluida, sin embargo, de hacerlo, tendrá menos tiempo para fabricar las probetas hasta que dicha fluidez se pierda.
- Se recomienda para futuras investigaciones, tratar de determinar los efectos sobre las reacciones de hidratación y formación de sus productos, que ocasiona la adición de agregado reciclado en las mezclas de mortero y concreto.

10. Bibliografía

- Alexander, M. G., Ballim, Y., & Stanish, K. (2008). A framework for use of durability indexes in performance-based design and specifications for reinforced concrete structures. *Materials and Structures*, 41(5), 921–936. <http://doi.org/10.1617/s11527-007-9295-0>
- Barger, G. S., Bayles, J., Blair, B., Brown, D., Chen, H., Conway, T., & Hawkins, P. (2001). Ettringite Formation and the Performance of Concrete. *Portland Cement Association*, (2166), 1–16.
- Behera, M., Bhattacharyya, S. K., Minocha, A. K., Deoliya, R., & Maiti, S. (2014). Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete - A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review. *Construction and Building Materials*, 68, 501–516. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.003>
- Bert M., Ogunlade D., Coninck H., Loos M., M. L. (2005). *La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono*. Director (Vol. 17). IPCC. <http://doi.org/10.3145/epi.2008.jul.13>
- Bertolini, L., Elsener, B., Pedferri, P., & Polder, R. P. (2004). Transport Processes in Concrete. *Corrosion of Steel in Concrete*.
- Bojaca, N. R. (2013). Propiedades mecánicas y de dura de concretos con agregado reciclado, 119.
- Bravo, M., de Brito, J., Pontes, J., & Evangelista, L. (2015). Durability performance of concrete with recycled aggregates from construction and demolition waste plants. *Construction and Building Materials*, 77, 357–369. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.103>
- Brito, J. d., & Gonçalves, P. (2010). Recycled aggregate concrete (RAC) – comparative analysis of existing specifications. *Magazine of Concrete Research*, 62(5), 339–346. <http://doi.org/10.1680/macr.2008.62.5.339>
- Brooks, J. J. (2015). *Shrinkage of Concrete*. *Concrete and Masonry Movements* (Vol. c). <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-801525-4.00006-6>
- BroomField, J. (2003). *Corrosion of steel in concrete - Understanding, Investigacion and Repair*. E & FN Spon.
- Brunetti, A., Scura, F., Barbieri, G., & Drioli, E. (2010). Membrane technologies for CO2 separation.

Journal of Membrane Science, 359(1–2), 115–125. <http://doi.org/10.1016/j.memsci.2009.11.040>

Castaño, J., Misle Rodríguez, R., Lasso, L. A., Gómez Cabrera, A., & Ocampo, M. S. (2013). Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectivas y limitantes. *Tecnura*, 17(38), 121–129.

Ccaanz. (2011). *Best Practice Guide for the use of Recycled Aggregates in New Concrete Recycled Aggregates in New Concrete. Production.*

Chaparro, I. A. J. F. (2012). Hacia un desarrollo sostenible en la producción de concreto a partir de desechos de construcción de mampostería de arcilla, 1(1), 114.

Chen, B. (2013). Basic mechanical properties and microstructural analysis of recycled concrete. *Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition*, 28(1), 104–109. <http://doi.org/10.1007/s11595-013-0649-x>

Chi, J. M., Huang, R., & Yang, C. C. (2002). Effects of Carbonation on Mechanical Properties and Durability of Concrete Using Accelerated Testing Method. *Science*, 10(1), 14–20.

Claisse, P. a. (2005). Transport properties of concrete. *Concrete International*, 27(2), 43–48.

Claisse, P. A. (2014). 1 - The transport properties of concrete and the equations that describe them. *Transport Properties of Concrete*, 1–16. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1533/9781782423195.1>

Collins, F. (2010). Inclusion of carbonation during the life cycle of built and recycled concrete: Influence on their carbon footprint. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(6), 549–556. <http://doi.org/10.1007/s11367-010-0191-4>

Corinaldesi, V. (2009). Mechanical behavior of masonry assemblages manufactured with recycled-aggregate mortars. *Cement and Concrete Composites*, 31(7), 505–510. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.05.003>

Corinaldesi, V., & Moriconi, G. (2009). Behaviour of cementitious mortars containing different kinds of recycled aggregate. *Construction and Building Materials*, 23(1), 289–294. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.12.006>

Dapena, E., Alaejos, P., Lobet, a., & Pérez, D. (2011). Effect of Recycled Sand Content on Characteristics of Mortars and Concretes. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(4), 414–422. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000183](http://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000183)

De Brito, J., Ferreira, J., Pacheco, J., Soares, D., & Guerreiro, M. (2016). Structural, material, mechanical and durability properties and behaviour of recycled aggregates concrete. *Journal of Building Engineering*, 6, 1–16. <http://doi.org/10.1016/j.jobbe.2016.02.003>

De Brito, J., Pereira, A. S., & Correia, J. R. (2005). Mechanical behaviour of non-structural concrete made with recycled ceramic aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 27(4), 429–433. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.07.005>

de Juan, M. S., & Gutiérrez, P. A. (2009). Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, 23(2), 872–877. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.04.012>

ECCO. (1999). Recycling Concrete and Masonry.

Edwin, C., & Jorge, P. (2014). Estudio comparativo de las características físico-mecánicas de cuatro cementos comerciales portland tipo I. *Uma Ética Para Quantos?*, XXXIII(2), 81–87. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

Eloneva, S., Said, A., Fogelholm, C. J., & Zevenhoven, R. (2012). Preliminary assessment of a method utilizing carbon dioxide and steelmaking slags to produce precipitated calcium carbonate. *Applied Energy*, 90(1), 329–334. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.05.045>

Evangelista, L., & de Brito, J. (2007). Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 29(5), 397–401. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.12.004>

Evangelista, L., & de Brito, J. (2010). Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 32(1), 9–14. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.09.005>

Evangelista, L., Guedes, M., Brito, J., Ferro, A. C., & Pereira, M. F. (2015). Physical, chemical and mineralogical properties of fine recycled aggregates made from concrete waste. *Construction and Building Materials*, 86, 178–188. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.112>

Fernández-Jiménez, A., & Palomo, Á. (2009). Properties and uses of alkali cements. *Revista Ingeniería de Construcción*, 24(3), 213–232. <http://doi.org/10.4067/S0718-50732009000300001>

Fernández Bertos, M., Simons, S. J. R., Hills, C. D., & Carey, P. J. (2004). A review of accelerated

carbonation technology in the treatment of cement-based materials and sequestration of CO₂. *Journal of Hazardous Materials*, 112(3), 193–205. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.04.019>

Garboczi, E. J., & Bentz, D. P. (1999). Computational Simulation and Percolation Theory Applied To Concrete. *Annual Reviews of Computational Physics VII*.

Garboczi, E. J., & Bentz, D. P. (1999). Percolation aspects of cement paste and concrete-properties and durability. *Aci Special Publications*. Retrieved from <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build00/PDF/b00046.pdf>

García-González, C. A., el Grouh, N., Hidalgo, A., Fraile, J., López-Periago, A. M., Andrade, C., & Domingo, C. (2008). New insights on the use of supercritical carbon dioxide for the accelerated carbonation of cement pastes. *Journal of Supercritical Fluids*, 43(3), 500–509. <http://doi.org/10.1016/j.supflu.2007.07.018>

Gemelli, E., Lourenci, S., Folgueras, M. V., & Camargo, N. H. A. (2004). Assessment of industrial wastes in mortar layers deposited on stainless steel sheets of sinks. *Cerâmica*, 50(316), 336–344. <http://doi.org/10.1590/S0366-69132004000400009>

Geng, J., & Sun, J. (2013a). Characteristics of the carbonation resistance of recycled fine aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 49, 814–820. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.090>

Geng, J., & Sun, J. (2013b). Characteristics of the carbonation resistance of recycled fine aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 49, 814–820. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.090>

Goosen, M. F. a. (2012). Environmental management and sustainable development. *Procedia Engineering*, 33, 6–13. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1171>

GreenFacts. (2005). Consenso Científico sobre Captura y Almacenamiento de CO₂. *Green Facts*, 1–22.

Gunning, P. J. (2011). Accelerated Carbonation of Hazardous Wastes, (February).

Huijgen, W. J. J., Witkamp, G. J., & Comans, R. N. J. (2006). Mechanisms of aqueous wollastonite carbonation as a possible CO₂ sequestration process. *Chemical Engineering Science*, 61(13), 4242–4251. <http://doi.org/10.1016/j.ces.2006.01.048>

Ikumi, T., Cavalaro, S. H. P., Segura, I., de la Fuente, A., & Aguado, A. (2016). Simplified methodology to evaluate the external sulfate attack in concrete structures. *Materials and Design*, *89*, 1147–1160. <http://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.10.084>

Izquierdo, S., Diaz, J., Mejía, R., & Torres, J. (2013). Cemento adicionado con un residuo del proceso de craqueo catalítico (FCC): Hidratación y microestructura. *Revista Ingeniería de Construcción*, *28*(2), 141–154. <http://doi.org/10.7764/ricuc.28.2.469>

Jiménez, J. R., Ayuso, J., López, M., Fernández, J. M., & De Brito, J. (2013). Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing. *Construction and Building Materials*, *40*, 679–690. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.036>

Johannesson, È., & Utgenannt, P. (2001). Microstructural changes caused by carbonation of cement mortar, *31*, 925–931.

Johnson, D. C. (2000). Sci Lecture Papers Series Accelerated Carbonation of Waste Calcium Silicate Materials. *Construction Materials*, 1–10.

Katz, A. (2004). Treatments for the Improvement of Recycled Aggregate. *Journal of Materials in Civil Engineering*, *16*(6), 597–603. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2004\)16:6\(597\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2004)16:6(597))

Khatib, J. M. (2005). Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate. *Cement and Concrete Research*, *35*(4), 763–769. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.017>

Khoshkenari, A. G., Shafigh, P., Moghimi, M., & Mahmud, H. Bin. (2014). The role of 0-2mm fine recycled concrete aggregate on the compressive and splitting tensile strengths of recycled concrete aggregate concrete. *Materials and Design*, *64*, 345–354. <http://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.07.048>

Kong, D., Lei, T., Zheng, J., Ma, C., Jiang, J., & Jiang, J. (2010). Effect and mechanism of surface-coating pozzolanics materials around aggregate on properties and ITZ microstructure of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, *24*(5), 701–708. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.10.038>

Kou, S. C. (2006). Reusing recycled aggregates in structural concrete, 278. Retrieved from <http://repository.lib.polyu.edu.hk/jspui/bitstream/10397/2149/2/b20592644.pdf>

Kou, S. C., & Poon, C. S. (2012). Enhancing the durability properties of concrete prepared with coarse

recycled aggregate. *Construction and Building Materials*, 35, 69–76. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.032>

Kou, S. C., Zhan, B. J., & Poon, C. S. (2014). Use of a CO₂ curing step to improve the properties of concrete prepared with recycled aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 45, 22–28. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.09.008>

Kubissa, W., Jaskulski, R., Koper, A., & Szpetulski, J. (2015). Properties of Concretes with Natural Aggregate Improved by RCA Addition. *Procedia Engineering*, 108, 30–38. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.116>

Le, T., Rémond, S., Le Saout, G., & Garcia-Diaz, E. (2016). Fresh behavior of mortar based on recycled sand - Influence of moisture condition. *Construction and Building Materials*, 106, 35–42. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.071>

Ledesma, E. F., Jiménez, J. R., Fernández, J. M., Galvín, A. P., Agrela, F., & Barbudo, A. (2014). Properties of masonry mortars manufactured with fine recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, 71, 289–298. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.080>

Lee, S.-T., Swamy, R. N., Kim, S.-S., & Park, Y.-G. (2008). Durability of Mortars Made with Recycled Fine Aggregates Exposed to Sulfate Solutions. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20(1), 63–70. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2008\)20:1\(63\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2008)20:1(63))

Lee, S. T. (2009). Influence of recycled fine aggregates on the resistance of mortars to magnesium sulfate attack. *Waste Management*, 29(8), 2385–2391. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.04.002>

Lotfy, A., & Al-Fayez, M. (2015). Performance evaluation of structural concrete using controlled quality coarse and fine recycled concrete aggregate. *Cement and Concrete Composites*, 61, 36–43. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.02.009>

Mardani-Aghabaglou, A., Tuyan, M., & Ramyar, K. (2014). Mechanical and durability performance of concrete incorporating fine recycled concrete and glass aggregates. *Materials and Structures*, 48(8), 2629–2640. <http://doi.org/10.1617/s11527-014-0342-3>

Medina, C., Zhu, W., Howind, T., Sánchez De Rojas, M. I., & Frías, M. (2014). Influence of mixed recycled aggregate on the physical-mechanical properties of recycled concrete. *Journal of Cleaner Production*, 68, 216–225. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.002>

Mehta, P. K., & Meryman, H. (2009). Tools for reducing carbon emissions due to cement consumption. *STRUCTURE Magazine*, (January), 11–15. Retrieved from <http://www.structuremag.org/article.aspx?articleID=830>

Molano, M., Torres, N., & Molano, C. (2014). Evaluacion de los beneficios de la captura de CO2 para el tratamiento de agregados finos reciclados de concreto, como una estrategia para combatir el cambio climatico., 1–20.

Morales, H., Torres, C., & Muñoz, C. M. (2008). Tecnologías de captura y secuestro de CO2, 52.

Morandea, A., Thiéry, M., & Dangla, P. (2014). Investigation of the carbonation mechanism of CH and C-S-H in terms of kinetics, microstructure changes and moisture properties. *Cement and Concrete Research*, 56, 153–170. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2013.11.015>

Neno, C., Brito, J. De, & Veiga, R. (2014). Using Fine Recycled Concrete Aggregate for Mortar Production, 17(1), 168–177.

Oikonomou, N. D. (2005). Recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 27(2), 315–318. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.020>

Olorunsogo, F. T., & Padayachee, N. (2002). Performance of recycled aggregate concrete monitored by durability indexes. *Cement and Concrete Research*, 32(2), 179–185. [http://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00653-6](http://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00653-6)

Otsuki, N., Miyazato, S., & Yodsudjai, W. (2003). Influence of Recycled Aggregate on Interfacial Transition Zone, Strength, Chloride Penetration and Carbonation of Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 15(5), 443–451. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2003\)15:5\(443\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2003)15:5(443))

Pan, S. Y., Chang, E. E., & Chiang, P. C. (2012). CO2 capture by accelerated carbonation of alkaline wastes: A review on its principles and applications. *Aerosol and Air Quality Research*, 12(5), 770–791. <http://doi.org/10.4209/aaqr.2012.06.0149>

Pedro, D., de Brito, J., & Evangelista, L. (2014). Influence of the use of recycled concrete aggregates from different sources on structural concrete. *Construction and Building Materials*, 71, 141–151. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.030>

Pedro Matthey, Rafael Robayo, Yimmy Silva, Norman Alvarez, S. A. (2014). Caracterización física y mecánica de agregados reciclados obtenidos a partir de escombros de la construcción, 121–127.

- Poon, C. S., Shui, Z. H., & Lam, L. (2004). Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates. *Construction and Building Materials*, 18(6), 461–468. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.03.005>
- Raeis Samiei, R., Daniotti, B., Pelosato, R., & Dotelli, G. (2015). Properties of cement-lime mortars vs. cement mortars containing recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, 84, 84–94. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.042>
- Ramezaniapour, a. a., Ghahari, S. a., & Esmaeili, M. (2014). Effect of combined carbonation and chloride ion ingress by an accelerated test method on microscopic and mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 58, 138–146. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.102>
- Rostami, V., Shao, Y., Boyd, A. J., & He, Z. (2012). Microstructure of cement paste subject to early carbonation curing. *Cement and Concrete Research*, 42(1), 186–193. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.09.010>
- Roy, S. K., Poh, K. B., & Northwood, D. o. (1999). Durability of concrete—accelerated carbonation and weathering studies. *Building and Environment*, 34(5), 597–606. [http://doi.org/10.1016/S0360-1323\(98\)00042-0](http://doi.org/10.1016/S0360-1323(98)00042-0)
- Ryu, J. S. (2002). An experimental study on the effect of recycled aggregate on concrete properties. *Magazine of Concrete Research*, 54(1), 7–12. <http://doi.org/10.1680/macr.54.1.7.40806>
- Sanna, A., Dri, M., Hall, M. R., & Maroto-Valer, M. (2012). Waste materials for carbon capture and storage by mineralisation (CCSM) - A UK perspective. *Applied Energy*, 99, 545–554. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.06.049>
- Seifritz, W. (1990). CO₂ disposal by means of silicates. *Nature*. <http://doi.org/10.1038/345486b0>
- Shi, C., Li, Y., Zhang, J., Li, W., Chong, L., & Xie, Z. (2015). Performance enhancement of recycled concrete aggregate - a review. *Journal of Cleaner Production*. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.057>
- Silva, J., Brito, J. de, & Veiga, R. (2009). Incorporation of fine ceramics in mortars. *Construction and Building Materials*, 23(1), 556–564. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.10.014>
- Silva, J., de Brito, J., & Veiga, R. (2010). Recycled Red-Clay Ceramic Construction and Demolition

Waste for Mortars Production. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(3), 236–244. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2010\)22:3\(236\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2010)22:3(236))

Silva, R. V., Neves, R., de Brito, J., & Dhir, R. K. (2015). Carbonation behaviour of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites*, 62, 22–32. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.04.017>

Sim, J., & Park, C. (2011). Compressive strength and resistance to chloride ion penetration and carbonation of recycled aggregate concrete with varying amount of fly ash and fine recycled aggregate. *Waste Management*, 31(11), 2352–2360. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.06.014>

Solís Carcaño, R. G., Moreno, É. I., & Castillo Pak, W. R. (2004). Predicción de la resistencia del concreto con base en la velocidad de pulso ultrasónico y un índice de calidad de los agregados. *Ingeniería*, 8(2), 41–52.

Sosa, M. E., Zega, C. J., & Maio, Á. A. Di. (2015). Morteros elaborados con agregado fino reciclado con diferentes condiciones de humedad. *Ciencia Y Tecnología de Los Materiales*, (5), 9.

Tabsh, S. W., & Abdelfatah, A. S. (2009). Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 23(2), 1163–1167. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.06.007>

Tian, B., & Cohen, M. D. (2000). Does gypsum formation during sulfate attack on concrete lead to expansion? *Cement and Concrete Research*, 30(1), 117–123. [http://doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00211-2](http://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00211-2)

Tovar Rodriguez, G. (2011). Estudio de Morteros de Arido Reciclados Fino en Matrices con Cemento Portland y en Matrices de Escoria de horno Alto Activada Alcalinamente.

Vegas, I., Azkarate, I., Juarrero, a, & Frías, M. (2009). Diseño y prestaciones de morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados prodedentes de escombros de hormigón. *Design and Performance of Masonry Mortars Made with Recycled Concrete Aggregates.*, 59(295), 5–18. <http://doi.org/10.3989/mc.2009.44207>

Venhuis, M. A., & Reardon, E. J. (2001). Vacuum method for carbonation of cementitious wasteforms. *Environmental Science and Technology*, 35(20), 4120–4125. <http://doi.org/10.1021/es0105156>

Visser, J. (n.d.). The Effect of Concrete Composition on the Possibilities of Accelerated Testing : Carbonation Example, 1–9.

Visser, J. H. M. (2014). Influence of the carbon dioxide concentration on the resistance to carbonation of concrete. *Construction and Building Materials*, 67, 8–13. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.005>

Wang, C., Xiao, J., Zhang, G., & Li, L. (2016). Interfacial properties of modeled recycled aggregate concrete modified by carbonation. *Construction and Building Materials*, 105, 307–320. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.077>

Wilson, M. A., Taylor, S. C., Hoff, W. D., Wilson, M. A., Taylor, S. C., & Hoff, W. D. (1998). The initial surface absorption test (ISAT): an analytical approach. *Magazine of Concrete Research*, 50(2), 179–185. <http://doi.org/10.1680/mac.1998.50.2.179>

Xiao, J., Lei, B., & Zhang, C. (2012). On carbonation behavior of recycled aggregate concrete. *Science China Technological Sciences*, 55(9), 2609–2616. <http://doi.org/10.1007/s11431-012-4798-5>

Xuan, D., Zhan, B., & Poon, C. S. (2016). Assessment of mechanical properties of concrete incorporating carbonated recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 65, 67–74. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.10.018>

Yang, J., Du, Q., & Bao, Y. (2011). Concrete with recycled concrete aggregate and crushed clay bricks. *Construction and Building Materials*, 25(4), 1935–1945. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.063>

Zaharieva, R., Buyle-Bodin, F., & Wirquin, E. (2004). Frost resistance of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(10), 1927–1932. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.02.025>

Zega, C. J., & Di Maio, A. (2011). Use of recycled fine aggregate in concretes with durable requirements. *Waste Management*, 31(11), 2336–2340. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.06.011>

Zhan, B., Poon, C. S., Liu, Q., Kou, S., & Shi, C. (2013). Experimental study on CO₂ curing for enhancement of recycled aggregate properties. *Construction and Building Materials*, 67, 3–7. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.008>

Zhan, B., Poon, C. S., Liu, Q., Kou, S., & Shi, C. (2014). Experimental study on CO₂ curing for enhancement of recycled aggregate properties. *Construction and Building Materials*, *67*, 3–7. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.008>

Zhang, J., Shi, C., Li, Y., Pan, X., Poon, C. S., & Xie, Z. (2015). Influence of carbonated recycled concrete aggregate on properties of cement mortar. *Construction and Building Materials*, *98*, 1–7. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.087>

11. Anexos

a. Granulometría

Datos de la granulometría del agregado natural:

Tamiz	Tamaño Tamiz (mm)	Peso material + Recipiente (g)	Peso Retenido (g)	% Retenido (corregido)	% Retenido Acumulado	% Pasa
3/4"	19,050	0,0	0,0	0,0%	0,0%	100%
1/2"	12,700	0,0	0,0	0,0%	0,0%	100%
3/8"	9,530	63,4	63,4	2,3%	2,3%	98%
1/4"	6,350	260,4	260,4	9,3%	11,6%	88%
Nº 4	4,750	340,8	340,8	12,2%	23,8%	76%
Nº 8	2,380	504,0	504,0	18,1%	41,9%	58%
Nº 10	2,000	90,3	90,3	3,2%	45,1%	55%
Nº 16	1,190	193,8	193,8	6,9%	52,0%	48%
Nº 30	0,600	208,9	208,9	7,5%	59,5%	41%
Nº 40	0,425	146,1	146,1	5,2%	64,7%	35%
Nº 50	0,300	100,2	100,2	3,6%	68,3%	32%
Nº 60	0,250	274,9	274,9	9,9%	78,2%	22%
Nº 80	0,180	170,5	170,5	6,1%	84,3%	16%
Nº 100	0,150	116,5	116,5	4,2%	88,5%	12%
Nº 200	0,075	231,0	231,0	8,3%	96,8%	3%
Fondo		9,2	9,2	3,2%	100,0%	0%
Suma pesos retenidos (g) =			2710,0			

Sumatoria de porcentajes retenidos:	336,3%
Módulo de Finura:	3,36

Datos de la granulometría del agregado reciclado:

Tamiz	Tamaño Tamiz (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido (corregido)	% Retenido Acumulado	% Pasa
3/4"	19,050	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
1/2"	12,700	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
3/8"	9,530	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
1/4"	6,350	0,0	0,0%	0,0%	100,0%

Tamiz	Tamaño Tamiz (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido (corregido)	% Retenido Acumulado	% Pasa
Nº 4	4,750	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
Nº 8	2,380	4,0	0,2%	0,2%	99,8%
Nº 10	2,000	0,5	0,0%	0,2%	99,8%
Nº 16	1,190	0,0	0,0%	0,2%	99,8%
Nº 30	0,600	930,0	36,5%	36,6%	63,4%
Nº 40	0,425	404,0	15,8%	52,5%	47,5%
Nº 50	0,300	186,0	7,3%	59,8%	40,2%
Nº 60	0,250	226,0	8,9%	68,6%	31,4%
Nº 80	0,180	188,0	7,4%	76,0%	24,0%
Nº 100	0,150	110,0	4,3%	80,3%	19,7%
Nº 200	0,075	242,0	9,5%	89,8%	10,2%
Fondo		260,0	10,2%	100,0%	0%
Suma pesos retenidos (g) =		2550,5			

Sumatoria de porcentajes retenidos:	177,1%
Módulo de Finura:	1,77

b. Densidad y Absorción

En la siguiente sección se muestran los datos de seguimiento para el control de la densidad y absorción durante la carbonatación del agregado fino reciclado:

Fecha de la Muestra:	3/12/2015
Fecha de Ensayo:	7/12/2015
Peso Picnómetro:	133,8
Picnómetro + Agua:	633,2
Peso Material:	350
Picnómetro + Agua + Material:	823,9
Peso seco material + Platón	431,43
Peso platón:	109,8
Peso seco:	321,63
Absorción:	8,82
Densidad Aparente:	2,20
Densidad Nominal:	2,46

Fecha de la Muestra:	4/12/2015
Fecha de Ensayo:	7/12/2015
Peso Picnómetro:	133,8
Picnómetro + Agua:	633,1
Peso Material:	350
Picnómetro + Agua + Material:	836,8
Peso seco material + Platón	534,04
Peso platón:	212,6
Peso seco:	321,44
Absorción:	8,89
Densidad Aparente:	2,39
Densidad Nominal:	2,73

Fecha de la Muestra:	7/12/2015
Fecha de Ensayo:	9/12/2015
Peso Picnómetro:	133,8
Picnómetro + Agua:	632,4
Peso Material:	350
Picnómetro + Agua + Material:	837,1
Peso seco material + Platón	538,9
Peso platón:	212,6
Peso seco:	326,3
Absorción:	7,26
Densidad Aparente:	2,41
Densidad Nominal:	2,68

Fecha de la Muestra:	9/12/2015
Fecha de Ensayo:	10/12/2015
Peso Picnómetro:	133,8
Picnómetro + Agua:	632,5
Peso Material:	350
Picnómetro + Agua + Material:	835,8
Peso seco material + Platón	517
Peso platón:	189,7
Peso seco:	327,3
Absorción:	6,94
Densidad Aparente:	2,39
Densidad Nominal:	2,64

Fecha de la Muestra:	10/12/2015
Fecha de Ensayo:	11/12/2015
Peso Picnómetro:	133,9
Picnómetro + Agua:	632,1
Peso Material:	350
Picnómetro + Agua + Material:	838,3
Peso seco material + Platón	434,5
Peso platón:	109,7
Peso seco:	324,8
Absorción:	7,76
Densidad Aparente:	2,43
Densidad Nominal:	2,74

Fecha de la Muestra:	11/12/2015
Fecha de Ensayo:	14/12/2015
Peso Picnómetro:	134,1
Picnómetro + Agua:	632,2
Peso Material:	350
Picnómetro + Agua + Material:	836,3
Peso seco material + Platón	538,94
Peso platón:	212,6
Peso seco:	326,34
Absorción:	7,25
Densidad Aparente:	2,40
Densidad Nominal:	2,67

Fecha de la Muestra:	16/12/2015
Fecha de Ensayo:	17/12/2015
Peso Picnómetro:	133,8
Picnómetro + Agua:	632,3
Peso Material:	350,1
Picnómetro + Agua + Material:	836
Peso seco material + Platón	537,8
Peso platón:	212,6
Peso seco:	325,2
Absorción:	7,66
Densidad Aparente:	2,39
Densidad Nominal:	2,68

c. Resistencia a la compresión en cilindros

Datos de cálculo para la resistencia a la compresión en cilindros de mortero

Identificación de espécimen	Edad (días)	Diámetro Promedio	Área (m ²)	Altura Promedio	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo Máximo (MPa)	% Esfuerzo de Diseño
A-1-1	3	4,4	0,001521	8,90	2171	14,28	63%
A-1-2	3	4,43	0,001544	8,90	2289	14,83	66%
A-1-3	3	4,43	0,001544	9,00	2046,5	13,26	59%
B-1-1	3	4,43	0,001544	8,80	1759	11,40	69%
B-1-2	3	4,40	0,001521	8,90	1680	11,05	67%

Identificación de espécimen	Edad (días)	Diámetro Promedio	Área (m ²)	Altura Promedio	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo Máximo (MPa)	% Esfuerzo de Diseño
B-1-3	3	4,37	0,001498	8,90	1770,5	11,82	72%
AN25-1-2	3	4,43	0,001544	8,93	1821,5	11,80	52%
AN25-1-3	3	4,47	0,001567	9,00	1892,5	12,08	54%
AN25-1-1	3	4,43	0,001544	9,00	1822,5	11,81	52%
BN25-1-1	3	4,40	0,001521	9,00	1133	7,45	45%
BN25-1-2	3	4,43	0,001544	9,13	1077	6,98	42%
BN25-1-3	3	4,40	0,001521	9,00	1186	7,80	47%
AS25-1-1	3	4,43	0,001544	8,93	1762,5	11,42	51%
AS25-1-2	3	4,47	0,001567	9,00	1811	11,56	51%

Identificación de espécimen	Edad (días)	Diámetro Promedio	Área (m ²)	Altura Promedio	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo Máximo (MPa)	% Esfuerzo de Diseño
AS25-1-3	3	4,43	0,001544	8,93	1800	11,66	52%
BS25-1-1	3	4,40	0,001521	8,77	1549	10,19	62%
BS25-1-2	3	4,37	0,001498	8,83	1495,5	9,99	61%
BS25-1-3	3	4,40	0,001521	8,80	1581	10,40	63%
A-2-1	28	4,40	0,001521	8,93	2647,5	17,41	77%
A-2-2	28	4,40	0,001521	8,97	3540	23,28	103%
A-2-3	28	4,40	0,001521	9,00	3340	21,97	98%
B-2-1	28	4,43	0,001544	8,80	3211	20,80	126%
B-2-2	28	4,40	0,001521	8,80	2601	17,11	104%
B-2-3	28	4,40	0,001521	9,03	3396	22,33	135%

Identificación de espécimen	Edad (días)	Diámetro Promedio	Área (m ²)	Altura Promedio	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo Máximo (MPa)	% Esfuerzo de Diseño
AN50-1-1	3	4,40	0,001521	9,00	2468,5	16,23	72%
AN50-1-2	3	4,40	0,001521	9,00	2310,5	15,20	68%
AN50-1-3	3	4,40	0,001521	9,00	2661	17,50	78%
BN50-1-1	3	4,40	0,001521	8,93	1270,5	8,36	51%
BN50-1-2	3	4,40	0,001521	8,93	1477	9,71	59%
BN50-1-3	3	4,40	0,001521	9,00	1370	9,01	55%
AS50-1-1	3	4,40	0,001521	9,00	2175	14,30	64%
AS50-1-2	3	4,40	0,001521	9,17	2208,5	14,52	65%
AS50-1-3	3	4,43	0,001544	9,07	2174,5	14,09	63%
AN25-2-1	29	4,40	0,001521	8,97	3748	24,65	110%

Identificación de espécimen	Edad (días)	Diámetro Promedio	Área (m ²)	Altura Promedio	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo Máximo (MPa)	% Esfuerzo de Diseño
AN25-2-2	29	4,40	0,001521	8,93	3150	20,72	92%
AN25-2-3	29	4,40	0,001521	9,03	3286	21,61	96%
BS50-1-1	3	4,43	0,001544	9,00	1278	8,28	50%
BS50-1-2	3	4,40	0,001521	9,00	1382	9,09	55%
BS50-1-3	3	4,40	0,001521	9,00	1370	9,01	55%
AS25-2-1	28	4,40	0,001521	8,90	3704	24,36	108%
AS25-2-2	28	4,40	0,001521	9,00	3624	23,83	106%
AS25-2-3	28	4,43	0,001544	8,97	3716	24,07	107%
BS25-2-1	28	4,40	0,001521	8,73	3159	20,78	126%

Identificación de espécimen	Edad (días)	Diámetro Promedio	Área (m ²)	Altura Promedio	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo Máximo (MPa)	% Esfuerzo de Diseño
BS25-2-2	28	4,37	0,001498	8,80	3306	22,08	134%
BS25-2-3	28	4,40	0,001521	8,70	3053	20,08	122%
BN25-2-1	28	4,40	0,001521	9,00	1906	12,54	76%
BN25-2-2	28	4,40	0,001521	8,90	2126	13,98	85%
BN25-2-3	28	4,40	0,001521	9,00	2154	14,17	86%
AN50-2-1	27	4,40	0,001521	9,00	4844	31,86	142%
AN50-2-2	27	4,40	0,001521	8,83	4430	29,13	129%
AN50-2-3	27	4,40	0,001521	9,00	4390	28,87	128%
BN50-2-1	27	4,40	0,001521	8,93	2686	17,66	107%
BN50-2-2	27	4,40	0,001521	8,90	2664	17,52	106%

Identificación de espécimen	Edad (días)	Diámetro Promedio	Área (m ²)	Altura Promedio	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo Máximo (MPa)	% Esfuerzo de Diseño
BN50-2-3	27	4,40	0,001521	9,00	2650	17,43	106%
AS50-2-1	28	4,40	0,001521	9,03	5170	34,00	151%
AS50-2-2	28	4,40	0,001521	9,03	4202	27,64	123%
AS50-2-3	28	4,40	0,001521	9,10	5242	34,47	153%
BS50-2-1	28	4,40	0,001521	9,00	3348	22,02	133%
BS50-2-2	28	4,40	0,001521	9,00	3318	21,82	132%
BS50-2-3	28	4,40	0,001521	9,00	3630	23,87	145%
A-3-1	90	4,40	0,001521	9,00	4570	30,06	134%
A-3-2	90	4,40	0,001521	9,00	4292	28,23	125%
A-3-3	90	4,40	0,001521	9,00	4390	28,87	128%

Identificación de espécimen	Edad (días)	Diámetro Promedio	Área (m ²)	Altura Promedio	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo Máximo (MPa)	% Esfuerzo de Diseño
B-3-1	90	4,40	0,001521	9,00	4192	27,57	167%
B-3-2	90	4,40	0,001521	9,00	4578	30,11	182%
B-3-3	90	4,40	0,001521	9,00	4138	27,21	165%
AS25-3-1	93	4,40	0,001521	8,93	4780	31,44	140%
AS25-3-2	93	4,40	0,001521	9,00	4250	27,95	124%
AS25-3-3	93	4,40	0,001521	8,80	4300	28,28	126%
BS25-3-1	93	4,40	0,001521	8,73	4624	30,41	184%
BS25-3-2	93	4,40	0,001521	8,70	3264	21,47	130%
BS25-3-3	93	4,40	0,001521	8,80	4400	28,94	175%

Identificación de espécimen	Edad (días)	Diámetro Promedio	Área (m ²)	Altura Promedio	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo Máximo (MPa)	% Esfuerzo de Diseño
AN25-3-1	95	4,40	0,001521	9,00	3500	23,02	102%
AN25-3-2	95	4,40	0,001521	8,93	3700	24,33	108%
AN25-3-3	95	4,40	0,001521	8,97	3558	23,40	104%
BN25-3-1	90	4,40	0,001521	9,00	3145	20,68	125%
BN25-3-2	90	4,40	0,001521	9,00	3119	20,51	124%
BN25-3-3	90	4,40	0,001521	9,00	2984,5	19,63	119%
AN50-3-1	95	4,40	0,001521	9,00	6112	40,20	179%
AN50-3-2	95	4,40	0,001521	9,00	5676	37,33	166%
AN50-3-3	95	4,40	0,001521	9,00	5684	37,38	166%
BN50-3-1	95	4,40	0,001521	9,00	4048	26,62	161%

Identificación de espécimen	Edad (días)	Diámetro Promedio	Área (m ²)	Altura Promedio	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo Máximo (MPa)	% Esfuerzo de Diseño
BN50-3-2	95	4,40	0,001521	9,00	3726	24,50	149%
BN50-3-3	95	4,40	0,001521	9,00	3856	25,36	154%
AS50-3-1	95	4,40	0,001521	9,00	6066	39,89	177%
AS50-3-2	95	4,40	0,001521	9,00	6110	40,18	179%
AS50-3-3	95	4,40	0,001521	9,00	5218	34,32	153%
BS50-3-1	90	4,40	0,001521	9,00	3628	23,86	145%
BS50-3-2	90	4,40	0,001521	9,00	3628	23,86	145%
BS50-3-3	90	4,40	0,001521	9,00	3948	25,96	157%
A-4-1	180	4,40	0,001521	8,93	4834	31,79	141%
A-4-2	180	4,40	0,001521	8,87	4500	29,59	132%

Identificación de espécimen	Edad (días)	Diámetro Promedio	Área (m ²)	Altura Promedio	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo Máximo (MPa)	% Esfuerzo de Diseño
A-4-3	180	4,40	0,001521	8,90	4012	26,39	117%
B-4-1	180	4,40	0,001521	8,93	5014	32,98	200%
B-4-2	180	4,40	0,001521	8,63	4410	29,00	176%
B-4-3	180	4,40	0,001521	8,83	5286	34,76	211%
AN25-4-1	181	4,40	0,001521	8,97	5478	36,03	160%
AN25-4-2	181	4,40	0,001521	8,90	4802	31,58	140%
AN25-4-3	181	4,40	0,001521	9,00	4752	31,25	139%
BN25-4-1	180	4,40	0,001521	8,97	3624	23,83	144%
BN25-4-2	180	4,40	0,001521	9,40	3520	23,15	140%

Identificación de espécimen	Edad (días)	Diámetro Promedio	Área (m ²)	Altura Promedio	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo Máximo (MPa)	% Esfuerzo de Diseño
BN25-4-3	180	4,40	0,001521	8,93	3632	23,89	145%
AS25-4-1	180	4,40	0,001521	8,93	5356	35,22	157%
AS25-4-2	180	4,40	0,001521	9,00	5394	35,47	158%
AS25-4-3	180	4,40	0,001521	8,90	4976	32,73	145%
BS25-4-1	180	4,40	0,001521	9,00	5112	33,62	204%
BS25-4-2	180	4,40	0,001521	9,00	5112	33,62	204%
BS25-4-3	180	4,40	0,001521	9,00	4320	28,41	172%
AN50-4-1	180	4,40	0,001521	8,97	6902	45,39	202%
AN50-4-2	180	4,40	0,001521	8,93	6606	43,45	193%
AN50-4-3	180	4,40	0,001521	8,93	5348	35,17	156%

Identificación de espécimen	Edad (días)	Diámetro Promedio	Área (m ²)	Altura Promedio	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo Máximo (MPa)	% Esfuerzo de Diseño
BN50-4-1	180	4,40	0,001521	9,10	4058	26,69	162%
BN50-4-2	180	4,40	0,001521	8,93	3258	21,43	130%
BN50-4-3	180	4,40	0,001521	9,07	3864	25,41	154%
AS50-4-1	180	4,40	0,001521	9,00	6940	45,64	203%
AS50-4-2	180	4,40	0,001521	8,97	6610	43,47	193%
AS50-4-3	180	4,40	0,001521	8,93	7260	47,75	212%
BS50-4-1	180	4,40	0,001521	8,97	5046	33,19	201%
BS50-4-2	180	4,40	0,001521	9,03	4858	31,95	194%
BS50-4-3	180	4,40	0,001521	9,00	4046	26,61	161%

d. ISAT (Tasa de absorción superficial)

En la siguiente tabla, se presenta la totalidad de los datos del ensayo de ISAT obtenidos durante la totalidad del estudio.

Muestra:	AN-1A	Capsula:	4	Concreto Temp (°C):	17
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	4,0	1	45,5	45,5	0,482
20 min	2,8	2	61,0	30,5	0,323
30 min	2,0	2	48,5	24,3	0,257

Muestra:	AN-1B	Capsula:	4	Concreto Temp (°C):	18
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	4,0	1	45,0	45,0	0,468
20 min	2,5	2	64,0	32,0	0,333
30 min	2,0	2	56,5	28,3	0,294

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
AN-1A		
0,475	Media	0,0072
0,328	Media	0,0048
0,275	Alta	0,0184

Muestra:	BN-1A	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	18,5
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	2,5	2	56,0	28,0	0,288
20 min	2,0	2	40,0	20,0	0,206

Muestra:	BN-1A	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	18,5
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
30 min	1,5	2	33,0	16,5	0,170

Muestra:	BN-1B	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	17
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	2,0	2	41,5	20,8	0,220
20 min	1,5	2	30,0	15,0	0,159
30 min	1,0	2	22,8	11,4	0,121

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
BN-1A		
0,254	Media	0,0342
0,183	Media	0,0235
0,145	Media	0,0246

Muestra:	AN25-1A	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	18
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	4,0	1	41,0	41,0	0,426
20 min	2,5	2	51,0	25,5	0,265
30 min	1,8	2	39,5	19,8	0,205

Muestra:	AN25-1B	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	18
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	5,0	1	46,0	46,0	0,478
20 min	3,0	2	55,0	27,5	0,286
30 min	2,0	2	44,5	22,3	0,231

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
AN25-1A		
0,452	Media	0,0260
0,276	Media	0,0104
0,218	Alta	0,0130

Muestra:	BN25-1A	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	18,5
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	2,8	2	52,0	26,0	0,268
20 min	2,0	2	38,0	19,0	0,196
30 min	1,5	2	30,5	15,3	0,157

Muestra:	BN25-1B	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	18
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	5,0	1	58,0	58,0	0,603
20 min	3,5	1	45,5	45,5	0,473
30 min	2,5	2	57,5	28,8	0,299

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
BN25-1A		
0,436	Media	0,1677
0,334	Media	0,1388
0,228	Alta	0,0710

Muestra:	AS25-1A	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	17
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	2,8	2	56,5	28,3	0,299
20 min	2,0	2	37,5	18,8	0,199
30 min	1,5	2	31,0	15,5	0,164

Muestra:	AS25-1B	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	17
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	3,5	1	37,0	37,0	0,392
20 min	2,5	2	54,5	27,3	0,289
30 min	2,0	2	45,0	22,5	0,239

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
AS25-1A		
0,346	Media	0,0464
0,244	Media	0,0450
0,201	Alta	0,0371

Muestra:	BS25-1A	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	16
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	3,5	1	34,0	34,0	0,367
20 min	2,5	2	47,0	23,5	0,254
30 min	2,0	2	39,0	19,5	0,211

Muestra:	BN25-1B	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	16,5
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	4,5	1	49,0	49,0	0,524
20 min	3,5	1	37,0	37,0	0,396
30 min	3,0	1	29,5	29,5	0,316

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
BS25-1A		
0,446	Media	0,0786
0,325	Media	0,0711
0,263	Alta	0,0525

Muestra:	AN50-1A	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	16,5
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	2,2	2	42,0	21,0	0,225
20 min	1,5	2	27,5	13,8	0,147
30 min	1,0	2	21,5	10,8	0,115

Muestra:	AN50-1B	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	16,5
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	2,5	2	54,0	27,0	0,289
20 min	1,8	2	39,5	19,8	0,211
30 min	1,0	2	22,5	11,3	0,120

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
AN50-1A		
0,257	Media	0,0321
0,179	Media	0,0321
0,118	Media	0,0027

Muestra:	BN50-1A	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	17
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	4,5	1	50,0	50,0	0,530
20 min	3,0	1	34,5	34,5	0,366
30 min	2,5	2	55,0	27,5	0,292

Muestra:	BN50-1B	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	17
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	4,0	1	41,0	41,0	0,435
20 min	2,5	2	53,0	26,5	0,281
30 min	2,0	2	43,0	21,5	0,228

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
BN50-1A		
0,482	Media	0,0477
0,323	Media	0,0424
0,260	Alta	0,0318

Muestra:	AS50-1A	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	18
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	2,0	2	40,0	20,0	0,208
20 min	1,3	2	26,0	13,0	0,135
30 min	1,0	2	20,0	10,0	0,104

Muestra:	AS50-1B	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	18
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	2,5	2	51,0	25,5	0,265
20 min	1,5	2	32,0	16,0	0,166
30 min	1,0	2	24,5	12,3	0,127

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
AS50-1A		
0,237	Baja	0,0286
0,151	Baja	0,0156
0,116	Media	0,0117

Muestra:	BS50-1A	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	18
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	5,5	1	54,0	54,0	0,562
20 min	3,5	1	38,0	38,0	0,395
30 min	2,8	2	61,0	30,5	0,317

Muestra:	BS50-1B	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	18
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	3,5	1	35,5	35,5	0,369
20 min	2,5	2	46,5	23,3	0,242
30 min	1,8	2	38,0	19,0	0,198

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
BS50-1A		
0,465	Media	0,0962
0,319	Media	0,0767
0,257	Alta	0,0598

Muestra:	AN-2A	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	18,5
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,7	2	32,8	16,4	0,169
20 min	1,0	2	20,0	10,0	0,103
30 min	0,7	2	15,0	7,5	0,077

Muestra:	AN-2B	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	18,5
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,2	2	25,0	12,5	0,129
20 min	0,8	2	16,3	8,2	0,084
30 min	0,5	2	12,8	6,4	0,066

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
AN-2A		
0,149	Baja	0,0201
0,093	Baja	0,0095
0,072	Media	0,0057

Muestra:	BN-2A	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	18,5
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,2	2	24,5	12,3	0,126
20 min	0,8	2	17,8	8,9	0,092
30 min	0,5	2	13,8	6,9	0,071

Muestra:	BN-2B	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	18
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,2	2	22,0	11,0	0,114
20 min	0,8	2	14,5	7,3	0,075
30 min	0,5	2	11,0	5,5	0,057

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
BN-2A		
0,120	Baja	0,0059
0,084	Baja	0,0081
0,064	Baja	0,0069

Muestra:	AN25-2A	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	19
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	2,5	2	49,0	24,5	0,250
20 min	1,7	2	32,5	16,3	0,166
30 min	1,0	2	21,0	10,5	0,107

Muestra:	AN25-2B	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	19
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,2	2	28,0	14,0	0,143
20 min	0,8	2	16,5	8,3	0,084
30 min	0,5	2	10,0	5,0	0,051

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
AN25-2A		
0,196	Baja	0,0536
0,125	Baja	0,0408
0,079	Media	0,0281

Muestra:	BN25-2A	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	19
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,8	2	36,0	18,0	0,184
20 min	1,3	2	26,3	13,2	0,134
30 min	1,0	2	20,8	10,4	0,106

Muestra:	BN25-2B	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	19,5
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	2,0	2	42,5	21,3	0,215
20 min	1,3	2	30,5	15,3	0,154
30 min	1,0	2	23,0	11,5	0,116

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
BN25-2A		
0,199	Baja	0,0155
0,144	Baja	0,0099
0,111	Media	0,0050

Muestra:	AN50-2A	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	17
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,8	2	34,5	17,3	0,183
20 min	1,0	2	23,5	11,8	0,125
30 min	0,8	2	17,5	8,8	0,093

Muestra:	AN50-2B	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	17
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	2,0	2	38,5	19,3	0,204
20 min	1,5	2	31,0	15,5	0,164
30 min	1,0	2	22,5	11,3	0,119

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
AN50-2A		
0,193	Baja	0,0106
0,144	Baja	0,0199
0,106	Media	0,0132

Muestra:	BN50-2A	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	17
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	2,8	2	71,0	35,5	0,376
20 min	2,2	2	50,5	25,3	0,268
30 min	1,8	2	39,0	19,5	0,207

Muestra:	BN50-2B	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	17
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	3,5	1	39,0	39,0	0,413
20 min	2,5	2	49,0	24,5	0,260
30 min	1,8	2	38,0	19,0	0,201

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
BN50-2A		
0,395	Media	0,0186
0,264	Media	0,0040
0,204	Alta	0,0027

Muestra:	AS25-2A	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	18
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	2,3	2	44,0	22,0	0,229
20 min	1,5	2	28,0	14,0	0,146
30 min	1,0	2	20,0	10,0	0,104

Muestra:	AS25-2B	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	18,5
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,5	2	31,5	15,8	0,162
20 min	1,0	2	23,0	11,5	0,118
30 min	0,8	2	19,0	9,5	0,098

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
AS25-2A		
0,196	Baja	0,0333
0,132	Baja	0,0136
0,101	Media	0,0031

Muestra:	BS25-2A	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	18
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,5	2	27,8	13,9	0,145
20 min	1,0	2	20,3	10,2	0,106
30 min	0,8	2	16,5	8,3	0,086

Muestra:	BS25-2B	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	18,5
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,2	2	23,5	11,8	0,121
20 min	0,8	2	19,0	9,5	0,098
30 min	0,5	2	12,0	6,0	0,062

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
BS25-2A		
0,133	Baja	0,0118
0,102	Baja	0,0039
0,074	Media	0,0120

Muestra:	AS50-2A	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	17
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,0	2	20,0	10,0	0,106
20 min	0,7	2	12,5	6,3	0,066
30 min	0,5	2	9,8	4,9	0,052

Muestra:	AS50-2B	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	19
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,7	2	33,0	16,5	0,168
20 min	1,2	2	22,5	11,3	0,115
30 min	0,8	2	18,5	9,3	0,094

