

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO PARA MEZCLAS ELABORADAS CON CEMENTO TIPO CPCA-1 Y PORTLAND I

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Bachilleres:
Rendón Barrios, Luís Mariano
Salom Espinoza, Noel José

Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO PARA MEZCLAS ELABORADAS CON CEMENTO TIPO CPCA-1 Y PORTLAND I

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Nelson Camacho

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Bachilleres:
Rendón Barrios, Luís Mariano
Salom Espinoza, Noel José
Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, 2009

ACTA

El día 9-11-2009 se reunió el jurado formado por los profesores:

ALBA LOPEZ
NELSON CAMACHO
CÉSAR PEÑUELA

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado:
**"COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO Y
ENDURECIDO PARA MEZCLAS ELABORADAS CON CEMENTO TIPO
CPCA-1 Y PORTLAND I"**.

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

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

NOMBRE	CALIFICACION	
	Números	Letras
Br. Luis Mariano Rendón Barrios	19	DIECINUEVE
Br. Noel José Salom Espinoza	19	DIECINUEVE

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO

Caracas, 9 de 11 de 2009

DEDICATORIA

A mis padres, por su insistencia y perseverancia mas allá....
Este logro es para ellos.

A mi esposa y a su amor incondicional.

A mis amigos y compañeros de estudios, por la sana
competencia y los días de estudio, espero que siga así.

A mis familiares por hacerlos esperar.

Dios me observa, me ve, está allí sin notarse, no opina ni intercede,
nos deja a nuestro libre albedrío... mientras él esté allí, todo estará
bien.

Luis Mariano Rendón

DEDICATORIA

Este trabajo representa la culminación de una etapa de mi vida, la cual no hubiese sido posible sin el apoyo de mis padres, Noel y Deyanira, ustedes con su amor, paciencia, perseverancia y sabiduría han hecho de mi lo que soy.

A mi hermana Ysabel por su apoyo.

A mi novia Daisy por todo su amor y sobre todo por su paciencia.

A mi amigo Roberto por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles.

A mi amiga Karina por alentarme incondicionalmente en los momentos en los que desmayaba.

Noel Salom Espinoza

AGRADECIMIENTOS

Al profesor **Nelson Camacho**, por su disposición, su constante afán de guiarnos y por, sobre todas las cosas, brindarnos su amistad.

Al profesor **Cesar Peñuela** por su generosa e incondicional ayuda, quien de buena manera colaboró con este trabajo.

A **Eleone** nuestro más sincero agradecimiento por toda la ayuda prestada y la paciencia dispensada.

A todo el **Personal Técnico del IMME** nuestros más sinceros agradecimientos por su colaboración

A la **Planta de Premezclado Lafarge**, La Bandera y especialmente al Sr. **Dewars Torres** por su apoyo brindado al donar los agregados y el cemento que se utilizó para el estudio.

Rendón B., Luís M.

Salom E, Noel J.

**COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO
FRESCO Y ENDURECIDO PARA MEZCLAS ELABORADAS
CON CEMENTO TIPO CPCA-1 Y PORTLAND.**

**Tutor Académico: Prof. Nelson Camacho. Trabajo Especial de Grado.
Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. 2009,
nº pág. 96**

**Palabras Claves: Cemento, Concreto, Propiedades del Concreto Fresco
y Endurecido.**

Resumen. En este trabajo especial de grado se realiza una comparación entre las propiedades del concreto fresco y endurecido, para las edades de 3 días, 7 días y 28 días, con cemento Portland tipo I y con cemento CPCA 1, los dos tipos de cemento que se comparan pertenecen al Grupo Lafarge, mejor conocidos en el mercado bajo los nombres comerciales La Vega Tipo I (Portland I) y La Vega Eco-Plus (CPCA 1). Para esta comparación se elaboraron un total de 6 mezclas de concreto, separándose en dos grupos, el grupo A que esta formado por 3 mezclas elaboradas con cemento Portland Tipo I y el grupo B que esta formado por 3 mezclas elaboradas con cemento CPCA 1, cada uno de estos grupos se subdividen en tres mezclas de diferentes resistencias de cálculo, obteniendo para la mezcla A-1 una resistencia de 180 Kgf/cm^2 , la mezcla A-2 una resistencia de 210 Kgf/cm^2 y la mezcla A-3 una resistencia de 250 Kgf/cm^2 , de igual manera se subdividen las mezclas del grupo B, cabe destacar que la dosificación de las mezclas de cada subgrupo es la misma y se calculó en base al cemento Portland tipo I. Estas mezclas se elaboraron con un tipo de control intermedio el cual se asemeja al control utilizado para la elaboración de concreto en obra, al

aplicar este tipo de control aumentan los valores de resistencias de las mezclas dentro del grupo A y B, obteniéndose unas nuevas resistencias de cálculo para cada subgrupo la cuales son: 260 Kgf/cm² ,305 Kgf/cm² y 345 Kgf/cm² , estas resistencias serán las que se comparen en este trabajo. Los ensayos que se realizaron para comparar las propiedades del concreto fresco fueron el ensayo del Cono de Abrams para el asentamiento y el ensayo de peso unitario. Para las propiedades del concreto endurecido se realizaron ensayos de Ultrasonido, ensayos de Esclerometría, el ensayo de Absorción de Agua y ensayos de Compresión Simple. Los ensayos de Ultrasonido, Esclerometría y Absorción de Agua se realizaron solo a los cilindros con una edad de 28 días. Luego de todos estos ensayos se puede decir que las mezclas elaboradas tanto con el cemento Portland Tipo I y las mezclas elaboradas con el cemento CPCA 1, cumplieron con las resistencias de cálculo y los ensayos elaborados son aplicables de igual forma al concreto CPCA1.

LISTA DE GRAFICAS/FOTOS

Foto # 1. Presentación Comercial de los Cementos sometidos al Estudio.....	14
Foto # 2: Cono de Abrams Vista Frontal.....	19
Foto # 3: Elaboración del ensayo del Cono de Abrams Vista Frontal.....	19
Foto # 4: Cono de Abrams Vista Planta y Medición de asentamiento.....	20
Foto # 5: Método de ultrasonido.....	28
Foto # 6: Tabla de corrección del esclerómetro por ejes inclinados.....	30
Foto # 7: Ensayo Esclerómetro.....	31
Foto # 8: Grava natural, almacenada en los patios de Lafarge La Bandera.....	34
Foto # 9: Arena Lavada.....	35
Foto # 10: Donación de cemento Portland Tipo I en bolsas plásticas.....	36
Foto # 11: Donación de cemento Portland Tipo I en bolsas plásticas.....	36
Gráfico # 1: % Pasante vs. Tamaño de los tamices en mm, para granulometría de agregados finos.....	37
Gráfico # 2: % Pasante vs. Tamaño de los tamices en mm, para granulometría de agregados gruesos.....	38
Foto # 12: Agregado en bolsas plásticas almacenado en el laboratorio de agregados del IMME.....	40
Foto # 13: Agregado mezclado y homogenizado, laboratorio de agregados del IMME.....	41
Foto # 14: Secado del los agregados fino mediante el uso de un horno, laboratorio de Suelos IMME.....	42

