

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EFECTOS DEL ADITIVO POLYHEED 755 EN MEZCLAS DE CONCRETO ELABORADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO I, TIPO III, CPCA1 Y CPCA2 CON RESISTENCIA DE 280 kgf/cm².

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por las Brs:

Duarte Castro, Anny Marleidy.

Manrique Millán, Elsa Magally.

Para optar al Título de

Ingeniero Civil.

Caracas, 2013

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EFECTOS DEL ADITIVO POLYHEED 755 EN MEZCLAS DE CONCRETO ELABORADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO I, TIPO III, CPCA1 Y CPCA2 CON RESISTENCIA DE 280 kgf/cm².

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Cesar Peñuela.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por las Brs:
Duarte Castro, Anny Marleidy.
Manrique Millán, Elsa Magally.
Para optar al Título de
Ingeniero Civil.

Caracas, 2013

ACTA

El día **09-05-2013** se reunió el jurado formado por los profesores:

Cesar Peñuela.

Nelson Camacho.

Iván Rodríguez.

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: "EFECTOS DEL ADITIVO POLYHEED 755 EN MEZCLAS DE CONCRETO ELABORADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO I, TIPO III, CPCA1 Y CPCA2 CON RESISTENCIA DE 280 kgf/cm²".

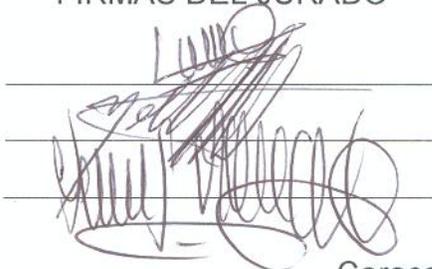
Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**.

Una vez oída la defensa oral que las bachilleres hicieron de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

| NOMBRE | CALIFICACIÓN | |
|------------------------------------|--------------|--------|
| | Números | Letras |
| Br. Duarte Castro, Anny Marleidy. | 20 | VEINTE |
| Br. Manrique Millán, Elsa Magally. | 20 | VEINTE |

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO



Caracas, 09 de mayo del 2013

Dedicatoria.

*A Dios y a mis padres dedico este
grandioso logro.*

Anny Duarte.

*Dedicado a mis padres, esposo e hija.
Manuel, Gisela, Leonardo y Gabrielita.
Gracias por todo su amor.*

Elsa Manrique.

Agradecimientos.

Agradezco inmensamente a Dios por darme vida y salud y bendecirme siempre en cada paso que doy.

A mi mamá y mi papá, Maryoly y Pablo, porque con su amor me han levantado, porque han tenido paciencia permanente y porque su esfuerzo ha sido trampolín de mis logros, los amo.

A Yolanda, mi abuela, por sus bendiciones diarias, por sus sabias palabras y por hacer de su hogar mi hogar durante estos años.

A Carlos Campos, por el apoyo incondicional, porque su ayuda fue indispensable en el progreso de mi carrera.

A mis hermanos, que de cierta manera me apoyaron y colaboraron en lo necesario.

A mis amigos, que con sus consejos y palabras de aliento, brindaron su mejor apoyo.

A mis compañeros, porque fueron soporte en los logros obtenidos y así como ellos, las personas que laboran dentro de esta institución, su presencia favoreció de manera inevitable el cumplimiento de esta gran meta.

A los profesores, todos, por su gran vocación, porque de ellos obtuve mis conocimientos, y por ser además, ejemplo de ética.

A mi tutor, profesor Cesar Peñuela, por su apoyo y confianza, por ser guía en este trabajo especial de grado y de esa manera ser partícipe de este logro.

A Elsa Manrique, mi compañera, por brindarme su amistad durante años, por ser mi guía y mi impulso en este trayecto, y por su admirable paciencia, muchas gracias, te quiero mucho.

A la Universidad Central de Venezuela, por ser la casa que me dio la oportunidad de prepararme para ser una profesional, en ella viví parte importante de mi vida, donde me enseñó a amar y luchar por las cosas, me siento orgullosa de ser parte de, *la casa que vence las sombras*. Gracias

ANNY MARLEIDY

Agradecimientos.

Ante todo a Dios, por la vida y por ser base y guía en todos mis caminos.

A quienes han luchado toda su vida por darme las mejores oportunidades y me han apoyado con todo su amor para continuar y culminar esta gran etapa de mi vida, a mis padres Manuel y Gisela, los amo.

A mi esposo Leonardo, por darme tu amor, tu apoyo, por ayudarme e incentivar me cada día, por demostrarme que trabajando fuerte y apuntando alto se logran grandes cosas y a mi hija Gabriela, mi princesa hermosa que con su sonrisa al amanecer me ilumina el día y me llena de ganas de trabajar y luchar para hacer de nuestro mundo y futuro el mejor posible, los amo.

A quienes de una u otra forma me han apoyado siempre y constantemente me demuestran su amor, a mi familia, en especial a mi Marjorie a quien quiero como mi hermana, mil gracias.

A mis amigos y compañeros de estudio, a mis amigos que trabajan en la UCV, a todos les agradezco el apoyo incondicional.

A los profesores, a todos, porque de todos adquirí conocimientos académicos y humanos, ustedes son la base de la formación profesional, sin ustedes no habría UCV y no habría meta que lograr.

A mi tutor profesor Peñuela, por ser guía y ejemplo, por su apoyo y por formar parte de un capítulo sumamente importante en nuestra carrera.

A mi compañera Anny Duarte, porque desde el inicio de nuestra carrera conocemos los altos y bajos, y porque este largo camino ha alimentado nuestra amistad desde todo punto de vista, te quiero muchísimo y te agradezco compartir conmigo este reto.

A la Universidad Central de Venezuela, por permitirme aprender y crecer en ella, porque he encontrado en su interior el amor y los conocimientos para emprender un nuevo camino.

Gracias.

ELSA MANRIQUE M.

Duarte C. Anny M.
Manrique M. Elsa M.

**EFFECTOS DEL ADITIVO POLYHEED 755
EN MEZCLAS DE CONCRETO ELABORADAS CON CEMENTO
PORTLAND TIPO I, TIPO III, CPCA1 Y CPCA2 CON
RESISTENCIA DE 280 kgf/cm².**

**Tutor Académico: Prof. Cesar Peñuela. T.E.G. Caracas, U.C.V. Facultad de
Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. 2013, 113 pág.**

Palabras claves: Cemento Portland, Aditivo, Concreto, Propiedades del concreto, Ensayos al concreto.

Resumen. En el presente Trabajo Especial de Grado se realizaron una serie de ensayos a edades distintas (7, 14, 28 días), en mezclas de concreto elaboradas con 4 tipos de cemento (Portland tipo I, tipo III, CPCA1 y CPCA2), siendo un tipo para cada mezcla, con una resistencia de 280 kgf/cm² y agregando aditivo Polyheed 755, con la finalidad de validar cada uno de los resultados arrojados por esta mezcla, compararlas con mezclas patrón y así determinar su comportamiento y las influencias que este aditivo aporta al concreto.

Las mezclas se diseñaron bajo normas COVENIN y las propiedades evaluadas fueron: asentamiento, índice esclerométrico, velocidad de pulso ultrasónico y resistencia a compresión.

Luego de realizar los ensayos, las 4 mezclas obtuvieron buenos resultados, en todas se incrementó la resistencia en el tiempo, alcanzando un máximo valor en 303 kgf/cm². Queda demostrado que el aditivo cumple exitosamente su objetivo principal, aunque se recomienda su uso en mezclas de concreto elaboradas con cemento Portland tipo I y tipo III ya que en comparación con las mezclas elaboradas con cemento CPCA1 y CPCA2, las primeras obtuvieron mejores resultados.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I..... | 2 |
| I.1- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 2 |
| I.2- OBJETIVOS..... | 4 |
| I.2.1 Objetivo General..... | 4 |
| I.2.2 Objetivos Específicos. | 4 |
| I.3- APORTES | 5 |
| CAPÍTULO II | 6 |
| II.1- MARCO TEÓRICO..... | 6 |
| II.1.1 Antecedentes. | 6 |
| II.1.2 Cemento Portland..... | 7 |
| II.1.2.1 Clasificación del cemento portland..... | 7 |
| II.1.3 Producción del cemento Portland..... | 8 |
| II.1.4 Agregados..... | 11 |
| II.1.5 Aditivos. | 13 |
| II.1.5.1 Clasificación de los aditivos: según la norma COVENIN 356:1994..... | 14 |
| II.1.5.2 Aditivo Polyheed 755..... | 15 |
| II.1.6 Concreto. | 16 |
| II.1.7 Diseño de mezclas..... | 16 |
| II.1.8 La ley de Abrams..... | 18 |
| II.1.9 Relación triangular..... | 19 |
| II.1.10 Concreto en estado fresco..... | 19 |
| II.1.11 Reología del concreto..... | 19 |
| II.1.11.1 Fluidez..... | 20 |
| II.1.11.2 Compactibilidad..... | 20 |
| II.1.11.3 Estabilidad a la segregación..... | 20 |
| II.1.12 Trabajabilidad..... | 20 |
| II.1.12.1 Cono de Abrams..... | 21 |

| | |
|---|----|
| II.1.13 Concreto en estado endurecido..... | 22 |
| II.1.13.1 Proceso de curado..... | 22 |
| II.1.13.2 Inspección visual..... | 22 |
| II.1.13.3 Peso unitario..... | 23 |
| II.1.13.4 Velocidad de pulso ultrasónico..... | 23 |
| II.1.13.5 Esclerometría..... | 24 |
| II.1.13.6 Resistencias mecánicas..... | 24 |
| II.1.13.6.1 Resistencia a la compresión..... | 25 |
| CAPÍTULO III..... | 26 |
| III.1- MÉTODO..... | 26 |
| III.1.1 Caracterización de los agregados..... | 27 |
| III.1.1.1 Distribución granulométrica de los tamaños de partículas de agregados finos y gruesos..... | 27 |
| III.1.1.2 Determinación de la densidad y la absorción del agregado grueso..... | 28 |
| III.1.1.3 Determinación de la densidad y la absorción del agregado fino..... | 29 |
| III.1.2 Diseño de las mezclas..... | 30 |
| III.1.3 Preparación de las mezclas..... | 35 |
| III.1.3.1 Mezclado de material..... | 35 |
| III.1.3.2 Colocación del material en las probetas y curado..... | 36 |
| III.1.4 Caracterización del concreto fresco..... | 37 |
| III.1.4.1 Medición del asentamiento con el Cono de Abrams..... | 37 |
| III.1.4.2. Medición del Peso Unitario..... | 38 |
| III.1.5 Caracterización del concreto endurecido..... | 39 |
| III.1.5.1 Peso unitario..... | 39 |
| III.1.5.2 Determinación de la velocidad de pulso ultrasónico..... | 40 |
| III.1.5.3 Determinación del número de rebote o ensayo esclerométrico..... | 41 |
| III.1.5.4 Ensayo a compresión de cilindros de concreto..... | 43 |
| III.1.6 Comparación con mezclas patrones..... | 44 |
| CAPÍTULO IV..... | 45 |
| IV.1- RESULTADOS..... | 45 |

| | |
|---|----|
| IV.1.1 Granulometría, peso específico y absorción. | 45 |
| IV.1.1.1 Agregado Grueso. | 45 |
| IV.1.1.2 Agregado Fino. | 47 |
| IV.1.2 Diseño de mezclas. | 48 |
| IV.1.2.1 Dosificaciones de cada mezcla de concreto sin aditivo (patrón). | 49 |
| IV.1.2.2 Dosificaciones de cada mezcla de concreto con aditivo. | 49 |
| IV.1.3 Ensayos de mezclas en estado fresco. | 50 |
| IV.1.3.1 Asentamiento (T). | 50 |
| IV.1.3.2 Peso unitario. | 50 |
| IV.1.4 Ensayos de mezclas en estado endurecido. | 51 |
| IV.1.4.1 Índice esclerométrico. | 51 |
| IV.1.4.1.1 Índice esclerométrico en mezclas patrón. | 51 |
| IV.1.4.1.2 Índice esclerométrico en mezclas con aditivo. | 52 |
| IV.1.4.2 Peso unitario. | 53 |
| IV.1.4.2.1 Peso unitario de mezclas patrón. | 53 |
| IV.1.4.2.2 Peso unitario de mezclas con aditivo. | 54 |
| IV.1.4.3 Velocidad de propagación de ondas en mezclas de concreto. | 57 |
| IV.1.4.3.1 Velocidad de pulso ultrasónico en mezclas patrón. | 57 |
| IV.1.4.3.2 Velocidad de pulso ultrasónico en mezclas con aditivo. | 58 |
| IV.1.4.4 Resistencia a la compresión. | 61 |
| IV.1.4.4.1 Resistencia a la compresión de mezclas patrón. | 61 |
| IV.1.4.4.2 Resistencia a la compresión de mezclas con aditivo. | 62 |
| IV.1.5 Comparación de resultados. | 65 |
| IV.1.5.1 Asentamiento. | 65 |
| IV.1.5.2 Índice esclerométrico. | 66 |
| IV.1.5.3 Velocidad de pulso ultrasónico. | 74 |
| IV.1.5.4 Resistencia a la compresión. | 82 |
| CAPÍTULO V | 86 |
| V.1- ANÁLISIS DE RESULTADOS | 86 |
| V.1.1 Mezclas en estado fresco. | 86 |

| | |
|---|-----|
| V.1.1.1 Asentamiento..... | 86 |
| V.1.1.2 Peso unitario..... | 86 |
| V.1.2 Mezclas en estado endurecido..... | 87 |
| V.1.2.1 Peso Unitario..... | 87 |
| V.1.2.2 Índice esclerométrico..... | 88 |
| V.1.2.3 Velocidad de pulso ultrasónico..... | 90 |
| V.1.2.4 Resistencia a la compresión..... | 91 |
| CAPÍTULO VI..... | 97 |
| VI.1- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 97 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 102 |
| ANEXOS..... | 105 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Granulometría Piedra Picada. | 45 |
| Tabla 2: Peso Específico y Absorción Piedra Picada..... | 46 |
| Tabla 3: Granulometría Arena Lavada..... | 47 |
| Tabla 4: Peso Específico y Absorción Arena Lavada..... | 48 |
| Tabla 5: Dosificación de la mezcla E, F, G y H..... | 49 |
| Tabla 6: Dosificación de la mezcla EE, FF, GG y HH. | 49 |
| Tabla 7: Asentamiento en mezclas de concreto..... | 50 |
| Tabla 8: Peso unitario en mezclas patrón..... | 50 |
| Tabla 9: Peso unitario en mezclas con aditivo..... | 50 |
| Tabla 10: Índice esclerométrico promedio por probeta, sin aditivo..... | 51 |
| Tabla 11: Índice esclerométrico promedio por edad, sin aditivo..... | 51 |
| Tabla 12: Índice esclerométrico promedio por probeta, con aditivo. | 52 |
| Tabla 13: Índice esclerométrico promedio por edad, con aditivo..... | 52 |
| Tabla 14: Peso unitario mezclas patrón a los 7 días. | 53 |
| Tabla 15: Peso unitario mezclas patrón a los 14 días..... | 53 |
| Tabla 16: Peso unitario mezclas patrón a los 28 días..... | 54 |
| Tabla 17: Peso unitario mezclas con aditivo a los 7 días..... | 54 |
| Tabla 18: Peso unitario mezclas con aditivo a los 14 días..... | 55 |
| Tabla 19: Peso unitario mezclas con aditivo a los 28 días..... | 55 |
| Tabla 20: Tabla resumen peso unitario en estado endurecido. | 56 |
| Tabla 21 Pulso ultrasónico en mezclas patrón a los 7 días. | 57 |
| Tabla 22: Pulso ultrasónico en mezclas patrón a los 14 días..... | 57 |
| Tabla 23: Pulso ultrasónico en mezclas patrón a los 28 días..... | 58 |
| Tabla 24: Pulso ultrasónico en mezclas con aditivo a los 7 días. | 58 |
| Tabla 25: Pulso ultrasónico en mezclas con aditivo a los 14 días..... | 59 |
| Tabla 26: Pulso ultrasónico en mezclas con aditivo a los 28 días. | 59 |
| Tabla 27: Tabla resumen pulso ultrasónico. | 60 |
| Tabla 28: Resistencia a la compresión mezcla patrón a los 7 días..... | 61 |

| | |
|---|----|
| Tabla 29: Resistencia a la compresión mezcla patrón a los 14 días..... | 61 |
| Tabla 30: Resistencia a la compresión mezcla patrón a los 28 días..... | 62 |
| Tabla 31: Resistencia a la compresión mezcla con aditivo a los 7 días..... | 62 |
| Tabla 32: Resistencia a la compresión mezcla con aditivo a los 14 días..... | 63 |
| Tabla 33: Resistencia a la compresión mezcla con aditivo a los 28 días..... | 63 |
| Tabla 34: Tabla resumen resistencia a la compresión..... | 64 |
| Tabla 35: Asentamientos obtenidos en cada mezcla de concreto. | 65 |
| Tabla 36: Promedio de Índice esclerométrico y esfuerzo de la mezcla patrón E para las diferentes edades..... | 66 |
| Tabla 37: Promedio de Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo EE para las diferentes edades..... | 67 |
| Tabla 38: Promedio de Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla patrón F para las diferentes edades..... | 68 |
| Tabla 39: Promedio de Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo FF para las diferentes edades..... | 69 |
| Tabla 40: Promedio de Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla patrón G para las diferentes edades..... | 70 |
| Tabla 41: Promedio de Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo GG para las diferentes edades..... | 71 |
| Tabla 42: Promedio de Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla patrón H para las diferentes edades..... | 72 |
| Tabla 43: Promedio de Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo HH para las diferentes edades..... | 73 |
| Tabla 44: Promedio de Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla patrón E para las diferentes edades. | 74 |
| Tabla 45: Promedio de Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo EE para las diferentes edades..... | 75 |
| Tabla 46: Promedio de Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla patrón F para las diferentes edades..... | 76 |

| | |
|---|----|
| Tabla 47: Promedio de Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo FF para las diferentes edades..... | 77 |
| Tabla 48: Promedio de Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla patrón G para las diferentes edades..... | 78 |
| Tabla 49: Promedio de Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo GG para las diferentes edades..... | 79 |
| Tabla 50: Promedio de Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla patrón H para las diferentes edades..... | 80 |
| Tabla 51: Promedio de Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo HH para las diferentes edades..... | 81 |
| Tabla 52: Esfuerzos en mezcla patrón E y mezcla con aditivo EE para las diferentes edades..... | 82 |
| Tabla 53: Esfuerzos en mezcla patrón F y mezcla con aditivo FF para las diferentes edades..... | 83 |
| Tabla 54: Esfuerzos en mezcla patrón G y mezcla con aditivo GG para las diferentes edades..... | 84 |
| Tabla 55: Esfuerzos en mezcla patrón H y mezcla con aditivo HH para las diferentes edades..... | 85 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1: Granulometría Piedra Picada. | 46 |
| Gráfico 2: Granulometría Arena Lavada..... | 47 |
| Gráfico 3: Comparación de resultados de los Asentamientos obtenidos en mezclas de concreto con y sin aditivo. | 65 |
| Gráfico 4: Curva de relación Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla patrón E a los 7, 14 y 28 días. | 66 |
| Gráfico 5: Curva de relación Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo EE a los 7, 14 y 28 días. | 67 |
| Gráfico 6: Curva de relación Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo F a los 7, 14 y 28 días. | 68 |
| Gráfico 7: Curva de relación Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo FF a los 7, 14 y 28 días. | 69 |
| Gráfico 8: Curva de relación Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo G a los 7, 14 y 28 días. | 70 |
| Gráfico 9: Curva de relación Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo GG a los 7, 14 y 28 días. | 71 |
| Gráfico 10: Curva de relación Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo H a los 7, 14 y 28 días. | 72 |
| Gráfico 11: Curva de relación Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo HH a los 7, 14 y 28 días. | 73 |
| Gráfico 12: Curva de relación Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla patrón E a los 7, 14 y 28 días. | 74 |
| Gráfico 13: Curva de relación Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo EE a los 7, 14 y 28 días. | 75 |
| Gráfico 14: Curva de relación Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla patrón F a los 7, 14 y 28 días. | 76 |
| Gráfico 15: Curva de relación Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo FF a los 7, 14 y 28 días. | 77 |

| | |
|---|----|
| Gráfico 16: Curva de relación Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla patrón G a los 7, 14 y 28 días..... | 78 |
| Gráfico 17: Curva de relación Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo GG a los 7, 14 y 28 días. | 79 |
| Gráfico 18: Curva de relación Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla patrón H a los 7, 14 y 28 días..... | 80 |
| Gráfico 19: Curva de relación Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo HH a los 7, 14 y 28 días. | 81 |
| Gráfico 20: Curva comparativa de Esfuerzos en mezcla patrón E y mezcla con aditivo EE a los 7, 14 y 28 días. | 82 |
| Gráfico 21: Curva comparativa de Esfuerzos en mezcla patrón F y mezcla con aditivo FF a los 7, 14 y 28 días. | 83 |
| Gráfico 22: Curva comparativa de Esfuerzos en mezcla patrón G y mezcla con aditivo GG a los 7, 14 y 28 días..... | 84 |
| Gráfico 23: Curva comparativa de Esfuerzos en mezcla patrón H y mezcla con aditivo HH a los 7, 14 y 28 días..... | 85 |

ÍNDICE DE IMÁGENES

| | |
|---|----|
| Fig. 1. Fabricación del cemento. | 11 |
| Fig. 2. Cono de Abrams. Medición del asentamiento. | 21 |
| Fig. 3. Tamizado para el agregado grueso. | 28 |
| Fig. 4. Pesaje de los materiales. | 29 |
| Fig. 5. Mezcladora de concreto, 110 L de capacidad. | 35 |
| Fig. 6. Compactación de la mezcla en cilindros normalizados. | 36 |
| Fig. 7. Enrazado de probetas estandarizadas. | 36 |
| Fig. 8. Piscina con adición de cal para curado de probetas. | 37 |
| Fig. 9. Piscina con adición de cal para curado de probetas. | 37 |
| Fig. 10. Medición del asentamiento con el cono de Abrams. | 38 |
| Fig. 11. Pesaje de la tara normalizada. | 39 |
| Fig. 12. Pesaje de la tara normalizada más el concreto en estado fresco. | 39 |
| Fig. 13. Pesaje de las probetas en estado endurecido. | 40 |
| Fig. 14. Medición del pulso ultrasónico en los cilindros. | 40 |
| Fig. 15. Medición de la Esclerometría en los cilindros. | 42 |
| Fig. 16. Ensayo de compresión a los cilindros de concreto. | 43 |

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la construcción en Venezuela se ha incrementado en los últimos años, lo que nos lleva a todos los que participamos en esta área a optimizar y mejorar los procesos involucrados y por ende los productos utilizados en los mismos.

El concreto forma parte fundamental en la construcción y se obtiene de diversas formas y fabricantes en el país, es por ello que para mejorar su utilidad en cuanto a la resistencia, aprovecharlo al máximo en su traslado o alguna otra propiedad que el constructor desee modificar se recurre a la aplicación de diversos aditivos que mejoren o ayuden a que esto se cumpla.

En el país existe diversidad de aditivos de distintos fabricantes, éstos cumplen ciertas funciones de acuerdo a su tipo y dosificación, para ello la casa fabricante realiza pruebas de calidad a fin de verificar su rendimiento, pero conviene destacar que dichos aditivos (en nuestro caso Polyheed 755), actúan de manera diferente para distintas mezclas variantes en su diseño o en sus materiales componentes, arrojando resultados que a través de ensayos en laboratorio queremos comprobar.

En la actualidad existen ciertos inconvenientes y dificultades para la obtención de materiales de la construcción, entre ellos el cemento, esto obliga a las constructoras a adaptarse al mercado existente, pudiendo ser esto un factor que influye en las propiedades de las mezclas de concreto que se obtiene y que se utilizan en la actualidad en nuestro país.

Con todas estas situaciones surge la interrogante de cuál sería el comportamiento del aditivo con algunos de los cementos más utilizados en la actualidad y si este tiene o no, la acción esperada en la mezcla de concreto.

El presente Trabajo Especial de Grado presenta diversos ensayos y sus respectivos resultados en mezclas de concreto elaboradas con 4 tipos de cemento, aditivo Polyheed 755 y una resistencia de diseño de 280 kg/cm^2 .

CAPÍTULO I

I.1- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria de la construcción reconoce la importancia que tiene un buen concreto para fomentar su desarrollo, razón por la cual en las últimas décadas se ha visto en la necesidad de evolucionar para responder desde un ámbito técnico-económico a los requerimientos de la actualidad, lo cual ha creado la necesidad de buscar procedimientos y materiales alternos que beneficien y reduzcan los costos que se han ido produciendo por la alta demanda del concreto.

Ante todo esto se han venido llevando a cabo ensayos con diferentes mezclas de concreto, a fin de mejorar cada una de sus características, como por ejemplo su resistencia y trabajabilidad, tratando de cumplir con los requerimientos establecidos y dosificaciones adecuadas, para la construcción segura de los diferentes proyectos y/o edificaciones. Por consiguiente, las características de los componentes a emplear deberán ser aquellas que beneficien el desarrollo de ciertas propiedades del concreto y que unidas a una proporción adecuada, así como a un óptimo mezclado, consolidación, acabado y curado, den al concreto endurecido la característica de un material de construcción resistente, durable y que requiere poco mantenimiento.

Entre los componentes que a través de los años han tenido una creciente evolución gracias a la nueva tecnología están los aditivos químicos, estos productos son aplicados al concreto para modificar y mejorar sus características, bien sea en estado fresco o en estado endurecido.

Los aditivos tienen especificaciones que los caracterizan según un determinado uso regido por la norma venezolana COVENIN 356-1994. Existen aditivos reductores de agua, retardadores, aceleradores, reductores de agua y retardadores, reductores de agua y aceleradores, reductores de agua de alto rango, reductores de agua de alto rango retardadores y reductores de agua de alto rango aceleradores.

Aunque podemos obtener un resultado óptimo en una mezcla de concreto con las especificaciones que ya están determinadas en el producto, no sabemos cuál es el comportamiento específico con un determinado tipo de cemento y agregado, y tampoco podemos asegurar si las propiedades de la mezcla varían de manera beneficiosa o perjudicial.