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
AS50-2A		
0,137	Baja	0,0312
0,091	Baja	0,0243
0,073	Media	0,0212

Muestra:	BS50-2A	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	17
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,8	2	36,0	18,0	0,191
20 min	1,2	2	23,0	11,5	0,122
30 min	1,0	2	18,5	9,3	0,098

Muestra:	BS50-2B	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	19
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	2,0	2	40,0	20,0	0,204
20 min	1,5	2	28,0	14,0	0,143
30 min	1,0	2	22,5	11,3	0,115

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
BS50-2A		
0,197	Baja	0,0066
0,132	Baja	0,0105
0,106	Media	0,0084

Muestra:	AN-3A	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	20
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,5	2	11,5	5,8	0,058
20 min	1,0	2	7,5	3,8	0,038
30 min	0,5	2	5,8	2,9	0,029

Muestra:	AN-3B	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	20
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,2	2	22,0	11,0	0,110
20 min	0,8	2	14,0	7,0	0,070
30 min	0,5	2	11,0	5,5	0,055

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
AN-3A		
0,084	Baja	0,0263
0,054	Baja	0,0163
0,042	Baja	0,0130

Muestra:	BN-3A	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	21
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	0,8	2	11,5	5,8	0,056
20 min	0,5	2	7,5	3,8	0,037
30 min	0,3	2	5,8	2,9	0,028

Muestra:	BN-3B	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	21
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	0,5	2	8,0	4,0	0,039
20 min	0,3	2	5,5	2,8	0,027
30 min	0,2	2	3,0	1,5	0,015

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
BN-3A		
0,048	Baja	0,0086
0,032	Baja	0,0049
0,022	Baja	0,0069

Muestra:	AN25-3B	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	19
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	0,8	2	15,0	7,5	0,077
20 min	0,5	2	9,5	4,8	0,048
30 min	0,3	2	7,0	3,5	0,036

Muestra:	AN25-3A	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	19
Tiempo:	Divis 5 seg:	TiempLect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	0,7	2	11,3	5,7	0,058
20 min	0,5	2	7,0	3,5	0,036
30 min	0,2	2	4,8	2,4	0,024

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
AN25-3B		
0,067	Baja	0,0094
0,042	Baja	0,0064
0,030	Baja	0,0056

Muestra:	BN25-3A	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	20
Tiempo:	Divis 5 seg:	Tiempo Recta (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,8	2	37,8	18,9	0,189
20 min	1,2	2	24,5	12,3	0,123
30 min	0,8	2	20,2	10,1	0,101

Muestra:	BN25-3B	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	20
Tiempo:	Divis 5 seg:	Tiempo Lect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,8	2	38,5	19,3	0,193
20 min	1,2	2	26,5	13,3	0,133
30 min	1,0	2	23,0	11,5	0,115

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
BN25-3A		
0,191	Baja	0,0018
0,128	Baja	0,0050
0,108	Media	0,0070

Muestra:	BS25-3A	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	17
Tiempo:	Divis 5 seg:	Tiempo Lect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,7	2	31,0	15,5	0,164
20 min	1,0	2	20,0	10,0	0,106
30 min	0,7	2	15,8	7,9	0,084

Muestra:	BS25-3B	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	17
Tiempo:	Divis 5 seg:	Tiempo Lect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	2,0	2	40,5	20,3	0,215
20 min	1,3	2	28,0	14,0	0,148
30 min	1,0	2	22,0	11,0	0,117

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
BS25-3A		
0,189	Baja	0,0252
0,127	Baja	0,0212
0,100	Media	0,0164

Muestra:	AS25-3A	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	20,5
Tiempo:	Divis 5 seg:	Tiempo Lect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	2,2	2	45,0	22,5	0,223
20 min	1,5	2	30,0	15,0	0,149
30 min	1,0	2	20,0	10,0	0,099

Muestra:	AS25-3B	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	20,5
Tiempo:	Divis 5 seg:	Tiempo Lect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,8	2	31,5	15,8	0,156
20 min	1,0	2	20,0	10,0	0,099
30 min	0,8	2	14,5	7,3	0,072

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
AS25-3A		
0,2	Baja	0,0334
0,1	Baja	0,0248
0,1	Media	0,0136

Muestra:	AN50-3A	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	17
Tiempo:	Divis 5 seg:	Tiempo Lect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	2,0	2	47,5	23,8	0,252
20 min	1,2	2	31,0	15,5	0,164
30 min	1,0	2	21,0	10,5	0,111

Muestra:	AN50-3B	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	18
Tiempo:	Divis 5 seg:	Tiempo Lect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	2,0	2	40,0	20,0	0,208
20 min	1,2	2	26,0	13,0	0,135
30 min	1,0	2	19,5	9,8	0,101

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
AN50-3A		
0,230	Baja	0,0219
0,150	Baja	0,0146
0,106	Media	0,0050

Muestra:	AS50-3A	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	17,5
Tiempo:	Divis 5 seg:	Tiempo Lect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,5	2	30,0	15,0	0,158
20 min	1,0	2	18,5	9,3	0,097
30 min	0,5	2	11,8	5,9	0,062

Muestra:	AS50-3B	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	17,5
Tiempo:	Divis 5 seg:	Tiempo Lect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,7	2	34,0	17,0	0,179
20 min	1,0	2	22,5	11,3	0,118
30 min	0,7	2	16,5	8,3	0,087

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
AS50-3A		
0,168	Baja	0,0105
0,108	Baja	0,0105
0,074	Media	0,0123

Muestra:	BN50-3A	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	17
Tiempo:	Divis 5 seg:	Tiempo Lect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	2,0	2	42,5	21,3	0,225
20 min	1,2	2	29,0	14,5	0,154
30 min	1,0	2	20,0	10,0	0,106

Muestra:	BN50-3B	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	18
Tiempo:	Divis 5 seg:	Tiempo Lect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	2,0	2	45,0	22,5	0,234
20 min	1,2	2	27,0	13,5	0,140
30 min	1,0	2	21,0	10,5	0,109

Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
BN50-3A		
0,230	Baja	0,0044
0,147	Baja	0,0066
0,108	Media	0,0016

Muestra:	BS50-3A	Capsula:	1	Concreto Temp (°C):	18,5
Tiempo:	Divis 5 seg:	Tiempo Lect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	1,8	2	36,0	18,0	0,185
20 min	1,0	2	21,0	10,5	0,108
30 min	0,7	2	15,7	7,9	0,081

Muestra:	BS50-3B	Capsula:	2	Concreto Temp (°C):	18,5
Tiempo:	Divis 5 seg:	Tiempo Lect (min)	Total, de divisiones	Divisiones Absolutas	Absorción corregida (ml/(m ² *s))
10 min	2,0	2	42,0	21,0	0,216
20 min	1,2	2	26,5	13,3	0,136
30 min	1,0	2	20,8	10,4	0,107

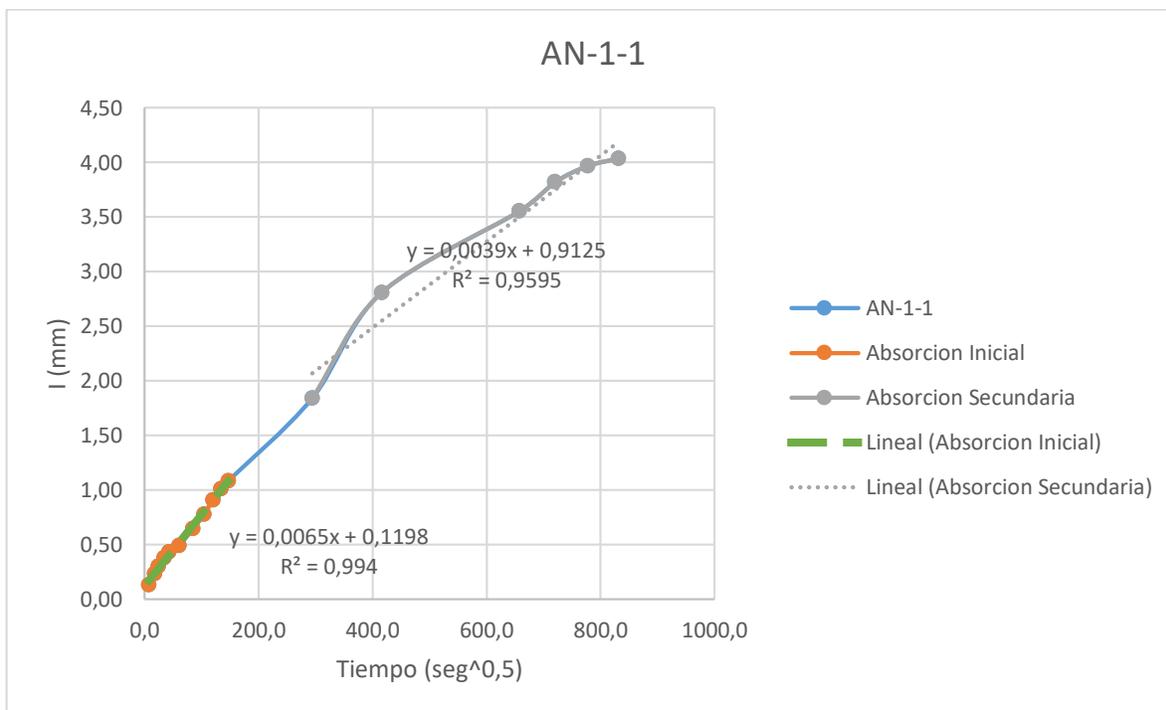
Promedio (ml/m ² *s)	Absorción del concreto	Desviación Estándar
BS50-3A		
0,201	Baja	0,0155
0,122	Baja	0,0142
0,094	Media	0,0131

e. Sortividad

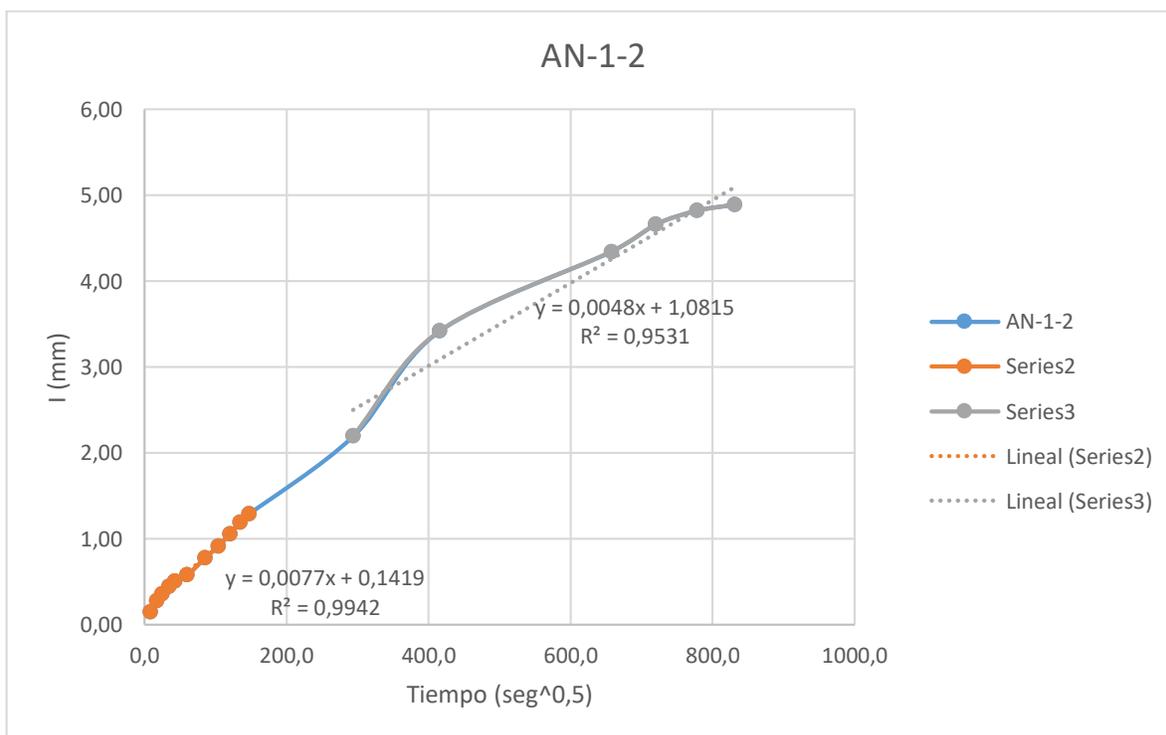
En las siguientes tablas, se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los ensayos de Sortividad practicadas a las mezclas de mortero durante la investigación. Cada tabla se encuentra acompañada de su grafica correspondiente.

Espécimen:	AN-1-1			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		783,12	0,00	0,00
60	7,75	784,15	1,03	0,13

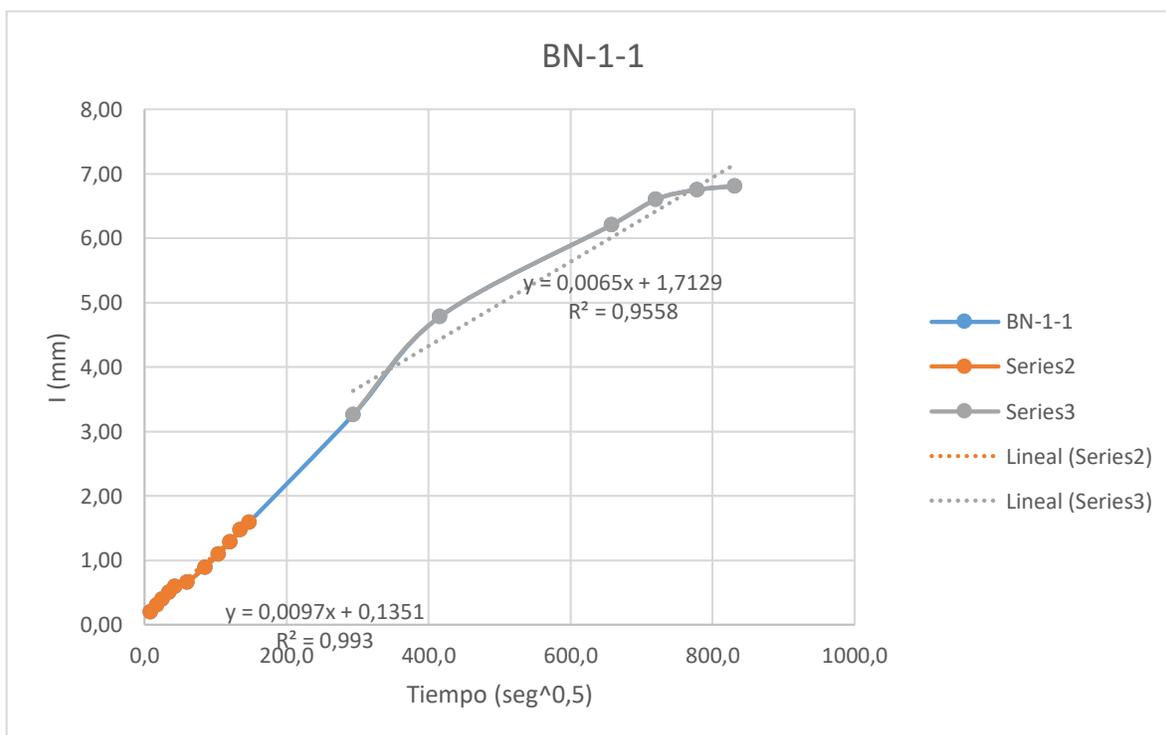
Espécimen:	AN-1-1			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
300	17,32	784,96	1,84	0,23
600	24,49	785,47	2,35	0,30
1200	34,64	786,09	2,97	0,38
1800	42,43	786,51	3,39	0,43
3600	60,00	786,97	3,85	0,49
7200	84,85	788,18	5,06	0,64
10800	103,92	789,21	6,09	0,78
14400	120,00	790,25	7,13	0,91
18000	134,16	791,07	7,95	1,01
21600	146,97	791,63	8,51	1,08
86400	293,94	797,56	14,44	1,84
172800	415,69	805,16	22,04	2,81
432000	657,27	811,03	27,91	3,55
518400	720,00	813,12	30,00	3,82
604800	777,69	814,29	31,17	3,97
691200	831,38	814,83	31,71	4,04



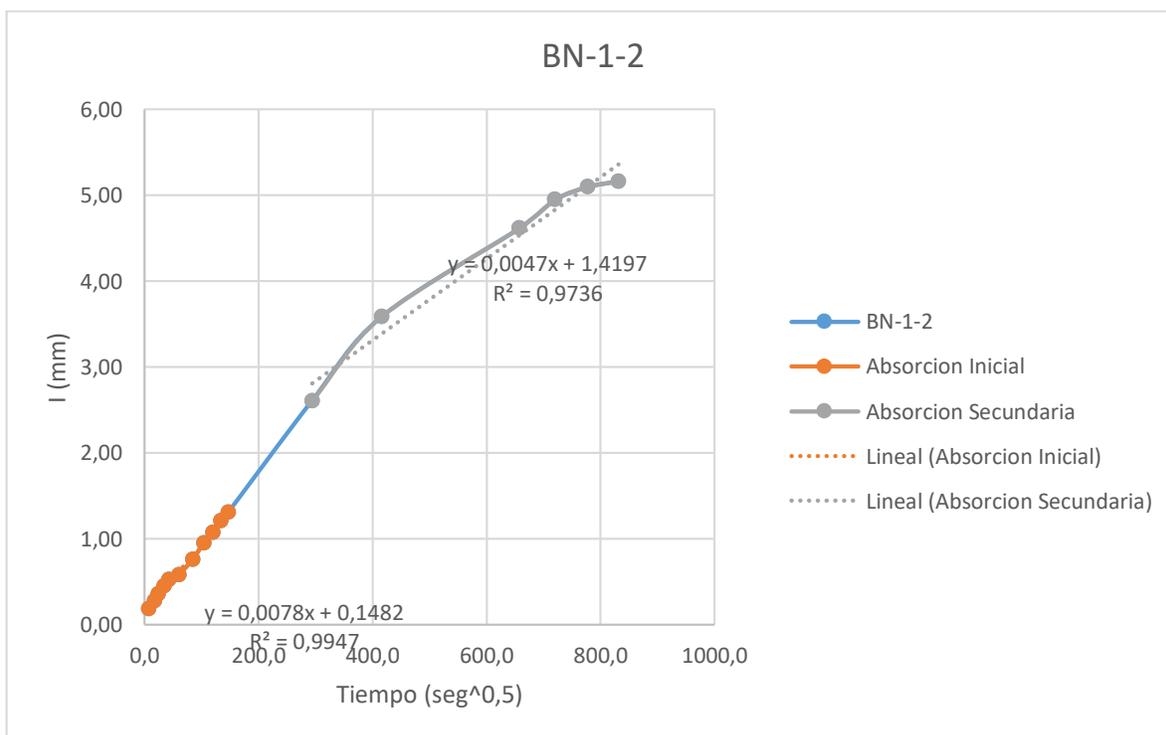
Espécimen:	AN-1-2			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		783,84	0,00	0,00
60	7,75	785,01	1,17	0,15
300	17,32	786,02	2,18	0,28
600	24,49	786,66	2,82	0,36
1200	34,64	787,35	3,51	0,45
1800	42,43	787,82	3,98	0,51
3600	60,00	788,39	4,55	0,58
7200	84,85	789,94	6,10	0,78
10800	103,92	791,04	7,20	0,92
14400	120,00	792,15	8,31	1,06
18000	134,16	793,18	9,34	1,19
21600	146,97	793,96	10,12	1,29
86400	293,94	801,09	17,25	2,20
172800	415,69	810,70	26,86	3,42
432000	657,27	817,96	34,12	4,34
518400	720,00	820,46	36,62	4,66
604800	777,69	821,71	37,87	4,82
691200	831,38	822,27	38,43	4,89



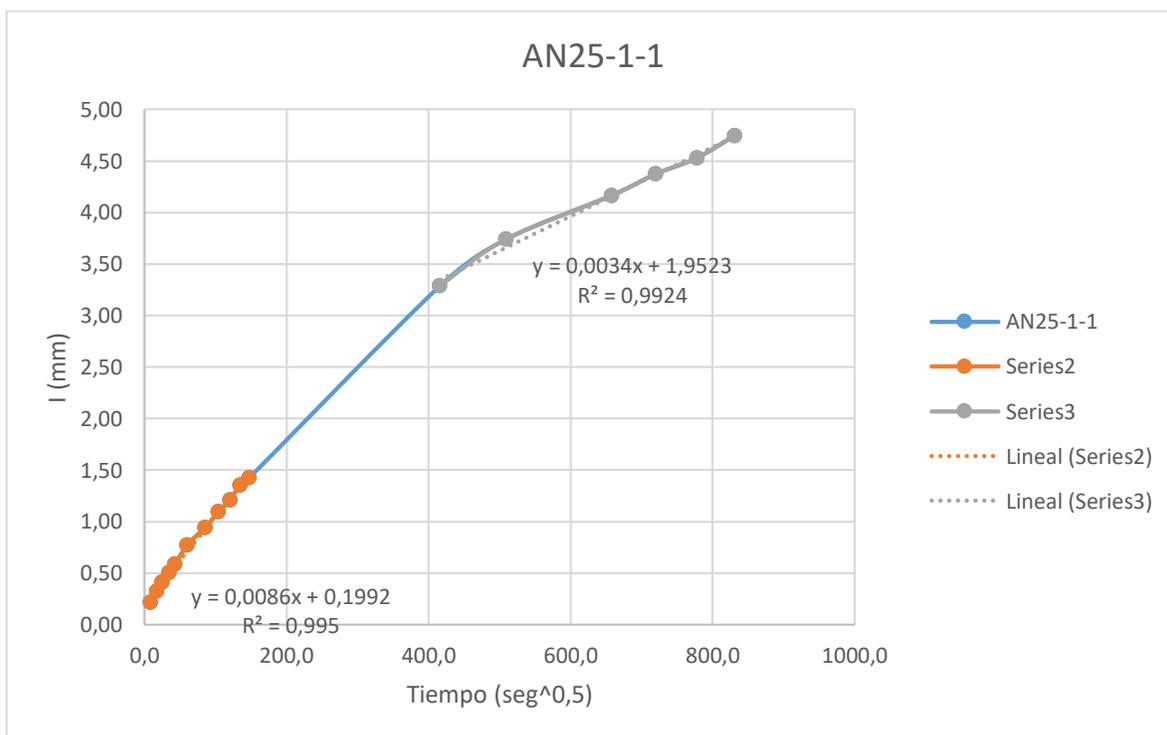
Espécimen:	BN-1-1			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		804,07	0,00	0,00
60	7,75	805,59	1,52	0,19
300	17,32	806,49	2,42	0,31
600	24,49	807,16	3,09	0,39
1200	34,64	808,03	3,96	0,50
1800	42,43	808,74	4,67	0,59
3600	60,00	809,27	5,20	0,66
7200	84,85	811,05	6,98	0,89
10800	103,92	812,68	8,61	1,10
14400	120,00	814,16	10,09	1,28
18000	134,16	815,62	11,55	1,47
21600	146,97	816,55	12,48	1,59
86400	293,94	829,67	25,60	3,26
172800	415,69	841,62	37,55	4,78
432000	657,27	852,81	48,74	6,21
518400	720,00	855,95	51,88	6,61
604800	777,69	857,12	53,05	6,75
691200	831,38	857,57	53,50	6,81



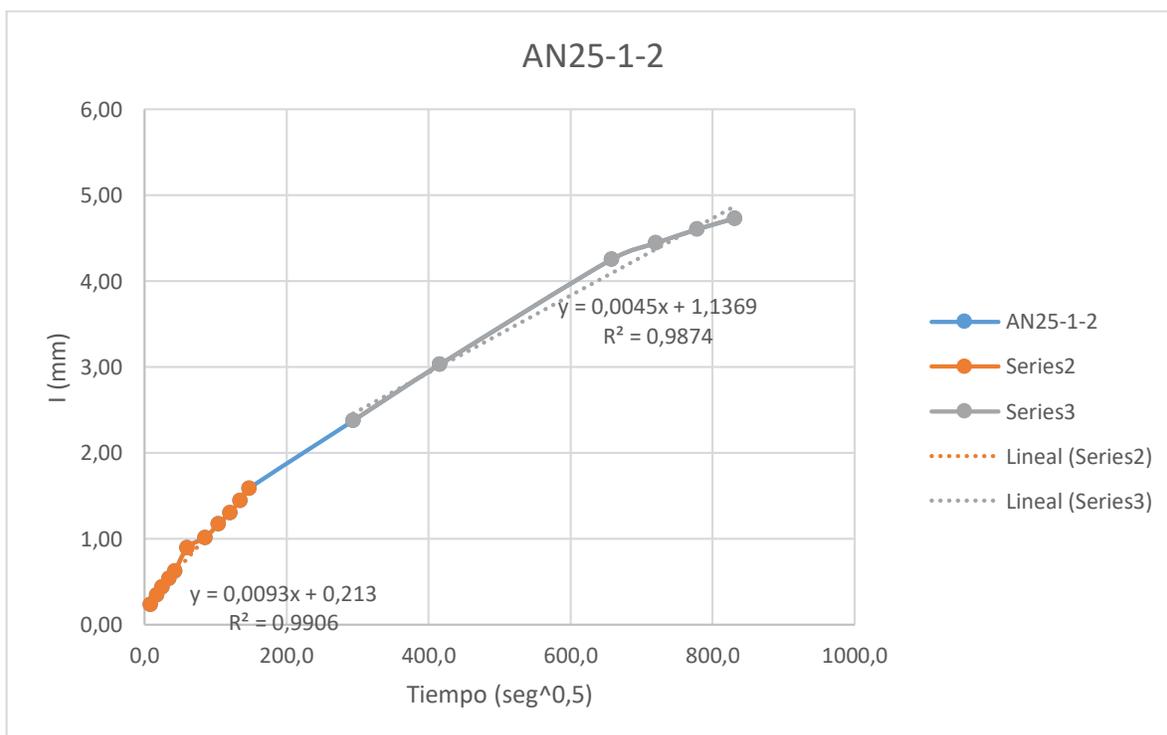
Espécimen:	BN-1-2			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	I (mm)
0		791,85	0,00	0,00
60	7,75	793,28	1,43	0,18
300	17,32	794,05	2,20	0,28
600	24,49	794,64	2,79	0,36
1200	34,64	795,37	3,52	0,45
1800	42,43	795,97	4,12	0,52
3600	60,00	796,41	4,56	0,58
7200	84,85	797,83	5,98	0,76
10800	103,92	799,31	7,46	0,95
14400	120,00	800,29	8,44	1,07
18000	134,16	801,34	9,49	1,21
21600	146,97	802,12	10,27	1,31
86400	293,94	812,33	20,48	2,61
172800	415,69	820,02	28,17	3,59
432000	657,27	828,11	36,26	4,62
518400	720,00	830,73	38,88	4,95
604800	777,69	831,90	40,05	5,10
691200	831,38	832,42	40,57	5,17



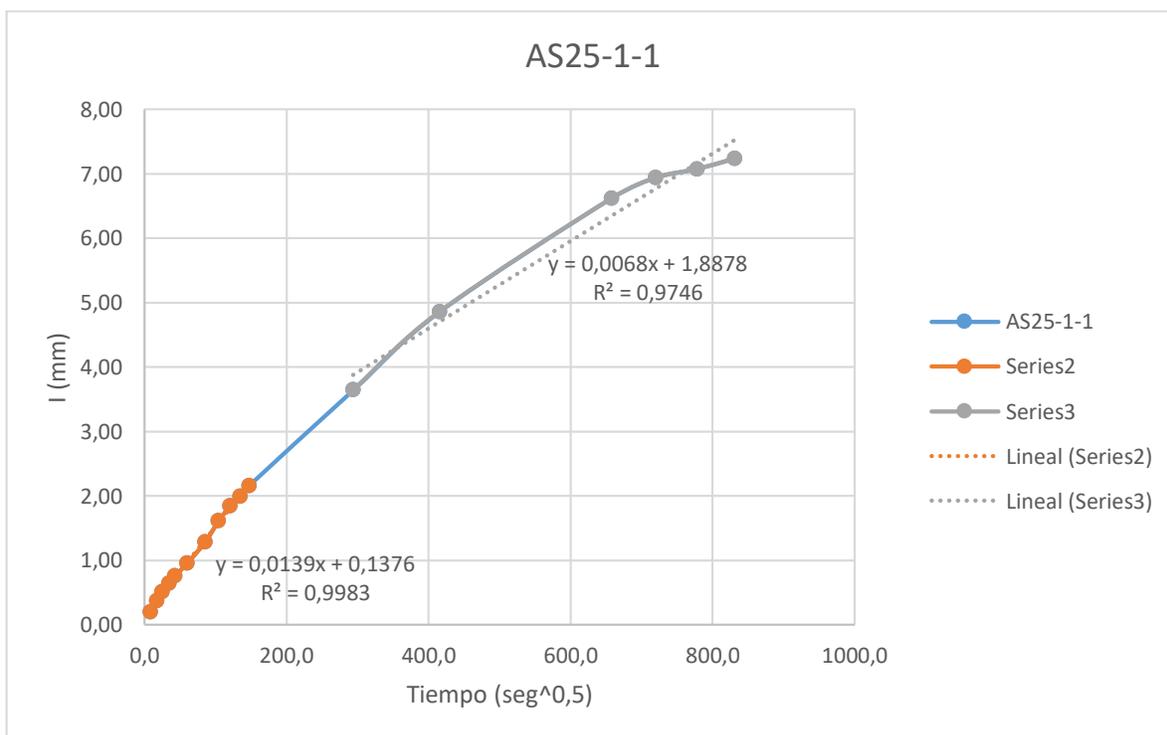
Espécimen:	AN25-1-1			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		776,29	0,00	0,00
60	7,75	777,98	1,69	0,22
300	17,32	778,85	2,56	0,33
600	24,49	779,51	3,22	0,41
1200	34,64	780,26	3,97	0,51
1800	42,43	780,89	4,60	0,59
3600	60,00	782,37	6,08	0,77
7200	84,85	783,68	7,39	0,94
10800	103,92	784,88	8,59	1,09
14400	120,00	785,78	9,49	1,21
18000	134,16	786,93	10,64	1,35
21600	146,97	787,47	11,18	1,42
172800	415,69	802,10	25,81	3,29
259200	509,12	805,66	29,37	3,74
432000	657,27	808,99	32,70	4,16
518400	720,00	810,64	34,35	4,37
604800	777,69	811,86	35,57	4,53
691200	831,38	813,56	37,27	4,75



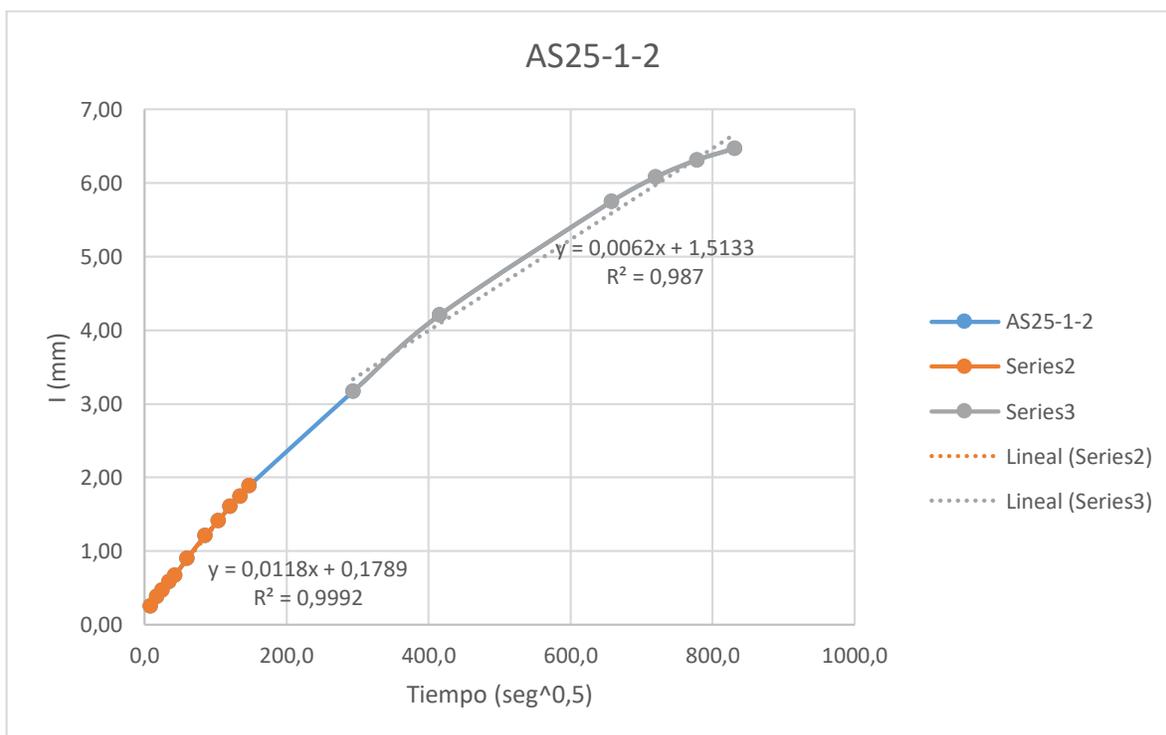
Espécimen:	AN25-1-2			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		780,60	0,00	0,00
60	7,75	782,43	1,83	0,23
300	17,32	783,32	2,72	0,35
600	24,49	784,04	3,44	0,44
1200	34,64	784,84	4,24	0,54
1800	42,43	785,50	4,90	0,62
3600	60,00	787,64	7,04	0,90
7200	84,85	788,57	7,97	1,01
10800	103,92	789,80	9,20	1,17
14400	120,00	790,84	10,24	1,30
18000	134,16	791,95	11,35	1,45
21600	146,97	793,06	12,46	1,59
86400	293,94	799,27	18,67	2,38
172800	415,69	804,39	23,79	3,03
432000	657,27	814,00	33,40	4,25
518400	720,00	815,50	34,90	4,44
604800	777,69	816,76	36,16	4,60
691200	831,38	817,77	37,17	4,73



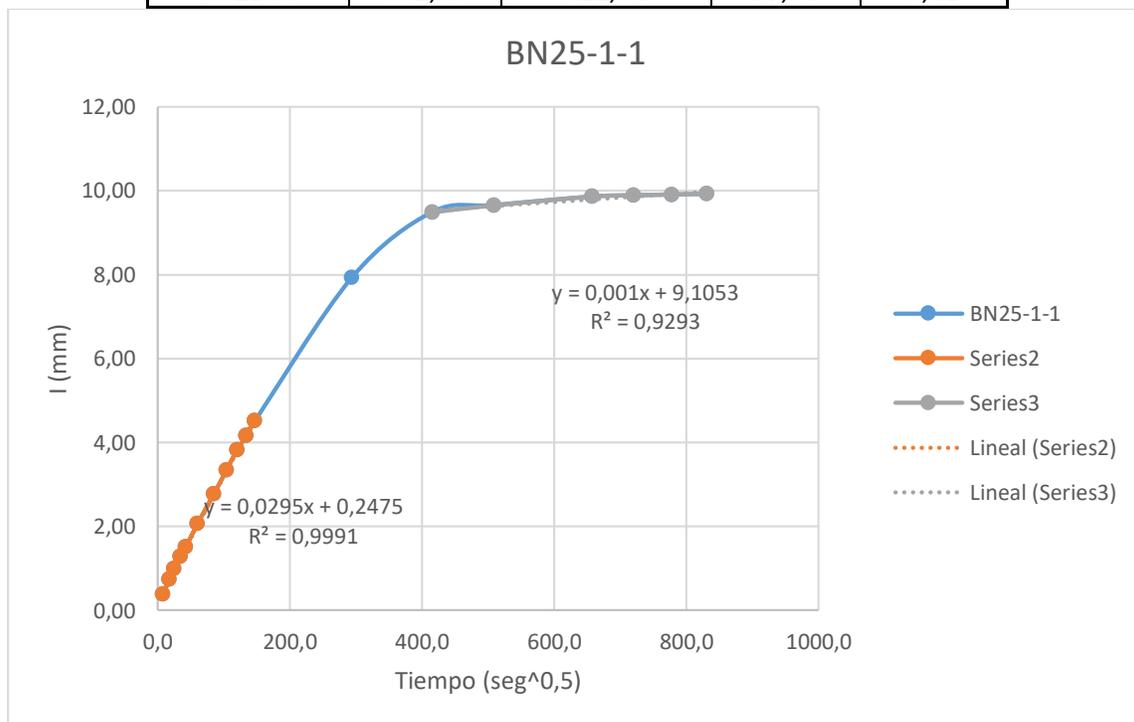
Espécimen:	AS25-1-1			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		765,73	0,00	0,00
60	7,75	767,30	1,57	0,20
300	17,32	768,63	2,90	0,37
600	24,49	769,74	4,01	0,51
1200	34,64	770,75	5,02	0,64
1800	42,43	771,66	5,93	0,76
3600	60,00	773,26	7,53	0,96
7200	84,85	775,82	10,09	1,28
10800	103,92	778,38	12,65	1,61
14400	120,00	780,20	14,47	1,84
18000	134,16	781,35	15,62	1,99
21600	146,97	782,70	16,97	2,16
86400	293,94	794,35	28,62	3,64
172800	415,69	803,91	38,18	4,86
432000	657,27	817,72	51,99	6,62
518400	720,00	820,27	54,54	6,94
604800	777,69	821,31	55,58	7,08
691200	831,38	822,60	56,87	7,24



Espécimen:	AS25-1-2			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		797,27	0,00	0,00
60	7,75	799,24	1,97	0,25
300	17,32	800,28	3,01	0,38
600	24,49	800,97	3,70	0,47
1200	34,64	801,85	4,58	0,58
1800	42,43	802,51	5,24	0,67
3600	60,00	804,35	7,08	0,90
7200	84,85	806,75	9,48	1,21
10800	103,92	808,34	11,07	1,41
14400	120,00	809,91	12,64	1,61
18000	134,16	810,96	13,69	1,74
21600	146,97	812,08	14,81	1,89
86400	293,94	822,19	24,92	3,17
172800	415,69	830,32	33,05	4,21
432000	657,27	842,40	45,13	5,75
518400	720,00	845,03	47,76	6,08
604800	777,69	846,84	49,57	6,31
691200	831,38	848,08	50,81	6,47

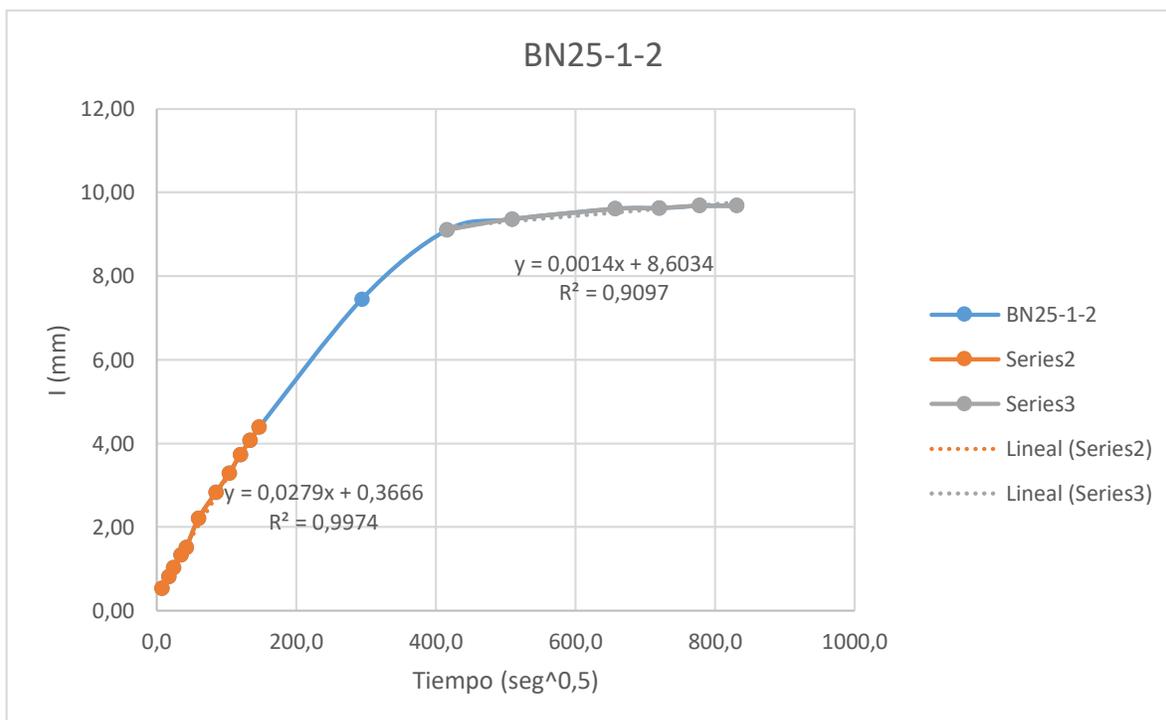


Espécimen:	BN25-1-1			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		733,10	0,00	0,00
60	7,75	736,17	3,07	0,39
300	17,32	738,93	5,83	0,74
600	24,49	740,89	7,79	0,99
1200	34,64	743,20	10,10	1,29
1800	42,43	744,95	11,85	1,51
3600	60,00	749,36	16,26	2,07
7200	84,85	754,90	21,80	2,78
10800	103,92	759,38	26,28	3,35
14400	120,00	763,12	30,02	3,82
18000	134,16	765,86	32,76	4,17
21600	146,97	768,58	35,48	4,52
86400	293,94	795,42	62,32	7,93
172800	415,69	807,66	74,56	9,49
259200	509,12	808,94	75,84	9,66
432000	657,27	810,54	77,44	9,86
518400	720,00	810,77	77,67	9,89
604800	777,69	810,91	77,81	9,91
691200	831,38	811,04	77,94	9,92

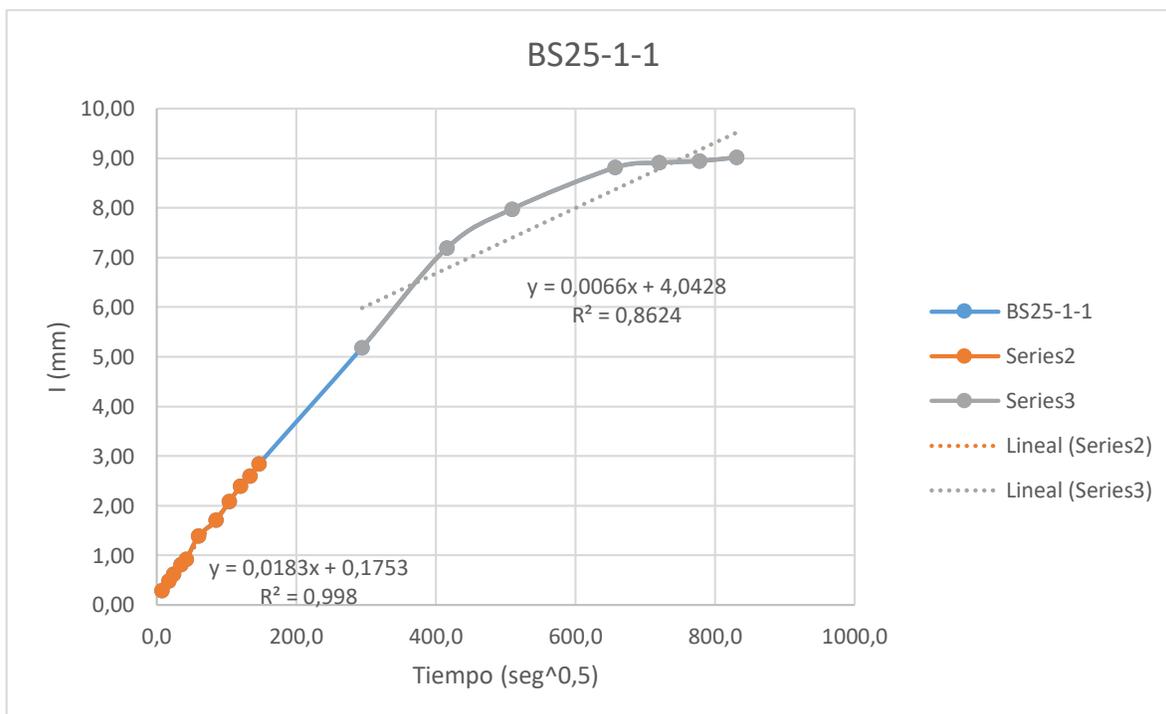


Espécimen:	BN25-1-2
------------	----------

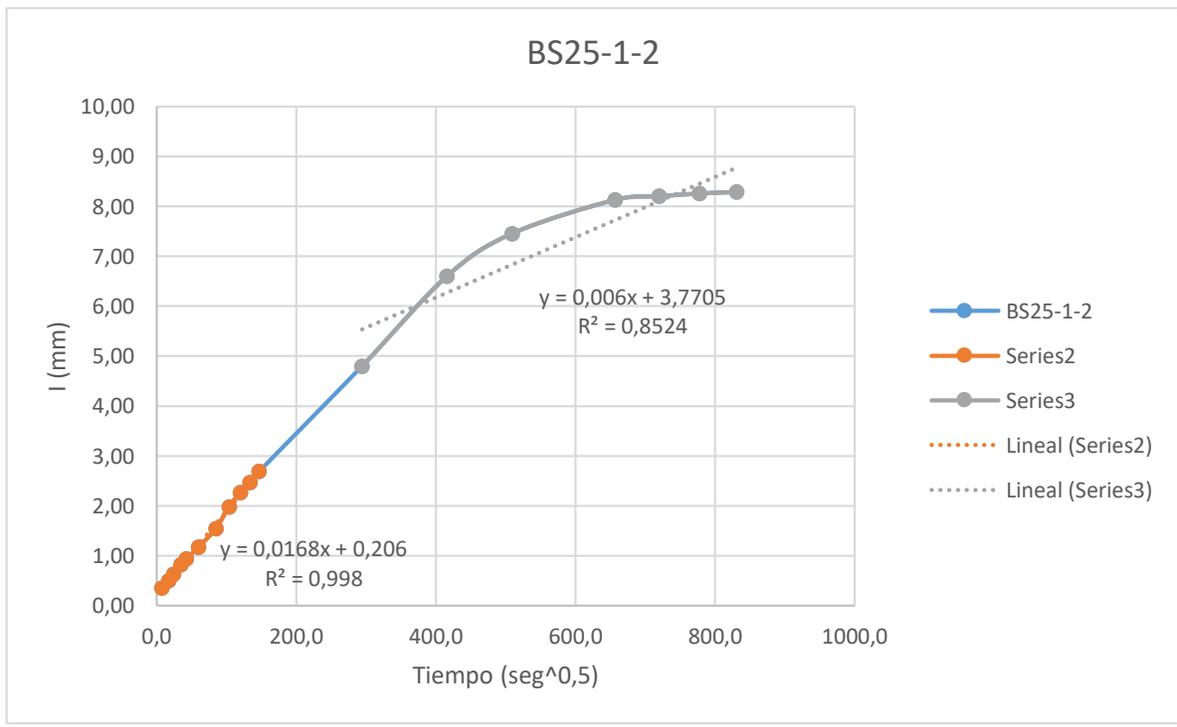
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		715,97	0,00	0,00
60	7,75	720,10	4,13	0,53
300	17,32	722,36	6,39	0,81
600	24,49	724,04	8,07	1,03
1200	34,64	726,41	10,44	1,33
1800	42,43	727,81	11,84	1,51
3600	60,00	733,25	17,28	2,20
7200	84,85	738,13	22,16	2,82
10800	103,92	741,73	25,76	3,28
14400	120,00	745,29	29,32	3,73
18000	134,16	747,93	31,96	4,07
21600	146,97	750,38	34,41	4,38
86400	293,94	774,47	58,50	7,45
172800	415,69	787,43	71,46	9,10
259200	509,12	789,50	73,53	9,36
432000	657,27	791,45	75,48	9,61
518400	720,00	791,60	75,63	9,63
604800	777,69	792,01	76,04	9,68
691200	831,38	792,01	76,04	9,68