Foto # 15: Secado del agregado fino mediante el uso de un mechero, laboratorio de Agregados IMME.....	43
Grafico # 3: Limites Granulométricos, para tamaño máximo 1^{1/2}...	50
Grafico # 4: Método gráfico para la obtención de β.....	51
Foto # 16: Vaciado de los nueve moldes necesarios para cada tipo de concreto.....	58
Foto # 17: Elaboración de ensayo de asentamiento.....	62
Foto # 18: Peso de una muestra de concreto para la determinación del Peso Unitario.....	63
Foto # 19: Colocación de los cilindros en el tanque de curado, 24 horas después del vaciado.....	64
Foto # 20: Realización del ensayo de ultrasonido.	65
Foto # 21: Limpieza de la cara de los cilindros para la realización del ensayo de esclerometría.....	66
Foto # 22: Realización del ensayo de esclerometría.....	67
Foto # 23:: Probeta de un ejemplar de mezcla Portland I de resistencia 180 Kgf/cm² a una edad de 3 días.....	68
Foto # 24: Medición del asentamiento mediante el cono de Abrams.....	70
Grafico # 5: Asentamiento Vs. Resistencia Especificada.....	71
Gráfico # 6: Peso Unitario VS Rc.....	72
Grafico # 7: Peso Unitario del concreto fresco Rc28 = 180 Kgf/cm².....	72
Grafico # 8: Peso Unitario del concreto fresco Rc28 = 210 Kgf/cm².....	72
Grafico # 9: Peso Unitario del concreto fresco Rc28 = 250 Kgf/cm².....	73
Grafico #10: Velocidad de pulso en concreto Rc 180 Kgf/cm².....	74
Grafico #11: Velocidad de pulso en concreto Rc 210 Kgf/cm².....	74
Grafico #12: Velocidad de pulso en concreto Rc 250 Kgf/cm².....	74

Grafico #13: Datos y curva de ajuste Velocidad – Resistencia para concreto Portland Tipo I.....	75
Grafico #14: Datos y curva de ajuste Velocidad – Resistencia para concreto CPCA 1.....	75
Grafico #15: Datos y curva de ajuste Resistencia – Índice Esclerométrico para concreto Portland Tipo I.....	78
Grafico #16: Datos y curva de ajuste Resistencia – Índice Esclerométrico para concreto CPCA 1.....	78
Grafico #17: Índice Esclerométrico Vs. α para concreto Portland I y CPCA 1.....	79
Grafico #18: Comparación de resistencias entre concretos con cemento Portland I y CPCA 1 a diferentes edades.....	83
Grafico #19: Diferencia de resistencias del concreto CPCA1 respecto al Portland Tipo I.....	84
Grafico #20: Comparación de resultados del ensayo de absorción de agua.....	86

LISTA DE TABLAS

Tabla # 1: Valores normalizados para el cemento portland.....	12
Tabla # 2: Gradación de Agregados Finos.....	15
Tabla # 3: Impurezas tolerables en el agua para el concreto.....	16
Tabla # 4: Rangos de valores de velocidad de pulso, para estimar la calidad del concreto.....	29
Tabla # 5: Caracterización de los agregados mediante ensayos de laboratorio.....	39
Tabla # 6: Valores de la arena en el Mechero Vs. Horno.....	42
Tabla # 7: Resistencias requerida para un diseño de mezcla cuando no se conoce la desviación estándar.....	44
Tabla # 8: Resistencias requeridas para los diseños de mezclas.....	44
Tabla # 9: Relación Agua / Cemento, para los 3 diferentes diseños de mezclas.....	45
Tabla # 10: Relación Agua / Cemento Corregida.....	46
Tabla #11: Valores máximos para la relación Agua / Cemento.....	46
Tabla # 12: Contenido de cemento calculado para las diferentes mezclas.....	47
Tabla # 13: Contenido de cemento corregido para las diferentes mezclas, dependiendo de las características de los agregados.....	48
Tabla # 14: Resumen del diseño de mezcla.....	49
Tabla # 15: Limites granulométricos para un tamaño máximo de 1 1/2”.....	50
Tabla # 16: Contenido de agua para cada mezcla.....	52
Tabla # 17: Volumen de aire atrapado en 1 m³ de mezcla.....	54
Tabla # 18: Peso del agregado combinado por mezcla.....	55

Tabla # 19: Contenido de agregado fino para cada mezcla.....	55
Tabla # 20: Contenido de agregado grueso para cada mezcla.....	56
Tabla # 21: Resumen de cantidad de componentes para preparar 1 m³ muestras de diferentes resistencias.....	56
Tabla # 22: Cantidad de componentes para preparar 0,09 m³ de muestras de diferentes resistencias.....	57
Tabla # 23: Resultados de control de humedad llevado el día demezclado.....	58
Tabla # 24: Resultados con el contenido de agua y agregados corregidos.....	60
Tabla # 25: Resultados de los ensayos con el cono de Abrams.....	70
Tabla # 26: Resultados del ensayo de esclerometría en cilindro P.I-fc-250-28D(2).....	76
Tabla # 27: Resultados modificados del ensayo del cilindro P.I-fc-250-28D(2).....	77
Tabla # 28: Resistencias alcanzadas en los ensayos de cilindros a los 28 días.....	80
Tabla # 29: Resistencias alcanzadas en los ensayos de cilindros a los 28 días.....	80
Tabla # 30: Ensayos a compresión, concreto con cemento Portland Tipo I.....	81
Tabla # 31: Ensayos a compresión, concreto con cemento CPCA 1.....	82
Tabla # 32: resultados del ensayo de absorción de agua.....	85
Tabla # 33: resultados del ensayo de absorción de agua.....	85

INDICE GENERAL

ACTA.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	vi
RESUMEN.....	vii
LISTA DE GRÁFICAS/ FOTOS.....	ix
LISTA DE TABLAS.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	4
Fundamentos de la Investigación.....	4
1.1 Planteamiento del Problema.....	5
1.2 Objetivos.....	7
1.2.1 Objetivo General.....	7
1.2.2 Objetivos Específicos.....	7
1.3 Aportes.....	8
1.3.1 Aportes Técnicos.....	8
1.3.2 Aportes Económicos.....	8
1.3.3 Aportes Metodológicos.....	8
CAPITULO II.....	9
Marco Teórico.....	9
2.1 Concreto.....	10
2.2 Componentes del concreto.....	10
2.2.1 Cemento.....	11
2.2.2 Agregados.....	14
2.2.2.1 Agregados Gruesos.....	15
2.2.2.2 Agregados Finos.....	15
2.2.3 Agua de Mezclado.....	16
2.3 Concreto Fresco.....	17
2.3.1 Trabajabilidad.....	17