Actualmente en Venezuela nos encontramos en una situación en la que es difícil conseguir un tipo de cemento específico y se debe trabajar con los productos existentes en el mercado. Al no conocer con detalle el comportamiento de un aditivo que se oferta en el mercado de manera novedosa con una determinada mezcla de concreto, nos preguntamos si se mejoran o no sus características y si se obtienen o no los resultados esperados.

Por tal razón, esta investigación busca obtener evidencia experimental de la influencia del aditivo Polyheed 755 en la trabajabilidad, peso unitario, dureza, ultrasonido y resistencia, de las mezclas de concreto elaboradas con (4) cuatro tipos de cemento y verificar que se cumplan con las especificaciones normativas.

Se llevarán a cabo una serie de ensayos en mezclas de concreto patrón y con aditivo Polyheed 755, con la finalidad de validar cada uno de los resultados, comparar entre ellos, determinar cuál es el comportamiento de las mezclas, cuáles son las influencias que este aditivo aporta al concreto y determinar la factibilidad del aditivo con respecto a cada tipo de cemento a utilizar.

I.2- OBJETIVOS

I.2.1 Objetivo General.

Comprobar el efecto de utilizar el aditivo Polyheed 755 en mezclas de concreto elaboradas con cemento Portland tipo I, tipo III, CPCA1 y CPCA2.

I.2.2 Objetivos Específicos.

1. Diseñar mezclas para concreto de resistencia 280 kgf/cm^2 con cemento Portland tipo I, tipo III, CPCA1 y CPCA2, incluyendo aditivo Polyheed 755.
2. Caracterizar el comportamiento de las mezclas de concreto con aditivo Polyheed 755 en estado fresco, tomando en cuenta los parámetros de asentamiento y peso unitario.
3. Caracterizar el comportamiento de las mezclas de concreto con aditivo Polyheed 755 en estado endurecido, tomando en cuenta: peso unitario, velocidad de pulso ultrasónico, esclerometría y resistencia a compresión.
4. Contrastar los resultados obtenidos con valores de ensayos en mezclas para concreto de resistencia 280 kgf/cm^2 con cemento Portland tipo I, tipo III, CPCA1 y CPCA2 sin aditivo.
5. Hacer recomendaciones con respecto al uso del aditivo Polyheed 755 en mezclas para concreto de resistencia 280 kgf/cm^2 con cemento Portland tipo I, tipo III, CPCA1 y CPCA2.

I.3- APORTES

Determinar la influencia del aditivo Polyheed 755 en las propiedades de las mezclas de concreto constituye un beneficio, porque:

De acuerdo a la dosis utilizada, cada mezcla de concreto tendrá un comportamiento que podría ser factible o no para el usuario, por ende se puede determinar de forma conveniente cual es el tipo de cemento a utilizar para obtener el concreto que se requiere para cierta actividad.

Se puede identificar la acción del aditivo en cada mezcla de concreto, observar si tienen igual o diferente comportamiento y comparar con las especificaciones del fabricante para verificar que cumplan con las especificaciones normativas.

Estos resultados ayudan a ampliar los conocimientos en cuanto a la acción del aditivo en las mezclas de concreto con determinados tipos de cemento, representando una ventaja para la industria de la construcción, ya que esto refuerza las especificaciones del aditivo y ayuda a optimizar las mezclas de concreto en función de los materiales existentes en el mercado.

La determinación de las características del aditivo Polyheed 755 permite ampliar el conocimiento adquirido en investigaciones llevadas a cabo en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela con respecto a mezclas de concreto y sus propiedades.

Estos estudios representan un aporte a la sociedad ya que optimizan los procesos de construcción en nuestro país, aun más en esta etapa de desarrollo y ejecución masiva de viviendas, que como toda obra requiere de inspección y control para la seguridad de la población.

Los diferentes procesos, ensayos y resultados enriquecen nuestros conocimientos, tomando en cuenta que son indispensables para el desarrollo profesional.

CAPÍTULO II

II.1- MARCO TEÓRICO

II.1.1 Antecedentes.

Los avances que se han producido en los últimos años en los procesos de elaboración de mezclas de concreto han estado relacionados con el empleo de nuevos materiales componentes, como adiciones minerales y la constante aparición de nuevos tipos de aditivos químicos. También tenemos la fabricación de diferentes tipos de cementos Portland. Todo esto con el fin de mejorar las propiedades del concreto y obtener beneficios de costo.

Existen normativas que establecen las condiciones de uso de aditivos químicos de acuerdo a estudios realizados, en Venezuela existe la norma COVENIN 356-1994, “Aditivos químicos utilizados en el concreto. Especificaciones”. Todo esto ha llevado al desarrollo de nuevas tecnologías y al mismo tiempo han ampliado el área de conocimiento en la tecnología del concreto.

En la Universidad Central de Venezuela se han realizado previamente trabajos especiales de grado en los cuales se utilizaron porcentajes de aditivos, estos trabajos se titulan: “Factibilidad de utilización de un aditivo en los diseños de mezcla de suelo - cemento para la fabricación de bloques” realizado por los ingenieros Rondón Abrahams y Sánchez Carolina, “Evaluación de las características de las mezclas de concreto pesado sustituyendo parcialmente el agregado fino por mineral de hierro y la inclusión de aditivos plastificantes” realizado por el ingeniero Fajardo Gabriel y “Efectos del aditivo Polyheed 755 en mezclas de concreto diseñadas con cuatro (4) tipos de agregados y resistencia 280 kg/cm^2 ” realizado por los ingenieros Yuely Castillo y Jonathan Dos Santos, como parte de investigaciones promovidas en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME).

II.1.2 Cemento Portland.

El cemento Portland se define como un cemento hidráulico porque fragua y endurece al reaccionar con el agua. Este es producido por la pulverización de escoria que consiste esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos, que en forma usual contienen una o más formas de sulfato de calcio que se añade y se muele con ella.

El cemento no es un compuesto químico simple, sino que es una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos conforman el 90% o más del cemento y son: el silicato tricálcico, el silicato dicálcico, el aluminato tricálcico y el aluminoferrito tetracálcico.

El nombre de cemento Portland le fue dado por la similitud de color que el cemento tenía con la piedra de la isla Portland en el Canal Inglés.

La aparición del cemento Portland y de su producto resultante, el concreto, ha sido un factor determinante para que el mundo adquiriera una fisonomía diferente.

El cemento Portland, según la Norma COVENIN 28-2003, "***Cemento Portland. Requisitos***" 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.

II.1.2.1 Clasificación del cemento portland.

La clasificación del cemento Portland está dada según su uso por la Norma COVENIN 28, "***Cemento Portland. Requisitos***"

Tipo I: Para usarse en las construcciones de concreto en general, cuando no se requieran las propiedades especiales correspondientes a los otros tipos.

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

Tipo III: Para usarse en construcciones que requieran altas resistencias iniciales.

Tipo IV: Para usarse en obras donde sea necesario un bajo calor de hidratación.

Tipo V: Para usarse en construcciones que requieran alta resistencia a los sulfatos.

Cemento Portland con adiciones.

Según la norma COVENIN 3134 “Cemento Portland con adiciones. Requisitos.” Se define como el producto obtenido por la pulverización conjunta de clinker Portland y otros materiales como caliza, cenizas volantes, puzolanas, con la adición de agua y sulfato de calcio, para ser usados en la producción de concretos y morteros para usos específicos.

El cemento Portland con adición de caliza se clasifica en:

CPCA1: es aquel cuyo contenido de caliza u otro material calcáreo es menor o igual al 15% del peso total.

CPCA2: es aquel cuyo contenido de caliza u otro material calcáreo es mayor a 15% y menor o igual al 30% del peso total.

II.1.3 Producción del cemento Portland.

La producción del cemento se encuentra vinculada a una serie de procesos, los cuales requieren estricto control; desde la obtención de calizas hasta el embolsado de este para su despacho. Estos procesos varían según la fábrica. Sin embargo, aquí se presentan de manera general las actividades que realizan la mayoría de las compañías para obtener el producto. Ver figura 1.

II.1.3.1 Extracción en cantera

Se extrae de la cantera la roca caliza, principal materia prima para la elaboración del cemento.

II.1.3.2 Trituración de materias primas

Estas piedras de gran tamaño son transportadas por camiones a la planta de trituración y a través de estas trituradoras se reducen las rocas a un tamaño adecuado para su posterior procesamiento.

II.1.3.3 Conformación de escombreras

La caliza triturada de calidad controlada, se transporta por cinta a un stock llamado escombrera.

II.1.3.4 Acopio de materias primas

De la escombrera se extrae la piedra caliza por cinta y es llevada hacia las tolvas de molino de materia prima.

II.1.3.5 Molienda de crudo

La caliza se muele junto con otros componentes minoritarios para formar un polvo de harina cruda. Los sistemas de muestreo neumático permiten mantener las especificaciones de calidad bajo control.

II.1.3.6 Acopio en silos de crudo

La harina cruda obtenida se lleva a los silos donde es homogeneizada y posteriormente transportada al horno.

II.1.3.7 Precalcinación de harina cruda

La harina cruda ya homogeneizada ingresa a la torre de intercambio de calor y desciende por la misma iniciándose los procesos de deshidratación y descarbonatación.

El material baja en contracorriente con los gases calientes de horno, produciéndose la primera transformación llamada precalcinación.

II.1.3.8 Clinkerización

El material precalcinado ingresa al horno rotatorio donde la temperatura aumenta hasta los 1450 °C.

Allí se producen las reacciones químicas más importantes en el crudo y la formación del clinker, material básico para el cemento.

De manera de minimizar los impactos sobre el ambiente se utilizan diversas tecnologías como los filtros de manga y los electrofiltros.

II.1.3.9 Enfriamiento de clinker

El clinker que sale del horno es enfriado rápidamente con el aire frío para bajar su temperatura a 100°C asegurando el estado vítreo.

II.1.3.10 Acopio del clinker

El clinker frío se almacena en un lugar adecuado llamado parque de clinker para su posterior uso.

II.1.3.11 Molienda de cemento

Del parque de clinker se extrae este material y es llevado a los silos que alimentan los molinos de cemento. Al molino de cemento llega el clinker, el yeso y el componente mineral adecuado al tipo de cemento a producir.

II.1.3.12 Ensayo y despacho a granel

El producto obtenido de esta molienda conjunta es cemento, el cual es producido bajo estrictos controles de calidad y se envía a los silos correspondientes.

II.1.3.13 Embolsado de cemento:

Los silos de cemento permiten alimentar las embolsadoras automáticas y el despacho a granel.

II.1.3.14 Consistencia normal del cemento

La consistencia normal es un estado de fluidez alcanzado por la pasta del cemento cuando tiene una propiedad óptima de hidratación.

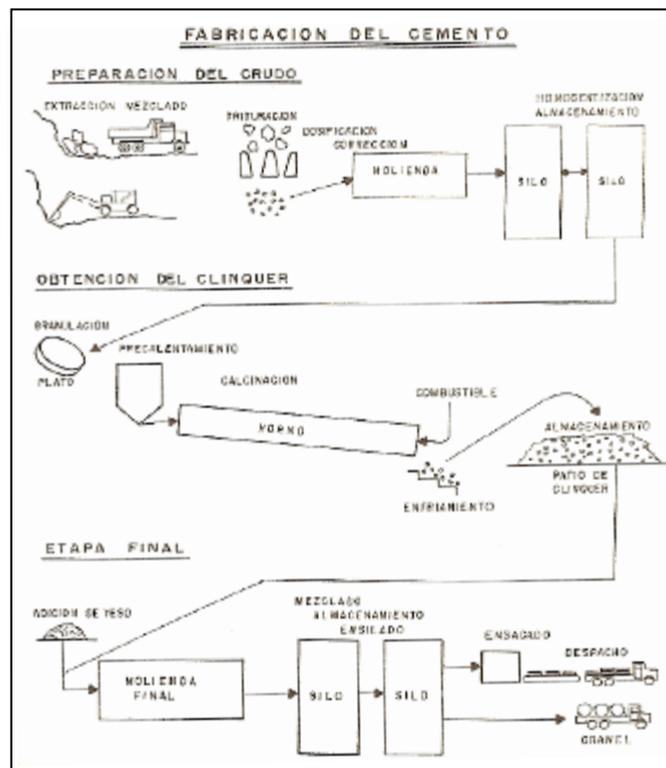


Fig. 1. Fabricación del cemento.

Fuente: Porrero S., Joaquín. (1999), "Manual del concreto estructural", 3ra edición

II.1.4 Agregados.

Los agregados se definen como materiales granulares que constituyen entre el 60 y el 80 por ciento del volumen total del concreto y se usan con un medio cementante para formar mortero o concreto.

Los agregados de calidad deben cumplir ciertas reglas para darles un uso óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta del cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables.

Las propiedades físicas que podrían ser afectadas incluyen el peso unitario, la trabajabilidad, el módulo de elasticidad, resistencia, retracción, comportamiento térmico y durabilidad.

Dentro de los agregados encontramos dos clasificaciones, los agregados gruesos o gravas y los agregados finos o arenas.

II.1.4.1 Ensayo granulométrico. Norma COVENIN N° 255-1998, “Agregados. Determinación de la composición granulométrica”.

El análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas en una muestra, empleando procedimientos normalizados de hidrometría y/o tamizado.

En este ensayo se deja pasar una muestra representativa del material de masa conocida, por una serie de tamices ordenados de mayor a menor para determinar la distribución de los tamaños de partículas.

La granulometría se representa por una curva de porcentajes del agregado que pasa en forma acumulada para cada tamiz en escala semi-logarítmica. Esta característica determina la calidad del material, para conocer si es apto o no como componente del concreto. De acuerdo a las normas COVENIN 254 Y COVENIN 255. Los agregados finos requieren tamaños de partícula que pueden llegar hasta 10mm; los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en la malla No. 16 y pueden variar hasta 152 mm.

El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm.

II.1.4.2 Ensayo para determinación de densidad y absorción.

Norma COVENIN N° 268-1998 “Agregado fino. Determinación de la densidad y la absorción”, y la norma COVENIN N° 269-1998 “Agregado grueso. Determinación de la densidad y la absorción”.

Se contempla el ensayo para determinar la densidad aparente, la densidad aparente con muestra saturada y de superficie seca (densidad aparente SSS), la densidad nominal (todas a 23°C +- 2°C) y la absorción (después de 24 horas en agua) del agregado fino y agregado grueso.

II.1.5 Aditivos.

Es un material distinto del agua, el cemento y los agregados, que se utiliza como ingrediente del concreto para modificar o crear condiciones inexistentes en la mezcla y que se añade antes o durante el mezclado. El uso de los aditivos en el concreto es ya parte del proceso de fabricación, facilitando el manejo y trabajabilidad de la mezcla.

Algunas de las razones para el uso de aditivos en el concreto pueden ser:

- Reducir sus costos de producción.
- Ser el único medio factible para alcanzar las características deseadas en la mezcla.
- Beneficiar las características y propiedades del concreto endurecido.
- Mejorar entre otras propiedades la trabajabilidad y el manejo de la mezcla.

II.1.5.1 Clasificación de los aditivos: según la norma COVENIN 356:1994.

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.1.5.2 Aditivo Polyheed 755.

BASF The Chemical Company, compañía global con sede en Venezuela es quien provee Polyheed 755, 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 kg de material cementante y como aditivo tipo D de 5 a 12 cc por kg de material cementante. Este será el aditivo a utilizar en los ensayos a realizar en nuestro trabajo. Ver anexo 27.

II.1.6 Concreto.

El concreto es una mezcla constituida por un producto pastoso (pasta) y agregados, la pasta está conformada por agua y cemento Portland los cuales reaccionan químicamente dando lugar al endurecimiento de 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. (Porrero 2009).

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.

Los requisitos que una dosificación adecuada debe cumplir son: economía y manejabilidad en estado fresco y resistencias, aspecto y durabilidad 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.

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.1.8 La ley de Abrams.

La ley de Abrams representa la relación existente en la relación agua/cemento en peso ($\alpha = a/C$) y la resistencia media a la compresión (R). Ver ecuación 1.

$$R = \frac{M}{N^\alpha} \quad (1)$$

Donde:

R: resistencia media a la compresión (kgf/cm²)

M, N= constante.

α : 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 α 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.1.9 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. (Porrero 2009). Ver ecuación 2.

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

Donde:

C: Dosis de cemento (kgf/m³)

α : Relación agua/cemento en peso

T: Asentamiento en el Cono de Abrams (cm)

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

II.1.10 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 (periodo plástico). En este lapso el concreto es transportado, colocado en moldes o encofrados y luego compactado manualmente por vibración. (Porrero 2009).

II.1.11 Reología del concreto.

Son las 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. (Porrero 2009).

II.1.11.1 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.1.11.2 Compactibilidad.

Cuando la mezcla es vibrada se hace más fluida y puede así distribuirse más uniforme mente, 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.1.11.3 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, esta 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 desmejorar algunas propiedades del concreto para lograr durabilidad. (Porrero 2009).

II.1.12 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. (Porrero 2009).

II.1.12.1 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 ± 3) mm de diámetro de base mayor, (100 ± 3) mm de diámetro de base menor y (300 ± 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 agregados mayores de $1 \frac{1}{2}$ " (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. (Porrero 2009). Ver figura 2.

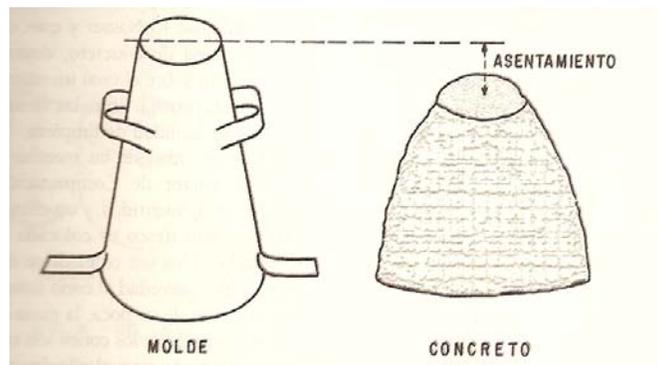


Fig. 2. Cono de Abrams. Medición del asentamiento.

Fuente: Porrero S., Joaquín. (1999), "Manual del concreto estructural", 3ra edición

II.1.13 Concreto en estado endurecido.

Se dice que el concreto se encuentra en estado endurecido cuando este ha desarrollado suficiente resistencia para poder soportar las cargas especificadas.

II.1.13.1 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. Dicho proceso se encuentra regido por la Norma Venezolana COVENIN N° 338 – 2002, “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto” (ASTM C31, C39 y C192).

II.1.13.2 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.1.13.3 Peso unitario.

Se calcula al dividir el peso de la sustancia entre el volumen que ésta ocupa. En el sistema técnico, se mide en kilopondios por metro cúbico (kp/m^3). En el Sistema Internacional de Unidades, en newton por metro cúbico (N/m^3). Ver ecuación 3.

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

Donde:

PU: Peso unitario (kg/dm^3)

P: Peso del material (kg)

V: Volumen que ocupa el material (dm^3)

II.1.13.4 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 repetibilidad. 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 cangrejas.

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

Donde,

V: Velocidad en m/s.

II.1.13.5 Esclerometría.

El objeto de este ensayo es dar a conocer la uniformidad de la calidad, mediante un gran número de observaciones no destructivas; también permite estimar la resistencia a compresión del concreto.

El índice esclerométrico se obtiene de promediar los resultados obtenidos en los ensayos, con esto se refleja un valor comparativo para la estimación de la calidad del concreto y de la resistencia a la compresión.

II.1.13.6 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, entre otras.

Para detectar o comparar calidades resistentes de concreto 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 concreto 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. (Porrero 2009).

II.1.13.6.1 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).

CAPÍTULO III

III.1- MÉTODO

En este capítulo se presentan de manera explícita las acciones llevadas cabo en la ejecución del trabajo especial de grado, las cuales hacen referencia al conjunto de ensayos y actividades complementarias, necesarias para el análisis completo de las mezclas patrones y de las mezclas con aditivo Polyheed 755, realizadas con cemento Portland tipo I, tipo III, CPCA1 y CPCA2, para luego establecer comparaciones con la finalidad de describir el comportamiento del aditivo en la mezcla de concreto.

Los procesos necesarios para alcanzar los objetivos propuestos están definidos a continuación en seis etapas, que se enuncian a continuación:

- I. Caracterización de los agregados
- II. Diseño de las mezclas
- III. Preparación de las mezclas
- IV. Caracterización del concreto fresco
- V. Caracterización del concreto endurecido
- VI. Comparación con mezclas patrones.

III.1.1 Caracterización de los agregados.

Los agregados utilizados estuvieron conformados por piedra picada (tamaño máximo 1 pulgada), y arena lavada.

Estos agregados fueron donados por una empresa ligada al área de la construcción de viviendas.

Para la caracterización de estos agregados se llevaron a cabo los procedimientos establecidos en las normas COVENIN N° 255-1998, “Agregados. Determinación de la composición granulométrica”, COVENIN N° 268-1998 “Agregado fino. Determinación de la densidad y la absorción”, y COVENIN N° 269-1998 “Agregado grueso. Determinación de la densidad y la absorción”.

Estos resultados se expresaran en tablas de datos donde se indicará el peso, porcentajes de pasantes y porcentajes de retenidos, junto con la grafica correspondiente a la granulometría para cada tipo de agregado, y en otras tablas de datos también se indicaran los pesos específicos y porcentajes de absorción correspondientes a cada agregado. Ver capítulo IV.

III.1.1.1 Distribución granulométrica de los tamaños de partículas de agregados finos y gruesos.

Antes de iniciar el diseño de mezcla los agregados fueron tamizados para conseguir los tamaños máximos y 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”, $\frac{3}{4}$ ”, $\frac{1}{2}$ ”, $\frac{3}{8}$ ”, $\frac{1}{4}$ ”, #4, #8, #16, #30, #50, #100. El procedimiento se realizo de acuerdo a la norma COVENIN N° 255-1998, “Agregados. Determinación de la composición granulométrica”. Ver figura 3.

III.1.1.2 Determinación de la densidad y la absorción del agregado grueso.

Para la preparación se lavó la muestra de ensayo y se secó a una temperatura entre 100°C y 110°C, se dejó enfriar durante 3 horas máximo a temperatura ambiente.

Se sumergió en agua durante 24 horas. Se extrajo la muestra del agua y se secó superficialmente. Se determinó la masa de muestra bajo condición saturada y superficie seca (M2).

Luego se determinó la masa en el agua, sumergiendo toda la muestra y removiendo el aire atrapado (M3).

Se secó la muestra en el horno a una temperatura entre 100°C y 110°C, se dejó enfriar y se determinó su masa (M1).

Se determino la densidad aparente con muestra saturada y de superficie seca o peso específico mediante la ecuación 4.

$$\gamma = \frac{d * M2}{(M2 - M3)} \quad d = 1 \text{ g/ml} \quad (4)$$

Se determino el porcentaje de absorción mediante la ecuación 5.

$$A = \frac{(M2 - M1)}{M1} * 100 \quad (5)$$



Fig. 3. Tamizado para el agregado grueso.

III.1.1.3 Determinación de la densidad y la absorción del agregado fino.

Posterior a la preparación de la muestra, se llenó el picnómetro parcialmente con agua, se introdujo una muestra de 500 gr del agregado saturado y de superficie seca (M2), se añadió agua gradualmente en un 50%, luego a 75% y finalmente hasta el 100%, agitando la muestra del picnómetro e invirtiéndolo, hasta q no se observaron burbujas de aire y luego se llevó el nivel de agua del picnómetro hasta su capacidad de calibración.

Se determinó la masa total del picnómetro con la muestra y el agua mediante una balanza electrónica (M3).

Se retiró el agregado del picnómetro y se secó hasta una masa constante, a una temperatura de 100 °C. Se dejó a temperatura ambiente por un tiempo de 30 min. a 90 min. y se determinó de nuevo su masa (M1).

Se determinó la masa del picnómetro lleno con agua hasta su capacidad de calibración (M4), a una temperatura de 23 °C, mediante una balanza electrónica.

Se determinó la densidad aparente con muestra saturada y de superficie seca o peso específico mediante la ecuación 7.

$$\gamma = \frac{d * M1}{(M4 + M2 - M3)} \quad d = 1 \text{ g/ml} \quad (6)$$

Se determino el porcentaje de absorción mediante la ecuación 5.

$$A = \frac{(M2 - M1)}{M1} * 100 \quad (7)$$



Fig. 4. Pesaje de los materiales.

III.1.2 Diseño de las mezclas.

Se empleó el método descrito en el Manual del Concreto Estructural de Joaquín Porrero, 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 se llevaron a cabo las siguientes actividades:

III.1.2.1. Diseño de una mezcla patrón.

Se realizó el diseño de la mezcla patrón, programando las distintas formulas y cálculos para la dosificación de componentes de las mezclas y cálculo de valores a utilizar, apoyados en la herramienta Excel del paquete Microsoft Office, Ver anexo 25 y 26.

A partir del diseño de la mezcla patrón se realizaron los diseños de mezclas con cada tipo de cemento, con $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ y agregados: arena lavada y piedra picada.

Para cada mezcla se elaboraron 3 muestras para 3 edades: 7, 14 y 28 días, obteniendo un total de 36 muestras patrón y 36 muestras con aditivo.

Mezclas Patrón:

- Mezcla E: Cemento Portland tipo I. 9 cilindros.
- Mezcla F: Cemento Portland tipo III. 9 cilindros.
- Mezcla G: Cemento Portland CPCA2. 9 cilindros.
- Mezcla H: Cemento Portland CPCA1. 9 cilindros.

Mezclas con aditivo Polyheed 755:

- Mezcla EE: Cemento Portland tipo I. 9 cilindros.
- Mezcla FF: Cemento Portland tipo III. 9 cilindros.
- Mezcla GG: Cemento Portland CPCA2. 9 cilindros.
- Mezcla HH: Cemento Portland CPCA1. 9 cilindros.

III.1.2.2. Definición de parámetros de entrada.

Constituyen la información básica para llegar a la dosificación de las mezclas deseadas, estos parámetros son:

- Tipo de agregado fino y grueso.
- γ_a , γ_g : Peso específico del agregado fino y grueso.
- ω_a , ω_g : Humedad del agregado fino y grueso.
- A_{ba} , A_{bg} : Absorción del agregado fino y grueso.
- P : Tamaño Máximo del agregado grueso.
- f'_c ó R_7 , R_{14} y R_{28} : Resistencia media a la compresión del concreto a los 7, 14 y 28 días.
- T : Asentamiento esperado.
- β : Relación que denota el contenido de arena con relación al agregado total $A/(A+G)$.
- Ad : Porcentajes de Aditivo.