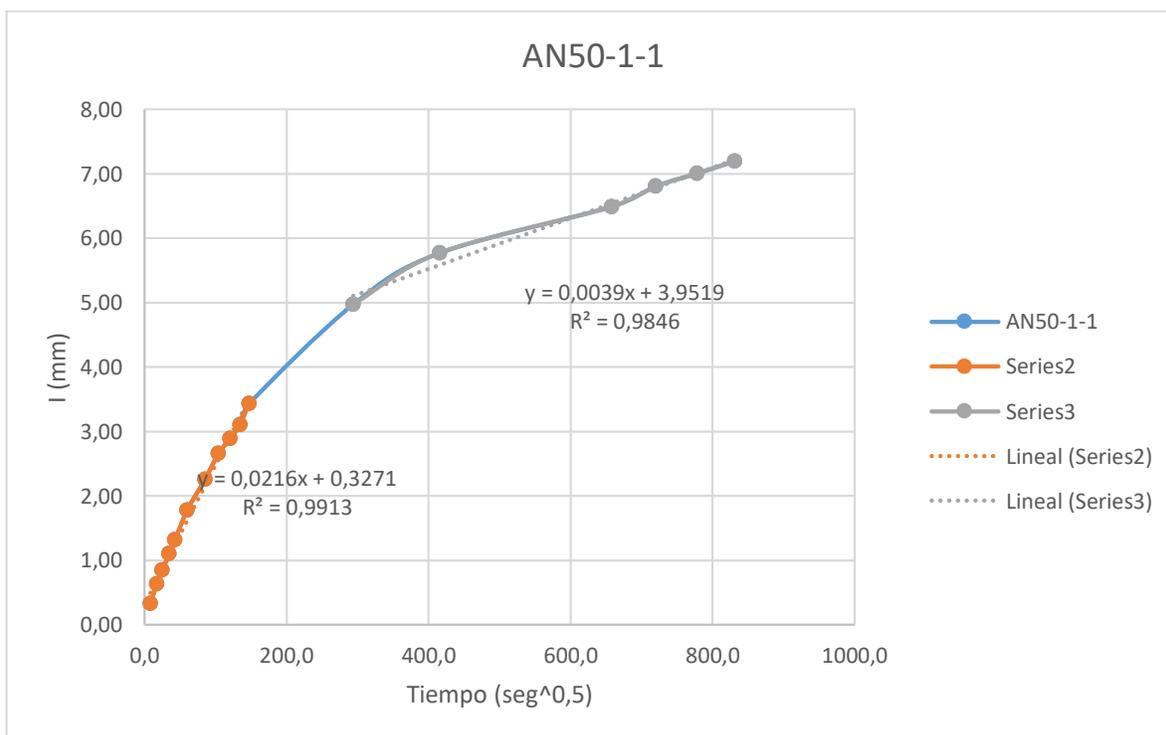
Espécimen:	BS25-1-1			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		771,54	0,00	0,00
60	7,75	773,80	2,26	0,29
300	17,32	775,30	3,76	0,48
600	24,49	776,41	4,87	0,62
1200	34,64	777,94	6,40	0,81
1800	42,43	778,75	7,21	0,92
3600	60,00	782,41	10,87	1,38
7200	84,85	784,92	13,38	1,70
10800	103,92	787,87	16,33	2,08
14400	120,00	790,30	18,76	2,39
18000	134,16	791,96	20,42	2,60
21600	146,97	793,88	22,34	2,84
86400	293,94	812,20	40,66	5,18
172800	415,69	828,00	56,46	7,19
259200	509,12	834,17	62,63	7,97
432000	657,27	840,74	69,20	8,81
518400	720,00	841,48	69,94	8,91
604800	777,69	841,77	70,23	8,94
691200	831,38	842,34	70,80	9,01



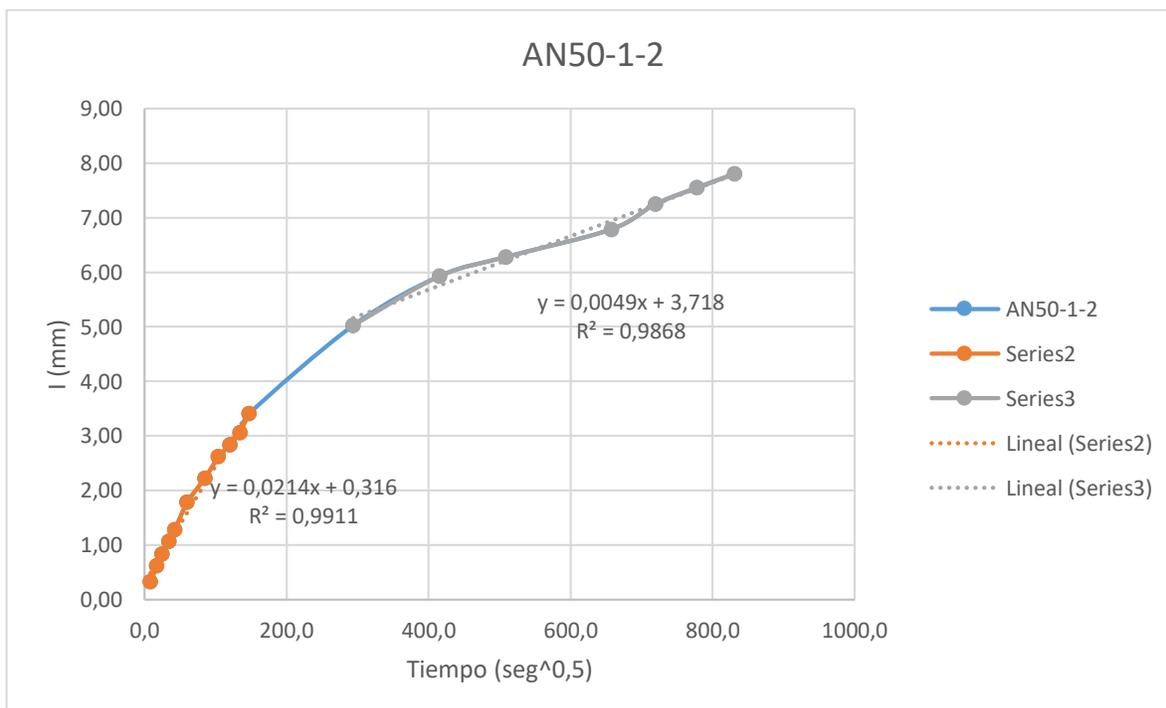
Espécimen:	BS25-1-2			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		767,13	0,00	0,00
60	7,75	769,84	2,71	0,35
300	17,32	771,05	3,92	0,50
600	24,49	772,07	4,94	0,63
1200	34,64	773,57	6,44	0,82
1800	42,43	774,44	7,31	0,93
3600	60,00	776,30	9,17	1,17
7200	84,85	779,25	12,12	1,54
10800	103,92	782,68	15,55	1,98
14400	120,00	784,94	17,81	2,27
18000	134,16	786,45	19,32	2,46
21600	146,97	788,22	21,09	2,69
86400	293,94	804,75	37,62	4,79
172800	415,69	818,95	51,82	6,60
259200	509,12	825,67	58,54	7,45
432000	657,27	830,99	63,86	8,13
518400	720,00	831,54	64,41	8,20
604800	777,69	831,98	64,85	8,26
691200	831,38	832,22	65,09	8,29



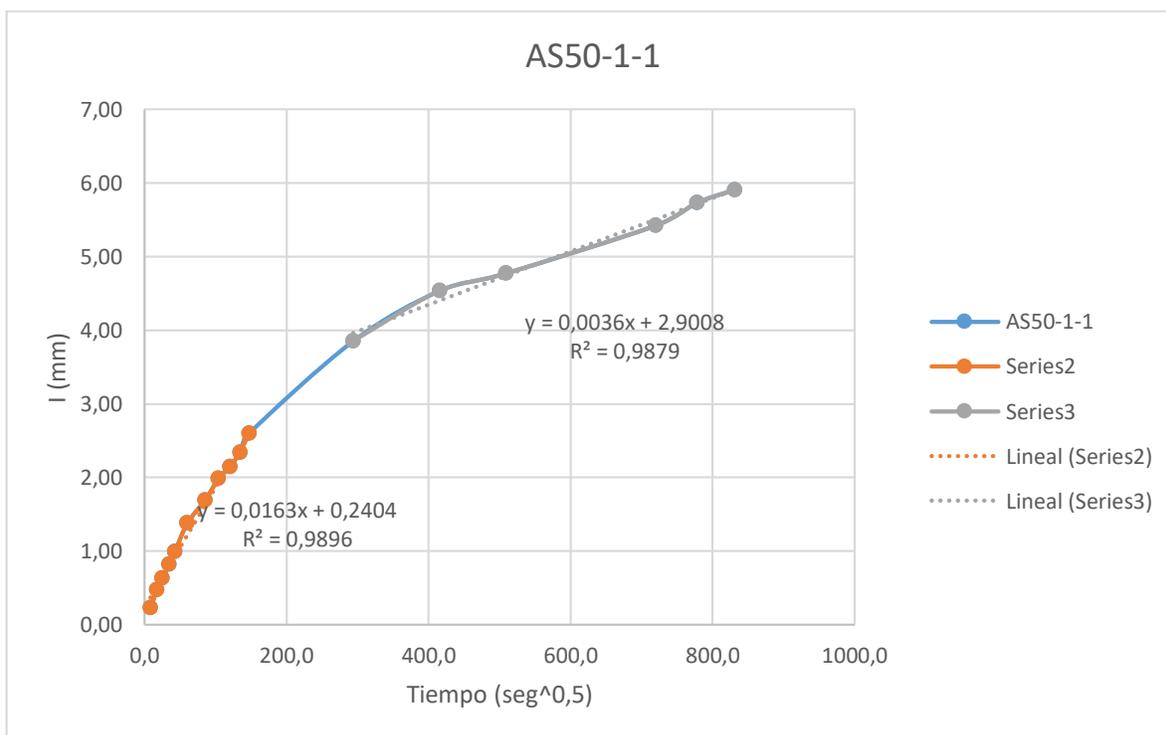
Espécimen:	AN50-1-1			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		732,28	0,00	0,00
60	7,75	734,85	2,57	0,33
300	17,32	737,27	4,99	0,64
600	24,49	738,96	6,68	0,85
1200	34,64	740,92	8,64	1,10
1800	42,43	742,61	10,33	1,32
3600	60,00	746,27	13,99	1,78
7200	84,85	750,00	17,72	2,26
10800	103,92	753,15	20,87	2,66
14400	120,00	754,97	22,69	2,89
18000	134,16	756,64	24,36	3,10
21600	146,97	759,22	26,94	3,43
86400	293,94	771,36	39,08	4,98
172800	415,69	777,62	45,34	5,77
432000	657,27	783,25	50,97	6,49
518400	720,00	785,76	53,48	6,81
604800	777,69	787,30	55,02	7,01
691200	831,38	788,82	56,54	7,20



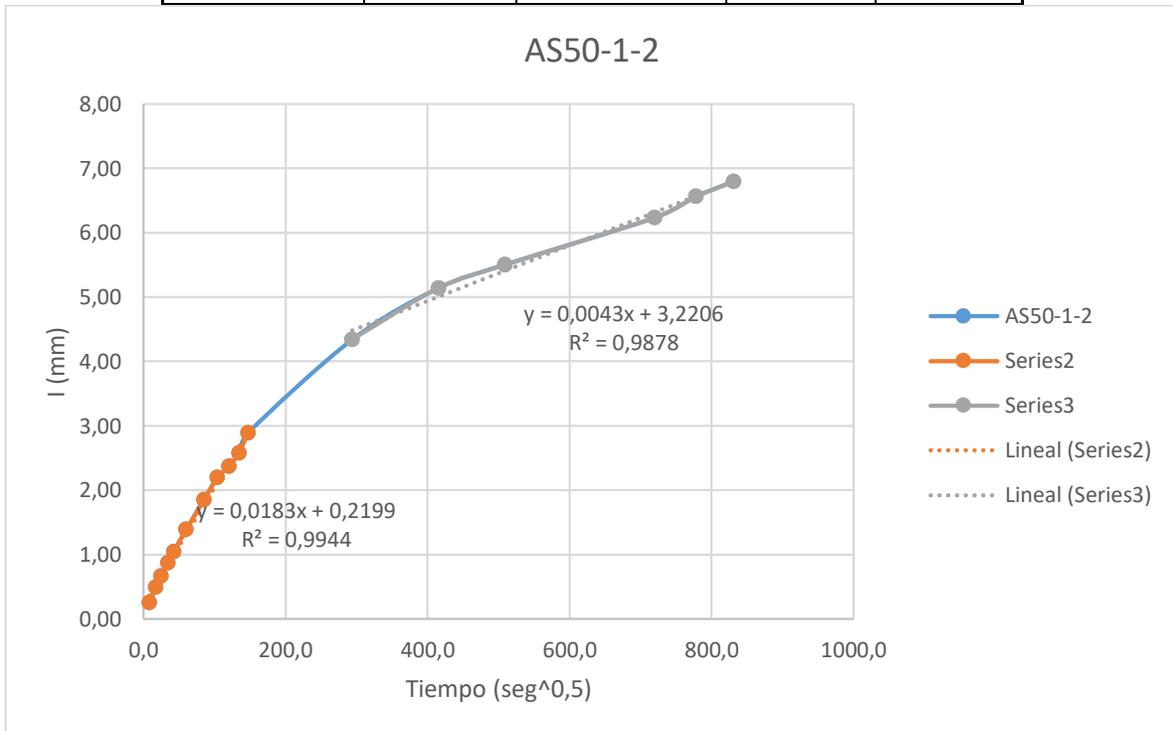
Espécimen:	AN50-1-2			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		724,99	0,00	0,00
60	7,75	727,56	2,57	0,33
300	17,32	729,87	4,88	0,62
600	24,49	731,53	6,54	0,83
1200	34,64	733,37	8,38	1,07
1800	42,43	735,08	10,09	1,28
3600	60,00	739,01	14,02	1,79
7200	84,85	742,49	17,50	2,23
10800	103,92	745,56	20,57	2,62
14400	120,00	747,27	22,28	2,84
18000	134,16	749,06	24,07	3,06
21600	146,97	751,76	26,77	3,41
86400	293,94	764,47	39,48	5,03
172800	415,69	771,57	46,58	5,93
259200	509,12	774,33	49,34	6,28
432000	657,27	778,29	53,30	6,79
518400	720,00	781,95	56,96	7,25
604800	777,69	784,27	59,28	7,55
691200	831,38	786,29	61,30	7,80



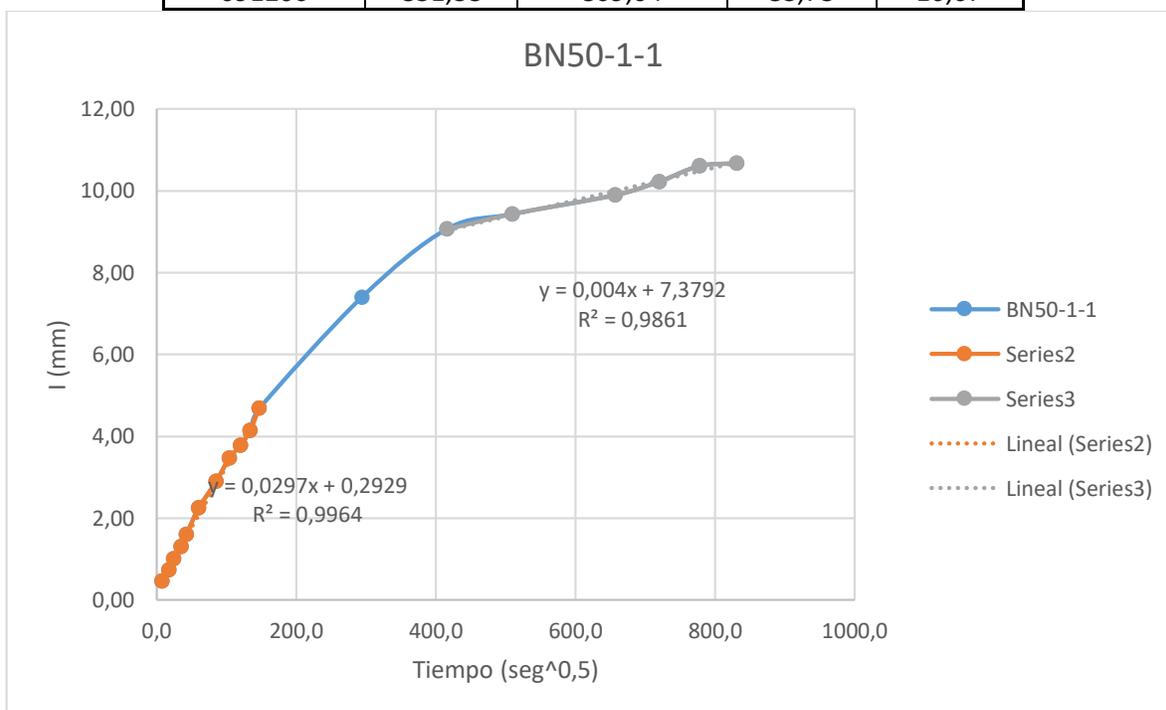
Espécimen:	AS50-1-1			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		747,25	0,00	0,00
60	7,75	749,06	1,81	0,23
300	17,32	750,97	3,72	0,47
600	24,49	752,21	4,96	0,63
1200	34,64	753,69	6,44	0,82
1800	42,43	755,04	7,79	0,99
3600	60,00	758,09	10,84	1,38
7200	84,85	760,52	13,27	1,69
10800	103,92	762,85	15,60	1,99
14400	120,00	764,10	16,85	2,15
18000	134,16	765,66	18,41	2,34
21600	146,97	767,67	20,42	2,60
86400	293,94	777,53	30,28	3,86
172800	415,69	782,89	35,64	4,54
259200	509,12	784,75	37,50	4,77
518400	720,00	789,85	42,60	5,42
604800	777,69	792,27	45,02	5,73
691200	831,38	793,67	46,42	5,91



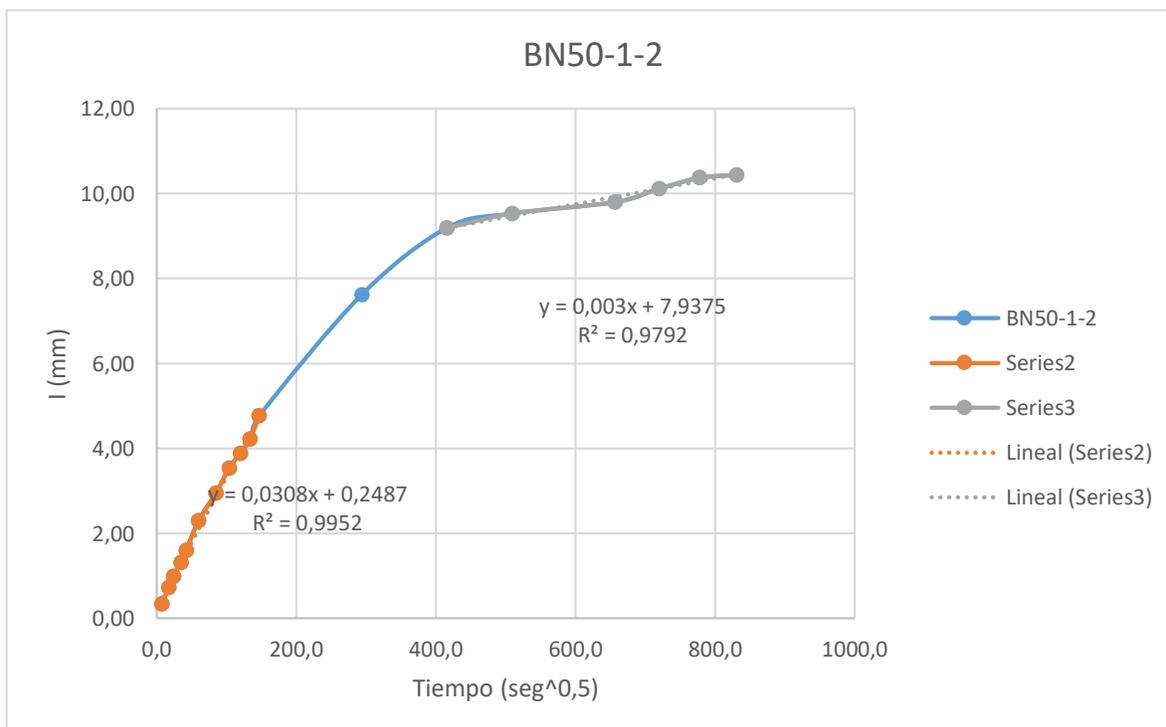
Espécimen:	AS50-1-2			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		767,23	0,00	0,00
60	7,75	769,22	1,99	0,25
300	17,32	771,11	3,88	0,49
600	24,49	772,49	5,26	0,67
1200	34,64	774,11	6,88	0,88
1800	42,43	775,49	8,26	1,05
3600	60,00	778,15	10,92	1,39
7200	84,85	781,80	14,57	1,86
10800	103,92	784,51	17,28	2,20
14400	120,00	785,89	18,66	2,38
18000	134,16	787,49	20,26	2,58
21600	146,97	789,94	22,71	2,89
86400	293,94	801,34	34,11	4,34
172800	415,69	807,62	40,39	5,14
259200	509,12	810,46	43,23	5,50
518400	720,00	816,20	48,97	6,24
604800	777,69	818,76	51,53	6,56
691200	831,38	820,63	53,40	6,80



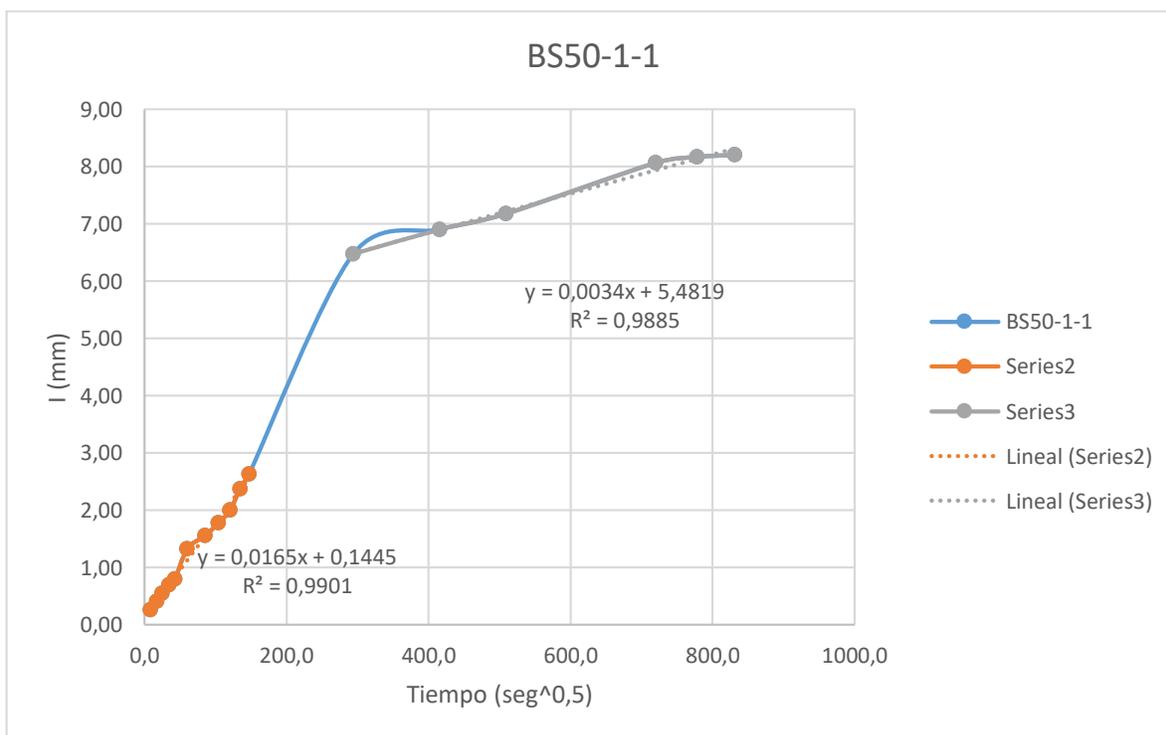
Espécimen:	BN50-1-1			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		725,26	0,00	0,00
60	7,75	728,87	3,61	0,46
300	17,32	730,94	5,68	0,72
600	24,49	733,13	7,87	1,00
1200	34,64	735,51	10,25	1,31
1800	42,43	737,80	12,54	1,60
3600	60,00	742,85	17,59	2,24
7200	84,85	747,93	22,67	2,89
10800	103,92	752,44	27,18	3,46
14400	120,00	754,90	29,64	3,77
18000	134,16	757,80	32,54	4,14
21600	146,97	761,98	36,72	4,68
86400	293,94	783,33	58,07	7,39
172800	415,69	796,41	71,15	9,06
259200	509,12	799,30	74,04	9,43
432000	657,27	802,95	77,69	9,89
518400	720,00	805,52	80,26	10,22
604800	777,69	808,52	83,26	10,60
691200	831,38	809,04	83,78	10,67



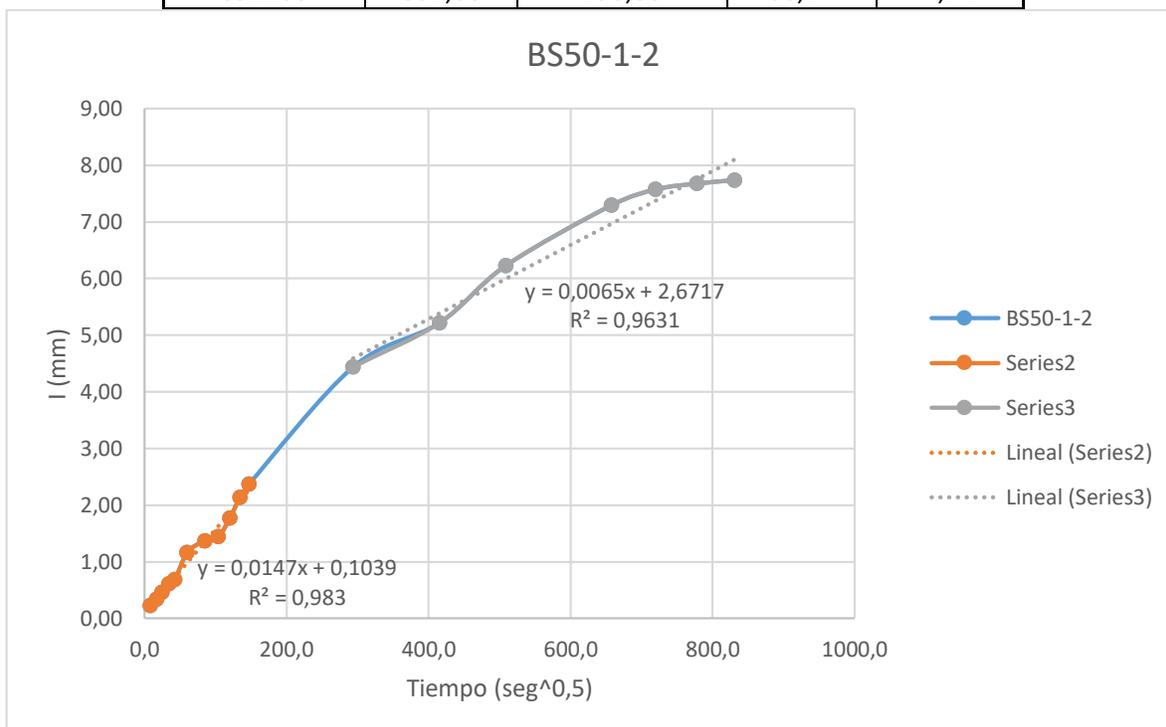
Espécimen:	BN50-1-2			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		715,17	0,00	0,00
60	7,75	717,87	2,70	0,34
300	17,32	720,85	5,68	0,72
600	24,49	722,96	7,79	0,99
1200	34,64	725,55	10,38	1,32
1800	42,43	727,75	12,58	1,60
3600	60,00	733,25	18,08	2,30
7200	84,85	738,34	23,17	2,95
10800	103,92	742,99	27,82	3,54
14400	120,00	745,72	30,55	3,89
18000	134,16	748,34	33,17	4,22
21600	146,97	752,64	37,47	4,77
86400	293,94	775,05	59,88	7,62
172800	415,69	787,38	72,21	9,19
259200	509,12	790,05	74,88	9,53
432000	657,27	792,16	76,99	9,80
518400	720,00	794,63	79,46	10,12
604800	777,69	796,63	81,46	10,37
691200	831,38	797,19	82,02	10,44



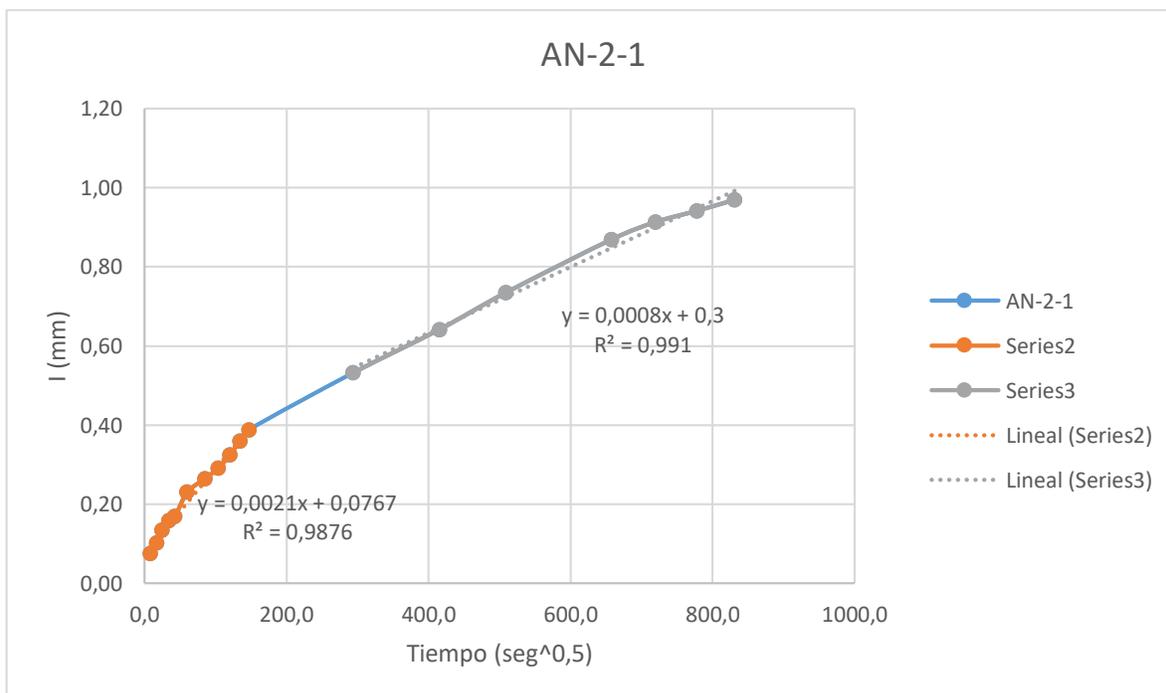
Espécimen:	BS50-1-1			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		730,51	0,00	0,00
60	7,75	732,53	2,02	0,26
300	17,32	733,71	3,20	0,41
600	24,49	734,83	4,32	0,55
1200	34,64	735,99	5,48	0,70
1800	42,43	736,78	6,27	0,80
3600	60,00	740,92	10,41	1,33
7200	84,85	742,71	12,20	1,55
10800	103,92	744,46	13,95	1,78
14400	120,00	746,20	15,69	2,00
18000	134,16	749,15	18,64	2,37
21600	146,97	751,19	20,68	2,63
86400	293,94	781,39	50,88	6,48
172800	415,69	784,74	54,23	6,90
259200	509,12	786,90	56,39	7,18
518400	720,00	793,87	63,36	8,07
604800	777,69	794,68	64,17	8,17
691200	831,38	794,97	64,46	8,21



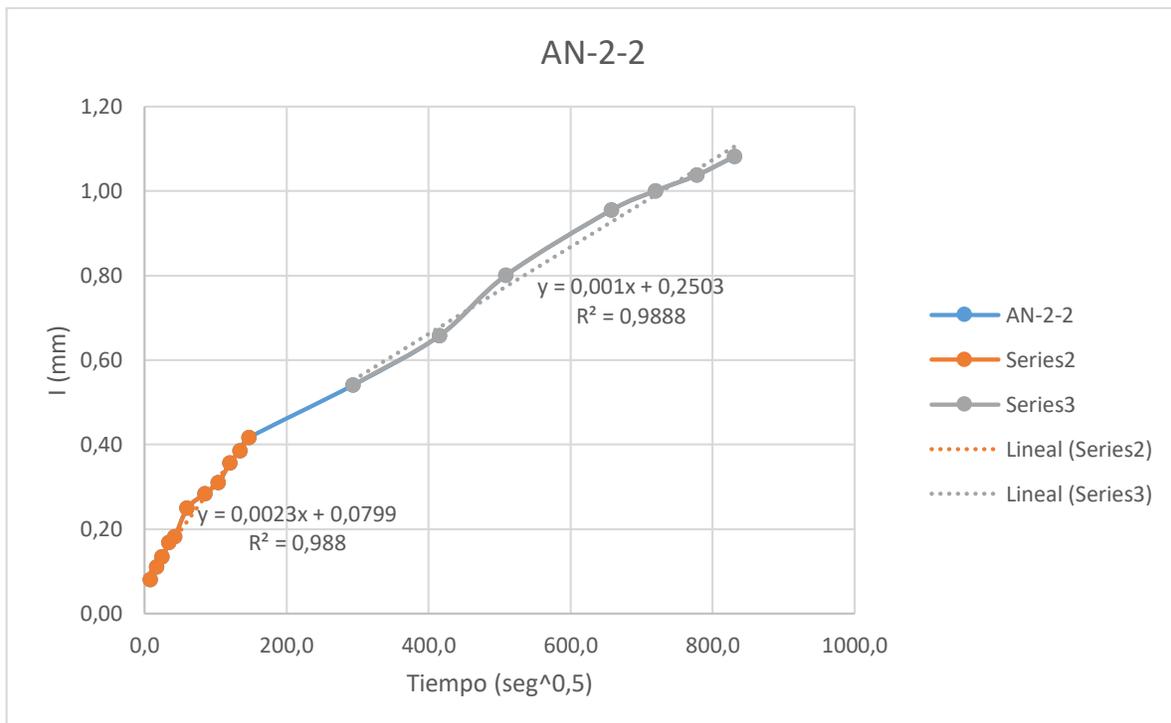
Espécimen:	BS50-1-2			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		735,31	0,00	0,00
60	7,75	737,08	1,77	0,23
300	17,32	737,97	2,66	0,34
600	24,49	738,96	3,65	0,46
1200	34,64	740,13	4,82	0,61
1800	42,43	740,71	5,40	0,69
3600	60,00	744,45	9,14	1,16
7200	84,85	746,11	10,80	1,38
10800	103,92	746,63	11,32	1,44
14400	120,00	749,27	13,96	1,78
18000	134,16	752,07	16,76	2,13
21600	146,97	753,93	18,62	2,37
86400	293,94	770,20	34,89	4,44
172800	415,69	776,31	41,00	5,22
259200	509,12	784,25	48,94	6,23
432000	657,27	792,58	57,27	7,29
518400	720,00	794,80	59,49	7,57
604800	777,69	795,61	60,30	7,68
691200	831,38	796,08	60,77	7,74



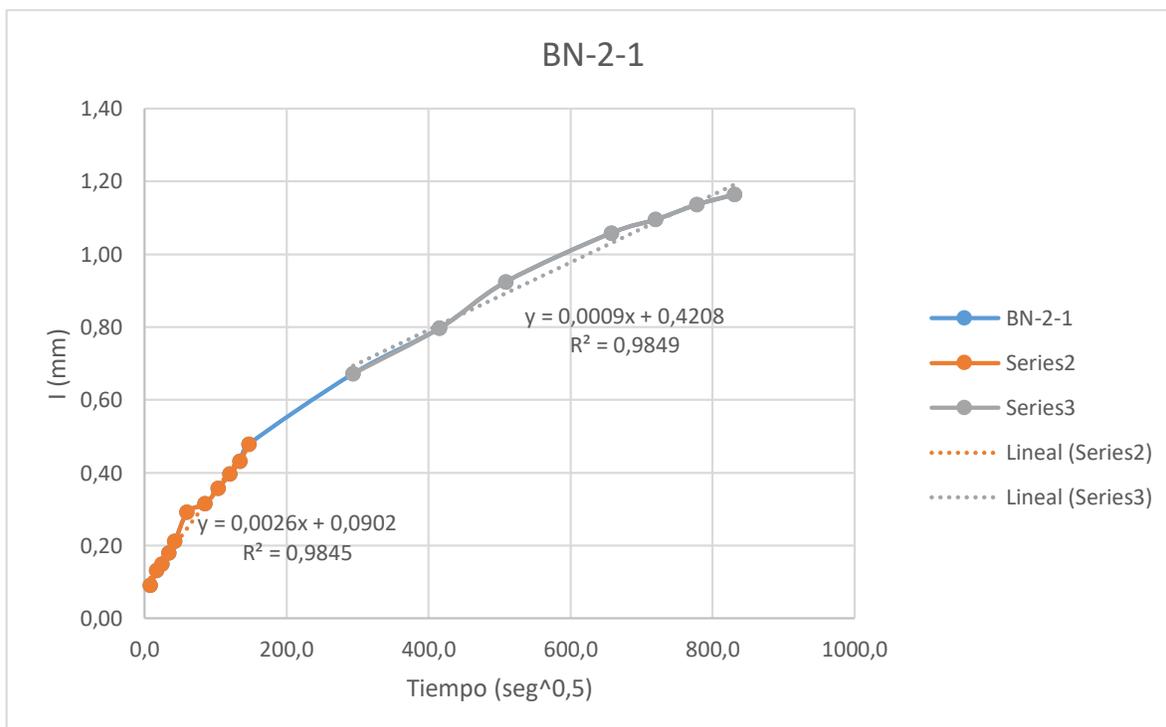
Espécimen:	AN-2-1			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		806,72	0,00	0,00
60	7,75	807,31	0,59	0,08
300	17,32	807,52	0,80	0,10
600	24,49	807,78	1,06	0,13
1200	34,64	807,97	1,25	0,16
1800	42,43	808,05	1,33	0,17
3600	60,00	808,53	1,81	0,23
7200	84,85	808,80	2,08	0,26
10800	103,92	809,01	2,29	0,29
14400	120,00	809,27	2,55	0,32
18000	134,16	809,55	2,83	0,36
21600	146,97	809,77	3,05	0,39
86400	293,94	810,90	4,18	0,53
172800	415,69	811,76	5,04	0,64
259200	509,12	812,49	5,77	0,73
432000	657,27	813,54	6,82	0,87
518400	720,00	813,89	7,17	0,91
604800	777,69	814,11	7,39	0,94
691200	831,38	814,33	7,61	0,97



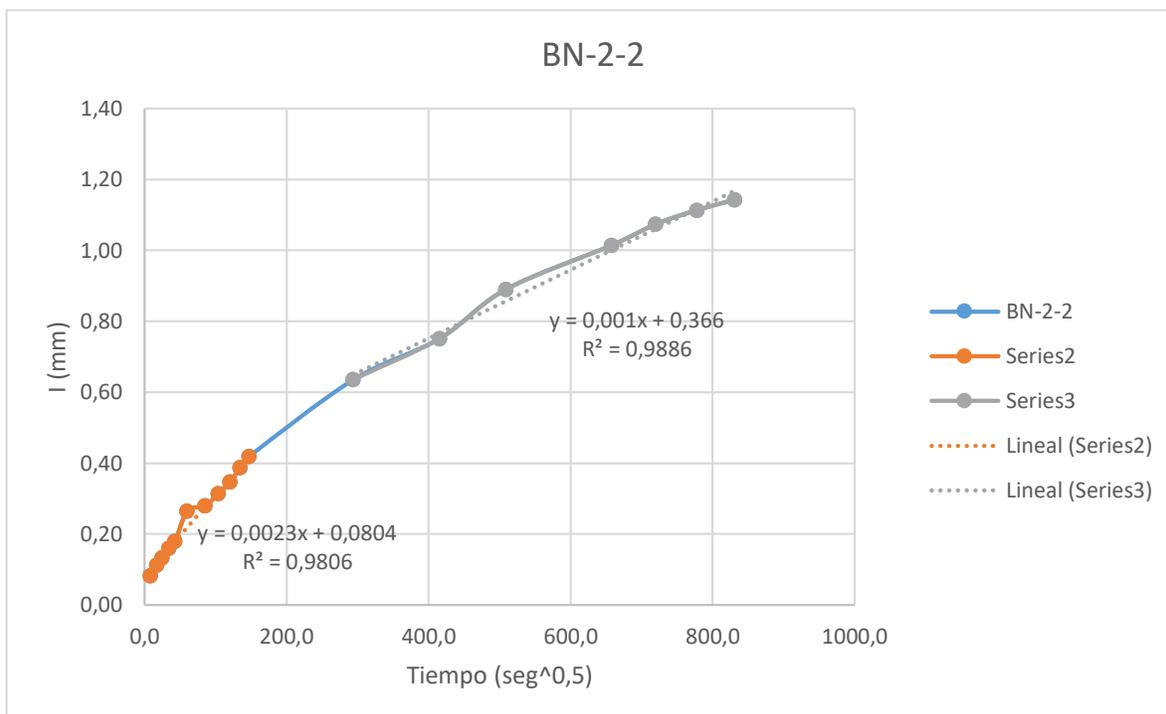
Espécimen:	AN-2-2			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		781,38	0,00	0,00
60	7,75	782,01	0,63	0,08
300	17,32	782,25	0,87	0,11
600	24,49	782,44	1,06	0,13
1200	34,64	782,70	1,32	0,17
1800	42,43	782,81	1,43	0,18
3600	60,00	783,34	1,96	0,25
7200	84,85	783,61	2,23	0,28
10800	103,92	783,82	2,44	0,31
14400	120,00	784,18	2,80	0,36
18000	134,16	784,41	3,03	0,39
21600	146,97	784,65	3,27	0,42
86400	293,94	785,63	4,25	0,54
172800	415,69	786,55	5,17	0,66
259200	509,12	787,67	6,29	0,80
432000	657,27	788,88	7,50	0,95
518400	720,00	789,24	7,86	1,00
604800	777,69	789,53	8,15	1,04
691200	831,38	789,88	8,50	1,08



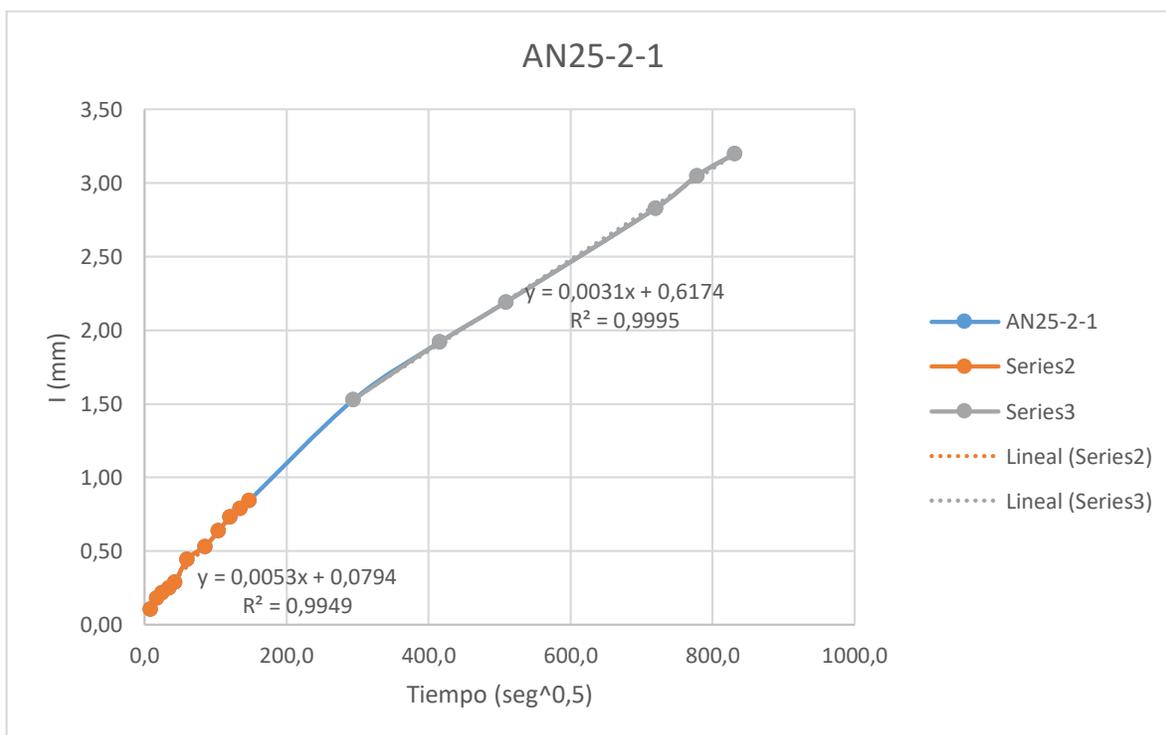
Espécimen:	BN-2-1			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		788,67	0,00	0,00
60	7,75	789,38	0,71	0,09
300	17,32	789,70	1,03	0,13
600	24,49	789,84	1,17	0,15
1200	34,64	790,08	1,41	0,18
1800	42,43	790,33	1,66	0,21
3600	60,00	790,96	2,29	0,29
7200	84,85	791,14	2,47	0,31
10800	103,92	791,48	2,81	0,36
14400	120,00	791,79	3,12	0,40
18000	134,16	792,06	3,39	0,43
21600	146,97	792,43	3,76	0,48
86400	293,94	793,95	5,28	0,67
172800	415,69	794,93	6,26	0,80
259200	509,12	795,93	7,26	0,92
432000	657,27	796,98	8,31	1,06
518400	720,00	797,27	8,60	1,09
604800	777,69	797,59	8,92	1,14
691200	831,38	797,81	9,14	1,16



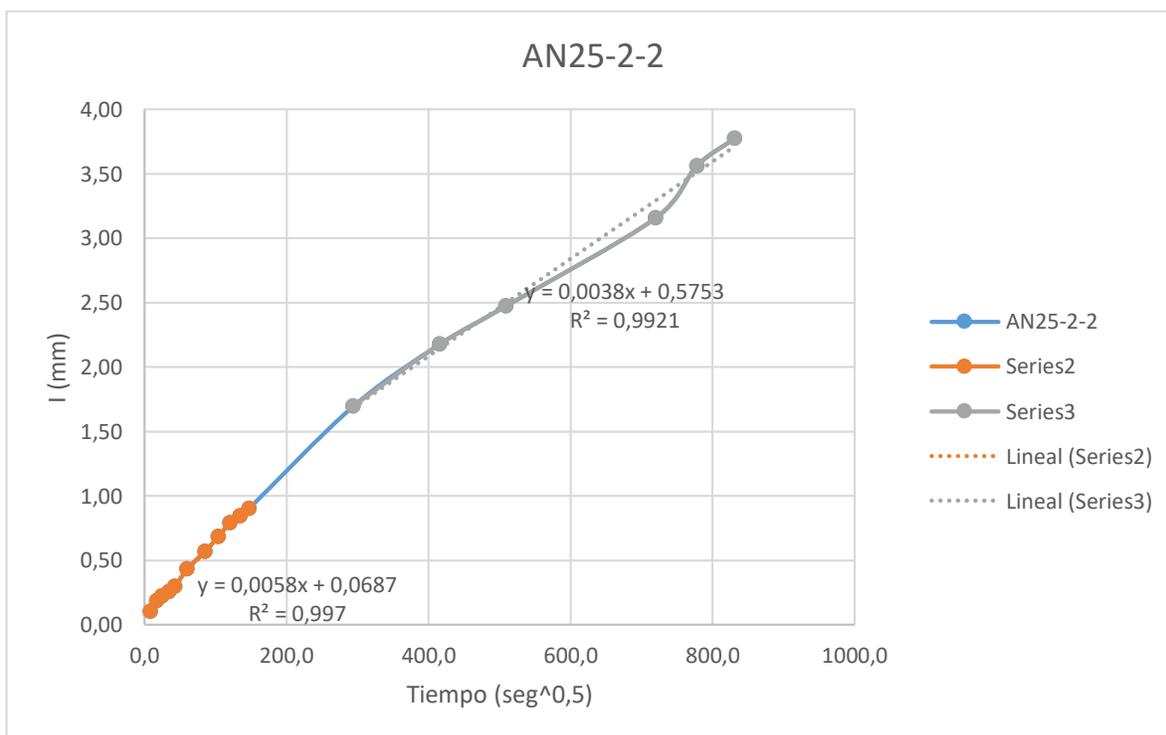
Espécimen:	BN-2-2			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		786,90	0,00	0,00
60	7,75	787,55	0,65	0,08
300	17,32	787,78	0,88	0,11
600	24,49	787,95	1,05	0,13
1200	34,64	788,16	1,26	0,16
1800	42,43	788,31	1,41	0,18
3600	60,00	788,98	2,08	0,26
7200	84,85	789,10	2,20	0,28
10800	103,92	789,37	2,47	0,31
14400	120,00	789,62	2,72	0,35
18000	134,16	789,94	3,04	0,39
21600	146,97	790,19	3,29	0,42
86400	293,94	791,89	4,99	0,64
172800	415,69	792,80	5,90	0,75
259200	509,12	793,89	6,99	0,89
432000	657,27	794,86	7,96	1,01
518400	720,00	795,33	8,43	1,07
604800	777,69	795,64	8,74	1,11
691200	831,38	795,87	8,97	1,14