2.3.2 Asentamiento.....	18
2.3.3 Fraguado.....	21
2.4 Concreto Endurecido.....	21
2.4.1 Resistencias del Concreto.....	21
2.4.2 Resistencia a la Compresión.....	25
2.5 Método de Ultrasonido.....	25
2.6 Esclerómetro.....	29
2.7 Peso Unitario del Concreto.....	31
CAPITULO III.....	33
Marco Metodológico.....	33
3.1 Selección de los Materiales.....	34
3.2 Análisis de los Agregados.....	37
3.2.1 Granulometría.....	37
3.2.2 Modulo de Finura.....	38
3.2.3 Peso Especifico y Absorción.....	39
3.3 Control de Humedad de los Agregados.....	40
3.4 Diseño de Mezcla.....	43
3.4.1 Resistencia de Calculo.....	43
3.4.2 Ley de Abrams.....	45
3.4.3 Relación Triangular.....	47
3.4.4 Proporción entre los Agregados Gruesos y Finos...	49
3.4.5 Contenido de Agua.....	52
3.4.6 Volumen Absolutos de los Agregados.....	53
3.4.7 Volumen de Aire Atrapado.....	53
3.4.8 Calculo de las dosis de los Agregados.....	54
3.5 Conversión de la dosis a Volumen de Trabajo.....	56
3.6 Corrección por Humedad.....	58
3.7 Mezclado.....	61
3.8 Ensayos de Concreto Fresco.....	61
3.9 Elaboración de Cilindros.....	63

3.10 Curado.....	64
3.11 Ensayos de Concreto Endurecido.....	65
3.11.1 Ensayo de ultrasonido.....	65
3.11.2 Ensayo de esclerometría.....	66
3.11.3 Ensayos de Concreto Endurecido.....	67
CAPITULO IV.....	69
Análisis de Resultados.....	69
4.1 Ensayos con el Cono de Abrams.....	70
4.2 Peso Unitario del Concreto Fresco.....	71
4.3 Ensayos de Ultrasonido.....	73
4.4 Ensayos de Esclerometría.....	76
4.5 Ensayos de Compresión Simple.....	79
4.6 Absorción de Agua.....	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
BIBLIOGRAFÍA.....	93
ANEXOS.....	96

INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad las personas han tenido la necesidad de contar con algún tipo de refugio donde vivir, y por tanto tuvieron que recurrir a algún tipo de método constructivo adecuado a las condiciones del medio que las rodeaba para la elaboración de sus viviendas y a los materiales que les proveía la naturaleza. Los materiales más comunes eran bloques de piedra, troncos de árboles, pieles de animales, adobe, etc., los cuales cuando se combinaban para construir daban buenos resultados.

A medida que fue transcurriendo el tiempo se fueron descubriendo nuevos materiales para la construcción, como el hierro, el acero, el aluminio, el vidrio, el concreto y otra variedad de materiales que hoy en día son los que dan forma a todas las super estructuras que se conoce.

Para efectos de esta investigación nos centraremos en el concreto. Este material constructivo tiene sus orígenes desde la época de los egipcios cuando usaron el yeso calcinado para dar al ladrillo o a las estructuras de piedra una capa lisa.

El concreto fue utilizado en la antigua Roma, usando como agregado restos de ladrillo quebrado, combinándolos en una mezcla de masilla de cal con polvo de ladrillo o las cenizas volcánicas. Los romanos construyeron una variedad de estructuras a la que incorporaron la piedra y el concreto, tales como: caminos, acueductos, templos y palacios.

En 1774 John Smeaton había encontrado que combinar la cal viva con otros materiales creaba un material extremadamente duro, que se podría utilizar

para unir otros materiales. Él utilizó este conocimiento para construir la primera estructura de concreto desde la antigua Roma.

En 1816 se construyó en Souillac, Francia, el primer puente de concreto no reforzado. Pero no es sino hasta 1825 cuando se elaboró el primer concreto moderno producido en América, el cual se utilizó en la construcción del canal de Erie. Por otra parte se utilizó, también, el cemento hecho de la "cal hidráulica" encontrada en los condados de Madison en Nueva York, de Cayuga y de Onondaga.

En 1897 Sears Roebuck ofreció el artículo #G2452, un barril de "Cemento, natural" en \$1,25 por barril y el artículo #G2453, "cemento Portland, importado" en \$3,40 por barril de 50 galones, y desde entonces comenzó el boom del concreto.

A principios del siglo XX comenzó el auge de la construcción a nivel mundial debido al aumento de la población y a la necesidad de tener unas mejores condiciones de vida, trayendo como consecuencia la elaboración de casas, edificios, centros asistenciales y centros de recreación.

Las grandes cementeras en Venezuela han creado varios productos con características específicas que abaratan los costos de los cementos, estos productos poseen un comportamiento distinto al cemento Portland Tipo I, el cual es comúnmente empleado en estructuras y obras de gran envergadura. Aunado a esto, la escasez de cementos para la preparación de concretos de alta resistencia hace que el constructor o las compañías, por falta de información acerca de estos productos nuevos, tomen una decisión errada, tanto al momento de la compra del producto como al emplearlo en la

preparación del concreto según un diseño de mezcla que sigue un patrón marcado por el cemento Portland Tipo I.

CAPÍTULO I
Fundamentos De La Investigación

1.1 Planteamiento del Problema

Las nuevas tecnologías aplicadas a la construcción han dado paso a la creación de nuevos cementos con variaciones en su comportamiento y composición química, todos estos cambios han sido motivados por muchos factores, tales como: la creación de productos con un fin específico, la creación de cementos de bajo costo y cementos con cierta sensibilidad hacia el medio ambiente.

La demanda que ha surgido en el país en los últimos años en el área de la construcción ha traído como consecuencia una gran escasez de materiales a nivel nacional tales como: cemento, cabillas, agregados para las mezclas de concreto y otros materiales. En consecuencia, las cementeras han tenido que elevar su producción para poder satisfacer la demanda de concreto. En Venezuela existen cinco empresas cementeras, de las cuales las principales son: Cemex, Holcim, Lafarge; Catatumbo y Andino.

El uso de un cemento tipo CPCA1, en una estructura que por sus características necesite un concreto con altas resistencias puede dar resultados inesperados si no se conocen y toman en cuenta las características propias de este material cementante, sobre todo cuando los cálculos realizados para la estructura u obra en general son realizados en base al comportamiento del Cemento Portland Tipo I, por lo que se hace necesario conocer y comparar las características de este material y su comportamiento en obra.

En el caso de estudio, se desea hacer una comparación de las propiedades del concreto fresco y el concreto endurecido para mezclas elaboradas con cemento tipo CPCA-1 y tipo Portland I del grupo Lafarge.