III.1.2.3. Resistencia promedio requerida (Fcr).

Se calculó de la resistencia promedio requerida (Fcr) para concretos con $f'c \leq 350 \text{ kgf/cm}^2$ según la Norma COVENIN 1753-1987 “Proyecto y construcción de obras en concreto estructural”. Ver ecuación 6.

$$Fcr = f'c + z\sigma \quad (8)$$

Donde,

$f'c$: resistencia a la compresión

$z\sigma$: desviación estándar para un control bueno.

III.1.2.4. Relación agua-cemento (α_c) corregida.

Corrección en función del tamaño máximo (K_R) y el tipo de agregados (K_A) empleados, obteniendo la relación agua/cemento corregido (α_c). Ver ecuación 7.

$$\alpha_c = \alpha * K_R * K_A \quad (9)$$

III.1.2.5. Cantidad de cemento corregida.

Con α_c se calculó la cantidad de cemento (C) a incorporar en la mezcla tomando en cuenta la relación triangular, seguidamente se corrigió (C_c) por tamaño máximo (C1) y por tipo de agregados (C2). Ver ecuaciones 8 y 9.

$$C = 117,2 * \frac{\tau^{0,16}}{\alpha_c} \quad (10)$$

$$C_c = C * C1 * C2 \quad (11)$$

III.1.2.6. Cálculo de volumen de aire y agua.

Los volúmenes de aire y de agua presentes en la mezcla se estimaron con las ecuaciones 10 y 11.

$$V = \frac{Cc}{P} \quad (12)$$

$$a = Cc * \alpha_c \quad (13)$$

III.1.2.7. Estimación de la cantidad de los agregados:

- Peso específico de los agregados combinados, ver ecuación 12.

$$\gamma_{(a+g)} = \gamma_g * (1 - \beta) + \gamma_a * \beta \quad (14)$$

- Cantidad total de agregados, ver ecuación 13.

$$A + G = \gamma_{(a+g)} * (1000 - 0,3 * Cc - a - V) \quad (15)$$

- Cantidad de agregado fino y grueso, ver ecuaciones 14 y 15.

$$A = (A + G) * \beta \quad (16)$$

$$G = (A + G) * (1 - \beta) \quad (17)$$

III.1.2.8. Corrección por humedad.

El método de diseño de mezclas a adoptar consideró que los agregados (piedra picada y arena lavada) se encuentran en la condición de humedad ideal.

- Cantidad de agua a usar en la mezcla, ver ecuación 16.

$$a_m = Cc * \alpha_c \quad (18)$$

- Para el diseño de todas las mezclas dosificadas con aditivo se realizaron los cálculos de reducción de agua para cada combinación utilizando las ecuaciones 17 y 18. Efectividad: 12% a 20%, promediando se tomo como valor 16%.

$$\alpha_{red} = \alpha_{org} * (1 - \text{efectividad}) \quad (19)$$

$$a_{red} = \alpha_{red} * C_{orig} \quad (20)$$

III.1.2.9. Cantidad de aditivo.

Se calculó la cantidad de aditivo a utilizar para cada mezcla de acuerdo a las especificaciones del mismo. Ver anexo 27.

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

El aditivo obtenido por donación de empresas BASF trabaja como aditivo tipo D: Reductor de agua y retardador, bajo estimaciones realizadas durante los diferentes cálculos y ensayos se utilizó la cantidad de 5,72 cc de aditivo por kilogramo de material cementante. Ver ecuación 19.

$$Ad = 5,72 \text{ cc} * \text{Kg mat.cementante} \quad (21)$$

III.1.3 Preparación de las mezclas. Según norma COVENIN 354:2001 “Concreto. Método para mezclado en el laboratorio”.

Los agregados utilizados son arena lavada y piedra picada con tamaño máximo de 1 pulgada.

III.1.3.1 Mezclado de material.

El mezclado consistió en el pesado de los materiales de acuerdo a los cálculos obtenidos previamente en el diseño de mezclas, se inició al proceso de mezclado utilizando una mezcladora de eje de inclinación variable y con capacidad para 110 L. Ver figura 5.

Al poner en funcionamiento la mezcladora se agregó la piedra picada con un tercio de la cantidad total de agua, luego se incorporó la arena lavada y el cemento, por último se añadió la cantidad restante de agua y se dejó mezclar por 2 min. Se realizó el ensayo del cono de Abrams para cada mezcla elaborada.



Fig. 5. Mezcladora de concreto, 110 L de capacidad.

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

Luego se procedió al vaciado de la mezcla en una carretilla, transportándola hacia donde se encontraban los moldes, cuyas dimensiones son: 15 cm de diámetro y 30 cm de altura. Ver figura 6.

Se procedió a la colocación de la mezcla en los moldes cilíndricos limpios y previamente engrasados, ejecutando el vaciado en tres capas, todas con un espesor aproximado a un tercio del volumen de la probeta, cada capa se compactó dando 25 golpes distribuidos en su sección transversal haciendo uso de una barra compactadora normalizada penetrando la capa anterior tan solo 1". Se dejó que la mezcla reposara 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. Se enrazó el molde en la superficie con la barra compactadora con el fin de retirar el exceso de mezcla. Ver figuras 6 y 7.



Fig. 6. Compactación de la mezcla en cilindros normalizados.



Fig. 7. Enrazado de probetas estandarizadas.

Se realizó el desencofrado pasadas 24 horas y se inició el proceso de curado sumergiendo los cilindros en una piscina creada a través de bloques de arcilla y materiales como piedra picada, lonas y plásticos que ayudaron a

retener el agua con agregado de cal para mantener los cilindros sumergidos el tiempo determinado hasta su respectivo día de ensayo. Ver figuras 8 y 9.



Fig. 8. Piscina con adición de cal para curado de probetas.



Fig. 9. Piscina con adición de cal para curado de probetas.

III.1.4 Caracterización del concreto fresco.

III.1.4.1 Medición del asentamiento con el Cono de Abrams. Según norma COVENIN N° 339-1994 “Concreto. Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams”.

Se humedeció el cono de Abrams junto con la barra compactadora, se colocó en una superficie horizontal rígida, plana y no absorbente. El molde se sujetó firmemente por las aletas con los pies y se llenó con la mezcla de concreto, vaciando ésta en tres capas cuyos espesores deben ser aproximadamente un tercio del volumen.

Se compactó cada capa dando 25 golpes distribuidos en su sección transversal haciendo uso de una barra compactadora normalizada.

Luego de haber colocado y compactado la última capa, se enrazó utilizando la misma barra compactadora. Inmediatamente se retiró el molde alzándolo cuidadosamente en dirección vertical evitando movimientos laterales.



Fig. 10. Medición del asentamiento con el cono de Abrams.

El asentamiento se midió después de alzar el molde tomando la diferencia de altura del molde y la altura promedio de la base superior del cono deformado. Ver figura 10.

Estos resultados se expresarán en tablas de datos con los valores obtenidos para cada mezcla y también se presentarán gráficos de barra para su posterior comparación. Ver capítulo IV.

III.1.4.2. Medición del Peso Unitario. Según norma COVENIN N° 349:1979 “Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico, rendimiento y contenido de aire en el concreto”.

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 finalmente se pesó. Ver figuras 11 y 12.

Estos resultados se expresaran en tablas de datos con los valores obtenidos para cada mezcla para su posterior comparación. Ver capítulo IV.



Fig. 11. Pesaje de la tara normalizada.



Fig. 12. Pesaje de la tara normalizada más el concreto en estado 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 a los ensayos. Ver figura 13.

Se calculó el peso unitario (PU) de acuerdo a la ecuación 3.

$$PU = \frac{M}{V} \quad (3)$$

Donde:

M: peso de la probeta

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

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



Fig. 13. Pesaje de las probetas en estado endurecido.

III.1.5.2 Determinación de la velocidad de pulso ultrasónico. Según norma COVENIN N° 1681-1980 “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. Ver figura 14.



Fig. 14. Medición del pulso ultrasónico en los cilindros.

Finalmente se calculó la velocidad de propagación de la onda, mediante la ecuación 20.

$$V = \frac{L}{t} \quad (22)$$

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.

Las lecturas de tiempo del generador de pulsos están dadas en microsegundos (μ s), por tanto se realizaron las transformaciones pertinentes para la obtención de las velocidades en m/s.

Estos resultados se expresaran en tablas de datos con los valores obtenidos para cada mezcla en cada edad de ensayo y también se presentaran graficas de velocidad de pulso ultrasónico para cada mezcla para su posterior comparación. Ver capítulo IV.

III.1.5.3 Determinación del número de rebote o ensayo esclerométrico. Según norma COVENIN N° 1609-1980 “Método de ensayo para la determinación de la dureza esclerométrica en superficies de concreto endurecidas”.

Se seleccionaron los cilindros desencofrados, limpios, secos, libres de impurezas y de restos de arena y cal. Se colocaron en la prensa universal uno a la vez y se les imprimió una carga suficiente para poder sostener el cilindro fijo, evitando ejercer una carga que llevara a la falla. Se debe evitar realizar el ensayo en los sitios visiblemente defectuosos tales como poros y oquedades así como en las caras de los agregados gruesos.

El esclerómetro se colocó normalmente a la superficie ensayada, cuidando de mantener esa inclinación en todas las lecturas realizadas. Una vez colocado el esclerómetro en la posición adecuada, se presionó éste contra la superficie, lentamente y en forma continua hasta que el resorte se liberó y se produjo el impacto. Ver figura 15.



Fig. 15. Medición de la Esclerometría en los cilindros.

Para nuevas lecturas se seleccionaron lugares alejados entre sí, por lo menos 2 cm y no menos de 4 cm de los bordes libres del elemento ensayado.

Se tomaron 20 mediciones para cada cilindro despreciando las 5 mediciones más irregulares.

Estos resultados se expresaran en tablas de datos con los valores obtenidos para cada mezcla en cada edad de ensayo y también se presentaran graficas de índices esclerométricos de cada mezcla para su posterior comparación. Ver capítulo IV.

III.1.5.4 Ensayo a compresión de cilindros de concreto. Según norma COVENIN N° 338-2002 “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”.

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 tomaron tres pesos de cada probeta, utilizando una balanza electrónica.

Posteriormente se colocaron las probetas en la máquina de ensayos teniendo cuidado de centrarlas adecuadamente con los discos confinantes en la parte superior e inferior del cilindro y posteriormente en el área de prueba, para alinearlas con el vástago de aplicación de carga y luego comprimir mecánicamente hasta que el cilindro falla. Ver figura 16.

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



Fig. 16. Ensayo de compresión a los cilindros de concreto.

Para calcular el esfuerzo del concreto se utilizó la ecuación 21.

$$R_c = \frac{P}{A} \quad (23)$$

Donde:

Rc: Resistencia a compresión en Kgf/cm²

P: Carga máxima aplicada en Kgf

A: Área de la sección transversal del cilindro en cm².

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

Estos resultados se expresaran en tablas de datos con los valores obtenidos para cada mezcla en cada edad de ensayo y se presentaran graficas de la resistencia a la compresión presentada por cada mezcla para su posterior comparación. Ver capítulo IV.

III.1.6 Comparación con mezclas patrones.

De los resultados obtenidos a través de los distintos ensayos realizados a las mezclas de concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido, se determinaron semejanzas o diferencias presentadas por las mezclas con aditivo Polyheed 755 respecto a las mezclas patrones. Estos resultados se presentan mediante tablas de datos para cada tipo de mezcla de concreto y para cada cilindro ensayado y las comparaciones mediante gráficos en donde se puede apreciar el comportamiento de la mezcla en sus diferentes estados físicos y fechas de ensayo.

CAPÍTULO IV

IV.1- RESULTADOS

Los resultados obtenidos y reflejados a continuación representan el proceso de este trabajo especial de grado.

IV.1.1 Granulometría, peso específico y absorción.

Los siguientes datos fueron obtenidos mediante los ensayos realizados a los agregados de acuerdo a las normas: COVENIN 255-1998, “Agregados. Determinación de la composición granulométrica”, COVENIN N° 268-1998 “Agregado fino. Determinación de la densidad y la absorción” y COVENIN N° 269-1998 “Agregado grueso. Determinación de la densidad y la absorción”.

IV.1.1.1 Agregado Grueso.

Tabla 1: Granulometría 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") | 1978,80 | 9588,10 | 98,46 | 1,54 |
| Fondo: | 149,90 | 9738,00 | 100,00 | |

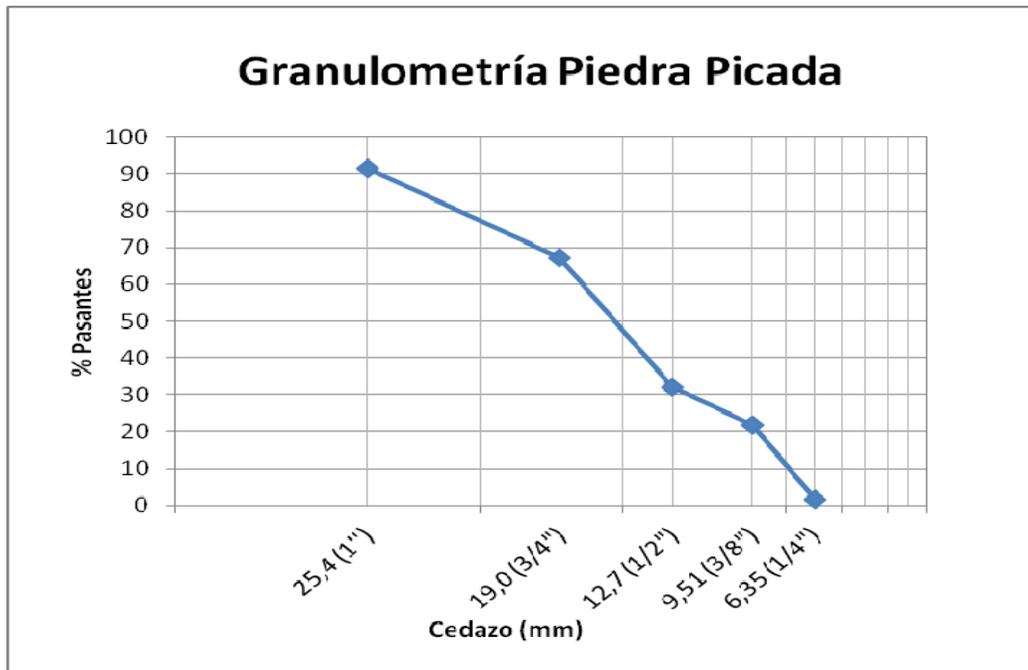


Gráfico 1: Granulometría Piedra Picada.

Tabla 2: Peso Específico y Absorción Piedra Picada.

| Muestra: | M1 (gr) | M2 (gr) | M3 (gr) | □ | Ab (%) |
|-----------------------|---------|---------|---------|------|--------|
| Piedra Picada: | 4930 | 5000 | 3103 | 2,63 | 1,42 |

M1: Peso de la muestra seca.

M2: Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca.

M3: Peso con la muestra y agua.

□: Peso específico muestra saturada con superficie seca.

Ab: % de absorción.

IV.1.1.2 Agregado Fino.

Tabla 3: Granulometría 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 μ (#30) | 357,80 | 1004,60 | 65,92 | 34,08 |
| 297 μ (#50) | 395,50 | 1400,10 | 91,87 | 8,13 |
| 149 μ (#100) | 95,80 | 1495,90 | 98,16 | 1,84 |
| Fondo: | 28,10 | 1524,00 | 100 | |

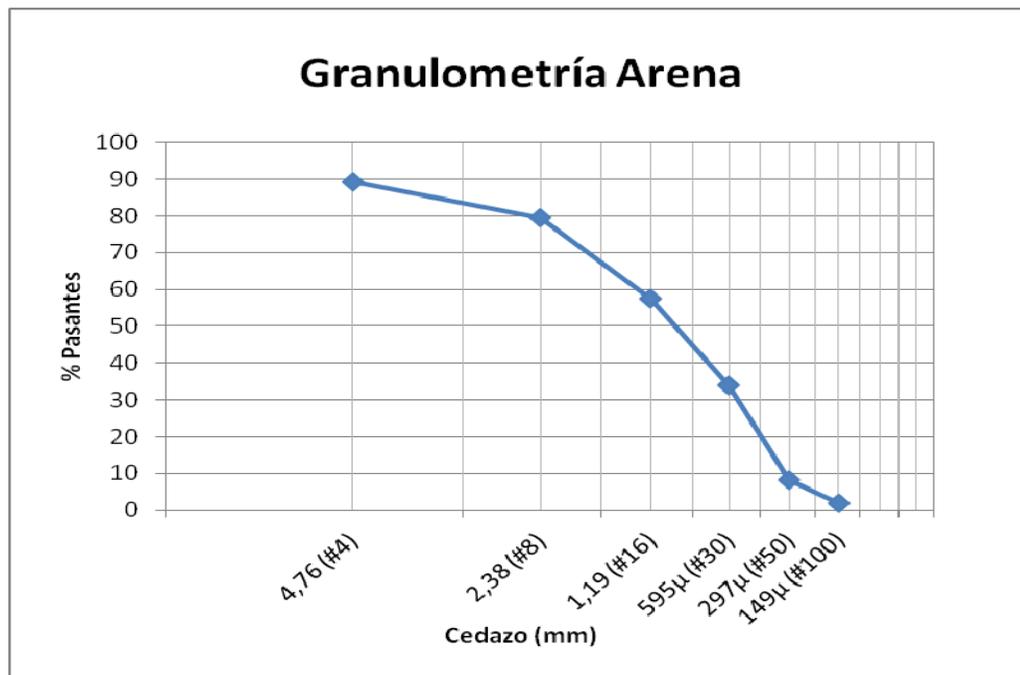


Gráfico 2: Granulometría Arena Lavada.

Tabla 4: Peso Específico y Absorción Arena Lavada.

| Muestra: | M1 (gr) | M2 (gr) | M3 (gr) | M4 (gr) | □ | Ab (%) |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|---------------|
| Arena Lavada: | 490 | 500 | 1588 | 1275 | 2,62 | 2,04 |

M1: Peso de la muestra seca.

M2: Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca.

M3: Peso del picnómetro con la muestra y el agua.

M4: Peso del picnómetro con agua.

□: Peso específico muestra saturada con superficie seca.

Ab: % de absorción.

IV.1.2 Diseño de mezclas.

Los datos mostrados a continuación para el diseño de mezclas, junto con sus dosificaciones, fueron determinadas bajos los criterios del Manual del Concreto Estructural, autor Joaquín Porrero S, año 99.

La tabla de cálculos elaborada mediante el programa Excel se muestra en los anexos 25 y 26 del presente trabajo.

IV.1.2.1 Dosificaciones de cada mezcla de concreto sin aditivo (patrón).

Tabla 5: Dosificación de la mezcla E, F, G y H.

| Mezcla sin aditivo | Tipo I (E) | | Tipo III (F) | | CPCA2 (G) | | CPCA1 (H) | |
|--------------------------------------|------------|-------|--------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | 1 | 9 | 1 | 9 | 1 | 9 | 1 | 9 |
| N° Cilindros | 1 | 9 | 1 | 9 | 1 | 9 | 1 | 9 |
| Cemento (kg) | 3,45 | 31,05 | 3,45 | 31,05 | 2,81 | 25,29 | 2,81 | 25,29 |
| Agua (l) | 1,69 | 15,21 | 1,69 | 15,21 | 1,39 | 12,51 | 1,39 | 12,51 |
| Agregado Fino (Arena Lavada) (kg) | 5,34 | 48,06 | 5,34 | 48,06 | 5,34 | 48,06 | 5,34 | 48,06 |
| Agregado Grueso (Piedra Picada) (kg) | 5,34 | 48,06 | 5,34 | 48,06 | 5,34 | 48,06 | 5,34 | 48,06 |
| T (cm) | 7,50 | 7,50 | 7,50 | 7,50 | 7,50 | 7,50 | 7,50 | 7,50 |

IV.1.2.2 Dosificaciones de cada mezcla de concreto con aditivo.

Tabla 6: Dosificación de la mezcla EE, FF, GG y HH.

| Mezcla con aditivo | Tipo I (EE) | | Tipo III (FF) | | CPCA2 (GG) | | CPCA1 (HH) | |
|--------------------------------------|-------------|--------|---------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | 1 | 9 | 1 | 9 | 1 | 9 | 1 | 9 |
| N° Cilindros | 1 | 9 | 1 | 9 | 1 | 9 | 1 | 9 |
| Cemento (kg) | 3,45 | 31,05 | 3,45 | 31,05 | 2,81 | 25,29 | 2,81 | 25,29 |
| Agua con reducción (l) | 1,42 | 12,78 | 1,42 | 12,78 | 1,16 | 10,41 | 1,16 | 10,41 |
| Agregado Fino (Arena Lavada) (kg) | 5,34 | 48,06 | 5,34 | 48,06 | 5,34 | 48,06 | 5,34 | 48,06 |
| Agregado Grueso (Piedra Picada) (kg) | 5,34 | 48,06 | 5,34 | 48,06 | 5,34 | 48,06 | 5,34 | 48,06 |
| T (cm) | 9,50 | 9,50 | 8,00 | 8,00 | 6,00 | 6,00 | 4,00 | 4,00 |
| Aditivo por kg de cemento (cc) | 19,73 | 177,61 | 19,73 | 177,61 | 16,07 | 144,66 | 16,07 | 144,66 |
| Aditivo por kg de cemento (l) | 0,02 | 0,18 | 0,02 | 0,18 | 0,02 | 0,14 | 0,02 | 0,14 |

IV.1.3 Ensayos de mezclas en estado fresco.

Los datos presentados a continuación son los resultados obtenidos mediante ensayos realizados a las mezclas de concreto en estado fresco, los mismos se realizaron bajo las especificaciones de las normas: COVENIN N° 339-1994 “Concreto. Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams” y COVENIN N° 349:1979 “Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico, rendimiento y contenido de aire en el concreto”.

IV.1.3.1 Asentamiento (T).

Tabla 7: Asentamiento en mezclas de concreto.

| Asentamiento | Tipo I (E y EE) | Tipo III (F y FF) | CPCA2 (G y GG) | CPCA1 (H y HH) |
|------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| T (Sin Aditivo) | 7,50 | 7,50 | 7,50 | 7,50 |
| T (Con Aditivo) | 9,50 | 8,00 | 6,00 | 4,00 |

IV.1.3.2 Peso unitario.

Tabla 8: Peso unitario en mezclas patrón.

| Mezcla | Peso de Tara (kg) | Volumen de Tara (m³) | Peso de Mezcla + Tara (kg) | Peso de Mezcla (kg) | Peso unitario (kg/m³) |
|------------------|------------------------------|--|---|--------------------------------|---|
| TI (E) | 2,78 | 0,007 | 19,18 | 16,40 | 2343 |
| THI (F) | 2,78 | 0,007 | 19,01 | 16,23 | 2319 |
| CPCA2 (G) | 2,78 | 0,007 | 19,02 | 16,24 | 2320 |
| CPCA1 (H) | 2,78 | 0,007 | 18,99 | 16,21 | 2316 |

Tabla 9: Peso unitario en mezclas con aditivo.

| Mezcla | Peso de Tara (kg) | Volumen de Tara (m³) | Peso de Mezcla + Tara (kg) | Peso de Mezcla (kg) | Peso unitario (kg/m³) |
|-------------------|------------------------------|--|---|--------------------------------|---|
| TI (EE) | 2,78 | 0,007 | 18,84 | 16,06 | 2294 |
| THI (FF) | 2,78 | 0,007 | 18,36 | 15,58 | 2226 |
| CPCA2 (GG) | 2,78 | 0,007 | 18,22 | 15,44 | 2206 |
| CPCA1 (HH) | 2,78 | 0,007 | 18,85 | 16,07 | 2296 |

IV.1.4 Ensayos de mezclas en estado endurecido.

Los datos presentados a continuación, son los resultados obtenidos mediante ensayos realizados a las mezclas de concreto en estado endurecido, estos ensayos se efectuaron bajo los lineamientos de las normas: COVENIN N° 1681-1980 “Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto”, COVENIN N° 1609-1980 “Método de ensayo para la determinación de la dureza esclerométrica en superficies de concreto endurecidas” y COVENIN N° 338-2002 “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”.

IV.1.4.1 Índice esclerométrico.

IV.1.4.1.1 Índice esclerométrico en mezclas patrón.

Tabla 10: Índice esclerométrico promedio por probeta, sin aditivo.

| Índice Esclerométrico promedio | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|------------------|------------------|
| Edad | Probeta N° | Tipo I (E) | Tipo III (F) | CPCA2 (G) | CPCA1 (H) |
| 7 | 1 | 25 | 26 | 23 | 27 |
| | 2 | 25 | 25 | 22 | 26 |
| | 3 | 25 | 25 | 23 | 25 |
| 14 | 1 | 28 | 29 | 24 | 28 |
| | 2 | 27 | 29 | 23 | 28 |
| | 3 | 28 | 28 | 24 | 27 |
| 28 | 1 | 29 | 30 | 24 | 29 |
| | 2 | 28 | 30 | 25 | 30 |
| | 3 | 30 | 29 | 25 | 29 |

Tabla 11: Índice esclerométrico promedio por edad, sin aditivo.

| Índice Esclerométrico promedio | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|---------------------|------------------|------------------|
| Edad | Tipo I (E) | Tipo III (F) | CPCA2 (G) | CPCA1 (H) |
| 7 | 25 | 25 | 23 | 26 |
| 14 | 27 | 29 | 24 | 28 |
| 28 | 29 | 30 | 25 | 30 |

IV.1.4.1.2 Índice esclerométrico en mezclas con aditivo.