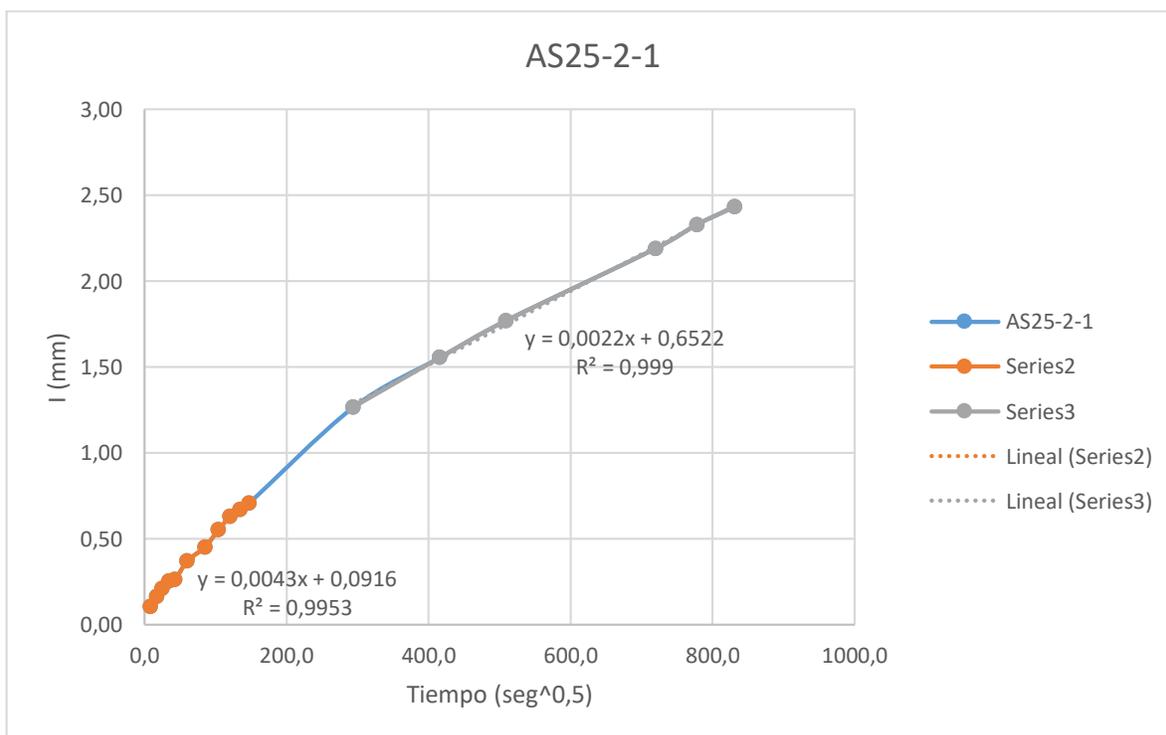
Espécimen:	AN25-2-1			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		789,39	0,00	0,00
60	7,75	790,20	0,81	0,10
300	17,32	790,79	1,40	0,18
600	24,49	791,10	1,71	0,22
1200	34,64	791,33	1,94	0,25
1800	42,43	791,64	2,25	0,29
3600	60,00	792,87	3,48	0,44
7200	84,85	793,56	4,17	0,53
10800	103,92	794,39	5,00	0,64
14400	120,00	795,12	5,73	0,73
18000	134,16	795,58	6,19	0,79
21600	146,97	796,00	6,61	0,84
86400	293,94	801,38	11,99	1,53
172800	415,69	804,46	15,07	1,92
259200	509,12	806,60	17,21	2,19
518400	720,00	811,60	22,21	2,83
604800	777,69	813,33	23,94	3,05
691200	831,38	814,51	25,12	3,20



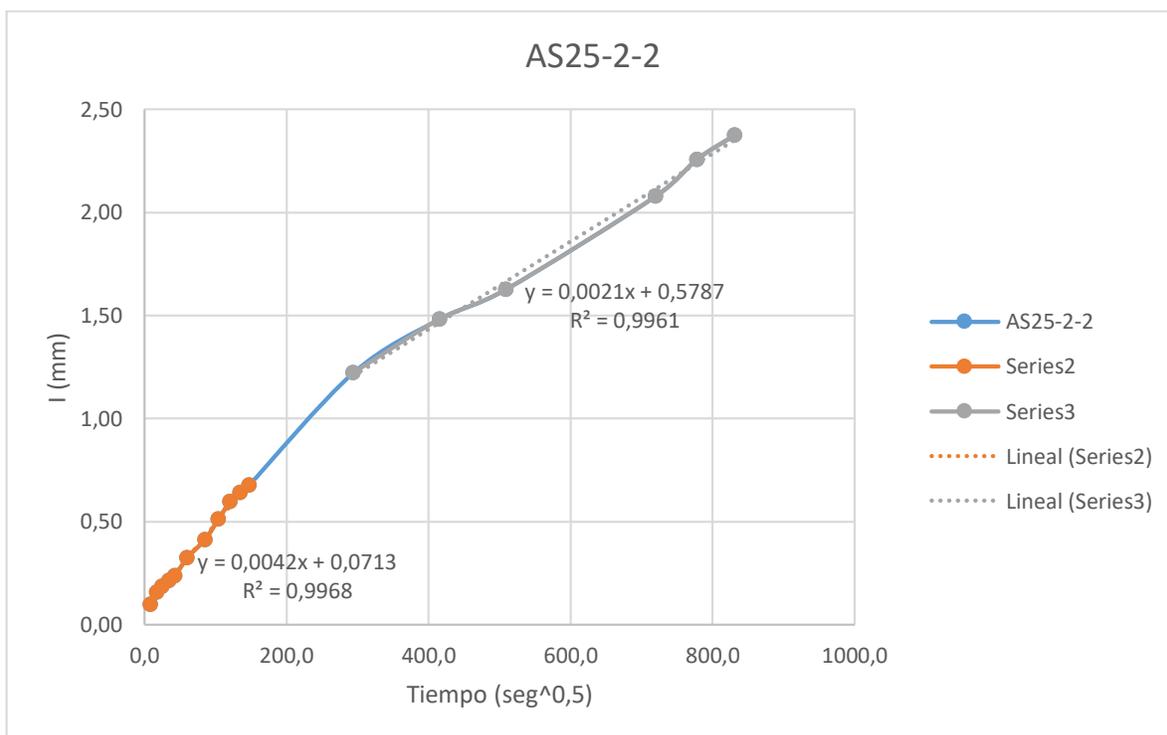
Espécimen:	AN25-2-2			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		790,93	0,00	0,00
60	7,75	791,73	0,80	0,10
300	17,32	792,37	1,44	0,18
600	24,49	792,66	1,73	0,22
1200	34,64	792,94	2,01	0,26
1800	42,43	793,25	2,32	0,30
3600	60,00	794,32	3,39	0,43
7200	84,85	795,40	4,47	0,57
10800	103,92	796,31	5,38	0,69
14400	120,00	797,14	6,21	0,79
18000	134,16	797,56	6,63	0,84
21600	146,97	798,01	7,08	0,90
86400	293,94	804,25	13,32	1,70
172800	415,69	808,03	17,10	2,18
259200	509,12	810,36	19,43	2,47
518400	720,00	815,73	24,80	3,16
604800	777,69	818,90	27,97	3,56
691200	831,38	820,59	29,66	3,78



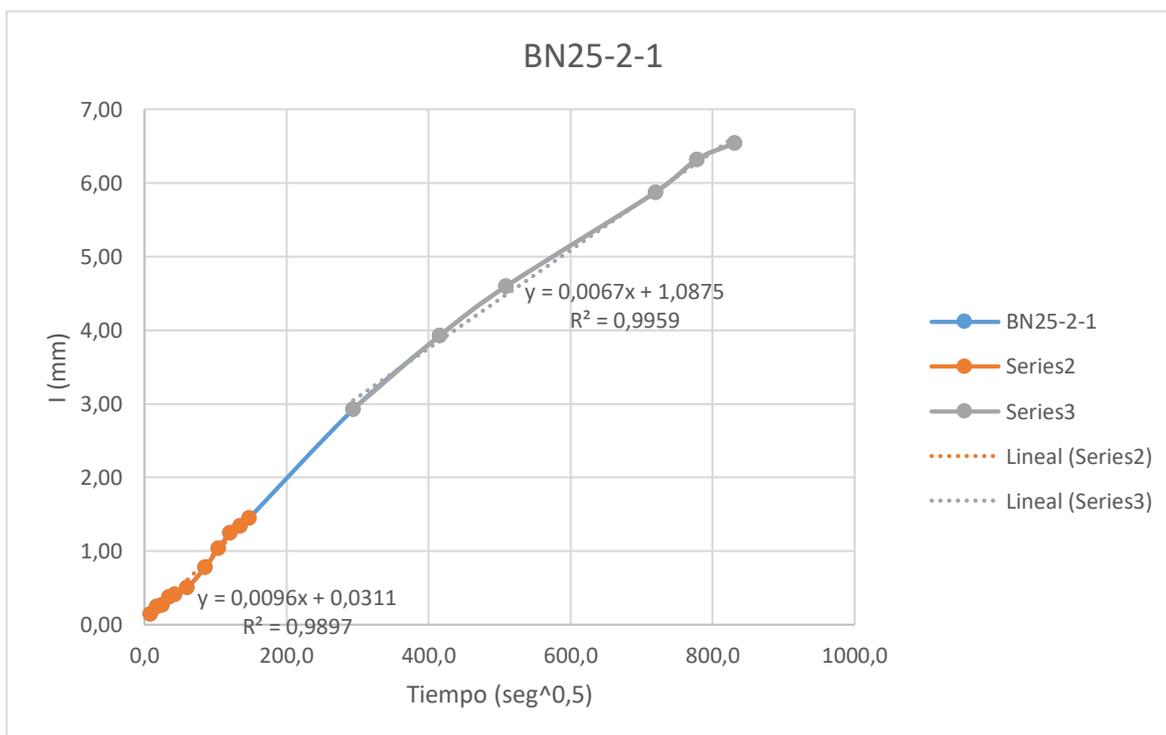
Espécimen:	AS25-2-1			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		751,07	0,00	0,00
60	7,75	751,89	0,82	0,10
300	17,32	752,36	1,29	0,16
600	24,49	752,72	1,65	0,21
1200	34,64	753,05	1,98	0,25
1800	42,43	753,12	2,05	0,26
3600	60,00	753,98	2,91	0,37
7200	84,85	754,62	3,55	0,45
10800	103,92	755,41	4,34	0,55
14400	120,00	756,01	4,94	0,63
18000	134,16	756,34	5,27	0,67
21600	146,97	756,62	5,55	0,71
86400	293,94	761,01	9,94	1,27
172800	415,69	763,28	12,21	1,55
259200	509,12	764,97	13,90	1,77
518400	720,00	768,27	17,20	2,19
604800	777,69	769,36	18,29	2,33
691200	831,38	770,18	19,11	2,43



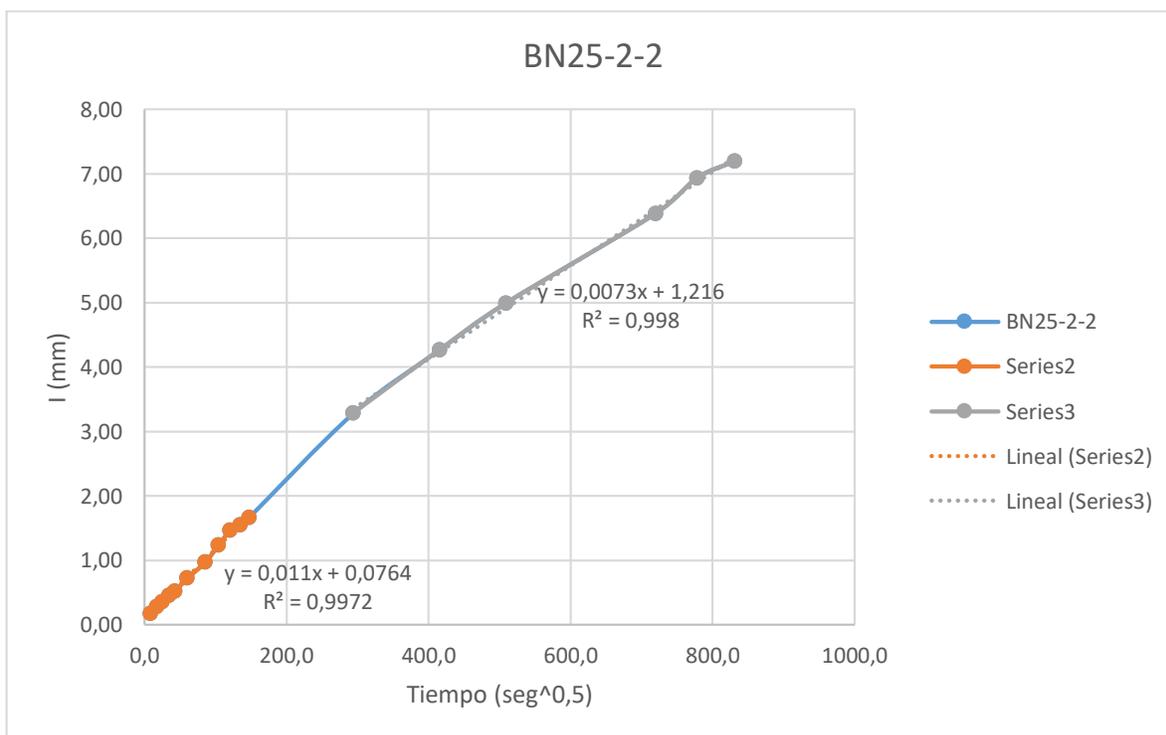
Espécimen:	AS25-2-2			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		766,23	0,00	0,00
60	7,75	766,99	0,76	0,10
300	17,32	767,46	1,23	0,16
600	24,49	767,69	1,46	0,19
1200	34,64	767,90	1,67	0,21
1800	42,43	768,08	1,85	0,24
3600	60,00	768,78	2,55	0,32
7200	84,85	769,47	3,24	0,41
10800	103,92	770,25	4,02	0,51
14400	120,00	770,91	4,68	0,60
18000	134,16	771,26	5,03	0,64
21600	146,97	771,54	5,31	0,68
86400	293,94	775,82	9,59	1,22
172800	415,69	777,87	11,64	1,48
259200	509,12	779,00	12,77	1,63
518400	720,00	782,55	16,32	2,08
604800	777,69	783,95	17,72	2,26
691200	831,38	784,88	18,65	2,37



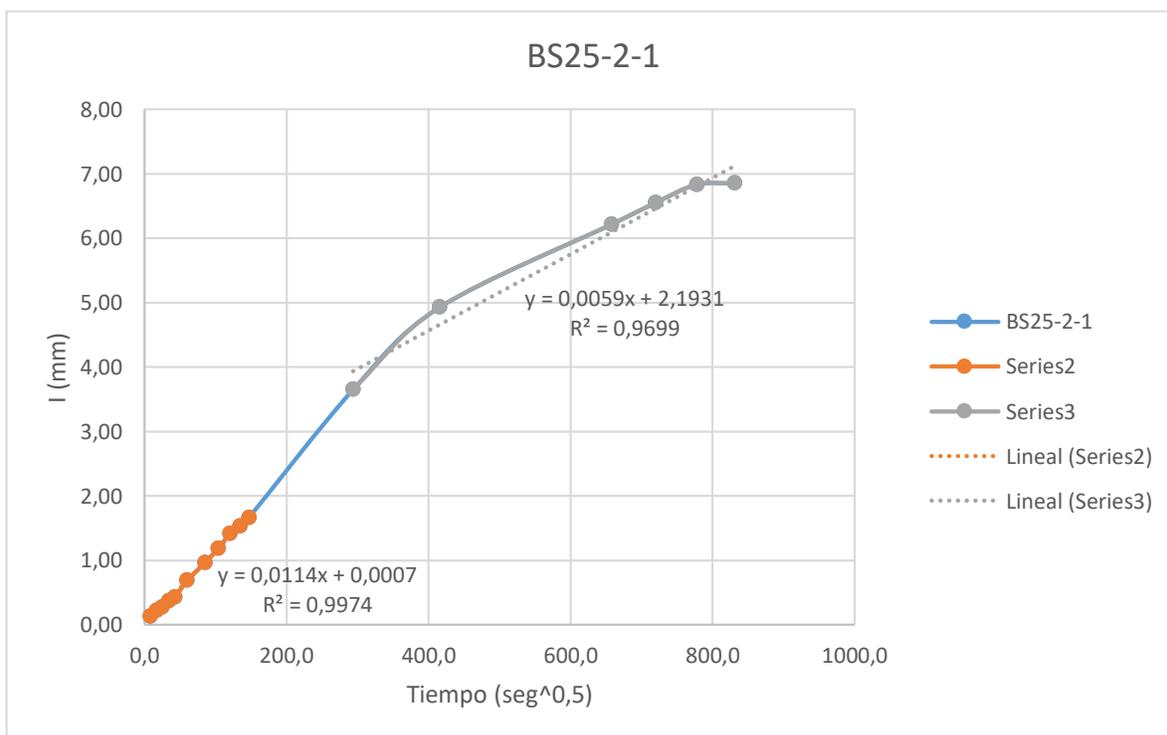
Espécimen:	BN25-2-1			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		759,17	0,00	0,00
60	7,75	760,32	1,15	0,15
300	17,32	761,10	1,93	0,25
600	24,49	761,27	2,10	0,27
1200	34,64	762,13	2,96	0,38
1800	42,43	762,41	3,24	0,41
3600	60,00	763,15	3,98	0,51
7200	84,85	765,28	6,11	0,78
10800	103,92	767,34	8,17	1,04
14400	120,00	768,94	9,77	1,24
18000	134,16	769,67	10,50	1,34
21600	146,97	770,55	11,38	1,45
86400	293,94	782,15	22,98	2,93
172800	415,69	790,00	30,83	3,93
259200	509,12	795,27	36,10	4,60
518400	720,00	805,31	46,14	5,87
604800	777,69	808,80	49,63	6,32
691200	831,38	810,53	51,36	6,54



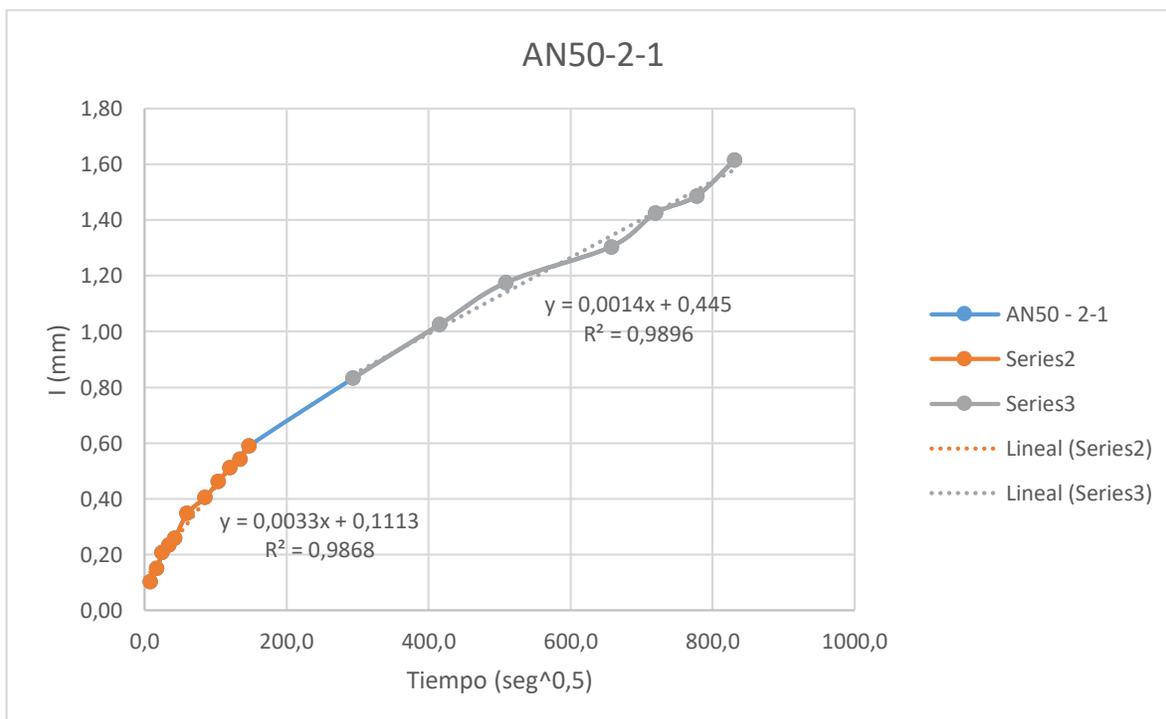
Espécimen:	BN25-2-2			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		759,12	0,00	0,00
60	7,75	760,50	1,38	0,18
300	17,32	761,33	2,21	0,28
600	24,49	761,88	2,76	0,35
1200	34,64	762,66	3,54	0,45
1800	42,43	763,22	4,10	0,52
3600	60,00	764,79	5,67	0,72
7200	84,85	766,73	7,61	0,97
10800	103,92	768,83	9,71	1,24
14400	120,00	770,62	11,50	1,46
18000	134,16	771,30	12,18	1,55
21600	146,97	772,20	13,08	1,67
86400	293,94	784,89	25,77	3,28
172800	415,69	792,64	33,52	4,27
259200	509,12	798,33	39,21	4,99
518400	720,00	809,26	50,14	6,38
604800	777,69	813,58	54,46	6,93
691200	831,38	815,63	56,51	7,20



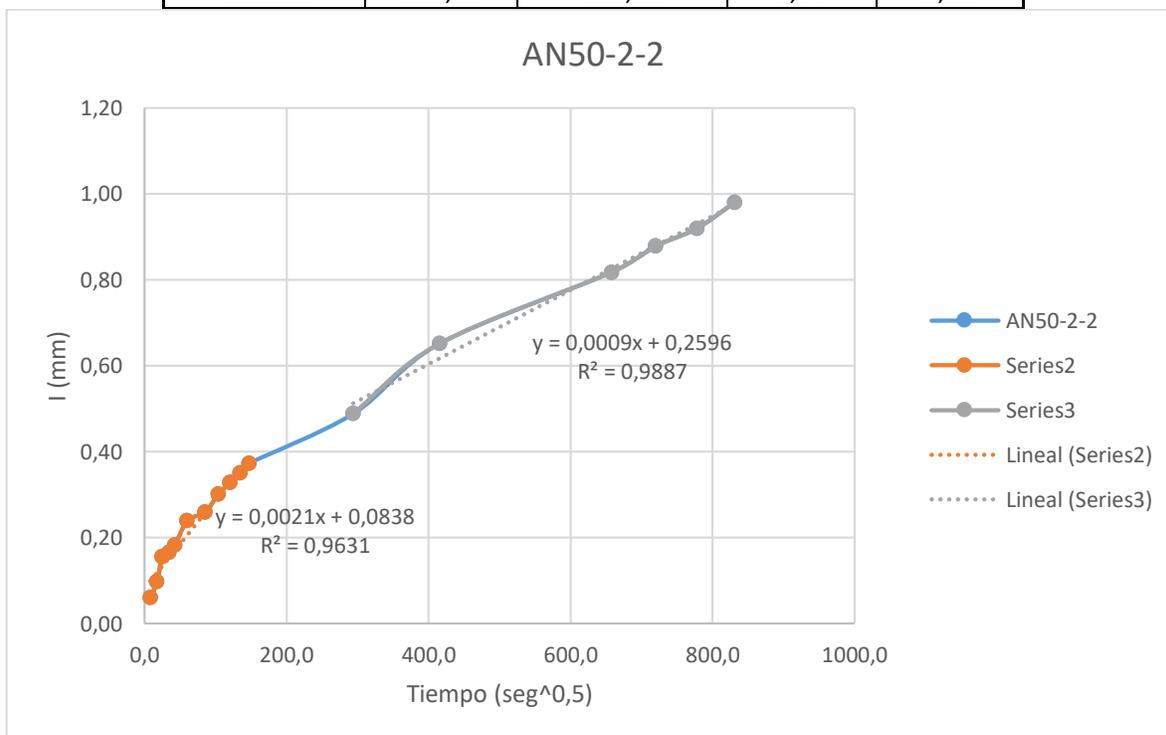
Espécimen:	BS25-2-1			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		769,69	0,00	0,00
60	7,75	770,72	1,03	0,13
300	17,32	771,42	1,73	0,22
600	24,49	771,84	2,15	0,27
1200	34,64	772,57	2,88	0,37
1800	42,43	773,07	3,38	0,43
3600	60,00	775,10	5,41	0,69
7200	84,85	777,27	7,58	0,97
10800	103,92	779,02	9,33	1,19
14400	120,00	780,80	11,11	1,41
18000	134,16	781,69	12,00	1,53
21600	146,97	782,78	13,09	1,67
86400	293,94	798,40	28,71	3,66
172800	415,69	808,42	38,73	4,93
432000	657,27	818,51	48,82	6,22
518400	720,00	821,18	51,49	6,56
604800	777,69	823,39	53,70	6,84
691200	831,38	823,55	53,86	6,86



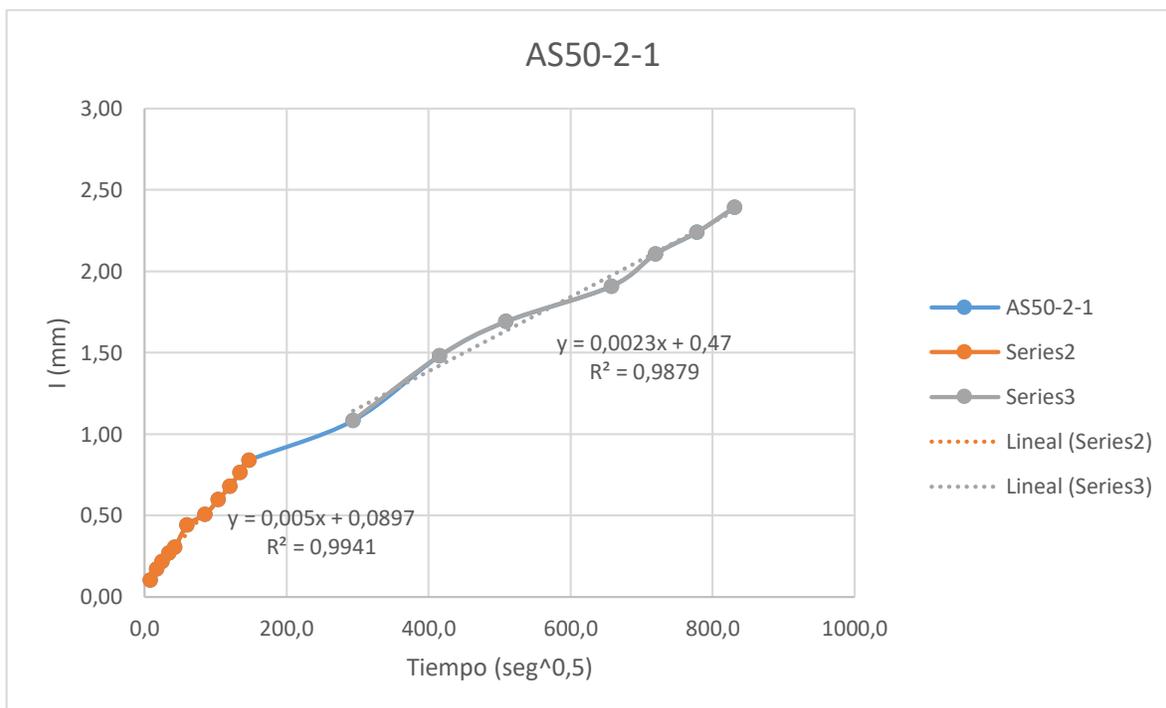
Espécimen:	AN50 - 2-1			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		786,57	0,00	0,00
60	7,75	787,38	0,81	0,10
300	17,32	787,75	1,18	0,15
600	24,49	788,20	1,63	0,21
1200	34,64	788,41	1,84	0,23
1800	42,43	788,61	2,04	0,26
3600	60,00	789,30	2,73	0,35
7200	84,85	789,75	3,18	0,40
10800	103,92	790,20	3,63	0,46
14400	120,00	790,59	4,02	0,51
18000	134,16	790,83	4,26	0,54
21600	146,97	791,20	4,63	0,59
86400	293,94	793,11	6,54	0,83
172800	415,69	794,62	8,05	1,02
259200	509,12	795,80	9,23	1,18
432000	657,27	796,81	10,24	1,30
518400	720,00	797,76	11,19	1,42
604800	777,69	798,24	11,67	1,49
691200	831,38	799,25	12,68	1,61



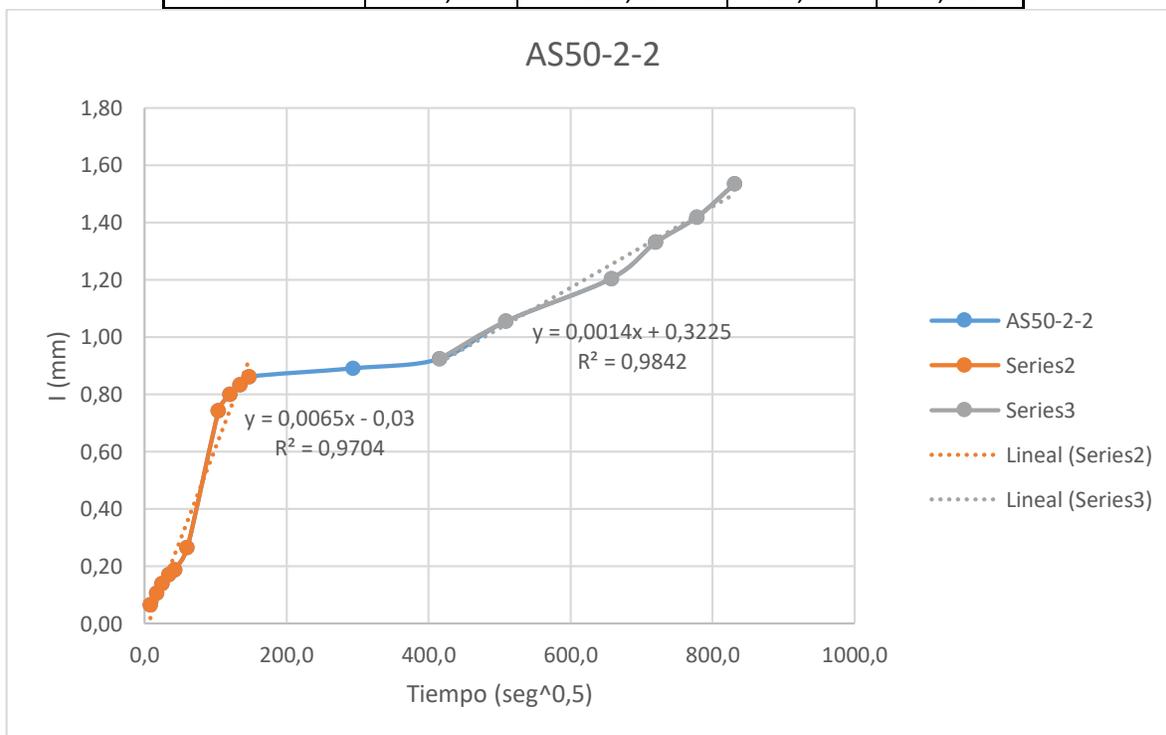
Espécimen:	AN50-2-2			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		809,85	0,00	0,00
60	7,75	810,33	0,48	0,06
300	17,32	810,62	0,77	0,10
600	24,49	811,08	1,23	0,16
1200	34,64	811,15	1,30	0,17
1800	42,43	811,29	1,44	0,18
3600	60,00	811,73	1,88	0,24
7200	84,85	811,89	2,04	0,26
10800	103,92	812,22	2,37	0,30
14400	120,00	812,43	2,58	0,33
18000	134,16	812,61	2,76	0,35
21600	146,97	812,78	2,93	0,37
86400	293,94	813,69	3,84	0,49
172800	415,69	814,97	5,12	0,65
432000	657,27	816,27	6,42	0,82
518400	720,00	816,75	6,90	0,88
604800	777,69	817,07	7,22	0,92
691200	831,38	817,55	7,70	0,98



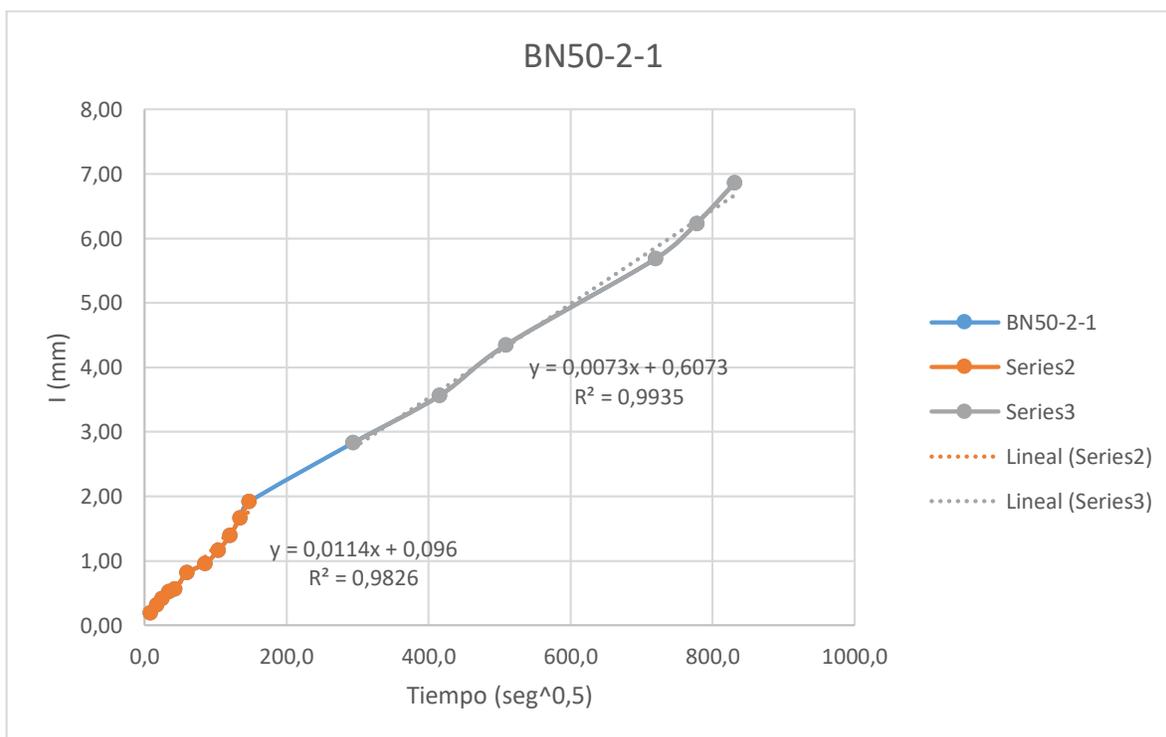
Espécimen:	AS50-2-1			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		803,97	0,00	0,00
60	7,75	804,79	0,82	0,10
300	17,32	805,33	1,36	0,17
600	24,49	805,68	1,71	0,22
1200	34,64	806,08	2,11	0,27
1800	42,43	806,38	2,41	0,31
3600	60,00	807,44	3,47	0,44
7200	84,85	807,96	3,99	0,51
10800	103,92	808,67	4,70	0,60
14400	120,00	809,32	5,35	0,68
18000	134,16	809,98	6,01	0,77
21600	146,97	810,57	6,60	0,84
86400	293,94	812,49	8,52	1,08
172800	415,69	815,61	11,64	1,48
259200	509,12	817,26	13,29	1,69
432000	657,27	818,96	14,99	1,91
518400	720,00	820,53	16,56	2,11
604800	777,69	821,56	17,59	2,24
691200	831,38	822,78	18,81	2,39



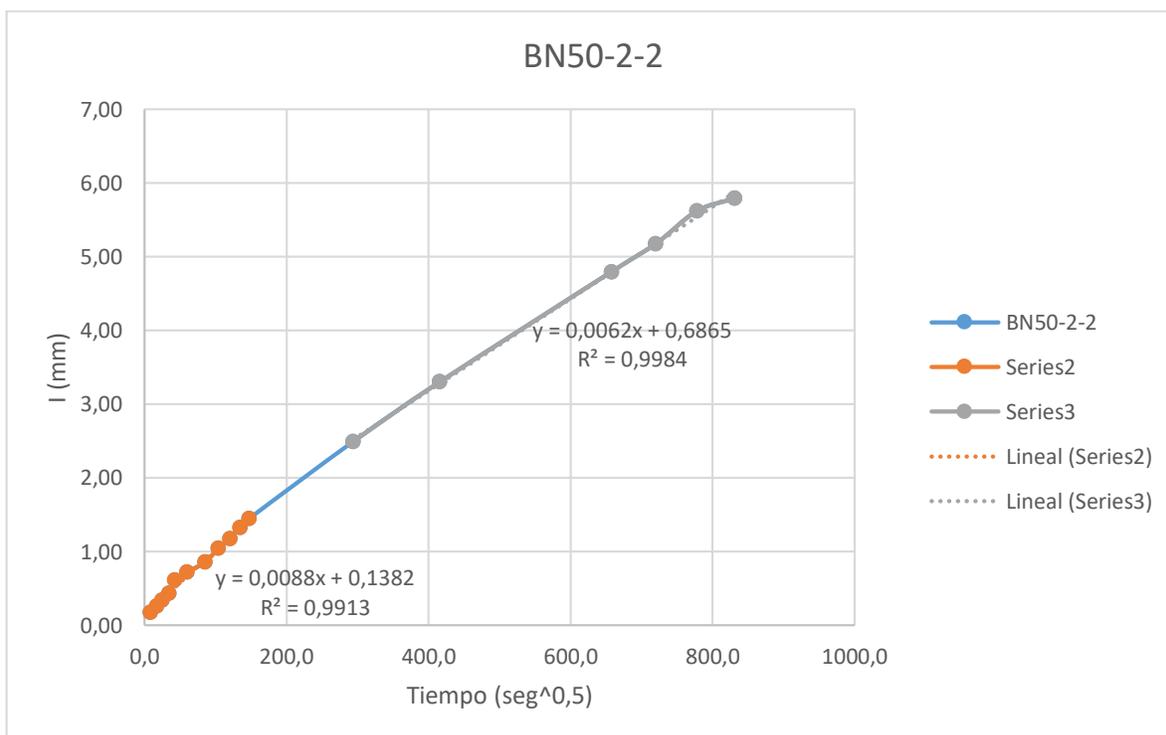
Espécimen:	AS50-2-2			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		829,11	0,00	0,00
60	7,75	829,62	0,51	0,06
300	17,32	829,95	0,84	0,11
600	24,49	830,20	1,09	0,14
1200	34,64	830,45	1,34	0,17
1800	42,43	830,59	1,48	0,19
3600	60,00	831,20	2,09	0,27
10800	103,92	834,94	5,83	0,74
14400	120,00	835,39	6,28	0,80
18000	134,16	835,65	6,54	0,83
21600	146,97	835,88	6,77	0,86
86400	293,94	836,11	7,00	0,89
172800	415,69	836,37	7,26	0,92
259200	509,12	837,40	8,29	1,06
432000	657,27	838,57	9,46	1,20
518400	720,00	839,56	10,45	1,33
604800	777,69	840,25	11,14	1,42
691200	831,38	841,17	12,06	1,54



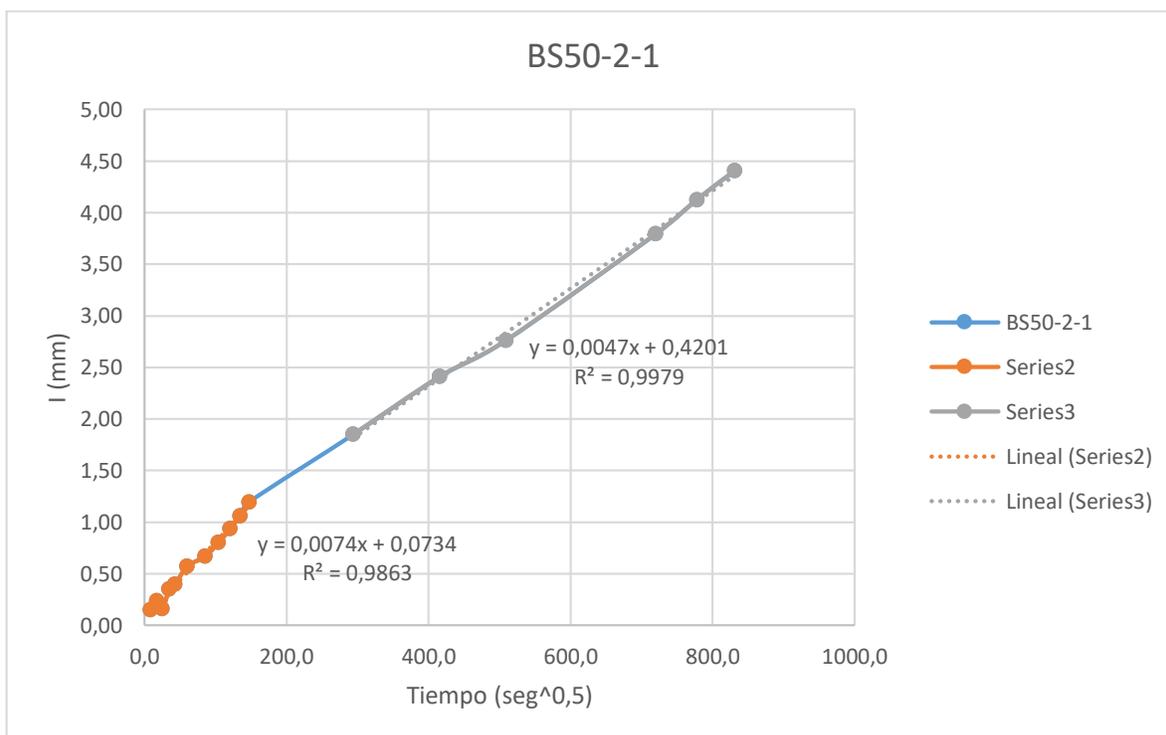
Espécimen:	BN50-2-1			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		769,12	0,00	0,00
60	7,75	770,63	1,51	0,19
300	17,32	771,56	2,44	0,31
600	24,49	772,39	3,27	0,42
1200	34,64	773,23	4,11	0,52
1800	42,43	773,54	4,42	0,56
3600	60,00	775,51	6,39	0,81
7200	84,85	776,64	7,52	0,96
10800	103,92	778,24	9,12	1,16
14400	120,00	780,06	10,94	1,39
18000	134,16	782,20	13,08	1,67
21600	146,97	784,15	15,03	1,91
86400	293,94	791,37	22,25	2,83
172800	415,69	797,10	27,98	3,56
259200	509,12	803,26	34,14	4,35
518400	720,00	813,75	44,63	5,68
604800	777,69	818,04	48,92	6,23
691200	831,38	822,97	53,85	6,86



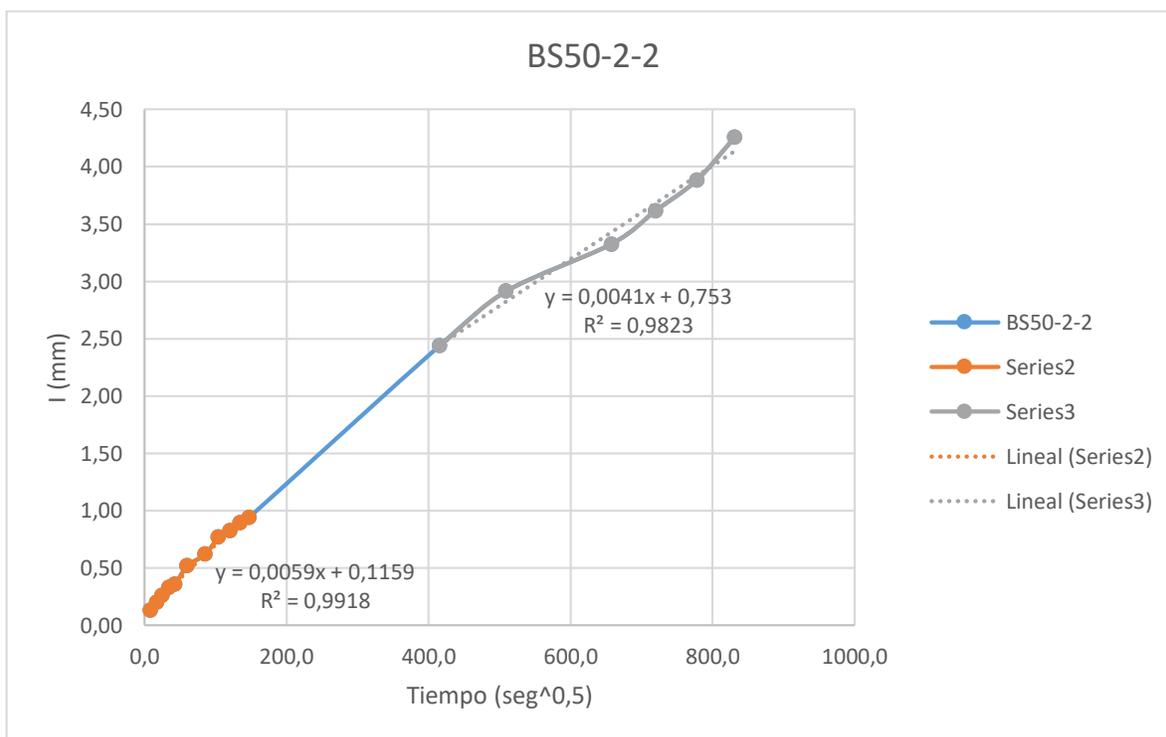
Espécimen:	BN50-2-2			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		748,77	0,00	0,00
60	7,75	750,11	1,34	0,17
300	17,32	750,84	2,07	0,26
600	24,49	751,44	2,67	0,34
1200	34,64	752,17	3,40	0,43
1800	42,43	753,59	4,82	0,61
3600	60,00	754,43	5,66	0,72
7200	84,85	755,48	6,71	0,85
10800	103,92	756,98	8,21	1,05
14400	120,00	758,01	9,24	1,18
18000	134,16	759,17	10,40	1,32
21600	146,97	760,12	11,35	1,45
86400	293,94	768,35	19,58	2,49
172800	415,69	774,70	25,93	3,30
432000	657,27	786,42	37,65	4,79
518400	720,00	789,40	40,63	5,17
604800	777,69	792,90	44,13	5,62
691200	831,38	794,26	45,49	5,79



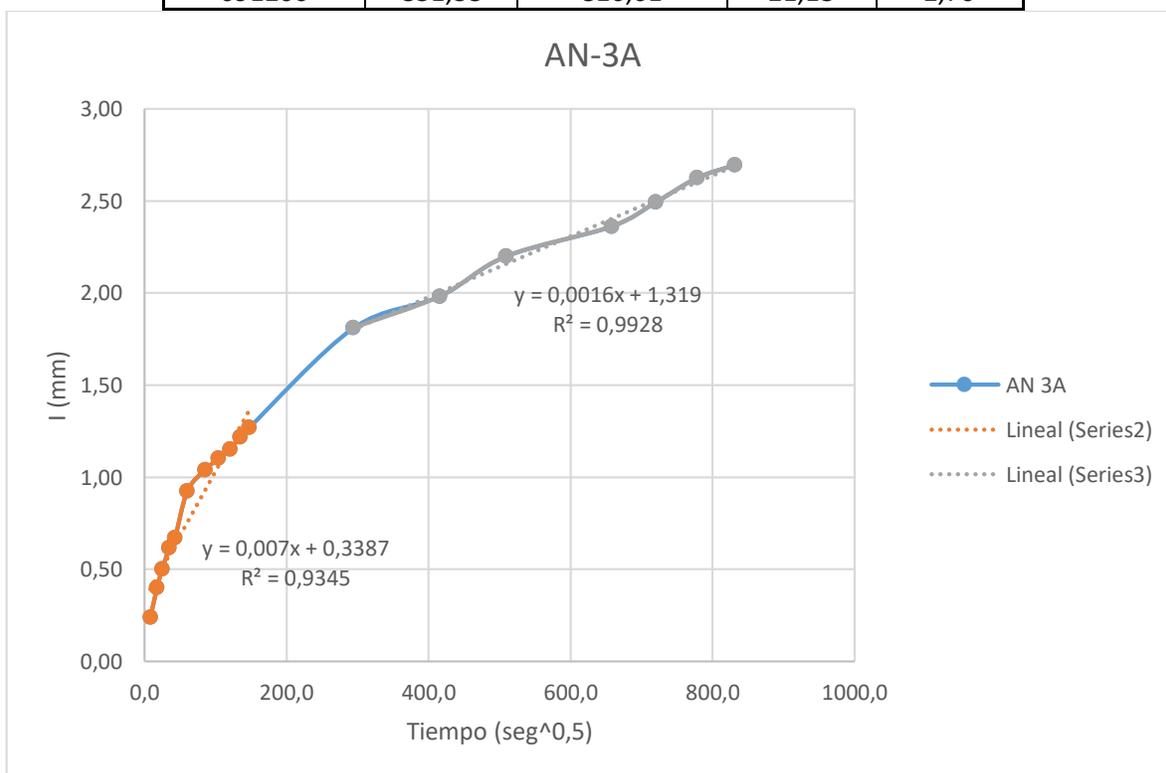
Espécimen:	BS50-2-1			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		726,75	0,00	0,00
60	7,75	727,92	1,17	0,15
300	17,32	728,60	1,85	0,24
600	24,49	728,00	1,25	0,16
1200	34,64	729,49	2,74	0,35
1800	42,43	729,87	3,12	0,40
3600	60,00	731,25	4,50	0,57
7200	84,85	732,00	5,25	0,67
10800	103,92	733,05	6,30	0,80
14400	120,00	734,10	7,35	0,94
18000	134,16	735,08	8,33	1,06
21600	146,97	736,14	9,39	1,20
86400	293,94	741,28	14,53	1,85
172800	415,69	745,68	18,93	2,41
259200	509,12	748,43	21,68	2,76
518400	720,00	756,53	29,78	3,79
604800	777,69	759,14	32,39	4,12
691200	831,38	761,35	34,60	4,41