Todos estos productos poseen aditivos que mejoran características con aplicaciones específicas. Pero en estos momentos surgen las interrogantes de ¿cómo estos productos se integran a la industria de la construcción en Venezuela?, un país donde la mayoría de las construcciones se llevan a cabo de manera informal y sin control de calidad alguno, ¿será posible realizar una comparación entre los cementos Portland Tipo I y los Tipo CPCA 1?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Comparar las propiedades del concreto fresco y del concreto endurecido en mezclas elaboradas con cemento tipo CPCA 1 y Portland I.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Elaborar mezclas de diferentes tipo de resistencia (180 Kg/cm^2 , 210 Kg/cm^2 , 250 Kg/cm^2) con un asentamiento entre 6 y 11 cm.
- Evaluar las propiedades del concreto fresco tales como el asentamiento y el peso unitario.
- Evaluar las propiedades del concreto endurecido tales como resistencia a la compresión simple, ensayo de esclereometría, ensayo de ultra sonido y estimación de absorción de agua.

1.3 Aportes

1.3.1 Aportes Técnicos

Pudiendo mejorar la calidad de la obra, así como la perdurabilidad de la misma en el tiempo, ya que cada tipo de cemento aporta sus características propias en uno u otro sentido, como lo son: la permeabilidad, el tiempo de fraguado, el costo y diversos factores en los que difieren el uno del otro, por lo que es necesario saber escoger entre el uso del Cemento Portland Tipo I y el Portland CPCA1.

1.3.2 Aportes Económicos

Los posibles resultados que esta investigación arrojarán servirán de mucha ayuda, de manera que se podrá seleccionar más acertadamente un ejemplar de cemento apropiado de entre los dos tipos aquí señalados. Haciendo un buen uso de este insumo y aprovechando al máximo sus características y propiedades se pueden obtener mejores resultados en obra, lo que se puede traducir en ganancias a nivel económico.

1.3.3 Aportes Metodológicos

Se creará una metodología de comparación entre el cemento Tipo Portland I y el CPCA1 la cual servirá de herramienta para la toma de decisiones, en los casos donde no se pueda ubicar en el mercado un tipo de cemento y solo se encuentre disponible otro, o donde simplemente no sea factible el uso de un determinado tipo de cemento.

CAPÍTULO II
Marco Teórico

2.1 Concreto

El concreto u hormigón es un material que se puede considerar constituido por dos partes: uno es un producto pastoso y moldeable que tiene la propiedad de endurecer con el tiempo, y la otra son trozos pétreos que quedan englobados en esa pasta. A su vez, la pasta está constituida por agua y un producto aglomerante o conglomerante, que es el cemento. El agua cumple la doble misión de dar fluidez a la mezcla y de reaccionar químicamente con el cemento dando lugar, con ello, a su endurecimiento (4).

Históricamente se podría considerar que el concreto tuvo su origen durante el imperio romano, ya que en ese período se desarrolló un material similar al concreto que se conoce actualmente, así mismo se utilizaban materiales granulares y material aglomerante que denominaban “cementum”. El concreto que se conoce hoy en día tuvo sus inicios en la segunda mitad del siglo XVIII siendo creado a través de las investigaciones de cales de Jhon Smeaton & Joseph L. Vicat. Estos investigadores fueron los pioneros en el tema del concreto. (4)

2.2 Componentes del concreto

Aproximadamente el 80% del peso de concreto se compone de material de origen pétreo más comúnmente llamado agregados, por esa razón las características de estos materiales son fundamentales para calidad de la mezcla de concreto, la calidad de los agregados depende de su origen geológico y de su explotación, debido a esto las empresas encargadas de la explotación son las primeras responsables del estado en que se encuentren estos materiales.

Los principales materiales que componen el concreto son cemento, agregados gruesos, agregados finos, agua y en casos especiales que la obra

lo requiera se agregaran aditivos, a continuación se comentara más sobre cada uno de ellos.

2.2.1 Cemento

El cemento es una mezcla de silicatos y aluminatos de calcio. Se obtiene a partir de la fusión parcial y combinación, en proporciones convenientes, de materias primas que sean ricas en cal, sílice y alúmina. Estos materiales se encuentran en su estado natural bajo la forma de calizas, arcillas o margas que se benefician en canteras. (5).

El cemento es producto de la explotación a cielo abierto de canteras de piedra caliza que por lo general están cubiertas por un capa de material con abundante componente orgánico, debido a esto la explotación debe ser realizada con medios explosivos o maquinaria pesada, estos materiales explotados son transportados a la fábrica. Es necesario mencionar que el monóxido de calcio (CaO) es el principal componente, sin embargo también está compuesto por otros elementos como el sílice, alúmina y oxido de hierro. (5)

El cemento conocido como el más antiguo es el cemento Portland; se fabrica a partir de clínker de cemento con adición de yeso u otro sulfato cálcico, (por ejemplo la anhidrita) moliendo el conjunto hasta gran finura. El clínker de cemento es fabricado a partir de una harina seca o de una suspensión de ésta en agua, sometida en ambos casos a tratamiento térmico hasta su sinterización completa en hornos rotatorios o en hornos de cuba (verticales en lenguaje de cementeros españoles). Esto distingue al cemento Portland de los conglomerantes hidráulicos a base de cal obtenidos en hornos de cuba por tratamiento térmico de trozos de marga calcárea. El clínker de cemento, como consecuencia de su proceso de fabricación, es muy

regular, contiene muy poca cal libre, que no exige apagado y ofrece, por tanto, gran estabilidad de volumen que soporta la prueba de cocción según la norma DIN 1164.

El cemento Portland es, siempre, un cemento obtenido a partir de un crudo preparado artificialmente y sometido después a tratamiento térmico, por ello, en Francia, se denomina también CPA (Ciment Portland Artificiele). (2). En el caso del cemento CPCA, se le conoce como Cemento Portland Con Adiciones y a este nombre se le añade un numero como sufijo que representa el aditivo añadido.

Tabla # 1: Valores normalizados para el cemento portland, según ASTM C150-68 (USA)

Tipo		I (a)	II (a, c, f)	III (a)	IV (g)	V
		Cemento normal comercial	Con moderado calor de hidratación y resistencia a agresión por sulfatos	De alta resistencia mecánica a edad temprana	Con bajo calor de hidratación	Con alta resistencia a la agresión por los sulfatos
SiO ₂	mín. %	-	21,0	-	-	-
Al ₂ O ₃	máx. %	-	6,0	-	-	(b)
Fe ₂ O ₃	máx. %	-	6,0	-	6,5	(b)
MgO	máx. %	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
SO ₃						
AC ₃ hasta 8%	máx. %	2,5	2,5	3,0	2,3	2,3
AC ₃ superior 8%	máx. %	3,0	-	4,0	-	-
Perdida al rojo	máx. %	3,0	3,0	3,0	2,5	3,0
Residuo Insoluble	máx. %	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
SiO ₂ · 3 CaO-SC ₃	máx. %	-	-	-	35,0	-
SiO ₂ · 2 CaO-SC ₂	máx. %	-	-	-	40,0	-
Al ₂ O ₃ · 3 CaO-AC ₃	máx. %	-	8,0	15 (d)	7,0	5,0
SC ₃ + AC ₃	máx. %	-	58 (e)	-	-	-
Plazos para ensayos de resistencia mecánica	Días	3 , 7, 28	3 , 7, 28	1 , 3	7 , 28	7 , 28

