

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **EFECTOS DEL ADITIVO POLYHEED 755 EN MEZCLAS DE CONCRETO DISEÑADAS CON CUATRO (4) TIPOS DE AGREGADOS Y RESISTENCIA 280 KG/CM<sup>2</sup>**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los Brs.:  
Castillo Pineda, Yuely Del Rosario  
Dos Santos Aldana, Jonathan Jefferson  
Para optar al Título de  
Ingeniero Civil

**Caracas, 2012**

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **EFECTOS DEL ADITIVO POLYHEED 755 EN MEZCLAS DE CONCRETO DISEÑADAS CON CUATRO (4) TIPOS DE AGREGADOS Y RESISTENCIA 280 KG/CM<sup>2</sup>**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Cesar Peñuela

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los Brs.:  
Castillo Pineda, Yuely Del Rosario  
Dos Santos Aldana, Jonathan Jefferson  
Para optar al Título de  
Ingeniero Civil

**Caracas, 2012**

## **Dedicatoria.**

A Dios por llenarme de fuerza interior para no desmayar en ningún momento y ante nada, hacerme un instrumento de apoyo para otros y poner en mi camino a personas extraordinarias que me han hecho crecer y me han enseñado que soy del tamaño del reto que se me presente.

## **Yuely**

Quiero dedicar este trabajo especial de grado, el cual es una síntesis de todo el esfuerzo “académico y personal” que requirió de mi parte para culminar esta etapa, a mi padre, madre, hermana espectacular y mi tía Merlinda. Quienes merecen tal reconocimiento por su atención, paciencia y deseo de que culminara mi carrera. A ustedes gracias y bendiciones enormes.

**Jonathan**

## **Agradecimientos**

A Dios por el regalo de la vida, por siempre guiar mi camino en todos los proyectos que he emprendido, manteniéndome fortalecida.

A mis padres, Yumily y Ely por el apoyo incondicional y confianza para seguir estudiando y así darme parte de la herencia de vida más valiosa, los amo.

A mis hermanos y hermanas, Juan Pablo, Yohanny y Yaniris por ser mis eternos amigos y compañeros en todas las etapas de mi vida, porque a pesar de la distancia física nunca me dejan sola y siempre me animan. A Gabrielito, mi sebas mi nene, por darle a la tía tua las más hermosas sonrisas y los abrazos más grandes.

A la abuela Pina y abuela Guilla porque nunca dejaron de creer en mí y no solo me llenaron de apoyo también fueron el ejemplo de perseverancia y amor incondicional más grande.

A mis tías y tíos, Ivy, Iris, Dionicio, Arturo, Pedro, Esser, Janeth, Carmen, Elizabeth por ser un gran ejemplo de contancia, superación, profesionalismo y principalmente unión. Gracias!. A Yadelfy, Milagros, Yanila por su apoyo, consejo y amor.

A Alexander mi amigo, mi amor y hoy mi esposo, por ser, estar y creer en mi.

A todos aquellos amigos que están y estuvieron y me ayudaron en alguna etapa de este reto.

A la Universidad Central de Venezuela, por abrirme las puertas y por facilitarme a un sin número de profesores, compañeros y amigos, que a través de los años han pasado pero que han dejado un granito de arena para mi crecimiento profesional y personal.

**YUELY DEL R. CASTILLO P.**

## **Agradecimientos**

Agradezco a mi señor todo poderoso a quien siempre le oro para que todo me saliera bien, le agradezco por la buena salud y bienestares que he tenido para llegar hasta donde estoy hoy. También quiero agradecer a las personas que nos donaron los materiales para llevar a cabo la tesis, a mi familia por siempre estar en cada uno de mis avances y caídas para animarme, a todos mis amigos que gracias a Dios son bastantes y que de otra forma siempre se contentaban cada vez que iba culminando cada semestre y en especial a mi amiga del alma a quien amo mucho y sé que desde el cielo se contenta por esta meta cumplida.

Gracias a todos por escucharme, considerarme en cambiar reuniones porque no podía asistir por asuntos de la universidad, por tenerme paciencia, por recibirme aunque me desapareciera del mapa, a los que me vieron desanimado en algún momento y a los que me llegaron a ver llorar un día. Muchas gracias!!!.

Hoy es el día en que puedo aprovechar esta oportunidad de reconocer los lazos que nos unen y así ya lo he hecho en esta dedicatoria.

Finalmente gracias a todos y a Dios por estar aquí. ESTO ES OTRA META CUMPLIDA.

**JONATHAN J. DOS SANTOS A.**

**Yuely Del R. Castillo P.**

**Jonathan J. Dos Santos A.**

**EFECTOS DEL ADITIVO POLYHEED 755 EN MEZCLAS DE  
CONCRETO DISEÑADAS CON CUATRO (4) TIPOS DE  
AGREGADOS Y RESISTENCIA 280 KG/CM<sup>2</sup>**

**Tutor Académico: Prof. Cesar Peñuela. T.E.G. Caracas, U.C.V. Facultad  
de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. 2012.**

**Palabras Clave:** Aditivo, Agregados, Concreto, Asentamiento.

**Resumen**

En este Proyecto de Trabajo Especial de Grado buscó evaluar los efectos del aditivo Polyheed 755 en mezclas de concreto diseñadas con distintas combinaciones de agregados: piedra picada y arena natural, canto rodado y arena natural, canto rodado y arena amarilla y finalmente, piedra picada y arena amarilla, para una resistencia de 280 kgf/cm<sup>2</sup>. Las mezclas se realizaron según normas COVENIN y las propiedades a evaluar son: asentamiento y resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días. Se requirió observar el comportamiento del aditivo para mejorar el aprovechamiento y utilización, tanto del concreto como el aditivo, logrando mejores tiempos de traslado, vaciado y acabados, así como establecer cuál combinación de agregados es la mejor para la resistencia a trabajar y las características del aditivo.

Este proyecto final no solo generó como resultado que la mezcla de cemento portland tipo I con arena lavada y piedra picada funcionó mejor, sino que el aditivo si cumple con sus especificaciones reduce la cantidad de agua e incrementa la resistencia en el tiempo.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
I.2. OBJETIVOS.....	5
I.2.1.Objetivo General.....	5
I.2.2.Objetivos Específicos. ....	5
I.3.JUSTIFICACIÓN.....	6
CAPÍTULO II.....	7
II.1 MARCO TEÓRICO.....	7
II.1.1. Antecedentes. ....	7
II.1.2.Clasificación del Cemento Portland.....	7
II.1.3. Agregados y sus Funciones.....	8
II.1.3.1. En los agregados finos se encuentran.....	9
II.1.3.2. En los agregados gruesos se encuentran.....	9
II.1.4. Concreto.....	11
II.1.4.1. Calidad del Concreto.....	12
II.1.5. Aditivos.....	12
II.1.5.1. Clasificación de los Aditivos.....	12
II.1.6. Aditivo Polyheed 755.....	14
II.1.7. Diseño de mezclas.....	14
II.1.7.1. La ley de Abrams.....	15

II.1.7.2. Relación triangular. ....	16
II.1.7.3. Concreto en estado fresco.....	16
II.1.7.4. Reología del concreto.....	16
II.1.7.4.1. Fluidez. ....	17
II.1.7.4.2. Compactibilidad. ....	17
II.1.7.4.3. Estabilidad a la Segregación.....	17
II.1.7.4.4. Trabajabilidad.....	17
II.1.7.4.5. Cono de Abrams. ....	18
II.1.8. Peso Unitario.....	19
II.1.9. Proceso de curado. ....	19
II.1.10. Resistencias mecánicas. ....	20
II.1.10.1. Resistencia a la compresión.....	21
II.1.11. Inspección Visual.....	21
II.1.12. Velocidad de pulso ultrasónico.....	21
II.1.12.1. Clasificación del concreto según su velocidad ultrasónica. ....	22
II.1.13. Relación tensión-deformación unitaria (f-ε). ....	22
II.1.14. Módulo de Elasticidad.....	22
CAPÍTULO III.....	24
III.1 MÉTODO.....	24
III.1.1. Caracterización de los agregados.....	24
III.1.1.1. Distribución granulométrica de los tamaños de partículas de agregados finos y gruesos. Según la Norma COVENIN N° 255. ....	24
III.1.2. Diseño de las mezclas.....	25
III.1.3. Preparación de las mezclas.....	28



III.1.3.1. Mezclado de material.....	28
III.1.3.2. Colocación del material en las probetas y curado.....	29
III.1.4. Caracterización del concreto fresco.....	30
III.1.4.1. Medición del Asentamiento con el Cono de Abrams según Norma COVENIN N° 339.....	30
III.1.4.2. Medición del Peso Unitario según Norma ASTM C-138 .....	31
III.1.5. Caracterización del concreto endurecido.....	32
III.1.5.1. Peso unitario.....	32
III.1.5.2. Ensayo para determinar la dureza superficial en concreto endurecido (Según Norma COVENIN N° 1609) “Método de ensayo para la determinación de la dureza esclerométrica en superficies de concreto endurecidas”.....	33
III.1.5.3. Ensayo para determinar la propagación de ondas en el concreto (Según Norma COVENIN N° 1681) “Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto”. .....	33
III.1.5.4. Ensayo a compresión de cilindros de concreto (Según Norma COVENIN N° 338) “Concreto. Método para la elaboración, y ensayo a compresión de cilindros de concreto curado”. .....	35
III.1.5.5. Expresión de los resultados.....	36
III.1.6. Comparación con mezclas patrones.....	36
CAPITULO IV .....	37
RESULTADOS .....	37
Características de los Agregados. ....	37
Granulometría. ....	37
Diseño de Mezclas. ....	41
Ensayos realizados al Concreto Fresco.....	45
Asentamiento.....	45

Peso Unitario.....	45
Ensayos realizados al Concreto Endurecido.....	47
Esclerometría.....	47
Peso Unitario.....	49
Velocidad de propagación de ondas en las mezclas de concreto.....	55
Resistencia a Compresión.....	59
Comparación con mezclas patrón.....	62
Recomendar condiciones y formas de uso del aditivo.....	83
CAPÍTULO V.....	84
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	84
Asentamiento.....	84
Peso Unitario en mezclas en estado fresco.....	84
Peso Unitario en mezclas en estado endurecido.....	85
Esclerometría.....	86
Velocidad de propagación de ondas en las mezclas de concreto.....	87
Resistencia a Compresión.....	88
CAPÍTULO VI.....	99
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
REFERENCIAS.....	104
ANEXOS.....	106
Anexo 1: Diagrama de Fallas de Cilindros sometidos a Compresión.....	106
Anexo 2: Pesaje de los materiales para elaborar los diseños de mezclados.....	107
Anexo 3: Mezclado del Concreto Fresco.....	107

Anexo 4: Medición del Asentamiento mediante el Cono de Abrams en el Concreto .....	107
Anexo 5: Proceso de Compactación a cilindros estandarizados de concreto.....	107
Anexo 6: Proceso de Curado de los Cilindros en la Piscina con Adición del Cal	108
Anexo 7: Medición de Esclerometría a cilindros estandarizados de concreto .....	108
Anexo 8: Medición del Pulso Ultrasónico en los cilindros .....	108
Anexo 9: Pesaje de los Cilindros de Concreto .....	108
Anexo 10: Ensayo de Compresión Pura a las probetas estandarizadas.....	108
Anexo 11: falla del cilindro 1 de la mezcla A28 .....	109
Anexo 12: falla del cilindro 1 de la mezcla AA14 .....	109
Anexo 13: falla del cilindro 1 de la mezcla B14 .....	109
Anexo 14: falla del cilindro 1 de la mezcla BB28.....	109
Anexo 15: falla del cilindro 1 de la mezcla C28 .....	110
Anexo 16: falla del cilindro 1 de la mezcla CC28.....	110
Anexo 17: falla del cilindro 1 de la mezcla D14 .....	110
Anexo 18: falla del cilindro 1 de la mezcla DD14 .....	110
Anexo 19: Tabla de excel para el diseño de mezcla.....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Granulometría de la Piedra Picada.....	37
Tabla 2: Peso Específico y Absorción de la Piedra Picada.....	38
Tabla 3: Granulometría del Canto Rodado .....	38
Tabla 4: Peso Específico y Absorción de la Canto Rodado.....	38
Tabla 5: Granulometría de la Arena Lavada.....	39
Tabla 6: Peso Específico y Absorción de la Arena Lavada .....	39
Tabla 7: Granulometría de la Arena Amarilla.....	40
Tabla 8: Peso Específico y Absorción de la Arena Amarilla.....	40
Tabla 9: Dosificación de la mezcla denominada <b>A</b> .....	41
Tabla 10: Dosificación de la mezcla denominada <b>B</b> .....	41
Tabla 11: Dosificación de la mezcla denominada <b>C</b> .....	42
Tabla 12: Dosificación de la mezcla denominada <b>D</b> .....	42
Tabla 13: Dosificación de la mezcla denominada <b>AA</b> .....	43
Tabla 14: Dosificación de la mezcla denominada <b>BB</b> .....	43
Tabla 15: Dosificación de la mezcla denominada <b>CC</b> .....	44
Tabla 16: Dosificación de la mezcla denominada <b>DD</b> .....	44
Tabla 17: Asentamiento obtenido en las mezclas patrón .....	45
Tabla 18: Asentamiento obtenido en las mezclas alteradas .....	45
Tabla 19: Datos de Peso Unitario en concreto fresco mezcla <b>A</b> .....	45

Tabla 20: Datos de Peso Unitario en concreto fresco mezcla <b>B</b> .....	45
Tabla 21: Datos de Peso Unitario en concreto fresco mezcla <b>C</b> .....	46
Tabla 22: Datos de Peso Unitario en concreto fresco mezcla <b>D</b> .....	46
Tabla 23: Datos de Peso Unitario en concreto fresco mezcla <b>AA</b> .....	46
Tabla 24: Datos de Peso Unitario en concreto fresco mezcla <b>BB</b> .....	46
Tabla 25: Datos de Peso Unitario en concreto fresco mezcla <b>CC</b> .....	47
Tabla 26: Datos de Peso Unitario en concreto fresco mezcla <b>DD</b> .....	47
Tabla 27: Datos de ensayo esclerométrico a mezclas patrón .....	47
Tabla 28: Datos promediados de ensayo esclerométrico a mezclas patrón .....	48
Tabla 29: Datos de ensayo esclerométrico a mezclas dosificadas con aditivo .....	48
Tabla 30: Datos promediados de ensayo esclerométrico a mezclas dosificadas con aditivo.....	48
Tabla 31: Datos de peso unitario a mezclas patrón a 7 días.....	49
Tabla 32: Datos de peso unitario a mezclas patrón a 14 días.....	50
Tabla 33: Datos de peso unitario a mezclas patrón a 28 días.....	51
Tabla 34: Datos de peso unitario a mezclas dosificadas con aditivo a 7 días.....	52
Tabla 35: Datos de peso unitario a mezclas dosificadas con aditivo a 14 días.....	53
Tabla 36: Datos de peso unitario a mezclas dosificadas con aditivo a 28 días.....	54
Tabla 37: Datos del ensayo pulso ultrasónico a mezclas patrón a la edad de 7 días ..	55
Tabla 38: Datos del ensayo pulso ultrasónico a mezclas patrón a la edad de 14 días	56
Tabla 39: Datos del ensayo pulso ultrasónico a mezclas patrón a la edad de 28 días .	56
Tabla 40: Datos del ensayo pulso ultrasónico a mezclas dosificadas con aditivo a la edad de 7 días .....	57

Tabla 41: Datos del ensayo pulso ultrasónico a mezclas dosificadas con aditivo a la edad de 14 días.....	58
Tabla 42: Datos del ensayo pulso ultrasónico a mezclas dosificadas con aditivo a la edad de 28 días.....	58
Tabla 43: Datos del ensayo resistencia a compresión a mezclas patrón a la edad de 7 días.....	59
Tabla 44: Datos del ensayo resistencia a compresión a mezclas patrón a la edad de 14 días.....	59
Tabla 45: Datos del ensayo resistencia a compresión a mezclas patrón a la edad de 28 días.....	60
Tabla 46: Datos del ensayo resistencia a compresión a mezclas dosificadas con aditivo a la edad de 7 días.....	60
Tabla 47: Datos del ensayo resistencia a compresión a mezclas dosificadas con aditivo a la edad de 14 días.....	61
Tabla 48: Datos del ensayo resistencia a compresión a mezclas dosificadas con aditivo a la edad de 28 días.....	61
Tabla 49: Promedio de índice esclerométrico y esfuerzos de la mezcla <b>A</b> .....	63
Tabla 50: Promedio de índice esclerométrico y esfuerzos de la mezcla <b>AA</b> .....	64
Tabla 51: Promedio de índice esclerométrico y esfuerzos de la mezcla <b>B</b> .....	65
Tabla 52: Promedio de índice esclerométrico y esfuerzos de la mezcla <b>BB</b> .....	66
Tabla 53: Promedio de índice esclerométrico y esfuerzos de la mezcla <b>C</b> .....	67
Tabla 54: Promedio de índice esclerométrico y esfuerzos de la mezcla <b>CC</b> .....	68
Tabla 55: Promedio de índice esclerométrico y esfuerzos de la mezcla <b>D</b> .....	69

Tabla 56: Promedio de índice esclerométrico y esfuerzos de la mezcla <b>DD</b> .....	70
Tabla 57: Promedio de índice velocidad y esfuerzos medios de la mezcla <b>A</b> .....	71
Tabla 58: Promedio de índice velocidad y esfuerzos medios de la mezcla <b>AA</b> .....	72
Tabla 59: Promedio de índice velocidad y esfuerzos medios de la mezcla <b>B</b> .....	73
Tabla 60: Promedio de índice velocidad y esfuerzos medios de la mezcla <b>BB</b> .....	74
Tabla 61: Promedio de índice velocidad y esfuerzos medios de la mezcla <b>C</b> .....	75
Tabla 62: Promedio de índice velocidad y esfuerzos medios de la mezcla <b>CC</b> .....	76
Tabla 63: Promedio de índice velocidad y esfuerzos medios de la mezcla <b>D</b> .....	77
Tabla 64: Promedio de índice velocidad y esfuerzos medios de la mezcla <b>DD</b> .....	78
Tabla 65: Comparación de esfuerzos entre mezclas patrón y mezclas dosificadas con aditivo.....	79
Tabla 66: Comparación de esfuerzos entre mezclas patrón y mezclas dosificadas con aditivo.....	80
Tabla 67: Comparación de esfuerzos entre mezclas patrón y mezclas dosificadas con aditivo.....	81
Tabla 68: Comparación de esfuerzos entre mezclas patrón y mezclas dosificadas con aditivo.....	82

## ÍNDICE DE GRÁFICOS.

	Pág.
Gráfico 1: Comparación del asentamiento entre mezclas patrón y mezclas dosificadas con aditivo.....	62
Gráfico 2: Comparación de las mediciones promedio del esclerómetro y sus esfuerzos con la mezcla patrón <b>A</b> a los 7, 14 y 28 días.....	63
Gráfico 3: Comparación de las mediciones promedio del esclerómetro y sus esfuerzos con la mezcla dosificada <b>AA</b> a los 7, 14 y 28 días.....	64
Gráfico 4: Comparación de las mediciones promedio del esclerómetro y sus esfuerzos con la mezcla patrón <b>B</b> a los 7, 14 y 28 días. ....	65
Gráfico 5: Comparación de las mediciones promedio del esclerómetro y sus esfuerzos con la mezcla dosificada con aditivo <b>BB</b> a los 7, 14 y 28 días. ....	66
Gráfico 6: Comparación de las mediciones promedio del esclerómetro y sus esfuerzos con la mezcla patrón <b>C</b> a los 7, 14 y 28 días.....	67
Gráfico 7: Comparación de las mediciones promedio del esclerómetro y sus esfuerzos con la mezcla dosificada con aditivo <b>CC</b> a los 7, 14 y 28 días.....	68
Gráfico 8: Comparación de las mediciones promedio con el esclerómetro y sus esfuerzos con la mezcla patrón <b>D</b> a los 7, 14 y 28 días.....	69
Gráfico 9: Comparación de las mediciones promedio del esclerómetro y sus esfuerzos con la mezcla dosificada con aditivo <b>DD</b> a los 7, 14 y 28 días.....	70



Gráfico 10: Comparación de la velocidad de pulso ultrasónico con los esfuerzos y la mezcla patrón <b>A</b> a los 7, 14 y 28 días. ....	71
Gráfico 11: Comparación de la velocidad de pulso ultrasónico con los esfuerzos y mezcla dosificada <b>AA</b> a los 7, 14 y 28 días. ....	72
Gráfico 12: Comparación de la velocidad de pulso ultrasónico con los esfuerzos y mezcla patrón <b>B</b> a los 7, 14 y 28 días.....	73
Gráfico 13: Comparación de la velocidad de pulso ultrasónico con los esfuerzos y mezcla dosificada <b>BB</b> a los 7, 14 y 28 días.....	74
Gráfico 14: Comparación de la velocidad de pulso ultrasónico con los esfuerzos y mezcla patrón <b>C</b> a los 7, 14 y 28 días. ....	75
Gráfico 15: Comparación de la velocidad de pulso ultrasónico con los esfuerzos y mezcla dosificada <b>CC</b> a los 7, 14 y 28 días. ....	76
Gráfico 16: Comparación de la velocidad de pulso ultrasónico con los esfuerzos y mezcla patrón <b>D</b> a los 7, 14 y 28 días. ....	77
Gráfico 17: Comparación de la velocidad de pulso ultrasónico con los esfuerzos y mezcla dosificada <b>DD</b> a los 7, 14 y 28 días. ....	78
Gráfico 18: Comparación de la resistencia a la compresión entre mezclas patrón <b>A</b> y mezcla dosificada <b>AA</b> . ....	79
Gráfico 19: Comparación de la resistencia a la compresión entre mezclas patrón <b>B</b> y mezcla dosificada <b>BB</b> .....	80
Gráfico 20: Comparación de la resistencia a la compresión entre mezclas patrón <b>C</b> y mezcla dosificada <b>CC</b> . ....	81

Gráfico 21: Comparación de la resistencia a la compresión entre mezclas patrón **D** y  
mezcla dosificada **DD**. ..... 82

## INTRODUCCIÓN.

Son grandes los alcances obtenidos sobre las diferentes mezclas de concreto que existen y que han contribuido de manera significativa en la industria de la ingeniería civil, permitiendo llevar a la realidad proyectos que se pudiesen considerar inalcanzables en algún momento, pasado por su tiempo de ejecución, el tiempo de traslado de concreto premezclado a la obra o por alguna propiedad particular que se necesitase obtener del concreto para el proyecto. Hoy se pueden conseguir esos avances en muchísimos sitios del mundo y tal vez en cualquier país con la ayuda de aditivos. En la actualidad existen muchos tipos de aditivos para concretos y gran variedad de marcas, estos aditivos siempre se deben de someter a una serie de ensayos para verificar su rendimiento, eficiencia, costos u otros parámetros en que se necesite indagar antes de llevarlo al mercado.

El aditivo Polyheed 755, con un tiempo relativo en el mercado, presentaba resultados distintos a los esperados, observándose así la interrogante de que estaba afectando su comportamiento, y es por ello que surgió la necesidad de determinar los efectos que causa sobre las mezclas de concreto y aún más cuando se desconoce el comportamiento con los diferentes agregados que existen en el país, sabiendo las dificultades que se presentan en el mercado hoy día.

El presente Trabajo Especial de Grado indagó el comportamiento del aditivo mencionado, de los efectos que produce en mezclas de concreto cuando se varían los tipos de agregados tanto finos como gruesos manteniendo una resistencia de diseño de  $280 \text{ kg/cm}^2$ .

# CAPÍTULO I

## I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria de la construcción busca optimizar los tiempos de ejecución de las obras, beneficiar la reducción de costos y emplear materiales que proporcionen mejores niveles de calidad a las propiedades de las mezclas de concreto utilizadas, tanto en estado fresco como endurecido.

En este sentido, la ingeniería civil ha evolucionado desde el mortero como una mezcla de materia cementosa con agua (construcciones primitivas egipcias) hasta mezclas de concreto translúcido; esto con la finalidad de mejorar el aspecto físico o acabado estructural, mejorar los tiempos de fraguado tanto acelerados como retardados, concretos elaborados en ambientes con altas o bajas temperaturas, que posean resistencia a la penetración de los sulfatos, aumentar o disminuir la trabajabilidad y mezclas que requieran una ganancia rápida de resistencia, entre muchas características más.

El primer antecedente de los aditivos químicos modernos se encuentra en el empleo ocasional del sulfonato de naftaleno formaldehído en 1930 para actuar como dispersante en concretos con adiciones de humo, destinados a carriles de pavimentos que por su coloración pudieran llamar la atención de los conductores. No es sino hasta la década de los años 60 del siglo pasado, cuando se inició el uso masivo de los aditivos plastificantes (productos que han sido los más utilizados en todo el mundo) debido a su capacidad para reducir el agua y por ende obtener concretos más resistentes, económicos y durables.

En Venezuela los aditivos llegan a finales de los años 40 del siglo pasado (Porrero, 2009) y treinta años después comienza su fabricación en el país, incorporando progresivamente mayor proporción de materias primas nacionales. En la actual tecnología del concreto los aditivos han perdido su carácter desconocido y se

maneja información más amplia acerca de sus características técnicas y manejo con los distintos materiales obteniéndose así concretos de mayores exigencias. Hasta la fecha han sido desarrollados aproximadamente ocho (8) tipos, se usan principalmente, para modificar y mejorar las reacciones químicas naturales del cemento ante el agua.