Tabla 12: Índice esclerométrico promedio por probeta, con aditivo.

| Índice Esclerométrico promedio | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| Edad | Probeta N° | Tipo I (EE) | Tipo III (FF) | CPCA2 (GG) | CPCA1 (HH) |
| 7 | 1 | 30 | 23 | 25 | 26 |
| | 2 | 31 | 23 | 25 | 27 |
| | 3 | 31 | 33 | 25 | 30 |
| 14 | 1 | 31 | 32 | 27 | 27 |
| | 2 | 32 | 35 | 28 | 30 |
| | 3 | 32 | 31 | 27 | 27 |
| 28 | 1 | 35 | 30 | 28 | 32 |
| | 2 | 34 | 34 | 28 | 29 |
| | 3 | 34 | 31 | 26 | 30 |

Tabla 13: Índice esclerométrico promedio por edad, con aditivo.

| Índice Esclerométrico promedio | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| Edad | Tipo I (EE) | Tipo III (FF) | CPCA2 (GG) | CPCA1 (HH) |
| 7 | 31 | 26 | 25 | 28 |
| 14 | 32 | 33 | 27 | 28 |
| 28 | 34 | 32 | 27 | 30 |

IV.1.4.2 Peso unitario.

IV.1.4.2.1 Peso unitario de mezclas patrón para cada edad.

Tabla 14: Peso unitario mezclas patrón a los 7 días.

| Mezcla patrón | Probeta N° | Diámetro Medio (cm) | Diámetro Medio (m) | Altura Media (cm) | Altura Media (m) | Peso (kg) | Volumen (m ³) | Peso unitario (kg/m ³) | Peso unitario promedio (kg/m ³) |
|---------------|------------|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|-----------|---------------------------|------------------------------------|---|
| TI (E) | 1 | 15,09 | 0,151 | 30,02 | 0,300 | 12,32 | 0,0054 | 2295 | 2298 |
| | 2 | 15,09 | 0,151 | 30,05 | 0,301 | 12,42 | 0,0054 | 2311 | |
| | 3 | 15,03 | 0,150 | 30,00 | 0,300 | 12,18 | 0,0053 | 2288 | |
| TIII (F) | 1 | 15,00 | 0,150 | 30,10 | 0,301 | 12,29 | 0,0053 | 2311 | 2310 |
| | 2 | 14,90 | 0,149 | 30,00 | 0,300 | 12,12 | 0,0052 | 2317 | |
| | 3 | 14,90 | 0,149 | 30,00 | 0,300 | 12,05 | 0,0052 | 2303 | |
| CPCA2 (G) | 1 | 15,02 | 0,150 | 30,49 | 0,305 | 12,42 | 0,0054 | 2298 | 2298 |
| | 2 | 14,99 | 0,150 | 30,44 | 0,304 | 12,30 | 0,0054 | 2292 | |
| | 3 | 15,03 | 0,150 | 30,50 | 0,305 | 12,47 | 0,0054 | 2305 | |
| CPCA1 (H) | 1 | 15,01 | 0,150 | 30,19 | 0,302 | 12,70 | 0,0053 | 2379 | 2339 |
| | 2 | 15,05 | 0,150 | 30,07 | 0,301 | 12,35 | 0,0053 | 2310 | |
| | 3 | 14,95 | 0,149 | 30,04 | 0,300 | 12,27 | 0,0053 | 2329 | |

Tabla 15: Peso unitario mezclas patrón a los 14 días.

| Mezcla patrón | Probeta N° | Diámetro Medio (cm) | Diámetro Medio (m) | Altura Media (cm) | Altura Media (m) | Peso (kg) | Volumen (m ³) | Peso unitario (kg/m ³) | Peso unitario promedio (kg/m ³) |
|---------------|------------|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|-----------|---------------------------|------------------------------------|---|
| TI (E) | 1 | 15,06 | 0,151 | 30,04 | 0,300 | 12,32 | 0,0054 | 2301 | 2302 |
| | 2 | 15,09 | 0,151 | 30,05 | 0,301 | 12,38 | 0,0054 | 2303 | |
| | 3 | 15,05 | 0,151 | 30,01 | 0,300 | 12,30 | 0,0053 | 2303 | |
| TIII (F) | 1 | 15,00 | 0,150 | 30,03 | 0,300 | 12,28 | 0,0053 | 2315 | 2326 |
| | 2 | 14,96 | 0,150 | 29,66 | 0,297 | 12,26 | 0,0052 | 2351 | |
| | 3 | 15,03 | 0,150 | 30,04 | 0,300 | 12,33 | 0,0053 | 2314 | |
| CPCA2 (G) | 1 | 15,01 | 0,150 | 30,34 | 0,303 | 12,37 | 0,0054 | 2304 | 2306 |
| | 2 | 15,04 | 0,150 | 30,45 | 0,305 | 12,41 | 0,0054 | 2293 | |
| | 3 | 15,00 | 0,150 | 30,34 | 0,303 | 12,44 | 0,0054 | 2320 | |
| CPCA1 (H) | 1 | 15,01 | 0,150 | 30,24 | 0,302 | 12,42 | 0,0053 | 2321 | 2352 |
| | 2 | 15,04 | 0,150 | 30,06 | 0,301 | 12,38 | 0,0053 | 2317 | |
| | 3 | 14,73 | 0,147 | 30,10 | 0,301 | 12,40 | 0,0051 | 2418 | |

Tabla 16: Peso unitario mezclas patrón a los 28 días.

| Mezcla patrón | Probeta N° | Diámetro Medio (cm) | Diámetro Medio (m) | Altura Media (cm) | Altura Media (m) | Peso (kg) | Volumen (m ³) | Peso unitario (kg/m ³) | Peso unitario promedio (kg/m ³) |
|---------------|------------|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|-----------|---------------------------|------------------------------------|---|
| TI (E) | 1 | 15,03 | 0,150 | 30,04 | 0,300 | 12,44 | 0,0053 | 2335 | 2334 |
| | 2 | 15,02 | 0,150 | 30,05 | 0,300 | 12,42 | 0,0053 | 2332 | |
| | 3 | 14,98 | 0,150 | 30,05 | 0,301 | 12,36 | 0,0053 | 2335 | |
| TIII (F) | 1 | 15,00 | 0,150 | 30,11 | 0,301 | 12,30 | 0,0053 | 2311 | 2316 |
| | 2 | 15,08 | 0,151 | 30,25 | 0,303 | 12,51 | 0,0054 | 2317 | |
| | 3 | 15,01 | 0,150 | 30,14 | 0,301 | 12,37 | 0,0053 | 2319 | |
| CPCA2 (G) | 1 | 15,08 | 0,151 | 30,46 | 0,305 | 12,46 | 0,0054 | 2289 | 2313 |
| | 2 | 15,02 | 0,150 | 30,41 | 0,304 | 12,66 | 0,0054 | 2348 | |
| | 3 | 15,10 | 0,151 | 30,45 | 0,305 | 12,56 | 0,0055 | 2302 | |
| CPCA1 (H) | 1 | 15,02 | 0,150 | 30,07 | 0,301 | 12,28 | 0,0053 | 2305 | 2297 |
| | 2 | 15,00 | 0,150 | 30,06 | 0,301 | 12,26 | 0,0053 | 2308 | |
| | 3 | 15,08 | 0,151 | 30,65 | 0,307 | 12,46 | 0,0055 | 2278 | |

IV.1.4.2.2 Peso unitario de mezclas con aditivo para cada edad.

Tabla 17: Peso unitario mezclas con aditivo a los 7 días.

| Mezcla patrón | Probeta N° | Diámetro Medio (cm) | Diámetro Medio (m) | Altura Media (cm) | Altura Media (m) | Peso (kg) | Volumen (m ³) | Peso unitario (kg/m ³) | Peso unitario promedio (kg/m ³) |
|---------------|------------|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|-----------|---------------------------|------------------------------------|---|
| TI (EE) | 1 | 14,95 | 0,150 | 30,54 | 0,305 | 11,96 | 0,0054 | 2231 | 2259 |
| | 2 | 15,03 | 0,150 | 30,32 | 0,303 | 12,42 | 0,0054 | 2309 | |
| | 3 | 15,08 | 0,151 | 30,45 | 0,305 | 12,16 | 0,0054 | 2237 | |
| TIII (FF) | 1 | 15,16 | 0,152 | 30,43 | 0,304 | 11,80 | 0,0055 | 2149 | 2190 |
| | 2 | 15,17 | 0,152 | 30,57 | 0,306 | 11,71 | 0,0055 | 2118 | |
| | 3 | 15,03 | 0,150 | 30,16 | 0,302 | 12,31 | 0,0053 | 2302 | |
| CPCA2 (GG) | 1 | 15,07 | 0,151 | 30,47 | 0,305 | 12,89 | 0,0054 | 2371 | 2294 |
| | 2 | 15,03 | 0,150 | 30,35 | 0,304 | 11,69 | 0,0054 | 2170 | |
| | 3 | 15,04 | 0,150 | 30,45 | 0,305 | 12,66 | 0,0054 | 2340 | |
| CPCA1 (HH) | 1 | 14,98 | 0,150 | 30,02 | 0,300 | 12,17 | 0,0053 | 2299 | 2317 |
| | 2 | 14,90 | 0,149 | 30,14 | 0,301 | 12,07 | 0,0053 | 2297 | |
| | 3 | 15,01 | 0,150 | 30,24 | 0,302 | 12,60 | 0,0054 | 2355 | |

Tabla 18: Peso unitario mezclas con aditivo a los 14 días.

| Mezcla patrón | Probeta N° | Diámetro Medio (cm) | Diámetro Medio (m) | Altura Media (cm) | Altura Media (m) | Peso (kg) | Volumen (m ³) | Peso unitario (kg/m ³) | Peso unitario promedio (kg/m ³) |
|---------------|------------|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|-----------|---------------------------|------------------------------------|---|
| TI (EE) | 1 | 15,03 | 0,150 | 30,26 | 0,303 | 12,27 | 0,0054 | 2284 | 2298 |
| | 2 | 14,97 | 0,150 | 30,26 | 0,303 | 12,20 | 0,0053 | 2291 | |
| | 3 | 15,04 | 0,150 | 30,21 | 0,302 | 12,44 | 0,0054 | 2319 | |
| TIII (FF) | 1 | 15,02 | 0,150 | 30,60 | 0,306 | 11,88 | 0,0054 | 2191 | 2231 |
| | 2 | 14,98 | 0,150 | 30,25 | 0,303 | 12,42 | 0,0053 | 2330 | |
| | 3 | 15,07 | 0,151 | 30,61 | 0,306 | 11,86 | 0,0055 | 2171 | |
| CPCA2 (GG) | 1 | 15,16 | 0,152 | 30,51 | 0,305 | 12,43 | 0,0055 | 2256 | 2311 |
| | 2 | 14,97 | 0,150 | 30,15 | 0,301 | 12,48 | 0,0053 | 2353 | |
| | 3 | 15,23 | 0,152 | 29,67 | 0,297 | 12,55 | 0,0054 | 2324 | |
| CPCA1 (HH) | 1 | 14,82 | 0,148 | 30,24 | 0,302 | 11,93 | 0,0052 | 2288 | 2302 |
| | 2 | 15,07 | 0,151 | 30,09 | 0,301 | 12,60 | 0,0054 | 2346 | |
| | 3 | 15,01 | 0,150 | 30,18 | 0,302 | 12,13 | 0,0053 | 2272 | |

Tabla 19: Peso unitario mezclas con aditivo a los 28 días.

| Mezcla patrón | Probeta N° | Diámetro Medio (cm) | Diámetro Medio (m) | Altura Media (cm) | Altura Media (m) | Peso (kg) | Volumen (m ³) | Peso unitario (kg/m ³) | Peso unitario promedio (kg/m ³) |
|---------------|------------|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|-----------|---------------------------|------------------------------------|---|
| TI (EE) | 1 | 15,09 | 0,151 | 30,23 | 0,302 | 12,26 | 0,0054 | 2268 | 2274 |
| | 2 | 15,07 | 0,151 | 30,37 | 0,304 | 12,33 | 0,0054 | 2275 | |
| | 3 | 15,03 | 0,150 | 30,48 | 0,305 | 12,32 | 0,0054 | 2277 | |
| TIII (FF) | 1 | 15,04 | 0,150 | 30,59 | 0,306 | 11,78 | 0,0054 | 2168 | 2227 |
| | 2 | 15,01 | 0,150 | 30,07 | 0,301 | 12,40 | 0,0053 | 2332 | |
| | 3 | 15,06 | 0,151 | 30,48 | 0,305 | 11,84 | 0,0054 | 2181 | |
| CPCA2 (GG) | 1 | 15,06 | 0,151 | 30,62 | 0,306 | 11,88 | 0,0055 | 2177 | 2226 |
| | 2 | 15,11 | 0,151 | 30,22 | 0,302 | 12,65 | 0,0054 | 2335 | |
| | 3 | 15,11 | 0,151 | 30,49 | 0,305 | 11,83 | 0,0055 | 2165 | |
| CPCA1 (HH) | 1 | 15,14 | 0,151 | 30,16 | 0,302 | 12,75 | 0,0054 | 2349 | 2302 |
| | 2 | 14,98 | 0,150 | 30,03 | 0,300 | 12,10 | 0,0053 | 2285 | |
| | 3 | 15,01 | 0,150 | 30,07 | 0,301 | 12,10 | 0,0053 | 2273 | |

Tabla 20: Tabla resumen peso unitario en estado endurecido.

| Mezcla | Peso unitario promedio a los 7 días (kg/m³) | Peso unitario promedio a los 14 días (kg/m³) | Peso unitario promedio a los 28 días (kg/m³) |
|-------------------|---|--|--|
| E (TI) | 2298 | 2302 | 2334 |
| EE (TI) | 2259 | 2298 | 2274 |
| F (TIII) | 2310 | 2326 | 2316 |
| FF (TIII) | 2190 | 2231 | 2227 |
| G (CPCA2) | 2298 | 2306 | 2313 |
| GG (CPCA2) | 2294 | 2311 | 2226 |
| H (CPCA1) | 2339 | 2352 | 2297 |
| HH (CPCA1) | 2317 | 2302 | 2302 |

IV.1.4.3 Velocidad de propagación de ondas en mezclas de concreto.

IV.1.4.3.1 Velocidad de pulso ultrasónico en mezclas patrón.

Tabla 21 Pulso ultrasónico en mezclas patrón a los 7 días.

| Mezcla patrón | Probeta N° | t ultrasonido (μs) | t ultrasonido (s) | h _{probeta} (cm) | h _{probeta} (m) | V (m/s) | V _{promedio} (m/s) |
|---------------|------------|--------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------|---------|-----------------------------|
| TI (E) | 1 | 99,80 | 0,0000998 | 30,02 | 0,30 | 3008 | 3125 |
| | 2 | 91,40 | 0,0000914 | 30,05 | 0,30 | 3288 | |
| | 3 | 97,40 | 0,0000974 | 30,00 | 0,30 | 3080 | |
| TIII (F) | 1 | 92,40 | 0,0000924 | 30,10 | 0,30 | 3258 | 3162 |
| | 2 | 95,30 | 0,0000953 | 30,00 | 0,30 | 3148 | |
| | 3 | 97,40 | 0,0000974 | 30,00 | 0,30 | 3080 | |
| CPCA2 (G) | 1 | 107,40 | 0,0001074 | 30,49 | 0,30 | 2839 | 2856 |
| | 2 | 102,50 | 0,0001025 | 30,44 | 0,30 | 2969 | |
| | 3 | 110,50 | 0,0001105 | 30,50 | 0,30 | 2760 | |
| CPCA1 (H) | 1 | 84,00 | 0,0000840 | 30,19 | 0,30 | 3594 | 3595 |
| | 2 | 84,10 | 0,0000841 | 30,07 | 0,30 | 3576 | |
| | 3 | 83,10 | 0,0000831 | 30,04 | 0,30 | 3615 | |

Tabla 22: Pulso ultrasónico en mezclas patrón a los 14 días.

| Mezcla patrón | Probeta N° | t ultrasonido (μs) | t ultrasonido (s) | h _{probeta} (cm) | h _{probeta} (m) | V (m/s) | V _{promedio} (m/s) |
|---------------|------------|--------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------|---------|-----------------------------|
| TI (E) | 1 | 90,30 | 0,0000903 | 30,04 | 0,30 | 3326 | 3348 |
| | 2 | 91,40 | 0,0000914 | 30,05 | 0,30 | 3288 | |
| | 3 | 87,50 | 0,0000875 | 30,01 | 0,30 | 3430 | |
| TIII (F) | 1 | 87,60 | 0,0000876 | 30,03 | 0,30 | 3428 | 3462 |
| | 2 | 84,70 | 0,0000847 | 29,66 | 0,30 | 3502 | |
| | 3 | 86,90 | 0,0000869 | 30,04 | 0,30 | 3457 | |
| CPCA2 (G) | 1 | 98,10 | 0,0000981 | 30,34 | 0,30 | 3093 | 3088 |
| | 2 | 99,70 | 0,0000997 | 30,45 | 0,30 | 3054 | |
| | 3 | 97,40 | 0,0000974 | 30,34 | 0,30 | 3115 | |
| CPCA1 (H) | 1 | 85,60 | 0,0000856 | 30,24 | 0,30 | 3533 | 3481 |
| | 2 | 88,70 | 0,0000887 | 30,06 | 0,30 | 3389 | |
| | 3 | 85,50 | 0,0000855 | 30,10 | 0,30 | 3520 | |

Tabla 23: Pulso ultrasónico en mezclas patrón a los 28 días.

| Mezcla patrón | Probeta N° | t ultrasonido (µs) | t ultrasonido (s) | h _{probeta} (cm) | h _{probeta} (m) | V (m/s) | V _{promedio} (m/s) |
|---------------|------------|--------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------|---------|-----------------------------|
| TI (E) | 1 | 85,70 | 0,0000857 | 30,04 | 0,30 | 3505 | 3479 |
| | 2 | 87,10 | 0,0000871 | 30,05 | 0,30 | 3450 | |
| | 3 | 86,30 | 0,0000863 | 30,05 | 0,30 | 3482 | |
| TIII (F) | 1 | 80,30 | 0,0000803 | 30,11 | 0,30 | 3750 | 3672 |
| | 2 | 81,70 | 0,0000817 | 30,25 | 0,30 | 3703 | |
| | 3 | 84,60 | 0,0000846 | 30,14 | 0,30 | 3563 | |
| CPCA2 (G) | 1 | 84,00 | 0,0000840 | 30,46 | 0,30 | 3626 | 3717 |
| | 2 | 82,40 | 0,0000824 | 30,41 | 0,30 | 3690 | |
| | 3 | 79,40 | 0,0000794 | 30,45 | 0,30 | 3835 | |
| CPCA1 (H) | 1 | 77,10 | 0,0000771 | 30,07 | 0,30 | 3900 | 3933 |
| | 2 | 75,80 | 0,0000758 | 30,06 | 0,30 | 3966 | |
| | 3 | 77,90 | 0,0000779 | 30,65 | 0,31 | 3935 | |

IV.1.4.3.2 Velocidad de pulso ultrasónico en mezclas con aditivo para cada edad.

Tabla 24: Pulso ultrasónico en mezclas con aditivo a los 7 días.

| Mezcla con aditivo | Probeta N° | t ultrasonido (µs) | t ultrasonido (s) | h _{probeta} (cm) | h _{probeta} (m) | V (m/s) | V _{promedio} (m/s) |
|--------------------|------------|--------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------|---------|-----------------------------|
| TI (EE) | 1 | 98,30 | 0,0000983 | 30,54 | 0,31 | 3106 | 3211 |
| | 2 | 91,60 | 0,0000916 | 30,32 | 0,30 | 3310 | |
| | 3 | 94,70 | 0,0000947 | 30,45 | 0,30 | 3216 | |
| TIII (FF) | 1 | 102,30 | 0,0001023 | 30,43 | 0,30 | 2975 | 2977 |
| | 2 | 103,20 | 0,0001032 | 30,57 | 0,31 | 2962 | |
| | 3 | 100,70 | 0,0001007 | 30,16 | 0,30 | 2995 | |
| CPCA2 (GG) | 1 | 107,90 | 0,0001079 | 30,47 | 0,30 | 2824 | 2822 |
| | 2 | 105,80 | 0,0001058 | 30,35 | 0,30 | 2869 | |
| | 3 | 109,80 | 0,0001098 | 30,45 | 0,30 | 2773 | |
| CPCA1 (HH) | 1 | 84,50 | 0,0000845 | 30,02 | 0,30 | 3553 | 3533 |
| | 2 | 83,70 | 0,0000837 | 30,14 | 0,30 | 3601 | |
| | 3 | 87,80 | 0,0000878 | 30,24 | 0,30 | 3444 | |

Tabla 25: Pulso ultrasónico en mezclas con aditivo a los 14 días.

| Mezcla con aditivo | Probeta N° | t ultrasonido (μs) | t ultrasonido (s) | h _{probeta} (cm) | h _{probeta} (m) | V (m/s) | V _{promedio} (m/s) |
|--------------------|------------|--------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------|---------|-----------------------------|
| TI (EE) | 1 | 87,40 | 0,0000874 | 30,26 | 0,30 | 3463 | 3579 |
| | 2 | 84,70 | 0,0000847 | 30,26 | 0,30 | 3573 | |
| | 3 | 81,60 | 0,0000816 | 30,21 | 0,30 | 3702 | |
| TIII (FF) | 1 | 96,40 | 0,0000964 | 30,60 | 0,31 | 3174 | 3225 |
| | 2 | 92,70 | 0,0000927 | 30,25 | 0,30 | 3263 | |
| | 3 | 94,60 | 0,0000946 | 30,61 | 0,31 | 3236 | |
| CPCA2 (GG) | 1 | 98,30 | 0,0000983 | 30,51 | 0,31 | 3104 | 3038 |
| | 2 | 99,80 | 0,0000998 | 30,15 | 0,30 | 3021 | |
| | 3 | 99,20 | 0,0000992 | 29,67 | 0,30 | 2991 | |
| CPCA1 (HH) | 1 | 88,70 | 0,0000887 | 30,24 | 0,30 | 3409 | 3587 |
| | 2 | 75,40 | 0,0000754 | 30,09 | 0,30 | 3991 | |
| | 3 | 89,80 | 0,0000898 | 30,18 | 0,30 | 3360 | |

Tabla 26: Pulso ultrasónico en mezclas con aditivo a los 28 días.

| Mezcla con aditivo | Probeta N° | t ultrasonido (μs) | t ultrasonido (s) | h _{probeta} (cm) | h _{probeta} (m) | V (m/s) | V _{promedio} (m/s) |
|--------------------|------------|--------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------|---------|-----------------------------|
| TI (EE) | 1 | 79,30 | 0,0000793 | 30,23 | 0,30 | 3813 | 3744 |
| | 2 | 75,90 | 0,0000759 | 30,37 | 0,30 | 4001 | |
| | 3 | 89,20 | 0,0000892 | 30,48 | 0,30 | 3417 | |
| TIII (FF) | 1 | 82,70 | 0,0000827 | 30,59 | 0,31 | 3699 | 3535 |
| | 2 | 85,80 | 0,0000858 | 30,07 | 0,30 | 3505 | |
| | 3 | 89,60 | 0,0000896 | 30,48 | 0,30 | 3402 | |
| CPCA2 (GG) | 1 | 85,90 | 0,0000859 | 30,62 | 0,31 | 3565 | 3538 |
| | 2 | 86,90 | 0,0000869 | 30,22 | 0,30 | 3478 | |
| | 3 | 85,40 | 0,0000854 | 30,49 | 0,30 | 3570 | |
| CPCA1 (HH) | 1 | 78,78 | 0,0000788 | 30,16 | 0,30 | 3828 | 3815 |
| | 2 | 78,70 | 0,0000787 | 30,03 | 0,30 | 3815 | |
| | 3 | 79,10 | 0,0000791 | 30,07 | 0,30 | 3802 | |

Tabla 27: Tabla resumen pulso ultrasónico.

| Mezcla | V_{promedio 7 días} (m/s) | V_{promedio 14 días} (m/s) | V_{promedio 28 días} (m/s) |
|-------------------|--|---|---|
| E (TI) | 3125 | 3348 | 3479 |
| EE (TI) | 3211 | 3579 | 3744 |
| F (TII) | 3162 | 3462 | 3672 |
| FF (TII) | 2977 | 3225 | 3535 |
| G (CPCA2) | 2856 | 3088 | 3717 |
| GG (CPCA2) | 2822 | 3038 | 3538 |
| H (CPCA1) | 3595 | 3481 | 3933 |
| HH (CPCA1) | 3533 | 3587 | 3815 |

IV.1.4.4 Resistencia a la compresión.

IV.1.4.4.1 Resistencia a la compresión de mezclas patrón para cada edad.