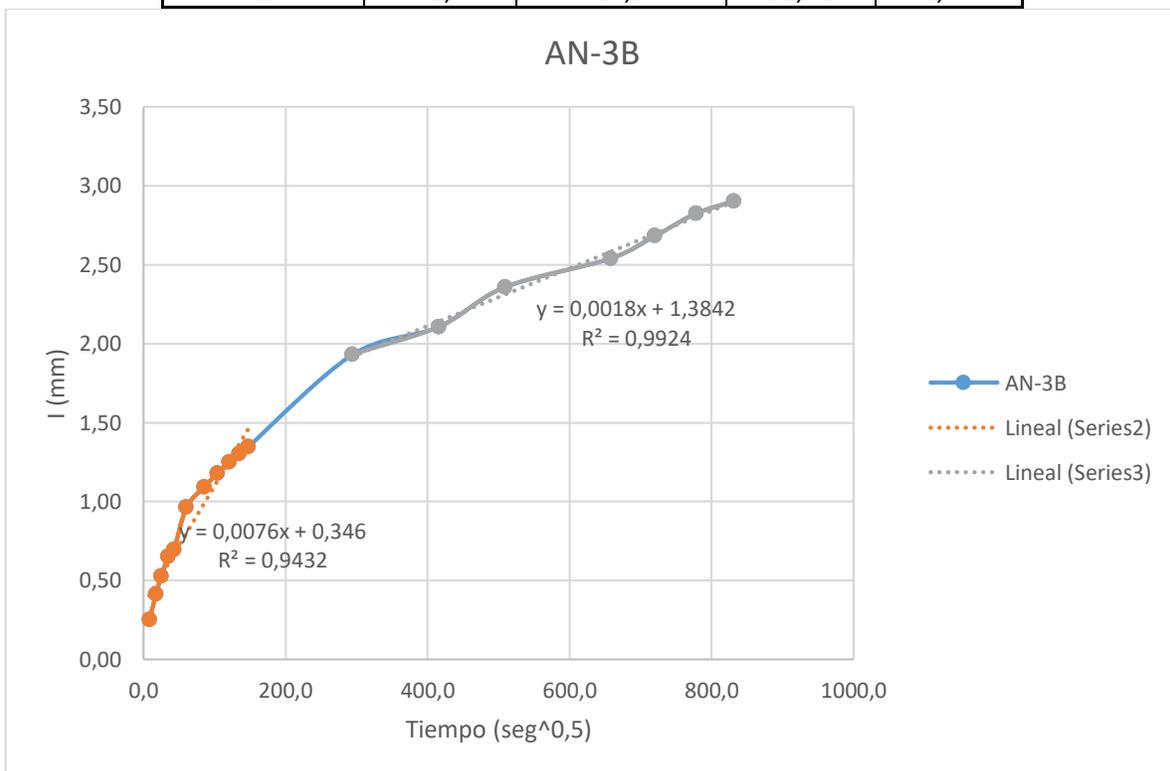
Espécimen:	BS50-2-2			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		757,64	0,00	0,00
60	7,75	758,67	1,03	0,13
300	17,32	759,22	1,58	0,20
600	24,49	759,68	2,04	0,26
1200	34,64	760,22	2,58	0,33
1800	42,43	760,44	2,80	0,36
3600	60,00	761,72	4,08	0,52
7200	84,85	762,50	4,86	0,62
10800	103,92	763,66	6,02	0,77
14400	120,00	764,10	6,46	0,82
18000	134,16	764,65	7,01	0,89
21600	146,97	765,04	7,40	0,94
172800	415,69	776,81	19,17	2,44
259200	509,12	780,52	22,88	2,91
432000	657,27	783,75	26,11	3,32
518400	720,00	786,04	28,40	3,62
604800	777,69	788,12	30,48	3,88
691200	831,38	791,06	33,42	4,26



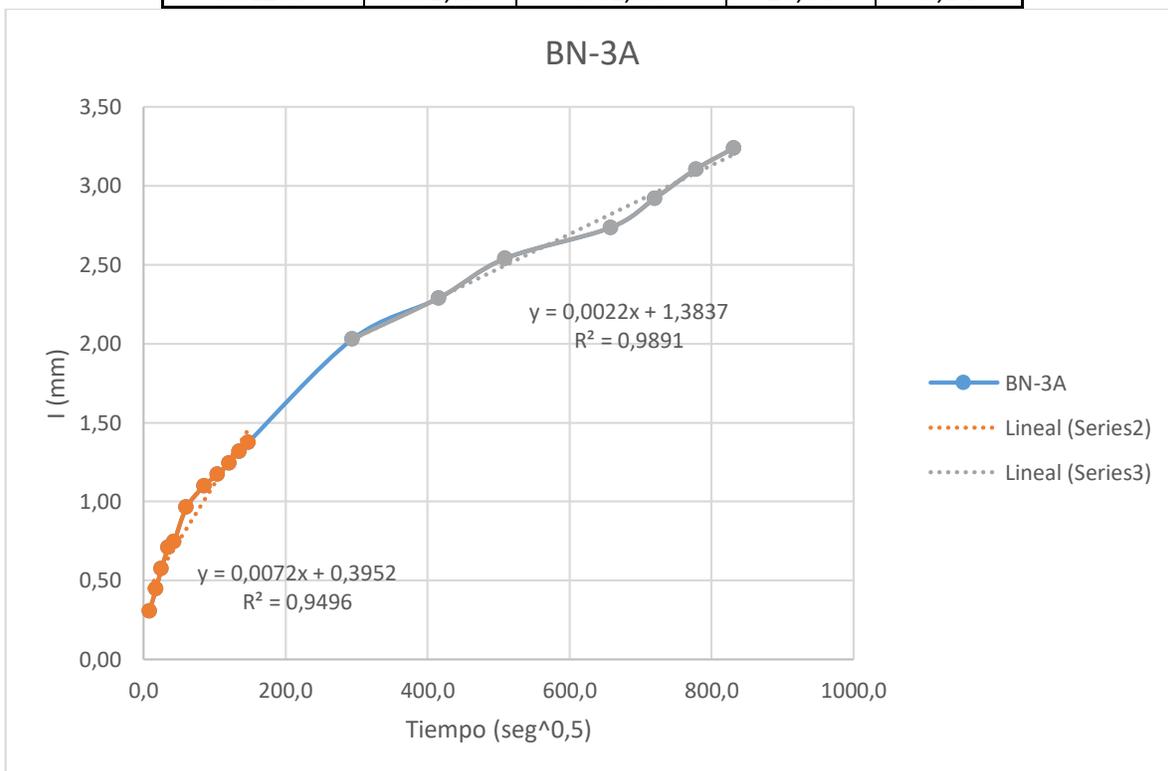
Espécimen:	AN 3A			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		795,43	0,00	0,00
60	7,75	797,31	1,88	0,24
300	17,32	798,58	3,15	0,40
600	24,49	799,37	3,94	0,50
1200	34,64	800,27	4,84	0,62
1800	42,43	800,71	5,28	0,67
3600	60,00	802,70	7,27	0,93
7200	84,85	803,60	8,17	1,04
10800	103,92	804,09	8,66	1,10
14400	120,00	804,48	9,05	1,15
18000	134,16	805,00	9,57	1,22
21600	146,97	805,40	9,97	1,27
86400	293,94	809,65	14,22	1,81
172800	415,69	811,00	15,57	1,98
259200	509,12	812,71	17,28	2,20
432000	657,27	813,98	18,55	2,36
518400	720,00	815,02	19,59	2,49
604800	777,69	816,05	20,62	2,63
691200	831,38	816,61	21,18	2,70



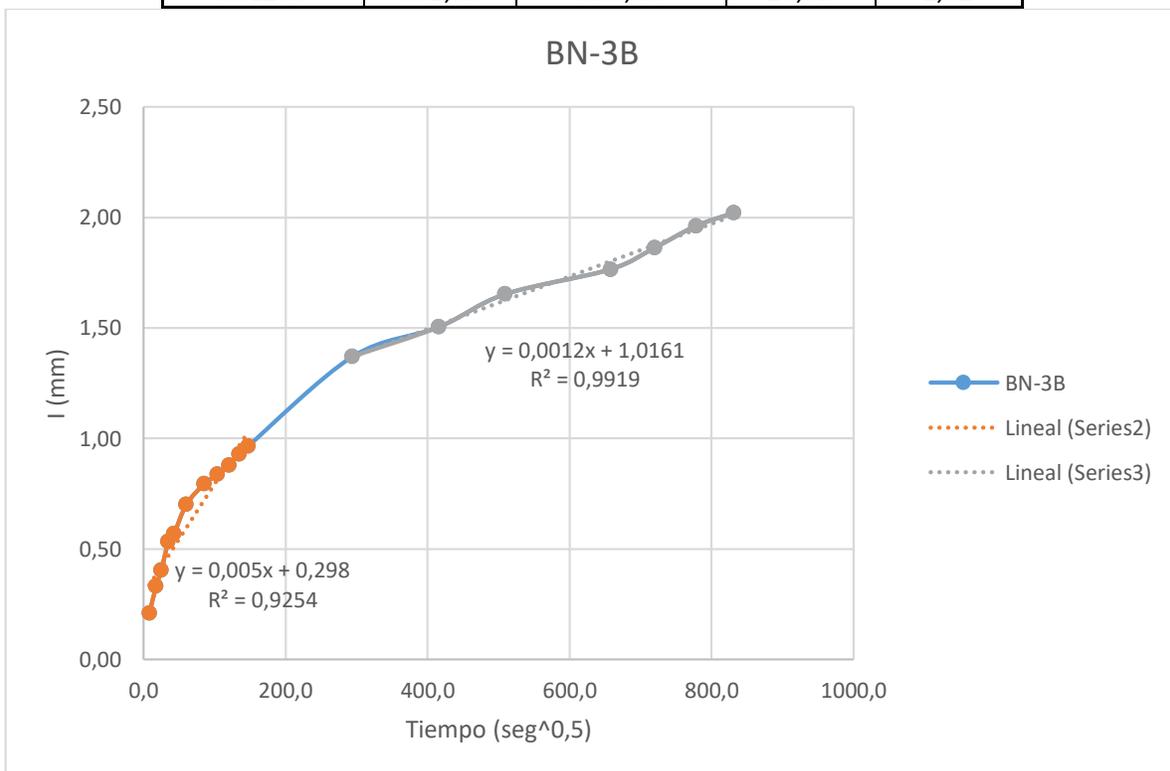
Espécimen:	AN-3B			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		791,45	0,00	0,00
60	7,75	793,43	1,98	0,25
300	17,32	794,69	3,24	0,41
600	24,49	795,60	4,15	0,53
1200	34,64	796,56	5,11	0,65
1800	42,43	796,92	5,47	0,70
3600	60,00	799,01	7,56	0,96
7200	84,85	800,03	8,58	1,09
10800	103,92	800,70	9,25	1,18
14400	120,00	801,26	9,81	1,25
18000	134,16	801,69	10,24	1,30
21600	146,97	802,03	10,58	1,35
86400	293,94	806,62	15,17	1,93
172800	415,69	808,00	16,55	2,11
259200	509,12	809,98	18,53	2,36
432000	657,27	811,40	19,95	2,54
518400	720,00	812,52	21,07	2,68
604800	777,69	813,64	22,19	2,83
691200	831,38	814,26	22,81	2,90



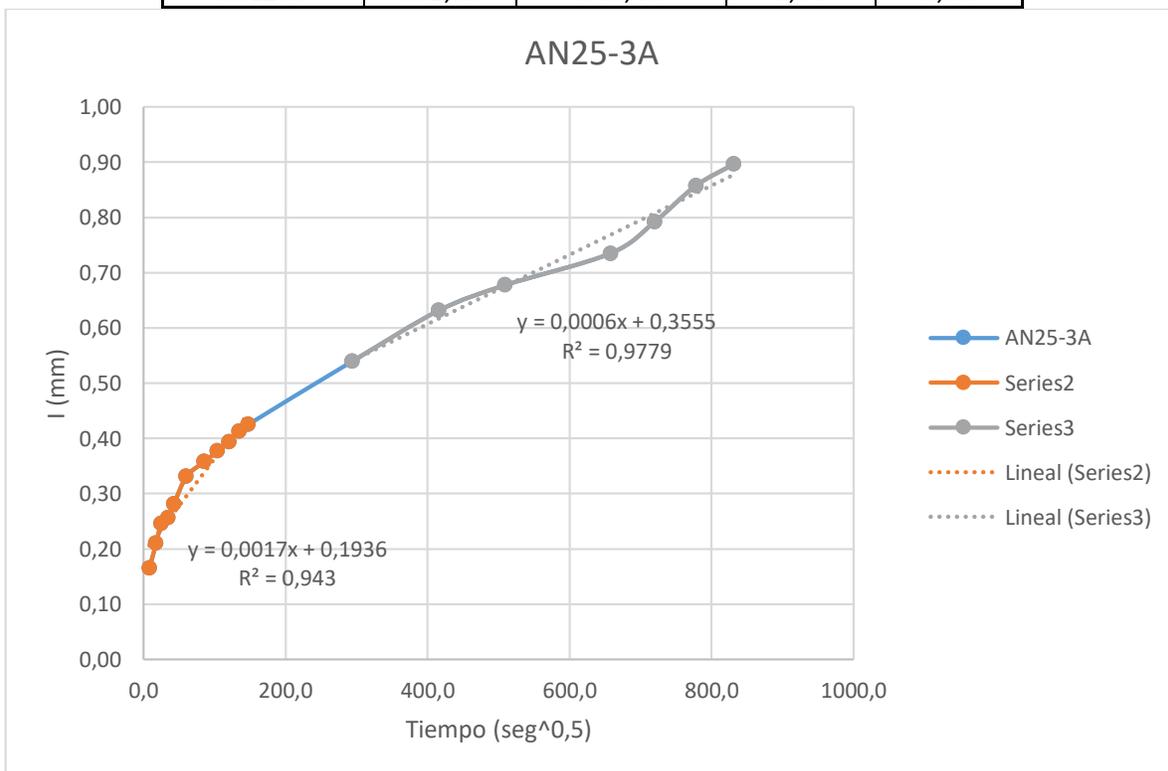
Espécimen:	BN-3A			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		817,14	0,00	0,00
60	7,75	819,55	2,41	0,31
300	17,32	820,66	3,52	0,45
600	24,49	821,64	4,50	0,57
1200	34,64	822,70	5,56	0,71
1800	42,43	823,01	5,87	0,75
3600	60,00	824,70	7,56	0,96
7200	84,85	825,78	8,64	1,10
10800	103,92	826,35	9,21	1,17
14400	120,00	826,90	9,76	1,24
18000	134,16	827,48	10,34	1,32
21600	146,97	827,94	10,80	1,38
86400	293,94	833,08	15,94	2,03
172800	415,69	835,12	17,98	2,29
259200	509,12	837,09	19,95	2,54
432000	657,27	838,62	21,48	2,73
518400	720,00	840,08	22,94	2,92
604800	777,69	841,53	24,39	3,11
691200	831,38	842,58	25,44	3,24



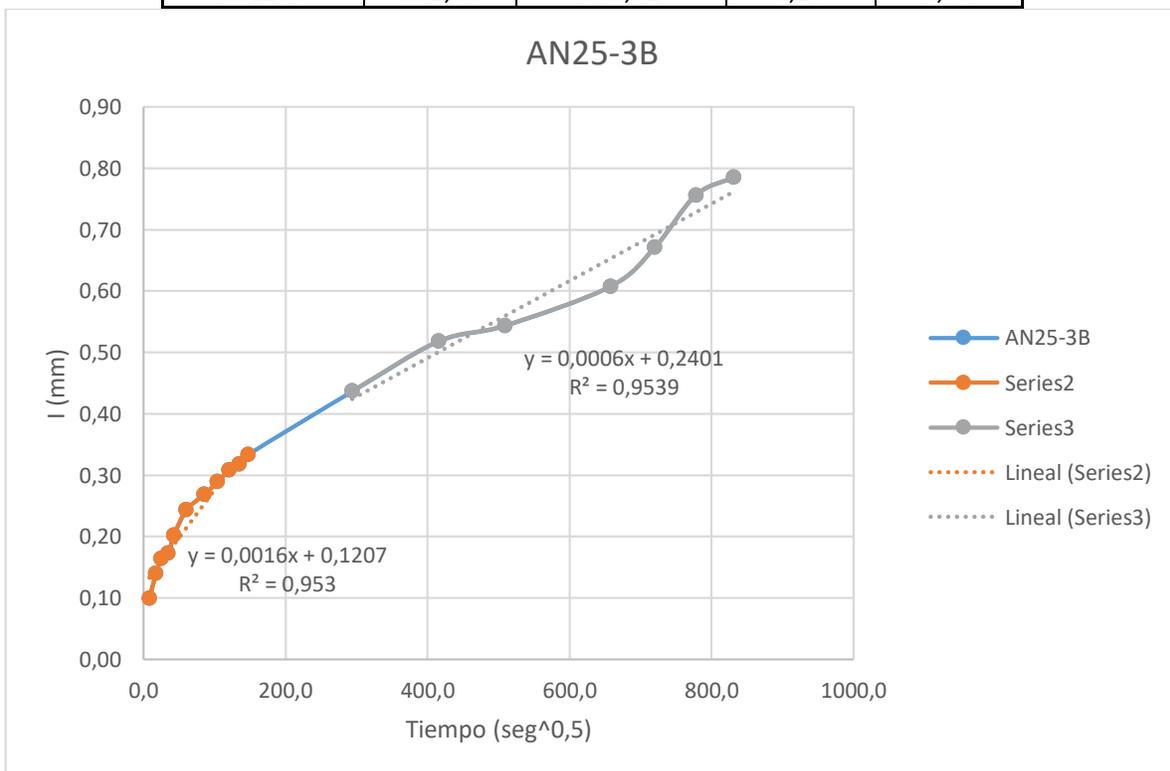
Espécimen:	BN-3B			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		819,79	0,00	0,00
60	7,75	821,43	1,64	0,21
300	17,32	822,39	2,60	0,33
600	24,49	822,96	3,17	0,40
1200	34,64	823,98	4,19	0,53
1800	42,43	824,25	4,46	0,57
3600	60,00	825,30	5,51	0,70
7200	84,85	826,02	6,23	0,79
10800	103,92	826,36	6,57	0,84
14400	120,00	826,68	6,89	0,88
18000	134,16	827,08	7,29	0,93
21600	146,97	827,37	7,58	0,97
86400	293,94	830,55	10,76	1,37
172800	415,69	831,60	11,81	1,50
259200	509,12	832,77	12,98	1,65
432000	657,27	833,65	13,86	1,76
518400	720,00	834,42	14,63	1,86
604800	777,69	835,19	15,40	1,96
691200	831,38	835,66	15,87	2,02



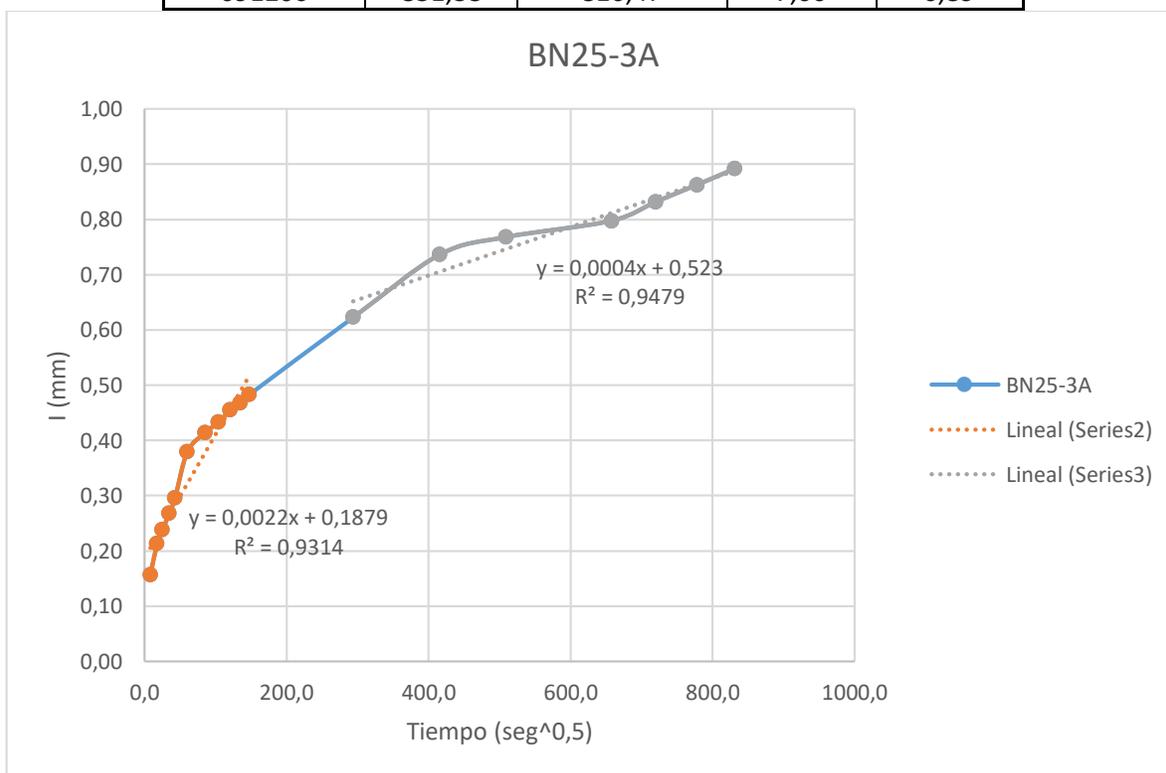
Espécimen:	AN25-3A			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		838,36	0,00	0,00
60	7,75	839,66	1,30	0,17
300	17,32	840,01	1,65	0,21
600	24,49	840,29	1,93	0,25
1200	34,64	840,37	2,01	0,26
1800	42,43	840,57	2,21	0,28
3600	60,00	840,96	2,60	0,33
7200	84,85	841,17	2,81	0,36
10800	103,92	841,32	2,96	0,38
14400	120,00	841,45	3,09	0,39
18000	134,16	841,60	3,24	0,41
21600	146,97	841,70	3,34	0,43
86400	293,94	842,60	4,24	0,54
172800	415,69	843,32	4,96	0,63
259200	509,12	843,68	5,32	0,68
432000	657,27	844,13	5,77	0,73
518400	720,00	844,58	6,22	0,79
604800	777,69	845,09	6,73	0,86
691200	831,38	845,40	7,04	0,90



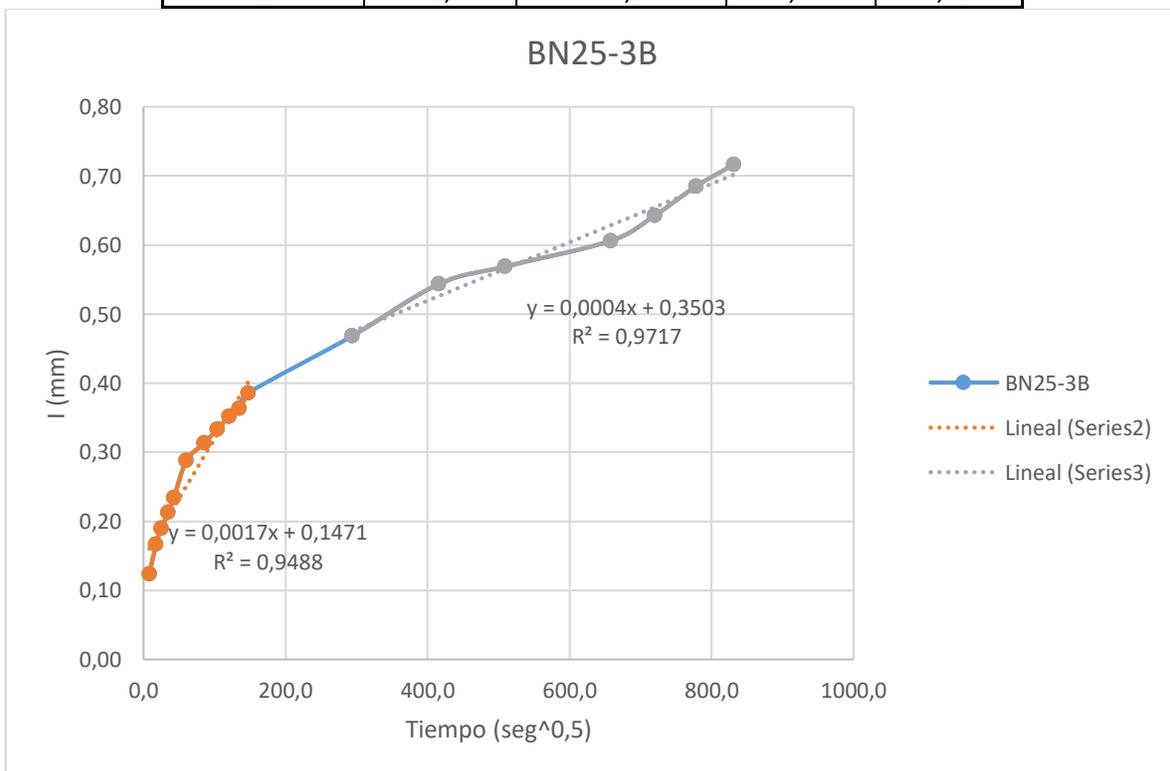
Espécimen:	AN25-3B			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		842,35	0,00	0,00
60	7,75	843,13	0,78	0,10
300	17,32	843,45	1,10	0,14
600	24,49	843,64	1,29	0,16
1200	34,64	843,71	1,36	0,17
1800	42,43	843,94	1,59	0,20
3600	60,00	844,26	1,91	0,24
7200	84,85	844,46	2,11	0,27
10800	103,92	844,62	2,27	0,29
14400	120,00	844,77	2,42	0,31
18000	134,16	844,85	2,50	0,32
21600	146,97	844,97	2,62	0,33
86400	293,94	845,78	3,43	0,44
172800	415,69	846,42	4,07	0,52
259200	509,12	846,62	4,27	0,54
432000	657,27	847,12	4,77	0,61
518400	720,00	847,62	5,27	0,67
604800	777,69	848,29	5,94	0,76
691200	831,38	848,52	6,17	0,79



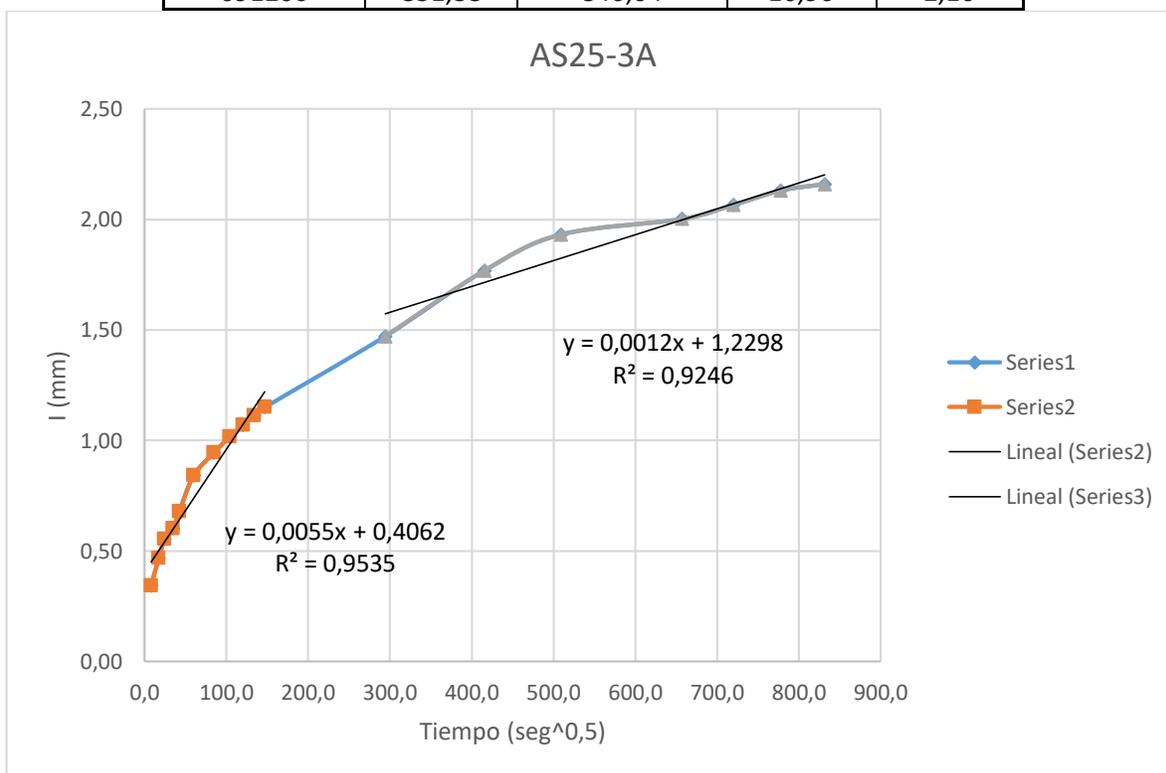
Espécimen:	BN25-3A			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		809,47	0,00	0,00
60	7,75	810,70	1,23	0,16
300	17,32	811,14	1,67	0,21
600	24,49	811,34	1,87	0,24
1200	34,64	811,57	2,10	0,27
1800	42,43	811,79	2,32	0,30
3600	60,00	812,45	2,98	0,38
7200	84,85	812,72	3,25	0,41
10800	103,92	812,87	3,40	0,43
14400	120,00	813,04	3,57	0,45
18000	134,16	813,14	3,67	0,47
21600	146,97	813,26	3,79	0,48
86400	293,94	814,36	4,89	0,62
172800	415,69	815,25	5,78	0,74
259200	509,12	815,50	6,03	0,77
432000	657,27	815,73	6,26	0,80
518400	720,00	816,00	6,53	0,83
604800	777,69	816,24	6,77	0,86
691200	831,38	816,47	7,00	0,89



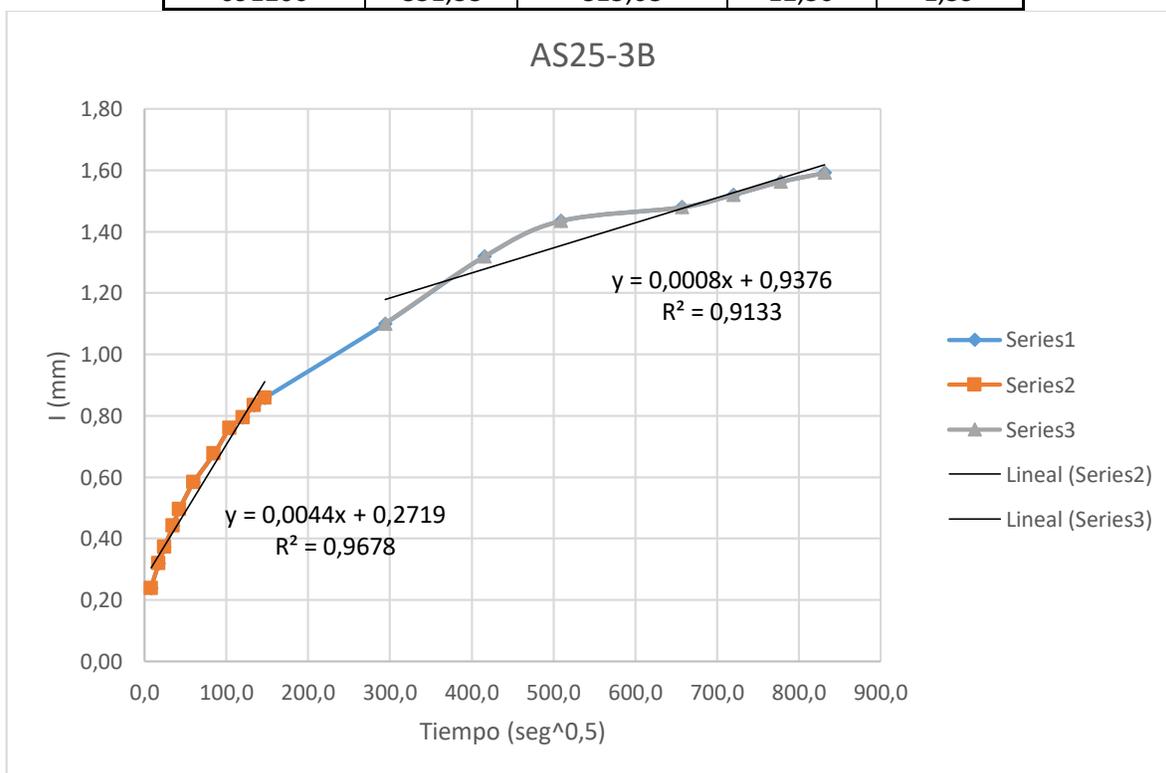
Espécimen:	BN25-3B			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		828,62	0,00	0,00
60	7,75	829,59	0,97	0,12
300	17,32	829,93	1,31	0,17
600	24,49	830,11	1,49	0,19
1200	34,64	830,29	1,67	0,21
1800	42,43	830,46	1,84	0,23
3600	60,00	830,88	2,26	0,29
7200	84,85	831,08	2,46	0,31
10800	103,92	831,24	2,62	0,33
14400	120,00	831,38	2,76	0,35
18000	134,16	831,47	2,85	0,36
21600	146,97	831,65	3,03	0,39
86400	293,94	832,30	3,68	0,47
172800	415,69	832,89	4,27	0,54
259200	509,12	833,09	4,47	0,57
432000	657,27	833,38	4,76	0,61
518400	720,00	833,67	5,05	0,64
604800	777,69	834,00	5,38	0,69
691200	831,38	834,25	5,63	0,72



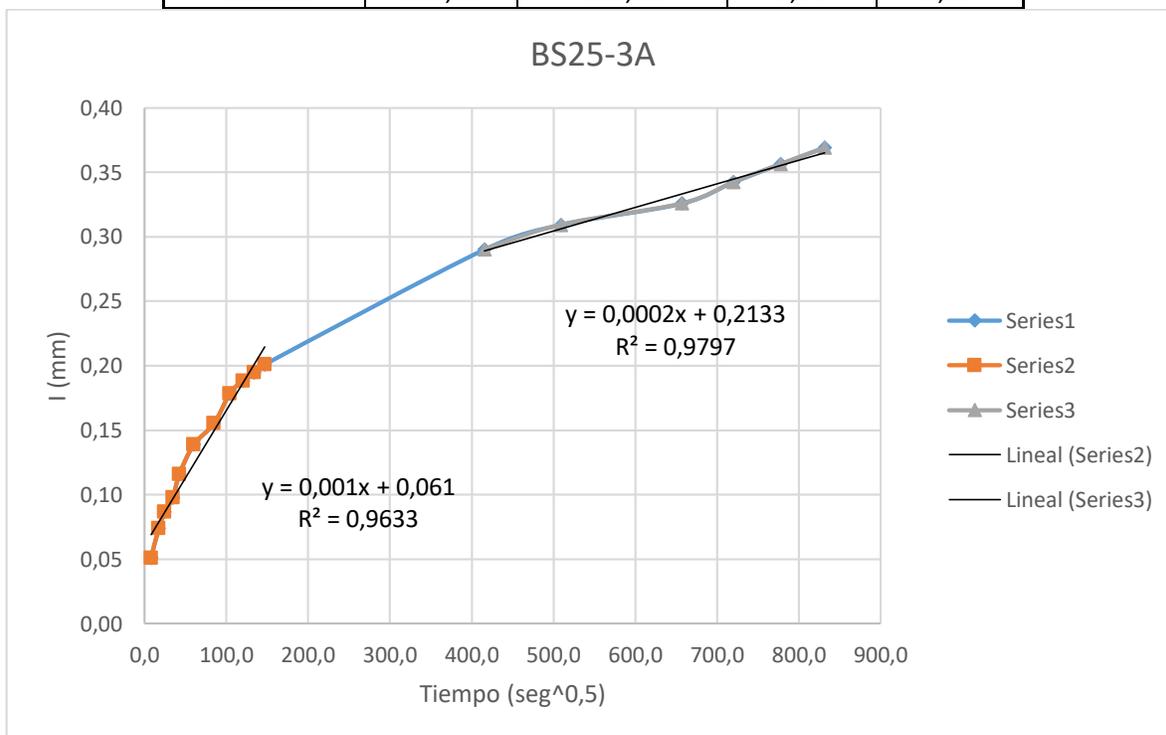
Espécimen:	AS25-3A			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		829,08	0,00	0,00
60	7,75	831,76	2,68	0,34
300	17,32	832,75	3,67	0,47
600	24,49	833,42	4,34	0,55
1200	34,64	833,80	4,72	0,60
1800	42,43	834,41	5,33	0,68
3600	60,00	835,69	6,61	0,84
7200	84,85	836,50	7,42	0,94
10800	103,92	837,06	7,98	1,02
14400	120,00	837,47	8,39	1,07
18000	134,16	837,82	8,74	1,11
21600	146,97	838,11	9,03	1,15
86400	293,94	840,63	11,55	1,47
172800	415,69	842,97	13,89	1,77
259200	509,12	844,25	15,17	1,93
432000	657,27	844,80	15,72	2,00
518400	720,00	845,30	16,22	2,07
604800	777,69	845,81	16,73	2,13
691200	831,38	846,04	16,96	2,16



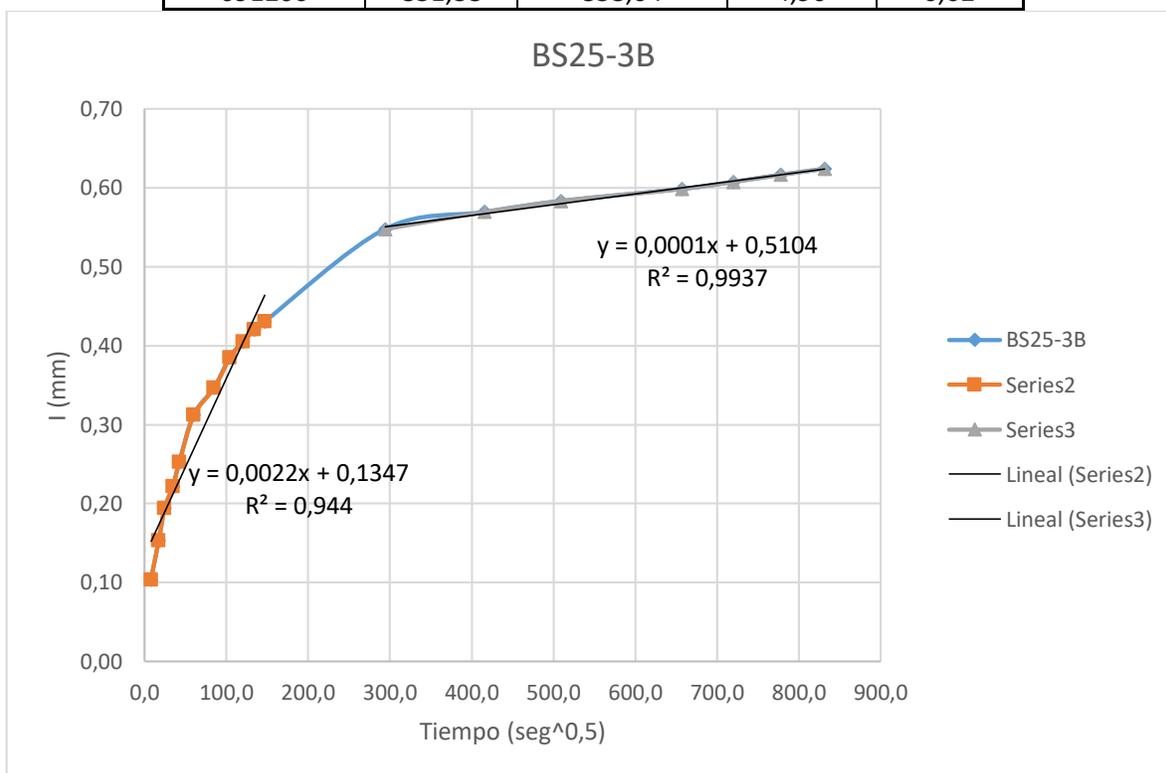
Espécimen:	AS25-3B			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		803,18	0,00	0,00
60	7,75	805,05	1,87	0,24
300	17,32	805,68	2,50	0,32
600	24,49	806,10	2,92	0,37
1200	34,64	806,65	3,47	0,44
1800	42,43	807,07	3,89	0,50
3600	60,00	807,76	4,58	0,58
7200	84,85	808,49	5,31	0,68
10800	103,92	809,14	5,96	0,76
14400	120,00	809,42	6,24	0,79
18000	134,16	809,73	6,55	0,83
21600	146,97	809,92	6,74	0,86
86400	293,94	811,82	8,64	1,10
172800	415,69	813,54	10,36	1,32
259200	509,12	814,45	11,27	1,43
432000	657,27	814,80	11,62	1,48
518400	720,00	815,12	11,94	1,52
604800	777,69	815,45	12,27	1,56
691200	831,38	815,68	12,50	1,59



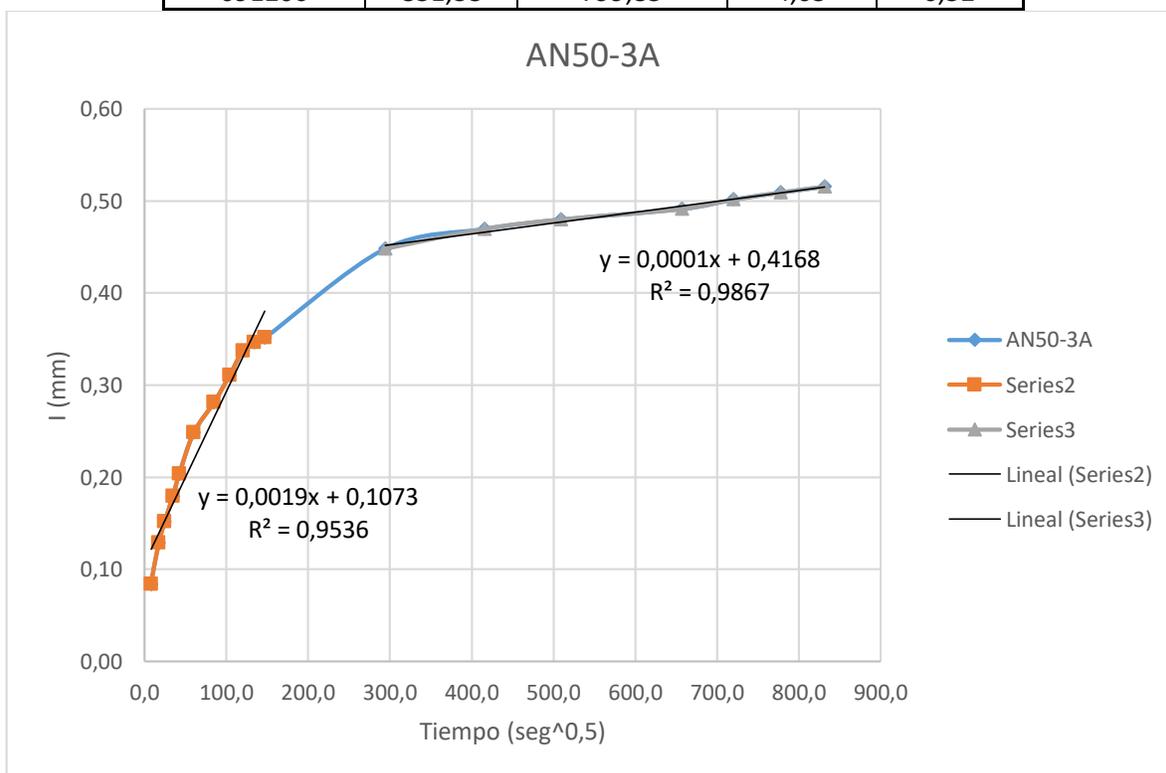
Espécimen:	BS25-3A			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		824,20	0,00	0,00
60	7,75	824,60	0,40	0,05
300	17,32	824,78	0,58	0,07
600	24,49	824,88	0,68	0,09
1200	34,64	824,97	0,77	0,10
1800	42,43	825,11	0,91	0,12
3600	60,00	825,29	1,09	0,14
7200	84,85	825,42	1,22	0,16
10800	103,92	825,60	1,40	0,18
14400	120,00	825,68	1,48	0,19
18000	134,16	825,73	1,53	0,19
21600	146,97	825,78	1,58	0,20
172800	415,69	826,48	2,28	0,29
259200	509,12	826,63	2,43	0,31
432000	657,27	826,76	2,56	0,33
518400	720,00	826,89	2,69	0,34
604800	777,69	827,00	2,80	0,36
691200	831,38	827,10	2,90	0,37



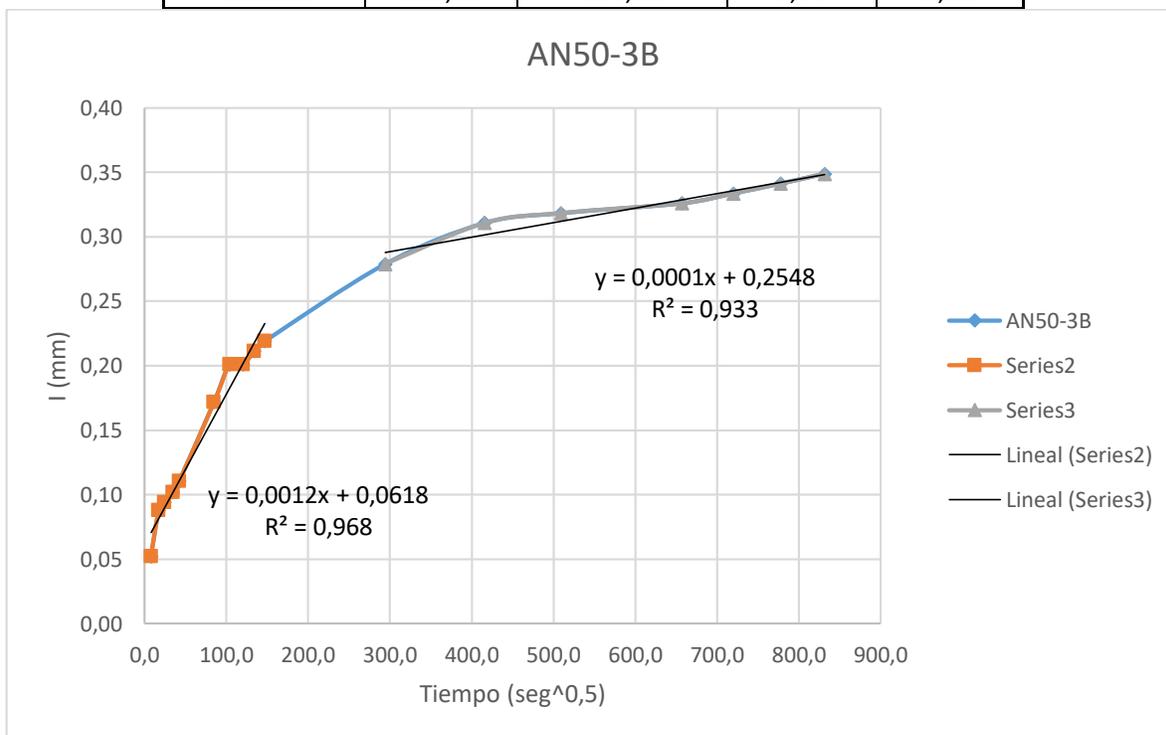
Espécimen:	BS25-3B			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		833,14	0,00	0,00
60	7,75	833,95	0,81	0,10
300	17,32	834,34	1,20	0,15
600	24,49	834,66	1,52	0,19
1200	34,64	834,88	1,74	0,22
1800	42,43	835,12	1,98	0,25
3600	60,00	835,59	2,45	0,31
7200	84,85	835,86	2,72	0,35
10800	103,92	836,16	3,02	0,38
14400	120,00	836,32	3,18	0,40
18000	134,16	836,44	3,30	0,42
21600	146,97	836,52	3,38	0,43
86400	293,94	837,44	4,30	0,55
172800	415,69	837,61	4,47	0,57
259200	509,12	837,72	4,58	0,58
432000	657,27	837,84	4,70	0,60
518400	720,00	837,91	4,77	0,61
604800	777,69	837,98	4,84	0,62
691200	831,38	838,04	4,90	0,62