La presencia cada vez mayor de productos superplastificantes, cuyo efecto tiene ventajas constructivas en cuanto a resistencia, durabilidad y manejabilidad, traslado y ubicación, economía y que principalmente contribuye al acelerado ritmo constructivo que se vive no solo a nivel nacional sino también mundial, es lo que estimula la constante investigación y búsqueda de nuevos aditivos que se adapten a cada necesidad. Así mismo contribuyen a mejorar y aprovechar aún más las características de los concretos constituyendo un factor ventajoso en la construcción, en cuanto al avance de obra, permitiendo que los rendimientos sean altos sin alterar la calidad del producto final, en tiempos en los que la puntualidad es difícil por factores externos como la ubicación de los materiales en el mercado.

Entre los aditivos están los reductores de agua y retardadores de fraguado, capaces de reducir considerablemente la cantidad de agua contenida en la mezcla de concreto y retardar satisfactoriamente su fraguado cuanto se requiera. La norma COVENIN 356-94 establece que los aditivos del concreto se deben ajustar a una clasificación de acuerdo a sus características de uso, por lo que los reductores de agua y retardadores de fraguado se denominan como aditivos tipo D.

Entre los aditivos disponibles en el mercado nacional se encuentra el Polyheed 755 que tiene como objetivos aumentar la resistencia a la compresión y a la flexión en su vida útil, reducir el agua de la mezcla en un rango medio (12%-20%) en concretos donde se requiera extender el tiempo de fraguado y mejorar la trabajabilidad. Aunque cuenta con pruebas de laboratorio que le certifican y se han observado que tales pruebas no especifican su uso en combinaciones con agregados finos y gruesos, y dadas las limitaciones del mercado actual de materiales de

construcción es necesario concatenar y especificar la mayor cantidad de información acerca de los usos del aditivo. Son pocos los valores técnicos que se conocen y manejan en Venezuela; los tiempos de traslado y vaciado en sitio, la zona donde se utiliza y las combinaciones de agregado son preguntas que aquejan a los usuarios de este producto, innovador y útil en el mercado.

En el marco de este trabajo especial de grado se quiere evaluar a través de ensayos experimentales el aditivo POLYHEED 755, usando cuatro (4) tipos de agregados en cuatro (4) combinaciones distintas de los mismos para una resistencia de  $280 \text{ kg/cm}^2$ , lo cual ayudaría a ampliar la ficha técnica de dicho aditivo para su uso en la industria de la construcción en Venezuela.

## **I.2. OBJETIVOS**

### **I.2.1.Objetivo General.**

Evaluar los efectos del aditivo Polyheed 755 en mezclas de concreto diseñadas con cemento Portland tipo I y cuatro (4) combinaciones distintas de agregados, finos y gruesos, con resistencia de  $280 \text{ kg/cm}^2$ .

### **I.2.2.Objetivos Específicos.**

1. Verificar la calidad de los agregados a utilizar en el diseño mezclas.
2. Diseñar mezclas de concreto con una resistencia  $280 \text{ kgf/cm}^2$  con cemento Portland tipo I, y cuatro (4) combinaciones de agregados finos y gruesos, incluyendo aditivo Polyheed 755.
3. Caracterizar el comportamiento de las mezclas de concreto con el aditivo Polyheed 755 en estado fresco, tomando en cuenta sus parámetros de asentamiento y peso unitario.
4. Caracterizar el comportamiento de las mezclas de concreto con el aditivo Polyheed 755 en estado endurecido, tomando en cuenta parámetros de peso unitario, velocidad de pulso ultrasónico, esclerometría, y resistencia a compresión.
5. Contrastar los resultados experimentales obtenidos entre las cuatro (4) mezclas diseñadas y sus respectivas mezclas patrón.
6. Recomendar condiciones y formas de uso del aditivo Polyheed 755 en mezclas de concreto usando cuatro (4) tipos de agregados.

### **I.3.JUSTIFICACIÓN**

El trabajo especial de grado tiene como objeto indagar en el empleo del aditivo Polyheed 755 como reductor de agua y retardador de fraguado, contribuyendo a un mejor aprovechamiento del concreto por lo que se hace necesario ampliar su ficha técnica, específicamente en mezclas de concreto diseñadas con distintas combinaciones de agregados. Efectivamente el trabajo experimental con cuatro (4) combinaciones de agregados finos y gruesos, permitirá un rango más amplio de aprovechamiento de los materiales constructivos que se consigan en el mercado - situación que marca hoy día el proceso constructivo en el país - y así cumplir con los estándares de calidad y rendimiento exigidos. Esto facilitará el conocimiento de cómo reaccionan los diferentes agregados que se usan en el mercado ante este aditivo, evitando situaciones no deseadas como pérdida de tiempo, dinero y mano de obra, al emplear agregados no adecuados con este aditivo.

Finalmente aporta información técnica, valiosa a las líneas de investigación que se han venido desarrollando y mejorando en el I.M.M.E. (Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la U.C.V.), y por consiguiente proporciona a los tesisistas una mejor formación técnica en cuanto al estudio de propiedades de mezclas de concreto al igual que la formación experimental.



## CAPÍTULO II

### II.1 MARCO TEÓRICO

#### II.1.1. Antecedentes.

El concreto u hormigón es una mezcla del tipo aglomerante de dos componentes, básicamente: agregados pétreos y pasta. La pasta, compuesta de cemento Portland y agua, las que une a los agregados: arena y grava o piedra triturada, para formar una masa semejante a una roca pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua.

El cemento portland, según la Norma COVENIN 28, “*Cemento Portland. Especificaciones*” es el producto obtenido por la pulverización de Clinker Portland, el cual consiste esencialmente en silicatos de calcio hidráulico, con la adición de agua y sulfato de calcio.

Como los agregados constituyen aproximadamente el 70 al 80 % del volumen total del concreto, su selección es importante. Los agregados deben consistir en partículas con resistencia adecuada así como resistencias a condiciones de exposición a la intemperie y no deben contener materiales que pudieran causar deterioro del concreto, como por ejemplo, la materia orgánica. Para hacer un uso eficiente de la pasta de cemento es deseable contar con una granulometría continua de tamaños de partículas.

#### II.1.2. Clasificación del Cemento Portland.

La clasificación del cemento portland está dada según su uso por la Norma COVENIN 28, “*Cemento Portland. Especificaciones*”

Tipo I: Usado en construcciones de concreto en general, cuando no se requieran las propiedades especiales correspondientes a los otros tipos. El cemento Portland blanco entra en esta clasificación.

Tipo II: Obras expuestas a la acción moderada de los sulfatos, o donde se requiera un calor de hidratación moderado.

Tipo III: Construcciones que requieran altas resistencias iniciales.

Tipo IV: Obras donde sea necesario un bajo calor de hidratación.

Tipo V: Construcciones que requieran alta resistencia a los sulfatos.

### **II.1.3. Agregados y sus Funciones.**

La función de los agregados en el concreto es la de crear un esqueleto rígido y estable lo que se logra uniéndolos con cemento y agua, también es para proveer una masa de partículas aptas para resistir la acción de cargas, reducir los cambios de volumen, se emplean como un relleno económico y otra razón es la de su acabado estético por exposición de los mismos. La función de la pasta sucede cuando el concreto está fresco y en este estado se logra lubricar a las partículas del agregado otorgándole cohesión y trabajabilidad a la mezcla.

Si se fractura una piedra se reducirá su tamaño y aparecerán nuevas superficies, ya que la pasta debe cubrir totalmente las superficies de los agregados; en los agregados de menor tamaño se tendrá que proporcionar una mayor cantidad de pasta, para que el concreto sea trabajable.

En estas condiciones se hacen los cálculos de dosificación para elaborar el concreto. Sin embargo, en los sitios donde se almacenen se puede tener cualquier contenido de humedad. Si la humedad es inferior a la absorción se deberá agregar más agua al concreto, para compensar lo que absorberán los agregados. Por el contrario, si la humedad supera la absorción, habrá que quitar agua al concreto ya que los agregados estarán aportando agua. La verificación permanente de la calidad de los agregados contribuye a mantener controlada la demanda de agua y la homogeneidad de las mezclas, favoreciendo inmediatamente a la uniformidad del proceso de

producción y a las propiedades de interés del hormigón o concreto como: la fluidez requerida, resistencia mecánica y durabilidad.

En resumen, mejorará el beneficio técnico y económico derivado de la utilización del hormigón.

Los agregados comunes tienden a clasificarse en dos grupos a pesar de su origen geológico, y son agregados gruesos y finos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partículas que pueden llegar hasta 10 mm de diámetro; los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en la malla No. 16 y pueden variar hasta 152 mm de diámetro.

#### **II.1.3.1. En los agregados finos se encuentran.**

- *Piedra triturada y Arena Manufacturada*: estos productos se obtienen extrayendo rocas y triturándolas hasta llegar al tamaño deseado. En el caso de las arenas manufacturadas, el producto se obtiene de la trituración de la roca hasta que se consigue la forma o textura deseada, asegurando que se cumplan las especificaciones del producto y del proyecto. Las fuentes de roca triturada pueden ser ígneas, sedimentarias o metamórficas.
- *Arena*: se presenta en forma natural y está compuesta de material rocoso fino y partículas minerales. Su composición varía dependiendo de la fuente. La arena puede usarse para caminos, para manufacturar concreto o para proyectos sanitarios.

#### **II.1.3.2. En los agregados gruesos se encuentran.**

- *Grava (piedra picada y canto rodado)*: los depósitos de grava se producen por la acción del proceso natural de erosión y la acción de la intemperie.
- *Concreto Reciclado*: el concreto reciclado se produce rompiendo, removiendo y triturando el concreto existente al tamaño deseado.

Comúnmente se usa como capa base para otros materiales de construcción porque se compacta para formar una superficie firme.

- *Canto rodado triturado*: se puede localizar en ríos y se caracteriza por ser rocas sin planos en su superficie, es decir; que son redondeados sus extremos. Este se lleva a las industrias para procesar y triturar al tamaño que se desee.

Los agregados finos se obtienen de minas naturales a cielo abierto o de fosas de arena y la grava de canteras de roca dura, dragado de depósitos sumergidos o de extracción de sedimentos subterráneos.

De los avances que se han logrado en incorporar diferentes materiales o sustituir agregados a las mezclas de concreto surge el concreto polímero también conocido como concreto resina o PC (Polymer Concrete), debe su nombre a que en vez de trabajar con cemento Portland usa un polímero, además incorpora agregados bien sean áridos, gravas, polvos de silicona, cuarzo, granito, cristales, cualquier material seco, sólido y no absorbente que se pueda incorporar como agente llenador.

En otro aspecto, para cualquier conjunto específico de materiales y de condiciones de curado, la cantidad de concreto endurecido está determinada por la cantidad de agua utilizada en la relación con la cantidad de cemento. A continuación se presenta algunas ventajas que se obtienen al reducir el contenido de agua:

- Se incrementa la resistencia a la compresión y a la flexión.
- Se tiene menor permeabilidad, y por ende mayor hermeticidad y menor absorción.
- Se incrementa la resistencia a la intemperie.
- Se logra una mejor unión entre capas sucesivas y entre el concreto y el esfuerzo.
- Se reducen las tendencias de agrietamientos por contracción.

Entre menos agua se utilice, se tendrá una mejor calidad de concreto y esta condición producirá una consolidación adecuada y resultados más económicos en los costos de diseño de mezclas.

#### **II.1.4. Concreto.**

El concreto es una mezcla constituida por un producto pastoso y agregados, la pasta está conformada por agua y cemento Portland los cuales reaccionan químicamente dando lugar al endurecimiento de la mezcla; los agregados son fragmentos o granos, habitualmente pétreos, los cuales quedan contenidos en la pasta y representan aproximadamente un 80% en peso del concreto, por esta razón sus características son determinantes en las propiedades del concreto y deben ser evaluados antes de elaborar la mezcla.

Los componentes se combinan en una máquina llamada mezcladora la cual consta de rotores que agitan y envuelven los materiales hasta obtener una mezcla homogénea. Una vez terminado el mezclado, el concreto en estado fresco es transportado al sitio de vaciado donde se vierte la mezcla en los moldes dispuestos para ello y se inicia el proceso de vibrado para garantizar que todos los espacios sean ocupados por la mezcla.

El concreto fragua y se endurece, al alcanzar este estado es desencofrado y curado. El curado es el proceso de mantener o reponer la humedad que pudiera perder el material por evaporación de agua, necesaria ésta para que se desarrollen las reacciones de hidratación del cemento.

El concreto es un material que posee gran versatilidad, es posible obtener diversas plasticidades, resistencias y apariencias, logrando así satisfacer los particulares requerimientos de la industria, esto explica la creciente expansión del uso de este material.

#### **II.1.4.1. Calidad del Concreto.**

La calidad del concreto depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada una de las partículas de agregado está completamente cubierta con pasta y también todos los espacios entre partículas de agregado. En tal sentido es que se desarrollaron los aditivos químicos para incorporar a este aglomerado mejores propiedades y reacciones químicas controladas que usualmente se aplican en forma líquida durante su dosificación. Los aditivos que se usan comúnmente son para ajustar el tiempo de fraguado o endurecimiento, reducir la demanda de agua, aumentar la trabajabilidad, incluir intencionalmente aire, y ajustar otras propiedades del concreto.

#### **II.1.5. Aditivos.**

Según Porrero, J. (1996). Aditivos son: los productos químicos que se añaden en pequeña proporción a la mezcla de concreto durante su mezclado, para modificar algunas de las propiedades de la mezcla en estado fresco o endurecido. (pp 83).

##### **II.1.5.1. Clasificación de los Aditivos.**

La norma COVENIN 356:1994 contempla una clasificación de los aditivos de acuerdo a sus usos como a continuación se representa:

- *Tipo A: Reductores de agua*

Son aquellos aditivos que reducen al menos un 5% la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, incrementando su resistencia.

- *Tipo B: Retardadores*

Son aquellos aditivos que retardan el fraguado del concreto.

- Tipo C: Aceleradores  
Son aquellos aditivos que aceleran el fraguado y el desarrollo de la resistencia inicial del concreto.
- Tipo D: Reductores de agua y retardadores  
Son aquellos aditivos que reducen al menos 5% la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, que retardan el fraguado e incrementan su resistencia.
- Tipo E: Reductores de agua y aceleradores  
Son aquellos aditivos que reducen al menos 5% la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, acelerando el fraguado y el desarrollo de la resistencia inicial y final del mismo.
- Tipo F: Reductores de agua de alto rango  
Son aquellos aditivos que reducen al menos un 15% de agua de mezclado requerida, para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, incrementando su resistencia.
- Tipo G: Reductores de agua de alto rango retardadores  
Son aquellos aditivos que reducen al menos un 15% de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, retardando el fraguado e incrementando su resistencia.
- Tipo H: Reductores de agua de alto rango aceleradores  
Son aquellos aditivos que reducen al menos un 15% de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, acelerando el desarrollo de la resistencia inicial y final del mismo.

### **II.1.6. Aditivo Polyheed 755.**

Polyheed 755 es un aditivo líquido, listo para usarse, reductor de agua de rango medio que mantiene su trabajabilidad en ambientes con altas temperaturas.

La dosificación del aditivo Polyheed 755 se aplica en un rango como aditivo tipo “A” de 2 a 4 cc por kilogramo de material cementante y como aditivo tipo “D” de 5 a 12 cc por kg de material cementante.

### **II.1.7. Diseño de mezclas.**

El diseño de mezclas de concreto consiste en dosificar de manera adecuada todos los componentes a intervenir en dicha mezcla con el fin de obtener el comportamiento deseado, tanto en estado fresco como en estado endurecido.

En algunos casos puede ser importante el color, peso unitario, textura superficial y otros. Las cantidades de los componentes sólidos, agregados y cemento en kilogramos por metro cúbico de mezcla. El agua puede expresarse en litros o kilogramos entendiendo, para el diseño de mezclas que un kilogramo de agua equivale a un litro de agua.

Un método de diseño de mezcla puede llegar a ser muy complejo si considera un gran número de variables y una gran precisión en la expresión de sus relaciones. Pero debe al mismo tiempo, ser de fácil manejo y operatividad. Lo acertado es lograr un equilibrio entre ambos extremos.

Existen numerosos métodos para diseñar mezclas, que pueden asemejarse o pueden diferir entre sí profundamente, de acuerdo con las variables que manejen y las relaciones que establezcan; esto indica que ninguno de ellos es perfecto. De acuerdo con las condiciones reales de los materiales y de la tecnología del concreto, pueden ser preferidos unos u otros métodos.

Inevitablemente los diseños de mezclas tienen cierto grado de imprecisión debido a que las variables que condicionan la calidad y el comportamiento del



concreto son numerosas y difíciles de precisar. Los ajustes que puedan dar más exactitud a las proporciones de los componentes solo pueden conseguirse mediante mezclas de prueba, tanto de laboratorio como de obra. (Porrero, 2009).

#### **II.1.7.1. La ley de Abrams.**

La ley de Abrams representa el vínculo existente en la relación agua/cemento en peso ( $\alpha = a/C$ ) y la resistencia media a la compresión (R).

$$R = \left( \frac{M}{N \cdot \alpha} \right) \quad (I)$$

Donde:

R: resistencia media a la compresión (kgf/cm<sup>2</sup>)

M, N: constantes

$\alpha = a/C$ : relación agua/cemento en peso

Los valores M y N dependerán principalmente de parámetros, como la edad del concreto, tipo y calidad del cemento, de las características de los agregados y de los aditivos presentes. Los cambios en la granulometría de los agregados no modifican considerablemente los valores de M y N; sin embargo, los cambios en sus características (rugosidad, forma de los granos, etc.) o en su tamaño máximo pueden producir variación en dichas constantes. De igual forma las afecta la calidad del cemento. En contra de lo que pudiera pensarse, la mayoría de los aditivos químicos no afectan esencialmente estas constantes.

Hoy, a casi un siglo de su formulación, el principio de la Ley de Abrams sigue teniendo aplicación, pero han surgido condiciones tecnológicas que obligan a establecer ciertos tipos de correctivos. Tal es el caso cuando se emplean adiciones como las puzolanas, las cenizas volantes y otras, que tienen actividad cementante. Su contenido debe ser tomado en cuenta para

establecer el verdadero valor de  $\alpha$  que, en estos casos, es la relación entre el agua y el contenido de cemento incluyendo aquellas proporciones activas cementantes de cada una de las sustancias citadas que estén presentes. (Porrero, 2009).

#### **II.1.7.2. Relación triangular.**

Esta es una expresión que relaciona la trabajabilidad medida con en el Cono de Abrams con dos parámetros claves del diseño de mezclas, como lo son la relación agua /cemento y la dosis de cemento. Estas variables trabajan en conjunto, si se varía alguna de ellas se modificará otra o las dos restantes.

$$C = \frac{k \cdot T^n}{\alpha \cdot m} \quad (2)$$

Donde:

C: dosis de cemento ( $\text{kgf/m}^3$ )

$\alpha = a/C$ : relación agua/cemento en peso

T: asentamiento en el Cono de Abrams (cm)

k, m, n: constantes que dependen del tipo de agregados

#### **II.1.7.3. Concreto en estado fresco.**

Se dice que el concreto se encuentra en estado fresco cuando permanece fluido, esta característica se conserva desde el momento de la mezcla hasta el inicio del fraguado de la misma (período plástico). En este lapso el concreto es transportado, colocado en moldes o encofrados y luego compactado manualmente por vibración.

#### **II.1.7.4. Reología del concreto.**

Características que permiten el manejo y compactación del concreto, pueden variar con la viscosidad y con la tixotropía de la mezcla en el tiempo. La Reología del concreto se define con base en tres características: fluidez, compactabilidad y estabilidad a la segregación.

#### **II.1.7.4.1. Fluidéz.**

Indica el grado de movilidad de la mezcla. Generalmente, la palabra trabajabilidad también se emplea con el significado de fluidéz.

Consistencia es la condición de tieso y se puede considerar el antónimo de fluidéz. (Porrero, 2009).

#### **II.1.7.4.2. Compactibilidad.**

Cuando la mezcla es vibrada se hace más fluida y puede así distribuirse más uniformemente, envolviendo bien las armaduras y ocupando todas las sinuosidades del encofrado. Esta propiedad se conoce como tixotropía: endurecimiento en reposo y fluidificación en movimiento y es la característica que permite la compactibilidad de la mezcla y su adaptación al molde. (Porrero, 2009).

#### **II.1.7.4.3. Estabilidad a la Segregación.**

Las mezclas de concreto están compuestas por materiales heterogéneos: líquido (agua), polvo (cemento y arena), fragmentos de piedra y una pequeña fracción de aire, estos materiales tienen la natural tendencia a separarse después de ser mezclados, especialmente los granos gruesos. Ésta tendencia se conoce como segregación, la cual debe ser controlada ya que de lo contrario puede afectar la resistencia mecánica, promover la aparición de grietas por retracción y quitarle defensas al concreto para lograr durabilidad.

#### **II.1.7.4.4. Trabajabilidad.**

Se refiere al conjunto de características que permiten el manejo, colocación y compactación del concreto en estado fresco sin que se produzca segregación. Por otra parte, este concepto está estrechamente vinculado con el asentamiento que presenta la mezcla al realizar el ensayo normalizado del Cono de Abrams.

#### II.1.7.4.5. Cono de Abrams.

Es un molde construido de un material rígido e inatacable por el concreto, con un espesor mínimo de 1.5 mm. Su forma interior debe ser la de un tronco de cono, de  $(200 \pm 3)$  mm de diámetro de base mayor,  $(100 \pm 3)$  mm de diámetro de base menor y  $(300 \pm 3)$  mm de altura. Las bases deben ser abiertas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cono. Este cono se utiliza para medir el asentamiento de concreto en estado fresco, siendo útil sólo para concretos con agregados pétreos. El rango de asentamiento que contempla el procedimiento va desde  $\frac{1}{2}$ " (15 mm) a 8" (203 mm) y no es aplicable para mezclas donde existan cantidades de agregados mayores a  $1 \frac{1}{2}$ " (3.75 cm.).

El molde debe estar provisto de asas y aletas. El interior del molde debe ser relativamente suave y sin protuberancias, tales como remaches. Este debe estar acompañado de una barra compactadora la cual debe ser de acero, recta, cilíndrica y lisa, de 16 mm de diámetro, 600 mm de longitud aproximada, con el extremo semiesférico de 8 mm de radio.

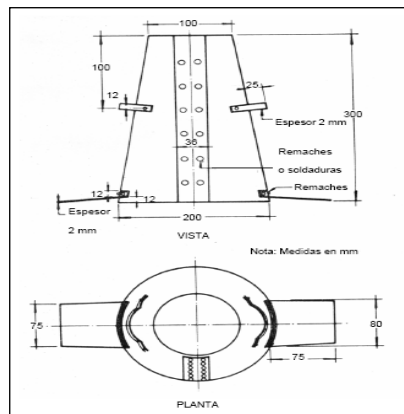


Figura 1: Cono de Abrams

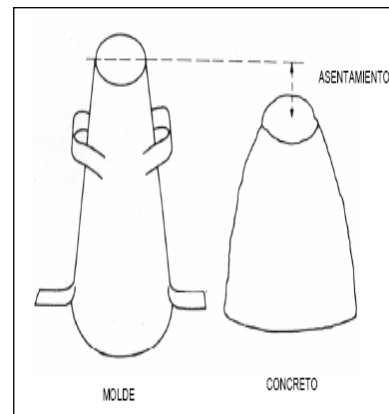


Figura 2: Medición del Asentamiento

Fuente: (Porrero, J. 2009)

### II.1.8. Peso Unitario.

Se calcula al dividir el peso de la sustancia entre el volumen que éste ocupa. En el sistema técnico, se mide en kilopondios por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>). En el Sistema Internacional de Unidades, en newton por metro cúbico (N/m<sup>3</sup>). (Porrero, 2009).

$$Pe = \left(\frac{P}{V}\right) \quad \text{ó} \quad Pe = (\rho * g) \quad (3)$$

Donde:

Pe: peso específico

P: peso de la sustancia

V: volumen que la sustancia que ocupa

$\rho$ : densidad de la sustancia

g: aceleración de la gravedad

Es una propiedad física de la materia, aplicable en general a cualquier sustancia, y su uso es muy amplio dentro de la Física.

### II.1.9. Proceso de curado.

El término curado se utiliza tanto para describir el proceso natural por medio del cual el concreto de cemento hidráulico madura y desarrolla sus propiedades mecánicas típicas del material en estado endurecido, como para describir las acciones tomadas por el constructor para mantener el concreto húmedo y dentro de un rango de temperatura adecuada, de tal manera que se promueva la hidratación del cemento. En el primer sentido, el tiempo de curado del concreto se refiere al lapso en el cual se desarrollan las reacciones químicas del cemento con el agua, sin que se realice acción alguna; mientras que en el segundo sentido, se refiere al tiempo durante el cual se ejecutan acciones específicas para mantener el concreto en las condiciones favorables

de humedad y temperatura, como pueden ser aplicarle agua, cubrirlo del medio ambiente, calentarlo, etc.

Este proceso es de gran importancia debido a que previene la pérdida de agua por evaporación superficial en la masa de concreto evitando la aparición de grietas por retracción plástica.

Para efectos de este trabajo especial de grado se empleará como método de curado la inmersión de las probetas de concreto en agua saturada de cal ya que el laboratorio dispone de piscinas aptas para tal fin.