Tabla 28: Resistencia a la compresión mezcla patrón a los 7 días.

| Mezcla patrón | Probeta N° | Altura Media (cm) | Diámetro Medio (cm) | Peso (kg) | Área Media (cm ²) | Q (ton) | Q (kgf) | Esfuerzo (kgf/cm ²) | Esfuerzo Medio (kgf/cm ²) |
|---------------|------------|-------------------|---------------------|-----------|-------------------------------|---------|---------|---------------------------------|---------------------------------------|
| TI (E) | 1 | 30,02 | 15,09 | 12,32 | 178,84 | 36,01 | 36006 | 201,33 | 196 |
| | 2 | 30,05 | 15,09 | 12,42 | 178,92 | 33,18 | 33182 | 185,46 | |
| | 3 | 30,00 | 15,03 | 12,18 | 177,50 | 35,82 | 35823 | 201,82 | |
| TIII (F) | 1 | 30,10 | 15,00 | 12,29 | 176,71 | 33,21 | 33208 | 187,92 | 205 |
| | 2 | 30,00 | 14,90 | 12,12 | 174,37 | 38,69 | 38687 | 221,87 | |
| | 3 | 30,00 | 14,90 | 12,05 | 174,37 | 39,05 | 39054 | 223,98 | |
| CPCA2 (G) | 1 | 30,49 | 15,02 | 12,42 | 177,19 | 25,50 | 25500 | 143,92 | 151 |
| | 2 | 30,44 | 14,99 | 12,30 | 176,37 | 26,80 | 26800 | 151,95 | |
| | 3 | 30,50 | 15,03 | 12,47 | 177,34 | 27,75 | 27750 | 156,48 | |
| CPCA1 (H) | 1 | 30,19 | 15,01 | 12,70 | 176,87 | 40,50 | 40501 | 228,99 | 246 |
| | 2 | 30,07 | 15,05 | 12,35 | 177,82 | 44,62 | 44621 | 250,94 | |
| | 3 | 30,04 | 14,95 | 12,27 | 175,46 | 45,53 | 45534 | 259,51 | |

Tabla 29: Resistencia a la compresión mezcla patrón a los 14 días.

| Mezcla patrón | Probeta N° | Altura Media (cm) | Diámetro Medio (cm) | Peso (kg) | Área Media (cm ²) | Q (ton) | Q (kgf) | Esfuerzo (kgf/cm ²) | Esfuerzo Medio (kgf/cm ²) |
|---------------|------------|-------------------|---------------------|-----------|-------------------------------|---------|---------|---------------------------------|---------------------------------------|
| TI (E) | 1 | 30,04 | 15,06 | 12,32 | 178,21 | 37,38 | 37381 | 209,76 | 201 |
| | 2 | 30,05 | 15,09 | 12,38 | 178,84 | 34,27 | 34265 | 191,59 | |
| | 3 | 30,01 | 15,05 | 12,30 | 177,97 | 35,82 | 35823 | 201,28 | |
| TIII (F) | 1 | 30,03 | 15,00 | 12,28 | 176,71 | 35,22 | 35222 | 199,32 | 217 |
| | 2 | 29,66 | 14,96 | 12,26 | 175,85 | 41,44 | 41444 | 235,68 | |
| | 3 | 30,04 | 15,03 | 12,33 | 177,42 | 34,26 | 34256 | 193,08 | |
| CPCA2 (G) | 1 | 30,34 | 15,01 | 12,37 | 176,95 | 32,40 | 32403 | 183,12 | 182 |
| | 2 | 30,45 | 15,04 | 12,41 | 177,74 | 31,93 | 31934 | 179,67 | |
| | 3 | 30,34 | 15,00 | 12,44 | 176,71 | 32,30 | 32301 | 182,79 | |
| CPCA1 (H) | 1 | 30,24 | 15,01 | 12,42 | 176,87 | 46,92 | 46916 | 265,25 | 271 |
| | 2 | 30,06 | 15,04 | 12,38 | 177,66 | 47,21 | 47211 | 265,74 | |
| | 3 | 30,10 | 14,73 | 12,40 | 170,33 | 47,99 | 47985 | 281,71 | |

Tabla 30: Resistencia a la compresión mezcla patrón a los 28 días.

| Mezcla patrón | Probeta N° | Altura Media (cm) | Diámetro Medio (cm) | Peso (kg) | Área Media (cm ²) | Q (ton) | Q (kgf) | Esfuerzo (kgf/cm ²) | Esfuerzo Medio (kgf/cm ²) |
|---------------|------------|-------------------|---------------------|-----------|-------------------------------|---------|---------|---------------------------------|---------------------------------------|
| TI (E) | 1 | 30,04 | 15,03 | 12,44 | 177,42 | 41,76 | 41755 | 235,34 | 238 |
| | 2 | 30,05 | 15,02 | 12,42 | 177,26 | 39,66 | 39662 | 223,74 | |
| | 3 | 30,05 | 14,98 | 12,36 | 176,17 | 45,04 | 45039 | 255,66 | |
| TIII (F) | 1 | 30,11 | 15,00 | 12,30 | 176,79 | 48,08 | 48075 | 271,93 | 271 |
| | 2 | 30,25 | 15,08 | 12,51 | 178,53 | 48,28 | 48283 | 270,45 | |
| | 3 | 30,14 | 15,01 | 12,37 | 176,95 | 39,94 | 39944 | 225,74 | |
| CPCA2 (G) | 1 | 30,46 | 15,08 | 12,46 | 178,68 | 34,44 | 34435 | 192,72 | 184 |
| | 2 | 30,41 | 15,02 | 12,66 | 177,26 | 31,06 | 31058 | 175,21 | |
| | 3 | 30,45 | 15,10 | 12,56 | 179,16 | 32,75 | 32747 | 182,78 | |
| CPCA1 (H) | 1 | 30,07 | 15,02 | 12,28 | 177,19 | 50,24 | 50235 | 283,52 | 283 |
| | 2 | 30,06 | 15,00 | 12,26 | 176,79 | 51,99 | 51986 | 294,05 | |
| | 3 | 30,65 | 15,08 | 12,46 | 178,53 | 48,48 | 48484 | 271,58 | |

IV.1.4.4.2 Resistencia a la compresión de mezclas con aditivo para cada edad.

Tabla 31: Resistencia a la compresión mezcla con aditivo a los 7 días.

| Mezcla con aditivo | Probeta N° | Altura Media (cm) | Diámetro Medio (cm) | Peso (kg) | Área Media (cm ²) | Q (ton) | Q (kgf) | Esfuerzo (kgf/cm ²) | Esfuerzo Medio (kgf/cm ²) |
|--------------------|------------|-------------------|---------------------|-----------|-------------------------------|---------|---------|---------------------------------|---------------------------------------|
| TI (EE) | 1 | 30,54 | 14,95 | 11,96 | 175,54 | 43,36 | 43360 | 247,01 | 253 |
| | 2 | 30,32 | 15,03 | 12,42 | 177,42 | 49,37 | 49365 | 278,23 | |
| | 3 | 30,45 | 15,08 | 12,16 | 178,53 | 41,84 | 41840 | 234,36 | |
| TIII (FF) | 1 | 30,43 | 15,16 | 11,80 | 180,43 | 34,98 | 34980 | 193,88 | 224 |
| | 2 | 30,57 | 15,17 | 11,71 | 180,82 | 37,63 | 37630 | 208,10 | |
| | 3 | 30,16 | 15,03 | 12,31 | 177,34 | 48,08 | 48076 | 271,09 | |
| CPCA2 (GG) | 1 | 30,47 | 15,07 | 12,89 | 178,45 | 34,56 | 34560 | 193,67 | 207 |
| | 2 | 30,35 | 15,03 | 11,69 | 177,42 | 36,78 | 36780 | 207,30 | |
| | 3 | 30,45 | 15,04 | 12,66 | 177,66 | 38,88 | 38880 | 218,85 | |
| CPCA1 (HH) | 1 | 30,02 | 14,98 | 12,17 | 176,24 | 41,85 | 41852 | 237,47 | 241 |
| | 2 | 30,14 | 14,90 | 12,07 | 174,37 | 41,20 | 41201 | 236,29 | |
| | 3 | 30,24 | 15,01 | 12,60 | 176,95 | 44,27 | 44270 | 250,18 | |

Tabla 32: Resistencia a la compresión mezcla con aditivo a los 14 días.

| Mezcla con aditivo | Probeta N° | Altura Media (cm) | Diámetro Medio (cm) | Peso (kg) | Área Media (cm ²) | Q (ton) | Q (kgf) | Esfuerzo (kgf/cm ²) | Esfuerzo Medio (kgf/cm ²) |
|--------------------|------------|-------------------|---------------------|-----------|-------------------------------|---------|---------|---------------------------------|---------------------------------------|
| TI (EE) | 1 | 30,26 | 15,03 | 12,27 | 177,50 | 52,19 | 52187 | 294,01 | 289 |
| | 2 | 30,26 | 14,97 | 12,20 | 175,93 | 51,24 | 51237 | 291,24 | |
| | 3 | 30,21 | 15,04 | 12,44 | 177,58 | 49,86 | 49855 | 280,75 | |
| TIII (FF) | 1 | 30,60 | 15,02 | 11,88 | 177,19 | 49,32 | 49323 | 278,37 | 299 |
| | 2 | 30,25 | 14,98 | 12,42 | 176,24 | 56,31 | 56305 | 319,47 | |
| | 3 | 30,61 | 15,07 | 11,86 | 178,45 | 48,13 | 48129 | 269,71 | |
| CPCA2 (GG) | 1 | 30,51 | 15,16 | 12,43 | 180,50 | 39,32 | 39320 | 217,83 | 208 |
| | 2 | 30,15 | 14,97 | 12,48 | 175,93 | 37,39 | 37393 | 212,54 | |
| | 3 | 29,67 | 15,23 | 12,55 | 182,10 | 35,40 | 35400 | 194,40 | |
| CPCA1 (HH) | 1 | 30,24 | 14,82 | 11,93 | 172,50 | 47,44 | 47435 | 274,99 | 269 |
| | 2 | 30,09 | 15,07 | 12,60 | 178,45 | 51,86 | 51863 | 290,64 | |
| | 3 | 30,18 | 15,01 | 12,13 | 176,95 | 42,55 | 42553 | 240,48 | |

Tabla 33: Resistencia a la compresión mezcla con aditivo a los 28 días.

| Mezcla con aditivo | Probeta N° | Altura Media (cm) | Diámetro Medio (cm) | Peso (kg) | Área Media (cm ²) | Q (ton) | Q (kgf) | Esfuerzo (kgf/cm ²) | Esfuerzo Medio (kgf/cm ²) |
|--------------------|------------|-------------------|---------------------|-----------|-------------------------------|---------|---------|---------------------------------|---------------------------------------|
| TI (EE) | 1 | 30,23 | 15,09 | 12,26 | 178,76 | 51,37 | 51369 | 287,36 | 292 |
| | 2 | 30,37 | 15,07 | 12,33 | 178,45 | 51,61 | 51613 | 289,23 | |
| | 3 | 30,48 | 15,03 | 12,32 | 177,50 | 53,18 | 53176 | 299,58 | |
| TIII (FF) | 1 | 30,59 | 15,04 | 11,78 | 177,66 | 49,46 | 49460 | 278,40 | 303 |
| | 2 | 30,07 | 15,01 | 12,40 | 176,87 | 57,95 | 57952 | 327,65 | |
| | 3 | 30,48 | 15,06 | 11,84 | 178,13 | 49,76 | 49755 | 279,32 | |
| CPCA2 (GG) | 1 | 30,62 | 15,06 | 11,88 | 178,13 | 39,87 | 39870 | 223,82 | 229 |
| | 2 | 30,22 | 15,11 | 12,65 | 179,24 | 40,26 | 40263 | 224,64 | |
| | 3 | 30,49 | 15,11 | 11,83 | 179,32 | 42,90 | 42896 | 239,22 | |
| CPCA1 (HH) | 1 | 30,16 | 15,14 | 12,75 | 179,95 | 54,48 | 54477 | 302,74 | 292 |
| | 2 | 30,03 | 14,98 | 12,10 | 176,32 | 51,41 | 51405 | 291,54 | |
| | 3 | 30,07 | 15,01 | 12,10 | 177,03 | 49,97 | 49968 | 282,26 | |

Tabla 34: Tabla resumen resistencia a la compresión.

| Mezcla | Esfuerzo Medio 7 días (kgf/cm²) | Esfuerzo Medio 14 días (kgf/cm²) | Esfuerzo Medio 28 días (kgf/cm²) |
|-------------------|---|--|--|
| E (TI) | 196 | 201 | 238 |
| EE (TI) | 253 | 289 | 292 |
| F (TIII) | 205 | 217 | 271 |
| FF (TIII) | 224 | 299 | 303 |
| G (CPCA2) | 151 | 182 | 184 |
| GG (CPCA2) | 207 | 208 | 229 |
| H (CPCA1) | 246 | 271 | 283 |
| HH (CPCA1) | 241 | 269 | 292 |

IV.1.5 Comparación de resultados.

A continuación se presentan diferentes gráficos que reflejan los resultados obtenidos en los ensayos realizados al concreto.

IV.1.5.1 Asentamiento.

Tabla 35: Asentamientos obtenidos en cada mezcla de concreto.

| Asentamiento | Tipo I (E y EE) | Tipo III (F y FF) | CPCA2 (G y GG) | CPCA1 (H y HH) |
|-----------------|--------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| T (Sin Aditivo) | 7,50 | 7,50 | 7,50 | 7,50 |
| T (Con Aditivo) | 9,50 | 8,00 | 6,00 | 4,00 |

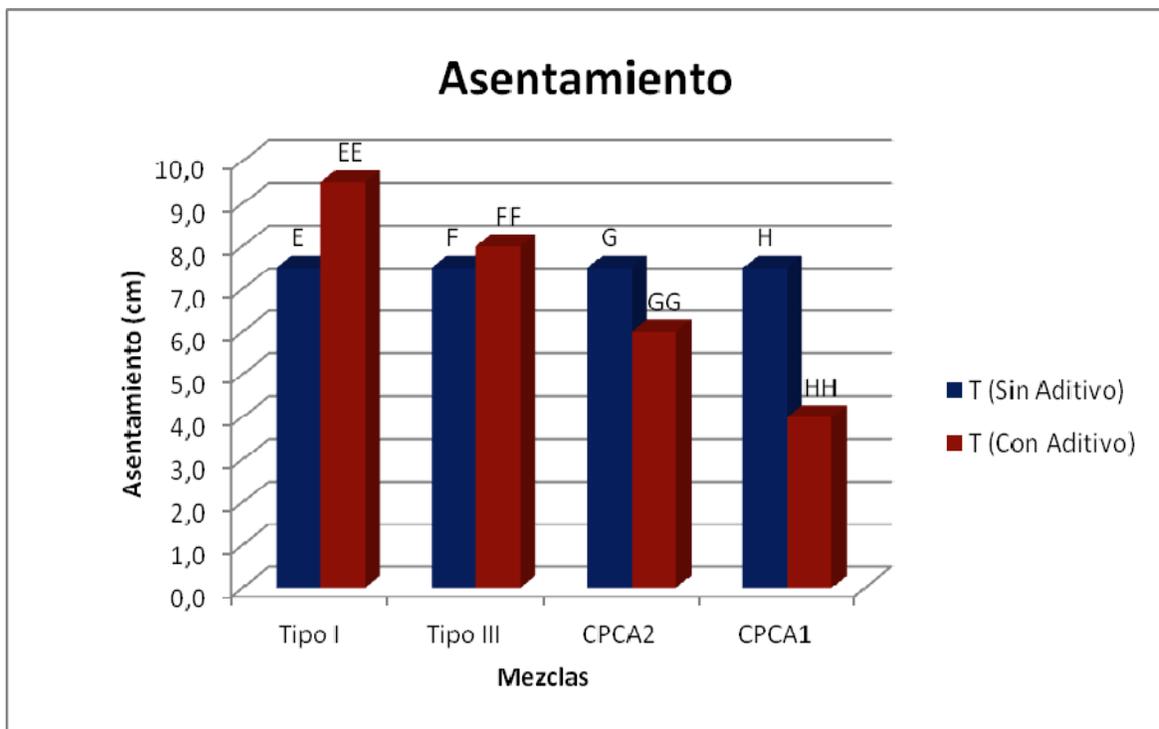


Gráfico 3: Comparación de resultados de los Asentamientos obtenidos en mezclas de concreto con y sin aditivo.

IV.1.5.2 Índice esclerométrico.

Tabla 36: Promedio de Índice esclerométrico y esfuerzo de la mezcla patrón E para las diferentes edades.

| Tipo I (E) | | |
|-------------|-----------------------|---------------------------------|
| Edad (días) | Índice Esclerométrico | Esfuerzos (kg/cm ²) |
| 7 | 25 | 196 |
| 14 | 27 | 201 |
| 28 | 29 | 238 |

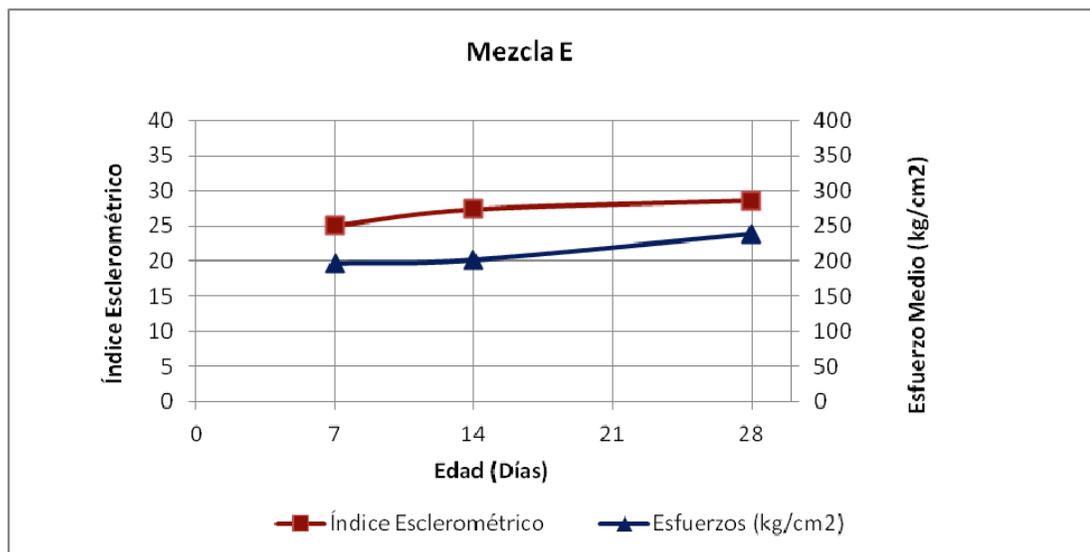


Gráfico 4: Curva de relación Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla patrón E a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 37: Promedio de Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo EE para las diferentes edades.

| Tipo I (EE) | | |
|--------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| Edad (días) | Índice Esclerométrico | Esfuerzos (kg/cm²) |
| 7 | 31 | 253 |
| 14 | 32 | 289 |
| 28 | 34 | 292 |

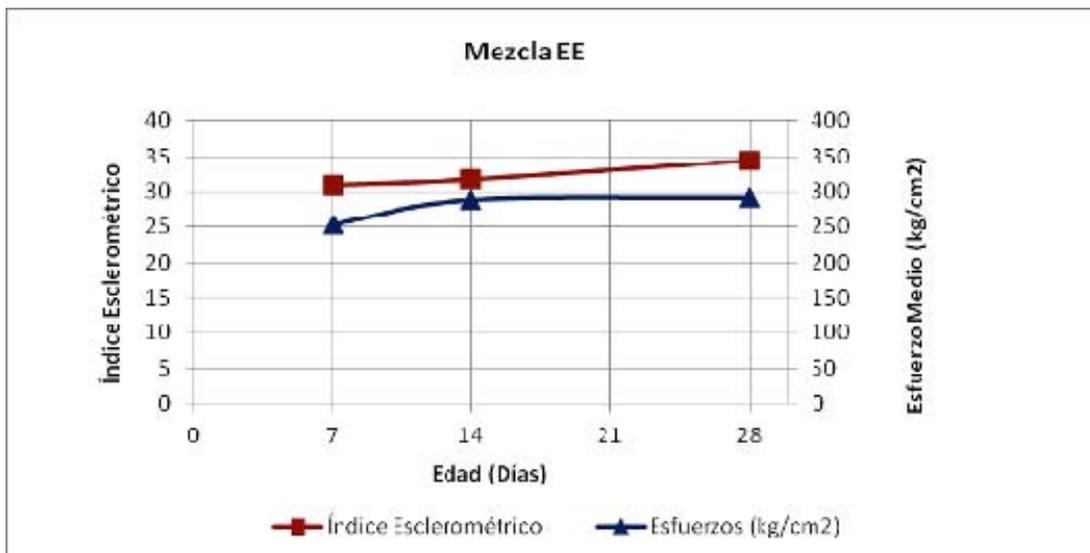


Gráfico 5: Curva de relación Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo EE a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 38: Promedio de Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla patrón F para las diferentes edades.

| Tipo III (F) | | |
|--------------|-----------------------|---------------------------------|
| Edad (días) | Índice Esclerométrico | Esfuerzos (kg/cm ²) |
| 7 | 25 | 205 |
| 14 | 29 | 217 |
| 28 | 30 | 271 |

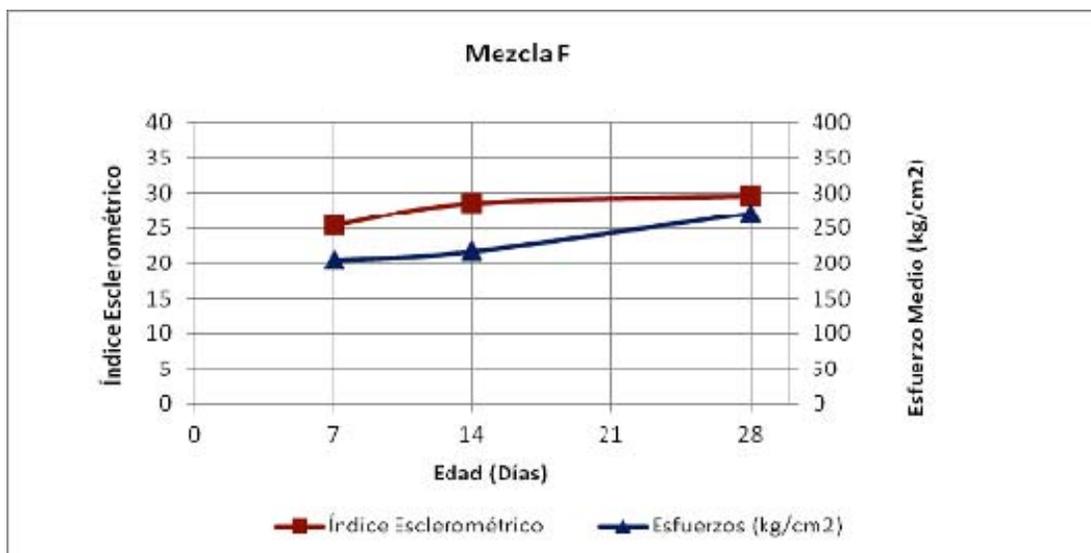


Gráfico 6: Curva de relación Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo F a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 39: Promedio de Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo FF para las diferentes edades.

| Tipo III (FF) | | |
|---------------|-----------------------|---------------------------------|
| Edad (días) | Índice Esclerométrico | Esfuerzos (kg/cm ²) |
| 7 | 26 | 224 |
| 14 | 33 | 299 |
| 28 | 32 | 303 |

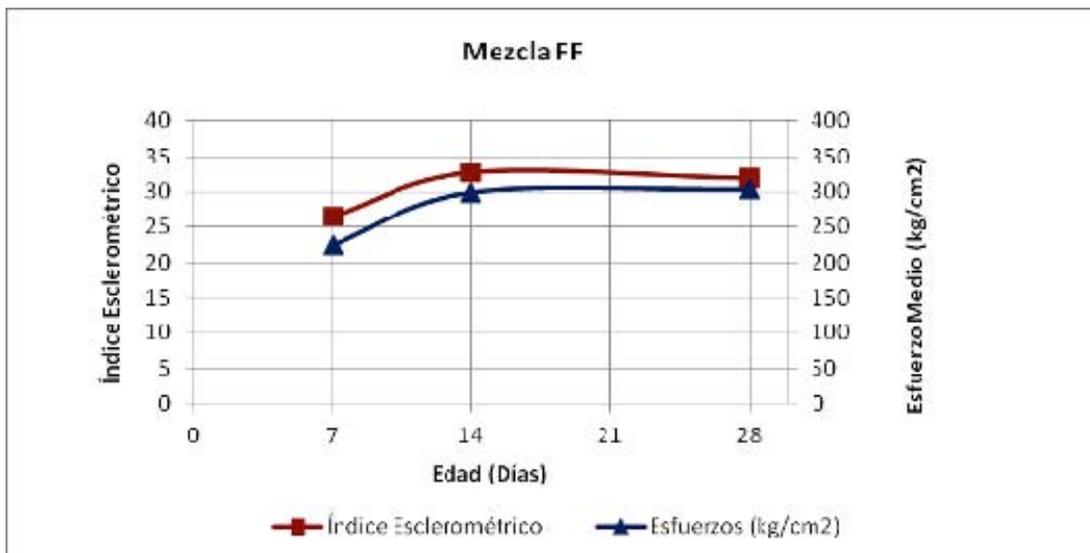


Gráfico 7: Curva de relación Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo FF a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 40: Promedio de Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla patrón G para las diferentes edades.

| CPCA2 (G) | | |
|-------------|-----------------------|---------------------------------|
| Edad (días) | Índice Esclerométrico | Esfuerzos (kg/cm ²) |
| 7 | 23 | 151 |
| 14 | 24 | 182 |
| 28 | 25 | 184 |

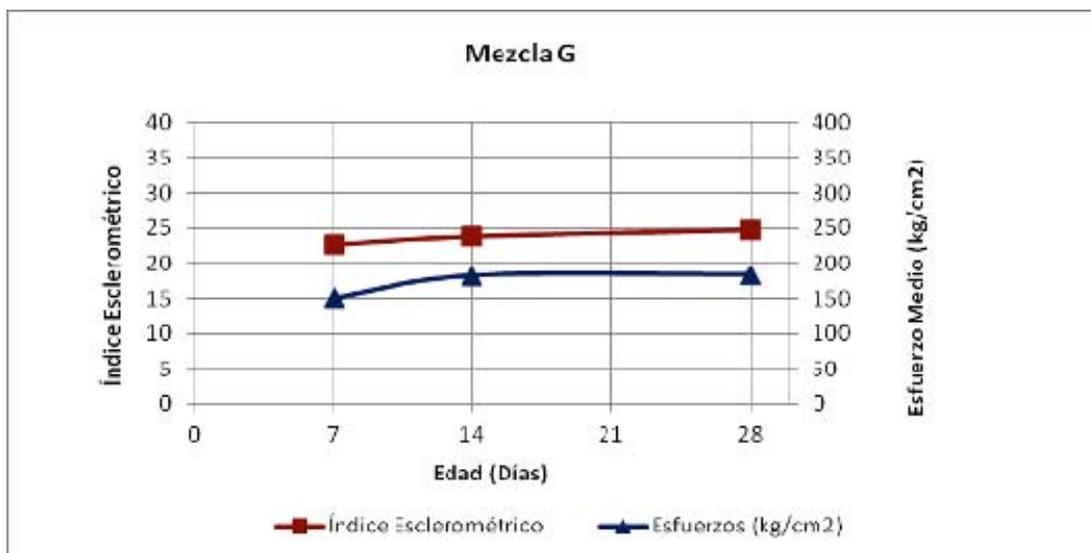


Gráfico 8: Curva de relación Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo G a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 41: Promedio de Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo GG para las diferentes edades.

| CPCA2 (GG) | | |
|-------------|-----------------------|---------------------------------|
| Edad (días) | Índice Esclerométrico | Esfuerzos (kg/cm ²) |
| 7 | 25 | 207 |
| 14 | 27 | 208 |
| 28 | 27 | 229 |