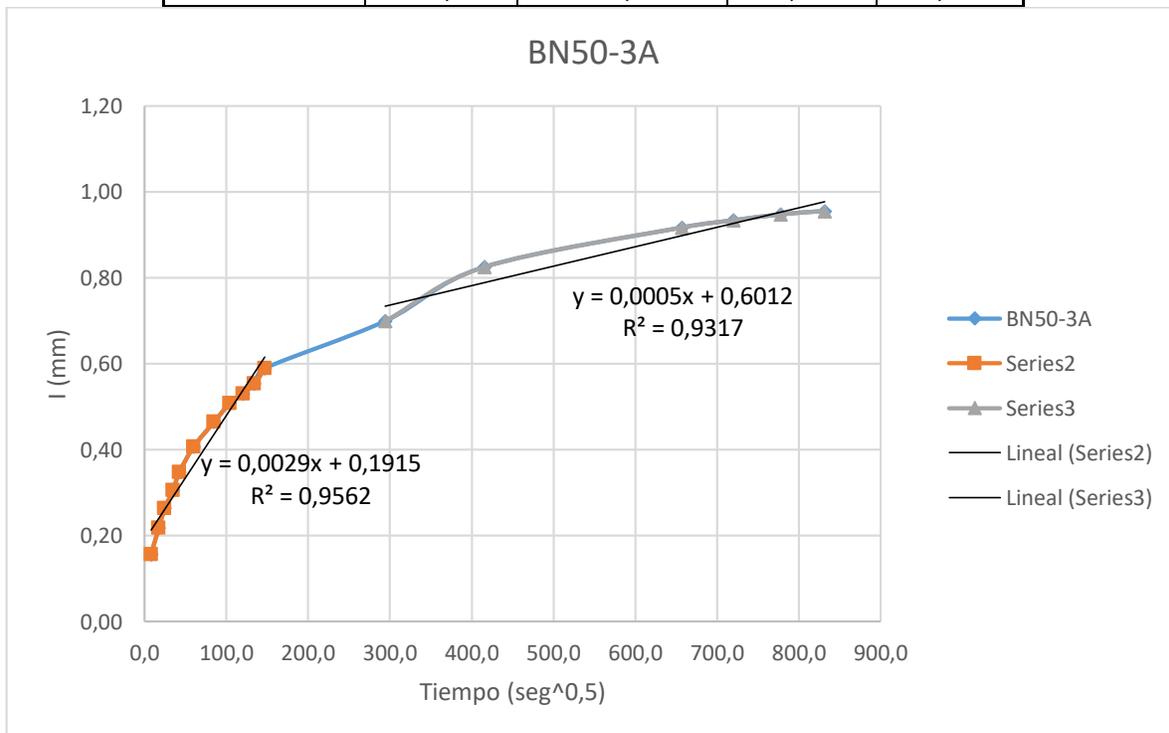
Espécimen:	AN50-3A			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		795,80	0,00	0,00
60	7,75	796,46	0,66	0,08
300	17,32	796,81	1,01	0,13
600	24,49	796,99	1,19	0,15
1200	34,64	797,21	1,41	0,18
1800	42,43	797,40	1,60	0,20
3600	60,00	797,75	1,95	0,25
7200	84,85	798,01	2,21	0,28
10800	103,92	798,24	2,44	0,31
14400	120,00	798,45	2,65	0,34
18000	134,16	798,52	2,72	0,35
21600	146,97	798,56	2,76	0,35
86400	293,94	799,32	3,52	0,45
172800	415,69	799,49	3,69	0,47
259200	509,12	799,57	3,77	0,48
432000	657,27	799,66	3,86	0,49
518400	720,00	799,74	3,94	0,50
604800	777,69	799,80	4,00	0,51
691200	831,38	799,85	4,05	0,52



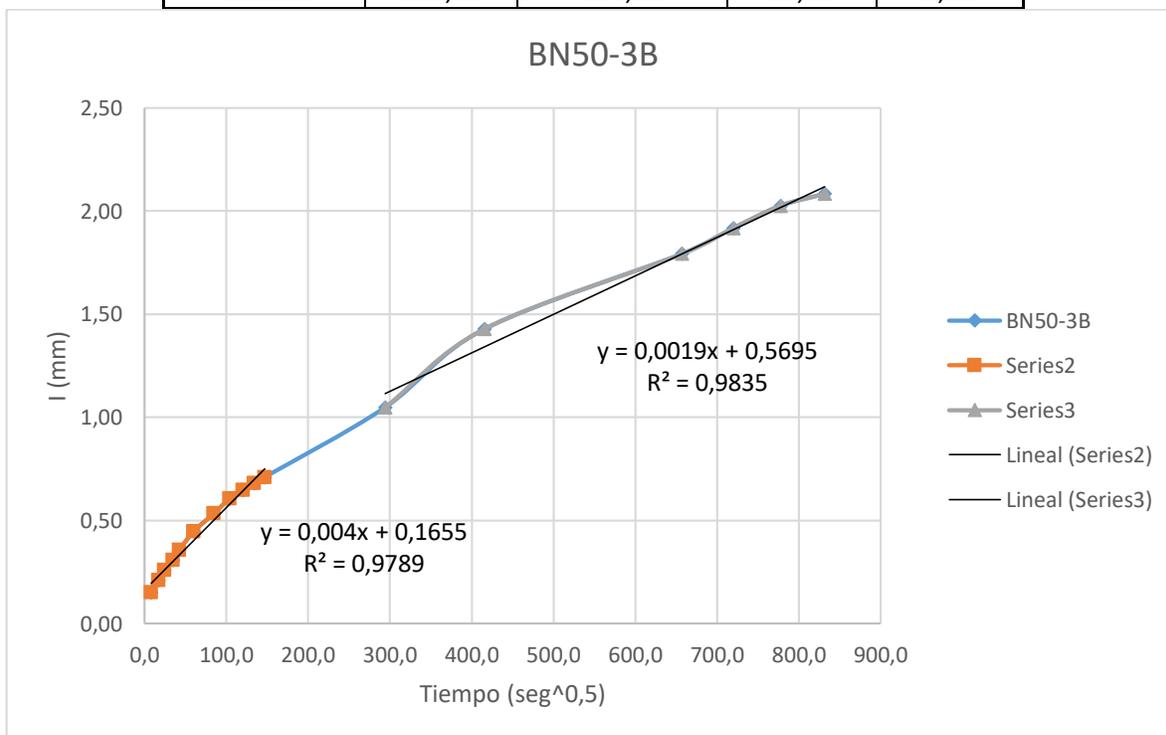
Espécimen:	AN50-3B			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		781,86	0,00	0,00
60	7,75	782,27	0,41	0,05
300	17,32	782,55	0,69	0,09
600	24,49	782,60	0,74	0,09
1200	34,64	782,66	0,80	0,10
1800	42,43	782,73	0,87	0,11
7200	84,85	783,21	1,35	0,17
10800	103,92	783,44	1,58	0,20
14400	120,00	783,44	1,58	0,20
18000	134,16	783,52	1,66	0,21
21600	146,97	783,58	1,72	0,22
86400	293,94	784,05	2,19	0,28
172800	415,69	784,30	2,44	0,31
259200	509,12	784,36	2,50	0,32
432000	657,27	784,42	2,56	0,33
518400	720,00	784,48	2,62	0,33
604800	777,69	784,54	2,68	0,34
691200	831,38	784,60	2,74	0,35



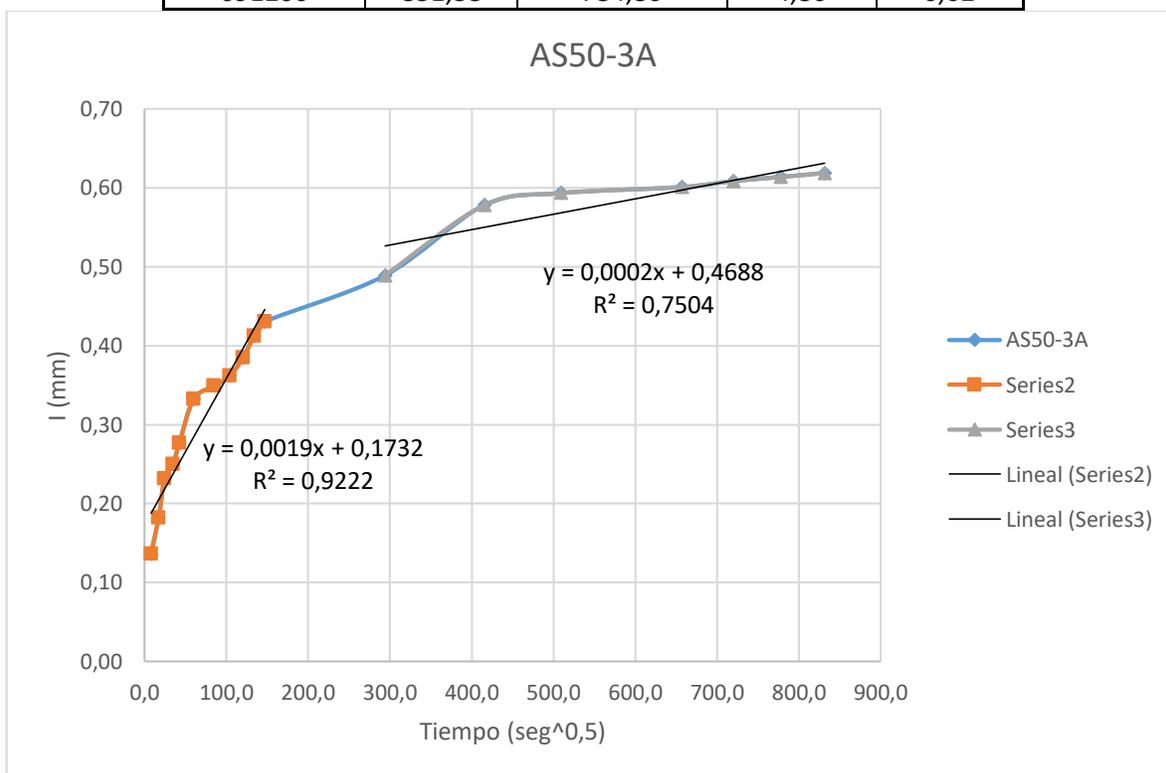
Espécimen:	BN50-3A			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		787,80	0,00	0,00
60	7,75	789,03	1,23	0,16
300	17,32	789,51	1,71	0,22
600	24,49	789,87	2,07	0,26
1200	34,64	790,20	2,40	0,31
1800	42,43	790,53	2,73	0,35
3600	60,00	791,00	3,20	0,41
7200	84,85	791,45	3,65	0,46
10800	103,92	791,79	3,99	0,51
14400	120,00	791,97	4,17	0,53
18000	134,16	792,15	4,35	0,55
21600	146,97	792,43	4,63	0,59
86400	293,94	793,29	5,49	0,70
172800	415,69	794,28	6,48	0,83
432000	657,27	795,00	7,20	0,92
518400	720,00	795,13	7,33	0,93
604800	777,69	795,24	7,44	0,95
691200	831,38	795,30	7,50	0,95



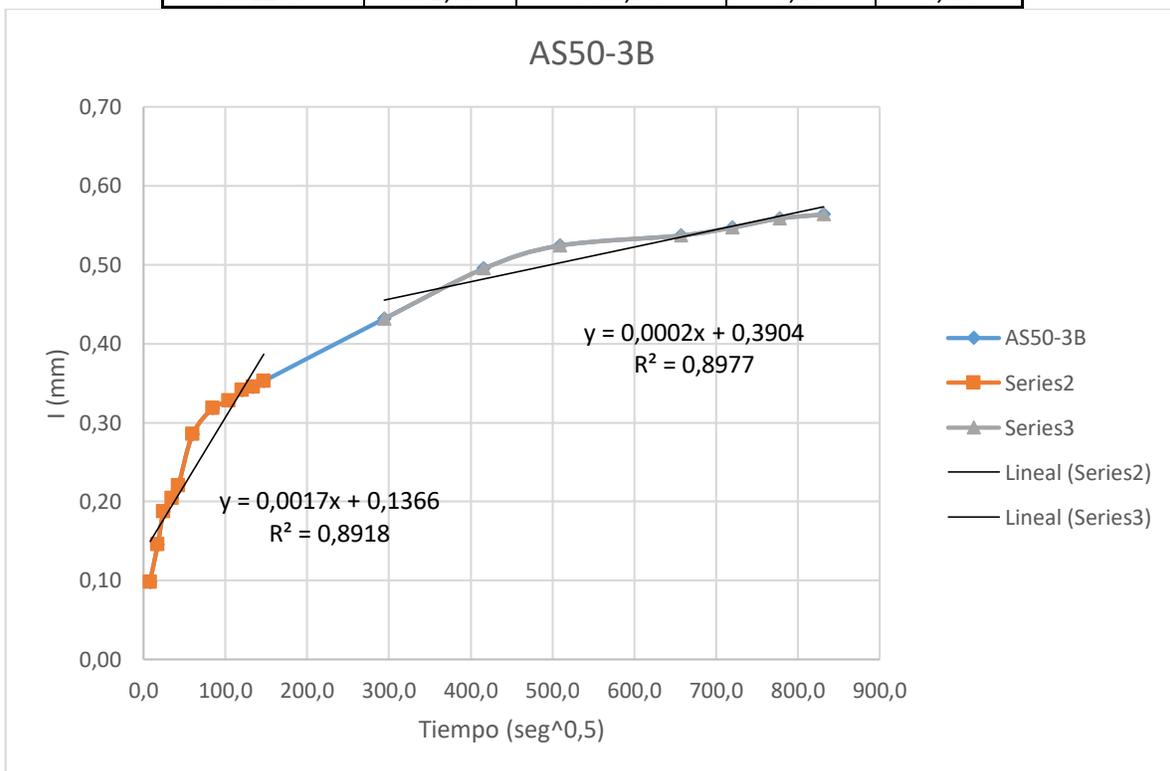
Espécimen:	BN50-3B			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		738,52	0,00	0,00
60	7,75	739,72	1,20	0,15
300	17,32	740,18	1,66	0,21
600	24,49	740,56	2,04	0,26
1200	34,64	740,94	2,42	0,31
1800	42,43	741,33	2,81	0,36
3600	60,00	742,03	3,51	0,45
7200	84,85	742,72	4,20	0,53
10800	103,92	743,28	4,76	0,61
14400	120,00	743,61	5,09	0,65
18000	134,16	743,87	5,35	0,68
21600	146,97	744,10	5,58	0,71
86400	293,94	746,75	8,23	1,05
172800	415,69	749,74	11,22	1,43
432000	657,27	752,60	14,08	1,79
518400	720,00	753,58	15,06	1,92
604800	777,69	754,43	15,91	2,03
691200	831,38	754,88	16,36	2,08



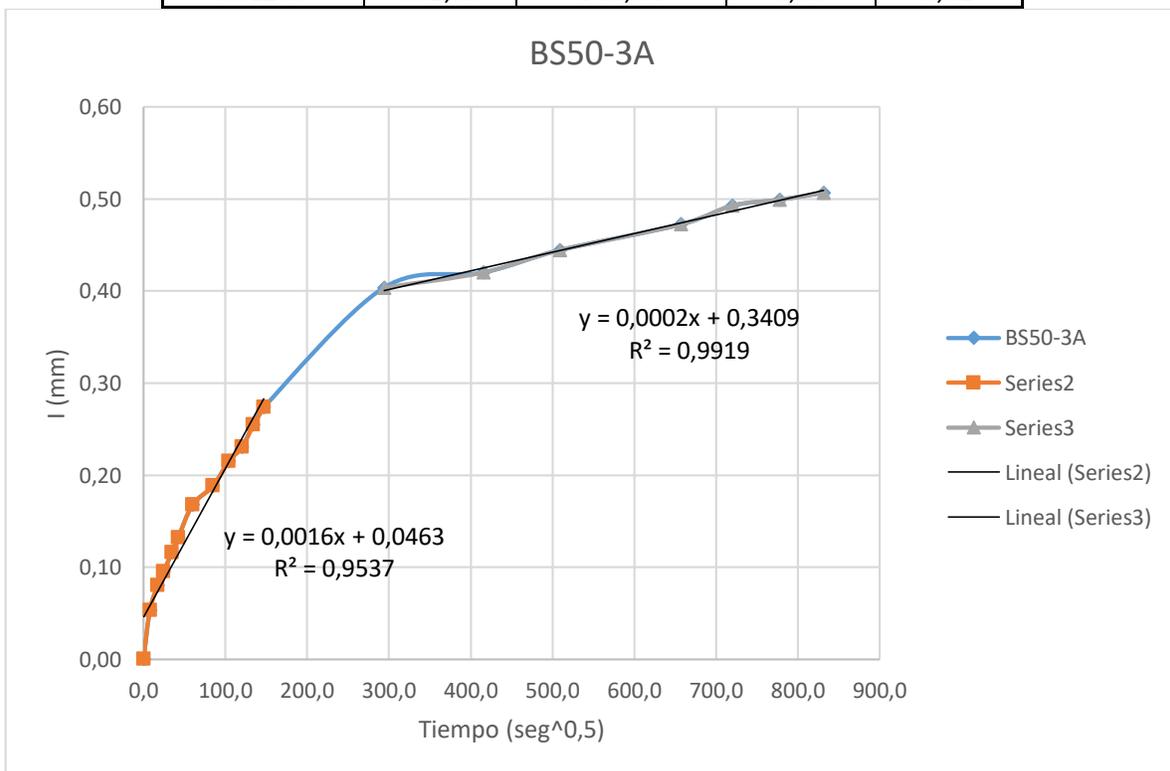
Espécimen:	AS50-3A			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		779,94	0,00	0,00
60	7,75	781,01	1,07	0,14
300	17,32	781,37	1,43	0,18
600	24,49	781,76	1,82	0,23
1200	34,64	781,90	1,96	0,25
1800	42,43	782,11	2,17	0,28
3600	60,00	782,55	2,61	0,33
7200	84,85	782,68	2,74	0,35
10800	103,92	782,78	2,84	0,36
14400	120,00	782,96	3,02	0,38
18000	134,16	783,18	3,24	0,41
21600	146,97	783,32	3,38	0,43
86400	293,94	783,78	3,84	0,49
172800	415,69	784,48	4,54	0,58
259200	509,12	784,60	4,66	0,59
432000	657,27	784,66	4,72	0,60
518400	720,00	784,72	4,78	0,61
604800	777,69	784,76	4,82	0,61
691200	831,38	784,80	4,86	0,62



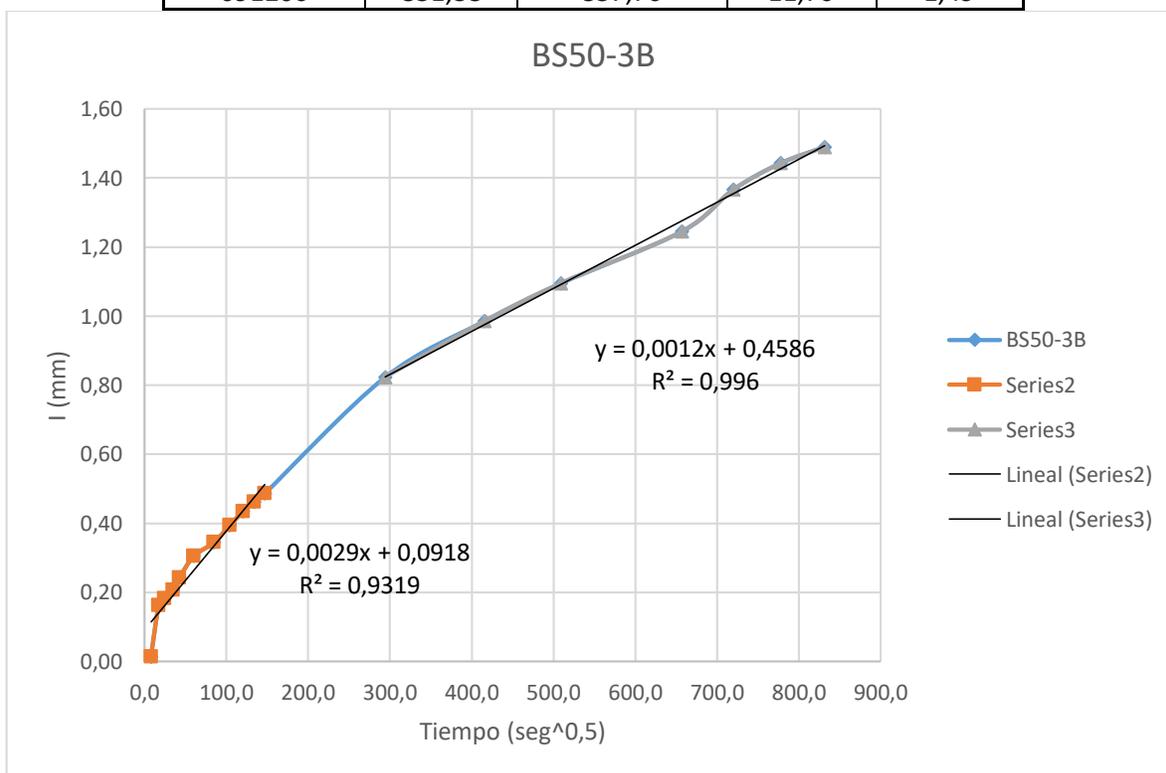
Espécimen:	AS50-3B			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		804,27	0,00	0,00
60	7,75	805,04	0,77	0,10
300	17,32	805,41	1,14	0,15
600	24,49	805,74	1,47	0,19
1200	34,64	805,87	1,60	0,20
1800	42,43	806,00	1,73	0,22
3600	60,00	806,51	2,24	0,29
7200	84,85	806,77	2,50	0,32
10800	103,92	806,84	2,57	0,33
14400	120,00	806,95	2,68	0,34
18000	134,16	806,98	2,71	0,35
21600	146,97	807,04	2,77	0,35
86400	293,94	807,66	3,39	0,43
172800	415,69	808,16	3,89	0,50
259200	509,12	808,39	4,12	0,52
432000	657,27	808,49	4,22	0,54
518400	720,00	808,57	4,30	0,55
604800	777,69	808,66	4,39	0,56
691200	831,38	808,70	4,43	0,56



Espécimen:	BS50-3A			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0	0,00	745,56	0,00	0,00
60	7,75	745,98	0,42	0,05
300	17,32	746,19	0,63	0,08
600	24,49	746,31	0,75	0,10
1200	34,64	746,47	0,91	0,12
1800	42,43	746,60	1,04	0,13
3600	60,00	746,88	1,32	0,17
7200	84,85	747,04	1,48	0,19
10800	103,92	747,25	1,69	0,22
14400	120,00	747,37	1,81	0,23
18000	134,16	747,56	2,00	0,25
21600	146,97	747,71	2,15	0,27
86400	293,94	748,73	3,17	0,40
172800	415,69	748,86	3,30	0,42
259200	509,12	749,05	3,49	0,44
432000	657,27	749,27	3,71	0,47
518400	720,00	749,43	3,87	0,49
604800	777,69	749,48	3,92	0,50
691200	831,38	749,54	3,98	0,51



Espécimen:	BS50-3B			
Tiempo (seg)	Raíz(t)	Masa (gr)	Δmasa	l (mm)
0		826,00	0,00	0,00
60	7,75	826,10	0,10	0,01
300	17,32	827,27	1,27	0,16
600	24,49	827,43	1,43	0,18
1200	34,64	827,62	1,62	0,21
1800	42,43	827,90	1,90	0,24
3600	60,00	828,39	2,39	0,30
7200	84,85	828,71	2,71	0,35
10800	103,92	829,09	3,09	0,39
14400	120,00	829,41	3,41	0,43
18000	134,16	829,63	3,63	0,46
21600	146,97	829,82	3,82	0,49
86400	293,94	832,46	6,46	0,82
172800	415,69	833,74	7,74	0,99
259200	509,12	834,60	8,60	1,09
432000	657,27	835,78	9,78	1,25
518400	720,00	836,73	10,73	1,37
604800	777,69	837,33	11,33	1,44
691200	831,38	837,70	11,70	1,49



f. Densidad, absorción y vacíos en el mortero endurecido.

A continuación, se presentan las tablas con los datos obtenidos y utilizados para el cálculo de la densidad, absorción y vacíos en el mortero endurecido. Dado lo extensa de la tabla en su conjunto, se ha dividido esta para su presentación en el documento.

	A	B	C	D		
Probeta	Seco 1	Seco 2	Seco 3	Sumergida	Hervida	Suspendida
AN-1-1	717	714	715	802	805	407
AN-1-2	721	721	721	802	805	407
AN25-1-1	741,0	741,0	741,0	822,0	823,0	424,0
AN25-1-2	765,0	765,0	763,0	842,0	843,1	433,0
AN50-1-1	745,0	744,0	743,0	819,0	819,0	411,0
AN50-1-2	724,0	723,0	722,0	799,0	799,0	400,0
AS25-1-1	747,0	746,0	744,0	821,0	821,0	415,0
AS25-1-1	765,0	764,0	764,0	843,0	843,0	430,0
AS50-1-1	711,0	710,0	709,0	778,0	777,0	394,0
AS50-1-2	723,0	722,0	721,0	797,0	795,0	402,0
BN-1-1	763,0	762,0	762,0	840,0	841,0	430,0
BN-1-2	767,0	765,0	765,0	840,0	841,0	430,0
BN25-1-1	743,0	743,0	741,0	824,0	826,0	415,0
BN25-1-2	716,0	716,0	715,0	802,0	805,0	407,0
BN50-1-1	698,0	697,0	696,0	786,0	788,6	386,0
BN50-1-2	685,0	685,0	684,0	773,0	774,0	381,0
BS25-1-1	763,0	763,0	762,0	840,0	841,0	430,0
BS25-1-2	761,0	760,0	759,0	840,0	842,0	430,0
BS50-1-1	718,0	716,0	714,0	790,0	791,0	395,0
BS50-1-2	704,0	704,0	703,0	786,0	788,0	382,0

Probeta	Absorción después de inmersión	Absorción después de inmersión y hervida	Bulk Density (Dry) (g/cm³)	Bulk density after immersion (g/cm³)
AN-1-1	12,17%	12,59%	1,80	2,02
AN-1-2	11,23%	11,65%	1,81	2,02

Probeta	Absorción después de inmersión	Absorción después de inmersión y hervida	Bulk Density (Dry) (g/cm ³)	Bulk density after immersion (g/cm ³)
AN25-1-1	10,93%	11,07%	1,86	2,06
AN25-1-2	10,35%	10,50%	1,86	2,05
AN50-1-1	10,23%	10,23%	1,82	2,01
AN50-1-2	10,66%	10,66%	1,81	2,00
AS25-1-1	10,35%	10,35%	1,83	2,02
AS25-1-1	10,34%	10,34%	1,85	2,04
AS50-1-1	9,73%	9,59%	1,85	2,03
AS50-1-2	10,54%	10,26%	1,83	2,03
BN-1-1	10,24%	10,37%	1,85	2,04
BN-1-2	9,80%	9,93%	1,86	2,04
BN25-1-1	11,20%	11,48%	1,80	2,00
BN25-1-2	12,17%	12,59%	1,80	2,02
BN50-1-1	12,93%	13,30%	1,73	1,95
BN50-1-2	13,01%	13,16%	1,74	1,97
BS25-1-1	10,24%	10,37%	1,85	2,04
BS25-1-2	10,67%	10,94%	1,84	2,04
BS50-1-1	10,64%	10,78%	1,80	1,99
BS50-1-2	11,81%	12,09%	1,73	1,94

Probeta	Bulk density after immersion and boiling (g/cm ³)	Densidad Aparente (g/cm ³)	Volumen de poros permeables (%)
AN-1-1	2,02	2,32	22,61%
AN-1-2	2,02	2,30	21,11%
AN25-1-1	2,06	2,34	20,55%
AN25-1-2	2,06	2,31	19,53%
AN50-1-1	2,01	2,24	18,63%
AN50-1-2	2,00	2,24	19,30%
AS25-1-1	2,02	2,26	18,97%
AS25-1-1	2,04	2,29	19,13%
AS50-1-1	2,03	2,25	17,75%
AS50-1-2	2,02	2,26	18,83%
BN-1-1	2,05	2,30	19,22%

Probeta	Bulk density after immersion and boiling (g/cm ³)	Densidad Aparente (g/cm ³)	Volumen de poros permeables (%)
BN-1-2	2,05	2,28	18,49%
BN25-1-1	2,01	2,27	20,69%
BN25-1-2	2,02	2,32	22,61%
BN50-1-1	1,96	2,25	23,00%
BN50-1-2	1,97	2,26	22,90%
BS25-1-1	2,05	2,30	19,22%
BS25-1-2	2,04	2,31	20,15%
BS50-1-1	2,00	2,24	19,44%
BS50-1-2	1,94	2,19	21%

A B C D

Probeta	Seco 1	Seco 2	Seco 3	Sumergida	Hervido	Suspendido
AN-2-1	748,0	737,0	736,0	810,8	808,3	415,0
AN-2-2	772,0	753,0	752,0	816,5	814,5	417,0
AN25-2-1	718,0	765,0	764,0	828,4	827,1	423,0
AN25-2-2	777,0	767,0	765,0	833,0	831,4	423,0
AN50-2-1	790,0	776,0	774,0	835,2	833,2	419,0
AN50-2-2	792,0	778,0	776,0	831,4	829,5	417,0
AS25-2-1	755,0	745,0	744,0	808,0	807,1	410,0
AS25-2-2	750,0	738,0	737,0	802,0	801,5	406,0
AS50-2-1	801,0	788,0	786,0	844,0	842,8	430,0
AS50-2-2	829,0	815,0	813,0	868,5	867,7	443,0
BN-2-1	764,0	751,0	749,0	813,9	812,6	423,0
BN-2-2	759,0	748,0	747,0	814,8	812,8	422,0
BN25-2-1	754,0	758,0	737,0	809,5	810,1	409,0
BN25-2-2	760,0	741,0	739,0	814,0	814,0	409,0
BN50-2-1	754,0	740,0	738,0	813,1	813,4	407,0
BN50-2-2	749,0	737,0	735,0	810,6	810,3	403,0
BS25-2-1	768,0	758,0	756,0	827,3	827,9	423,0
BS25-2-2	774,0	763,0	761,0	826,0	825,5	421,0
BS50-2-1	737,0	718,0	716,0	788,4	790,6	395,0
BS50-2-2	748,0	731,0	729,0	801,2	800,5	390,0

Probeta	Absorción después de inmersión	Absorción después de inmersión y hervida	Bulk Density (Dry) (g/cm ³)	Bulk density after immersion (g/cm ³)
AN-2-1	10,17%	9,82%	1,87	2,06
AN-2-2	8,58%	8,31%	1,89	2,05
AN25-2-1	8,43%	8,26%	1,89	2,05
AN25-2-2	8,89%	8,68%	1,87	2,04
AN50-2-1	7,91%	7,64%	1,87	2,02
AN50-2-2	7,14%	6,90%	1,88	2,02
AS25-2-1	8,60%	8,48%	1,87	2,03
AS25-2-2	8,82%	8,75%	1,86	2,03
AS50-2-1	7,38%	7,22%	1,90	2,04
AS50-2-2	6,83%	6,72%	1,91	2,05
BN-2-1	8,66%	8,49%	1,92	2,09
BN-2-2	9,07%	8,81%	1,91	2,08
BN25-2-1	9,83%	9,92%	1,84	2,02
BN25-2-2	10,15%	10,15%	1,82	2,01
BN50-2-1	10,18%	10,22%	1,82	2,00
BN50-2-2	10,29%	10,24%	1,80	1,99
BS25-2-1	9,43%	9,51%	1,87	2,04
BS25-2-2	8,54%	8,47%	1,88	2,04
BS50-2-1	10,11%	10,41%	1,81	1,99
BS50-2-2	9,91%	9,81%	1,78	1,95

Probeta	Bulk density after immersion and boiling (g/cm ³)	Densidad Aparente (g/cm ³)	Volumen de poros permeables (%)
AN-2-1	2,06	2,29	18%
AN-2-2	2,05	2,24	16%
AN25-2-1	2,05	2,24	16%
AN25-2-2	2,04	2,24	16%
AN50-2-1	2,01	2,18	14%
AN50-2-2	2,01	2,16	13%
AS25-2-1	2,03	2,23	16%
AS25-2-2	2,03	2,23	16%
AS50-2-1	2,04	2,21	14%
AS50-2-2	2,04	2,20	13%
BN-2-1	2,09	2,30	16%
BN-2-2	2,08	2,30	17%

Probeta	Bulk density after immersion and boiling (g/cm ³)	Densidad Aparente (g/cm ³)	Volumen de poros permeables (%)
BN25-2-1	2,02	2,25	18%
BN25-2-2	2,01	2,24	19%
BN50-2-1	2,00	2,23	19%
BN50-2-2	1,99	2,21	18%
BS25-2-1	2,04	2,27	18%
BS25-2-2	2,04	2,24	16%
BS50-2-1	2,00	2,23	19%
BS50-2-2	1,95	2,15	17%

Probeta	A	B	C	D
	Seco 3	Sumergida	Hervido	Suspendido
AN-3-1	749,8	813,0	811,0	421,0
AN-3-2	758,2	822,0	820,0	422,0
AN25-3-1	791,0	846,0	844,7	437,0
AN25-3-2	783,2	833,0	831,4	428,0
AN50-3-1	758,3	809,0	807,8	405,0
AN50-3-2	759,8	802,0	801,1	412,0
AS25-3-1	774,5	821,0	820,1	416,0
AS25-3-2	759,8	803,0	802,3	410,0
AS50-3-1	758,6	806,0	804,0	407,0
AS50-3-2	801,2	839,0	837,0	427,0
BN-3-1	766,4	831,0	829,7	430,0
BN-3-2	760,7	824,0	822,0	427,0
BN25-3-1	762,5	822,0	822,6	412,0
BN25-3-2	752,5	818,0	818,0	411,0
BN50-3-1	726,6	797,0	797,3	386,0
BN50-3-2	744,3	806,0	805,6	399,0
BS25-3-1	746,2	795,0	795,6	405,0
BS25-3-2	783,1	830,0	829,5	420,0
BS50-3-1	717,7	773,0	775,2	378,0
BS50-3-2	722,6	781,0	780,3	389,0

Absorción después de inmersión	Absorción después de inmersión y hervida	Bulk Density (Dry) (g/cm ³)	Bulk density after immersion (g/cm ³)
8,44%	8,17%	1,92	2,08
8,41%	8,15%	1,91	2,07
6,95%	6,79%	1,94	2,08
6,35%	6,15%	1,94	2,06
6,68%	6,53%	1,88	2,01
5,56%	5,44%	1,95	2,06
6,00%	5,88%	1,92	2,03
5,69%	5,59%	1,94	2,05
6,25%	5,99%	1,91	2,03
4,72%	4,47%	1,95	2,05
8,43%	8,26%	1,92	2,08
8,33%	8,06%	1,93	2,09
7,80%	7,88%	1,86	2,00
8,71%	8,71%	1,85	2,01
9,69%	9,73%	1,77	1,94
8,29%	8,23%	1,83	1,98
6,54%	6,62%	1,91	2,04
5,98%	5,92%	1,91	2,03
7,71%	8,01%	1,81	1,95
8,08%	7,98%	1,85	2,00

Bulk density after immersion and boiling (g/cm ³)	Densidad Aparente (g/cm ³)	Volumen de poros permeables (%)
2,08	2,28	16%
2,06	2,26	16%
2,07	2,23	13%
2,06	2,20	12%
2,01	2,15	12%
2,06	2,18	11%
2,03	2,16	11%
2,05	2,17	11%
2,03	2,16	11%
2,04	2,14	9%
2,08	2,28	16%
2,08	2,28	16%

Bulk density after immersion and boiling (g/cm ³)	Densidad Aparente (g/cm ³)	Volumen de poros permeables (%)
2,00	2,18	15%
2,01	2,20	16%
1,94	2,13	17%
1,98	2,16	15%
2,04	2,19	13%
2,03	2,16	11%
1,95	2,11	14%
1,99	2,17	15%

g. Velocidad de pulso ultrasónico (VPU)

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos para el ensayo de pulso ultrasónico realizado en cilindros de mortero para cada una de las mezclas de la investigación

Mezcla	Tiempo	Tiempo (seg ⁻⁶)	Velocidad (m/s)	Calidad del mortero
A-1	60,1	6,01E-05	3328	Regular
B-1	60,0	6,00E-05	3333	Regular
AN25-1	59,8	5,98E-05	3345	Regular
AS25-1	59,7	5,97E-05	3350	Regular
AN50-1	58,8	5,88E-05	3401	Regular
AS50-1	57,9	5,79E-05	3454	Regular
BN25-1	63,6	6,36E-05	3145	Regular
BS25-1	62,3	6,23E-05	3210	Regular
BN50-1	63,9	6,39E-05	3130	Regular
BS50-1	63,5	6,35E-05	3150	Regular

Mezcla	Tiempo	Tiempo (seg ⁻⁶)	Velocidad (m/s)	Calidad del mortero
A-2	56,2	5,62E-05	3560	Buena
B-2	56,1	5,61E-05	3562	Buena
AN25-2	56,7	5,67E-05	3530	Buena
AS25-2	56,6	5,66E-05	3537	Buena
AN50-2	55,9	5,59E-05	3579	Buena

Mezcla	Tiempo	Tiempo (seg ⁻⁶)	Velocidad (m/s)	Calidad del mortero
AS50-2	54,2	5,42E-05	3693	Buena
BN25-2	59,5	5,95E-05	3360	Regular
BS25-2	58,8	5,88E-05	3401	Regular
BN50-2	59,7	5,97E-05	3349	Regular
BS50-2	59,6	5,96E-05	3356	Regular

Mezcla	Tiempo	Tiempo (seg ⁻⁶)	Velocidad (m/s)	Calidad del mortero
A-3	56,2	5,62E-05	3559	Buena
AN25-3	54,9	5,49E-05	3645	Buena
AS25-3	54,7	5,47E-05	3656	Buena
AN50-3	54,7	5,47E-05	3659	Buena
AS50-3	55,0	5,50E-05	3637	Buena
B-3	56,5	5,65E-05	3540	Buena
BN25-3	56,2	5,62E-05	3557	Buena
BS25-3	54,7	5,47E-05	3658	Buena
BN50-3	58,5	5,85E-05	3419	Regular
BS50-3	57,5	5,75E-05	3481	Regular

h. Cambio volumétrico del mortero

En las tablas siguientes, se presentan los resultados de cada una de las mediciones realizadas a las probetas de mortero endurecido para el ensayo de Cambio volumétrico durante todo el curso de la investigación:

11.1.1.1 Mediciones de las probetas de la mezcla A:

Nombre Probeta	Fecha de Fundido	Medida 1			
		Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min
AN-2-1	3/06/2016	4/06/2016	1	0,946	0,93
AN-2-2	3/06/2016	4/06/2016	1	1,678	1,604
AN-2-3	3/06/2016	4/06/2016	1	0,786	0,606
AN-2-4	3/06/2016	4/06/2016	1	1,264	1,248

Medida 2				% de Variación		Medida 3				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
1/07/2016	28	1,286	1,274	0,1193%	0,1207%	9/07/2016	36	0,360	0,328	-0,2056%	-0,2112%
1/07/2016	28	0,960	0,932	-0,2519%	-0,2358%	9/07/2016	36	1,360	1,336	-0,1116%	-0,0940%
1/07/2016	28	1,640	1,622	0,2996%	0,3565%	9/07/2016	36	0,684	0,658	-0,0358%	0,0182%
1/07/2016	28	0,638	0,608	-0,2196%	-0,2246%	9/07/2016	36	1,014	1,002	-0,0877%	-0,0863%
Promedio:				0,2095%	0,2386%	Promedio:				-0,1102%	-0,1305%

Medida 4				% de Variación		Medida 5				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
15/07/2016	42	0,658	0,648	-0,1011%	-0,0989%	22/07/2016	49	0,616	0,592	-0,1158%	-0,1186%
15/07/2016	42	1,314	1,296	-0,1277%	-0,1081%	22/07/2016	49	1,276	1,262	-0,1411%	-0,1200%
15/07/2016	42	0,318	0,286	-0,1642%	-0,1123%	22/07/2016	49	0,288	0,270	-0,1747%	-0,1179%
15/07/2016	42	0,966	0,958	-0,1046%	-0,1018%	22/07/2016	49	0,935	0,924	-0,1154%	-0,1137%
Promedio:				-0,1244%	-0,1053%	Promedio:				-0,1368%	-0,1175%

Medida 6				% de Variación		Medida 7				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
29/07/2016	56	1,776	1,770	0,2912%	0,2947%	5/08/2016	63	0,690	0,670	-0,0898%	-0,0912%
29/07/2016	56	3,154	3,126	0,5179%	0,5340%	5/08/2016	63	1,348	1,332	-0,1158%	-0,0954%
29/07/2016	56	2,712	2,704	0,6758%	0,7361%	5/08/2016	63	0,372	0,346	-0,1453%	-0,0912%
29/07/2016	56	2,264	2,258	0,3509%	0,3544%	5/08/2016	63	1,012	1,004	-0,0884%	-0,0856%
Promedio:				0,4589%	0,4798%	Promedio:				-0,1098%	-0,0909%

Medida 8				% de Variación		Medida 9				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
12/08/2016	70	0,666	0,648	-0,0982%	-0,0989%	19/08/2016	77	0,590	0,572	-0,1249%	-0,1256%
12/08/2016	70	1,328	1,312	-0,1228%	-0,1025%	19/08/2016	77	1,256	1,240	-0,1481%	-0,1277%
12/08/2016	70	0,344	0,322	-0,1551%	-0,0996%	19/08/2016	77	0,266	0,250	-0,1825%	-0,1249%
12/08/2016	70	0,992	0,986	-0,0954%	-0,0919%	19/08/2016	77	0,914	0,908	-0,1228%	-0,1193%
Promedio:				-0,1179%	-0,0982%	Promedio:				-0,1446%	-0,1244%

Medida 10				% de Variación		Medida 11				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
26/08/2016	84	0,610	0,592	-0,1179%	-0,1186%	2/09/2016	91	0,596	0,574	-0,1228%	-0,1249%
26/08/2016	84	1,274	1,262	-0,1418%	-0,1200%	2/09/2016	91	1,256	1,236	-0,1481%	-0,1291%
26/08/2016	84	0,292	0,270	-0,1733%	-0,1179%	2/09/2016	91	0,27	0,246	-0,1811%	-0,1263%
26/08/2016	84	0,938	0,930	-0,1144%	-0,1116%	2/09/2016	91	0,92	0,914	-0,1207%	-0,1172%
Promedio:				-0,1368%	-0,1170%	Promedio:				-0,1432%	-0,1244%

Medida 12				% de Variación		Medida 13				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
16/09/2016	105	0,604	0,588	-0,1200%	-0,1200%	23/09/2016	112			0,0000%	0,0000%
16/09/2016	105	1,264	1,252	-0,1453%	-0,1235%	23/09/2016	112	1,250	1,238	-0,1502%	-0,1284%
16/09/2016	105	0,276	0,266	-0,1789%	-0,1193%	23/09/2016	112	0,262	0,250	-0,1839%	-0,1249%
16/09/2016	105	0,928	0,92	-0,1179%	-0,1151%	23/09/2016	112	0,912	0,906	-0,1235%	-0,1200%
Promedio:				-0,1405%	-0,1195%	Promedio:				-0,1525%	-0,1244%

Medida 14				% de Variación		Medida 15				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
30/09/2016	119	-	-	0,0000%	0,0000%	7/10/2016	126	-	-	0,0000%	0,0000%
30/09/2016	119	1,282	1,268	-0,1389%	-0,1179%	7/10/2016	126	1,25	1,24	-0,1509%	-0,1291%
30/09/2016	119	0,294	0,278	-0,1726%	-0,1151%	7/10/2016	126	0,26	0,25	-0,1846%	-0,1263%
30/09/2016	119	0,95	0,942	-0,1102%	-0,1074%	7/10/2016	126	0,91	0,91	-0,1228%	-0,1200%
Promedio:				-0,1406%	-0,1135%	Promedio:				-0,1527%	-0,1251%

Medida 16				% de Variación		Medida 17				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
21/10/2016	140	-	-	0,0000%	0,0000%	28/10/2016	147	-	-	0,0000%	0,0000%
21/10/2016	140	1,262	1,244	-0,1460%	-0,1263%	28/10/2016	147	1,238	1,226	-0,1544%	-0,1326%
21/10/2016	140	0,272	0,248	-0,1804%	-0,1256%	28/10/2016	147	0,252	0,238	-0,1874%	-0,1291%
21/10/2016	140	0,932	0,916	-0,1165%	-0,1165%	28/10/2016	147	0,904	0,894	-0,1263%	-0,1242%
Promedio:				-0,1476%	-0,1228%	Promedio:				-0,1560%	-0,1287%

Medida 18				% de Variación		Medida 19				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
4/11/2016	154	-	-	0,0000%	0,0000%	11/11/2016	161	-	-	0,0000%	0,0000%
4/11/2016	154	1,258	1,242	-0,1474%	-0,1270%	11/11/2016	161	1,254	1,244	-0,1488%	-0,1263%
4/11/2016	154	0,274	0,25	-0,1796%	-0,1249%	11/11/2016	161	0,262	0,25	-0,1839%	-0,1249%
4/11/2016	154	0,934	0,918	-0,1158%	-0,1158%	11/11/2016	161	0,918	0,91	-0,1214%	-0,1186%
Promedio:				-0,1476%	-0,1226%	Promedio:				-0,1513%	-0,1233%

Medida 20				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
18/11/2016	168	-	-	0,0000%	0,0000%
18/11/2016	168	1,266	1,256	-0,1446%	-0,1221%
18/11/2016	168	0,278	0,266	-0,1782%	-0,1193%
18/11/2016	168	0,934	0,93	-0,1158%	-0,1116%
Promedio:				-0,1462%	-0,1177%

11.1.1.2 Mediciones de las probetas de la mezcla B:

Fecha de Fundido	Medida 1			
	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min
11/07/2016	12/07/2016	1	4,374	4,354
11/07/2016	12/07/2016	1	4,034	4,02
11/07/2016	12/07/2016	1	1,918	1,902
11/07/2016	12/07/2016	1	3,922	3,906

Medida 2				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
11/08/2016	31	4,406	4,388	0,0112%	0,0119%
11/08/2016	31	4,072	4,056	0,0133%	0,0126%
11/08/2016	31	1,958	1,940	0,0140%	0,0133%
11/08/2016	31	3,962	3,942	0,0140%	0,0126%
Promedio:				0,0132%	0,0126%

Medida 3				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
18/08/2016	38	4,14	4,124	-0,0821%	-0,0807%
18/08/2016	38	3,802	3,786	-0,0814%	-0,0821%
18/08/2016	38	1,69	1,627	-0,0800%	-0,0965%
18/08/2016	38	3,692	3,680	-0,0807%	-0,0793%
Promedio:				-0,0811%	-0,0846%

Medida 4				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
25/08/2016	45	4,106	7,082	-0,0940%	0,9572%
25/08/2016	45	3,762	3,746	-0,0954%	-0,0961%
25/08/2016	45	1,646	1,63	-0,0954%	-0,0954%
25/08/2016	45	3,652	3,648	-0,0947%	-0,0905%
Promedio:				-0,0949%	-0,0940%

Medida 5				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
1/09/2016	52	4,098	4,076	-0,0968%	-0,0975%
1/09/2016	52	3,760	3,748	-0,0961%	-0,0954%
1/09/2016	52	1,648	1,630	-0,0947%	-0,0954%
1/09/2016	52	3,656	3,634	-0,0933%	-0,0954%
Promedio:				-0,0953%	-0,0960%

Medida 6				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
15/09/2016	66	4,080	4,062	-0,1032%	-0,1025%
15/09/2016	66	3,742	3,724	-0,1025%	-0,1039%
15/09/2016	66	1,628	1,612	-0,1018%	-0,1018%
15/09/2016	66	3,628	3,622	-0,1032%	-0,0996%
Promedio:				-0,1026%	-0,1019%

Medida 7				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
22/09/2016	73	4,080	4,058	-0,1032%	-0,1039%
22/09/2016	73	3,744	3,732	-0,1018%	-0,1011%
22/09/2016	73	1,630	1,610	-0,1011%	-0,1025%
22/09/2016	73	3,634	3,614	-0,1011%	-0,1025%
Promedio:				-0,1018%	-0,1025%