#### **II.1.10. Resistencias mecánicas.**

La resistencia mecánica del concreto se debe al cemento y es la propiedad del material que tiene mayor influencia en los fines estructurales, ya que las estructuras de concreto armado se encuentran sometidas a sollicitaciones variadas como compresión, corte, tracción, flexotracción, agentes agresivos, entre otras.

Para detectar o comparar calidades resistentes de cementos con base en el ensayo de probetas de concreto, las mezclas deben ser estrictamente iguales en todos los aspectos, incluidas las condiciones del ensayo, excepto naturalmente, el cemento que se desea comparar. Sin embargo, no es práctico ni económico realizar el control de todos los estados tensionales, por lo que se acostumbra a realizar el ensayo destructivo a compresión simple en probetas normalizadas y a partir de los resultados obtenidos se infieren los valores de otras características mecánicas tales como la resistencia a la tracción o al corte.

En normas correspondientes al cálculo de estructuras de concreto armado se correlaciona empíricamente la resistencia del concreto bajo los diversos estados de sollicitación con el valor de la resistencia en compresión simple, por esto es importante conocer esta propiedad y definir sus criterios de interpretación.

#### **II.1.10.1. Resistencia a la compresión.**

Es la característica mecánica más importante del concreto, pues sirve para juzgar su calidad y para determinarla se emplea el promedio de los resultados de ensayos válidos, sobre un conjunto de probetas normalizadas, en una fecha determinada y siguiendo un procedimiento establecido. Se hace referencia a ensayos válidos porque eventualmente el resultado de alguna o varias probetas pueden ser rechazados por ciertas anomalías. Se debe trabajar siempre con un conjunto mínimo de probetas para contar con una confiabilidad estadística, el número mínimo acostumbrado suele ser tres por cada edad y condición de ensayo. El número de muestras es variable dependiendo del grado de probabilidad esperado, de la importancia de la obra y de la precisión con la que se ha venido trabajando. (Porrero, 2009).

#### **II.1.11. Inspección Visual.**

Observación, clasificación y documentación de daños visibles en la superficie expuesta del concreto con el fin de realizar mapas de daños, indicando: grietas, erosión, picadura superficial y estallido.

#### **II.1.12. Velocidad de pulso ultrasónico.**

La velocidad ultrasónica se empezó a desarrollar como técnica para probar materiales desde hace medio siglo. En la actualidad, es muy utilizada para evaluar estructuras de concreto debido a su simplicidad, versatilidad y repetitividad. El carácter heterogéneo del concreto y el hecho de que las estructuras con este material sean, la mayoría de las veces, construidas sin estricto control industrial, provocan gran variabilidad en sus propiedades físicas; lo anterior da lugar a que no exista un único valor de la velocidad para cada valor de la resistencia a la compresión de este material.

La velocidad de pulso puede ser afectada por la presencia de grietas o vacíos y sufrir desviación en las discontinuidades modificando el tiempo de viaje. Una aparente disminución de la velocidad no siempre es debida a una baja resistencia puesto que existen otros factores distintos a la resistencia que afectan la velocidad de pulso como: el contenido de humedad, el proceso de curado, entre otros.

El pulso ultrasónico es una excelente opción para ubicar zonas de la estructura donde el concreto posee diferente calidad o donde hay defectos internos tales como grietas o cangrejeras.

#### **II.1.12.1. Clasificación del concreto según su velocidad ultrasónica.**

$V > 4575$  Excelente

$4575 > V > 3660$  Bueno

$3660 > V > 3050$  Cuestionable

$3050 > V > 2135$  Pobre

$V < 2135$  Muy pobre

#### **II.1.13. Relación tensión-deformación unitaria (f-ε).**

Es la deformabilidad que presenta el concreto bajo tensiones de compresión (f). Se obtiene mediante ensayos a compresión, en los cuales se incrementa la tensión f y se mide el cambio de longitud  $\Delta L$  de una base de medición  $L_0$ ; el cociente  $\Delta L / L_0$  se designa como “ε” y se denomina deformación unitaria, en este caso por compresión.

#### **II.1.14. Módulo de Elasticidad.**

El módulo de elasticidad ( $E_c$ ) se define como una relación entre la tensión aplicada y la deformación unitaria producida. Para el rango elástico, la tensión (f) se



mide en  $\text{kgf/cm}^2$  y la deformación unitaria ( $\epsilon$ ) es adimensional (mm/mm), por lo que las unidades de módulo son las mismas que las de la tensión.

El concreto no es un material perfectamente elástico que se ajuste a la ley de Hooke. En cualquiera de los rangos de carga presenta los dos comportamientos: elástico y plástico; al retirar la carga que se le aplicó sólo recupera parcialmente la deformación alcanzada.

Si el concreto es sometido a ciclos de carga y descarga, cada vez se va haciendo más elástico: su deformación remanente entre cargas es menor y su módulo de elasticidad más estable. Durante esos ciclos, la estructura interna del concreto pareciera reacomodarse, este comportamiento se aplica en algunos procedimientos normalizados para determinar  $E_c$ .

## CAPÍTULO III

### III.1 MÉTODO

#### III.1.1. Caracterización de los agregados.

##### III.1.1.1. Distribución granulométrica de los tamaños de partículas de agregados finos y gruesos. Según la Norma COVENIN N° 255.

Determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas en una muestra, empleando procedimientos normalizados de hidrometría y/o tamizado.

Los agregados gruesos fueron donados por una empresa privada, antes de iniciar el diseño de mezcla fueron tamizados para conseguir los tamaños máximos de cada agregado y de verificar las impurezas de cada uno. Para ello se emplearon los tamices proporcionados por la nave de ensayos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (I.M.M.E): 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", #4, #8, #16, #30, #50, #100.



Pesaje de los materiales para elaborar los diseños de mezclados



Tamizado de los agregados gruesos

### III.1.2.Diseño de las mezclas.

Se empleará el método descrito en el Manual del Concreto Estructural de Joaquín Porrero, por ser este un procedimiento que ha tenido excelentes resultados tanto en laboratorios como en plantas de preparación comercial de concreto; es un método organizado y sistemático que admite la utilización de agregados poco controlados y puede ser aplicado por profesionales con relativa poca experiencia.

Para determinar la dosificación de los distintos componentes de las mezclas de concreto será necesario llevar a cabo las siguientes actividades:

1. Se programó una hoja de cálculo haciendo uso de la herramienta Excel para el diseño de una mezcla patrón.

Los diseños de mezcla a trabajar en este trabajo especial de grado con un  $f'c$ : 280 kg/cm<sup>2</sup>

Mezcla patrón (A): Arena Lavada y Piedra picada.

Mezcla con aditivo (AA): Arena Lavada, Piedra Picada y Aditivo.

Mezcla patrón (B): Arena Lavada y Canto Rodado.

Mezcla con aditivo (BB): Arena Lavada, Canto Rodado y Aditivo.

Mezcla patrón (C): Arena Amarilla y Canto Rodado.

Mezcla con aditivo (CC): Arena Amarilla, Canto Rodado y Aditivo.

Mezcla patrón (D): Arena Amarilla y Piedra Picada.

Mezcla con aditivo (DD): Arena Amarilla, Piedra Picada y Aditivo.

2. Con la programación se establecieron los parámetros de entrada, los cuales constituyen la información básica para llegar a la dosificación de las mezclas deseadas, estos parámetros son:

- Tipo de agregado fino y grueso.
  - $\alpha$  relación agua cemento
  - Fcr resistencia promedio
  - P: Tamaño máximo del agregado grueso.
  - T: asentamiento esperado.
  - $\beta$ : relación que denota el contenido de arena con relación al agregado total A/(A+G).
3. Se verificó la resistencia promedio requerida (Fcr) para concretos con  $f'c \leq 350 \text{ kgf/cm}^2$  según la Norma COVENIN 1753 ***“Proyecto y construcción de obras en concreto estructural”***

$$Fcr = f'c + 32 \quad (4)$$

Donde:

$f'c$ : resistencia a la compresión

4. Ésta relación fue corregida en función del tamaño máximo ( $K_R$ ) y el tipo de agregados ( $K_A$ ) empleados, buscando obtener una relación agua/cemento corregida ( $\alpha_c$ ) mediante la ecuación:

$$\alpha_c = \alpha * k_R \quad (5)$$

5. Con  $\alpha_c$ , se calculó la cantidad de cemento (C) a incorporar en la mezcla tomando en cuenta la relación triangular, seguidamente ésta relación fue corregida (Cc) por tamaño máximo (C1) y por tipo de agregados (C2):

$$C = 117.2 * \left( \frac{T^{0.16}}{\alpha_c^{1.3}} \right) \quad (6)$$

$$C_c = C * C_1 * C_2 \quad (7)$$

6. Los volúmenes de aire y de agua presentes en la mezcla fueron estimados con las fórmulas:

$$V = \frac{C_c}{P} \quad (8)$$

$$a = C_c * \alpha_c \quad (9)$$

7. Se procedió a estimar la cantidad de los agregados:

- Peso específico de los agregados combinados

$$\gamma_{(a+g)} = \gamma_g * (1 - \beta) + \gamma_a * \beta \quad (10)$$

- Cantidad total de agregados:

$$A + G = \gamma_{(a+g)} * (1000 - 0,3 * C_c - a - V) \quad (11)$$

- Cantidad de agregado fino y grueso:

$$A = (A + G) * \beta \quad (12)$$

$$G = (A + G) * (1 - \beta) \quad (13)$$

8. El método de diseño de mezclas a adoptar consideró que algunos agregados se encuentran en la condición de humedad ideal como la piedra picada, canto rodado y arena natural, en cuanto a los que no, se les efectuó la corrección por humedad que solamente fue la arena amarilla.

- Peso de agregado saturado con superficie seca:

$$A_{SSS} = \frac{A * (100 + A_{ba})}{100 + w_a} \quad (14)$$

$$G_{SSS} = \frac{G*(100+A_{bg})}{100+w_b} \quad (15)$$

- Cantidad de agua a usar en la mezcla:

$$a_m = a + (A_{SSS} - A) + (G_{SSS} - G) \quad (16)$$

- Para el diseño de todas las mezclas dosificadas con aditivo se realizaron los cálculos de reducción de agua para cada combinación usando:

$$\alpha_{reducido} = \alpha_{original} * (1 - efectividad) \quad (17)$$

$$a_{reducida} = \alpha_{reducido} * C_{original} \quad (18)$$

Se realizarán 3 muestras por cada combinación de agregados, 3 cilindros de muestra patrón, todos para 3 edades (7, 14 y 28 días) para un total de 72 muestras.

Todo el procedimiento se refleja en el anexo

### **III.1.3.Preparación de las mezclas.**

Para la elaboración de las mezclas de concreto se utilizó el cemento Portland tipo I. Los agregados utilizados:

- |                 |                  |
|-----------------|------------------|
| - Piedra picada | - Canto Rodado   |
| - Arena Natural | - Arena Amarilla |

#### **III.1.3.1. Mezclado de material.**

El mezclado se inició con el pesaje de los materiales de acuerdo a los cálculos obtenidos previamente en el diseño de mezclas, posteriormente se dio

inicio al proceso de mezclado utilizando una mezcladora de eje de inclinación variable.



Mezclado de Concreto Fresco

### **III.1.3.2. Colocación del material en las probetas y curado.**

Luego del mezclado el material, se transportó en una carretilla al sitio previsto para el vaciado de las probetas, cuyas dimensiones estandarizadas son: 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

Se procedió a la colocación de la mezcla en los moldes cilíndricos previamente aceitados, ejecutando el vaciado en tres capas, todas con un espesor aproximado a un tercio del volumen de la probeta, cada capa fue compactada dando 25 golpes distribuidos en su sección transversal haciendo uso de una barra compactadora normalizada y penetrando la capa anterior tan solo 1". Se deja que la mezcla repose unos 20 minutos para finalizar enrasando el molde en la superficie con el fin de retirar el exceso de mezcla y cualquier agregado que sobresaliese de la superficie o rellenar cualquier poro.

Esta operación se llevó a cabo con la barra compactadora.



Colocación de mezcla en las probetas estandarizadas



Proceso de Compactación a cilindros estandarizados de concreto



Proceso de Curado de los Cilindros en la Piscina con Adición del Cal

### **III.1.4. Caracterización del concreto fresco.**

#### **III.1.4.1. Medición del Asentamiento con el Cono de Abrams según Norma COVENIN N° 339.**

Inicialmente se humedeció el cono de Abrams y su barra, luego se colocó en una superficie horizontal rígida, previamente humedecida, plana y no absorbente. El molde se sujetó firmemente por las aletas pisándolas con los pies del operador y se llenó el cono con la mezcla de concreto mediante tres capas consecutivas de 1/3 de altura.



Se compactó cada capa dando 25 golpes distribuidos en su sección transversal haciendo uso de una barra compactadora normalizada y finalmente en proceso de enraso del cono que es idéntico al de los cilindros estandarizados.



Medición del Asentamiento mediante el Cono de Abrams en el Concreto

#### III.1.4.2. Medición del Peso Unitario según Norma ASTM C-138

Se humedeció el recipiente normalizado y se procedió a pesarlo sin mezcla reportando un valor, seguidamente se llenó con la mezcla de concreto mediante tres capas consecutivas de 1/3 de altura, se compactó cada capa dando 25 golpes distribuidos en su sección transversal haciendo uso de una barra compactadora normalizada y finalmente 15 golpes por el contorno del recipiente con un martillo de goma y se pesó.



Pesaje de la tara normalizada



Pesaje de la tara normalizada más la mezcla de concreto fresco

### III.1.5. Caracterización del concreto endurecido.

#### III.1.5.1. Peso unitario.

Los cilindros a utilizar en el ensayo a compresión fueron medidos y pesados con exactitud previamente al ensayo.

Se calculó el peso unitario ( $\rho$ ) según la fórmula de densidad:

$$\rho = \frac{P}{V} \quad (3)$$

Donde:

P: peso de la probeta

V: volumen de la probeta calculado con la altura y el diámetro promedio del cilindro

Se tomó como peso unitario el promedio de los pesos unitarios de todos los cilindros ensayados a compresión.



Pesaje de los Cilindros de Concreto



Medición de diámetro y altura de los Cilindros de Concreto

**III.1.5.2. Ensayo para determinar la dureza superficial en concreto endurecido (Según Norma COVENIN N° 1609) “Método de ensayo para la determinación de la dureza esclerométrica en superficies de concreto endurecidas”.**

Se seleccionaron los cilindros limpios de impurezas, restos de arena y cal; se colocaron en la prensa universal una por una y se le imprimió una carga suficiente para poder sostener el cilindro fijo, evitando ejercer una carga que llevara a la falla.

El esclerómetro se coloca en la superficie a ensayar cuidando de mantener la horizontalidad para todas las áreas del cilindro y la presión que ejerce el operador debe ser constante, evitando mediciones directas en poros o imperfecciones del cilindro. Se tomaron 20 mediciones por cada cilindro.



Medición de Esclerometría a cilindros estandarizados de concreto

**III.1.5.3. Ensayo para determinar la propagación de ondas en el concreto (Según Norma COVENIN N° 1681) “Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto”.**

Se calibró el equipo de acuerdo a las especificaciones del fabricante, luego se verificó que las zonas de aplicación de los transductores estuviesen limpias, lisas, secas y libres de revestimiento.

Se aplicó vaselina en las superficies de contacto, luego se presionaron los transductores contra dichas superficies y se tomó la lectura del tiempo de paso de la onda que permaneció por más tiempo en la pantalla del equipo.

Finalmente se calculó la velocidad de propagación de la onda, mediante la ecuación:

$$V = \frac{L}{t} \quad (19)$$

Donde:

V= velocidad de propagación de la onda en m/s

L= base de medición en m

t= tiempo de paso de la onda en s

Es importante resaltar que las lecturas de tiempo del generador de pulsos fueron dadas en microsegundos ( $\mu\text{s}$ ), por tanto se realizaron las transformaciones pertinentes para la obtención de las velocidades en m/s.



Medición del Pulso Ultrasonico en los cilindros

#### **III.1.5.4. Ensayo a compresión de cilindros de concreto (Según Norma COVENIN N° 338) “Concreto. Método para la elaboración, y ensayo a compresión de cilindros de concreto curado”.**

Se tomaron tres medidas de altura y diámetro, utilizando un vernier. Con el promedio de esas medidas se obtuvo el diámetro y la altura de cálculo.

A continuación se tomó el peso de cada probeta con una balanza.

Posteriormente se colocó cada probeta en la máquina de ensayos teniendo cuidado de centrarlas sobre un disco confinante, cara inferior de la probeta y otro en la cara superior, para así alinear verticalmente con el vástago de aplicación de carga y seguidamente comprimirlas mecánicamente hasta que falló el cilindro.

Seguidamente se tomaron los resultados de carga y esfuerzos a los cuales fallaron las probetas. A continuación se realizó una inspección visual de los distintos tipos de falla.

Para calcular el esfuerzo del concreto se utilizó la siguiente ecuación:

$$R_c = \frac{P}{A} \quad (20)$$

Donde:

R<sub>c</sub>: resistencia a compresión en Kgf/cm<sup>2</sup>

P: carga máxima aplicada en Kgf

A: área de la sección transversal del cilindro en cm<sup>2</sup>

Los cilindros fueron ensayados a las edades de: 7, 14 y 28 días luego de haberse vaciado. Con estos resultados se construyeron las gráficas de desarrollo de resistencia para cada tipo de concreto.

#### **III.1.5.5. Expresión de los resultados.**

Se elaboraron gráficos de asentamiento de las mezclas de concreto, comparación de índices esclerométrico, comparación de velocidad del pulso ultrasónico y esfuerzo y gráficos de resistencia a la compresión, para todas las mezclas en sus cuatro (4) combinaciones con los cuatro (4) tipos de agregados.

#### **III.1.6. Comparación con mezclas patrones.**

Se realizaron gráficos para comparar las propiedades obtenidas a través de los distintos ensayos realizados a las mezclas de concreto tanto en estado fresco como endurecido y así determinar semejanzas o diferencias presentadas por las mezclas con las distintas combinaciones de agregados respecto a las mezclas patrones.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

Los resultados obtenidos y reflejados constituyen el desarrollo de este trabajo especial de grado. Por ende es fundamental su análisis, puesto que las propiedades físicas y mecánicas medidas en el laboratorio a través de los distintos ensayos realizados fueron empleados para comparar mezclas patrones con mezclas alteradas y esta comparación permitió evaluar los efectos del aditivo en las mezclas de concreto.

#### Características de los Agregados.

##### Granulometría.

##### Agregados Gruesos:

Tabla 1: Granulometría de la Piedra Picada

PIEDRA PICADA				
Peso Suelto (g):	9738			
Cedazo (mm)	Peso Retenido (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	% Retenido	% Pasantes
25,4 (1")	827.80	827.80	8.50	91.50
19,0 (3/4")	2361.00	3188.80	32.75	67.25
12,7 (1/2")	3419.00	6607.80	67.86	32.14
9,51 (3/8")	1001.50	7609.30	78.14	21.86
6,35 (1/4")	570.00	8179.30	83.99	16.01
4,76 (#4)	387.50	8566.80	87.97	12.03
2,38 (#8)	348.50	8915.30	91.55	8.45
1,19 (#16)	196.00	9111.30	93.56	6.44
595 $\mu$ (#30)	127.70	9239.00	94.88	5.12
297 $\mu$ (#50)	220.50	9459.50	97.14	2.86
149 $\mu$ (#100)	128.60	9588.10	98.46	1.54
FONDO	152.60	9740.70	100	

Tabla 2: Peso Específico y Absorción de la Piedra Picada

Muestra	A (gr)	B (gr)	C (gr)	$\gamma$	Ab (%)
Piedra Picada	4930	5000	3103	1.63	1.42

A: Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca.

B: Peso del picnómetro con la muestra y el agua.

C: Peso del picnómetro con agua.

$\gamma$ : Peso específico muestra saturada con superficie seca

Ab: % de absorción

Tabla 3: Granulometría del Canto Rodado

CANTO RODADO				
Peso Suelto (g):	5513			
Cedazo (mm)	Peso Retenido (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	% Retenido	% Pasantes
25,4 (1")				
19,0 (3/4")				
12,7 (1/2")	298.80	298.80	5.42	94.58
9,51 (3/8")	2182.00	2480.80	45.00	55.00
6,35 (1/4")	2735.20	5216.00	94.61	5.39
4,76 (#4)	297.10	5513.10	100.00	0.00

Tabla 4: Peso Específico y Absorción de la Canto Rodado

Muestra	A (gr)	B (gr)	C (gr)	$\gamma$	Ab (%)
Canto Rodado	4930	5036	3181	1.60	2.15



Agregados Finos:

Tabla 5: Granulometría de la Arena Lavada

ARENA LAVADA				
Peso Suelto (g):	1524			
Cedazo (mm)	Peso Retenido (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	% Retenido	% Pasantes
4,76 (#4)	165.90	165.90	10.89	89.11
2,38 (#8)	147.70	313.60	20.58	79.42
1,19 (#16)	333.20	646.80	42.44	57.56
595 $\mu$ (#30)	357.80	1004.60	65.92	34.08
297 $\mu$ (#50)	395.50	1400.10	91.87	8.13
149 $\mu$ (#100)	95.80	1495.90	98.16	1.84
FONDO	27.90	1523.80	100	

Tabla 6: Peso Específico y Absorción de la Arena Lavada

Muestra	A (gr)	B (gr)	C (gr)	D (gr)	$\gamma$	Ab (%)
Arena Lavada	500	1588	1275	490	2.67	2.04

A: Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca.

B: Peso del picnómetro con la muestra y el agua.

C: Peso del picnómetro con agua.

D: Peso de la muestra seca

$\gamma$ : Peso específico muestra saturada con superficie seca

Ab: % de absorción

Tabla 7: Granulometría de la Arena Amarilla

ARENA AMARILLA				
Peso Suelto (g):	1067			
Cedazo (mm)	Peso Retenido (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	% Retenido	% Pasantes
4,76 (#4)	126.90	126.90	11.89	88.11
2,38 (#8)	182.30	309.20	28.98	71.02
1,19 (#16)	417.10	726.30	68.07	31.93
595 $\mu$ (#30)	143.10	869.40	81.48	18.52
297 $\mu$ (#50)	111.60	981.00	91.94	8.06
149 $\mu$ (#100)	44.60	1025.60	96.12	3.88
FONDO	41.10	1066.70	100	

Tabla 8: Peso Específico y Absorción de la Arena Amarilla

Muestra	A (gr)	B (gr)	C (gr)	D (gr)	$\gamma$	Ab (%)
Arena Amarilla	822	1771	1270	500	2.56	64.40

A: Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca.

B: Peso del picnómetro con la muestra y el agua.

C: Peso del picnómetro con agua.

D: Peso de la muestra seca

$\gamma$ : Peso específico muestra saturada con superficie seca

Ab: % de absorción

### Diseño de Mezclas.

Todas las mezclas fueron trabajadas con un  $f'c$ : 280 kgf/m<sup>2</sup>.

#### Mezclas patrón:

Tabla 9: Dosificación de la mezcla denominada **A**

<b>A</b>	1 Cilindro Comb 1 s/a	9 Cilindros Comb 1 s/a
Cemento (Kg)	3.45	<b>31.05</b>
Agua (L)	1.69	<b>15.21</b>
Agregado Fino (Arena Lavada) (kg)	5.34	<b>48.06</b>
Agregado Grueso (Piedra Picada) (kg)	5.34	<b>48.06</b>

Tabla 10: Dosificación de la mezcla denominada **B**

<b>B</b>	1 Cilindro Comb 2 s/a	9 Cilindros Comb 2 s/a
Cemento (Kg)	2.73	<b>24.57</b>
Agua (L)	1.34	<b>12.06</b>
Agregado Fino (Arena Lavada) (kg)	5.30	<b>47.70</b>
Agregado Grueso (Canto Rodado) (kg)	5.30	<b>47.70</b>

Tabla 11: Dosificación de la mezcla denominada **C**

<b>C</b>	1 Cilindro Comb 3 s/a	<b>9 Cilindro Comb 3 s/a</b>
Cemento (Kg)	2.65	<b>23.85</b>
Agua (L)	2.04	<b>18.36</b>
Agregado Fino (Arena Amarilla) (kg)	4.99	<b>44.91</b>
Agregado Grueso (Canto Rodado) (kg)	4.99	<b>44.91</b>

Tabla 12: Dosificación de la mezcla denominada **D**

<b>D</b>	1 Cilindro Comb 4 s/a	<b>9 Cilindro Comb 4 s/a</b>
Cemento (Kg)	2.69	<b>24.21</b>
Agua (L)	2.14	<b>19.26</b>
Agregado Fino (Arena Amarilla) (kg)	4.87	<b>43.83</b>
Agregado Grueso (Piedra Picada) (kg)	4.87	<b>43.83</b>

Mezclas dosificadas (disminuyendo la cantidad de agua e incorporando el aditivo):

La dosificación del aditivo se utilizó para un aditivo tipo D que es de 5 a 12 cc (recomendación del fabricante) por material cementante, se decidió tomar 5.72 cc de aditivo para cada combinación.