Fuente: (Fritz, 1973)

Notas complementarias de la Tabla # 1:

- Prueba al autoclave: Expansión máxima 0,8%.
- Superficie específica Blaine: min. 2800 cm²/g (mínimo para valores individuales, 2600 cm²/g).
- Comienzo de fraguado (ensayo Vicat): por lo menos 45 min.
- Se designan como tipos IA, IIA y IIIA si contienen aditivos aireantes con resistencias mecánicas disminuidas.
- Al₂O₃ \ 3CaO no superior a 5%, Fe₂O₃ \ Al₂O₃ \ 4CaO + 2(Al₂O₃ \ 3CaO) no superior a 20% (tipo V).
- Calor de hidratación a los 7 días máximo 70 cal/g, a los 28 días máximo 80 cal/g.
- Si se estipula para el tipo III resistencia a la agresión por los sulfatos, entonces el contenido Al₂O₃ \ 3CaO será, a lo sumo, 8%. Si se estipula alta resistencia a los sulfatos el máximo será de 5%.
- Solo cuando sea necesario un moderado calor de hidratación pero cuya comprobación no sea exigida.
- Según C595-68 en los cementos IS (cemento de horno alto) y en los IP (cementos puzolánicos), la adición de las siglas MS, significa resistencia moderada frente al ataque de los sulfatos, la MH, significa moderado calor de hidratación; también está permitida la indicación MH-MS.



Foto # 1: Presentación Comercial de los Cementos sometidos al Estudio. **Fuente:** www.lafarge.com.ve.

2.2.2 Agregados

Los agregados son materiales en su mayoría de origen pétreo, sin embargo actualmente en el mercado mundial existen diversos sustitutos originados de procesos de materia prima, ambos tanto el natural como el sintético son usados en la mezcla como principal compuesto ya que representa el 70-85% de su peso. (4). La suma importancia de mantener un estricto control de calidad sobre los agregados, ya que estos podrían afectar características del concreto tales como peso unitario, manejabilidad, módulo de elasticidad, resistencia y durabilidad, entre otros (1).

Son los constituidos por los materiales generalmente inertes, naturales o no, y de formas estables, apropiados para la confección de morteros y concretos. (6)

2.2.2.1 Agregados Gruesos

Todas las partículas retenidas en el tamiz # 4, se clasifican como agregado grueso. (1) La Norma COVENIN 265-1998, define como agregado grueso aquel que pasa el cedazo COVENIN 9,51mm (3/8")

2.2.2.2 Agregados Finos

Se clasifican como agregados finos a todas las partículas que pasan el tamiz # 4. (1). Según la norma ASTM C33-03 en los agregados finos son aquellos gradados dentro de los límites que se indican en la Tabla # 2 que se presenta a continuación.

Tabla # 2: Gradación de Agregados Finos

Tabla # 2: Gradación de Agregados Finos

TAMIZ	PORCENTAJE PASANTE
9,5 mm (³ / ₈ "	100
4,75 mm (#4)	95 A 100
2,36 mm (#8)	80 A 100
1,18 mm (#16)	50 A 85
600 μm (#30)	25 A 60
300 μm (#50)	5 A 30
150 μm (#100)	0 A 10

Fuente: ASTM C33-03

Además la norma ASTM C33-03, plantea que los agregados finos no deben tener más del 45% del pasante entre dos tamices consecutivos, y el módulo de finura debe encontrarse entre 2,1 y 2,3. Fuente: ASTM C33-03

2.2.3 Agua de Mezclado

Según la norma COVENIN 2385-2000, se puede definir el agua de mezclado como aquella que se le añade a la mezcla de concreto o mortero, para otorgarle la fluidez que se necesita para manejar y colocar el concreto, al mismo tiempo ésta reacciona con el cemento, hidratándolo y dando inicio al fraguado, desde el estado plástico inicial hasta el desarrollo de la resistencia a través del tiempo. (4). De igual manera la norma COVENIN 2385-2000 plantea una tolerancia de impurezas en el agua de mezclado que se presentan en la Tabla # 3.

Tabla # 3: Impurezas tolerables en el agua para concreto

IMPUREZA	CONTENIDO MÁXIMO EN PARTES POR MILLÓN
SÓLIDOS DISUELTOS	5000
CLORURO, (Cl)	500*
MATERIA ORGÁNICA POR CONSUMO DE OXIGENO	250**
pH----- de 5,0 a 7,5	

Fuente: COVENIN 2385-2000

* Los cloruros fueron limitados por su posible efecto corrosivo de las armaduras cuando la obra está situada en un ambiente agresivo o en cualquier ambiente cuando se trata de armaduras tensadas. Si no se dan estas circunstancias son aceptables proporciones de cloruros (Cl) de hasta 2.000 p.p.m. en el agua de mezclado.

** La materia orgánica fue limitada por la posibilidad de que esté constituida por azúcares que pueden alterar los tiempos de fraguado de la mezcla. Si se comprueba químicamente que no se trata de azúcares, son aceptables hasta

5.000 p.p.m de materia orgánica en el agua. Alternativamente, el agua es aceptada si cumple los promedios entre los tiempos de fraguado inicial es de las tres (3) mezclas hechas con agua potable y de las tres (3) mezclas hechas con el agua en estudio, no deben diferir entre sí en más de 15 minutos y los tiempos de fraguado finales en más de 45 minutos.

Lepe Saucedo, (1978) afirma que: “Casi cualquier agua natural que pueda beberse y que no tenga sabor u olor notable, sirve para mezclar el concreto. Sin embargo, el agua que sirve para mezclar concreto puede no servir para beberla”.

2.3 Concreto Fresco

El concreto fresco se refiere básicamente a la humedad de la mezcla para que ésta pueda ser manejada, transportada, colocada y consolidada, por medios adecuados sin demasiados esfuerzos y sin que se produzca segregación o exudación.

La segregación consiste en la separación de las partículas gruesas del agregado de las más finas, haciendo que la distribución de la masa de concreto deje de ser uniforme. La exudación se presenta cuando una parte del agua de la mezcla tiende a colocarse en la superficie del concreto recién colocado o durante el proceso de fraguado. (7).

2.3.1 Trabajabilidad

Es la mayor o menor facilidad que puede tener el concreto para ser mezclado, transportado y colocado. (8).

En la tecnología del concreto, la palabra "trabajabilidad" se emplea con dos acepciones distintas. Una general, con la cual se designa el conjunto de propiedades del concreto que permiten manejarlo sin que se produzca segregación, colocarlo en los moldes y compactarlo adecuadamente. La otra acepción es específica para designar el asentamiento medido por el procedimiento normalizado del Cono de Abrams. (4).