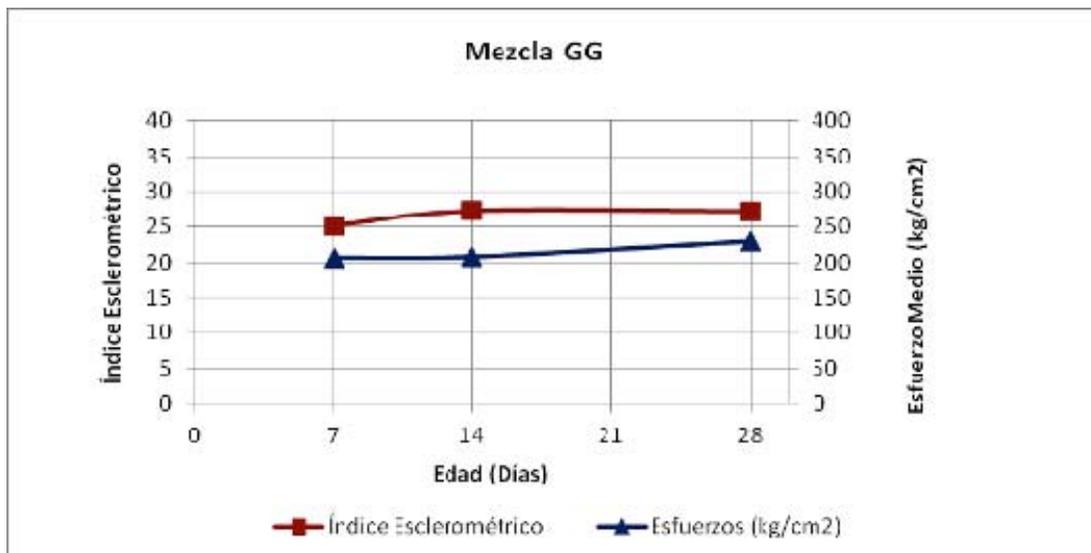


Gráfico 9: Curva de relación Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo GG a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 42: Promedio de Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla patrón H para las diferentes edades.

| CPCA1 (H) | | |
|-------------|-----------------------|---------------------------------|
| Edad (días) | Índice Esclerométrico | Esfuerzos (kg/cm ²) |
| 7 | 26 | 246 |
| 14 | 28 | 271 |
| 28 | 30 | 283 |

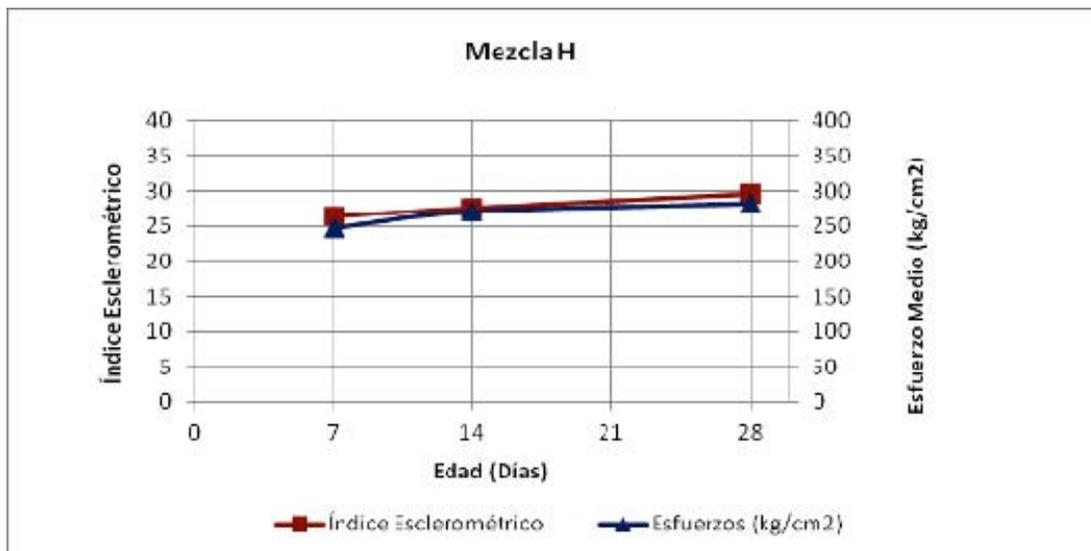


Gráfico 10: Curva de relación Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo H a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 43: Promedio de Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo HH para las diferentes edades.

| CPCA1 (HH) | | |
|-------------|-----------------------|---------------------------------|
| Edad (días) | Índice Esclerométrico | Esfuerzos (kg/cm ²) |
| 7 | 28 | 241 |
| 14 | 28 | 269 |
| 28 | 30 | 292 |

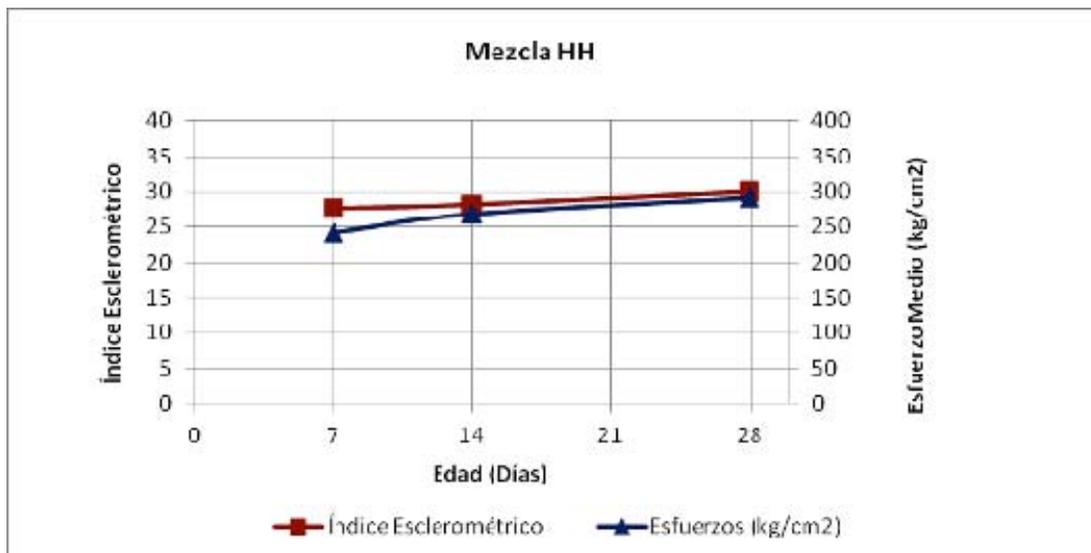


Gráfico 11: Curva de relación Índice esclerométrico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo HH a los 7, 14 y 28 días.

IV.1.5.3 Velocidad de pulso ultrasónico.

Tabla 44: Promedio de Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla patrón E para las diferentes edades.

| Tipo I (E) | | |
|-------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Edad (días) | V _{promedio} (m/s) | Esfuerzos (kgf/cm ²) |
| 7 | 3125 | 196 |
| 14 | 3348 | 201 |
| 28 | 3479 | 238 |

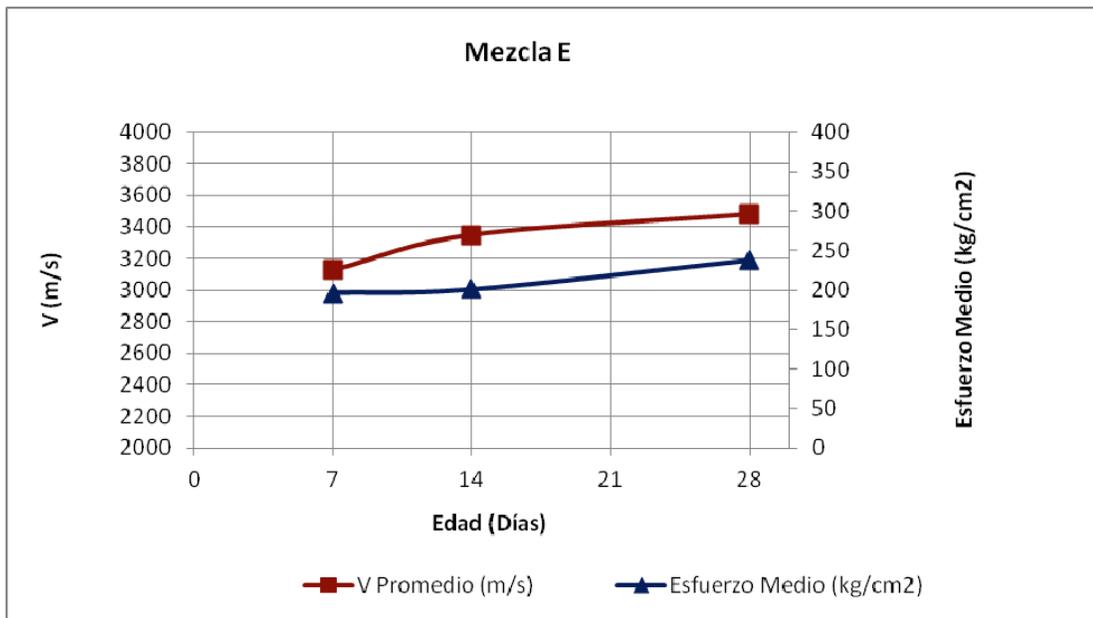


Gráfico 12: Curva de relación Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla patrón E a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 45: Promedio de Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo EE para las diferentes edades.

| Tipo I (EE) | | |
|-------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Edad (días) | V _{promedio} (m/s) | Esfuerzos (kgf/cm ²) |
| 7 | 3211 | 253 |
| 14 | 3579 | 289 |
| 28 | 3744 | 292 |

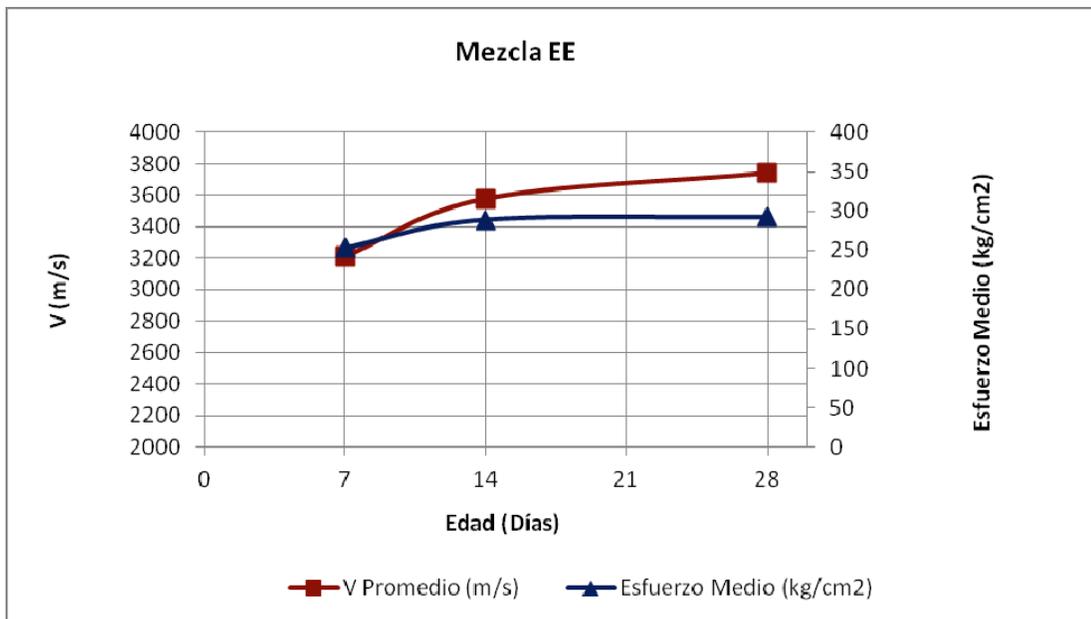


Gráfico 13: Curva de relación Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo EE a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 46: Promedio de Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla patrón F para las diferentes edades.

| Tipo III (F) | | |
|--------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Edad (días) | V _{promedio} (m/s) | Esfuerzos (kgf/cm ²) |
| 7 | 3162 | 205 |
| 14 | 3462 | 217 |
| 28 | 3672 | 271 |

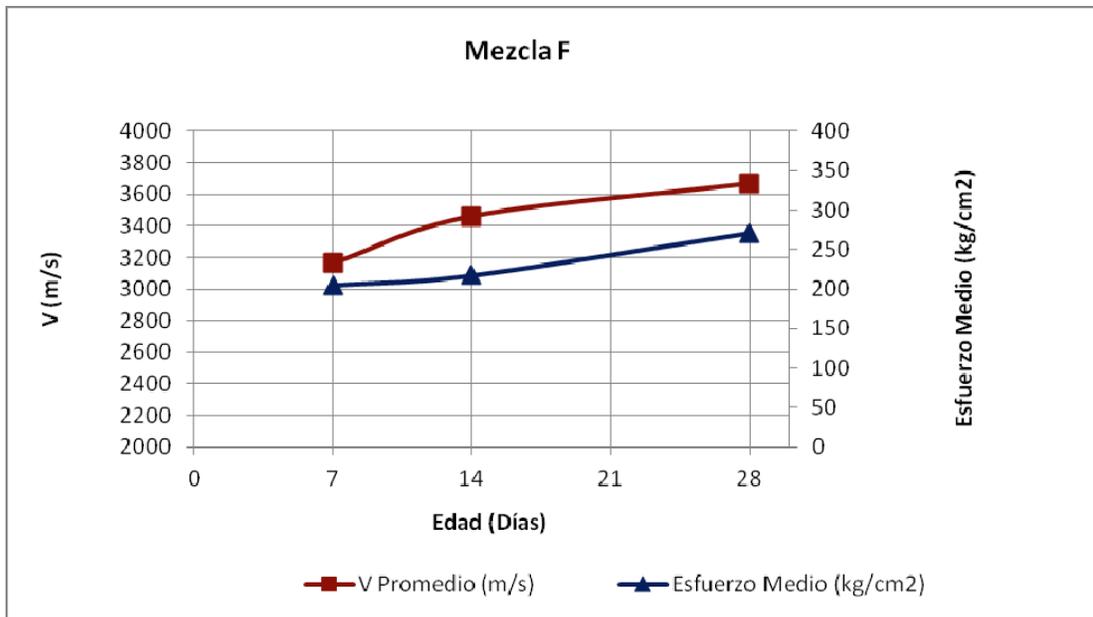


Gráfico 14: Curva de relación Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla patrón F a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 47: Promedio de Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo FF para las diferentes edades.

| Tipo III (FF) | | |
|----------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Edad (días) | V_{promedio} (m/s) | Esfuerzos (kgf/cm²) |
| 7 | 2977 | 224 |
| 14 | 3225 | 299 |
| 28 | 3535 | 303 |

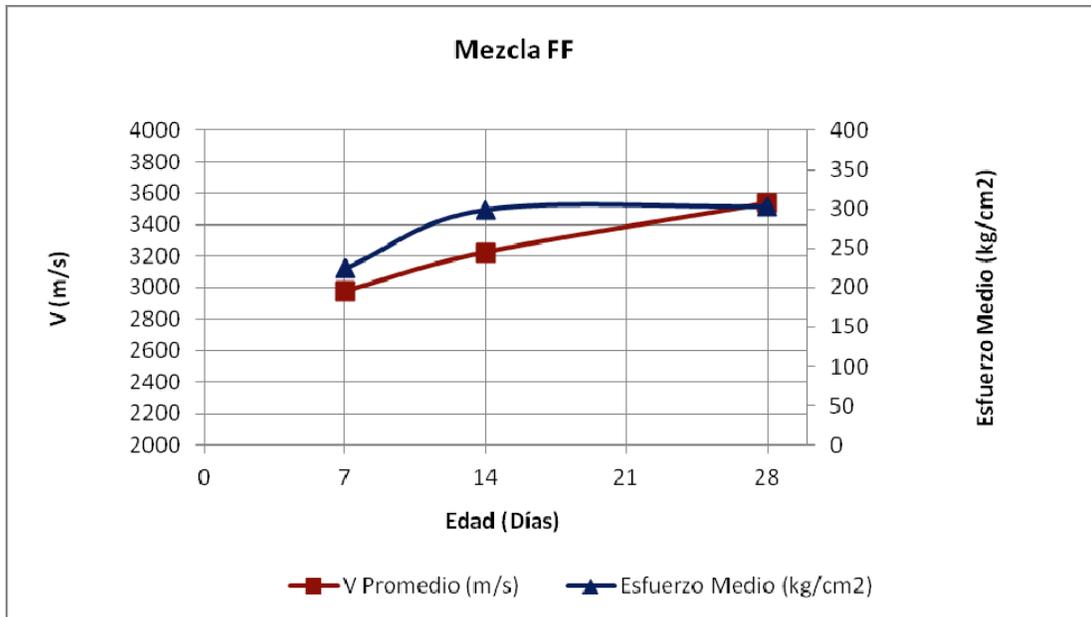


Gráfico 15: Curva de relación Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo FF a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 48: Promedio de Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla patrón G para las diferentes edades.

| CPCA2 (G) | | |
|-------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Edad (días) | V _{promedio} (m/s) | Esfuerzos (kgf/cm ²) |
| 7 | 2856 | 151 |
| 14 | 3088 | 182 |
| 28 | 3717 | 184 |

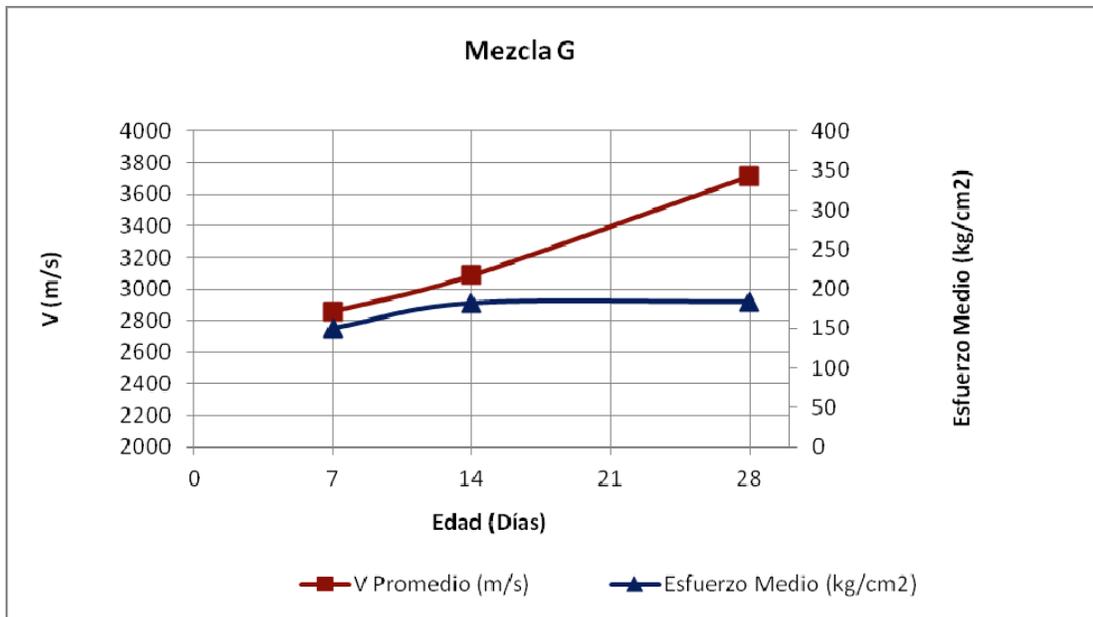


Gráfico 16: Curva de relación Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla patrón G a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 49: Promedio de Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo GG para las diferentes edades.

| CPCA2 (GG) | | |
|-------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Edad (días) | V _{promedio} (m/s) | Esfuerzos (kgf/cm ²) |
| 7 | 2822 | 207 |
| 14 | 3038 | 208 |
| 28 | 3538 | 229 |

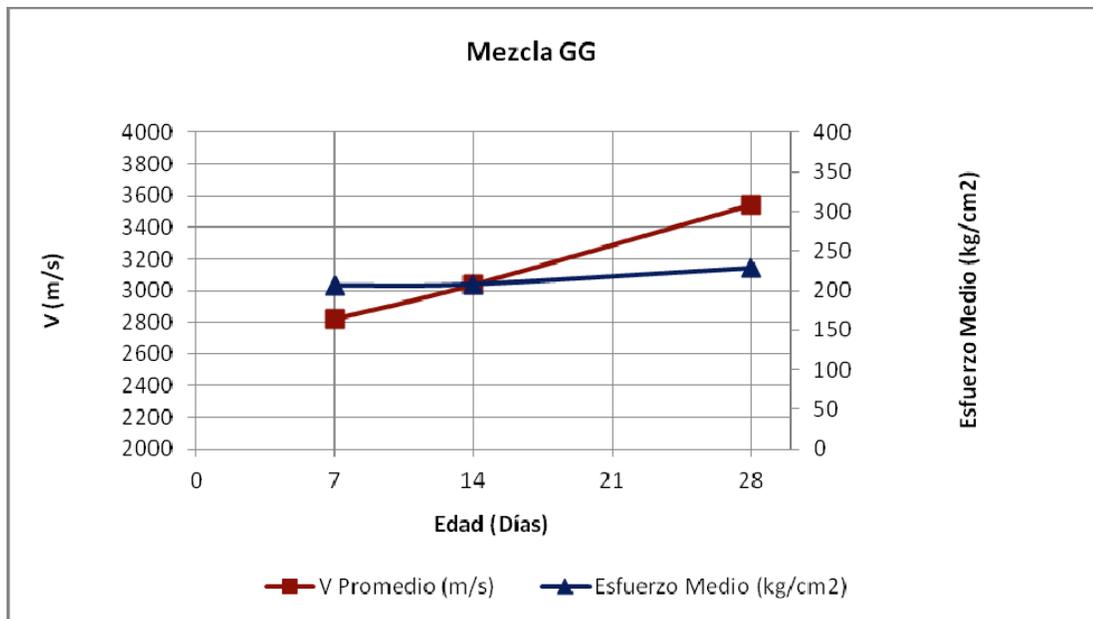


Gráfico 17: Curva de relación Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo GG a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 50: Promedio de Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla patrón H para las diferentes edades.

| CPCA1 (H) | | |
|-------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Edad (días) | V _{promedio} (m/s) | Esfuerzos (kgf/cm ²) |
| 7 | 3595 | 246 |
| 14 | 3481 | 271 |
| 28 | 3933 | 283 |

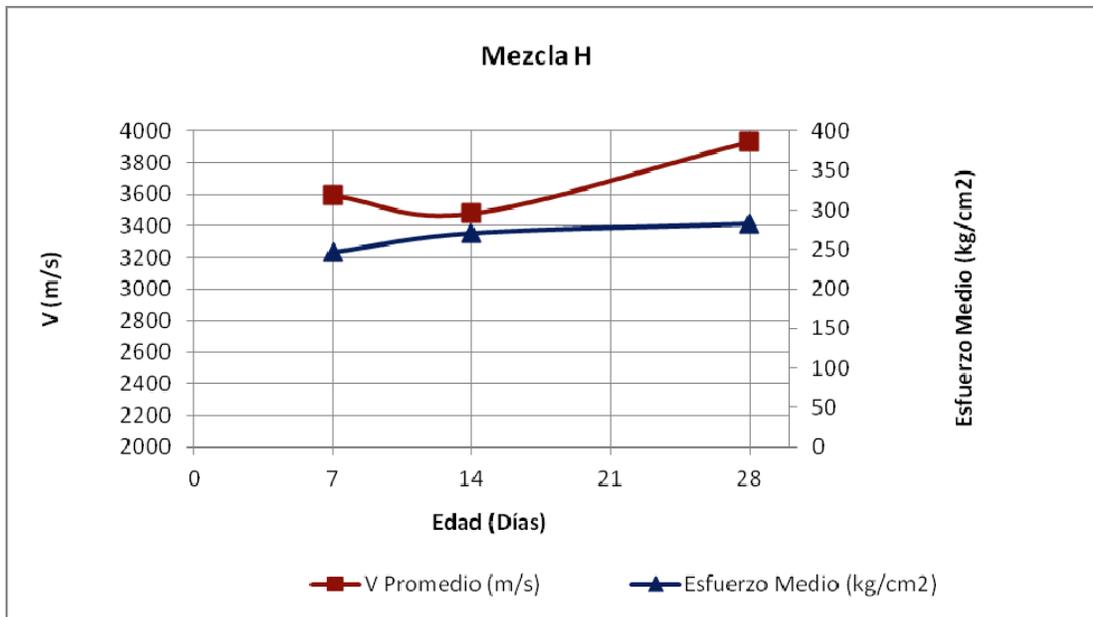


Gráfico 18: Curva de relación Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla patrón H a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 51: Promedio de Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo HH para las diferentes edades.

| CPCA1 (HH) | | |
|-------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Edad (días) | V _{promedio} (m/s) | Esfuerzos (kgf/cm ²) |
| 7 | 3533 | 241 |
| 14 | 3587 | 269 |
| 28 | 3815 | 292 |

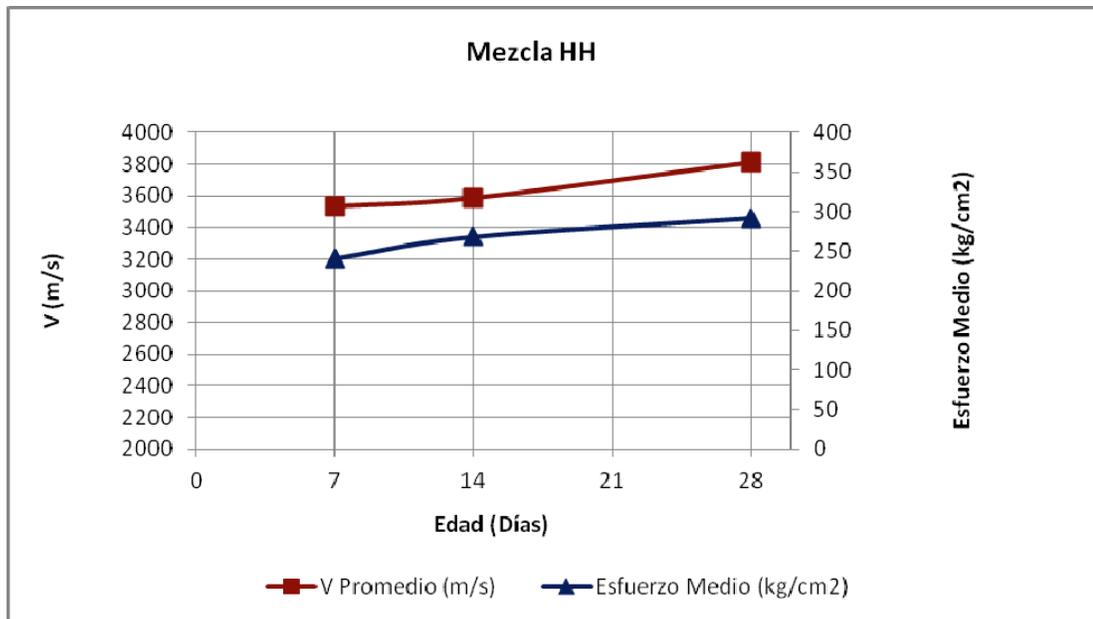


Gráfico 19: Curva de relación Velocidad de pulso ultrasónico y Esfuerzo de la mezcla con aditivo HH a los 7, 14 y 28 días.