Tabla 13: Dosificación de la mezcla denominada **AA**

<b>AA</b>	1 Cilindros Comb 1 c/a	<b>9 Cilindros Comb 1 c/a</b>
Cemento (Kg)	3.45	<b>31.05</b>
Agua con reducción (L)	1.42	<b>12.78</b>
Agregado Fino (Arena Lavada) (kg)	5.34	<b>48.06</b>
Agregado Grueso (Piedra Picada) (kg)	5.34	<b>48.06</b>
Total mezcla (kg)	15.55	<b>139.95</b>
Aditivo (cc)	5.72	<b>5.72</b>

Tabla 14: Dosificación de la mezcla denominada **BB**

<b>BB</b>	1 Cilindros Comb 1 c/a	<b>9 Cilindros Comb 1 c/a</b>
Cemento (Kg)	2.55	<b>22.95</b>
Agua con reducción (L)	1.05	<b>9.45</b>
Agregado Fino (Arena Lavada) (kg)	5.13	<b>46.17</b>
Agregado Grueso (Canto Rodado) (kg)	5.13	<b>46.17</b>
Total mezcla (kg)	13.86	<b>124.74</b>
Aditivo (cc)	5.72	<b>5.72</b>

Tabla 15: Dosificación de la mezcla denominada **CC**

<b>CC</b>	1 Cilindros Comb 1 c/a	<b>9 Cilindros</b> <b>Comb 1 c/a</b>
Cemento (Kg)	2.65	<b>23.85</b>
Agua con reducción (L)	2.04	<b>18.36</b>
Agregado Fino (Arena Amarilla) (kg)	4.99	<b>44.91</b>
Agregado Grueso (Canto Rodado) (kg)	4.99	<b>44.91</b>
Total mezcla (kg)	14.67	<b>132.03</b>
Aditivo (cc)	5.72	<b>5.72</b>

Tabla 16: Dosificación de la mezcla denominada **DD**

<b>DD</b>	1 Cilindros Comb 1 c/a	<b>9 Cilindros</b> <b>Comb 1 c/a</b>
Cemento (Kg)	2.69	<b>24.21</b>
Agua con reducción (L)	1.80	<b>16.20</b>
Agregado Fino (Arena Amarilla) (kg)	4.87	<b>43.83</b>
Agregado Grueso (Piedra Picada) (kg)	4.87	<b>43.83</b>
Total mezcla (kg)	14.23	<b>128.07</b>
Aditivo (cc)	5.72	<b>5.72</b>

## Ensayos realizados al Concreto Fresco.

### Asentamiento.

#### Mezclas Patrón:

Tabla 17: Asentamiento obtenido en las mezclas patrón

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>T (cm)</b>	7.50	7.50	7.50	7.50

#### Mezclas dosificadas con aditivo:

Tabla 18: Asentamiento obtenido en las mezclas dosificadas

	<b>AA</b>	<b>BB</b>	<b>CC</b>	<b>DD</b>
<b>T (cm)</b>	9.50	20.00	6.50	4.00

### Peso Unitario.

#### Mezclas Patrón:

Tabla 19: Datos de Peso Unitario en concreto fresco mezcla **A**

Fecha:13/9/2012

Peso de Tara (kg)	Volumen de Tara (m <sup>3</sup> )	Peso de Mezcla + Tara (kg)	Peso de Mezcla (kg)	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )
2.78	0.007	18.82	16.04	2291

Tabla 20: Datos de Peso Unitario en concreto fresco mezcla **B**

Fecha:13/9/2012

Peso de Tara (kg)	Volumen de Tara (m <sup>3</sup> )	Peso de Mezcla + Tara (kg)	Peso de Mezcla (kg)	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )
2.78	0.007	18.2	15.42	2203

Tabla 21: Datos de Peso Unitario en concreto fresco mezcla **C**

Fecha:13/9/2012

Peso de Tara (kg)	Volumen de Tara (m <sup>3</sup> )	Peso de Mezcla + Tara (kg)	Peso de Mezcla (kg)	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )
2.78	0.007	17.4	14.62	2089

Tabla 22: Datos de Peso Unitario en concreto fresco mezcla **D**

Fecha:13/9/2012

Peso de Tara (kg)	Volumen de Tara (m <sup>3</sup> )	Peso de Mezcla + Tara (kg)	Peso de Mezcla (kg)	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )
2.78	0.007	17.50	14.72	2103

Mezclas dosificadas con aditivo:

Tabla 23: Datos de Peso Unitario en concreto fresco mezcla **AA**

Fecha:15/9/2012

Peso de Tara (kg)	Volumen de Tara (m <sup>3</sup> )	Peso de Mezcla + Tara (kg)	Peso de Mezcla (kg)	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )
2.78	0.007	15.36	12.58	1797

Tabla 24: Datos de Peso Unitario en concreto fresco mezcla **BB**

Fecha:15/9/2012

Peso de Tara (kg)	Volumen de Tara (m <sup>3</sup> )	Peso de Mezcla + Tara (kg)	Peso de Mezcla (kg)	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )
2.78	0.007	15.6	12.82	1831



Tabla 25: Datos de Peso Unitario en concreto fresco mezcla **CC**

Fecha:15/9/2012

Peso de Tara (kg)	Volumen de Tara (m <sup>3</sup> )	Peso de Mezcla + Tara (kg)	Peso de Mezcla (kg)	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )
2.78	0.007	15	12.22	1746

Tabla 26: Datos de Peso Unitario en concreto fresco mezcla **DD**

Fecha:15/9/2012

Peso de Tara (kg)	Volumen de Tara (m <sup>3</sup> )	Peso de Mezcla + Tara (kg)	Peso de Mezcla (kg)	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )
2.78	0.007	14.89	12.11	1730

### Ensayos realizados al Concreto Endurecido.

Nominal: 280 kg/cm<sup>2</sup> para todas las mezclas.

### Esclerometría.

Mezclas Patrón:

Tabla 27: Datos de ensayo esclerométrico a mezclas patrón

Edades	Nº Probetas	Índice Esclerométrico Medio			
		A	B	C	D
7	1	26	28	16	17
	2	26	27	16	17
	3	26	27	21	20
14	1	27	30	19	20
	2	26	30	20	19
	3	26	27	20	19
28	1	29	28	20	20
	2	30	29	20	19
	3	30	30	19	20

Tabla 28: Datos promediados de ensayo esclerométrico a mezclas patrón

Índice Esclerométrico promedio				
Edad	A	B	C	D
7	26	27	18	18
14	27	29	20	20
28	30	29	20	20

Mezclas dosificadas con aditivo:

Tabla 29: Datos de ensayo esclerométrico a mezclas dosificadas con aditivo

Edades	N° Probetas	Índice Esclerométrico Medio			
		AA	BB	CC	DD
7	1	31	19	20	17
	2	31	26	20	17
	3	31	26	20	15
14	1	31	22	21	16
	2	33	23	23	18
	3	34	27	22	21
28	1	36	21	24	19
	2	36	28	23	19
	3	35	29	24	22

Tabla 30: Datos promediados de ensayo esclerométrico a mezclas dosificadas con aditivo

Índice Esclerométrico promedio				
Edad	AA	BB	CC	DD
7	31	24	20	16
14	33	24	22	18
28	36	26	24	20

**Peso Unitario.**Mezclas Patrón:

Tabla 31: Datos de peso unitario a mezclas patrón a 7 días

Fecha: 14/9/2012

A								
N° Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	12.19	15.01	0.15	30.03	0.30	0.0053	2294	2302
2	12.34	15.00	0.15	29.97	0.30	0.0053	2330	
3	12.13	15.01	0.15	30.03	0.30	0.0053	2283	

B								
N° Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	13.01	14.98	0.15	30.32	0.30	0.0053	2435	2338
2	12.37	15.10	0.15	30.55	0.31	0.0055	2260	
3	13.45	15.54	0.16	30.57	0.31	0.0058	2320	

C								
N° Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	11.22	15.00	0.15	30.03	0.30	0.0053	2114	2111
2	11.26	15.01	0.15	29.95	0.30	0.0053	2125	
3	11.12	15.00	0.15	30.04	0.30	0.0053	2095	

D								
N° Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	10.95	15.01	0.15	29.97	0.30	0.0053	2065	2074
2	11.02	15.01	0.15	30.00	0.30	0.0053	2075	
3	11.06	15.03	0.15	29.94	0.30	0.0053	2082	

Tabla 32: Datos de peso unitario a mezclas patrón a 14 días

Fecha:21/9/2012

<b>A</b>								
N° Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	12.39	15.00	0.15	30.08	0.30	0.0053	2332	2322
2	12.31	14.99	0.15	30.27	0.30	0.0053	2303	
3	12.38	15.01	0.15	30.03	0.30	0.0053	2331	

<b>B</b>								
N° Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	13.01	14.98	0.15	30.32	0.30	0.0053	2435	2338
2	12.37	15.10	0.15	30.55	0.31	0.0055	2260	
3	13.45	15.54	0.16	30.57	0.31	0.0058	2320	

<b>C</b>								
N° Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	10.91	15.06	0.15	29.89	0.30	0.0053	2050	2050
2	10.89	15.03	0.15	29.91	0.30	0.0053	2052	
3	11.04	15.13	0.15	29.97	0.30	0.0054	2049	

<b>D</b>								
N° Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	11.07	15.00	0.15	29.89	0.30	0.0053	2095	2065
2	10.97	15.00	0.15	29.91	0.30	0.0053	2075	
3	10.86	15.09	0.15	30.01	0.30	0.0054	2023	

Tabla 33: Datos de peso unitario a mezclas patrón a 28 días

Fecha: 6/10/2012

A								
N° Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	12.41	15.10	0.15	30.25	0.30	0.0054	2291	2296
2	12.36	15.02	0.15	30.14	0.30	0.0053	2314	
3	12.27	15.06	0.15	30.17	0.30	0.0054	2283	

B								
N° Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	12.44	15.01	0.15	30.41	0.30	0.0054	2312	2354
2	13.08	15.37	0.15	30.26	0.30	0.0056	2330	
3	13.29	15.18	0.15	30.34	0.30	0.0055	2420	

C								
N° Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	11.30	15.00	0.15	29.85	0.30	0.0053	2142	2119
2	11.12	15.08	0.15	29.51	0.30	0.0053	2109	
3	11.21	15.09	0.15	29.77	0.30	0.0053	2106	

D								
N° Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	11.30	15.09	0.15	29.91	0.30	0.0053	2112	2107
2	11.19	15.16	0.15	29.87	0.30	0.0054	2075	
3	11.40	15.16	0.15	29.57	0.30	0.0053	2136	

Mezclas dosificadas con aditivo:

Tabla 34: Datos de peso unitario a mezclas dosificadas con aditivo a 7 días

Fecha: 15/9/2012

AA								
Nº Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	12.55	15.02	0.15	30.50	0.31	0.0054	2322	2284
2	12.16	15.01	0.15	30.29	0.30	0.0054	2269	
3	12.04	14.94	0.15	30.38	0.30	0.0053	2261	

BB								
Nº Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	11.66	14.83	0.15	29.56	0.30	0.0051	2284	2163
2	11.33	15.08	0.15	30.68	0.31	0.0055	2068	
3	11.48	15.12	0.15	29.90	0.30	0.0054	2138	

CC								
Nº Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	11.31	14.98	0.15	30.03	0.30	0.0053	2137	2117
2	11.25	15.05	0.15	30.25	0.30	0.0054	2091	
3	11.18	14.89	0.15	30.23	0.30	0.0053	2124	

DD								
Nº Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	11.27	15.01	0.15	30.11	0.30	0.0053	2115	2128
2	11.12	14.86	0.15	30.19	0.30	0.0052	2124	
3	11.24	14.91	0.15	30.03	0.30	0.0052	2144	

Tabla 35: Datos de peso unitario a mezclas dosificadas con aditivo a 14 días

Fecha: 15/9/2012

<b>AA</b>								
Nº Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	12.44	15.03	0.15	30.19	0.30	0.0054	2322	2301
2	12.21	14.97	0.15	30.38	0.30	0.0053	2283	
3	12.35	15.00	0.15	30.44	0.30	0.0054	2296	

<b>BB</b>								
Nº Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	11.90	15.07	0.15	29.57	0.30	0.0053	2256	2199
2	11.37	14.95	0.15	29.90	0.30	0.0052	2166	
3	11.52	15.01	0.15	29.93	0.30	0.0053	2175	

<b>CC</b>								
Nº Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	11.33	15.00	0.15	29.37	0.29	0.0052	2183	2142
2	11.25	14.90	0.15	30.24	0.30	0.0053	2134	
3	11.36	14.99	0.15	30.50	0.31	0.0054	2110	

<b>DD</b>								
Nº Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	11.48	15.04	0.15	30.13	0.30	0.0054	2145	2113
2	11.05	14.87	0.15	30.14	0.30	0.0052	2111	
3	11.04	14.99	0.15	30.04	0.30	0.0053	2082	

Tabla 36: Datos de peso unitario a mezclas dosificadas con aditivo a 28 días

Fecha: 15/9/2012

<b>AA</b>								
N° Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	12.55	15.05	0.15	30.43	0.30	0.0054	2318	2299
2	12.26	15.05	0.15	30.25	0.30	0.0054	2278	
3	12.41	15.05	0.15	30.34	0.30	0.0054	2299	

<b>BB</b>								
N° Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	12.06	15.15	0.15	29.86	0.30	0.0054	2240	2186
2	11.64	14.98	0.15	30.42	0.30	0.0054	2171	
3	11.99	15.42	0.15	29.92	0.30	0.0056	2146	

<b>CC</b>								
N° Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	11.40	14.99	0.15	29.98	0.30	0.0053	2155	2129
2	11.21	14.92	0.15	30.10	0.30	0.0053	2130	
3	11.38	15.03	0.15	30.49	0.30	0.0054	2104	

<b>DD</b>								
N° Probeta	Peso Probeta (kg)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro Promedio (m)	Altura Promedio (cm)	Altura Promedio (m)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	11.46	15.07	0.15	30.23	0.30	0.0054	2125	2143
2	11.29	14.97	0.15	29.99	0.30	0.0053	2139	
3	11.47	14.95	0.15	30.20	0.30	0.0053	2164	



**Velocidad de propagación de ondas en las mezclas de concreto.**

Mezclas Patrón:

Tabla 37: Datos del ensayo pulso ultrasónico a mezclas patrón a la edad de 7 días

Fecha: 13/09/2012

	<b>Probeta Nº</b>	<b>t<sub>ultrasonido</sub> (µs)</b>	<b>t<sub>ultrasonido</sub> (s)</b>	<b>h<sub>probeta</sub> (cm)</b>	<b>h<sub>probeta</sub> (m)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>V<sub>promedio</sub> (m/s)</b>
A	1	98.40	0.0000984	30.03	0.30	3052	3068
	2	99.10	0.0000991	29.97	0.30	3024	
	3	96.00	0.0000960	30.03	0.30	3128	
B	1	99.60	0.0000996	30.32	0.30	3044	3050
	2	99.90	0.0000999	30.55	0.31	3058	
	3	100.30	0.0001003	30.57	0.31	3048	
C	1	100.90	0.0001009	30.03	0.30	2976	2953
	2	102.50	0.0001025	29.95	0.30	2922	
	3	101.50	0.0001015	30.04	0.30	2960	
D	1	100.70	0.0001007	29.97	0.30	2976	3029
	2	99.50	0.0000995	30.00	0.30	3015	
	3	96.70	0.0000967	29.94	0.30	3096	

Tabla 38: Datos del ensayo pulso ultrasónico a mezclas patrón a la edad de 14 días

Fecha: 22/09/2012

	<b>Probeta N°</b>	<b>t<sub>ultrasonido</sub> (μs)</b>	<b>t<sub>ultrasonido</sub> (s)</b>	<b>h<sub>probeta</sub> (cm)</b>	<b>h<sub>probeta</sub> (m)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>V<sub>promedio</sub> (m/s)</b>
A	1	99.60	0.0000996	30.08	0.30	3020	3345
	2	104.30	0.0001043	30.27	0.30	2902	
	3	188.50	0.0001885	77.50	0.78	4111	
B	1	87.30	0.0000873	30.57	0.31	3502	3493
	2	86.40	0.0000864	30.44	0.30	3523	
	3	88.70	0.0000887	30.64	0.31	3454	
C	1	89.10	0.0000891	29.89	0.30	3355	3129
	2	99.70	0.0000997	29.91	0.30	3000	
	3	98.80	0.0000988	29.97	0.30	3033	
D	1	99.30	0.0000993	29.89	0.30	3010	3231
	2	89.50	0.0000895	29.91	0.30	3342	
	3	89.80	0.0000898	30.01	0.30	3342	

Tabla 39: Datos del ensayo pulso ultrasónico a mezclas patrón a la edad de 28 días

Fecha: 6/10/2012

	<b>Probeta N°</b>	<b>t<sub>ultrasonido</sub> (μs)</b>	<b>t<sub>ultrasonido</sub> (s)</b>	<b>h<sub>probeta</sub> (cm)</b>	<b>h<sub>probeta</sub> (m)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>V<sub>promedio</sub> (m/s)</b>
A	1	87.00	0.0000870	30.25	0.30	3477	3638
	2	84.30	0.0000843	30.14	0.30	3575	
	3	78.10	0.0000781	30.17	0.30	3863	
B	1	75.00	0.0000750	30.41	0.30	4055	3875
	2	75.80	0.0000758	30.26	0.30	3992	
	3	84.80	0.0000848	30.34	0.30	3578	
C	1	75.90	0.0000759	29.85	0.30	3933	3731
	2	81.60	0.0000816	29.51	0.30	3616	
	3	81.70	0.0000817	29.77	0.30	3644	
D	1	73.00	0.0000730	29.91	0.30	4097	3803
	2	77.20	0.0000772	29.87	0.30	3869	
	3	85.90	0.0000859	29.57	0.30	3442	

Mezclas dosificadas con aditivo:

Tabla 40: Datos del ensayo pulso ultrasónico a mezclas dosificadas con aditivo a la edad de 7 días

Fecha: 13/09/2012

	<b>Probeta N°</b>	<b>t<sub>ultrasonido</sub> (μs)</b>	<b>t<sub>ultrasonido</sub> (s)</b>	<b>h<sub>probeta</sub> (cm)</b>	<b>h<sub>probeta</sub> (m)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>V<sub>promedio</sub> (m/s)</b>
AA	1	102.30	0.0001023	30.50	0.31	2981	2944
	2	104.80	0.0001048	30.29	0.30	2890	
	3	102.60	0.0001026	30.38	0.30	2961	
BB	1	99.50	0.0000995	29.56	0.30	2971	3012
	2	99.30	0.0000993	30.68	0.31	3090	
	3	100.50	0.0001005	29.90	0.30	2975	
CC	1	93.30	0.0000933	30.03	0.30	3219	3026
	2	102.30	0.0001023	30.25	0.30	2957	
	3	104.20	0.0001042	30.23	0.30	2901	
DD	1	100.10	0.0001001	30.11	0.30	3008	3060
	2	95.70	0.0000957	30.19	0.30	3155	
	3	99.50	0.0000995	30.03	0.30	3018	

Tabla 41: Datos del ensayo pulso ultrasónico a mezclas dosificadas con aditivo a la edad de 14 días

Fecha: 22/09/2012

	<b>Probeta N°</b>	<b>t<sub>ultrasonido</sub> (μs)</b>	<b>t<sub>ultrasonido</sub> (s)</b>	<b>h<sub>probeta</sub> (cm)</b>	<b>h<sub>probeta</sub> (m)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>V<sub>promedio</sub> (m/s)</b>
AA	1	127.90	0.0001279	30.19	0.30	2352	3591
	2	127.20	0.0001272	30.38	0.30	2380	
	3	128.30	0.0001283	30.44	0.30	6041	
BB	1	89.20	0.0000892	29.57	0.30	3315	3522
	2	85.20	0.0000852	29.90	0.30	3509	
	3	80.00	0.0000800	29.93	0.30	3741	
CC	1	81.80	0.0000818	29.37	0.29	3590	3286
	2	99.50	0.0000995	30.24	0.30	3039	
	3	94.50	0.0000945	30.50	0.31	3228	
DD	1	92.00	0.0000920	30.13	0.30	3275	3245
	2	95.20	0.0000952	30.14	0.30	3166	
	3	91.20	0.0000912	30.04	0.30	3294	

Tabla 42: Datos del ensayo pulso ultrasónico a mezclas dosificadas con aditivo a la edad de 28 días

Fecha: 6/10/2012

	<b>Probeta N°</b>	<b>t<sub>ultrasonido</sub> (μs)</b>	<b>t<sub>ultrasonido</sub> (s)</b>	<b>h<sub>probeta</sub> (cm)</b>	<b>h<sub>probeta</sub> (m)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>V<sub>promedio</sub> (m/s)</b>
AA	1	76.50	0.0000765	30.43	0.30	3978	3984
	2	75.80	0.0000758	30.25	0.30	3991	
	3	76.15	0.0000762	30.34	0.30	3984	
BB	1	81.30	0.0000813	29.86	0.30	3673	3726
	2	79.80	0.0000798	30.42	0.30	3812	
	3	81.00	0.0000810	29.92	0.30	3694	
CC	1	80.10	0.0000801	29.98	0.30	3743	3584
	2	83.80	0.0000838	30.10	0.30	3592	
	3	89.20	0.0000892	30.49	0.30	3418	
DD	1	85.80	0.0000858	30.23	0.30	3523	3488
	2	85.60	0.0000856	29.99	0.30	3504	
	3	87.90	0.0000879	30.20	0.30	3436	

## Resistencia a Compresión.

### Mezclas Patrón:

Tabla 43: Datos del ensayo resistencia a compresión a mezclas patrón a la edad de 7 días

Fecha: 13/9/2012

	Probeta N°	Altura Media (cm)	Diámetro Medio (cm)	Peso (kg)	Área Media (cm <sup>2</sup> )	Q (ton)	Q (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Medio (kgf/cm <sup>2</sup> )
A	1	30.03	15.01	12.19	176.95	36.97	36970	208.93	205
	2	30.03	15.01	12.13	176.95	35.26	35260	199.27	
	3	29.97	15.00	12.34	176.71	36.38	36380	205.87	
B	1	30.32	14.98	13.01	176.24	48.00	48000	272.35	259
	2	30.55	15.10	12.37	179.08	44.16	44160	246.60	
	3	30.57	15.54	13.45	189.67	17.00	17000	89.63	
C	1	30.03	15.00	11.22	176.71	16.23	16230	91.84	91
	2	29.95	15.01	11.26	176.95	16.51	16510	93.30	
	3	30.04	15.00	11.12	176.71	15.55	15550	87.99	
D	1	29.97	15.01	10.95	176.95	12.52	12520	70.75	75
	2	30.00	15.01	11.02	176.95	13.00	13000	73.47	
	3	29.94	15.03	11.06	177.42	14.43	14430	81.33	

Tabla 44: Datos del ensayo resistencia a compresión a mezclas patrón a la edad de 14 días

Fecha: 20/9/2012

	Probeta N°	Altura Media (cm)	Diámetro Medio (cm)	Peso (kg)	Área Media (cm <sup>2</sup> )	Q (ton)	Q (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Medio (kgf/cm <sup>2</sup> )
A	1	30.08	15.00	12.39	176.71	38.30	38300	216.73	217
	2	30.27	14.99	12.31	176.48	37.05	37050	209.94	
	3	30.03	15.01	12.38	176.95	39.56	39560	223.57	
B	1	30.57	15.18	13.18	180.98	54.85	54850	303.07	295
	2	30.44	15.20	13.10	181.46	52.66	52660	290.20	
	3	30.64	15.21	13.20	181.70	52.86	52860	290.92	
C	1	29.89	15.06	10.94	178.13	20.03	20030	112.45	110
	2	29.91	15.03	10.89	177.42	18.43	18430	103.88	
	3	29.97	15.13	11.04	179.79	20.59	20590	114.52	
D	1	29.89	15.00	11.07	176.71	14.33	14330	81.09	92
	2	29.91	15.00	10.97	176.71	17.57	17570	99.43	
	3	30.01	15.09	10.86	178.84	17.19	17190	96.12	

Tabla 45: Datos del ensayo resistencia a compresión a mezclas patrón a la edad de 28 días

Fecha: 9/27/2012

	Probeta N°	Altura Media (cm)	Diámetro Medio (cm)	Peso (kg)	Área Media (cm <sup>2</sup> )	Q (ton)	Q (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Medio (kgf/cm <sup>2</sup> )
A	1	30.25	15.10	12.41	179.08	44.73	44730	249.78	236
	2	30.14	15.02	12.35	177.19	42.20	42200	238.17	
	3	30.17	15.06	12.27	178.13	39.39	39390	221.13	
B	1	30.41	15.01	12.44	176.95	55.73	55730	314.95	318
	2	30.26	15.37	13.08	185.54	59.48	59480	320.58	
	3	30.34	15.18	13.29	180.98	57.79	57790	319.31	
C	1	29.85	15.00	11.30	176.71	21.11	21110	119.46	116
	2	29.51	15.08	11.12	178.60	19.86	19860	111.20	
	3	29.77	15.09	11.21	178.84	20.80	20800	116.30	
D	1	29.91	15.09	11.30	178.84	17.12	17120	95.73	93
	2	29.87	15.16	11.19	180.50	15.62	15620	86.54	
	3	29.57	15.16	11.40	180.50	17.36	17360	96.17	

Mezclas dosificadas con aditivo:

Tabla 46: Datos del ensayo resistencia a compresión a mezclas dosificadas con aditivo a la edad de 7 días