Medida 8				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
29/09/2016	80	4,078	4,064	-0,1039%	-0,1018%
29/09/2016	80	3,744	3,728	-0,1018%	-0,1025%
29/09/2016	80	1,632	1,616	-0,1004%	-0,1004%
29/09/2016	80	3,63	3,624	-0,1025%	-0,0989%
Promedio:				-0,1021%	-0,1009%

Medida 9				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
6/10/2016	87	4,084	4,07	-0,1018%	-0,0996%
6/10/2016	87	3,756	3,74	-0,0975%	-0,0982%
6/10/2016	87	1,636	1,62	-0,0989%	-0,0989%
6/10/2016	87	3,632	3,628	-0,1018%	-0,0975%
Promedio:				-0,1000%	-0,0986%

Medida 10				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
20/10/2016	101	4,042	4,024	-0,1165%	-0,1158%
20/10/2016	101	3,706	3,69	-0,1151%	-0,1158%
20/10/2016	101	1,59	1,574	-0,1151%	-0,1151%
20/10/2016	101	3,594	3,586	-0,1151%	-0,1123%
Promedio:				-0,1154%	-0,1147%

Medida 11				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
27/10/2016	108	4,042	4,028	-0,1165%	-0,1144%
27/10/2016	108	3,704	3,686	-0,1158%	-0,1172%
27/10/2016	108	1,586	1,57	-0,1165%	-0,1165%
27/10/2016	108	3,588	3,58	-0,1172%	-0,1144%
Promedio:				-0,1165%	-0,1156%

Medida 12				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
3/11/2016	115	4,04	4,026	-0,1172%	-0,1151%
3/11/2016	115	3,702	3,684	-0,1165%	-0,1179%
3/11/2016	115	1,588	1,574	-0,1158%	-0,1151%
3/11/2016	115	3,588	3,584	-0,1172%	-0,1130%
Promedio:				-0,1167%	-0,1153%

Medida 13				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
10/11/2016	122	4,032	4,01	-0,1200%	-0,1207%
10/11/2016	122	3,694	3,678	-0,1193%	-0,1200%
10/11/2016	122	1,578	1,56	-0,1193%	-0,1200%
10/11/2016	122	3,582	3,57	-0,1193%	-0,1179%
Promedio:				-0,1195%	-0,1196%

Medida 14				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
17/11/2016	129	4,036	4,018	-0,1186%	-0,1179%
17/11/2016	129	3,692	3,68	-0,1200%	-0,1193%
17/11/2016	129	1,578	1,558	-0,1193%	-0,1207%
17/11/2016	129	3,58	3,572	-0,1200%	-0,1172%
Promedio:				-0,1195%	-0,1188%

11.1.1.3 Mediciones de las probetas de la mezcla AN25:

Nombre Probeta	Fecha de Fundido	Medida 1			
		Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min
AN25-2-1	13/07/2016	14/07/2016	1	3,842	3,818
AN25-2-2	13/07/2016	14/07/2016	1	3,628	3,606
AN25-2-3	13/07/2016	14/07/2016	1	4,430	4,402
AN25-2-4	13/07/2016	14/07/2016	1	4,412	4,390

Medida 2				% de Variación		Medida 3				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
12/08/2016	30	3,924	3,910	0,0288%	0,0323%	19/08/2016	37	3,534	3,522	-0,1081%	-0,1039%
12/08/2016	30	3,708	3,686	0,0281%	0,0281%	19/08/2016	37	3,320	3,302	-0,1081%	-0,1067%
12/08/2016	30	4,500	4,478	0,0246%	0,0267%	19/08/2016	37	4,116	4,094	-0,1102%	-0,1081%
12/08/2016	30	4,510	4,490	0,0344%	0,0351%	19/08/2016	37	4,120	4,104	-0,1025%	-0,1004%
Promedio:				0,0289%	0,0305%	Promedio:				-0,1072%	-0,1047%

Medida 4				% de Variación		Medida 5				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
26/08/2016	44	3,482	3,472	-0,1263%	-0,1214%	2/09/2016	51	3,484	3,464	-0,1256%	-0,1242%
26/08/2016	44	3,268	3,150	-0,1263%	-0,1600%	2/09/2016	51	3,262	3,24	-0,1284%	-0,1284%
26/08/2016	44	4,054	4,038	-0,1319%	-0,1277%	2/09/2016	51	4,046	4,02	-0,1347%	-0,1340%
26/08/2016	44	4,078	4,058	-0,1172%	-0,1165%	2/09/2016	51	4,064	4,04	-0,1221%	-0,1228%
Promedio:				-0,1254%	-0,1314%	Promedio:				-0,1277%	-0,1274%

Medida 6				% de Variación		Medida 7				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
16/09/2016	65	3,468	3,454	-0,1312%	-0,1277%	23/09/2016	72	3,448	3,438	-0,1382%	-0,1333%
16/09/2016	65	3,246	3,230	-0,1340%	-0,1319%	23/09/2016	72	3,23	3,212	-0,1396%	-0,1382%
16/09/2016	65	4,400	4,018	-0,0105%	-0,1347%	23/09/2016	72	4,016	3,998	-0,1453%	-0,1418%
16/09/2016	65	4,058	4,038	-0,1242%	-0,1235%	23/09/2016	72	4,034	4,016	-0,1326%	-0,1312%
Promedio:				-0,1000%	-0,1295%	Promedio:				-0,1389%	-0,1361%

Medida 8				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
30/09/2016	79	3,472	3,46	-0,1298%	-0,1256%
30/09/2016	79	3,254	3,234	-0,1312%	-0,1305%
30/09/2016	79	4,044	4,024	-0,1354%	-0,1326%
30/09/2016	79	4,07	4,048	-0,1200%	-0,1200%
Promedio:				-0,1291%	-0,1272%

Medida 9				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
7/10/2016	86	3,444	3,434	-0,1396%	-0,1347%
7/10/2016	86	3,224	3,208	-0,1418%	-0,1396%
7/10/2016	86	4,018	4	-0,1446%	-0,1411%
7/10/2016	86	4,042	4,022	-0,1298%	-0,1291%
Promedio:				-0,1389%	-0,1361%

Medida 10				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
21/10/2016	100	3,452	3,432	-0,1368%	-0,1354%
21/10/2016	100	3,232	3,206	-0,1389%	-0,1404%
21/10/2016	100	4,02	3,992	-0,1439%	-0,1439%
21/10/2016	100	4,048	4,018	-0,1277%	-0,1305%
Promedio:				-0,1368%	-0,1375%

Medida 11				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
28/10/2016	107	3,416	3,404	-0,1495%	-0,1453%
28/10/2016	107	3,196	3,176	-0,1516%	-0,1509%
28/10/2016	107	3,986	3,966	-0,1558%	-0,1530%
28/10/2016	107	4,008	3,99	-0,1418%	-0,1404%
Promedio:				-0,1496%	-0,1474%

Medida 12				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
4/11/2016	114	3,458	3,434	-0,1347%	-0,1347%
4/11/2016	114	3,234	3,208	-0,1382%	-0,1396%
4/11/2016	114	4,024	3,992	-0,1425%	-0,1439%
4/11/2016	114	4,052	4,024	-0,1263%	-0,1284%
Promedio:				-0,1354%	-0,1367%

Medida 13				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
11/11/2016	121	3,44	3,43	-0,1411%	-0,1361%
11/11/2016	121	3,22	3,202	-0,1432%	-0,1418%
11/11/2016	121	4,008	3,988	-0,1481%	-0,1453%
11/11/2016	121	4,034	4,014	-0,1326%	-0,1319%
Promedio:				-0,1412%	-0,1388%

Medida 14				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
18/11/2016	128	3,422	3,412	-0,1474%	-0,1425%
18/11/2016	128	3,202	3,184	-0,1495%	-0,1481%
18/11/2016	128	4	3,978	-0,1509%	-0,1488%
18/11/2016	128	4,018	3,998	-0,1382%	-0,1375%
Promedio:				-0,1465%	-0,1442%

11.1.1.4 Mediciones de las probetas de la mezcla AN50:

Nombre Probeta	Fecha de Fundido	Medida 1			
		Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min
AN50-2-1	18/07/2016	19/07/2016	1	- 0,612	- 0,622
AN50-2-2	18/07/2016	19/07/2016	1	3,270	3,264
AN50-2-3	18/07/2016	19/07/2016	1	3,934	3,892
AN50-2-4	18/07/2016	19/07/2016	1	3,758	3,728

Medida 2				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
18/08/2016	31	-0,572	-0,586	0,0140%	0,0126%
18/08/2016	31	3,300	3,296	0,0105%	0,0112%
18/08/2016	31	3,976	3,942	0,0147%	0,0175%
18/08/2016	31	3,800	3,768	0,0147%	0,0140%
Promedio:				0,0135%	0,0139%

Medida 3				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
25/08/2016	38	-0,952	-0,964	-0,1193%	-0,1200%
25/08/2016	38	2,922	2,924	-0,1221%	-0,1193%
25/08/2016	38	3,624	3,594	-0,1088%	-0,1046%
25/08/2016	38	3,454	3,422	-0,1067%	-0,1074%
Promedio:				-0,1142%	-0,1128%

Medida 4				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
1/09/2016	45	-1,008	-1,020	-0,1389%	-0,1396%
1/09/2016	45	2,872	2,860	-0,1396%	-0,1418%
1/09/2016	45	3,548	3,500	-0,1354%	-0,1375%
1/09/2016	45	3,374	3,334	-0,1347%	-0,1382%
Promedio:				-0,1372%	-0,1393%

Medida 5				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
15/09/2016	59	-1,034	-1,048	-0,1481%	-0,1495%
15/09/2016	59	2,84	2,834	-0,1509%	-0,1509%
15/09/2016	59	3,51	3,48	-0,1488%	-0,1446%
15/09/2016	59	3,34	3,31	-0,1467%	-0,1467%
Promedio:				-0,1486%	-0,1479%

Medida 6				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
22/09/2016	66	-1,034	-1,046	-0,1481%	-0,1488%
22/09/2016	66	2,846	2,836	-0,1488%	-0,1502%
22/09/2016	66	3,516	3,472	-0,1467%	-0,1474%
22/09/2016	66	3,342	3,306	-0,1460%	-0,1481%
Promedio:				-0,1474%	-0,1486%

Medida 7				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
29/09/2016	73	-1,024	-1,038	-0,1446%	-0,1460%
29/09/2016	73	2,846	2,850	-0,1488%	-0,1453%
29/09/2016	73	3,522	3,494	-0,1446%	-0,1396%
29/09/2016	73	3,354	3,324	-0,1418%	-0,1418%
Promedio:				-0,1449%	-0,1432%

Medida 8				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
6/10/2016	80	-1,03	-1,044	-0,1467%	-0,1481%
6/10/2016	80	2,838	2,838	-0,1516%	-0,1495%
6/10/2016	80	3,51	3,482	-0,1488%	-0,1439%
6/10/2016	80	3,342	3,312	-0,1460%	-0,1460%
Promedio:				-0,1482%	-0,1468%

Medida 9				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
20/10/2016	94	-1,11	-1,12	-0,1747%	-0,1747%
20/10/2016	94	2,766	2,76	-0,1768%	-0,1768%
20/10/2016	94	3,436	3,398	-0,1747%	-0,1733%
20/10/2016	94	3,264	3,23	-0,1733%	-0,1747%
Promedio:				-0,1749%	-0,1749%

Medida 10				% de Variación		Medida 11				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
27/10/2016	101	-1,106	-1,12	-0,1733%	-0,1747%	3/11/2016	108	-1,098	-1,11	-0,1705%	-0,1712%
27/10/2016	101	2,77	2,766	-0,1754%	-0,1747%	3/11/2016	108	2,786	2,782	-0,1698%	-0,1691%
27/10/2016	101	3,438	3,408	-0,1740%	-0,1698%	3/11/2016	108	3,45	3,418	-0,1698%	-0,1663%
27/10/2016	101	3,27	3,24	-0,1712%	-0,1712%	3/11/2016	108	3,28	3,248	-0,1677%	-0,1684%
Promedio:				-0,1735%	-0,1726%	Promedio:				-0,1695%	-0,1688%

Medida 12				% de Variación		Medida 13				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
10/11/2016	115	-1,106	-1,118	-0,1733%	-0,1740%	17/11/2016	122	-1,084	-1,096	-0,1656%	-0,1663%
10/11/2016	115	2,776	2,772	-0,1733%	-0,1726%	17/11/2016	122	2,794	2,788	-0,1670%	-0,1670%
10/11/2016	115	3,442	3,402	-0,1726%	-0,1719%	17/11/2016	122	3,472	3,428	-0,1621%	-0,1628%
10/11/2016	115	3,268	3,234	-0,1719%	-0,1733%	17/11/2016	122	3,298	3,262	-0,1614%	-0,1635%
Promedio:				-0,1728%	-0,1730%	Promedio:				-0,1640%	-0,1649%

11.1.1.5 Mediciones de las probetas de la mezcla AS25:

11.1.1.6

Nombre Probeta	Fecha de Fundido	Medida 1			
		Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min
AS25-2-2	24/06/2016	25/06/2016	1	- 1,028	- 1,036
AS25-2-4	24/06/2016	25/06/2016	1	- 0,474	- 0,478
	24/06/2016	25/06/2016	1		
	24/06/2016	25/06/2016	1		

Medida 2				% de Variación		Medida 3				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
2/08/2016	39	-1,006	-1,022	0,0077%	0,0049%	9/08/2016	46	-1,340	-1,354	-0,1095%	-0,1116%
2/08/2016	39	-0,454	-0,462	0,0070%	0,0056%	9/08/2016	46	-0,792	-0,800	-0,1116%	-0,1130%
2/08/2016	39			0,0000%	0,0000%	9/08/2016	46			0,0000%	0,0000%
2/08/2016	39			0,0000%	0,0000%	9/08/2016	46			0,0000%	0,0000%
Promedio:				0,0074%	0,0053%	Promedio:				-0,1105%	-0,1123%

Medida 4				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
16/08/2016	53	-1,374	-1,388	-0,1214%	-0,1235%
16/08/2016	53	-0,826	-0,836	-0,1235%	-0,1256%
16/08/2016	53			0,0000%	0,0000%
16/08/2016	53			0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1225%	-0,1246%

Medida 5				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
23/08/2016	60	-1,392	-1,404	-0,1277%	-0,1291%
23/08/2016	60	-0,842	-0,846	-0,1291%	-0,1291%
23/08/2016	60			0,0000%	0,0000%
23/08/2016	60			0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1284%	-0,1291%

Medida 6				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
30/08/2016	67	-1,400	-1,410	-0,1305%	-0,1312%
30/08/2016	67	-0,848	-0,856	-0,1312%	-0,1326%
30/08/2016	67			0,0000%	0,0000%
30/08/2016	67			0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1309%	-0,1319%

Medida 7				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
13/09/2016	81	-1,406	-1,416	-0,1326%	-0,1333%
13/09/2016	81	-0,854	-0,858	-0,1333%	-0,1333%
13/09/2016	81			0,0000%	0,0000%
13/09/2016	81			0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1330%	-0,1333%

Medida 8				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
20/09/2016	88	-1,422	-1,432	-0,1382%	-0,1389%
20/09/2016	88	-0,874	-0,882	-0,1404%	-0,1418%
20/09/2016	88			0,0000%	0,0000%
20/09/2016	88			0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1393%	-0,1404%

Medida 9				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
27/09/2016	95	-1,388	-1,344	-0,1263%	-0,1081%
27/09/2016	95	-0,834	-0,84	-0,1263%	-0,1270%
27/09/2016	95			0,0000%	0,0000%
27/09/2016	95			0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1263%	-0,1175%

Medida 10				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
25/10/2016	123	-1,444	-1,454	-0,1460%	-0,1467%
25/10/2016	123	-0,896	-0,900	-0,1481%	-0,1481%
25/10/2016	123	-	-	0,0000%	0,0000%
25/10/2016	123	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1470%	-0,1474%

Medida 11				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
1/11/2016	130	-1,43	-1,438	-0,1411%	-0,1411%
1/11/2016	130	-0,87	-0,878	-0,1389%	-0,1404%
1/11/2016	130	-	-	0,0000%	0,0000%
1/11/2016	130	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1400%	-0,1407%

Medida 12				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
8/11/2016	137	-1,408	-1,408	-0,1333%	-0,1305%
8/11/2016	137	-0,892	-0,902	-0,1467%	-0,1488%
8/11/2016	137			0,0000%	0,0000%
8/11/2016	137			0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1400%	-0,1396%

Medida 13				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
15/11/2016	144	-1,448	-1,464	-0,1474%	-0,1502%
15/11/2016	144	-0,908	-0,914	-0,1523%	-0,1530%
15/11/2016	144			0,0000%	0,0000%
15/11/2016	144			0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1498%	-0,1516%

11.1.1.7 Mediciones de las probetas de la mezcla AS50:

Nombre Probeta	Fecha de Fundido	Medida 1			
		Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min
AS50-2-1	10/06/2016	11/06/2016	1	2,090	2,084
AS50-2-2	10/06/2016	11/06/2016	1	3,480	3,460
AS50-2-3	10/06/2016	11/06/2016	1	3,030	3,028
AS50-2-4	10/06/2016	11/06/2016	1	2,578	2,572

Medida 2				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
15/07/2016	35	2,116	2,110	0,0091%	0,0091%
15/07/2016	35	3,506	3,478	0,0091%	0,0063%
15/07/2016	35	3,060	3,052	0,0105%	0,0084%
15/07/2016	35	2,602	2,594	0,0084%	0,0077%
Promedio:				0,0093%	0,0079%

Medida 3				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
22/07/2016	42	1,808	1,804	-0,0989%	-0,0982%
22/07/2016	42	3,174	3,146	-0,1074%	-0,1102%
22/07/2016	42	2,744	2,736	-0,1004%	-0,1025%
22/07/2016	42	2,300	2,294	-0,0975%	-0,0975%
Promedio:				-0,1011%	-0,1021%

Medida 4				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
29/07/2016	49	0,636	0,614	-0,5102%	-0,5158%
29/07/2016	49	1,300	1,286	-0,7649%	-0,7628%
29/07/2016	49	0,316	0,244	-0,9523%	-0,9768%
29/07/2016	49	0,958	0,954	-0,5684%	-0,5677%
Promedio:				-0,6989%	-0,7058%

Medida 5				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
5/08/2016	56	1,810	1,802	-0,0982%	-0,0989%
5/08/2016	56	3,190	3,162	-0,1018%	-0,1046%
5/08/2016	56	2,744	2,738	-0,1004%	-0,1018%
5/08/2016	56	2,300	2,288	-0,0975%	-0,0996%
Promedio:				-0,0995%	-0,1012%

Medida 6				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
12/08/2016	63	1,786	1,780	-0,1067%	-0,1067%
12/08/2016	63	3,170	3,142	-0,1088%	-0,1116%
12/08/2016	63	2,720	2,714	-0,1088%	-0,1102%
12/08/2016	63	2,274	2,266	-0,1067%	-0,1074%
Promedio:				-0,1077%	-0,1089%

Medida 7				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
19/08/2016	70	1,700	1,694	-0,1368%	-0,1368%
19/08/2016	70	3,082	3,056	-0,1396%	-0,1418%
19/08/2016	70	2,632	2,626	-0,1396%	-0,1411%
19/08/2016	70	2,190	2,182	-0,1361%	-0,1368%
Promedio:				-0,1381%	-0,1391%

Medida 8				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
26/08/2016	77	1,7	1,696	-0,1368%	-0,1361%
26/08/2016	77	3,084	3,058	-0,1389%	-0,1411%
26/08/2016	77	2,63	2,622	-0,1404%	-0,1425%
26/08/2016	77	2,184	2,176	-0,1382%	-0,1389%
Promedio:				-0,1386%	-0,1396%

Medida 9				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
2/09/2016	84	1,702	1,696	-0,1361%	-0,1361%
2/09/2016	84	3,09	3,062	-0,1368%	-0,1396%
2/09/2016	84	2,634	2,626	-0,1389%	-0,1411%
2/09/2016	84	2,186	2,178	-0,1375%	-0,1382%
Promedio:				-0,1374%	-0,1388%

Medida 10				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
16/09/2016	98	1,706	1,700	-0,1347%	-0,1347%
16/09/2016	98	3,090	3,070	-0,1368%	-0,1368%
16/09/2016	98	2,640	2,634	-0,1368%	-0,1382%
16/09/2016	98	2,192	2,188	-0,1354%	-0,1347%
Promedio:				-0,1360%	-0,1361%

Medida 11				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
23/09/2016	105	1,688	1,680	-0,1411%	-0,1418%
23/09/2016	105	3,070	3,050	-0,1439%	-0,1439%
23/09/2016	105	2,616	2,610	-0,1453%	-0,1467%
23/09/2016	105	2,168	2,166	-0,1439%	-0,1425%
Promedio:				-0,1435%	-0,1437%

Medida 12				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
30/09/2016	112	1,716	1,71	-0,1312%	-0,1312%
30/09/2016	112	3,104	3,082	-0,1319%	-0,1326%
30/09/2016	112	2,652	2,646	-0,1326%	-0,1340%
30/09/2016	112	2,2	2,196	-0,1326%	-0,1319%
Promedio:				-0,1321%	-0,1325%

Medida 13				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
7/10/2016	119	1,69	1,684	-0,1404%	-0,1404%
7/10/2016	119	3,074	3,054	-0,1425%	-0,1425%
7/10/2016	119	2,622	2,616	-0,1432%	-0,1446%
7/10/2016	119	2,174	2,168	-0,1418%	-0,1418%
Promedio:				-0,1419%	-0,1423%

Medida 14				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
21/10/2016	133	1,7	1,688	-0,1368%	-0,1389%
21/10/2016	133	3,084	3,056	-0,1389%	-0,1418%
21/10/2016	133	2,626	2,614	-0,1418%	-0,1453%
21/10/2016	133	2,18	2,17	-0,1396%	-0,1411%
Promedio:				-0,1393%	-0,1418%

Medida 15				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
28/10/2016	140	1,666	1,66	-0,1488%	-0,1488%
28/10/2016	140	3,064	3,04	-0,1460%	-0,1474%
28/10/2016	140	2,6	2,594	-0,1509%	-0,1523%
28/10/2016	140	2,172	2,166	-0,1425%	-0,1425%
Promedio:				-0,1470%	-0,1477%

Medida 16				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
4/11/2016	147	1,704	1,7	-0,1354%	-0,1347%
4/11/2016	147	3,106	3,076	-0,1312%	-0,1347%
4/11/2016	147	2,646	2,636	-0,1347%	-0,1375%
4/11/2016	147	2,206	2,198	-0,1305%	-0,1312%
Promedio:				-0,1330%	-0,1346%

Medida 17				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
11/11/2016	154	1,696	1,69	-0,1382%	-0,1382%
11/11/2016	154	3,092	3,066	-0,1361%	-0,1382%
11/11/2016	154	2,618	2,612	-0,1446%	-0,1460%
11/11/2016	154	2,178	2,172	-0,1404%	-0,1404%
Promedio:				-0,1398%	-0,1407%

Medida 18				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
18/11/2016	161	1,706	1,702	-0,1347%	-0,1340%
18/11/2016	161	3,09	3,066	-0,1368%	-0,1382%
18/11/2016	161	2,632	2,626	-0,1396%	-0,1411%
18/11/2016	161	2,188	2,182	-0,1368%	-0,1368%
Promedio:				-0,1370%	-0,1375%

11.1.1.8 Mediciones de las probetas de la mezcla BN25:

11.1.1.9

Nombre Probeta	Fecha de Fundido	Medida 1			
		Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min
BN25-2-1	22/07/2016	23/07/2016	1	4,666	4,644
BN25-2-2	22/07/2016	23/07/2016	1	3,810	3,802
BN25-2-3	22/07/2016	23/07/2016	1	3,392	3,382
BN25-2-4	22/07/2016	23/07/2016	1	3,956	3,924

Medida 2				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
23/08/2016	32	4,686	4,668	0,0070%	0,0084%
23/08/2016	32	3,822	3,816	0,0042%	0,0049%
23/08/2016	32	3,404	3,394	0,0042%	0,0042%
23/08/2016	32	3,974	3,944	0,0063%	0,0070%
Promedio:				0,0054%	0,0061%

Medida 3				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
30/08/2016	39	4,39	4,372	-0,0968%	-0,0954%
30/08/2016	39	3,52	3,514	-0,1018%	-0,1011%
30/08/2016	39	3,104	3,096	-0,1011%	-0,1004%
30/08/2016	39	3,664	3,634	-0,1025%	-0,1018%
Promedio:				-0,1005%	-0,0996%

Medida 4				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
13/09/2016	53	4,328	4,308	-0,1186%	-0,1179%
13/09/2016	53	3,464	3,458	-0,1214%	-0,1207%
13/09/2016	53	3,048	3,040	-0,1207%	-0,1200%
13/09/2016	53	3,614	3,584	-0,1200%	-0,1193%
Promedio:				-0,1202%	-0,1195%

Medida 5				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
20/09/2016	60	4,31	4,29	-0,1249%	-0,1242%
20/09/2016	60	3,442	3,436	-0,1291%	-0,1284%
20/09/2016	60	3,024	3,014	-0,1291%	-0,1291%
20/09/2016	60	3,592	3,558	-0,1277%	-0,1284%
Promedio:				-0,1277%	-0,1275%

Medida 6				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
27/09/2016	67	4,346	4,328	-0,1123%	-0,1109%
27/09/2016	67	3,48	3,474	-0,1158%	-0,1151%
27/09/2016	67	3,064	3,056	-0,1151%	-0,1144%
27/09/2016	67	3,63	3,598	-0,1144%	-0,1144%
Promedio:				-0,1144%	-0,1137%

Medida 7				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
4/10/2016	74	4,31	4,292	-0,1249%	-0,1235%
4/10/2016	74	3,44	3,436	-0,1298%	-0,1284%
4/10/2016	74	3,028	3,02	-0,1277%	-0,1270%
4/10/2016	74	3,594	3,564	-0,1270%	-0,1263%
Promedio:				-0,1274%	-0,1263%

Medida 8				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
18/10/2016	88	4,25	4,23	-0,1460%	-0,1453%
18/10/2016	88	3,378	3,372	-0,1516%	-0,1509%
18/10/2016	88	2,966	2,958	-0,1495%	-0,1488%
18/10/2016	88	3,536	3,502	-0,1474%	-0,1481%
Promedio:				-0,1486%	-0,1482%

Medida 9				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
25/10/2016	95	4,268	4,248	-0,1396%	-0,1389%
25/10/2016	95	3,398	3,39	-0,1446%	-0,1446%
25/10/2016	95	2,978	2,97	-0,1453%	-0,1446%
25/10/2016	95	3,548	3,514	-0,1432%	-0,1439%
Promedio:				-0,1432%	-0,1430%

Medida 10				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
1/11/2016	102	4,276	4,256	-0,1368%	-0,1361%
1/11/2016	102	3,406	3,398	-0,1418%	-0,1418%
1/11/2016	102	2,988	2,978	-0,1418%	-0,1418%
1/11/2016	102	3,554	3,52	-0,1411%	-0,1418%
Promedio:				-0,1404%	-0,1404%

Medida 11				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
8/11/2016	109	4,276	4,25	-0,1368%	-0,1382%
8/11/2016	109	3,408	3,402	-0,1411%	-0,1404%
8/11/2016	109	2,988	2,98	-0,1418%	-0,1411%
8/11/2016	109	3,56	3,522	-0,1389%	-0,1411%
Promedio:				-0,1396%	-0,1402%

Medida 12				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
15/11/2016	116	4,27	4,24	-0,1389%	-0,1418%
15/11/2016	116	3,4	3,39	-0,1439%	-0,1446%
15/11/2016	116	2,988	2,972	-0,1418%	-0,1439%
15/11/2016	116	3,554	3,518	-0,1411%	-0,1425%
Promedio:				-0,1414%	-0,1432%

11.1.1.10 [Mediciones de las probetas de la mezcla BN50:](#)

Nombre Probeta	Fecha de Fundido	Medida 1			
		Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min
BN50-2-1	25/07/2016	26/07/2016	1	3,102	3,098
BN50-2-2	25/07/2016	26/07/2016	1	3,982	3,964
BN50-2-3	25/07/2016	26/07/2016	1	3,402	3,396
BN50-2-4	25/07/2016	26/07/2016	1	3,962	3,958

Medida 2				% de Variación		Medida 3				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
1/09/2016	38	3,134	3,130	0,0112%	0,0112%	15/09/2016	52	2,712	2,710	-0,1368%	-0,1361%
1/09/2016	38	4,022	4,006	0,0140%	0,0147%	15/09/2016	52	3,578	3,564	-0,1418%	-0,1404%
1/09/2016	38	3,430	3,426	0,0098%	0,0105%	15/09/2016	52	3,004	3,000	-0,1396%	-0,1389%
1/09/2016	38	2,988	2,982	-0,3418%	-0,3425%	15/09/2016	52	2,562	2,556	-0,4912%	-0,4919%
Promedio:				0,0117%	0,0122%	Promedio:				-0,2274%	-0,2268%

Medida 4				% de Variación		Medida 5				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
22/09/2016	59	2,708	2,706	-0,1382%	-0,1375%	29/09/2016	66	2,708	2,706	-0,1382%	-0,1375%
22/09/2016	59	3,578	3,56	-0,1418%	-0,1418%	29/09/2016	66	3,574	3,564	-0,1432%	-0,1404%
22/09/2016	59	3,002	2,994	-0,1404%	-0,1411%	29/09/2016	66	3	2,996	-0,1411%	-0,1404%
22/09/2016	59	2,554	2,548	-0,4940%	-0,4947%	29/09/2016	66	2,56	2,552	-0,4919%	-0,4933%
Promedio:				-0,2286%	-0,2288%	Promedio:				-0,2286%	-0,2279%

Medida 6				% de Variación		Medida 7				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
6/10/2016	73	2,686	2,684	-0,1460%	-0,1453%	20/10/2016	87	2,608	2,606	-0,1733%	-0,1726%
6/10/2016	73	3,55	3,54	-0,1516%	-0,1488%	20/10/2016	87	3,472	3,458	-0,1789%	-0,1775%
6/10/2016	73	2,976	2,97	-0,1495%	-0,1495%	20/10/2016	87	2,9	2,894	-0,1761%	-0,1761%
6/10/2016	73	2,532	2,526	-0,5018%	-0,5025%	20/10/2016	87	2,452	2,446	-0,5298%	-0,5305%
Promedio:				-0,2372%	-0,2365%	Promedio:				-0,2646%	-0,2642%

Medida 8				% de Variación		Medida 9				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
27/10/2016	94	2,614	2,614	-0,1712%	-0,1698%	3/11/2016	101	2,62	2,618	-0,1691%	-0,1684%
27/10/2016	94	3,48	3,47	-0,1761%	-0,1733%	3/11/2016	101	3,486	3,476	-0,1740%	-0,1712%
27/10/2016	94	2,912	2,904	-0,1719%	-0,1726%	3/11/2016	101	2,916	2,91	-0,1705%	-0,1705%
27/10/2016	94	2,466	2,46	-0,5249%	-0,5256%	3/11/2016	101	2,47	2,462	-0,5235%	-0,5249%
Promedio:				-0,2611%	-0,2604%	Promedio:				-0,2593%	-0,2588%

Medida 10				% de Variación		Medida 11				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
10/11/2016	108	2,612	2,612	-0,1719%	-0,1705%	17/11/2016	115	2,622	2,62	-0,1684%	-0,1677%
10/11/2016	108	3,482	3,468	-0,1754%	-0,1740%	17/11/2016	115	3,49	3,474	-0,1726%	-0,1719%
10/11/2016	108	2,904	2,9	-0,1747%	-0,1740%	17/11/2016	115	2,918	2,914	-0,1698%	-0,1691%
10/11/2016	108	2,46	2,456	-0,5270%	-0,5270%	17/11/2016	115	2,478	2,472	-0,5207%	-0,5214%
Promedio:				-0,2623%	-0,2614%	Promedio:				-0,2579%	-0,2575%

11.1.1.11 Mediciones de las probetas de la mezcla BS25:

Nombre Probeta	Fecha de Fundido	Medida 1			
		Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min
BS25-2-1	1/07/2016	2/07/2016	1	2,508	2,522
BS25-2-2	1/07/2016	2/07/2016	1	2,970	2,980
BS25-2-3	1/07/2016	2/07/2016	1	1,502	1,520
BS25-2-4	1/07/2016	2/07/2016	1	2,512	2,518

Medida 2				% de Variación		Medida 3				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
2/08/2016	32	2,552	2,538	0,0154%	0,0056%	9/08/2016	39	2,260	2,246	-0,0870%	-0,0968%
2/08/2016	32	3,008	2,998	0,0133%	0,0063%	9/08/2016	39	2,716	2,708	-0,0891%	-0,0954%
2/08/2016	32	2,560	2,556	0,3712%	0,3635%	9/08/2016	39	1,266	1,248	-0,0828%	-0,0954%
2/08/2016	32	1,552	1,534	-0,3368%	-0,3453%	9/08/2016	39	2,266	2,258	-0,0863%	-0,0912%
Promedio:				0,1333%	0,1251%	Promedio:				-0,0863%	-0,0947%

Medida 4				% de Variación		Medida 5				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
16/08/2016	46	2,236	2,222	-0,0954%	-0,1053%	23/08/2016	53	2,226	2,214	-0,0989%	-0,1081%
16/08/2016	46	2,692	2,684	-0,0975%	-0,1039%	23/08/2016	53	2,680	2,672	-0,1018%	-0,1081%
16/08/2016	46	1,246	1,226	-0,0898%	-0,1032%	23/08/2016	53	1,228	1,212	-0,0961%	-0,1081%
16/08/2016	46	2,242	2,234	-0,0947%	-0,0996%	23/08/2016	53	2,226	2,220	-0,1004%	-0,1046%
Promedio:				-0,0944%	-0,1030%	Promedio:				-0,0993%	-0,1072%

Medida 6				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
30/08/2016	60	2,226	2,214	-0,0989%	-0,1081%
30/08/2016	60	2,684	2,676	-0,1004%	-0,1067%
30/08/2016	60	1,232	1,212	-0,0947%	-0,1081%
30/08/2016	60	2,240	2,232	-0,0954%	-0,1004%
Promedio:				-0,0974%	-0,1058%

Medida 7				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
13/09/2016	74	2,22	2,206	-0,1011%	-0,1109%
13/09/2016	74	2,674	2,666	-0,1039%	-0,1102%
13/09/2016	74	1,222	1,208	-0,0982%	-0,1095%
13/09/2016	74	2,24	2,232	-0,0954%	-0,1004%
Promedio:				-0,0996%	-0,1077%

Medida 8				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
20/09/2016	81	2,202	2,192	-0,1074%	-0,1158%
20/09/2016	81	2,664	2,656	-0,1074%	-0,1137%
20/09/2016	81	1,202	1,192	-0,1053%	-0,1151%
20/09/2016	81	2,208	2,202	-0,1067%	-0,1109%
Promedio:				-0,1067%	-0,1139%

Medida 9				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
27/09/2016	88	2,234	2,224	-0,0961%	-0,1046%
27/09/2016	88	2,698	2,690	-0,0954%	-0,1018%
27/09/2016	88	1,230	1,220	-0,0954%	-0,1053%
27/09/2016	88	2,244	2,238	-0,0940%	-0,0982%
Promedio:				-0,0953%	-0,1025%

Medida 10				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
4/10/2016	95	2,212	2,202	-0,1039%	-0,1123%
4/10/2016	95	2,67	2,662	-0,1053%	-0,1116%
4/10/2016	95	1,214	1,202	-0,1011%	-0,1116%
4/10/2016	95	2,226	2,22	-0,1004%	-0,1046%
Promedio:				-0,1026%	-0,1100%

Medida 11				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
18/10/2016	109	2,18	2,166	-0,1151%	-0,1249%
18/10/2016	109	2,632	2,624	-0,1186%	-0,1249%
18/10/2016	109	1,17	1,162	-0,1165%	-0,1256%
18/10/2016	109	2,182	2,172	-0,1158%	-0,1214%
Promedio:				-0,1165%	-0,1242%

Medida 12				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
25/10/2016	116	2,188	2,176	-0,1123%	-0,1214%
25/10/2016	116	2,648	2,638	-0,1130%	-0,1200%
25/10/2016	116	1,186	1,176	-0,1109%	-0,1207%
25/10/2016	116	2,194	2,186	-0,1116%	-0,1165%
Promedio:				-0,1119%	-0,1196%

Medida 13				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
1/11/2016	123	2,198	2,186	-0,1088%	-0,1179%
1/11/2016	123	2,656	2,646	-0,1102%	-0,1172%
1/11/2016	123	1,194	1,186	-0,1081%	-0,1172%
1/11/2016	123	2,194	2,186	-0,1116%	-0,1165%
Promedio:				-0,1096%	-0,1172%

Medida 14				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
8/11/2016	130	2,206	2,192	-0,1060%	-0,1158%
8/11/2016	130	2,668	2,66	-0,1060%	-0,1123%
8/11/2016	130	1,196	1,184	-0,1074%	-0,1179%
8/11/2016	130	2,192	2,184	-0,1123%	-0,1172%
Promedio:				-0,1079%	-0,1158%

Medida 15				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
15/11/2016	137	2,202	2,188	-0,1074%	-0,1172%
15/11/2016	137	2,658	2,648	-0,1095%	-0,1165%
15/11/2016	137	1,202	1,198	-0,1053%	-0,1130%
15/11/2016	137	2,196	2,188	-0,1109%	-0,1158%
Promedio:				-0,1082%	-0,1156%

11.1.1.12 Mediciones de las probetas de la mezcla BS50:

Nombre Probeta	Fecha de Fundido	Medida 1			
		Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min
BS50-2-1	15/06/2016	16/06/2016	1	1,058	1,046
BS50-2-2	15/06/2016	16/06/2016	1	1,116	1,11
BS50-2-3	15/06/2016	16/06/2016	1	1,336	1,322
	15/06/2016	16/06/2016	1		

Medida 2				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
23/07/2016	38	1,074	1,070	0,0056%	0,0084%
23/07/2016	38	1,126	1,116	0,0035%	0,0021%
23/07/2016	38	1,342	1,332	0,0021%	0,0035%
23/07/2016	38			0,0000%	0,0000%
Promedio:				0,0037%	0,0047%

Medida 3				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
29/07/2016	44	0,812	0,800	-0,0863%	-0,0863%
29/07/2016	44	0,860	0,852	-0,0898%	-0,0905%
29/07/2016	44	1,086	1,070	-0,0877%	-0,0884%
29/07/2016	44			0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,0880%	-0,0884%

Medida 4				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
5/08/2016	51	0,822	0,808	-0,0828%	-0,0835%
5/08/2016	51	0,872	0,864	-0,0856%	-0,0863%
5/08/2016	51	1,094	1,080	-0,0849%	-0,0849%
5/08/2016	51			0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,0844%	-0,0849%

Medida 5				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
12/08/2016	58	0,794	0,786	-0,0926%	-0,0912%
12/08/2016	58	0,848	0,840	-0,0940%	-0,0947%
12/08/2016	58	1,066	1,056	-0,0947%	-0,0933%
12/08/2016	58			0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,0938%	-0,0931%

Medida 6				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
19/08/2016	65	0,722	0,712	-0,1179%	-0,1172%
19/08/2016	65	0,762	0,758	-0,1242%	-0,1235%
19/08/2016	65	0,984	0,976	-0,1235%	-0,1214%
19/08/2016	65			0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1219%	-0,1207%

Medida 7				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
26/08/2016	72	0,714	0,706	-0,1207%	-0,1193%
26/08/2016	72	0,756	0,754	-0,1263%	-0,1249%
26/08/2016	72	0,980	0,972	-0,1249%	-0,1228%
26/08/2016	72			0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1240%	-0,1223%

Medida 8				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
2/09/2016	79	0,716	0,704	-0,1200%	-0,1200%
2/09/2016	79	0,76	0,752	-0,1249%	-0,1256%
2/09/2016	79	0,978	0,964	-0,1256%	-0,1256%
2/09/2016	79			0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1235%	-0,1237%

Medida 9				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
16/09/2016	93	0,714	0,706	-0,1207%	-0,1193%
16/09/2016	93	0,764	0,758	-0,1235%	-0,1235%
16/09/2016	93	0,9782	0,97	-0,1255%	-0,1235%
16/09/2016	93			0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1233%	-0,1221%

Medida 10				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
23/09/2016	100	0,69	0,684	-0,1291%	-0,1270%
23/09/2016	100	0,736	0,732	-0,1333%	-0,1326%
23/09/2016	100	0,954	0,946	-0,1340%	-0,1319%
23/09/2016	100			0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1322%	-0,1305%

Medida 11				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
30/09/2016	107	0,72	0,708	-0,1186%	-0,1186%
30/09/2016	107	0,77	0,762	-0,1214%	-0,1221%
30/09/2016	107	0,988	0,976	-0,1221%	-0,1214%
30/09/2016	107	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1207%	-0,1207%

Medida 12				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
7/10/2016	114	0,69	0,686	-0,1291%	-0,1263%
7/10/2016	114	0,744	0,736	-0,1305%	-0,1312%
7/10/2016	114	0,962	0,954	-0,1312%	-0,1291%
7/10/2016	114	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1303%	-0,1289%

Medida 13				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
21/10/2016	128	0,678	0,68	-0,1333%	-0,1284%
21/10/2016	128	0,944	0,928	-0,0604%	-0,0639%
21/10/2016	128	0,724	0,718	-0,2147%	-0,2119%
21/10/2016	128	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1361%	-0,1347%

Medida 14				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
28/10/2016	135	0,658	0,65	-0,1404%	-0,1389%
28/10/2016	135	0,708	0,702	-0,1432%	-0,1432%
28/10/2016	135	0,658	0,652	-0,2379%	-0,2351%
28/10/2016	135	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1738%	-0,1724%

Medida 15				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
4/11/2016	142	0,72	0,702	-0,1186%	-0,1207%
4/11/2016	142	0,754	0,748	-0,1270%	-0,1270%
4/11/2016	142	0,98	0,966	-0,1249%	-0,1249%
4/11/2016	142	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1235%	-0,1242%

Medida 16				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
11/11/2016	149	0,688	0,68	-0,1298%	-0,1284%
11/11/2016	149	0,738	0,73	-0,1326%	-0,1333%
11/11/2016	149	0,952	0,942	-0,1347%	-0,1333%
11/11/2016	149	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1324%	-0,1317%

Medida 17				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
18/11/2016	156	0,688	0,68	-0,1298%	-0,1284%
18/11/2016	156	0,74	0,732	-0,1319%	-0,1326%
18/11/2016	156	0,956	0,948	-0,1333%	-0,1312%
18/11/2016	156	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				-0,1317%	-0,1308%

i. Expansión por sulfatos

En las tablas siguientes, se presentan los resultados de cada una de las mediciones realizadas a las probetas de mortero endurecido para el ensayo de Expansión por Sulfatos durante todo el curso de la investigación:

11.1.1.13 Mediciones de las probetas de la mezcla A:

Nombre Probeta	Fecha de Fundido	Medida 1			
		Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min
AN-1-1	3/06/2016	4/06/2016	1	- 0,208	- 0,218
AN-1-2	3/06/2016	4/06/2016	1	0,292	0,278
AN-1-3	3/06/2016	4/06/2016	1	-	-
AN-1-4	3/06/2016	4/06/2016	1	0,492	0,47

Medida 2				% de Variación		Medida 3				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
11/06/2016	8	-0,152	-0,16	0,0196%	0,0204%	18/06/2016	15	-0,156	-0,164	0,0182%	0,0189%
11/06/2016	8	-0,159	-0,166	-0,1582%	-0,1558%	18/06/2016	15	0,368	0,348	0,0267%	0,0246%
11/06/2016	8	-	-	0,0000%	0,0000%	18/06/2016	15	-	-	0,0000%	0,0000%
11/06/2016	8	0,546	0,524	0,0189%	0,0189%	18/06/2016	15	0,556	0,528	0,0225%	0,0204%
Promedio:				0,0193%	0,0196%	Promedio:				0,0225%	0,0213%

Medida 4				% de Variación		Medida 5				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
25/06/2016	22	-0,144	-0,150	0,0225%	0,0239%	1/07/2016	28	-0,144	-0,156	0,0225%	0,0218%
25/06/2016	22	0,386	0,364	0,0330%	0,0302%	1/07/2016	28	0,286	0,360	-0,0021%	0,0288%
25/06/2016	22	-	-	0,0000%	0,0000%	1/07/2016	28	-	-	0,0000%	0,0000%
25/06/2016	22	0,572	0,55	0,0281%	0,0281%	1/07/2016	28	0,586	0,554	0,0330%	0,0295%
Promedio:				0,0278%	0,0274%	Promedio:				0,0277%	0,0267%

Medida 6				% de Variación		Medida 7				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
15/07/2016	42	-0,148	-0,160	0,0211%	0,0204%	29/07/2016	56	-0,136	-0,146	0,0253%	0,0253%
15/07/2016	42	0,382	0,354	0,0316%	0,0267%	29/07/2016	56	0,416	0,374	0,0435%	0,0337%
15/07/2016	42	-	-	0,0000%	0,0000%	29/07/2016	56	-	-	0,0000%	0,0000%
15/07/2016	42	0,580	0,548	0,0309%	0,0274%	29/07/2016	56	0,604	0,584	0,0393%	0,0400%
Promedio:				0,0278%	0,0248%	Promedio:				0,0360%	0,0330%

Medida 8				% de Variación		Medida 9				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
5/08/2016	63	-0,066	-0,058	0,0498%	0,0561%	19/08/2016	77	-0,13	-0,138	0,0274%	0,0281%
5/08/2016	63	0,464	0,44	0,0604%	0,0568%	19/08/2016	77	0,404	0,382	0,0393%	0,0365%
5/08/2016	63	-	-	0,0000%	0,0000%	19/08/2016	77	-	-	0,0000%	0,0000%
5/08/2016	63	0,662	0,636	0,0596%	0,0582%	19/08/2016	77	0,614	0,588	0,0428%	0,0414%
Promedio:				0,0566%	0,0571%	Promedio:				0,0365%	0,0353%

Medida 10				% de Variación		Medida 11				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
26/08/2016	84	-0,128	-0,138	0,0281%	0,0281%	2/09/2016	91	-0,118	-0,13	0,0316%	0,0309%
26/08/2016	84	0,402	0,382	0,0386%	0,0365%	2/09/2016	91	0,418	0,392	0,0442%	0,0400%
26/08/2016	84	-	-	0,0000%	0,0000%	2/09/2016	91			0,0000%	0,0000%
26/08/2016	84	0,592	0,566	0,0351%	0,0337%	2/09/2016	91	0,606	0,576	0,0400%	0,0372%
Promedio:				0,0339%	0,0327%	Promedio:				0,0386%	0,0360%

Medida 12				% de Variación		Medida 13				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
16/09/2016	105	-0,134	-0,142	0,0260%	0,0267%	23/09/2016	112	-0,126	-0,134	0,0288%	0,0295%
16/09/2016	105	0,410	0,390	0,0414%	0,0393%	23/09/2016	112	0,406	0,388	0,0400%	0,0386%
16/09/2016	105	-	-	0,0000%	0,0000%	23/09/2016	112	-	-	0,0000%	0,0000%
16/09/2016	105	0,588	0,564	0,0337%	0,0330%	23/09/2016	112	0,6	0,572	0,0379%	0,0358%
Promedio:				0,0337%	0,0330%	Promedio:				0,0356%	0,0346%

Medida 14				% de Variación		Medida 15				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
30/09/2016	119	-0,100	-0,110	0,0379%	0,0379%	7/10/2016	126	-0,110	-0,118	0,0344%	0,0351%
30/09/2016	119	0,418	0,436	0,0442%	0,0554%	7/10/2016	126	0,414	0,428	0,0428%	0,0526%
30/09/2016	119	-	-	0,0000%	0,0000%	7/10/2016	126	-	-	0,0000%	0,0000%
30/09/2016	119	0,674	0,604	0,0639%	0,0470%	7/10/2016	126	0,612	0,588	0,0421%	0,0414%
Promedio:				0,0487%	0,0468%	Promedio:				0,0398%	0,0430%

Medida 16				% de Variación		Medida 17				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
21/10/2016	140	-0,136	-0,146	0,0253%	0,0253%	28/10/2016	147	-	-	0,0000%	0,0000%
21/10/2016	140	0,402	0,376	0,0386%	0,0344%	28/10/2016	147	0,43	0,41	0,0484%	0,0463%
21/10/2016	140	-	-	0,0000%	0,0000%	28/10/2016	147	-	-	0,0000%	0,0000%
21/10/2016	140	0,588	0,556	0,0337%	0,0302%	28/10/2016	147	0,61	0,59	0,0414%	0,0421%
Promedio:				0,0325%	0,0299%	Promedio:				0,0449%	0,0442%