IV.1.5.4 Resistencia a la compresión.

Tabla 52: Esfuerzos en mezcla patrón E y mezcla con aditivo EE para las diferentes edades.

| Esfuerzo (kg/cm ²) | | |
|--------------------------------|--------|-----|
| Edad (días) | Tipo I | |
| | E | EE |
| 7 | 196 | 253 |
| 14 | 201 | 289 |
| 28 | 238 | 292 |

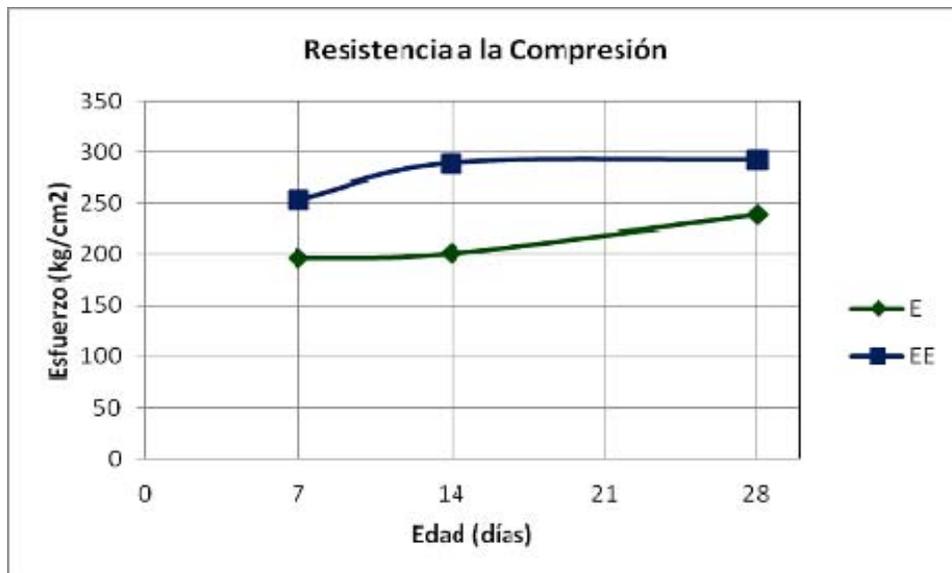


Gráfico 20: Curva comparativa de Esfuerzos en mezcla patrón E y mezcla con aditivo EE a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 53: Esfuerzos en mezcla patrón F y mezcla con aditivo FF para las diferentes edades.

| Esfuerzo (kg/cm ²) | | |
|--------------------------------|----------|-----|
| Edad (días) | Tipo III | |
| | F | FF |
| 7 | 205 | 224 |
| 14 | 217 | 299 |
| 28 | 271 | 303 |

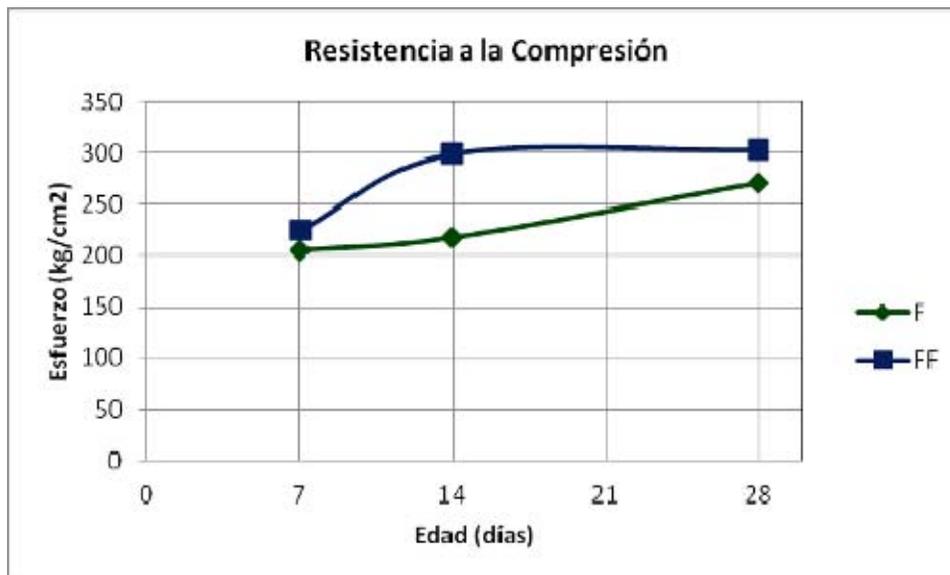


Gráfico 21: Curva comparativa de Esfuerzos en mezcla patrón F y mezcla con aditivo FF a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 54: Esfuerzos en mezcla patrón G y mezcla con aditivo GG para las diferentes edades.

| Esfuerzo (kg/cm ²) | | |
|--------------------------------|-------|-----|
| Edad (días) | CPCA2 | |
| | G | GG |
| 7 | 151 | 207 |
| 14 | 182 | 208 |
| 28 | 184 | 229 |

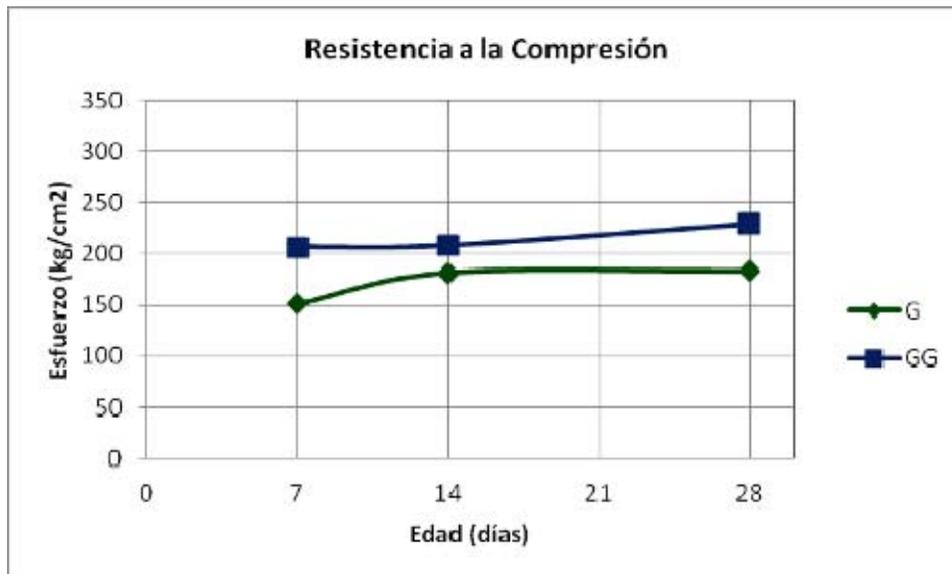


Gráfico 22: Curva comparativa de Esfuerzos en mezcla patrón G y mezcla con aditivo GG a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 55: Esfuerzos en mezcla patrón H y mezcla con aditivo HH para las diferentes edades.

| Esfuerzo (kg/cm ²) | | |
|--------------------------------|-------|-----|
| Edad (días) | CPCA1 | |
| | H | HH |
| 7 | 246 | 241 |
| 14 | 271 | 269 |
| 28 | 283 | 292 |

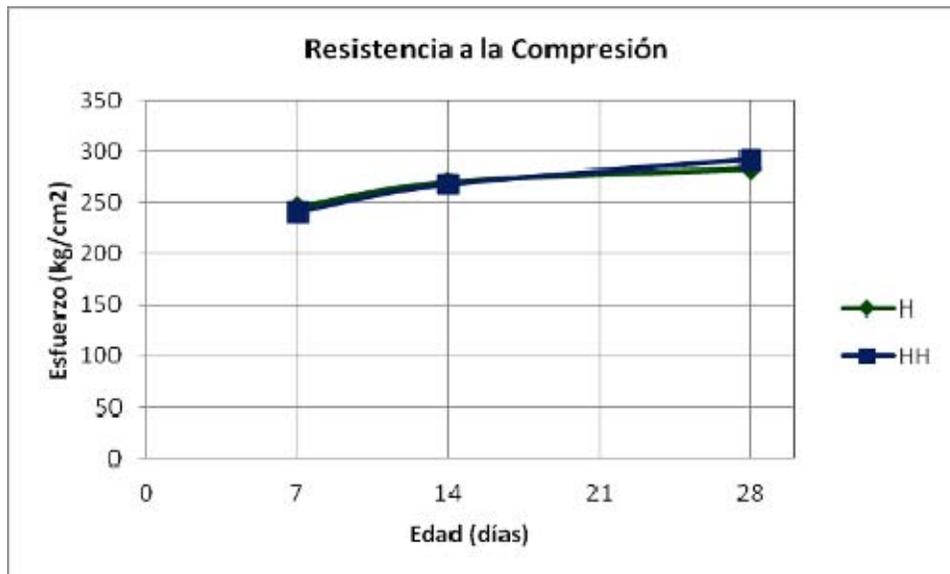


Gráfico 23: Curva comparativa de Esfuerzos en mezcla patrón H y mezcla con aditivo HH a los 7, 14 y 28 días.

CAPÍTULO V

V.1- ANÁLISIS DE RESULTADOS

V.1.1 Mezclas en estado fresco.

V.1.1.1 Asentamiento.

En la tabla 32 y gráfico 3 del capítulo anterior, podemos observar los resultados obtenidos en los ensayos realizados a las distintas mezclas elaboradas de acuerdo a la norma COVENIN N° 339-1994 “Concreto. Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams”.

Para el análisis de los resultados de las mezclas con aditivo se procuró realizar las mezclas patrón con el parámetro del asentamiento definido al inicio de este trabajo, cada una de las 4 mezclas patrón se diseñó para obtener 7,5 cm de asentamiento y estos resultados fueron alcanzados con éxito.

Las mezclas a las que se le adicionó aditivo y su respectiva reducción de agua variaron de diferente forma, las mezclas FF y GG se mantuvieron cercanas a los valores establecidos en las mezclas patrón, por lo que podríamos indicar que obtuvieron un comportamiento deseado y buena trabajabilidad.

La mezcla EE obtuvo un asentamiento mucho mayor en comparación con la mezcla E pero fue muy trabajable y de fácil compactación, al contrario de la mezcla HH la cual obtuvo un asentamiento muy bajo, esto dificultó la trabajabilidad y presentó problemas para la compactación ya que fraguaba muy rápido.

V.1.1.2 Peso unitario.

De la tabla 8 “Peso unitario en mezclas patrón” podemos observar que los valores obtenidos se encuentran sobre los 2300 kgf/cm³ ya que en cada

una de las mezclas se usó el mismo tipo de agregado (piedra picada y arena) por ende no hay gran variación del peso por unidad de volumen.

En cuanto a las mezclas con aditivo, cuya información se detalla en la tabla 9 “Peso unitario en mezclas con aditivo” hay una disminución del peso unitario en comparación de las mezclas patrón, es importante señalar que en las mezclas con aditivo se aplicó la reducción de agua correspondiente y esto influye en su comportamiento y en el resultado obtenido, estas mezclas presentaron cierta dificultad en su trabajabilidad.

V.1.2 Mezclas en estado endurecido.

V.1.2.1 Peso Unitario.

Los valores del peso unitario del concreto dependen del tipo y proporción de los agregados, del contenido de cemento y del volumen de vacíos. Por ello el peso unitario en estado endurecido no fue muy variante, de acuerdo a las tablas 14, 15, 16, 17, 18 y 19 este se encontró entre los límites de 2200 y 2350 kgf/m³. Se puede observar que el peso unitario en las mezclas patrón es mayor en comparación con el peso unitario de las mezclas con aditivo, notando también que las diferencias presentadas por estos valores disminuyen con el avance de la edad de ensayo, haciendo que los resultados entre mezcla con aditivo y mezcla sin aditivo sean muy similares al llegar a los 28 días.

En las mezclas E, EE, F y FF podemos notar como el peso unitario aumenta con el pasar de los días, se observa como los valores de la mezcla patrón superan a los valores correspondientes de la mezcla con aditivo y también podemos notar como la diferencia entre los valores de mezcla patrón y mezcla con aditivo disminuye al llegar los 28 días.

En las mezclas G, GG, H y HH podemos notar como el peso unitario en las mezclas patrón aumenta con el pasar de los días, siendo mayor en comparación con sus correspondientes edades en las mezclas con aditivo, pero esto no ocurre en todas las edades de ensayo, a los 14 días el peso unitario de la mezcla GG supera al resultado de la mezcla G y a los 28 días este valor disminuye quedando de nuevo por debajo de la mezcla G, a los 28 días el peso unitario de la mezcla H disminuye y luego vuelve a aumentar, a los 14 días el peso unitario de la mezcla HH disminuye manteniendo su valor hasta los 28 días, quedando el peso unitario de la mezcla HH por encima de la mezcla H a diferencia de las otras 3 mezclas realizadas. Existen variaciones que se pueden atribuir a posibles errores humanos en los distintos procesos de elaboración de las mezclas y a que estos afectaran los resultados. A pesar de esto, los valores de peso unitario de las mezclas con aditivo y sin aditivo a los 28 días son cercanos.

El método usado para determinar el peso unitario del concreto fue el de la (Norma COVENIN 349) “Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico, rendimiento y contenido de aire en el concreto”.

V.1.2.2 Índice esclerométrico.

Los valores de índice esclerométrico para probetas sin aditivo y con aditivo aumentan de acuerdo a la edad, estos valores fueron comparados con los esfuerzos obtenidos de cada cilindro. A pesar de que el ensayo de índice esclerométrico no determina la resistencia del concreto, nos ayuda a determinar cambios en las características de éste, así como su dureza.

La mezcla E realizada con cemento portland tipo I, arrojó un bajo valor de índice esclerométrico (25) y a su vez reportó un esfuerzo menor a 200 kg/cm^2 para los 7 días, a los 14 y 28 días los valores de ambos ensayos fueron aumentando pero sin llegar al valor de diseño (280 kg/cm^2). En el caso de la mezcla EE que fue realizada con el mismo cemento que la anterior,

observamos valores más altos de índice esclerométrico y de esfuerzo, siendo de 31 y 253 kg/cm² respectivamente y superando el valor de diseño a los 14 días, podemos observar como los valores de índice esclerométrico en las muestras con aditivo EE reflejan mayor dureza que las muestras sin aditivo E. Ver: tablas 33 y 34 y graficas 4 y 5.

Las mezclas F y FF realizadas con cemento portland tipo III muestran un bajo valor de índice esclerométrico y esfuerzo para la edad de 7 días, siendo muy similares los resultados para ambos tipos de mezcla (25 – 26 y 205 – 224 kg/cm²) respectivamente. A los 14 días estos valores aumentan considerablemente para la mezcla FF en comparación con la mezcla sin aditivo F, llegando a alcanzar un esfuerzo de 299 kg/cm² sobrepasando el valor de diseño y obteniéndose 33 de índice esclerométrico. A los 28 días estos valores siguen aumentando aunque la mezcla sin aditivo F no llega a alcanzar el valor de diseño, resultando 30 para el índice esclerométrico y 271 kg/cm² para el esfuerzo. Los valores del índice esclerométrico reflejan una dureza similar y aumentan proporcionalmente en ambas mezclas, aunque se observa que los valores en las muestras con aditivo FF son mayores en comparación con las muestras sin aditivo F. Ver: tablas 35 y 36 y graficas 6 y 7.

En las mezclas G y GG con cemento portland CPCA 2 los resultados obtenidos no fueron los esperados ya que a pesar de hubo incremento en los valores para ambos ensayos, estos no fueron a gran magnitud, a los 28 días aún no habían alcanzado los valores de diseño y los valores del índice esclerométrico se mantuvieron por debajo de 30 reflejando la menor dureza en comparación con las otras mezclas ensayadas, pero sin embargo los valores de las muestras con aditivo GG fueron mayores en comparación con las muestras sin aditivo G. Ver: tablas 37 y 38 y graficas 8 y 9.

Finalmente las mezclas H y HH con cemento portland CPCA1 reportaron resultados similares entre sí, no hubo gran diferencia en los valores para las mezclas con aditivo y sin aditivo, pero podemos observar que ambas mezclas reflejan una dureza similar y de aumento progresivo en cada edad de ensayo, también se puede notar que estas muestras alcanzan los valores de resistencia de diseño a los 28 días. Ver: tablas 39 y 40 y graficas 10 y 11.

En general se pudo observar como todas las muestras con aditivo presentaron mayor dureza superficial en las diferentes edades de ensayo en comparación con las muestras patrón, esto es un indicativo previo al ensayo de resistencia a la compresión ya que las mezclas con aditivo pueden presentar mayores resistencias que las mezclas patrón, esto se vio reflejado en ensayos realizados posteriormente.

V.1.2.3 Velocidad de pulso ultrasónico.

El ensayo de velocidad de pulso ultrasónico hizo posible determinar la variabilidad del concreto entre probetas patrones y con aditivo y de esta manera verificar su calidad. Mayor velocidad corresponde una mayor densidad aunque no necesariamente una mayor resistencia.

De la tabla 20 “Pulso ultrasónico en mezclas patrón a los 7 días” se observan mezclas sin aditivo donde la mezcla E presentó menor velocidad respecto de la mezcla EE, ver tabla 23 “Pulso ultrasónico en mezclas con aditivo a los 7 días”, las demás mezclas F, G y H presentaron mayor velocidad respecto a las mezclas con aditivo, lo cual significa que estas tres últimas mezclas sin aditivo fueron más homogéneas y por ende de mejor calidad.

De la tabla 21 “Pulso ultrasónico en mezclas patrón a los 14 días” observamos que las mezclas F y G tuvieron mayor velocidad de onda respecto a las mezclas con aditivo, y las mezclas E y H presentaron una velocidad baja

respecto a EE y HH, ver tabla 24: “Pulso ultrasónico en mezclas con aditivo a los 14 días”.

En la tabla 22 “Pulso ultrasónico en mezclas patrón a los 28 días” podemos observar que las mezclas F, G y H presentaron mayor velocidad de onda respecto a las mezclas con aditivo, ver tabla 25 “Pulso ultrasónico en mezclas con aditivo a los 28 días”, muy similar al caso mostrado para los cilindros a los 7 días, la mezcla E fue la que mantuvo una baja velocidad respecto a su similar con aditivo EE.

Dados los resultados, podemos decir de manera general que la mayoría de los cilindros realizados con mezclas de concreto sin aditivo poseen una buena homogeneidad ya que arrojaron un mayor valor de velocidad de pulso ultrasónico en comparación con las mezclas que contienen aditivo, esto se puede notar si clasificamos el concreto según los límites establecidos, el primero se caracteriza como un concreto de cuestionable a bueno ($(3660 > V > 3050)$ Cuestionable, $(4575 > V > 3660)$ Bueno), y las mezclas con aditivo se encuentran en su mayoría entre los límites de pobre a cuestionable ($(3050 > V > 2135)$ Pobre), $(3660 > V > 3050)$ Cuestionable).

V.1.2.4 Resistencia a la compresión.

Mezcla E: mezcla conformada por cemento Portland tipo I, agua, arena lavada y piedra picada. Edad y fecha de ensayo: 7, 14 y 28 días, 13-20-27/09/2012.

Se presentaron fallas similares en las muestras, en la parte superior del cilindro orientadas desde el centro hacia el borde, falla similar a la mostrada en el Nro. 4 del anexo 24. Los cilindros se mostraron bien compactados y se observó buena adherencia entre la matriz de cemento y los agregados gruesos, también podemos comentar que estos agregados se fracturaron en continuidad con la falla revelando una buena homogeneidad en la mezcla.

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 7 días fue de 196 kgf/cm².

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 14 días fue de 201 kgf/cm².

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 28 días fue de 238 kgf/cm². Es importante señalar que la mezcla no alcanzó el valor de diseño (280 kgf/cm²).

Mezcla EE: mezcla conformada por cemento Portland tipo I, agua, arena lavada, piedra picada y aditivo Polyheed 755. Edad y fecha de ensayo: 7, 14 y 28 días, 15-22-29/09/2012.

Se presentaron fallas a lo largo y de forma diagonal al cilindro como se muestra en las fallas Nro. 2 y 3 del anexo 24, se observó la fractura de los agregados, y buena adherencia del agregado a la matriz de cemento.

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 7 días fue de 253 kgf/cm² superando al valor de la muestra patrón en un 29%.

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 14 días fue de 289 kgf/cm² superando al valor de diseño (280 kgf/cm²) y al valor de la muestra patrón en un 44%.

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 28 días fue de 292 kgf/cm² superando al valor de diseño (280 kgf/cm²) y al valor de la muestra patrón en un 23%.

Mezcla F: mezcla conformada por cemento Portland tipo III, agua, arena lavada y piedra picada. Edad y fecha de ensayo: 7, 14 y 28 días, 13-20-27/09/2012.

Se presentaron fallas diagonales en las muestras, fallas similares a las mostradas en los Nro. 2 y 4 del anexo 24. Se pudo notar la fractura del agregado grueso en más de un 90% en el plano de falla lo que demuestra buena adherencia entre la matriz de cemento y los agregados gruesos, y evidencia buena homogeneidad en la mezcla.

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 7 días fue de 205 kgf/cm².

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 14 días fue de 217 kgf/cm².

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 28 días fue de 271 kgf/cm². Es importante señalar que la mezcla no alcanzó el valor de diseño (280 kgf/cm²).

Mezcla FF: mezcla conformada por cemento Portland tipo III, agua, arena lavada, piedra picada y aditivo Polyheed 755. Edad y fecha de ensayo: 7, 14 y 28 días, 15-22-29/09/2012.

Se presentaron fallas diagonales, verticales y en “ye” como se muestra en los Nro. 2, 3, 6 y 7 del anexo 24. Se observó buena adherencia a la matriz de cemento, homogeneidad y buena compactación en el interior del cilindro al igual que la mezcla patrón.

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 7 días fue de 224 kgf/cm² superando al valor de la muestra patrón en un 9%.

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 14 días fue de 299 kgf/cm² superando al valor de diseño (280 kgf/cm²) y al valor de la muestra patrón en un 37%.

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 28 días fue de 303 kgf/cm² superando al valor de diseño (280 kgf/cm²) y al valor de la muestra patrón en un 12%.

Mezcla G: mezcla conformada por cemento CPCA2, agua, arena lavada y piedra picada. Edad y fecha de ensayo: 7, 14 y 28 días, 15-22-29/09/2012.

Las fallas presentadas en las muestras fueron en forma diagonal en la parte superior desde el centro hacia el borde del cilindro y en “ye” como los ejemplos Nro. 2, 3 y 7 del anexo 24. Es importante señalar que en el plano de falla se observó la fractura de los agregados gruesos junto a la matriz de cemento, pero se pudo notar que la matriz era más débil en comparación con las otras muestras ensayadas.

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 7 días fue de 151 kgf/cm².

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 14 días fue de 182 kgf/cm².

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 28 días fue de 184 kgf/cm². Es importante señalar que la mezcla no alcanzó el valor de diseño (280 kgf/cm²).

Mezcla GG: mezcla conformada por cemento CPCA2, agua, arena lavada, piedra picada y aditivo Polyheed 755. Edad y fecha de ensayo: 7,14 y 28 días, 15-22-29/09/2012.

Las fallas observadas presentaron forma diagonal y vertical como las presentadas en los ejemplos Nro. 2, 3 y 4 del anexo 24. Se puede observar como existe buena adherencia entre agregados gruesos y matriz de cemento y también se visualiza la fractura de estos en el plano de falla. Es importante destacar que las muestras con aditivo se observan más rígidas y homogéneas que las muestras sin aditivo.

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 7 días fue de 207 kgf/cm² superando al valor de la muestra patrón en un 37%.

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 14 días fue de 208 kgf/cm² superando al valor de la muestra patrón en un 15%.

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 28 días fue de 229 kgf/cm² superando al valor de la muestra patrón en un 25%. Es importante señalar que la mezcla no alcanzó el valor de diseño (280 kgf/cm²).

Mezcla H: mezcla conformada por cemento CPCA1, agua, arena lavada y piedra picada. Edad y fecha de ensayo: 7,14 y 28 días, 15-22-29/09/2012.

Se presentaron fallas diagonales desde el centro superior al extremo inferior, fallas similares a la mostrada en el Nro. 2 del anexo 24. Se pudieron notar fracturas de los agregados en el plano de falla, visualizando también buena adherencia entre la matriz de cemento y los agregados gruesos.

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 7 días fue de 246 kgf/cm².

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 14 días fue de 271 kgf/cm².

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 28 días fue de 283 kgf/cm². La mezcla alcanzó el valor de diseño (280 kgf/cm²).

Mezcla HH: mezcla conformada por cemento CPCA1, agua, arena lavada, piedra picada y aditivo Polyheed 755. Edad y fecha de ensayo: 7,14 y 28 días, 15-22-29/09/2012.

Se presentaron fallas diagonales y verticales a lo largo de los cilindros como se muestra en la fallas Nro. 2 y 3 del anexo 24. Se observa la fractura del agregado junto con la buena adherencia a la matriz de cemento, homogeneidad y buena compactación en el interior del cilindro.

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 7 días fue de 241 kgf/cm^2 , no supera al valor de la muestra patrón.

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 14 días fue de 269 kgf/cm^2 , no supera al valor de la muestra patrón.

El valor promedio de resistencia a la compresión entre las muestras a los 28 días fue de 292 kgf/cm^2 superando al valor de diseño (280 kgf/cm^2) y al valor de la muestra patrón en un 3%.

La mayor diferencia entre valores obtenidos lo presentan las mezclas E y EE, lo que indica que el aditivo presentó mejor efecto en estas mezclas, por el contrario la mínima diferencia la obtuvieron las mezclas H y HH, en donde el aditivo prácticamente no surte el efecto esperado.