Fecha: 13/9/2012

	Probeta N°	Altura Media (cm)	Diámetro Medio (cm)	Peso (kg)	Área Media (cm <sup>2</sup> )	Q (ton)	Q (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Medio (kgf/cm <sup>2</sup> )
AA	1	30.50	15.02	12.55	177.19	49.92	49920	281.74	280
	2	30.29	15.01	12.16	176.95	49.66	49660	280.64	
	3	30.38	14.94	12.04	175.30	48.93	48930	279.12	
BB	1	29.56	14.83	11.66	172.73	29.63	29630	171.54	166
	2	30.68	15.08	11.33	178.60	29.74	29740	166.51	
	3	29.90	15.12	11.48	179.55	28.85	28850	160.68	
CC	1	30.03	14.98	11.31	176.24	21.44	21440	121.65	135
	2	30.25	15.05	11.25	177.89	24.33	24330	136.77	
	3	30.23	14.89	11.18	174.13	25.61	25610	147.07	
DD	1	30.11	15.01	11.27	176.95	22.16	22160	125.23	121
	2	30.19	14.86	11.12	173.43	20.98	20980	120.97	
	3	30.03	14.91	11.24	174.60	20.57	20570	117.81	

Tabla 47: Datos del ensayo resistencia a compresión a mezclas dosificadas con aditivo a la edad de 14 días

Fecha: 20/9/2012

	Probeta N°	Altura Media (cm)	Diámetro Medio (cm)	Peso (kg)	Área Media (cm <sup>2</sup> )	Q (ton)	Q (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Medio (kgf/cm <sup>2</sup> )
AA	1	30.19	15.03	12.44	177.42	50.49	50490	284.58	283
	2	30.38	14.97	12.21	176.01	49.07	49070	278.79	
	3	30.44	15.00	12.35	176.71	50.73	50730	287.07	
BB	1	29.57	15.07	11.90	178.37	29.19	29190	163.65	179
	2	29.90	14.95	11.37	175.54	31.27	31270	178.14	
	3	29.93	15.01	11.52	176.95	34.54	34540	195.20	
CC	1	29.37	15.00	11.33	176.71	32.59	32590	184.42	197
	2	30.24	14.90	11.25	174.37	37.05	37050	212.48	
	3	30.50	14.99	11.36	176.48	34.03	34030	192.83	
DD	1	30.13	15.04	11.48	177.66	21.00	21000	118.20	125
	2	30.14	14.87	11.05	173.66	22.02	22020	126.80	
	3	30.04	14.99	11.04	176.48	22.76	22760	128.97	

Tabla 48: Datos del ensayo resistencia a compresión a mezclas dosificadas con aditivo a la edad de 28 días

Fecha: 9/27/2012

	Probeta N°	Altura Media (cm)	Diámetro Medio (cm)	Peso (kg)	Área Media (cm <sup>2</sup> )	Q (ton)	Q (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Medio (kgf/cm <sup>2</sup> )
AA	1	30.43	15.05	12.55	177.89	54.56	54560	306.70	298
	2	30.25	15.05	12.26	177.89	51.37	51369	288.76	
	3	30.34	15.05	12.41	177.89	52.96	52960	297.70	
BB	1	29.86	15.15	12.06	180.27	39.26	39264	217.81	213
	2	30.42	14.98	11.64	176.24	37.80	37800	214.48	
	3	29.92	15.42	11.99	186.75	38.40	38400	205.62	
CC	1	29.98	14.99	11.40	176.48	35.62	35622	201.85	200
	2	30.10	14.92	11.21	174.83	35.67	35670	204.02	
	3	30.49	15.03	11.38	177.42	34.51	34510	194.51	
DD	1	30.23	15.07	11.46	178.37	22.17	22166	124.27	126
	2	29.99	14.97	11.29	176.01	22.53	22530	128.01	
	3	30.20	14.95	11.47	175.54	22.33	22330	127.21	

## Comparación con mezclas patrón.

Asentamiento:

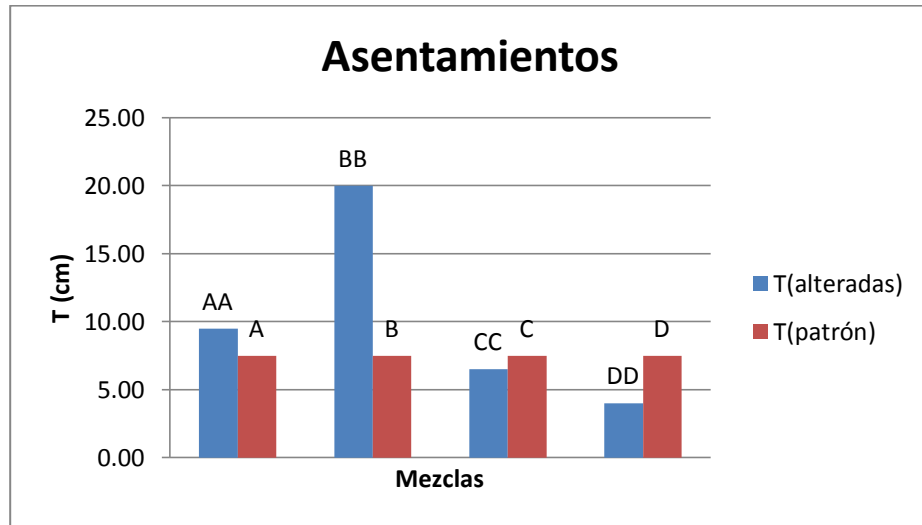


Gráfico 1: Comparación del asentamiento entre mezclas patrón y mezclas dosificadas con aditivo.



Esclerometría:

Tabla 49: Promedio de índice esclerométrico y esfuerzos de la mezcla **A**

<b>A</b>		
Edad (días)	Índice Esclerométrico	Esfuerzos (kg/cm <sup>2</sup> )
7	26	207
14	28	217
28	30	236

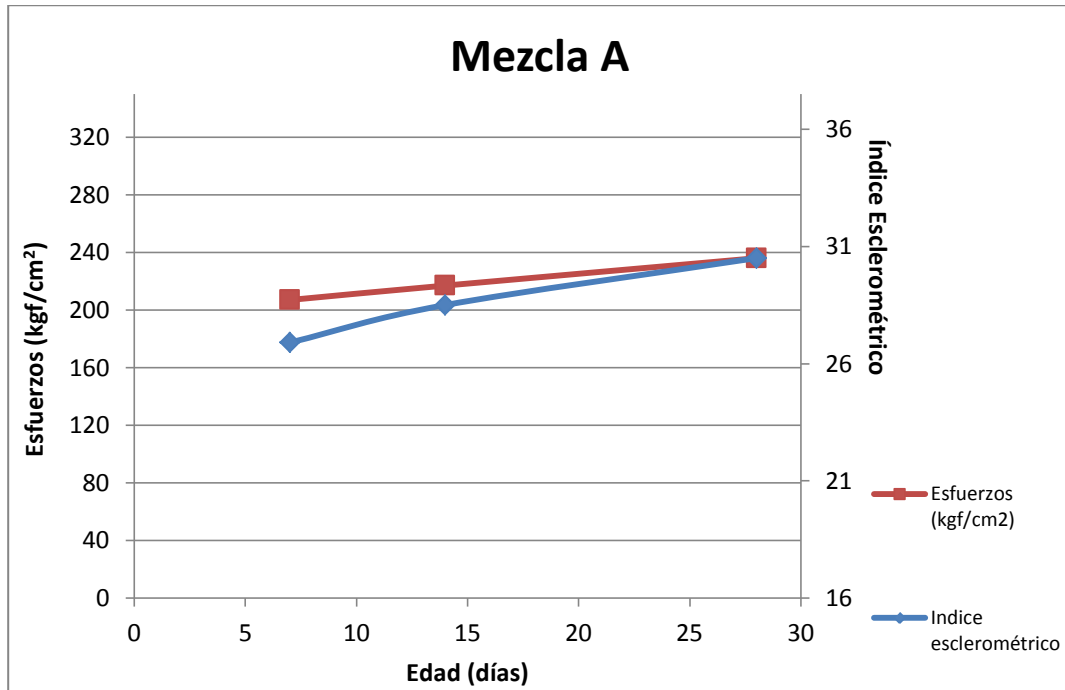


Gráfico 2: Comparación de las mediciones promedio del esclerómetro y sus esfuerzos con la mezcla patrón **A** a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 50: Promedio de índice esclerométrico y esfuerzos de la mezcla AA

AA		
Edad (días)	Índice Esclerométrico	Esfuerzos (kg/cm <sup>2</sup> )
7	31	281
14	33	284
28	36	298

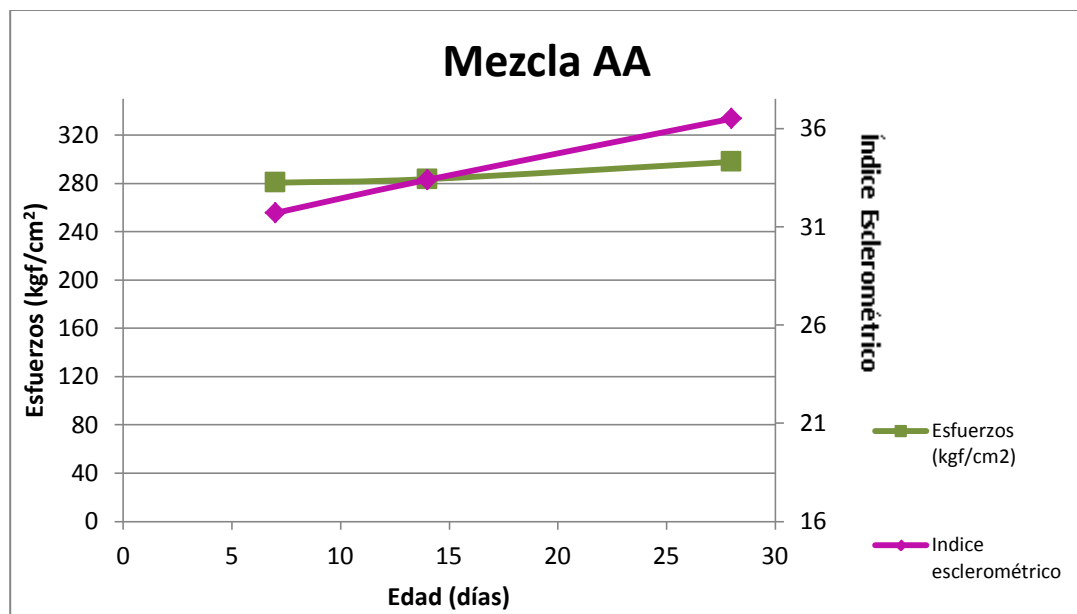


Gráfico 3: Comparación de las mediciones promedio del esclerómetro y sus esfuerzos con la mezcla dosificada AA a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 51: Promedio de índice esclerométrico y esfuerzos de la mezcla **B**

<b>B</b>		
Edad (días)	Índice Esclerométrico	Esfuerzos (kg/cm <sup>2</sup> )
7	27	259
14	29	295
28	29	318

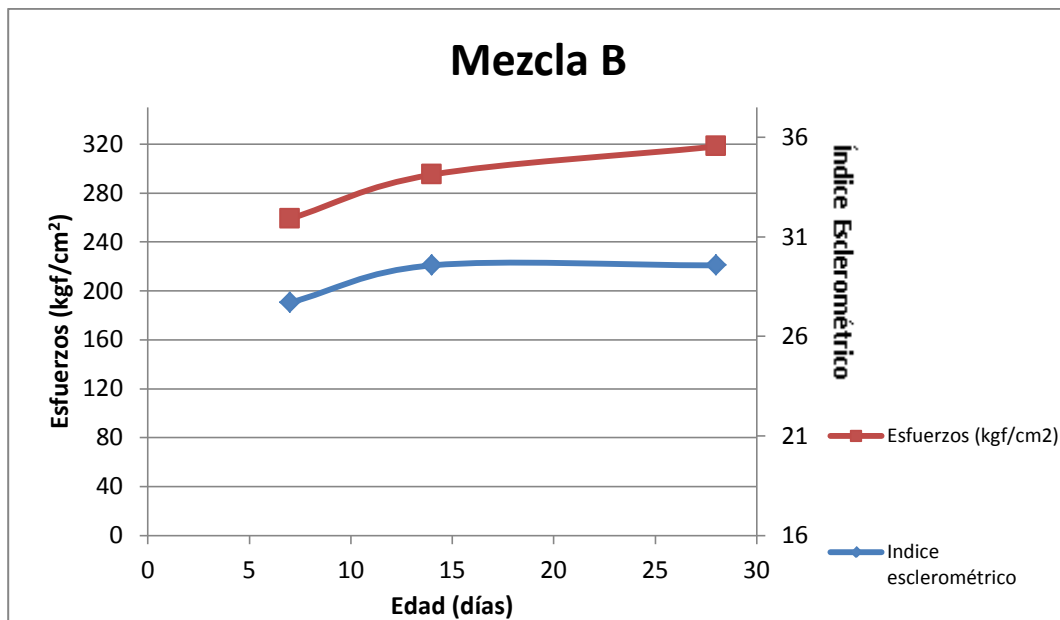


Gráfico 4: Comparación de las mediciones promedio del esclerómetro y sus esfuerzos con la mezcla patrón **B** a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 52: Promedio de índice esclerométrico y esfuerzos de la mezcla **BB**

<b>BB</b>		
Edad (días)	Índice Esclerométrico	Esfuerzos (kg/cm <sup>2</sup> )
7	24	166
14	24	185
28	26	213

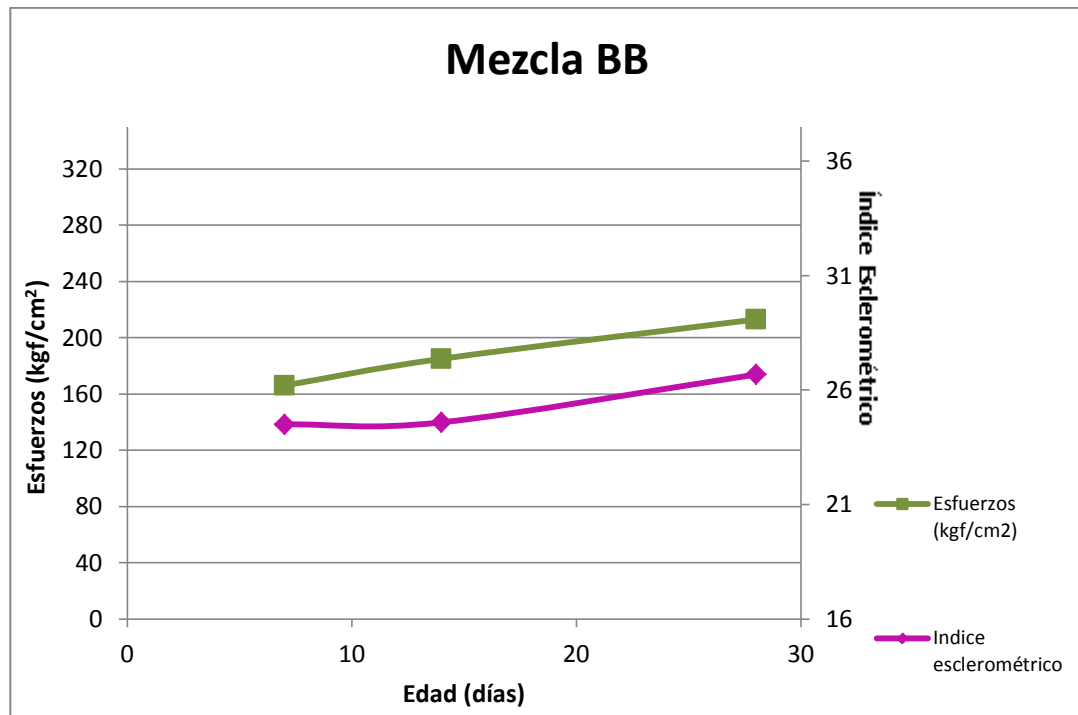


Gráfico 5: Comparación de las mediciones promedio del esclerómetro y sus esfuerzos con la mezcla dosificada con aditivo **BB** a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 53: Promedio de índice esclerométrico y esfuerzos de la mezcla C

C		
Edad (días)	Índice Esclerométrico	Esfuerzos (kg/cm <sup>2</sup> )
7	18	91
14	20	110
28	20	116

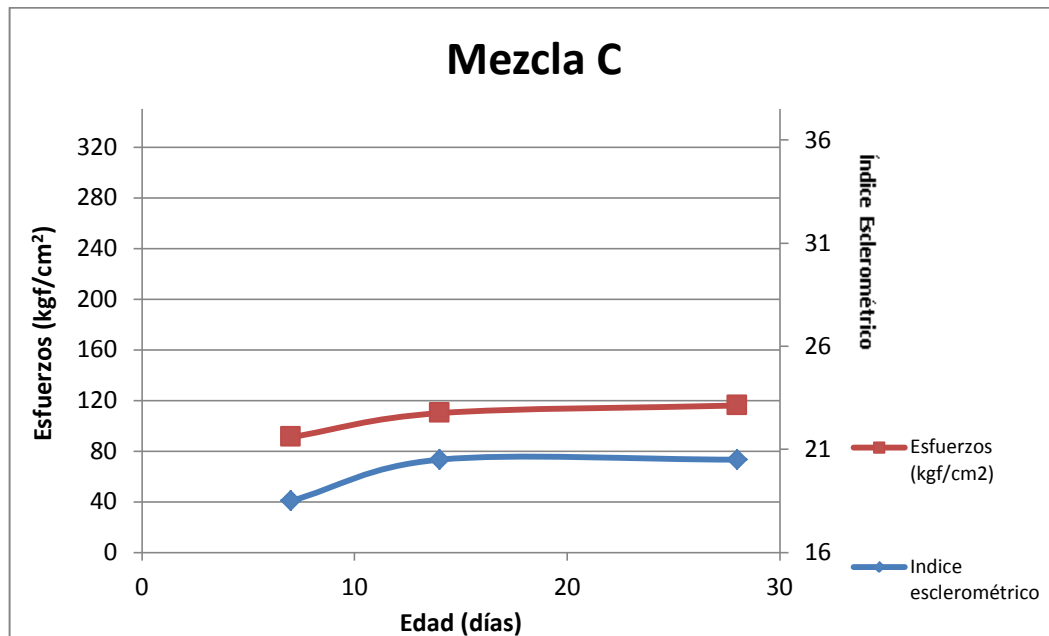


Gráfico 6: Comparación de las mediciones promedio del esclerómetro y sus esfuerzos con la mezcla patrón C a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 54: Promedio de índice esclerométrico y esfuerzos de la mezcla CC

CC		
Edad (días)	Índice Esclerométrico	Esfuerzos (kg/cm <sup>2</sup> )
7	20	135
14	22	197
28	24	200

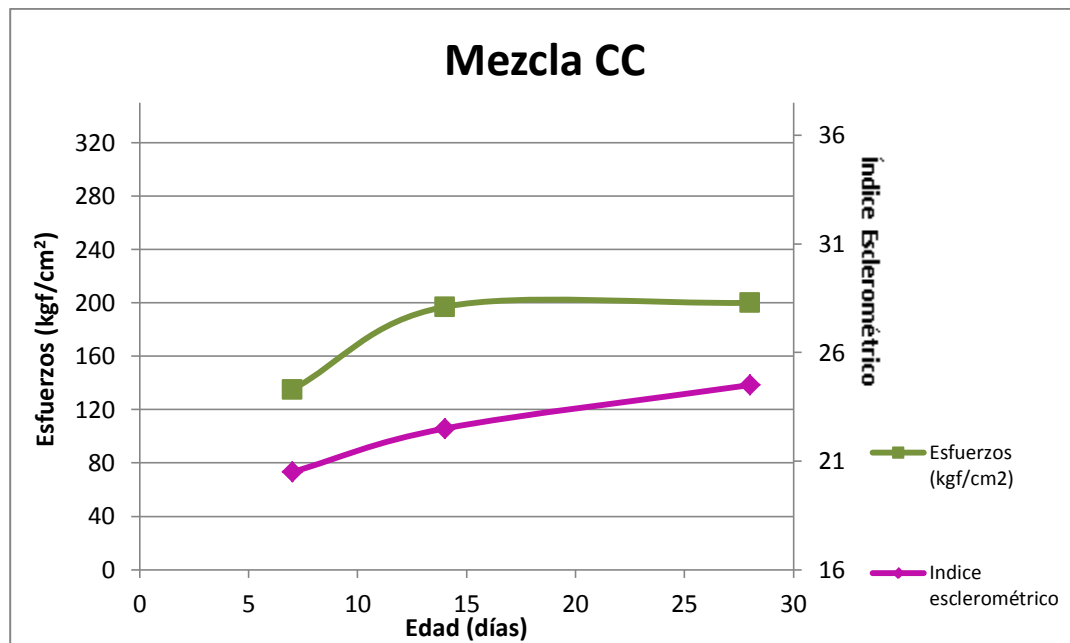


Gráfico 7: Comparación de las mediciones promedio del esclerómetro y sus esfuerzos con la mezcla dosificada con aditivo CC a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 55: Promedio de índice esclerométrico y esfuerzos de la mezcla **D**

<b>D</b>		
Edad (días)	Índice Esclerométrico	Esfuerzos (kg/cm <sup>2</sup> )
7	18	75
14	20	92
28	20	93

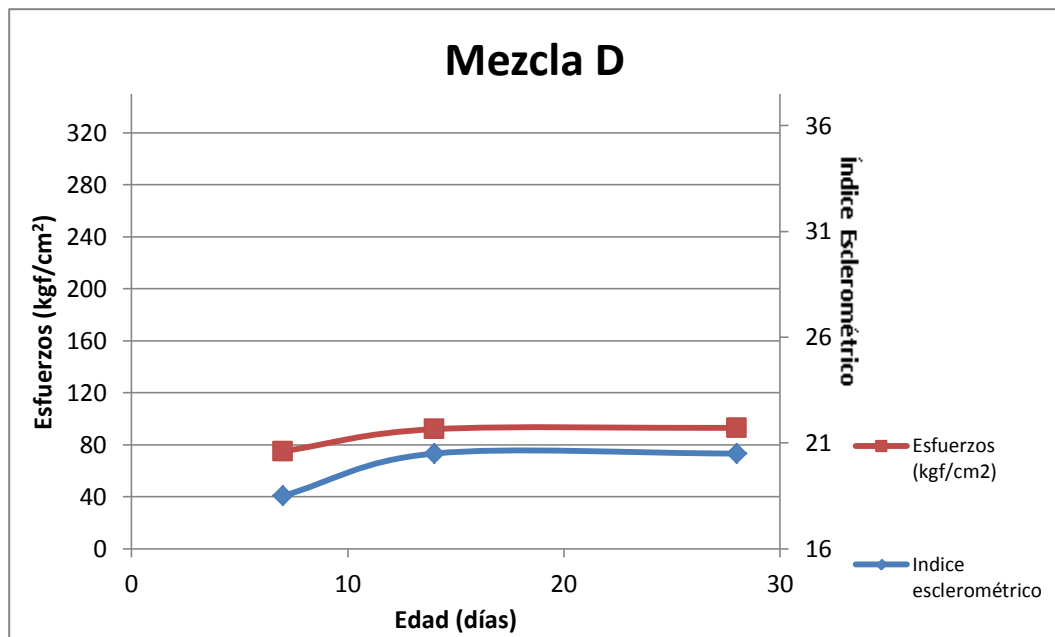


Gráfico 8: Comparación de las mediciones promedio con el esclerómetro y sus esfuerzos con la mezcla patrón **D** a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 56: Promedio de índice esclerométrico y esfuerzos de la mezcla **DD**

Edad (días)	<b>DD</b>	
	Índice Esclerométrico	Esfuerzos (kg/cm <sup>2</sup> )
7	16	121
14	16	125
28	18	128

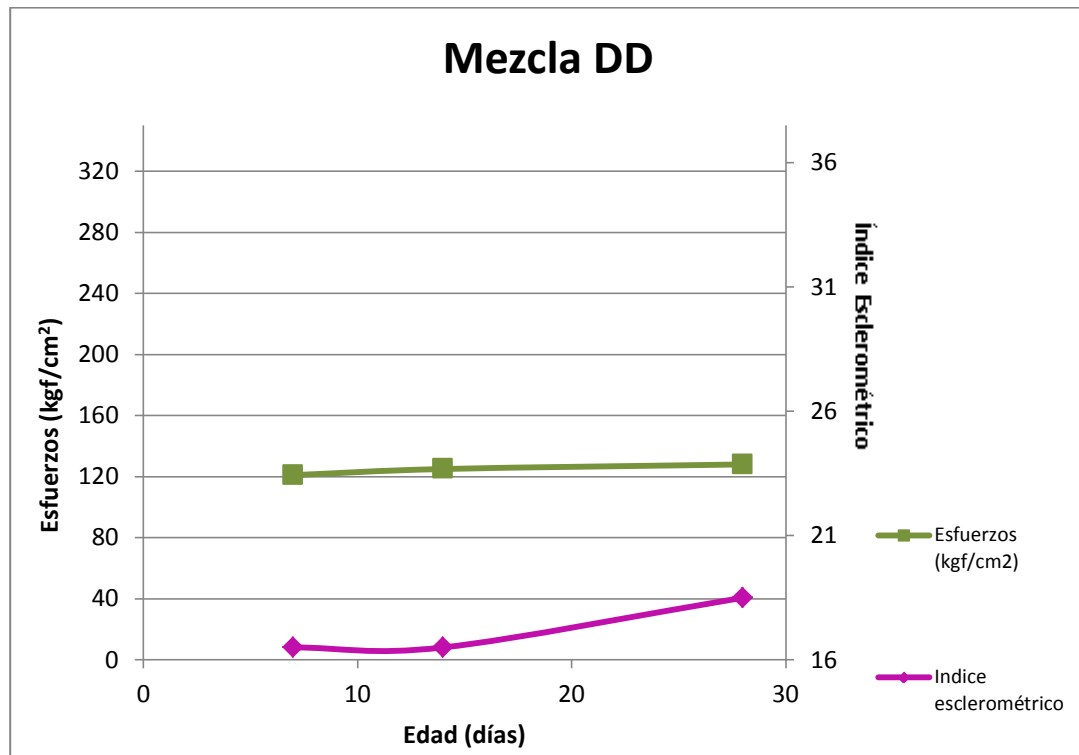


Gráfico 9: Comparación de las mediciones promedio del esclerómetro y sus esfuerzos con la mezcla dosificada con aditivo **DD** a los 7, 14 y 28 días.