2.3.2 Asentamiento

Es la diferencia de altura entre el molde y la probeta hecha en él, cuando esté fuera de éste, se mide en el eje y se expresa en centímetros. Se refiere usualmente al asentamiento medido en el cono de Abrams. (8).

El Cono de Abrams está 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. El molde debe estar provisto de asas y aletas. El interior del molde debe ser relativamente suave y sin protuberancias, tales como remaches. (11).

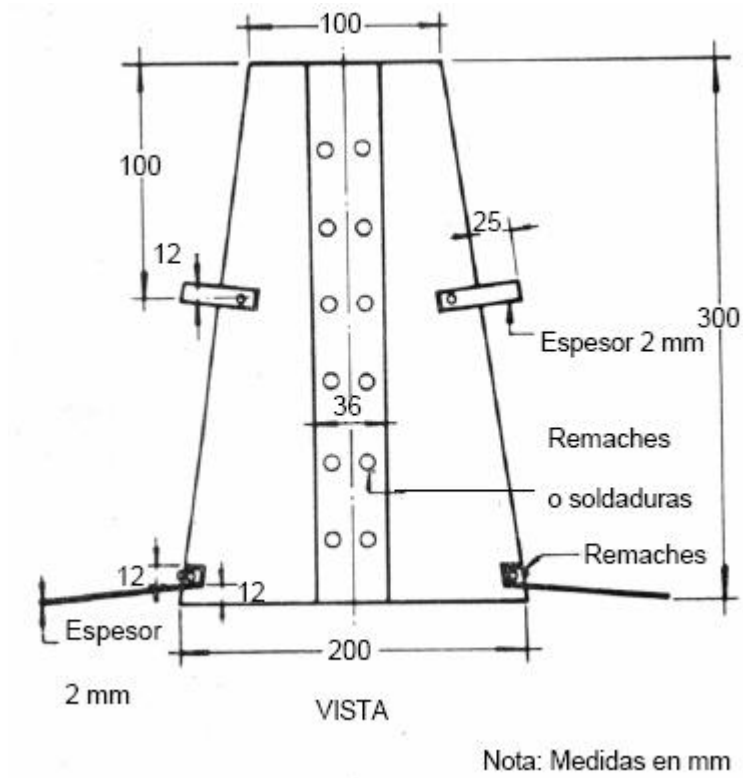


Foto # 2: Cono de Abrams Vista Frontal. **Fuente:** Norma COVENIN 339:2003



Foto # 3: Elaboración del ensayo del Cono de Abrams Vista Frontal, **Fuente:** Desconocida.

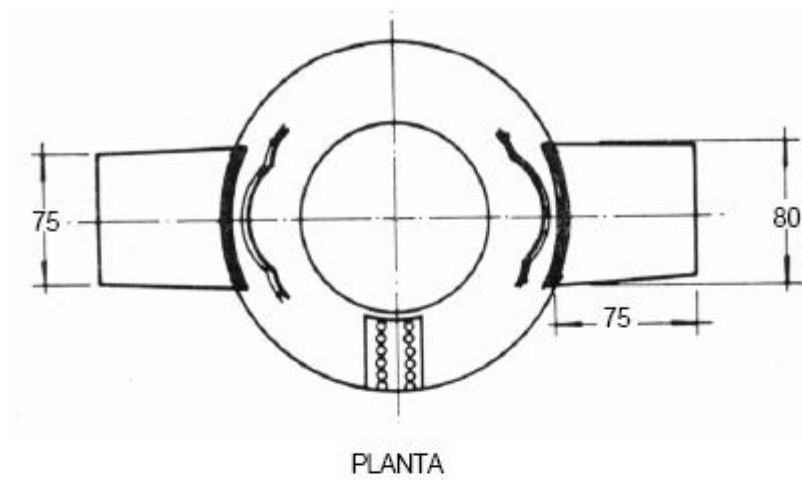


Figura 1 Cono de Abrams

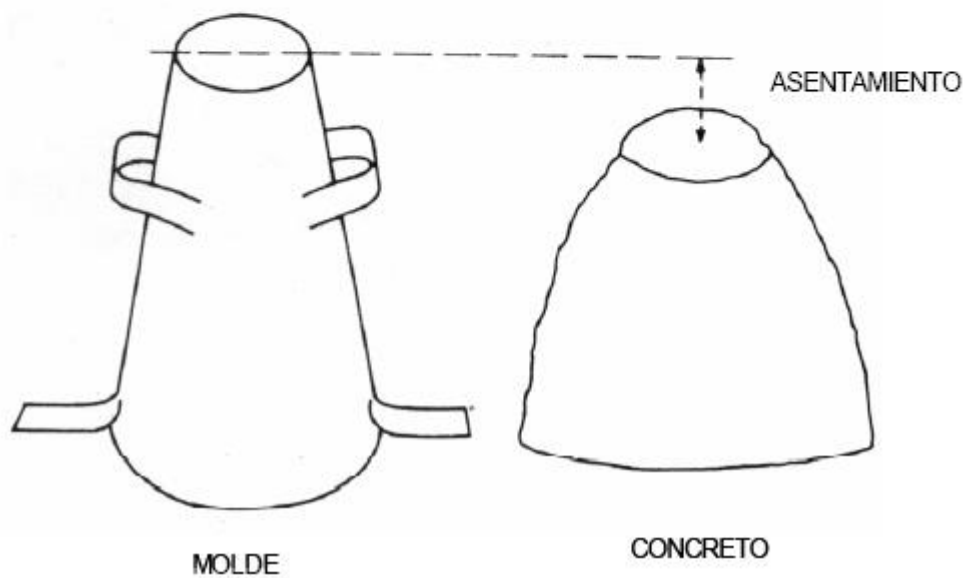


Foto # 4: Cono de Abrams Vista Planta y Medición de asentamiento, **Fuente:** Norma COVENIN 339:2003

2.3.3 Fraguado

En general el concreto fresco debe permanecer lo suficientemente plástico durante un tiempo, suficientemente para que pueda ser manejado y consolidado convenientemente (por lo menos media hora y preferiblemente una hora y a veces hasta varias horas). Después de este tiempo y dejada la mezcla en reposo, comienza el proceso de endurecimiento normal hasta que se dice que "ha fraguado".

Aunque el fraguado se debe a la reacción de hidratación del cemento, no hay una relación directa entre la medida en pasta pura y la hecha en concreto. En los concretos es variable la relación agua/cemento y la dosis de cemento, no siendo despreciable las sales disueltas en el agua de mezclado o provenientes de los agregados, todo lo cual no sucede en la pasta pura.

2.4 Concreto Endurecido

El concreto en estado endurecido toma aspectos y características de roca artificial, las cuales son aprovechadas por el uso de todo tipo de construcción. Estas propiedades son, la resistencia a los esfuerzos mecánicos, durabilidad, impermeabilidad, densidad, acabado y estabilidad volumétrica.