Medida 18				% de Variación		Medida 19				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
4/11/2016	154	-0,102	-0,114	0,0372%	0,0365%	11/11/2016	161	-0,092	-0,104	0,0407%	0,0400%
4/11/2016	154	0,442	0,416	0,0526%	0,0484%	11/11/2016	161	0,442	0,428	0,0526%	0,0526%
4/11/2016	154	-	-	0,0000%	0,0000%	11/11/2016	161	-	-	0,0000%	0,0000%
4/11/2016	154	0,632	0,596	0,0491%	0,0442%	11/11/2016	161	0,628	0,598	0,0477%	0,0449%
Promedio:				0,0463%	0,0430%	Promedio:				0,0470%	0,0458%

Medida 20				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
18/11/2016	168	-0,096	-0,106	0,0393%	0,0393%
18/11/2016	168	0,444	0,426	0,0533%	0,0519%
18/11/2016	168	-	-	0,0000%	0,0000%
18/11/2016	168	0,626	0,598	0,0470%	0,0449%
Promedio:				0,0465%	0,0454%

11.1.1.14 [Mediciones de las probetas de la mezcla B:](#)

Nombre Probeta	Fecha de Fundido	Medida 1			
		Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min
BN-1-1	11/07/2016	12/07/2016	1	2,738	2,704
BN-1-2	11/07/2016	12/07/2016	1	3,106	3,07
BN-1-3	11/07/2016	12/07/2016	1	3,036	3,004
BN-1-4	11/07/2016	12/07/2016	1	2,902	2,894

Medida 2				% de Variación		Medida 3				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
19/07/2016	8	2,804	2,768	0,0232%	0,0225%	26/07/2016	15	2,816	2,774	0,0274%	0,0246%
19/07/2016	8	3,174	3,134	0,0239%	0,0225%	26/07/2016	15	3,184	3,144	0,0274%	0,0260%
19/07/2016	8	3,100	3,066	0,0225%	0,0218%	26/07/2016	15	3,116	3,080	0,0281%	0,0267%
19/07/2016	8	2,960	2,952	0,0204%	0,0204%	26/07/2016	15	2,978	2,968	0,0267%	0,0260%
Promedio:				0,0225%	0,0218%	Promedio:				0,0274%	0,0258%

Medida 4				% de Variación		Medida 5				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
2/08/2016	22	2,818	2,784	0,0281%	0,0281%	9/08/2016	29	2,798	2,764	0,0211%	0,0211%
2/08/2016	22	3,188	3,156	0,0288%	0,0302%	9/08/2016	29	3,164	3,128	0,0204%	0,0204%
2/08/2016	22	3,120	3,096	0,0295%	0,0323%	9/08/2016	29	3,096	3,068	0,0211%	0,0225%
2/08/2016	22	2,984	2,976	0,0288%	0,0288%	9/08/2016	29	2,956	2,948	0,0189%	0,0189%
Promedio:				0,0288%	0,0298%	Promedio:				0,0204%	0,0207%

Medida 6				% de Variación		Medida 7				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
16/08/2016	36	2,814	2,778	0,0267%	0,0260%	23/08/2016	43	2,826	2,798	0,0309%	0,0330%
16/08/2016	36	3,182	3,144	0,0267%	0,0260%	23/08/2016	43	3,200	3,164	0,0330%	0,0330%
16/08/2016	36	3,116	3,088	0,0281%	0,0295%	23/08/2016	43	3,126	3,106	0,0316%	0,0358%
16/08/2016	36	2,976	2,968	0,0260%	0,0260%	23/08/2016	43	2,992	2,986	0,0316%	0,0323%
Promedio:				0,0268%	0,0268%	Promedio:				0,0318%	0,0335%

Medida 8				% de Variación		Medida 9				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
30/08/2016	50	2,810	2,780	0,0253%	0,0267%	13/09/2016	64	2,834	2,806	0,0337%	0,0358%
30/08/2016	50	3,178	3,144	0,0253%	0,0260%	13/09/2016	64	3,206	3,176	0,0351%	0,0372%
30/08/2016	50	3,108	3,088	0,0253%	0,0295%	13/09/2016	64	3,138	3,118	0,0358%	0,0400%
30/08/2016	50	2,970	2,962	0,0239%	0,0239%	13/09/2016	64	2,998	2,992	0,0337%	0,0344%
Promedio:				0,0249%	0,0265%	Promedio:				0,0346%	0,0368%

Medida 10				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
20/09/2016	71	2,838	2,804	0,0351%	0,0351%
20/09/2016	71	3,208	3,172	0,0358%	0,0358%
20/09/2016	71	3,14	3,118	0,0365%	0,0400%
20/09/2016	71	3	2,994	0,0344%	0,0351%
Promedio:				0,0354%	0,0365%

Medida 11				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
27/09/2016	78	2,85	2,822	0,0393%	0,0414%
27/09/2016	78	3,224	3,19	0,0414%	0,0421%
27/09/2016	78	3,154	3,134	0,0414%	0,0456%
27/09/2016	78	3,014	3,008	0,0393%	0,0400%
Promedio:				0,0404%	0,0423%

Medida 12				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
4/10/2016	85	2,846	2,82	0,0379%	0,0407%
4/10/2016	85	3,222	3,188	0,0407%	0,0414%
4/10/2016	85	3,152	3,136	0,0407%	0,0463%
4/10/2016	85	3,012	3,008	0,0386%	0,0400%
Promedio:				0,0395%	0,0421%

Medida 13				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
18/10/2016	99	2,842	2,814	0,0365%	0,0386%
18/10/2016	99	3,22	3,186	0,0400%	0,0407%
18/10/2016	99	3,152	3,134	0,0407%	0,0456%
18/10/2016	99	3,012	3,006	0,0386%	0,0393%
Promedio:				0,0389%	0,0411%

Medida 14				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
25/10/2016	106	2,854	2,826	0,0407%	0,0428%
25/10/2016	106	3,234	3,202	0,0449%	0,0463%
25/10/2016	106	3,164	3,146	0,0449%	0,0498%
25/10/2016	106	3,03	3,024	0,0449%	0,0456%
Promedio:				0,0439%	0,0461%

Medida 15				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
1/11/2016	113	2,86	2,83	0,0428%	0,0442%
1/11/2016	113	3,242	3,208	0,0477%	0,0484%
1/11/2016	113	3,172	3,152	0,0477%	0,0519%
1/11/2016	113	3,036	3,032	0,0470%	0,0484%
Promedio:				0,0463%	0,0482%

Medida 16				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
8/11/2016	120	2,852	2,816	0,0400%	0,0393%
8/11/2016	120	3,234	3,198	0,0449%	0,0449%
8/11/2016	120	3,174	3,148	0,0484%	0,0505%
8/11/2016	120	3,036	3,028	0,0470%	0,0470%
Promedio:				0,0451%	0,0454%

Medida 17				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
15/11/2016	127	2,876	2,83	0,0484%	0,0442%
15/11/2016	127	3,258	3,22	0,0533%	0,0526%
15/11/2016	127	3,196	3,164	0,0561%	0,0561%
15/11/2016	127	3,056	3,048	0,0540%	0,0540%
Promedio:				0,0530%	0,0518%

11.1.1.15 Mediciones de las probetas de la mezcla AN25:

Nombre Probeta	Fecha de Fundido	Medida 1			
		Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min
AN25-1-1	13/07/2016	14/07/2016	1	1,270	1,260
AN25-1-2	13/07/2016	14/07/2016	1	2,086	2,068
AN25-1-3	13/07/2016	14/07/2016	1	2,080	2,070
AN25-1-4	13/07/2016	14/07/2016	1	2,198	2,192

Medida 2				% de Variación		Medida 3				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
22/07/2016	9	1,326	1,322	0,0196%	0,0218%	28/07/2016	15	1,336	1,332	0,0232%	0,0253%
22/07/2016	9	2,146	2,126	0,0211%	0,0204%	28/07/2016	15	2,158	2,138	0,0253%	0,0246%
22/07/2016	9	2,136	2,128	0,0196%	0,0204%	28/07/2016	15	2,144	2,136	0,0225%	0,0232%
22/07/2016	9	2,266	2,262	0,0239%	0,0246%	28/07/2016	15	2,284	2,280	0,0302%	0,0309%
Promedio:				0,0211%	0,0218%	Promedio:				0,0253%	0,0260%

Medida 4				% de Variación		Medida 5				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
4/08/2016	22	1,324	1,316	0,0189%	0,0196%	11/08/2016	29	1,338	1,330	0,0239%	0,0246%
4/08/2016	22	2,156	2,136	0,0246%	0,0239%	11/08/2016	29	2,160	2,140	0,0260%	0,0253%
4/08/2016	22	2,144	2,136	0,0225%	0,0232%	11/08/2016	29	2,148	2,142	0,0239%	0,0253%
4/08/2016	22	2,278	2,274	0,0281%	0,0288%	11/08/2016	29	2,308	2,304	0,0386%	0,0393%
Promedio:				0,0235%	0,0239%	Promedio:				0,0281%	0,0286%

Medida 6				% de Variación		Medida 7				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
18/08/2016	36	1,352	1,344	0,0288%	0,0295%	25/08/2016	43	1,346	1,340	0,0267%	0,0281%
18/08/2016	36	2,344	2,324	0,0905%	0,0898%	25/08/2016	43	2,160	2,146	0,0260%	0,0274%
18/08/2016	36	2,334	2,328	0,0891%	0,0905%	25/08/2016	43	2,156	2,145	0,0267%	0,0263%
18/08/2016	36	2,470	2,468	0,0954%	0,0968%	25/08/2016	43	2,292	2,290	0,0330%	0,0344%
Promedio:				0,0760%	0,0767%	Promedio:				0,0281%	0,0290%

Medida 8				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
1/09/2016	50	1,358	1,35	0,0309%	0,0316%
1/09/2016	50	2,182	2,162	0,0337%	0,0330%
1/09/2016	50	2,17	2,162	0,0316%	0,0323%
1/09/2016	50	2,306	2,304	0,0379%	0,0393%
Promedio:				0,0335%	0,0340%

Medida 9				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
15/09/2016	64	1,348	1,344	0,0274%	0,0295%
15/09/2016	64	2,172	2,150	0,0302%	0,0288%
15/09/2016	64	2,164	2,154	0,0295%	0,0295%
15/09/2016	64	2,300	2,298	0,0358%	0,0372%
Promedio:				0,0307%	0,0312%

Medida 10				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
22/09/2016	71	1,36	1,348	0,0316%	0,0309%
22/09/2016	71	2,188	2,164	0,0358%	0,0337%
22/09/2016	71	2,176	2,162	0,0337%	0,0323%
22/09/2016	71	2,306	2,304	0,0379%	0,0393%
Promedio:				0,0347%	0,0340%

Medida 11				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
29/09/2016	78	1,358	1,354	0,0309%	0,0330%
29/09/2016	78	2,184	2,164	0,0344%	0,0337%
29/09/2016	78	2,178	2,17	0,0344%	0,0351%
29/09/2016	78	2,312	2,31	0,0400%	0,0414%
Promedio:				0,0349%	0,0358%

Medida 12				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
6/10/2016	85	1,36	1,358	0,0316%	0,0344%
6/10/2016	85	2,186	2,166	0,0351%	0,0344%
6/10/2016	85	2,178	2,17	0,0344%	0,0351%
6/10/2016	85	2,312	2,31	0,0400%	0,0414%
Promedio:				0,0353%	0,0363%

Medida 13				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
20/10/2016	99	1,362	1,356	0,0323%	0,0337%
20/10/2016	99	2,198	2,168	0,0393%	0,0351%
20/10/2016	99	2,178	2,17	0,0344%	0,0351%
20/10/2016	99	2,312	2,31	0,0400%	0,0414%
Promedio:				0,0365%	0,0363%

Medida 14				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
27/10/2016	106	1,358	1,352	0,0309%	0,0323%
27/10/2016	106	2,19	2,168	0,0365%	0,0351%
27/10/2016	106	2,178	2,17	0,0344%	0,0351%
27/10/2016	106	2,312	2,31	0,0400%	0,0414%
Promedio:				0,0354%	0,0360%

Medida 15				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
3/11/2016	113	1,364	1,362	0,0330%	0,0358%
3/11/2016	113	2,192	2,17	0,0372%	0,0358%
3/11/2016	113	2,184	2,176	0,0365%	0,0372%
3/11/2016	113	2,316	2,314	0,0414%	0,0428%
Promedio:				0,0370%	0,0379%

Medida 16				% de Variación		Medida 17				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
10/11/2016	120	1,388	1,382	0,0414%	0,0428%	17/11/2016	127	1,374	1,366	0,0365%	0,0372%
10/11/2016	120	2,206	2,184	0,0421%	0,0407%	17/11/2016	127	2,208	2,184	0,0428%	0,0407%
10/11/2016	120	2,196	2,188	0,0407%	0,0414%	17/11/2016	127	2,192	2,184	0,0393%	0,0400%
10/11/2016	120	2,336	2,334	0,0484%	0,0498%	17/11/2016	127	2,326	2,322	0,0449%	0,0456%
Promedio:				0,0432%	0,0437%	Promedio:				0,0409%	0,0409%

11.1.1.16 Mediciones de las probetas de la mezcla AN50:

Nombre Probeta	Fecha de Fundido	Medida 1			
		Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min
AN50-1-1	18/07/2016	19/07/2016	1	0,428	0,422
AN50-1-2	18/07/2016	19/07/2016	1	2,656	2,65
AN50-1-3	18/07/2016	19/07/2016	1	2,01	1,992
AN50-1-4	18/07/2016	19/07/2016	1	3,732	3,686

Medida 2				% de Variación		Medida 3				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
26/07/2016	8	0,4398	0,4338	0,0041%	0,0041%	2/08/2016	15	0,4508	0,4448	0,0080%	0,0080%
26/07/2016	8	2,6678	2,6618	0,0041%	0,0041%	2/08/2016	15	2,6788	2,6728	0,0080%	0,0080%
26/07/2016	8	2,0218	2,0038	0,0041%	0,0041%	2/08/2016	15	2,0328	2,0148	0,0080%	0,0080%
26/07/2016	8	3,7438	3,6978	0,0041%	0,0041%	2/08/2016	15	3,7548	3,7088	0,0080%	0,0080%
Promedio:				0,0041%	0,0041%	Promedio:				0,0080%	0,0080%

Medida 4				% de Variación		Medida 5				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
9/08/2016	22	0,4628	0,4568	0,0122%	0,0122%	16/08/2016	29	0,4746	0,4686	0,0164%	0,0164%
9/08/2016	22	2,6908	2,6848	0,0122%	0,0122%	16/08/2016	29	2,7026	2,6966	0,0164%	0,0164%
9/08/2016	22	2,0448	2,0268	0,0122%	0,0122%	16/08/2016	29	2,0566	2,0386	0,0164%	0,0164%
9/08/2016	22	3,7668	3,7208	0,0122%	0,0122%	16/08/2016	29	3,7786	3,7326	0,0164%	0,0164%
Promedio:				0,0122%	0,0122%	Promedio:				0,0164%	0,0164%

Medida 6				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
30/08/2016	43	0,487	0,481	0,0207%	0,0207%
30/08/2016	43	2,715	2,709	0,0207%	0,0207%
30/08/2016	43	2,069	2,051	0,0207%	0,0207%
30/08/2016	43	3,791	3,745	0,0207%	0,0207%
Promedio:				0,0207%	0,0207%

Medida 7				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
6/09/2016	50	0,4987	0,4927	0,0248%	0,0248%
6/09/2016	50	2,7267	2,7207	0,0248%	0,0248%
6/09/2016	50	2,0807	2,0627	0,0248%	0,0248%
6/09/2016	50	3,8027	3,7567	0,0248%	0,0248%
Promedio:				0,0248%	0,0248%

Medida 8				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
13/09/2016	57	0,5104	0,5044	0,0289%	0,0289%
13/09/2016	57	2,7384	2,7324	0,0289%	0,0289%
13/09/2016	57	2,0924	2,0744	0,0289%	0,0289%
13/09/2016	57	3,8144	3,7684	0,0289%	0,0289%
Promedio:				0,0289%	0,0289%

Medida 9				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
20/09/2016	64	0,522	0,516	0,0330%	0,0330%
20/09/2016	64	2,75	2,744	0,0330%	0,0330%
20/09/2016	64	2,104	2,086	0,0330%	0,0330%
20/09/2016	64	3,826	3,78	0,0330%	0,0330%
Promedio:				0,0330%	0,0330%

Medida 10				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
27/09/2016	71	0,5168	0,5108	0,0312%	0,0312%
27/09/2016	71	2,7448	2,7388	0,0312%	0,0312%
27/09/2016	71	2,0988	2,0808	0,0312%	0,0312%
27/09/2016	71	3,8208	3,7748	0,0312%	0,0312%
Promedio:				0,0312%	0,0312%

Medida 11				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
4/10/2016	78	0,5288	0,5228	0,0354%	0,0354%
4/10/2016	78	2,7568	2,7508	0,0354%	0,0354%
4/10/2016	78	2,1108	2,0928	0,0354%	0,0354%
4/10/2016	78	3,8328	3,7868	0,0354%	0,0354%
Promedio:				0,0354%	0,0354%

Medida 12				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
11/10/2016	85	0,5404	0,5344	0,0394%	0,0394%
11/10/2016	85	2,7684	2,7624	0,0394%	0,0394%
11/10/2016	85	2,1224	2,1044	0,0394%	0,0394%
11/10/2016	85	3,8444	3,7984	0,0394%	0,0394%
Promedio:				0,0394%	0,0394%

Medida 13				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
18/10/2016	92	0,5534	0,5474	0,0440%	0,0440%
18/10/2016	92	2,7814	2,7754	0,0440%	0,0440%
18/10/2016	92	2,1354	2,1174	0,0440%	0,0440%
18/10/2016	92	3,8574	3,8114	0,0440%	0,0440%
Promedio:				0,0440%	0,0440%

Medida 14				% de Variación		Medida 15				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
25/10/2016	99	0,57	0,564	0,0498%	0,0498%	1/11/2016	106	0,572	0,568	0,0505%	0,0512%
25/10/2016	99	2,814	2,804	0,0554%	0,0540%	1/11/2016	106	2,828	2,814	0,0604%	0,0575%
25/10/2016	99	2,17	2,15	0,0561%	0,0554%	1/11/2016	106	2,18	2,158	0,0596%	0,0582%
25/10/2016	99	3,866	3,838	0,0470%	0,0533%	1/11/2016	106	3,872	3,844	0,0491%	0,0554%
Promedio:				0,0521%	0,0532%	Promedio:				0,0549%	0,0556%

Medida 16				% de Variación		Medida 17				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
8/11/2016	113	0,57	0,562	0,0498%	0,0491%	15/11/2016	120	0,584	0,574	0,0547%	0,0533%
8/11/2016	113	2,824	2,81	0,0589%	0,0561%	15/11/2016	120	2,838	2,828	0,0639%	0,0625%
8/11/2016	113	2,178	2,156	0,0589%	0,0575%	15/11/2016	120	2,196	2,172	0,0653%	0,0632%
8/11/2016	113	3,878	3,838	0,0512%	0,0533%	15/11/2016	120	3,89	3,848	0,0554%	0,0568%
Promedio:				0,0547%	0,0540%	Promedio:				0,0598%	0,0589%

11.1.1.17 [Mediciones de las probetas de la mezcla AS25:](#)

Nombre Probeta	Fecha de Fundido	Medida 1			
		Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min
AS25-1-1	24/06/2016	25/06/2016	1	1,496	1,484
AS25-1-2	24/06/2016	25/06/2016	1	1,396	1,37
AS25-1-3	24/06/2016	25/06/2016	1	2,706	2,692
AS25-1-4	24/06/2016	25/06/2016	1	1,724	1,71

Medida 2				% de Variación		Medida 3				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
1/07/2016	7	1,516	1,51	0,0070%	0,0091%	9/07/2016	15	1,518	1,51	0,0077%	0,0091%
1/07/2016	7	1,432	1,388	0,0126%	0,0063%	9/07/2016	15	1,44	1,394	0,0154%	0,0084%
1/07/2016	7	2,736	2,72	0,0105%	0,0098%	9/07/2016	15	2,734	2,72	0,0098%	0,0098%
1/07/2016	7	1,756	1,738	0,0112%	0,0098%	9/07/2016	15	1,754	1,74	0,0105%	0,0105%
Promedio:				0,0104%	0,0088%	Promedio:				0,0109%	0,0095%

Medida 4				% de Variación		Medida 5				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
15/07/2016	21	1,534	1,528	0,0133%	0,0154%	29/07/2016	35	1,538	1,534	0,0147%	0,0175%
15/07/2016	21	1,456	1,410	0,0211%	0,0140%	29/07/2016	35	1,458	1,422	0,0218%	0,0182%
15/07/2016	21	2,754	2,742	0,0168%	0,0175%	29/07/2016	35	2,766	2,754	0,0211%	0,0218%
15/07/2016	21	1,774	1,758	0,0175%	0,0168%	29/07/2016	35	1,786	1,768	0,0218%	0,0204%
Promedio:				0,0172%	0,0160%	Promedio:				0,0198%	0,0195%

Medida 6				% de Variación		Medida 7				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
5/08/2016	42	1,564	1,558	0,0239%	0,0260%	12/08/2016	49	1,546	1,544	0,0175%	0,0211%
5/08/2016	42	1,482	1,448	0,0302%	0,0274%	12/08/2016	49	1,464	1,432	0,0239%	0,0218%
5/08/2016	42	2,784	2,772	0,0274%	0,0281%	12/08/2016	49	2,770	2,756	0,0225%	0,0225%
5/08/2016	42	1,808	1,788	0,0295%	0,0274%	12/08/2016	49	1,792	1,778	0,0239%	0,0239%
Promedio:				0,0277%	0,0272%	Promedio:				0,0219%	0,0223%

Medida 8				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
21/11/2016	150	2,53	2,524	0,3628%	0,3649%
21/11/2016	150	2,336	2,326	0,3298%	0,3354%
21/11/2016	150	2,044	2,04	-0,2323%	-0,2288%
21/11/2016	150	2,69	2,684	0,3389%	0,3418%
Promedio:				0,3439%	0,3474%

11.1.1.18 [Mediciones de las probetas de la mezcla AS50:](#)

Nombre Probeta	Fecha de Fundido	Medida 1			
		Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min
AS50-1-1	10/06/2016	11/06/2016	1	1,895	1,890
AS50-1-2	10/06/2016	11/06/2016	1	2,038	2,030
AS50-1-3	10/06/2016	11/06/2016	1	1,084	1,076
	10/06/2016	11/06/2016	1		

Medida 2				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
18/06/2016	8	2,098	2,092	0,0712%	0,0709%
18/06/2016	8	2,072	2,046	0,0119%	0,0056%
18/06/2016	8	1,410	1,402	0,1144%	0,1144%
18/06/2016	8	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				0,0658%	0,0636%

Medida 3				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
25/06/2016	15	2,138	2,132	0,0853%	0,0849%
25/06/2016	15	2,11	2,088	0,0253%	0,0204%
25/06/2016	15	1,432	1,422	0,1221%	0,1214%
25/06/2016	15	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				0,0775%	0,0756%

Medida 4				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
1/07/2016	21	1,992	1,976	0,0340%	0,0302%
1/07/2016	21	2,138	2,116	0,0351%	0,0302%
1/07/2016	21	1,32	1,276	0,0828%	0,0702%
1/07/2016	21	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				0,0506%	0,0435%

Medida 5				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
9/07/2016	29	1,99	1,97	0,0333%	0,0281%
9/07/2016	29	2,13	2,11	0,0323%	0,0281%
9/07/2016	29	1,174	1,168	0,0316%	0,0323%
9/07/2016	29	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				0,0324%	0,0295%

Medida 6				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
15/07/2016	35	1,996	1,98	0,0354%	0,0316%
15/07/2016	35	2,14	2,116	0,0358%	0,0302%
15/07/2016	35	1,182	1,172	0,0344%	0,0337%
15/07/2016	35	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				0,0352%	0,0318%

Medida 7				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
22/07/2016	42	1,998	1,988	0,0361%	0,0344%
22/07/2016	42	2,142	2,120	0,0365%	0,0316%
22/07/2016	42	1,188	1,180	0,0365%	0,0365%
22/07/2016	42	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				0,0364%	0,0342%

Medida 8				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
29/07/2016	49	2,006	1,996	0,0389%	0,0372%
29/07/2016	49	2,150	2,128	0,0393%	0,0344%
29/07/2016	49	1,192	1,184	0,0379%	0,0379%
29/07/2016	49	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				0,0387%	0,0365%

Medida 9				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
2/08/2016	53	2,006	1,984	0,0389%	0,0330%
2/08/2016	53	2,144	2,12	0,0372%	0,0316%
2/08/2016	53	1,184	1,174	0,0351%	0,0344%
2/08/2016	53	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				0,0371%	0,0330%

Medida 10				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
12/08/2016	63	2,018	2,006	0,0432%	0,0407%
12/08/2016	63	2,160	2,137	0,0428%	0,0375%
12/08/2016	63	1,226	1,220	0,0498%	0,0505%
12/08/2016	63	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				0,0453%	0,0429%

Medida 11				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
19/08/2016	70	2,014	2,004	0,0418%	0,0400%
19/08/2016	70	2,158	2,136	0,0421%	0,0372%
19/08/2016	70	1,198	1,188	0,0400%	0,0393%
19/08/2016	70	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				0,0413%	0,0388%

Medida 12				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
26/08/2016	77	2,020	2,010	0,0439%	0,0421%
26/08/2016	77	2,166	2,146	0,0449%	0,0407%
26/08/2016	77	1,280	1,198	0,0688%	0,0428%
26/08/2016	77			0,0000%	0,0000%
Promedio:				0,0525%	0,0419%

Medida 13				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
2/09/2016	84	2,036	2,022	0,0495%	0,0463%
2/09/2016	84	2,182	2,154	0,0505%	0,0435%
2/09/2016	84	1,204	1,192	0,0421%	0,0407%
2/09/2016	84			0,0000%	0,0000%
Promedio:				0,0474%	0,0435%

Medida 14				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
16/09/2016	98	2,014	2,008	0,0418%	0,0414%
16/09/2016	98	2,154	2,136	0,0407%	0,0372%
16/09/2016	98	1,200	1,196	0,0407%	0,0421%
16/09/2016	98			0,0000%	0,0000%
Promedio:				0,0411%	0,0402%

Medida 15				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
23/09/2016	105	2,024	2,016	0,0453%	0,0442%
23/09/2016	105	2,172	2,154	0,0470%	0,0435%
23/09/2016	105	1,214	1,208	0,0456%	0,0463%
23/09/2016	105			0,0000%	0,0000%
Promedio:				0,0460%	0,0447%

Medida 16				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
30/09/2016	112	2,04	2,032	0,0509%	0,0498%
30/09/2016	112	2,178	2,162	0,0491%	0,0463%
30/09/2016	112	1,216	1,21	0,0463%	0,0470%
30/09/2016	112			0,0000%	0,0000%
Promedio:				0,0488%	0,0477%

Medida 17				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
7/10/2016	119	2,044	2,036	0,0523%	0,0512%
7/10/2016	119	2,188	2,17	0,0526%	0,0491%
7/10/2016	119	1,226	1,22	0,0498%	0,0505%
7/10/2016	119	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				0,0516%	0,0503%

Medida 18				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
21/10/2016	133	2,018	2,002	0,0432%	0,0393%
21/10/2016	133	2,17	2,144	0,0463%	0,0400%
21/10/2016	133	1,204	1,2	0,0421%	0,0435%
21/10/2016	133			0,0000%	0,0000%
Promedio:				0,0439%	0,0409%

Medida 19				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
28/10/2016	140	2,038	2,032	0,0502%	0,0498%
28/10/2016	140	2,182	2,164	0,0505%	0,0470%
28/10/2016	140	1,22	1,216	0,0477%	0,0491%
28/10/2016	140	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				0,0495%	0,0487%

Medida 20				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
4/11/2016	147	2,042	2,03	0,0516%	0,0491%
4/11/2016	147	2,196	2,166	0,0554%	0,0477%
4/11/2016	147	1,224	1,218	0,0491%	0,0498%
4/11/2016	147	-	-	0,0000%	0,0000%
Promedio:				0,0520%	0,0489%

11.1.1.19 Mediciones de las probetas de la mezcla BN25:

Nombre Probeta	Fecha de Fundido	Medida 1			
		Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min
BN25-1-1	22/07/2016	23/07/2016	1	1,634	1,622
BN25-1-2	22/07/2016	23/07/2016	1	1,672	1,644
BN25-1-3	22/07/2016	23/07/2016	1	3,986	3,958
BN25-1-4	22/07/2016	23/07/2016	1	3,952	3,930

Medida 2				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
29/07/2016	7	1,714	1,688	0,0281%	0,0232%
29/07/2016	7	1,686	1,678	0,0049%	0,0119%
29/07/2016	7	4,042	4,014	0,0196%	0,0196%
29/07/2016	7	4,006	3,986	0,0189%	0,0196%
Promedio:				0,0179%	0,0186%

Medida 3				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
5/08/2016	14	1,746	1,712	0,0393%	0,0316%
5/08/2016	14	1,718	1,708	0,0161%	0,0225%
5/08/2016	14	4,114	4,086	0,0449%	0,0449%
5/08/2016	14	4,084	4,064	0,0463%	0,0470%
Promedio:				0,0367%	0,0365%

Medida 4				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
12/08/2016	21	1,716	1,686	0,0288%	0,0225%
12/08/2016	21	1,642	1,684	-0,0105%	0,0140%
12/08/2016	21	4,048	4,018	0,0218%	0,0211%
12/08/2016	21	4,022	4,002	0,0246%	0,0253%
Promedio:				0,0250%	0,0207%

Medida 5				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
19/08/2016	28	1,714	1,690	0,0281%	0,0239%
19/08/2016	28	1,690	1,684	0,0063%	0,0140%
19/08/2016	28	4,046	4,018	0,0211%	0,0211%
19/08/2016	28	4,018	3,996	0,0232%	0,0232%
Promedio:				0,0196%	0,0205%

Medida 6				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
26/08/2016	35	1,742	1,716	0,0379%	0,0330%
26/08/2016	35	1,716	1,710	0,0154%	0,0232%
26/08/2016	35	4,072	4,044	0,0302%	0,0302%
26/08/2016	35	4,036	4,016	0,0295%	0,0302%
Promedio:				0,0282%	0,0291%

Medida 7				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
2/09/2016	42	1,746	1,716	0,0393%	0,0330%
2/09/2016	42	1,722	1,714	0,0175%	0,0246%
2/09/2016	42	4,076	4,042	0,0316%	0,0295%
2/09/2016	42	4,042	4,02	0,0316%	0,0316%
Promedio:				0,0300%	0,0296%

Medida 8				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
16/09/2016	56	1,744	1,720	0,0386%	0,0344%
16/09/2016	56	1,722	1,716	0,0175%	0,0253%
16/09/2016	56	4,078	4,500	0,0323%	0,1902%
16/09/2016	56	4,046	4,022	0,0330%	0,0323%
Promedio:				0,0304%	0,0705%

Medida 9				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
23/09/2016	63	1,758	1,730	0,0435%	0,0379%
23/09/2016	63	1,730	1,724	0,0204%	0,0281%
23/09/2016	63	4,084	4,054	0,0344%	0,0337%
23/09/2016	63	4,048	4,026	0,0337%	0,0337%
Promedio:				0,0330%	0,0333%

Medida 10				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
30/09/2016	70	1,808	1,78	0,0611%	0,0554%
30/09/2016	70	1,756	1,752	0,0295%	0,0379%
30/09/2016	70	4,108	4,08	0,0428%	0,0428%
30/09/2016	70	4,078	4,056	0,0442%	0,0442%
Promedio:				0,0444%	0,0451%

Medida 11				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
7/10/2016	77	1,774	1,748	0,0491%	0,0442%
7/10/2016	77	1,75	1,744	0,0274%	0,0351%
7/10/2016	77	4,1	4,076	0,0400%	0,0414%
7/10/2016	77	4,07	4,048	0,0414%	0,0414%
Promedio:				0,0395%	0,0405%

Medida 12				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
21/10/2016	91	1,792	1,756	0,0554%	0,0470%
21/10/2016	91	1,766	1,758	0,0330%	0,0400%
21/10/2016	91	4,116	4,084	0,0456%	0,0442%
21/10/2016	91	4,092	4,068	0,0491%	0,0484%
Promedio:				0,0458%	0,0449%

Medida 13				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
28/10/2016	98	1,794	1,762	0,0561%	0,0491%
28/10/2016	98	1,78	1,774	0,0379%	0,0456%
28/10/2016	98	4,13	4,102	0,0505%	0,0505%
28/10/2016	98	4,104	4,08	0,0533%	0,0526%
Promedio:				0,0495%	0,0495%

Medida 14				% de Variación		Medida 15				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
4/11/2016	105	1,812	1,77	0,0625%	0,0519%	11/11/2016	112	1,822	1,79	0,0660%	0,0589%
4/11/2016	105	1,798	1,79	0,0442%	0,0512%	11/11/2016	112	1,814	1,808	0,0498%	0,0575%
4/11/2016	105	4,15	4,118	0,0575%	0,0561%	11/11/2016	112	4,164	4,138	0,0625%	0,0632%
4/11/2016	105	4,122	4,096	0,0596%	0,0582%	11/11/2016	112	4,13	4,106	0,0625%	0,0618%
Promedio:				0,0560%	0,0544%	Promedio:				0,0602%	0,0604%

Medida 16				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
18/11/2016	119	1,844	1,812	0,0737%	0,0667%
18/11/2016	119	1,834	1,826	0,0568%	0,0639%
18/11/2016	119	4,192	4,162	0,0723%	0,0716%
18/11/2016	119	4,152	4,124	0,0702%	0,0681%
Promedio:				0,0682%	0,0675%

11.1.1.20 Mediciones de las probetas de la mezcla BN50:

Nombre Probeta	Fecha de Fundido	Medida 1			
		Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min
BN50-1-1	25/07/2016	26/07/2016	1	-	-
BN50-1-2	25/07/2016	26/07/2016	1	1,674	1,652
BN50-1-3	25/07/2016	26/07/2016	1	3,868	3,824
BN50-1-4	25/07/2016	26/07/2016	1	2,802	2,796

Medida 2				% de Variación		Medida 3				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
2/08/2016	8	-	-	0,0000%	0,0000%	9/08/2016	15	-	-	0,0000%	0,0000%
2/08/2016	8	1,754	1,734	0,0281%	0,0288%	9/08/2016	15	1,744	1,726	0,0246%	0,0260%
2/08/2016	8	3,928	3,886	0,0211%	0,0218%	9/08/2016	15	3,910	3,880	0,0147%	0,0196%
2/08/2016	8	2,890	2,886	0,0309%	0,0316%	9/08/2016	15	2,874	2,868	0,0253%	0,0253%
Promedio:				0,0267%	0,0274%	Promedio:				0,0215%	0,0236%

Medida 4				% de Variación		Medida 5				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
16/08/2016	22	-	-	0,0000%	0,0000%	23/08/2016	29	-	-	0,0000%	0,0000%
16/08/2016	22	1,488	1,468	-0,0653%	-0,0646%	23/08/2016	29	1,72	1,702	0,0161%	0,0175%
16/08/2016	22	3,636	3,600	-0,0814%	-0,0786%	23/08/2016	29	3,872	3,844	0,0014%	0,0070%
16/08/2016	22	2,556	2,550	-0,0863%	-0,0863%	23/08/2016	29	2,83	2,824	0,0098%	0,0098%
Promedio:				-0,0777%	-0,0765%	Promedio:				0,0091%	0,0115%

Medida 6				% de Variación		Medida 7				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
30/08/2016	36	-	-	0,0000%	0,0000%	13/09/2016	50			0,0000%	0,0000%
30/08/2016	36	1,742	1,724	0,0239%	0,0253%	13/09/2016	50	1,758	1,75	0,0295%	0,0344%
30/08/2016	36	3,890	3,864	0,0077%	0,0140%	13/09/2016	50	3,91	3,88	0,0147%	0,0196%
30/08/2016	36	2,852	2,848	0,0175%	0,0182%	13/09/2016	50	2,874	2,87	0,0253%	0,0260%
Promedio:				0,0164%	0,0192%	Promedio:				0,0232%	0,0267%

Medida 8				% de Variación		Medida 9				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
20/09/2016	57			0,0000%	0,0000%	27/09/2016	64			0,0000%	0,0000%
20/09/2016	57	1,766	1,744	0,0323%	0,0323%	27/09/2016	64	1,784	1,762	0,0386%	0,0386%
20/09/2016	57	3,912	3,88	0,0154%	0,0196%	27/09/2016	64	3,924	3,894	0,0196%	0,0246%
20/09/2016	57	2,876	2,87	0,0260%	0,0260%	27/09/2016	64	2,890	2,884	0,0309%	0,0309%
Promedio:				0,0246%	0,0260%	Promedio:				0,0297%	0,0313%

Medida 10				% de Variación		Medida 11				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
4/10/2016	71			0,0000%	0,0000%	18/10/2016	85	-	-	0,0000%	0,0000%
4/10/2016	71	1,786	1,766	0,0393%	0,0400%	18/10/2016	85	1,794	1,776	0,0421%	0,0435%
4/10/2016	71	3,924	3,894	0,0196%	0,0246%	18/10/2016	85	3,932	3,904	0,0225%	0,0281%
4/10/2016	71	2,894	2,888	0,0323%	0,0323%	18/10/2016	85	2,902	2,896	0,0351%	0,0351%
Promedio:				0,0304%	0,0323%	Promedio:				0,0332%	0,0356%

Medida 12				% de Variación		Medida 13				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
25/10/2016	92	-	-	0,0000%	0,0000%	1/11/2016	99	-	-	0,0000%	0,0000%
25/10/2016	92	1,804	1,784	0,0456%	0,0463%	1/11/2016	99	1,828	1,808	0,0540%	0,0547%
25/10/2016	92	3,942	3,912	0,0260%	0,0309%	1/11/2016	99	3,954	3,924	0,0302%	0,0351%
25/10/2016	92	2,91	2,904	0,0379%	0,0379%	1/11/2016	99	2,918	2,912	0,0407%	0,0407%
Promedio:				0,0365%	0,0384%	Promedio:				0,0416%	0,0435%

Medida 14				% de Variación		Medida 15				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
8/11/2016	106	-	-	0,0000%	0,0000%	15/11/2016	113	-	-	0,0000%	0,0000%
8/11/2016	106	1,844	1,826	0,0596%	0,0611%	15/11/2016	113	1,864	1,842	0,0667%	0,0667%
8/11/2016	106	3,978	3,942	0,0386%	0,0414%	15/11/2016	113	3,998	3,958	0,0456%	0,0470%
8/11/2016	106	2,932	2,926	0,0456%	0,0456%	15/11/2016	113	2,946	2,938	0,0505%	0,0498%
Promedio:				0,0480%	0,0494%	Promedio:				0,0543%	0,0545%

11.1.1.21 [Mediciones de las probetas de la mezcla BS25:](#)

Nombre Probeta	Fecha de Fundido	Medida 1			
		Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min
BS25-1-1	1/07/2016	2/07/2016	1	2,338	2,348
BS25-1-2	1/07/2016	2/07/2016	1	2,158	2,166
BS25-1-3	1/07/2016	2/07/2016	1	1,144	1,148
BS25-1-4	1/07/2016	2/07/2016	1	2,472	2,474

Medida 2				% de Variación		Medida 3				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min	Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
9/07/2016	8	2,416	2,402	0,0274%	0,0189%	15/07/2016	14	2,428	2,416	0,0316%	0,0239%
9/07/2016	8	2,222	2,214	0,0225%	0,0168%	15/07/2016	14	2,236	2,226	0,0274%	0,0211%
9/07/2016	8	1,908	1,904	0,2681%	0,2653%	15/07/2016	14	1,934	1,92	0,2772%	0,2709%
9/07/2016	8	2,536	2,534	0,0225%	0,0211%	15/07/2016	14	2,554	2,554	0,0288%	0,0281%
Promedio:				0,0851%	0,0805%	Promedio:				0,0912%	0,0860%

Medida 4				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
22/07/2016	21	2,420	2,410	0,0288%	0,0218%
22/07/2016	21	2,230	2,224	0,0253%	0,0204%
22/07/2016	21	1,922	1,916	0,2730%	0,2695%
22/07/2016	21	2,552	2,550	0,0281%	0,0267%
Promedio:				0,0888%	0,0846%

Medida 5				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
29/07/2016	28	2,436	2,426	0,0344%	0,0274%
29/07/2016	28	2,240	2,236	0,0288%	0,0246%
29/07/2016	28	1,938	1,928	0,2786%	0,2737%
29/07/2016	28	2,568	2,566	0,0337%	0,0323%
Promedio:				0,0939%	0,0895%

Medida 6				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
5/08/2016	35	2,468	2,456	0,0456%	0,0379%
5/08/2016	35	2,272	2,268	0,0400%	0,0358%
5/08/2016	35	1,964	1,963	0,2877%	0,2860%
5/08/2016	35	2,6	2,598	0,0449%	0,0435%
Promedio:				0,1046%	0,1008%

Medida 7				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
21/11/2016	143	1,586	1,58	-0,2639%	-0,2695%
21/11/2016	143	1,486	1,464	-0,2358%	-0,2463%
21/11/2016	143	2,804	2,792	0,5825%	0,5768%
21/11/2016	143	1,824	1,804	-0,2274%	-0,2351%
Promedio:				0,5825%	0,5768%

11.1.1.22 Mediciones de las probetas de la mezcla BS50:

Nombre Probeta	Fecha de Fundido	Medida 1			
		Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min
BS50-1-1	15/06/2016	16/06/2016	1	2,796	2,792
BS50-1-2	15/06/2016	16/06/2016	1	1,986	1,956
BS50-1-3	15/06/2016	16/06/2016	1	2,588	2,582
BS50-1-4	15/06/2016	16/06/2016	1	1,66	1,646

Medida 2				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
23/06/2016	8	2,872	2,866	0,0267%	0,0260%
23/06/2016	8	2,012	1,99	0,0091%	0,0119%
23/06/2016	8	2,632	2,628	0,0154%	0,0161%
23/06/2016	8	1,716	1,69	0,0196%	0,0154%
Promedio:				0,0177%	0,0174%

Medida 3				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
1/07/2016	16	2,894	2,884	0,0344%	0,0323%
1/07/2016	16	2,054	2,032	0,0239%	0,0267%
1/07/2016	16	2,678	2,672	0,0316%	0,0316%
1/07/2016	16	1,752	1,728	0,0323%	0,0288%
Promedio:				0,0305%	0,0298%

Medida 4				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
7/07/2016	22	2,896	2,886	0,0351%	0,0330%
7/07/2016	22	2,098	2,034	0,0393%	0,0274%
7/07/2016	22	2,680	2,674	0,0323%	0,0323%
7/07/2016	22	1,750	1,728	0,0316%	0,0288%
Promedio:				0,0346%	0,0304%

Medida 5				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
14/07/2016	29	2,912	2,908	0,0407%	0,0407%
14/07/2016	29	2,068	2,050	0,0288%	0,0330%
14/07/2016	29	2,694	2,690	0,0372%	0,0379%
14/07/2016	29	1,766	1,744	0,0372%	0,0344%
Promedio:				0,0360%	0,0365%

Medida 6				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
22/07/2016	37	2,902	2,896	0,0372%	0,0365%
22/07/2016	37	2,114	2,042	0,0449%	0,0302%
22/07/2016	37	2,682	2,678	0,0330%	0,0337%
22/07/2016	37	1,756	1,740	0,0337%	0,0330%
Promedio:				0,0372%	0,0333%

Medida 7				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
29/07/2016	44	2,900	2,894	0,0365%	0,0358%
29/07/2016	44	2,056	2,042	0,0246%	0,0302%
29/07/2016	44	2,682	2,678	0,0330%	0,0337%
29/07/2016	44	1,754	1,734	0,0330%	0,0309%
Promedio:				0,0318%	0,0326%

Medida 8				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
5/08/2016	51	2,902	2,892	0,0372%	0,0351%
5/08/2016	51	2,068	2,048	0,0288%	0,0323%
5/08/2016	51	2,690	2,688	0,0358%	0,0372%
5/08/2016	51	1,764	1,740	0,0365%	0,0330%
Promedio:				0,0346%	0,0344%

Medida 9				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
12/08/2016	58	2,914	2,908	0,0414%	0,0407%
12/08/2016	58	2,074	2,064	0,0309%	0,0379%
12/08/2016	58	2,704	2,696	0,0407%	0,0400%
12/08/2016	58	1,768	1,744	0,0379%	0,0344%
Promedio:				0,0377%	0,0382%

Medida 10				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
19/08/2016	65	2,920	2,918	0,0435%	0,0442%
19/08/2016	65	2,076	2,070	0,0316%	0,0400%
19/08/2016	65	2,716	2,706	0,0449%	0,0435%
19/08/2016	65	1,776	1,762	0,0407%	0,0407%
Promedio:				0,0402%	0,0421%

Medida 11				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
26/08/2016	72	2,916	2,912	0,0421%	0,0421%
26/08/2016	72	2,068	2,062	0,0288%	0,0372%
26/08/2016	72	2,698	2,694	0,0386%	0,0393%
26/08/2016	72	1,772	1,756	0,0393%	0,0386%
Promedio:				0,0372%	0,0393%

Medida 12				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
2/09/2016	79	2,924	2,916	0,0449%	0,0435%
2/09/2016	79	2,08	2,07	0,0330%	0,0400%
2/09/2016	79	2,704	2,7	0,0407%	0,0414%
2/09/2016	79	1,782	1,76	0,0428%	0,0400%
Promedio:				0,0404%	0,0412%

Medida 13				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
16/09/2016	93	2,944	2,938	0,0519%	0,0512%
16/09/2016	93	2,088	2,080	0,0358%	0,0435%
16/09/2016	93	2,714	2,708	0,0442%	0,0442%
16/09/2016	93	1,792	1,780	0,0463%	0,0470%
Promedio:				0,0446%	0,0465%

Medida 14				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
23/09/2016	100	2,936	2,928	0,0491%	0,0477%
23/09/2016	100	2,074	2,068	0,0309%	0,0393%
23/09/2016	100	2,714	2,704	0,0442%	0,0428%
23/09/2016	100	1,788	1,774	0,0449%	0,0449%
Promedio:				0,0423%	0,0437%

Medida 15				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
30/09/2016	107	2,986	2,956	0,0667%	0,0575%
30/09/2016	107	2,103	2,092	0,0411%	0,0477%
30/09/2016	107	2,732	2,728	0,0505%	0,0512%
30/09/2016	107	1,81	1,792	0,0526%	0,0512%
Promedio:				0,0527%	0,0519%

Medida 16				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
7/10/2016	114	2,944	2,938	0,0519%	0,0512%
7/10/2016	114	2,092	2,084	0,0372%	0,0449%
7/10/2016	114	2,716	2,72	0,0449%	0,0484%
7/10/2016	114	1,814	1,802	0,0540%	0,0547%
Promedio:				0,0470%	0,0498%

Medida 17				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
21/10/2016	128	2,954	2,946	0,0554%	0,0540%
21/10/2016	128	2,098	2,078	0,0393%	0,0428%
21/10/2016	128	2,734	2,73	0,0512%	0,0519%
21/10/2016	128	1,82	1,794	0,0561%	0,0519%
Promedio:				0,0505%	0,0502%

Medida 18				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
28/10/2016	135	2,952	2,946	0,0547%	0,0540%
28/10/2016	135	2,082	2,074	0,0337%	0,0414%
28/10/2016	135	2,736	2,732	0,0519%	0,0526%
28/10/2016	135	1,816	1,802	0,0547%	0,0547%
Promedio:				0,0488%	0,0507%

Medida 19				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
4/11/2016	142	2,954	2,948	0,0554%	0,0547%
4/11/2016	142	2,092	2,066	0,0372%	0,0386%
4/11/2016	142	2,744	2,738	0,0547%	0,0547%
4/11/2016	142	1,824	1,8	0,0575%	0,0540%
Promedio:				0,0512%	0,0505%

Medida 20				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
11/11/2016	149	2,958	2,954	0,0568%	0,0568%
11/11/2016	149	2,114	2,086	0,0449%	0,0456%
11/11/2016	149	2,746	2,74	0,0554%	0,0554%
11/11/2016	149	1,84	1,828	0,0632%	0,0639%
Promedio:				0,0551%	0,0554%

Medida 21				% de Variación	
Fecha de medición	Edad (Días)	Max	Min	Max	Min
18/11/2016	156	2,962	2,958	0,0582%	0,0582%
18/11/2016	156	2,096	2,052	0,0386%	0,0337%
18/11/2016	156	2,748	2,746	0,0561%	0,0575%
18/11/2016	156	1,830	1,814	0,0596%	0,0589%
Promedio:				0,0532%	0,0521%