Pulso Ultrasónico:

Tabla 57: Promedio de índice velocidad y esfuerzos medios de la mezcla **A**

<b>A</b>		
<b>Edad (días)</b>	<b>V<sub>promedio</sub> (m/s)</b>	<b>Esfuerzo Medio (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
7	3068	207
14	3591	217
28	3638	236

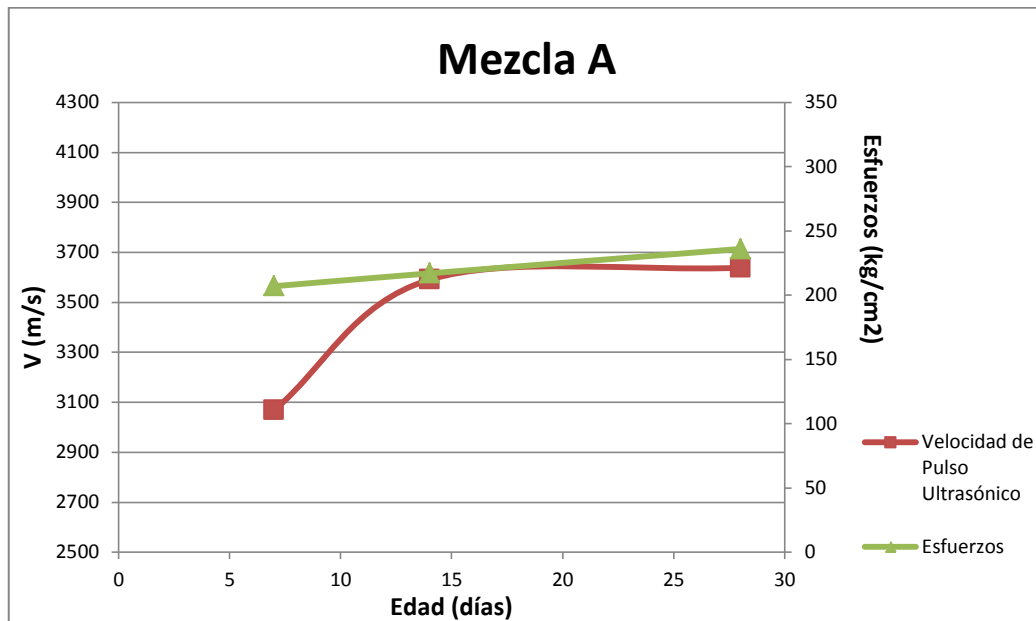


Gráfico 10: Comparación de la velocidad de pulso ultrasónico con los esfuerzos y la mezcla patrón **A** a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 58: Promedio de índice velocidad y esfuerzos medios de la mezcla AA

AA		
Edad (días)	$V_{\text{promedio}}$ (m/s)	Esfuerzo Medio (kgf/cm <sup>2</sup> )
7	3260	281
14	3693	284
28	3984	298

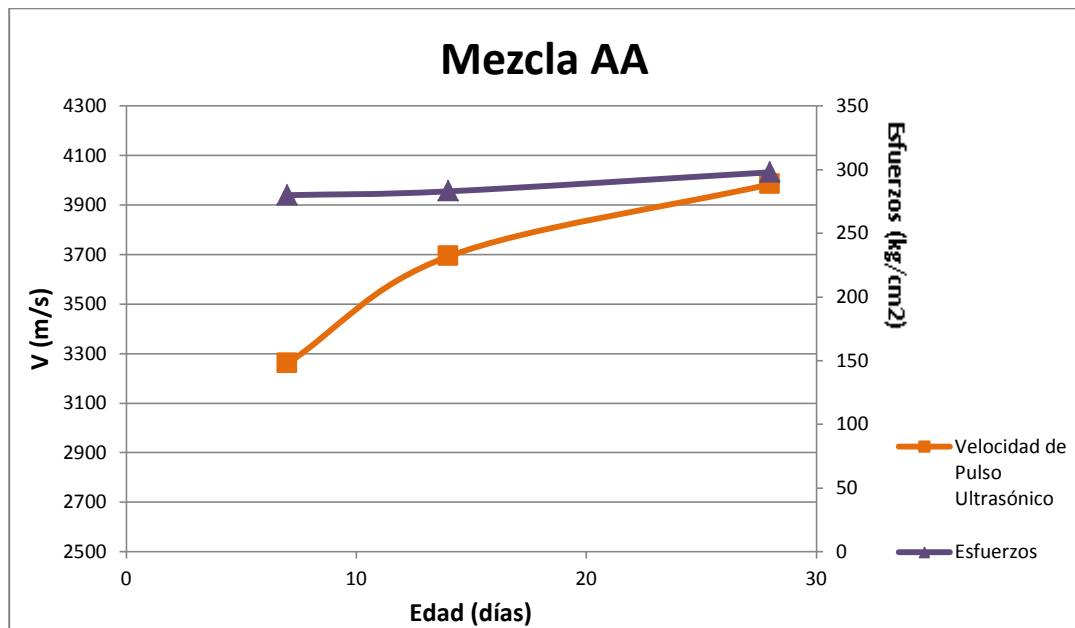


Gráfico 11: Comparación de la velocidad de pulso ultrasónico con los esfuerzos y mezcla dosificada AA a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 59: Promedio de índice velocidad y esfuerzos medios de la mezcla **B**

<b>B</b>		
<b>Edad (días)</b>	<b>V<sub>promedio</sub> (m/s)</b>	<b>Esfuerzo Medio (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
7	3050	259
14	3493	295
28	4034	318

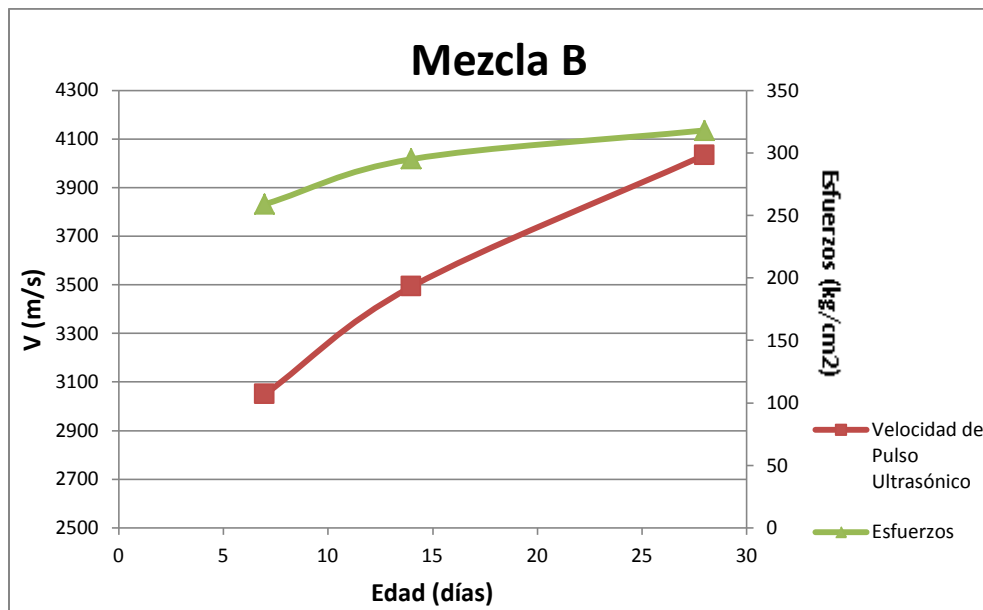


Gráfico 12: Comparación de la velocidad de pulso ultrasónico con los esfuerzos y mezcla patrón **B** a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 60: Promedio de índice velocidad y esfuerzos medios de la mezcla **BB**

BB		
Edad (días)	V <sub>promedio</sub> (m/s)	Esfuerzo Medio (kgf/cm <sup>2</sup> )
7	3135	166
14	3522	185
28	3726	200

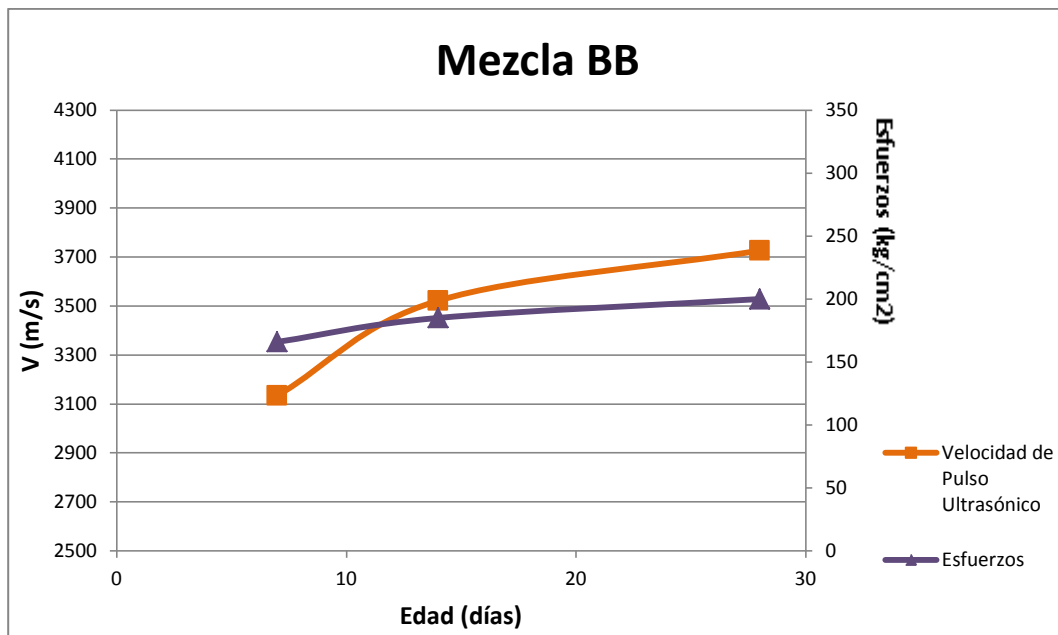


Gráfico 13: Comparación de la velocidad de pulso ultrasónico con los esfuerzos y mezcla dosificada **BB** a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 61: Promedio de índice velocidad y esfuerzos medios de la mezcla **C**

<b>C</b>		
Edad (días)	$V_{\text{promedio}}$ (m/s)	Esfuerzo Medio ( $\text{kgf/cm}^2$ )
7	2953	91
14	3129	110
28	4069	116

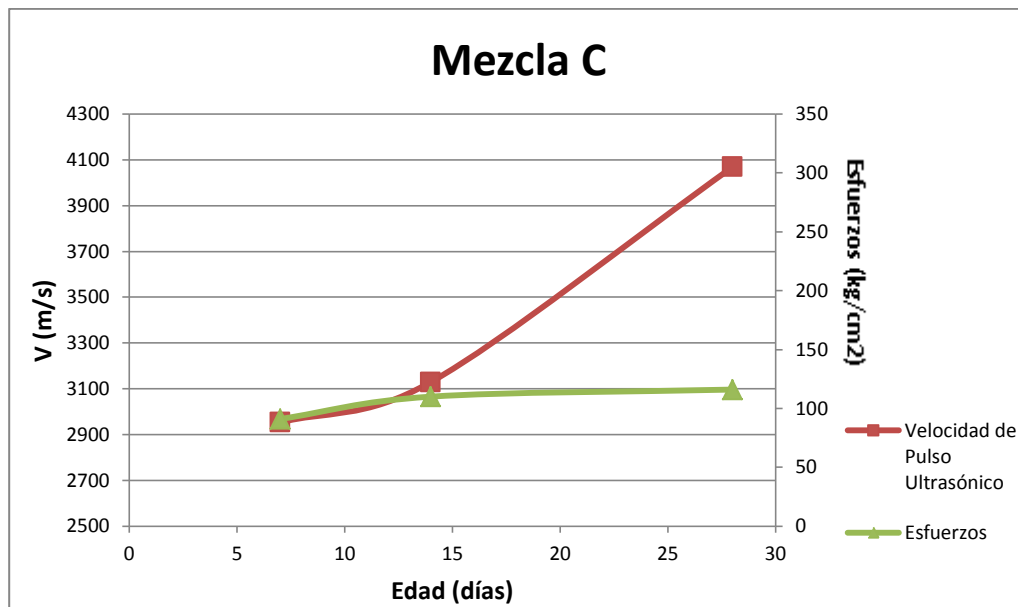


Gráfico 14: Comparación de la velocidad de pulso ultrasónico con los esfuerzos y mezcla patrón **C** a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 62: Promedio de índice velocidad y esfuerzos medios de la mezcla CC

CC		
Edad (días)	$V_{\text{promedio}}$ (m/s)	Esfuerzo Medio (kgf/cm <sup>2</sup> )
7	3235	135
14	3286	197
28	3584	200

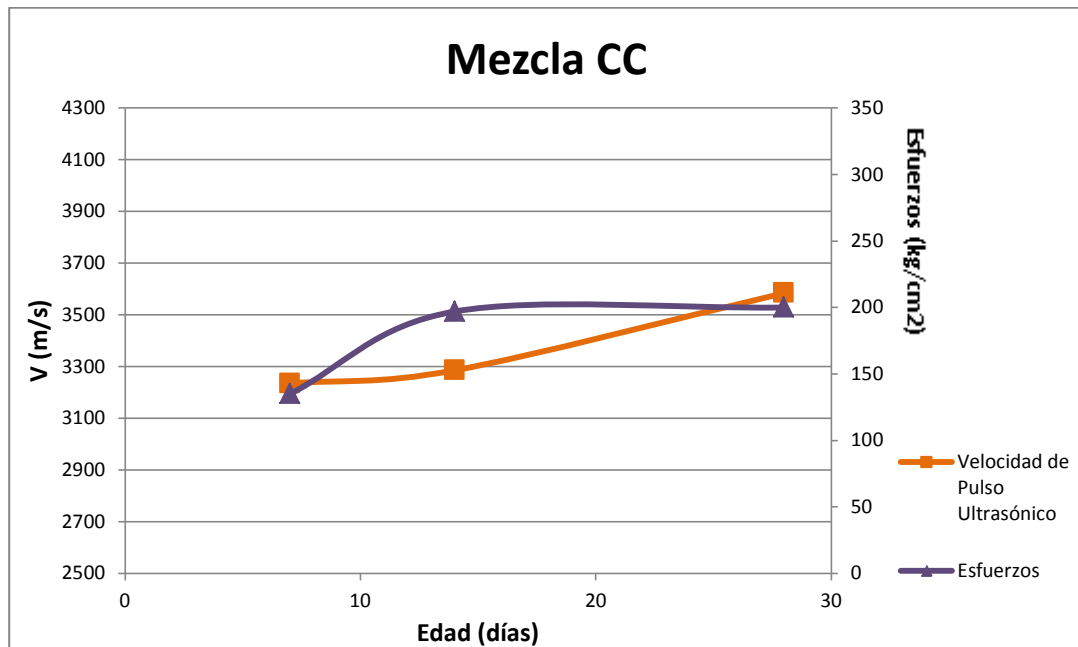


Gráfico 15: Comparación de la velocidad de pulso ultrasónico con los esfuerzos y mezcla dosificada CC a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 63: Promedio de índice velocidad y esfuerzos medios de la mezcla **D**

<b>D</b>		
<b>Edad (días)</b>	<b>V<sub>promedio</sub> (m/s)</b>	<b>Esfuerzo Medio (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
7	3029	75
14	3231	92
28	3490	93

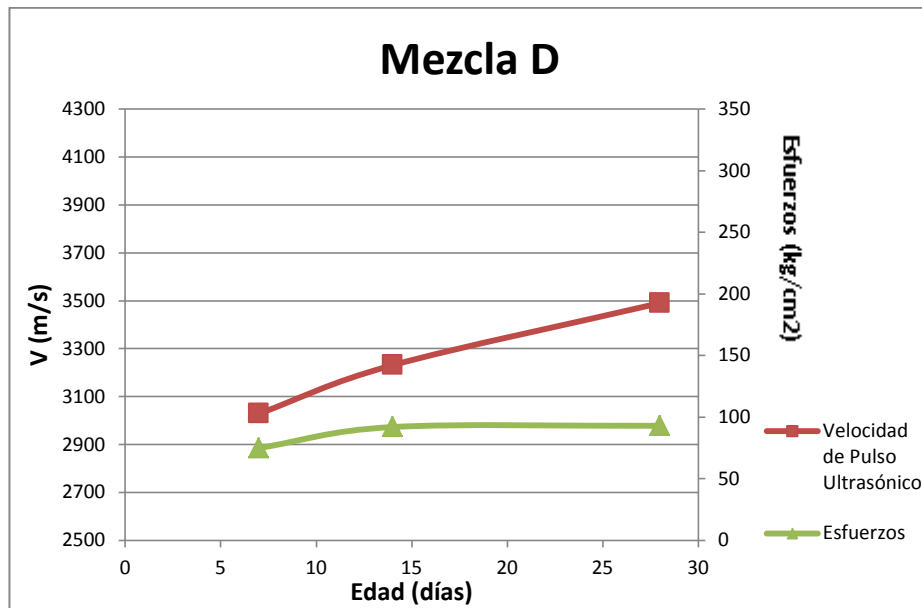


Gráfico 16: Comparación de la velocidad de pulso ultrasónico con los esfuerzos y mezcla patrón **D** a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 64: Promedio de índice velocidad y esfuerzos medios de la mezcla **DD**

DD		
Edad (días)	V <sub>promedio</sub> (m/s)	Esfuerzo Medio (kgf/cm <sup>2</sup> )
7	3060	121
14	3245	125
28	3488	128

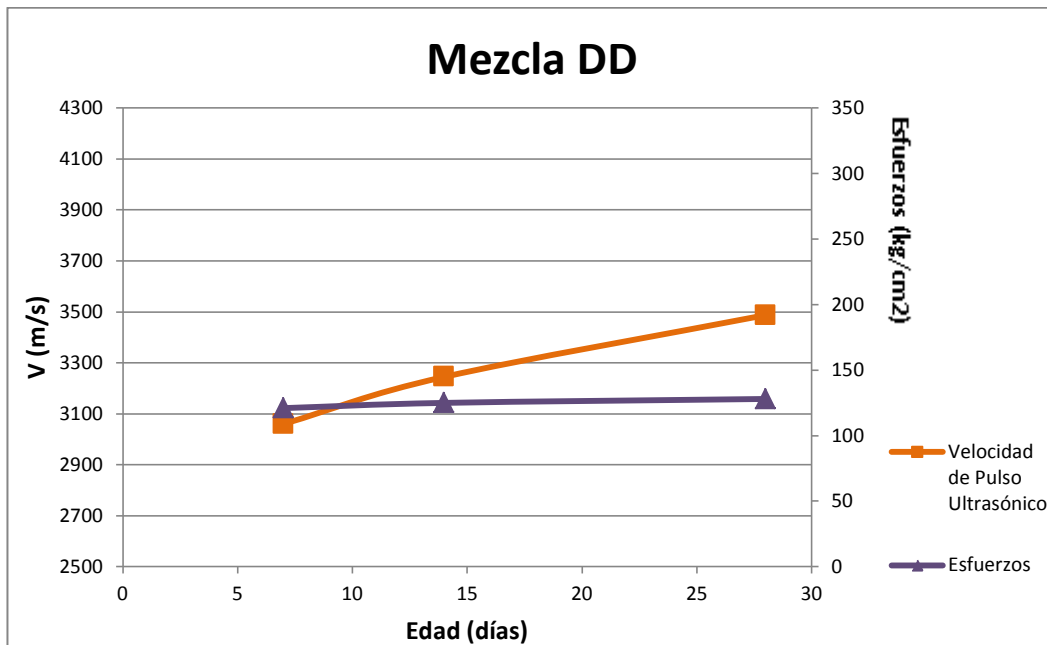


Gráfico 17: Comparación de la velocidad de pulso ultrasónico con los esfuerzos y mezcla dosificada **DD** a los 7, 14 y 28 días.



Resistencia:

Tabla 65: Comparación de esfuerzos entre mezclas patrón y mezclas dosificadas con aditivo

Edad (días)	Esfuerzos (kg/cm <sup>2</sup> )	
	A	AA
7	207	280
14	217	283
28	236	298

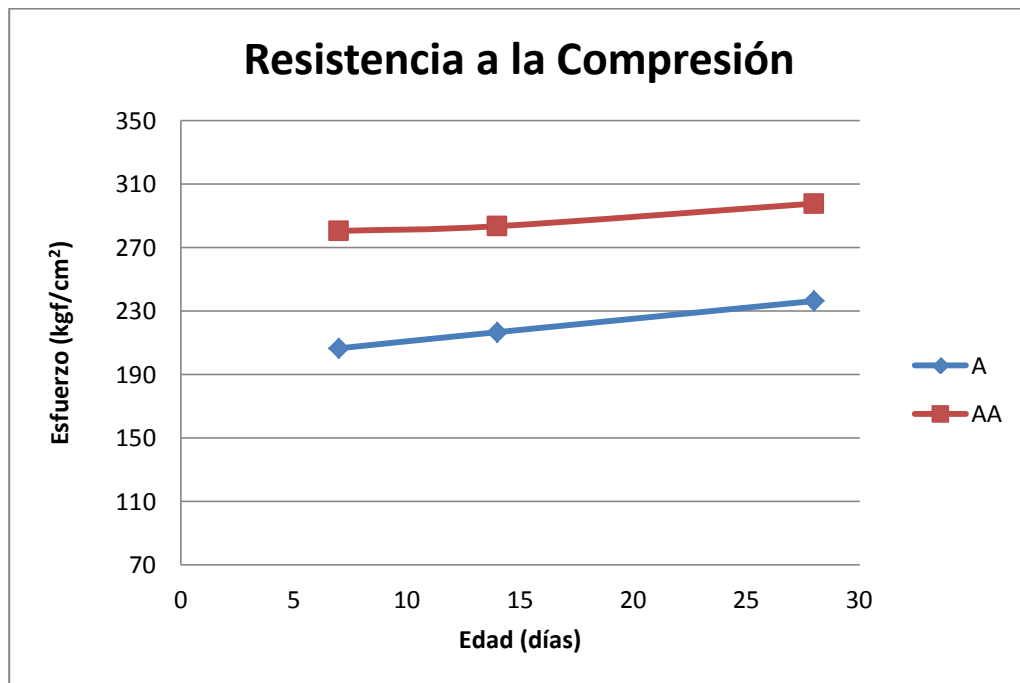


Gráfico 18: Comparación de la resistencia a la compresión entre mezclas patrón A y mezcla dosificada AA.

Tabla 66: Comparación de esfuerzos entre mezclas patrón y mezclas dosificadas con aditivo

Edad (días)	Esfuerzos (kg/cm <sup>2</sup> )	
	<b>B</b>	<b>BB</b>
7	259	166
14	295	128
28	318	213

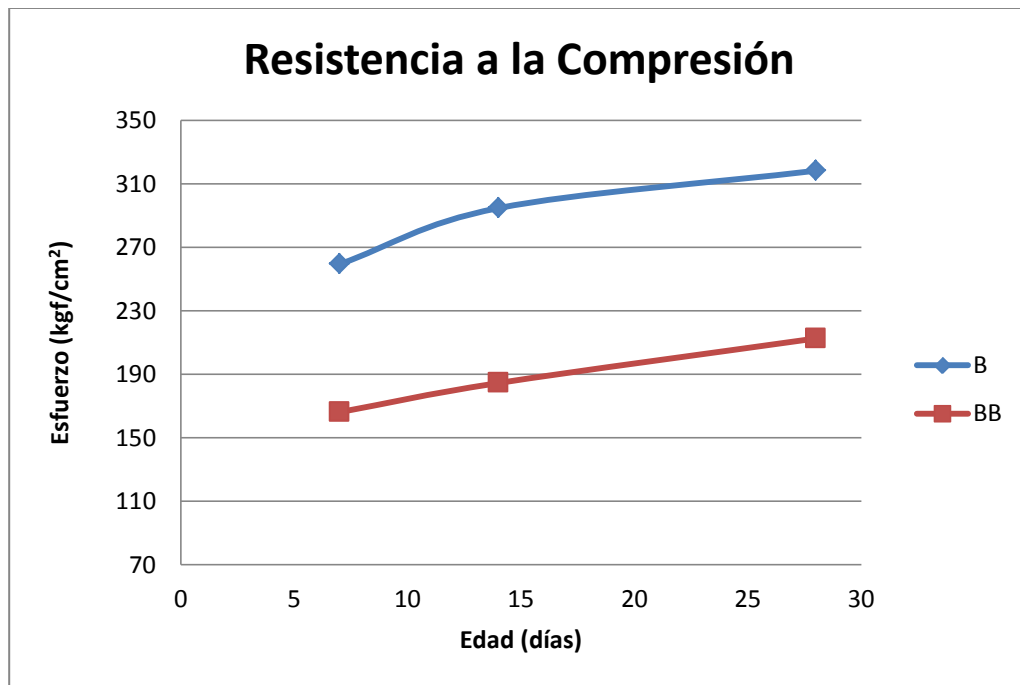


Gráfico 19: Comparación de la resistencia a la compresión entre mezclas patrón **B** y mezcla dosificada **BB**.