2.4.1 Resistencias Del Concreto

La resistencia es la capacidad que tiene el concreto de soportar esfuerzos de diferentes tipos y magnitudes. Las propiedades y la resistencia de cualquier sistema heterogéneo dependen de las características físicas y químicas de sus componentes y de las interacciones entre ellos mismos. (7).

El concreto es una masa endurecida y heterogénea, cuyo efecto más importante en la resistencia es la de la relación agua/cemento (7), sin embargo intervienen otros elementos como la granulometría, textura superficial, forma, resistencia y tamaño máximo del agregado; el tipo y calidad del cemento, así como la calidad del agua, la temperatura, fraguado, edad y de muchos otros factores. A continuación se mencionarán brevemente algunos de los más importantes:

a) Relación agua/cemento:

El cociente entre el peso del agua de mezclado (a) y el peso del cemento empleado (c) es lo que se conoce como relación agua/cemento (α) o sea:

$$\alpha = a/c$$

Entre mayor es el contenido del agua de mezclado mayor es la cantidad de agua que no se combina con el cemento, y por consiguiente al disiparse la parte de agua evaporable, la pasta será más porosa y la resistencia del concreto se disminuye.

Esta propiedad fue demostrada por D. Abrams en el año 1918, señalando que para un concreto perfectamente compactado, empleando materiales con las mismas características y condiciones de ensayos, la resistencia a una edad dada, es inversamente proporcional a la relación agua/cemento.

b) Tipo y cantidad de cemento:

El tipo y cantidad de cemento utilizado tiene gran influencia en la resistencia final conseguida por el concreto, debido a que el cemento es el material químicamente "activo" en la mezcla.

Para el tipo de cemento, es preciso anotar que distintas marcas y aún el mismo tipo no se deben intercambiar sin antes hacer un riguroso análisis del efecto que dicho cambio puede tener sobre la resistencia. Lo más importante en lo que respecta al cemento es su cantidad en la mezcla, y generalmente se cumple que a mayor contenido de cemento se consiguen mayores resistencias.

c) Características de los agregados:

En general se puede decir que para una misma relación agua/cemento las partículas de agregado con textura rugosa o de forma angular forman concretos más resistentes que otros redondeados o lisos debido a que hay mayor enlace entre los granos gruesos y el mortero, sin embargo, para igual contenido de cemento, los de textura rugosa exigen mayor cantidad de agua para lograr una determinada manejabilidad y por ello el efecto neto sobre la resistencia no varía en forma apreciable.

d) Influencia del tamaño máximo:

En general, la diferencia en tamaño máximo de un mismo tipo de agregado bien gradado, tiene dos efectos opuestos en la resistencia a la compresión del concreto. En primer lugar, para una consistencia dada y para igual contenido de cemento, la utilización de tamaños máximos mayores, requieren menos agua de mezclado que los agregados de tamaño máximo menores. Por otro lado, mezclas con la misma consistencia e igual relación agua/cemento, presentan resistencias más bajas cuando se utilizan agregados de mayor tamaño máximo.

El tamaño máximo no debe ser mayor de $1/5$ de la dimensión menor de la pieza a vaciar, para evitar zonas débiles; tampoco debe ser mayor de $3/4$ de

la luz entre armaduras, para evitar que éstos puedan hacer un efecto "colador".

Los concretos de alta resistencia requieren tamaños máximos pequeños, sin embargo para concretos de baja resistencia, mientras mayor sea el tamaño máximo, mayor será la eficiencia.

e) Curado del concreto:

Luego del proceso de fraguado del concreto es necesario mantener el concreto tan saturado de agua como sea posible, con el fin de terminar de hidratar al cemento y conseguir así su máxima eficiencia.

Por ésta razón, la resistencia del concreto depende en gran medida de la atención que se le preste a éste factor.

f) Influencia de la edad del concreto:

Desde el momento del fraguado del concreto, se inicia el desarrollo de resistencias, al comienzo es rápido y luego va disminuyendo su velocidad a medida que transcurre el tiempo.

El predecir de una manera general las resistencias que tendrá el concreto a una edad con base en las determinadas a otra edad, resulta problemático y poco preciso, debido a que la resistencia del concreto, como ya se ha mencionado, depende de varios factores entre los cuales la influencia de la edad del concreto representa una de las más importantes para el desarrollo y determinación de la misma.

2.4.2 Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión es la característica más importante y normalmente con ella se define la calidad del concreto endurecido, la cual se mide en probetas hechas con el material que se está colocando y puede ser diferente de la del material una vez colocado en obra. Lo que se mide es una especie de resistencia "potencial" del material, la cual puede ser alterada principalmente por las condiciones de colocación en obra por la segregación y acomodo al encofrado y por el curado; estos factores deben ser controlados independientemente del ensayo de resistencia.

La gran mayoría de las estructuras de concreto son diseñadas bajo hipótesis de que el concreto resiste únicamente esfuerzos de compresión (19), por consiguiente, para propósitos de diseño estructural, la resistencia a la compresión es el criterio de calidad.

Las resistencias a edades menores de 28 días, son de interés, ya que permiten inferir prematuramente, con mayor o menor precisión, las que tendrán el material a la edad normativa.

2.5 Método de Ultrasonido

Desarrollado en Canadá desde 1945 por J. R. Leslie y W. J. Cheesman y aproximadamente al mismo tiempo por R. Jones, este método tiene como objeto crear un procedimiento no destructivo para examinar elementos de concreto. Estos estudios dieron como resultado un instrumento conocido como el soniscopio.

La finalidad de los trabajos de investigación en Inglaterra fue desarrollar una técnica para ensayar especímenes de laboratorio, estos trabajos condujeron

el desarrollo de un instrumento conocido como probador ultrasónico de concreto.

El método ultrasónico de velocidad de pulso consiste en medir el tiempo de transmisión de una onda a través del elemento de concreto por investigar. La unidad central generadora produce el pulso eléctrico que se transforma en impulso mecánico mediante el transductor emisor con el que se aplica a la pieza de concreto bajo ensayo. En el otro extremo de la muestra se coloca el transductor receptor, el cual envía el pulso eléctrico al registro de la pantalla de un osciloscopio de rayos catódicos. La velocidad de propagación de la onda en el seno del concreto se determinará dividiendo la distancia entre los dos puntos de aplicación de los transductores con aproximación de 1mm, entre el tiempo de paso de la onda con aproximación de 1 microsegundo.

La técnica más común y confiable es la medición directa que consiste en colocar el emisor y el receptor enfrentados en dos caras opuestas del elemento a estudiar. Ambos terminales deben establecer un buen contacto con la superficie del concreto evitando vacíos intermedios donde resulta muy baja la Velocidad de propagación. Para lograr ese buen contacto se les unta a los terminales una capa de grasa especial, ambos terminales están conectados a un aparato que por interferencia electrónica, indica el tiempo de tránsito del pulso ultrasónico (t) entre la salida y la llegada de la onda. Conocida la distancia (L) entre ambos puntos de medición, se obtiene la velocidad característica (L/t) del concreto en esa zona, expresada en Km/s, o en m/s. A mayor velocidad, mayor módulo de elasticidad y mayor resistencia. (10).