En general, se demuestra que el aditivo actúa favoreciendo los resultados de resistencia a la compresión, en la mezclas elaboradas con cemento Portland tipo I, tipo III y CPCA2 con aditivo la resistencia aumenta de manera progresiva en comparación con las mezclas patrón, por otra parte en las mezclas elaboradas con CPCA1 con aditivo la resistencia a la compresión solo aumenta a los 28 días y en muy poca magnitud en comparación con la mezcla patrón, los que nos indica que el aditivo no realiza el efecto deseado con este tipo de cemento.

CAPÍTULO VI

VI.1- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mediante distintos ensayos se observaron los comportamientos registrados por las diferentes mezclas de concreto elaboradas con aditivo y sin aditivo, y es importante señalar que existen múltiples pasos y procedimientos a seguir en el momento de su elaboración y de ensayo, todos estos pasos requieren de cierto control para poder validar cada resultado y no debemos desconocer que el error humano forma parte del proceso, lo que nos lleva a tomar aún más control y precaución.

Cada proceso llevado a cabo en nuestro trabajo implicó esfuerzo físico y una variedad de materiales necesarios para su ejecución, entre ellos los agregados.

Estos se dividieron en dos categorías, agregado grueso conformado por la piedra picada y agregado fino compuesto por arena lavada. Los ensayos de granulometría, densidad y absorción permitieron verificar sus propiedades las cuales fueron óptimas para realizar las mezclas.

Previo a su utilización e incluso al momento de realizar los ensayos este material fue revisado, estos agregados fueron donados por un ente que los utiliza para la construcción en nuestro país, entendiéndose que pasa por una revisión, pero al ser un material muy pesado y en algunos casos difícil de manejar no se descarta la posibilidad de que algunas partículas pasaran inadvertidas.

En todas las mezclas se utilizó piedra picada y arena lavada como agregado grueso y fino, no se observó variación en el comportamiento del agregado, pudiendo determinar así que estos agregados trabajaron de forma adecuada y óptima en las ocho mezclas de concreto.

Se realizaron cuatro mezclas patrón y cuatro con aditivo, en las mezclas patrón se estableció un valor fijo en el parámetro del asentamiento, esto permitió que

las mezclas tuvieran una óptima trabajabilidad, no hubo inconvenientes para su traslado, fue de fácil compactación y no se observó segregación, logrando el valor de 7,5 cm que esperábamos para su posterior comparación.

En el caso de las mezclas con aditivo, se prepararon las mezclas con los diseños establecidos y su respectiva reducción de agua, se obtuvieron valores variados, en el caso de la mezcla EE se observó una mezcla muy fluida, de buena trabajabilidad, y aunque su asentamiento fue 2 cm mayor que la patrón, no se presentó segregación y se pudo compactar sin problema. En la mezcla FF y GG observamos cercanía a los valores de las mezclas patrón, se obtuvo una buena trabajabilidad y no se presentaron inconvenientes para la compactación. El resultado más desfavorable lo presenta la mezcla HH, esta mezcla obtuvo 3,5 cm menos de asentamiento con respecto a la patrón, y se cataloga a esta mezcla como “no trabajable como concreto elaborado en obra” ya que presentó problema para su traslado, vaciado y compactación, la mezcla se presentaba muy densa, seca y fraguaba muy rápido, a pesar de esto se logró buena compactación y no se presentó retracción en las muestras. En su mayoría las mezclas presentaron buena trabajabilidad y permitieron su colocación y compactación. Podemos notar que el aditivo influye directamente en esta característica y de forma variable en los distintos tipos de cemento.

El peso unitario en estado fresco reflejado en las mezclas con aditivo fue menor en todos los casos con respecto a las mezclas patrón, todos estos valores estuvieron muy cercanos entre sí y por encima de 2206 kg/m^3 . Esto nos indica que el aditivo no influyó de manera significativa en las mezclas con respecto a este ensayo, es importante notar que los agregados no varían con respecto a las mezclas, entonces es posible que el aditivo influya directamente en la pasta de cemento haciendo estas mezclas menos densas y menos homogéneas en comparación con las mezclas patrón.

Con respecto a la esclerometría se puede observar que los valores de índice esclerométrico de las mezclas con aditivo superan los valores obtenidos de las

mezclas patrón, esto nos indica que la superficie de las mezclas con aditivo presenta mayor dureza en comparación con las mezclas sin aditivo, si observamos el comportamiento presentado por las diferentes mezclas todas arrojan valores en aumento al avanzar la edad de ensayo y todas presentan un comportamiento similar en referencia con los valores de esfuerzo obtenidos.

El pulso ultrasónico indica densidad, calidad de la muestra y presencia de vacíos. Al observar los resultados obtenidos podemos concluir que los valores crecen al aumentar las edades de ensayo, lo que nos indica que las muestras mejoran sus propiedades al pasar los días. Es interesante notar que los valores obtenidos en la mezcla EE fueron mayores que la mezcla E, pero en el resto de las mezclas, los valores de las mezclas patrón superan las mezclas con aditivo. A pesar de esto, todas las mezclas presentan el mismo comportamiento en crecimiento en contraste con los valores obtenidos de esfuerzo.

El peso unitario en estado endurecido reflejado en las mezclas con aditivo fue menor en la mayoría de los casos con respecto a las mezclas patrón, estas mezclas son menos densas y menos homogéneas en comparación con las mezclas patrón, todos estos valores estuvieron muy cercanos entre si y por encima de 2190 kg/m^3 . De forma similar al peso unitario en estado fresco, podemos decir que el aditivo no influyó de manera significativa en las mezclas con respecto al peso unitario.

Con respecto a los resultados de esfuerzos, observando las gráficas 20 - 21 - 22 y 23 podemos notar que el comportamiento de las curvas presenta crecimiento en todos los casos, aunque los valores de las mezcla H y HH no varían significativamente entre sí, solo a los 28 días el esfuerzo en la mezclas HH supera a la mezcla H, en el resto de las mezclas se observa que los valores de esfuerzo en las mezclas con aditivo superan a los valores de las mezclas patrón, lo que nos lleva a concluir que aunque el aditivo mejora la resistencia a la compresión en las distintas mezclas de concreto elaboradas no lo hace en la misma proporción en todos los casos.

Podemos decir en general que el aditivo Polyheed 755 modifica las propiedades del concreto de diferentes formas y de acuerdo al tipo de cemento, con respecto a la trabajabilidad mejora esta propiedad en el cemento tipo I, tipo III y CPCA2 pero en el cemento CPCA1 desmejora esta propiedad en alta proporción, también pudimos observar como las mezclas con aditivo se podrían determinar cómo menos densas y homogéneas y esto no se vio reflejado con respecto a otras propiedades como el índice esclerométrico y la resistencia a la compresión ya que al contrario, esta última propiedad reflejó mejoras en las cuatro mezclas elaboradas en comparación con las mezclas patrón.

De todas las características y propiedades que puede presentar el concreto, podemos decir que la resistencia es uno de los indicativos más importantes, con los ensayos realizados podemos indicar que el aditivo trabaja de manera favorable para las distintas mezclas de concreto elaboradas, en todas se incrementa en cierta medida los valores obtenidos en las mezclas patrón, se recomienda su uso mayormente para los cementos Portland tipo I y tipo III en el caso de concreto estructural dadas las propiedades del mismo y por los valores alcanzados en cuanto a resistencia a la compresión.

El aditivo cumple su objetivo principal y en mayor medida en los cementos Portland tipo I y tipo III, es importante notar que las dosificaciones y reducciones de agua son cálculos fundamentales para obtener los resultados más óptimos ya que de no ser así pueden afectar las propiedades de la mezcla o comprometer las funciones de los materiales que la componen.

Recomendaciones.

- Verificar la condición de uso del aditivo. Cada aditivo se elabora para variar determinadas propiedades del concreto y es importante verificar cual es su condición de diseño antes de utilizarlo. En nuestro caso el fabricante recomienda utilizar el producto como aditivo tipo D (reductor de agua de rango medio) y la dosificación se realiza en función de la misma.

- Realizar la respectiva reducción de agua y establecer la cantidad de aditivo a utilizar cuidando que se dosifique por kg de material cementante y no por kg de mezcla. La dosificación es fundamental en la aplicación del aditivo, ya que las propiedades del concreto pueden variar ampliamente si no se trabaja con un buen control de medición.
- Fijar dosis de aditivo de manera que la medición del mismo se haga de forma más precisa de acuerdo a los instrumentos a utilizar en el laboratorio.
- Mantener un control óptimo en el almacenamiento y traslado de los agregados ya que la alteración de estos con la presencia de partículas no deseadas podría modificar los valores de humedad, afectando las proporciones de agua en el diseño de mezcla, todo esto puede perjudicar los resultados de los diferentes ensayos que se efectúen al concreto.
- Realizar nuevos experimentos a los distintos tipos de cemento de diferentes marcas distribuidos en Venezuela, ya que de existir una diferencia de comportamiento entre marcas del mismo tipo de cemento el aditivo podría comportarse distinto a lo obtenido en este trabajo.
- Realizar estudios referentes a tiempo de fraguado, las mezclas presentaron un comportamiento muy variado con respecto a esta propiedad, en nuestros ensayos se observó que algunas mezclas fraguaban de forma típica pero también se pudo observar como otras mezclas lo hacían rápidamente. Es importante acotar que la ficha técnica del producto indica que el fraguado debe ser normal para las dosis recomendadas.
- Realizar nuevos experimentos con dosis más altas de aditivo para una posterior comparación de resultados con los obtenidos en el presente trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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 28-2003, “Cemento Portland. Requisitos” (ASTM C150).
- Norma COVENIN 3134-2004, “Cemento Portland con adiciones. Requisitos” (ASTM C465).
- Norma COVENIN 221-2001, “Materiales de construcción. Terminología y definiciones”.
- Norma COVENIN 356-1994, “Aditivos químicos utilizados en el concreto. Especificaciones” (ASTM C494 Y C1017).
- Norma COVENIN 255-1998, “Agregados. Determinación de la composición granulométrica” (ASTM C136).
- Norma COVENIN N° 268-1998 “Agregado fino. Determinación de la densidad y la absorción” (ASTM C128).
- Norma COVENIN N° 269-1998 “Agregado grueso. Determinación de la densidad y la absorción” (ASTM C127).
- Norma COVENIN N° 354-2001 “Concreto. Método para mezclado en el laboratorio” (ASTM C192).
- Norma COVENIN N° 339-1994 “Concreto. Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams” (ASTM C143).
- Norma COVENIN N° 349:1979 “Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico, rendimiento y contenido de aire en el concreto” (ASTM C138).

- Norma COVENIN N° 338-2002 “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto” (ASTM C31, C39 y C192).
- Norma COVENIN N° 1681-1980 “Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto” (ASTM C597).
- Norma COVENIN N° 1609-1980 “Método de ensayo para la determinación de la dureza esclerométrica en superficies de concreto endurecidas” (ASTM C805).

Referencias electrónicas.

- Consultada el: 21/11/11 (Ficha técnica).
<http://www.basf-cc.com.ve/es/productos/AditivosConcretoyMortero/AditivosPolifuncionales/Polyheed755/Documents/Polyheed%20755.pdf>
- Consultada el: 21/11/11
<http://boletin-iccy.com/files/files/260.pdf>
- Consultada el: 21/11/11
http://www.asocem.org.pe/scmroot/bva/f_doc/concreto/aditivos/MGC19_aditivos_concreto.pdf
- Consultada el: 05/03/12 (Resumen).
<http://es.scribd.com/doc/81644540/Peso-Unitario>
- Consultada el: 06/03/12 (Ensayo).
<http://www.ing.una.py/pdf/1er-congreso-nacional-ingcivil/29ho-29.pdf>
- Consultada el: 01/06/12 (Manual).
<http://es.scribd.com/doc/47417812/Manual-Del-Constructor-Cemex>
- Consultada el: 01/06/12
<http://www.imcyc.com/ct2008/nov08/PROBLEMAS.pdf>

- Consultada el: 07/07/12 (Manual).
http://books.google.co.ve/books?id=d_ufCPVAYtIC&pg=PA3&hl=es&source=gb_s_selected_pages&cad=3#v=onepage&q&f=false
- Consultada el: 07/07/12 (Aditivos).
http://www.concretonline.com/index.php?option=com_content&task=view&id=870&Itemid=36
- Consultada el: 15/10/12 (Manual).
http://www.pc.cr/manual/manual_tecnico_pc.php#/13/zoomed

ANEXOS

- **Ensayo de cono de Abrams.**



Anexo 1. Ensayo de cono de Abrams.

- **Vaciado y enrasado de probetas.**



Anexo 2. Vaciado y enrasado de probetas.



Anexo 3. Vaciado y enrasado de probetas.

- **Probetas en proceso de fraguado.**



Anexo 4. Probetas en proceso de fraguado.

- **Piscina de curado.**



Anexo 5. Piscina para curado.



Anexo 6. Colocación de cilindros en piscina de curado.

- **Ensayo esclerométrico.**



Anexo 7. Uso de la prensa para los ensayos esclerométrico.



Anexo 8. Ensayo de esclerométrico.

- **Algunas fallas durante el ensayo a compresión.**



Anexo 9. Falla del cilindro 3 de la mezcla E7.



Anexo 10. Falla del cilindro 1 de la mezcla EE7.



Anexo 11. Falla del cilindro 1 de la mezcla EE14.



Anexo 12. Falla del cilindro 1 de la mezcla EE28.



Anexo 13. Falla del cilindro 2 de la mezcla F7.



Anexo 14. Falla del cilindro 3 de la mezcla FF14.



Anexo 15. Falla del cilindro 2 de la mezcla FF28.



Anexo 16. Falla del cilindro 3 de la mezcla G7.



Anexo 17. Falla del cilindro 3 de la mezcla G14.



Anexo 18. Falla del cilindro 3 de la mezcla G28.



Anexo 19. Falla del cilindro 1 de la mezcla GG7.



Anexo 20. Falla del cilindro 2 de la mezcla H14.



Anexo 21. Falla del cilindro 3 de la mezcla HH14.



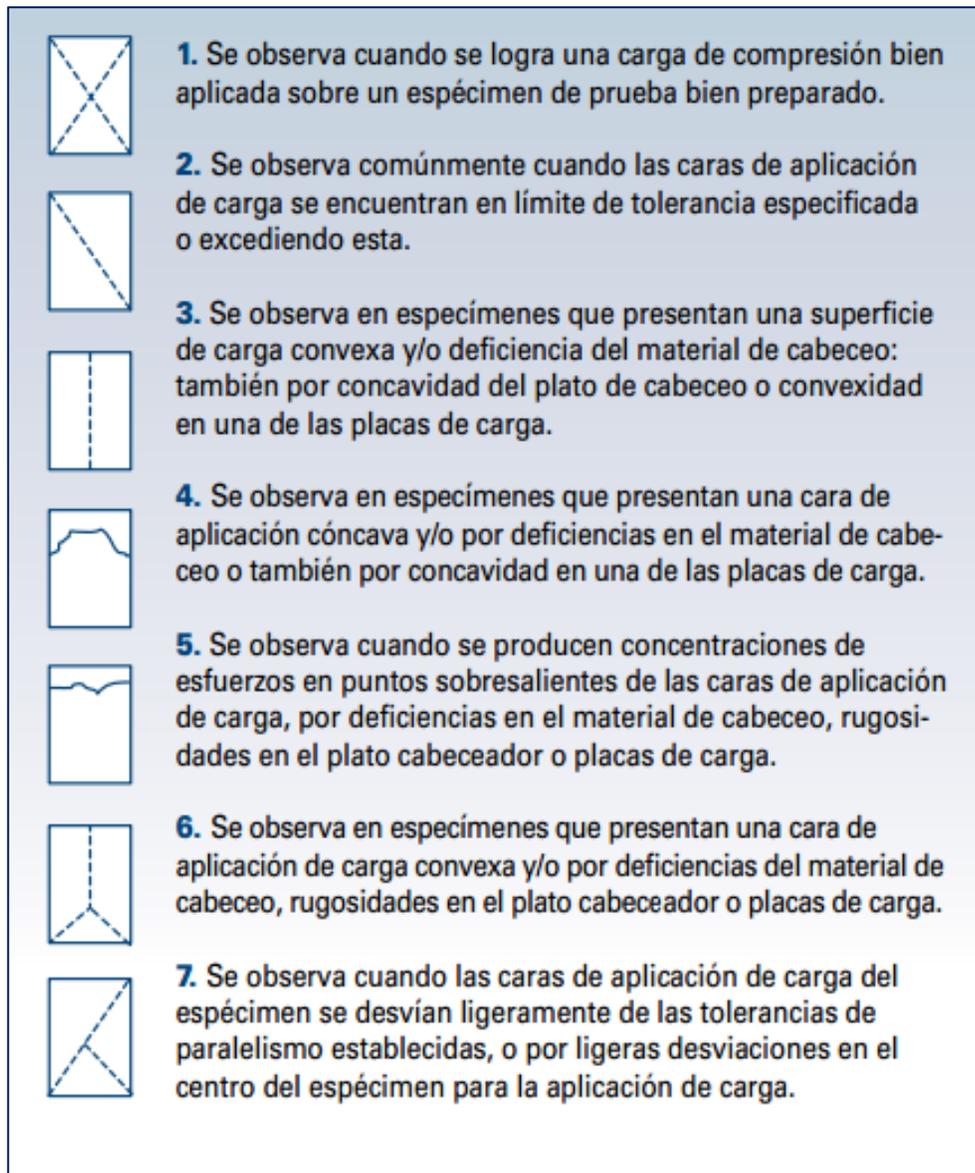
Anexo 22. Falla del cilindro 1 de la mezcla HH28.

- **Colaboradores.**



Anexo 23. Grupo de trabajo durante la realización de ensayos.

- **Tipos de fallas.**



Anexo 24. Diagrama de fallas de cilindros sometidos a compresión.
Fuente: <http://www.imcyc.com/ct2008/nov08/PROBLEMAS.pdf>

• **Tabla de cálculos.**

| | | | | | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--|
| Cemento : | Port. Tipo I y III | | | | | | |
| Agregado Fino : | Arena Lavada | | | | | | |
| Agregado Grueso : | Piedra Pícada | | | | | | |
| Aditivo : | Polyheed 755 | | | | | | |
| Fc | Resistencia = | 280 | kgf/cm ² | | | | |
| σ | Desv. Estandar para el grado de control = | 32 | kgf/cm ² | | | | |
| Fcr | Resistencia Promedio Requerida = | 320 | kgf/cm ² | | | | |
| α | Relacion Agua/Cemento = | 0,49 | | | | | |
| Kr | Factor para correccion α por tamaño maximo = | 1,00 | | | | | |
| Ka | Factor para correccion α por tipo de agregado = | 1,00 | | | | | |
| αc = | Relacion Agua/Cemento para el diseño = | 0,49 | | | | | |
| T = | Asentamiento = | 7,5 | cm | | | | |
| C = | Cantidad de cemento = | 409 | kgf/m ³ | | | | |
| C1 = | Factor para correccion C por tamaño maximo = | 1,00 | | | | | |
| C2 = | Factor para correccion C por tipo de agregado = | 1,00 | | | | | |
| Cc = | Cantidad de cemento para el diseño = | 409 | kgf/m ³ | | | | |
| VC = | Volumen del cemento = | 122,7 | l/m ³ | | | | |
| Va = | Volumen de aire = | 16,1 | l/m ³ | | | | |
| a = | Cantidad de agua = | 200,4 | l/m ³ | | | | |
| β = | Relacion de combinacion | 0,5 | | | | | |
| A = | Agregado Fino = | 875,59 | kgf/m ³ | | | | |
| G = | Agregado Grueso = | 875,59 | kgf/m ³ | | | | |
| Ef = | Efectividad = | 16 | % | | | | |
| αred = | Rel. agua/cem reducida = | 0,412 | | | | | |
| a red = | Agua reducida = | 12,78 | l | | | | |
| Fcr = | Fc + zσ | = | 320,00 | kgf/cm ² | | | |
| αc = | α * Kr * Ka | = | 0,49 | | | | |
| T = | entre 6 y 11 | = | 7,50 | cm | | | |
| C = | 117,2*(T ^{0,16})/(α ^{1,3}) | = | 408,96 | kgf/m ³ | | | |
| Cc = | C*C1*C2 | = | 408,96 | kgf/m ³ | | | |
| VC = | Cc*0,3 | = | 122,69 | l/m ³ | | | |
| Va = | Cc/P | = | 16,10 | l/m ³ | | | |
| a = | Cc*αd | = | 200,39 | l/m ³ | | | |
| A+G = | V _(A+G) (1000-0,3*C-a-Va) | = | 1751,17 | kgf/m ³ | | | |
| A = | β*(A + G) | = | 875,59 | kgf/m ³ | | | |
| VolA = | A/2,65 | = | 330,41 | l/m ³ | | | |
| G = | (A + G) - A | = | 875,59 | kgf/m ³ | | | |
| VolG = | G/2,65 | = | 330,41 | l/m ³ | | | |
| d = | Diametro del cilindro | = | 15 | cm | | | |
| h = | Altura del cilindro | = | 30 | cm | | | |
| V = | Volumen del cilindro | = | 0,0053 | m ³ | | | |
| V = | Volumen del cilindro | = | 5,30 | lt | | | |
| Dias de ensayo | = | 3 | | | | | |
| Cilindros para cada edad | = | 3 | | | | | |
| Total de cilindros sin aditivo | = | 9 | | | | | |
| al de cilindros con y sin aditivo | = | 18 | | | | | |
| 9 probetas * 0,0053 m ³ * 1,15 | = | 0,0549 | m ³ | | | | |
| 9 probetas * 5,3 lt * 1,15 | = | 54,87 | lt | | | | |
| Efect. = | 12% 20% | = | 16 | % | | | |
| αred = | αorg*(1-efectividad) | = | 0,4116 | | | | |
| a red = | α red * c | = | 12,78 | l | | | |
| COMPONENTE | Peso (kg/m³) | Vol (l/m³) | Kg mezcla s/a | Kg cilindro s/a | Kg cilindro corregido s/a | Kg mezcla corregido s/a | |
| Cemento | 409 | 122,69 | 22,44 | 2,49 | 3,45 | 31,05 | |
| Agua | | 200,39 | 11,00 | 1,22 | 1,69 | 15,21 | |
| Fino | 875,59 | 330,41 | 48,04 | 5,34 | 5,34 | 48,06 | |
| Grueso | 875,59 | 330,41 | 48,04 | 5,34 | 5,34 | 48,06 | |
| Aire | | 16,10 | | | | | |
| Total | | 1000 | α = | 0,49 | 0,49 | | |
| COMPONENTE | Peso (kg/m³) | Vol (l/m³) | Kg mezcla s/a | Kg cilindro s/a | Kg cilindro con reduccion | Kg mezcla con reduccion | |
| Cemento | 409 | 122,69 | 22,44 | 2,49 | 3,45 | 31,05 | |
| Agua | | 200,39 | 11,00 | 1,22 | 1,42 | 12,78 | |
| Fino | 875,6 | 330,41 | 48,04 | 5,34 | 12,02 | 48,06 | |
| Grueso | 875,6 | 330,41 | 48,04 | 5,34 | 12,02 | 48,06 | |
| Aire | | 16,10 | | | | | |
| Total | | 1000 | α = | 0,49 | 0,41 | | |

Anexo 25. Cálculos y dosificaciones para mezclas E, EE, F y FF.

- **Ficha técnica del aditivo.**



POLYHEED® 755

Aditivo reductor de agua de rango medio, multipropósito

| USOS RECOMENDADOS: | DESCRIPCIÓN: | CARACTERÍSTICAS DE USO |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Concreto donde se requiera extender el fraguado y la trabajabilidad. • Concreto arquitectónico blanco y de color. • Concreto donde se requiera un rango de revenimiento medio de 15 a 20 cm (6 a 8 pulg). • Mezclas de concreto con una amplia variedad de cementos Tipo Pórtland o adicionados. | <p>POLYHEED 755 es un aditivo líquido, listo para usarse, reductor de agua de rango medio que mantiene su trabajabilidad en ambientes con altas temperaturas. POLYHEED 755 cumple con las especificaciones COVENIN 356 y ASTM C-494 Tipo A y D dependiendo de la dosis utilizada.</p> <p>VENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reduce la Segregación en concretos de altos revenimientos. • Reducción de agua de 12 al 20 % y excelente desempeño en un amplio rango de revenimientos, especialmente de 10 a 20 cm (4 a 8 pulg). • Mejora las características de manejabilidad, capacidad de bombeo y acabado aún en mezclas de concreto con bajas cantidades de material cementante. • Incremento en el desarrollo de resistencia a compresión y flexión durante su vida útil. • Características de fraguado normal para las dosis recomendadas. • Mejor desempeño con una amplia variedad de cementos, cenizas volantes, escorias granuladas y agregados, incluyendo arenas gruesas de trituration. • Mejor resistencia al daño por los ciclos de congelamiento y deshielo <p>DOSIFICACIÓN</p> <p>POLYHEED 755 se aplica en un rango como aditivo tipo A de 2 a 4 cc por kg de material cementante y como aditivo tipo D de 5 a 12 cc por kg de material cementante. Para usar otras dosificaciones que estén fuera del rango recomendado consulte a su representante local de BASF.</p> | <p>Compatibilidad</p> <p>POLYHEED 755 puede utilizarse en combinación con cualquier otro aditivo de BASF. Cuando se usa con otros aditivos, cada uno deberá vaciarse a la mezcla en forma separada. POLYHEED 755 puede utilizarse con aditivos inclusores de aire siempre que satisfagan las especificaciones ASTM, AASHTO y CRD.</p> <p>Corrosividad</p> <p>POLYHEED 755 no es corrosivo, no contiene cloruros. POLYHEED 755 no iniciará o promoverá la corrosión del acero de refuerzo en el concreto.</p> <p>Temperatura</p> <p>Si el POLYHEED 755 se congela, se recomienda elevar la temperatura a 2°C (35°F) o más y agitarlo hasta que esté completamente reconstituido. No se debe usar aire a presión para agitarlo.</p> <p>EMPAQUE</p> <p>POLYHEED 755 se suministra en tambores de 208 litros o a granel.</p> <p>ALMACENAMIENTO</p> <p>POLYHEED 755 debe almacenarse a temperaturas superiores a 0°C (32°F) en sus tambores originales sellados. POLYHEED 755 tiene una vida útil de 18 meses como mínimo. Dependiendo de las condiciones de almacenamiento, esta puede ser mayor.</p> |