Tabla 67: Comparación de esfuerzos entre mezclas patrón y mezclas dosificadas con aditivo

Edad (días)	Esfuerzos (kg/cm <sup>2</sup> )	
	C	CC
7	91	135
14	110	197
28	116	200

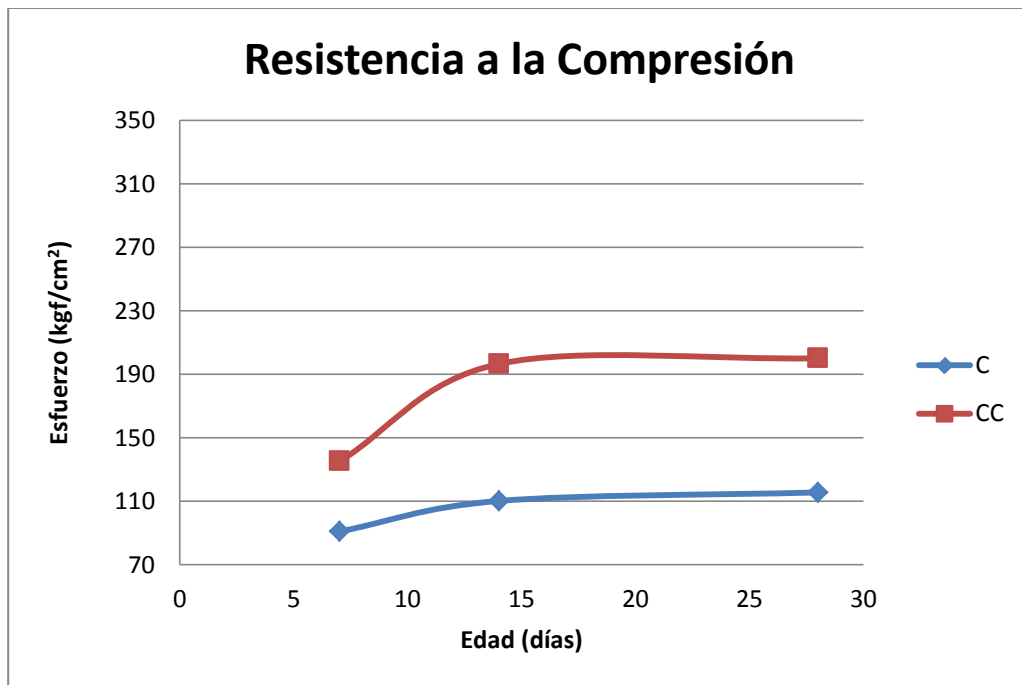


Gráfico 20: Comparación de la resistencia a la compresión entre mezclas patrón C y mezcla dosificada CC.

Tabla 68: Comparación de esfuerzos entre mezclas patrón y mezclas dosificadas con aditivo

Edad (días)	Esfuerzos (kg/cm <sup>2</sup> )	
	<b>D</b>	<b>DD</b>
7	75	121
14	92	125
28	91	128

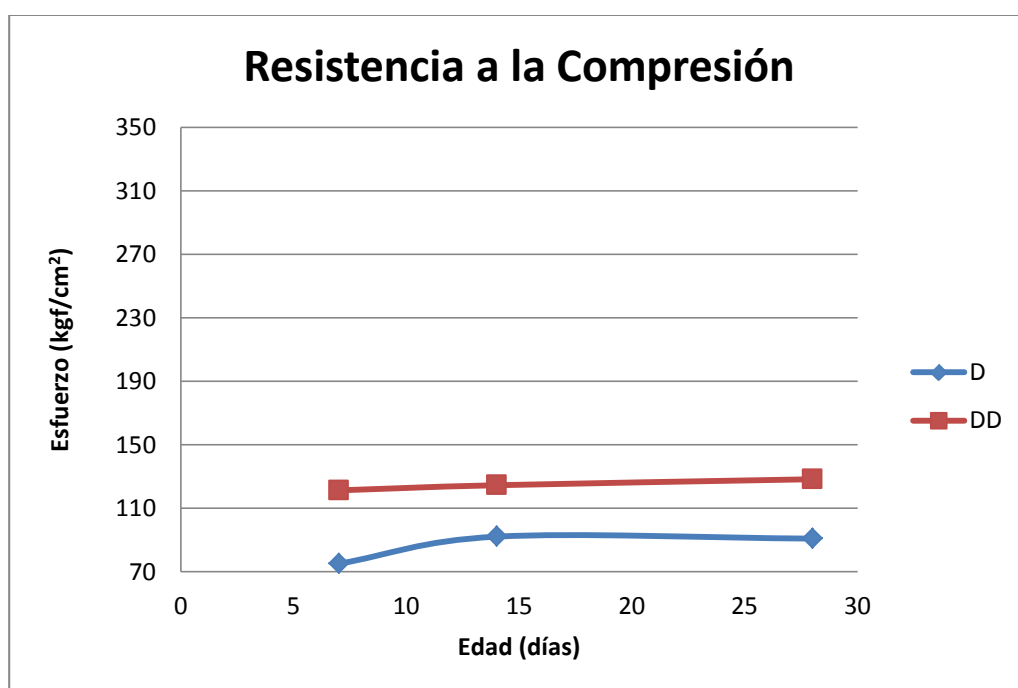


Gráfico 21: Comparación de la resistencia a la compresión entre mezclas patrón **D** y mezcla dosificada **DD**.

**Recomendar condiciones y formas de uso del aditivo.**

- Verificar las condiciones iniciales de los agregados para evitar que las proporciones de aditivo se alteren.
- Mantener el aditivo bien almacenado en condiciones recomendadas del fabricante.
- Comprobar a través de pequeñas muestras las condiciones de la mezcla final, según sea el caso de agregados gruesos y finos.
- Comprobar a que condición desea trabajar el aditivo como tipo A ó como tipo D y así diseñar según fabricante la cantidad adecuada de aditivo para cada caso.

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### **Asentamiento.**

El asentamiento que por diseño de mezcla se trabajó, se mantuvo en todas las mezclas patrón, se cuidó que la absorción y las posibles impurezas de los agregados no alteraran esta propiedad para cada caso o diseño.

Ahora bien, las mezclas a las que se les redujeron la cantidad de agua y se compensó con aditivo, variaron, algunas de forma significativa y otras con márgenes de diferencia menor como se observa en el Gráfico 1. La mezcla AA se observó un poco más fluida y trabajable respecto a su patrón. La mezcla BB tuvo un asentamiento muy alto, se observó demasiado fluida como el agua y no se consideraba necesario compactarla aunque se hizo para satisfacer las exigencias que establecen las normas.

Las mezclas CC y DD fueron elaboradas con arena amarilla, material que tenía un porcentaje de absorción alto (64.4%) y que resultó difícil de manipular, causando que la consistencia fuese poca fluida, de apariencia seca, pastosa y difícil de compactar.

#### **Peso Unitario en mezclas en estado fresco.**

Las mezclas patrón A y B reflejan valores que oscilan sobre los 2200 kg/m<sup>3</sup> mostrándose mayor el valor de A, considerando que el agregado grueso de la misma varía en tamaño máximo y peso, con respecto a la B (Ver Tabla 19 y Tabla 20).

En las mezclas dosificadas con aditivo, la AA arroja un valor mayor al de BB (Ver Tabla 23 y Tabla 24), manteniendo la consideración de que el agregado grueso, en cada mezcla, fue único material que varió y que la piedra picada es aparentemente es de mayor peso que el canto rodado en cuanto a su masa por unidad de volumen.

Las mezclas C y D muestran valores sobre los  $2000 \text{ kg/m}^3$  (Ver Tabla 21 y Tabla 22), aunque menor que los valores de A y B. Aunado a esto se observó que cada mezcla experimentó menos rendimiento al realizarla.

Las mezclas CC y DD dosificadas con aditivo mostraron los valores más bajos de toda la serie de mediciones (Ver Tabla 25 y Tabla 26), manteniendo la característica de poco rendimiento y observándose una mezcla difícil de manipular.

### **Peso Unitario en mezclas en estado endurecido.**

En las muestras patrón evaluadas a los 7 días se observó que en las mezclas A y B que están diseñadas con la arena lavada, el peso unitario de A es menor comparada con B por una diferencia de  $36 \text{ kg/m}^3$  (Ver Tabla 31), afectadas por las variaciones en los diámetros y alturas de los cilindros ensayados.

Las mezclas C y D, preparadas con arena amarilla experimentaron un comportamiento similar las anteriores siendo mayor el cálculo obtenido para C respecto a la mezcla D. Finalmente reflejando una diferencia entre ellas de  $37 \text{ kg/m}^3$  (Ver Tabla 31). Estos valores diferenciales mencionados entre pares de mezclas resultaron muy cercanos.

Para el caso de la evaluación a los 14 días se marca la misma tendencia, pero acá se reflejó una diferencia en cuanto al peso unitario entre las mezclas A y B de  $16 \text{ kg/m}^3$  y para C y D de  $15 \text{ kg/m}^3$  (Ver Tabla 32).

Ahora bien, a los 28 días las mezclas patrón A y B, mantienen valores cercanos de peso unitario siendo el valor de B el mayor, y al comparar C y D el mayor valor lo obtuvo C. Sin embargo, para esta edad de ensayo no resultaron cercanos los valores de peso unitario diferenciales obtenidos entre cada par de mezclas, A y B el valor diferencial fue de  $58 \text{ kg/m}^3$  y entre C y D fue de  $12 \text{ kg/m}^3$  (Ver Tabla 33).

A las mezclas dosificadas con aditivo, AA y BB, se observó una disminución del peso unitario en comparación con las patrón, situación que no ocurre en las mezclas CC y DD donde para ambos casos se reflejó un aumento en los valores y esta diferencia se mantiene en las 3 edades de ensayo que se evaluaron (Ver Tabla 34 y Tabla 35 y Tabla 36).

### **Esclerometría.**

Los valores de índice esclerométrico reflejan valores muy variados en cada combinación y entre mezclas patrón y las mezclas dosificadas con aditivo. Se compara dicho índice superficial con el esfuerzo total que soporta cada cilindro según sea el caso de combinación.

La mezcla A reflejó valores de índice esclerométrico bajos y valores de esfuerzos igualmente bajos que no llegaron al valor de diseño ( $280 \text{ kgf/cm}^2$ ), más se mantuvo una relación creciente entre ambos ensayos (Ver Tabla 49).

Para el caso de AA, aumentan los valores tanto de índice esclerométrico como de esfuerzo manteniendo igual la relación creciente entre ambos ensayos (Ver Tabla 50).

La mezcla B, los valores obtenidos son los más altos tanto de índice esclerométrico como de esfuerzos (Ver Tabla 51), con un crecimiento uniforme en ambos ensayos llegando a los valores de diseño a los 14 días. Para BB bajan los valores de índice y los valores de esfuerzo considerablemente (Ver Tabla 52) con respecto a la muestra patrón de esta combinación.

La mezcla C y D arrojan valores bajos de índice esclerométrico e igual de esfuerzo mostrando lo frágil de las mezclas, más el crecimiento de ambos comportamientos se mantiene creciente y muy uniforme (Ver Tabla 53 y Tabla 55).



La mezcla CC y DD (Ver Tabla 54 y Tabla 56) continúan en la tendencia creciente a través de las edades en cuanto al índice de dureza superficial son los valores más bajos de todos los ensayos relegando menor dureza y menor resistencia.

### **Velocidad de propagación de ondas en las mezclas de concreto.**

En las mezclas patrón se observó una variación de las ondas de propagación en los ensayos a los 7 días, en la mezcla A se observó (Ver Gráfico 10) que los valores que arroja el equipo, en cuanto al tiempo, son homogéneos y menores a las realizadas en esa edad para todas las mezclas. En la mezcla B aumentaron los valores de tiempo (Ver Gráfico 12) sin embargo, los valores de velocidad disminuyen aunque no de manera resaltante, cabe destacar que en estas combinaciones solo se variaron los agregados gruesos. Las mezclas C y D trabajaron con la arena amarilla, en la primera (C) los valores de tiempo son los más altos de las mezclas patrón (Ver Gráfico 14) aunque el valor promedio de la velocidad es el menor. La segunda (D) se asemeja a la mezcla C pero los valores de velocidad aumentan (Ver Gráfico 16), pero no comparados con las mezclas A y B.

A los 14 días la mezcla patrón A arroja valores notablemente altos de tiempo y por consiguiente velocidades muy altos (Ver Tabla 38). En B los valores de tiempo disminuyen considerablemente en comparación con la mezcla A, es decrecimiento en ambos parámetros se mantiene para C y D.

A los 28 días se observó que de las 4, la mezcla C es la que arroja menores valores de tiempo, en comparación con las otras 3 mezclas y principalmente con la mezcla A, así mismo el promedio de la velocidad para el caso de la mezcla C es el mayor valor (Ver Tabla 39).

En las mezclas dosificadas con aditivos se sigue observando que los valores de tiempo se mantienen homogéneos, siendo las AA y BB las más altas y las CC y DD las más bajas. Los valores tienden a estar más cercanos entre 70 y 100

microsegundos, consistencia que se mantiene durante las 3 edades y las 4 combinaciones.

En las Gráficas 10 hasta la Gráfica 17, se comparó la velocidad de propagación de la onda ultrasónica con los esfuerzos que soporta cada muestra y se observa un comportamiento creciente respecto a las edades. En la Gráfica de las mezclas patrón A, B, C y D ambos parámetros contrastados reflejan un movimiento ascendente en el mismo sentido.

En el caso de la muestra que fue dosificada con el aditivo el comportamiento de la velocidad para la mezcla CC presenta un aumento de la resistencia, más no se llegan a los valores de diseño, el mismo comportamiento se arroja en las pruebas a los cilindros de la mezcla DD.

### **Resistencia a Compresión.**

Mezcla A7: compuesta por cemento portland tipo I, agua, piedra picada y arena natural. Ensayada a la edad de 7 días.

La falla se presentó en un extremo superior de los cilindros evidenciando convexidad en la superficie, por tanto la falla se orientó justo del centro hacia el borde como la falla N° 7 del anexo 1. El agregado grueso manifestó un buen comportamiento ya que se fracturó, la matriz de cemento se observó bien adherida al agregado grueso así como también se observó homogeneidad de la mezcla a través del plano de falla de cada cilindro.

Para esta fecha de ensayo ya habían superado la resistencia de  $195 \text{ kgf/cm}^2$  a la compresión.

Mezcla AA7: compuesta por cemento portland tipo I, agua, aditivo Polyheed 755, piedra picada y arena natural. Ensayada a la edad de 7 días.

La falla se presento en forma de “ye” acentuada en la parte inferior de los cilindros evidenciando convexidad justo en el centro, la cual se identifica como una falla N° 6 de acuerdo al anexo 1. El agregado grueso manifestó un buen comportamiento ya que se fracturo, la matriz de cemento se observo bien adherida al agregado grueso así como también se observo homogeneidad de la mezcla a través del plano de falla de cada cilindro; también registro un incremento de resistencia del 37% comparado a la mezcla patrón (A7).

Para esta fecha de ensayo ya habían superado la resistencia de  $275 \text{ kgf/cm}^2$  a la compresión cuya resistencia es la de diseño por mezcla.

Mezcla B7: compuesta por cemento portland tipo I, agua, canto rodado y arena natural. Ensayada a la edad de 7 días.

La falla que se empezó a generar fue en forma de “ye” ubicada en la parte superior de los cilindros evidenciando convexidad justo en el centro, la cual se identifica como una falla N° 6, pero invertida, de acuerdo al anexo 1. El agregado grueso manifestó un buen comportamiento ya que se fracturo en vez de desprenderse de la mezcla por no poseer caras angulosas, la matriz de cemento se observo bien adherida al canto rodado así como también se observo homogeneidad de la mezcla a través del plano de falla de cada cilindro. Uno de los tres cilindros “B7 (3)” se desechó de la selección para los análisis ya que sus valores de falla resultaron desviados en un 64% respecto a los otros dos.

Para esta fecha de ensayo ya habían superado la resistencia de  $245 \text{ kgf/cm}^2$  a la compresión.

Mezcla BB7: compuesta por cemento portland tipo I, agua, aditivo Polyheed 755, canto rodado y arena natural. Ensayada a la edad de 7 días.

La falla se presentó en forma diagonal desde la cara inferior hasta la mitad de los cilindros, la cual se identifica como una falla N° 2, aunque en una menor escala se apreció, según se ilustra en el anexo 1. El agregado grueso manifestó un buen comportamiento ya que se fracturó en vez de desprenderse el canto rodado de la mezcla por no poseer caras angulosas, la matriz de cemento se observó bien adherida al agregado grueso así como también se observó homogeneidad de la mezcla a través del plano de falla de cada cilindro. Cabe destacar que hubo una reducción de resistencia respecto a la mezcla patrón (B7) en un 36%.

Para esta fecha de ensayo ya habían superado la resistencia de  $160 \text{ kgf/cm}^2$  a la compresión.

Mezcla C7: compuesta por cemento portland tipo I, agua, canto rodado y arena amarilla. Ensayada a la edad de 7 días.

La falla se presentó a lo largo del perímetro superior de cada cilindro demostrando concavidad en la superficie y se identificó la falla como N° 4 del anexo 1. Por consecuencia del enrasado manifestó una baja resistencia y mostrando una falla anticipada por lo que no dio oportunidad de analizar con certeza el comportamiento de los materiales que constituyen a la mezcla endurecida, más sin embargo, se pudo observar con certeza la homogeneidad de la matriz cementante en los pequeños planos de falla de cada probeta. Adicionalmente se atribuye con total seguridad que la arena amarilla no aporta altas resistencias a las mezclas de concreto.

Para esta fecha de ensayo ya habían superado la resistencia de  $85 \text{ kgf/cm}^2$  a la compresión.

Mezcla CC7: compuesta por cemento portland tipo I, agua, aditivo Polyheed 755, canto rodado y arena amarilla. Ensayada a la edad de 7 días.

La falla se presentó en un extremo superior de cada cilindro evidenciando conicidad en la superficie, se identificó la falla como N° 4 según anexo 1. El agregado grueso no manifestó un buen comportamiento ya que se desprendió de la matriz de cemento, se observó homogeneidad de la mezcla a través del pequeño plano de falla localizado de cada probeta. Se verificó que hubo una ganancia de resistencia en 48% respecto a la mezcla patrón (C7).

Para esta fecha de ensayo ya habían superado la resistencia de  $120 \text{ kgf/cm}^2$  a la compresión.

Mezcla D7: compuesta por cemento portland tipo I, agua, piedra picada y arena amarilla. Ensayada a la edad de 7 días.

La falla se presentó en extremos superiores opuestos entre sí de los cilindros evidenciando conicidad en la superficie, se identificó la falla como N° 4 del anexo 1. En el plano de falla de cada probeta se visualizó que la mitad del agregado grueso se fracturó y aproximadamente la otra mitad se desprendió de la matriz de cemento; y se observó homogeneidad en la mezcla.

Para esta fecha de ensayo ya habían superado la resistencia de  $70 \text{ kgf/cm}^2$  a la compresión.

Mezcla DD7: compuesta por cemento portland tipo I, agua, aditivo Polyheed 755, piedra picada y arena amarilla. Ensayada a la edad de 7 días.

La falla se presentó en el borde perimetral superior de los cilindros evidenciando conicidad en la superficie, la falla resultante se asemeja una combinación de la falla N° 3 y N° 4 como se ilustra en el anexo 1. En el plano de falla de cada probeta se visualizó que el agregado grueso no se fracturó sino que se desprendió de la matriz de cemento, se observó homogeneidad en la mezcla y por ende baja adherencia entre la

matriz de cemento con el agregado grueso. Sin embargo esta mezcla obtuvo un 61% de resistencia más que la mezcla patrón (D7).

Para esta fecha de ensayo ya habían superado la resistencia de  $115 \text{ kgf/cm}^2$  a la compresión.

Mezcla A14: compuesta por cemento portland tipo I, agua, piedra picada y arena natural. Ensayada a la edad de 14 días.

La falla se desarrollo en forma de “ye” invertida en los cilindros y causada por la convexidad de un mal enrasado lo cual se identifico como una falla N°6 como se ilustra en el Anexo 1. En cuanto al agregado este se fracturo y la matriz de cemento se mantuvo unida al agregado grueso como un solo elemento, por tanto se evidencio homogeneidad en dicha mezcla para todos los cilindros en cuestión.

Para esta fecha de ensayo ya habían superado la resistencia de  $205 \text{ kgf/cm}^2$  a la compresión y respecto a la mezcla A7 obtuvo 6% más de resistencia.

Mezcla AA14: compuesta por cemento portland tipo I, agua, aditivo Polyheed 755, piedra picada y arena natural. Ensayada a la edad de 14 días.

La falla que se obtuvo fue en líneas verticales principalmente, esta falla corresponde a la N° 3 del anexo 1. En el plano de falla de cada probeta se evidencio fractura del agregado grueso lo cual reflejo la buena homogeneidad en la mezcla y se logro un incremento de resistencia del 30% sobre la mezcla patrón (A14).

Para esta fecha de ensayo ya habían superado los  $275 \text{ kgf/cm}^2$  a compresión y respecto a la mezcla AA7 obtuvo 1% más de resistencia.

Mezcla B14: compuesta por cemento portland tipo I, agua, canto rodado y arena natural. Ensayada a la edad de 14 días.

La falla que se originó fue tipo “ye” e iniciaba en el centro superior de los cilindros y llegaba al otro extremo inferior pero a 1/3 de la altura medido desde la base. La falla se puede identificar como la N° 6 en el anexo 1, aunque la misma se produjo al revés y concentrada en la parte superior de los cilindros, de lo que se ilustra en dicho anexo. En el plano de falla se verificó que el 70% del agregado grueso se desprendió de la matriz de cemento y el 30% aproximadamente se fracturó, debido a que el canto rodado no posee superficies angulosas y rugosas de las cuales el mortero puede adherirse para formar una mezcla homogénea. Sin embargo para esta fecha de ensayo ya habían superado la resistencia de  $290 \text{ kgf/cm}^2$  a la compresión, lo cual es más que la resistencia de diseño ( $280 \text{ kgf/cm}^2$ ) y respecto a la mezcla B7 obtuvo 14% más de resistencia.

Mezcla BB14: compuesta por cemento portland tipo I, agua, aditivo Polyheed 755, canto rodado y arena natural. Ensayada a la edad de 14 días.

La falla que se originó fue diagonal e iniciaba en un extremo superior de cada cilindro y llegaba al otro extremo inferior pero a la mitad de la altura. La falla se equiparó como la N° 2 del anexo 1. En el plano de falla se verificó que el 70% del agregado grueso se desprendió de la matriz de cemento y 30% se fracturó, tuvo un comportamiento muy similar a la mezcla patrón (B14), aunque ésta falló muy prematuramente y se experimentó una reducción de resistencia en un 39% aproximadamente.

Para esta fecha de ensayo ya habían superado los  $170 \text{ kgf/cm}^2$  a la compresión y con respecto a la mezcla BB7 obtuvo 8% más de resistencia.

Mezcla C14: compuesta por cemento portland tipo I, agua, canto rodado y arena amarilla. Ensayada a la edad de 14 días.

La falla se ubicó en el perímetro de los cilindros causada por la concavidad en la superficie y se identificó la falla como N° 4 del anexo 1. Referente al plano de falla por ser tan localizado no dejó mucho a la vista aunque el agregado grueso por no poseer ángulos este se desprendió de la matriz de cementante dejando algunos agregados sueltos, lo cual refleja la poca adherencia que experimentó cada cilindro con el canto rodado y el mortero constituido por la arena amarilla; así mismo se observó que el mortero lucía homogéneo.

Para esta fecha de ensayo ya habían superado la resistencia de  $100 \text{ kgf/cm}^2$  a la compresión y respecto a la mezcla C7 obtuvo 21% más de resistencia.

Mezcla CC14: compuesta por cemento portland tipo I, agua, aditivo Polyheed 755, canto rodado y arena amarilla. Ensayada a la edad de 14 días.

La falla se presentó en forma diagonal desde el centro superior al extremo inferior, esta falla se equiparó con la falla N° 6 del anexo 1, más sin embargo ésta falla se generó sólo del lado izquierdo en todos los cilindros. El agregado se fracturó en un 75% aproximadamente como se observó en el plano de falla y el resto se desprendió de la matriz de cementante, se observó homogeneidad en la mezcla. Estas probetas arrojaron mayor resistencia que las patrones (C14) en un 79%.

Para esta fecha de ensayo ya habían superado la resistencia de  $180 \text{ kgf/cm}^2$  a la compresión y con respecto a la mezcla CC7 obtuvo 46% más de resistencia.

Mezcla D14: compuesta por cemento portland tipo I, agua, piedra picada y arena amarilla. Ensayada a la edad de 14 días.

La falla se produjo en forma vertical y se equiparó como la N° 3 del anexo 1 motivada a alguna concavidad en las caras horizontales de aplicación de carga en cada probeta. El agregado grueso se desprendió de la matriz cementante alrededor del 60% lo cual no hizo a la mezcla homogénea en cuanto a comportamiento mecánico.



Para esta fecha de ensayo ya habían superado la resistencia de  $80 \text{ kgf/cm}^2$  a la compresión y respecto a la mezcla D7 obtuvo 23% más de resistencia.

Mezcla DD14: compuesta por cemento portland tipo I, agua, aditivo Polyheed 755, piedra picada y arena amarilla. Ensayada a la edad de 14 días.

En líneas verticales se generó la falla pero con mayor concentración en la parte superior de los cilindros, lo cual se asemeja a la falla N° 3 contenida en el anexo 1; y esta falla se obtuvo por convexidad en la cara superior de cada cilindro dando lugar a una mayor concentración de líneas de fallas verticales en el mismo lugar. En cuanto a la piedra picada esta se fracturó aproximadamente en un 50%, el resto por desprendimiento de la matriz de cemento pero sí se logró un incremento de resistencia para un 36% comparado a la mezcla patrón (D14). Así mismo se observó homogeneidad en la mezcla.

Para esta fecha de ensayo ya habían superado la resistencia de  $115 \text{ kgf/cm}^2$  a la compresión y respecto a la mezcla DD7 obtuvo 3% más de resistencia.

Mezcla A28: compuesta por cemento portland tipo I, agua, piedra picada y arena natural. Ensayada a la edad de 28 días.

La falla obtenida fue vertical producto de concavidad en la cara superior de los cilindros y se identificó como la falla N° 3 del anexo 1. En el plano de falla se observó que el agregado grueso fracturó en 100% evidenciando una mezcla homogénea, incremento la resistencia respecto a la mezcla A14 en 9% y para la fecha de ensayo ya habían superado la resistencia de  $220 \text{ kgf/cm}^2$  a la compresión.

Mezcla AA28: compuesta por cemento portland tipo I, agua, aditivo Polyheed 755, piedra picada y arena natural. Ensayada a la edad de 28 días.

La falla que se obtuvo fue vertical aunque se concentro solamente en la mitad superior de los cilindros y se equiparo a la falla N° 3 del anexo 1. Su comportamiento mecánico se caracterizo idéntico al de la mezcla A28, es decir, que la piedra picada fracturo por completo y se observo una mezcla homogénea en todos los especímenes ensayados. Se logro 26% de resistencia por encima de que lo que se obtuvo con la mezcla patrón (A28).

Para la fecha de ensayo ya habían superado los  $285 \text{ kgf/cm}^2$  a la compresión y respecto a la mezcla AA14 obtuvo 5% más de resistencia.

Mezcla B28: compuesta por cemento portland tipo I, agua, canto rodado y arena natural. Ensayada a la edad de 28 días.

La falla se desarrolló en forma inclinada de un extremo inferior al otro extremo superior lo cual se aproximó más a la falla N° 2 del anexo 1. En el plano de falla de cada cilindro se observo que el canto rodado fracturo en 50% aproximadamente y el resto se desprendió de la matriz de cemento. También se obtuvo un 8% de resistencia por encima que la B14 y para la fecha de ensayo ya habían superado los  $310 \text{ kgf/cm}^2$  a la compresión.

Mezcla BB28: compuesta por cemento portland tipo I, agua, aditivo Polyheed 755, canto rodado y arena natural. Ensayada a la edad de 28 días.

La falla que se obtuvo se localizo en un extremo solamente de los cilindros y se caracterizo como la falla N° 4 como se ilustra en el anexo 1, esta falla se le debe al mal enrasado que produjo concavidad en la superficie. En el plano de falla se observo que la mitad del canto rodado fracturo y el resto se desprendió de la matriz de cemento.

Se puede atribuir que por el mal enrasado las probetas fallaron en forma prematura y ello causo una reducción de resistencia en 33% comparado con la B28. Para esta edad

de ensayo solo se logro superar los 205 kgf/cm<sup>2</sup> y respecto a la BB14 incremento de 19%.

Mezcla C28: compuesta por cemento portland tipo I, agua, canto rodado y arena amarilla. Ensayada a la edad de 28 días.

Se produjo la falla en forma diagonal lo cual se clasifico como la falla N° 2 del anexo 1. El canto rodado se desprendió en un 70% aproximadamente y el resto se fracturo, esto no demostró que se lograra una mezcla realmente homogénea y comparada con la mezcla C14 incremento la resistencia en 5%.

Para esta fecha de ensayo ya había superado los 110 kgf/cm<sup>2</sup> a la compresión.

Mezcla CC28: compuesta por cemento portland tipo I, agua, aditivo Polyheed 755, canto rodado y arena amarilla. Ensayada a la edad de 28 días.

La falla obtenida se presentó de un solo lado de los cilindros y en la parte superior causada por concavidad en la cara horizontal, esto se asocio como una falla N° 4 del anexo 1. A través del plano de falla se observo que prácticamente todo el canto rodado se desprendió de la matriz de cemento evidenciando heterogeneidad en la mezcla y con una ganancia de resistencia en 72% comprada con su mezcla patrón (C28).

Para esta fecha de ensayo ya habían superado la resistencia de 200 kgf/cm<sup>2</sup> a la compresión y respecto a la mezcla CC14 obtuvo 2% más de resistencia.

Mezcla D28: compuesta por cemento portland tipo I, agua, piedra picada y arena amarilla. Ensayada a la edad de 28 días.

Se generó una falla en los bordes perimetrales en dos probetas y en la otra se presentó en un lado del perímetro, la falla se equiparó con la N° 4 del anexo 1. En el plano de falla se observó que aproximadamente la mitad de la piedra picada se fracturó y el restante se desprendió, por lo tanto no hubo homogeneidad en la mezcla. También hubo un aumento del 1% en la resistencia contra la D14.

Para esta fecha de ensayo ya habían superado la resistencia de  $85 \text{ kgf/cm}^2$  a la compresión.

Mezcla DD28: compuesta por cemento portland tipo I, agua, aditivo Polyheed 755, piedra picada y arena amarilla. Ensayada a la edad de 28 días.

Se produjo la falla en la parte superior de los cilindros y en un extremo causado por concavidad en la superficie y esta falla se enumeró como la N° 4 del anexo 1. Esto generó la falla prematura y se obtuvo una baja resistencia en los especímenes.

En el pequeño plano de falla solo se alcanzó a observar un desprendimiento de la piedra picada con la matriz de cemento, esto es característico de una mezcla heterogénea; y en este instante tenía 35% de resistencia sobre la mezcla D28.

Para esta fecha de ensayo ya habían superado la resistencia de  $125 \text{ kgf/cm}^2$  a la compresión y respecto a la mezcla DD14 obtuvo 1% más de resistencia.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En el diseño de todas las mezclas de concreto se evaluó la calidad de los agregados mediante la caracterización visual y se mantuvo un control intermedio. Con la determinación de la humedad en los agregados y la absorción en la arena amarilla, se controló el parámetro de cantidad de agua que formó parte de cada mezcla. Por lo tanto se concluyó que los agregados presentaron contaminación en la piedra picada y la arena lavada en cuanto a trozos de madera, trozos de plástico, trozos de bloques de arcilla y rocas, los cuales fueron retirados para mantener una mejor calidad y así no desviar los resultados.

En el estado fresco de las mezclas se les aplicó los ensayos de asentamiento y peso unitario. De esta forma se pudo caracterizar mediante el asentamiento, a las mezclas patrón como mezclas trabajables durante el proceso de homogeneización y de elaboración de cilindros. Y a las mezclas con aditivo no se les pudo caracterizar igual, es decir, las mezclas AA y BB sí fueron trabajables en todo momento de su manipulación pero las mezclas CC y DD se les caracterizó como no trabajables, ya que perdieron fluidez al incorporar el Polyheed 755 dificultando la manipulación en todo momento en estado fresco.

El ensayo de peso unitario sirvió para caracterizar el concreto de las cuatro mezclas patrón las mezclas A y B presentaron los valores más altos, sobre los  $2200 \text{ kg/m}^3$ , mostrando tener mejor y mayor densidad y por ende ser más homogéneas; así mismo, se definen como un concreto pesado ya que todos superaron los  $1850 \text{ kg/m}^3$  ([http://www.aliven.com.ve/aplicaciones\\_concreliv\\_concre\\_edificaciones.html](http://www.aliven.com.ve/aplicaciones_concreliv_concre_edificaciones.html)) y cuya información es necesario conocer cuando se hacen las consideraciones de carga muerta en los diseños de proyectos estructurales. Las mezclas con aditivo se

caracterizaron como concretos livianos debido a que todos los pesos unitarios resultaron menores que  $1850 \text{ kg/m}^3$ .

El análisis realizado para las diferentes mezclas de concreto en este trabajo especial de grado, permitió evaluar los distintos comportamientos al ir modificando las proporciones de las mezclas por incorporación del aditivo Polyheed 755. En base a estos análisis se puede concluir lo siguiente:

- Todas las probetas provenientes de las mezclas A y AA siempre desarrollaron incrementos de resistencia. En la mezcla A al final de los ensayos no se llegó a obtener la resistencia de diseño. Por su parte la mezcla AA para la primera edad de ensayo ya alcanzaba la resistencia de diseño ( $280 \text{ kgf/cm}^2$ ), manteniendo un incremento de las mismas durante los ensayos restantes. Los mejores resultados fueron obtenidos para la mezcla AA en sus diferentes edades de ensayo, lo cual se observa en la Gráfica 18. Se puede afirmar que el aditivo funcionó muy bien en la reducción de agua, en la trabajabilidad y en el aporte de resistencia para las edades de ensayo evaluadas.
- Las probetas provenientes de la mezcla B siempre desarrollaron incrementos de resistencias siendo mucho mejores que en la mezcla A, aun cuando el agregado empleado fue el canto rodado el cual se confinó en la mezcla por su geometría aportando la homogeneidad necesaria que satisfizo las resistencias alcanzadas, mientras que valores menores de resistencia fueron obtenidos en A donde se empleo la piedra picada como agregado.

En los resultados obtenidos en las probetas de BB, fue notable la reducción en la resistencia (ver gráfico N° 19) respecto a la patrón, el cual no cumplió con lo estipulado, manteniendo para el último ensayo de 28 días resistencias que aún estaban por debajo de la resistencia de diseño. Este comportamiento no deseado puede ser atribuido a la falta de adherencia entre el agregado grueso y la mezcla cementante, lo cual es respaldado por la alta fluidez que mostro la mezcla durante

su preparación, arrojando los valores más altos de trabajabilidad en toda la investigación elaborada facilitando el proceso de mezclado y elaboración de cilindros. Esto permite señalar que para este caso el aditivo resto resistencia a la mezcla cementante ocasionando la baja adherencia determinada en su plano de falla.

- Las mezclas A y B, patrón, fueron las que presentaron mejor comportamiento en todo el estudio. El aditivo Polyheed 755 presento un comportamiento óptimo en la mezcla AA a diferencia de la mezcla BB que no alcanzo la resistencia de diseño.
- Todos los cilindros pertenecientes a la mezcla C y CC no llegaron a alcanzar la resistencia de diseño aún cuando siempre desarrollaron incrementos de resistencias por cada tipo mezcla a lo largo de la ejecución de los ensayos, y a su vez la mezcla con aditivo apporto valores mayores de resistencia que la patrón. Para estos ensayos hubo dificultad en el enrasado y en el proceso de mezclado como se observo en sus bajos valores de trabajabilidad, complicando la homogeneización de la mezcla, el proceso de compactación y enrasado por tratarse de arena amarilla la cual no aporta una resistencia que beneficie la dureza de la matriz de cemento.

Para todos los cilindros elaborados de ambas mezclas siempre se evidenció una baja adherencia del canto rodado con la matriz cementante constituida por arena amarilla como ya se ha indicado.

- Todas las probetas que formaron parte de la mezcla D y DD, tuvieron el mismo comportamiento que las mezclas de C y CC; siempre demostraron incrementos de resistencia en cada tipo de mezcla. En tal sentido, se obtuvo mayor resistencia cuando se incorporo el aditivo e igualmente el agregado grueso se desprendió de la matriz de cemento dejando a ésta misma como un elemento de baja resistencia, aunque sus curvas de resistencia fueron las más bajas de todas las mezclas estudiadas (ver gráfico N° 21).

Las mezclas D y DD experimentaron baja adherencia ya que la arena amarilla no contribuyo a desarrollar una matriz cementante de alta resistencia.

Se puede indicar que el aditivo como reductor de agua no resultó compatible con este agregado fino porque es altamente absorbente de moléculas de agua a pesar de

que ese factor se controló en el diseño de mezcla. Así mismo, se obtuvo que estas mezclas resultaron ser las más bajas en los valores de asentamiento en comparación con el resto de las muestras diseñadas como se observa en el Gráfico 1.

- Se puede concluir que el aditivo logra incrementar efectivamente la resistencia en mezclas compuestas por cemento portland tipo I, agua corriente, piedra picada y arena lavada tanto a corto plazo como a largo plazo. Se puede concluir que la mejor combinación donde el aditivo Polyheed 755 desarrolla sus funciones técnicas, es en la combinación diseñada para la mezcla AA, donde se obtuvieron los mejores valores de trabajabilidad y el mejor comportamiento al aplicar la reducción de agua.

En las combinaciones con arena amarilla y agregado grueso bien sea piedra picada o canto rodado, también se puede emplear este aditivo pero únicamente para obras civiles del tipo ornamental o con resistencias menores a  $100 \text{ Kg/cm}^2$ .

En cuanto a las recomendaciones se puede empezar por establecer mejores controles de calidad de los agregados, ya que estos donde se encuentran almacenados, por lo general, le son arrojados desperdicios como madera, fragmentos de bloques, fragmentos de rocas, materia orgánica y cantidades de finos de diferentes agregados. Todo esto descontrola los parámetros que se intentan fijar en el diseño mezcla, lo que se traduce en resistencias defectuosas, ya que estos finos adicionales están absorbiendo agua que forma parte de  $\alpha = a/C$ . Otro parámetro a cuidar y medir durante el diseño es la humedad de los agregados, ya que esta puede variar en un lapso de tiempo cualquiera afectando el contenido de agua que se requiere por diseño; así como también darle las mismas condiciones de almacenamiento a todos los agregados y a todas las mezclas que se deseen elaborar, para mantener las mismas condiciones atmosféricas.

Se puede mencionar que la arena amarilla es un agregado que no se recomienda emplear en mezclas de concreto en las que se esperen altas resistencias, motivado a



su fragilidad como mezcla endurecida y a la poca adherencia al agregado grueso, además de su difícil proceso de mezclado por la alta absorción que es característica de este tipo de agregado fino que contiene material arcilloso. Es por ello que se sugiere emplear sólo para obras ornamentales.

Se sugiere efectuar estudios del tiempo de fraguado a la pasta de cemento con aditivo Polyheed 755, basándose en que todas las mezclas de concreto se les observo que el endurecimiento sucedía de forma tradicional como si no se estuviese empleando un aditivo reductor de tiempo de fraguado.

## REFERENCIAS

Porrero S., Joaquín; Ramos R., Carlos; Grases G., José; Velazco, Gilberto J. (1999), “Manual del concreto estructural”, 3ra edición, Editorial Sidetur, Caracas.

### **NORMAS VENEZOLANAS.**

Norma COVENIN 356-1994, “Aditivos químicos utilizados en el concreto. Especificaciones. (4ta revisión)”.

Norma COVENIN 255-1998, “Agregados. Determinación de la composición granulométrica. (1ra revisión)”.

Norma COVENIN N° 354-2001 “Concreto. Método para mezclado en el laboratorio”.

Norma COVENIN N° 339-1994 “Concreto. Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams”.

Norma COVENIN N° 338-2002 “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”.

Norma COVENIN N° 1681-1980 “Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto”.

Norma COVENIN N° 1609-1980 “Método de ensayo para la determinación de la dureza esclerometría en superficies de concreto endurecidas”.

### **REFERENCIAS ELECTRÓNICAS**

Tesis consultada el 03-02-2012 en:

<http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/handle/123456789/1471>

Citar con: <http://hdl.handle.net/123456789/1471>

Ficha técnica consultada el 03-02-2012 en:

<http://www.balbeckcr.com/pdf/aditivos/aditivos/Polyheed-755/Polyheed-755.pdf>

Consultada el 22-02-2012 en:

<http://www.slideshare.net/alhex/agregados-del-hormigon>

Consultada el 22-02-2012 en:

<http://www.arqhys.com/contenidos/concreto-ensayos.html>

Consultada el 22-02-2012 en:

<http://www.cemex.com/ES/ProductosServicios/TiposAgregados.aspx>

Consultada el 22-02-2012 en:

<http://www.canalconstruccion.com/hormigon-polimero-polimerico.html>

Consultada el 23-02-2012 en:

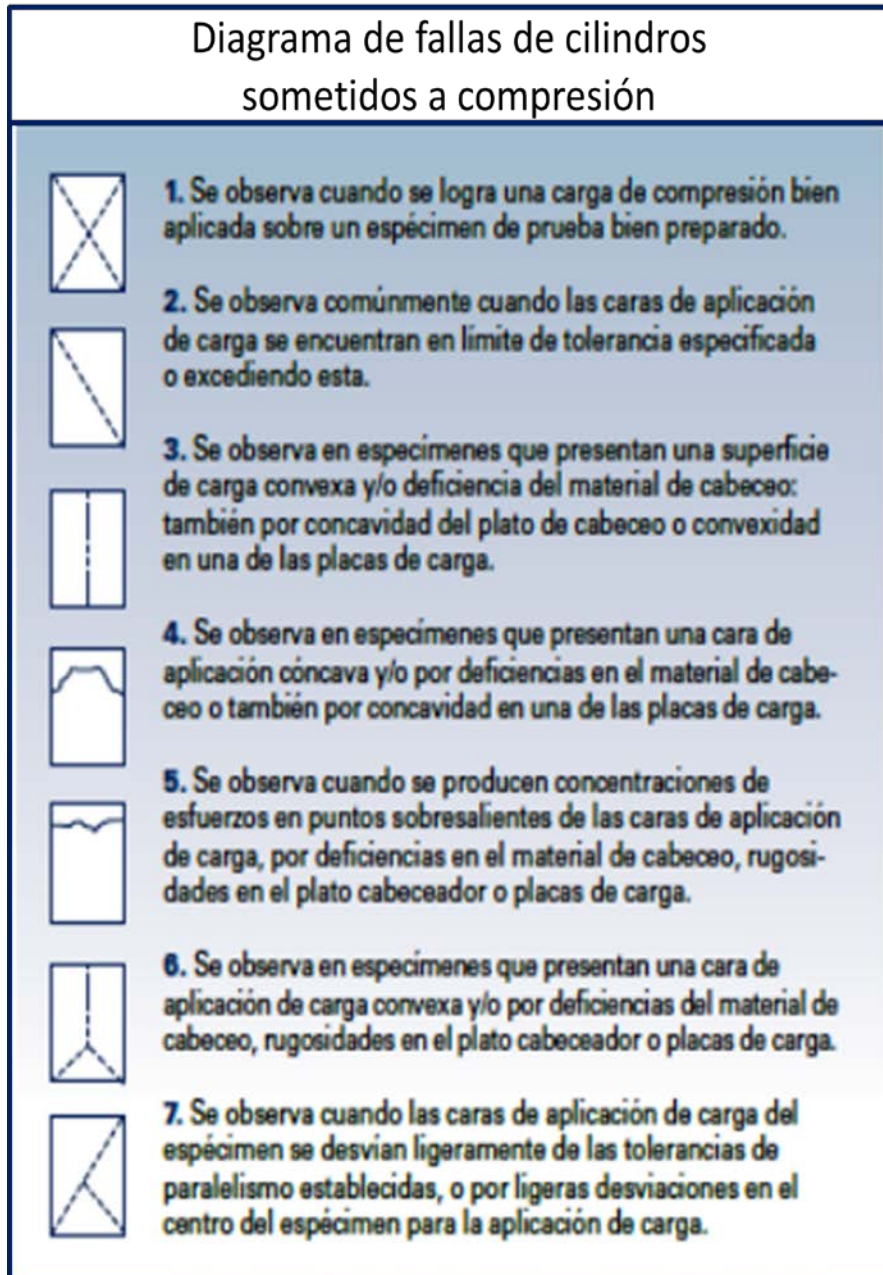
<http://es.scribd.com/doc/22864133/Agregados-Para-Concreto>

Consultada el 14-10-2012 en:

[http://www.aliven.com.ve/aplicaciones\\_concreliv\\_concre\\_edificaciones.html](http://www.aliven.com.ve/aplicaciones_concreliv_concre_edificaciones.html)

## ANEXOS.

### Anexo 1: Diagrama de Fallas de Cilindros sometidos a Compresión



Fuente: <http://www.imcyc.com/ct2008/nov08/PROBLEMAS.pdf>

Anexo 2: Pesaje de los materiales para elaborar los diseños de mezclados



Anexo 4: Medición del Asentamiento mediante el Cono de Abrams en el Concreto



Anexo 3: Mezclado del Concreto Fresco



Anexo 5: Proceso de Compactación a cilindros estandarizados de concreto



Anexo 6: Proceso de Curado de los Cilindros en la Piscina con Adición del Cal



Anexo 7: Medición de Esclerometría a cilindros estandarizados de concreto



Anexo 9: Pesaje de los Cilindros de Concreto



Anexo 8: Medición del Pulso Ultrasónico en los cilindros



Anexo 10: Ensayo de Compresión Pura a las probetas estandarizadas





Anexo 11: falla del cilindro 1 de la mezcla A28



Anexo 13: falla del cilindro 1 de la mezcla B14



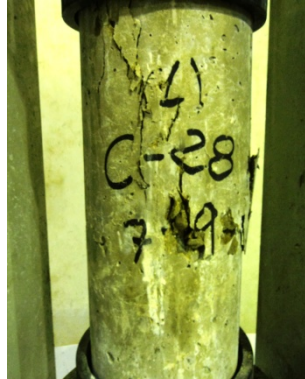
Anexo 12: falla del cilindro 1 de la mezcla AA14



Anexo 14: falla del cilindro 1 de la mezcla BB28



Anexo 15: falla del cilindro 1 de la mezcla C28



Anexo 17: falla del cilindro 1 de la mezcla D14



Anexo 16: falla del cilindro 1 de la mezcla CC28



Anexo 18: falla del cilindro 1 de la mezcla DD14





## Anexo 19: Tabla de excel para el diseño de mezcla

Cemento:				Portland Tipo I	1 combinacion				patron	Patron x Cilindro	probetas	Probetas x Cilindro					
Agregado grueso:				Piedra Picada	Tamaño Max	1"	COMPONENTE	PESO kgf/m <sup>3</sup>	VOLUMEN L/m <sup>3</sup>	Cantidad (kg)	CANTIDAD x Combinacion	Kg	Kg	Kg	Kg		
Agregado fino:				Arena Natural	#30	Cemento	408.96	122.69	44.87	1.1	sacos	22.43	2.49	22.43	2.49		
Aditivo:				Polyheed 755		Agua	200.39	200.39	21.98	22	Litros	10.99	1.22	9.23	1.03		
Resistencia:				280	Kgf/cm <sup>2</sup>	Arena Natural	875.59	330.41	96.06	96	Kg	48.03	5.34	48.03	5.34		
Fcr = Fc + 32 =				312	Kgf/cm <sup>2</sup>	Grueso	875.59	330.41	96.06	96	Kg	48.03	5.34	48.03	5.34		
						Aire	0.00	16.10	0.00								
							2360.52	1000.00									
Fcr = Fc + 32 =				312	Kgf/cm <sup>2</sup>	tabla 6.5 control de calidad intermedio de 210 a 250					a/c	0.49					
La tabla 6.5 del manual advierte ver seccion 7.3 del manual por aditivo reductor o plastificante (control de Calidad intermedio)						volumen del cilindro(m <sup>3</sup> )	0.0053		(m <sup>3</sup> )								
Fcr =	312	Kgf/cm <sup>2</sup>															
α =	0.49			Para 28d edad normativa. Figura 6.2													
K <sub>R</sub> =	1.00			Tamaño maximo 1 pulg													
K <sub>A</sub> =	1.00																
α <sub>c</sub> = α * K <sub>R</sub> * K <sub>A</sub> =	0.49			a Corregido, Seccion 6.5.2													
α <sub>o</sub> =	0.49			Tome el calculado													
T =	6 y 11	7.5 cm															
C =	117,2*( <sup>10.16</sup> )/(a <sup>1.3</sup> ) =	408.96	kgf/m <sup>3</sup>	Formula 6.10													
C <sub>1</sub> =	1.00			1 pulgada. Tabla 6.11													
C <sub>2</sub> =	1.00			Triturado, arena natural. Tabla 6.12													
Cc = C * C <sub>1</sub> * C <sub>2</sub> =	408.96	kgf/m <sup>3</sup>		Seccion 6.6.2. Cemento corregido													
C <sub>o</sub> = Cc * 0,3 =	122.69	l/m <sup>3</sup>		Seccion 7.7.2													
V = Cc/P =	16.10	l/m <sup>3</sup>		Volumen de aire atrapado.													
a = Cc * α =	200.39	kgf/m <sup>3</sup>	l/m <sup>3</sup>	Formula 6.1.1. (P tamaño maximo=1"=25.4mm)													
A+G = $V_{(A+G)}(1000-0,3*C-a-V)$ =	1751.17	kgf/m <sup>3</sup>		Formula 6.14b. γ= 2,65													
A = β * (A + G) =	875.59	kgf/m <sup>3</sup>		Formula 6,1b. β= 0,5													
VolA = A/2,65 =	330.41	l/m <sup>3</sup>															
por diferencia																	
G = (A + G) - A =	875.59	kgf/m <sup>3</sup>															
VolG = G/2,65 =	330.41	l/m <sup>3</sup>															