Para que los resultados del ensayo de la velocidad del pulso ultrasónico sean confiables, se deben cuidar los siguientes aspectos:

- El aparato de ensayo debe estar estrictamente calibrado y usarse en la correspondiente escala de apreciación. El equipo se suministra con una barra que hace las veces de patrón de referencia. (10).
- Los terminales deben estar en perfecta oposición. Para lograr eso es bueno mantener fijo un terminal y mover ligeramente el opuesto, hasta determinar la lectura mínima. La medición de la distancia entre terminales (L) debe realizarse con precisión al milímetro. (10).
- Se debe evitar, en lo posible, la presencia del acero de refuerzo en la línea entre los terminales. Por eso es bueno contar previamente con los planos de detalle estructural o con equipos electromagnéticos especiales para detectar la ubicación de las armaduras, conocidos como pachómetros. (10).
- Se debe tener alguna idea del estado de humedad del concreto, ya que ella favorece la velocidad de transmisión. Los valores de velocidad de pulso ultrasónico no deben convertirse directamente, y de una manera general, en resistencia mecánica del concreto. Sin embargo, estudios detallados de correlación entre resultados de ultrasonido y resultados de probetas normativas o núcleos, representativos del mismo concreto que se está evaluando, pueden autorizar el uso de esas velocidades para estimar la calidad del concreto en otras partes de la misma obra. (10).

Otro uso del ensayo ultrasónico es la detección de posibles defectos internos del concreto, tales como grietas de tamaño importante o macro huecos. Igualmente útil es el empleo del ultrasonido para delimitar zonas de una estructura donde el concreto sea homogéneo en términos de velocidad de propagación. Para cumplir esta condición se acepta que la desviación

estándar de la velocidad medida sea inferior a 110 m/seg. $S_{vel} < 110$ m/s. Cada zona podrá ser comparada, en términos de velocidad de propagación, con otra previamente aceptada, en función de la resistencia normativa obtenida por resultados de cilindros o núcleos. (10).

En casos especiales se pueden utilizar otras posiciones de los terminales para el ensayo de ultrasonido: La transmisión semi-directa, cuando los terminales se colocan sobre caras adyacentes de un elemento (superficies en esquina), siempre que mantengan constante la distancia entre los puntos de contacto; y la transmisión indirecta, cuando se colocan sobre el plano de una misma cara. Estas posiciones son útiles para detectar alguna posible falla interna o cercana a la superficie como grietas de laminaciones, daños por incendio, etc. (10).



Foto # 5: Método de ultrasonido. **Fuente:** Norma Covenin 1976-2003.

Generalmente lecturas altas de velocidad de pulso de concreto son indicativos de buena calidad del concreto. (9).

Leslie y Cheesman han sugerido unos rangos de valores de velocidad de pulso, con los cuales se puede estimar la calidad del concreto (9).

VELOCIDAD DE PULSO (m/s)	CONDICIÓN GENERAL
Superior a 4500	Excelente
3600 a 4500	Bueno
3000 a 3600	Dudoso
2100 el 3000	Pobre
Inferior a 2100	Muy Pobre

Tabla # 4: Rangos de valores de velocidad de pulso, para estimar la calidad del concreto. (9).

2.6 Esclerómetro

El esclerómetro o martillo de Schmidt es un aparato que mide la magnitud del rebote de cierta masa de acero que se hace golpear sobre la superficie del concreto. El golpe se produce al liberar la energía de un resorte que impulsa la masa metálica sobre el concreto. El resorte se dispara cuando la presión que ejerce el operador con el aparato sobre la superficie de concreto, llega al punto conveniente. El rebote es medido en una escala graduada, siendo evidente, en general, que a mayor rebote mayor dureza superficial.

El aparato debe colocarse siempre perpendicular a la superficie del concreto, presionarse firme y lentamente hasta lograr el disparo del resorte, el valor del rebote o rechazo, será la lectura del Índice Esclerométrico, el cual deberá someterse a correcciones si el ángulo de disparo no se puede efectuar de forma perpendicular ya que la magnitud del rebote se vera afectada por la influencia de la aceleración de la gravedad; por ello el fabricante del equipo ha colocado en el aparato un gráfico con claras instrucciones para la corrección, con los casos de ejes inclinados.

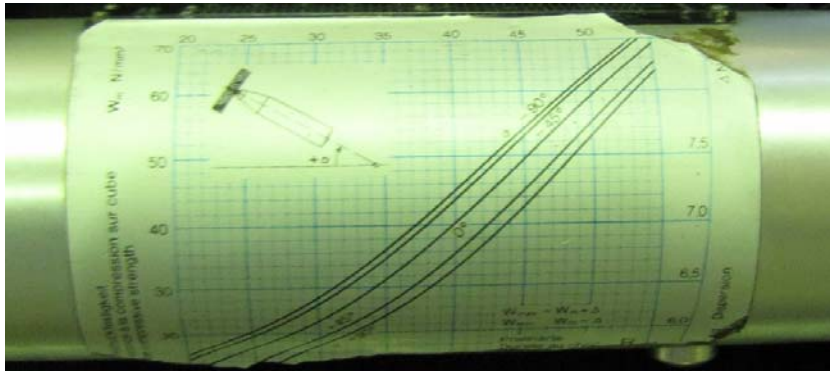


Foto # 6: Tabla de corrección del esclerómetro por ejes inclinados **Fuente:** Elaboración Propia.

Otras circunstancias que afectan la magnitud del rebote son de índole particular, como lo fortuito de aplicar el aparato sobre un punto donde se encuentra un poro importante de la masa, con lo cual el rebote dará un resultado poco representativo. O si el disparo es hecho en un punto inmediatamente encima de un grano grueso de piedra o de un refuerzo metálico con muy escaso recubrimiento; tampoco en esos casos el rebote será representativo. Por estas razones, los manuales de uso del esclerómetro permiten, del conjunto de disparos para cada zona, descartar aquellos que se vean notablemente superiores o inferiores al promedio.

Cuando el esclerómetro se usa sobre superficies de elementos de concreto que ya han cumplido una cierta edad expuestas al medio ambiente, se señala en los manuales de uso la necesidad de raspar esa superficie con un esmeril, para eliminar en esa forma la “costra” que sobre el concreto se ha producido por el fenómeno de carbonatación.

El ensayo esclerométrico puede ser considerado como un valioso auxiliar dentro de un plan general de mediciones, pero en sí mismo no puede ser relacionado con la resistencia del concreto, por lo cual no se permitirá utilizar

como único ensayo para evaluar cuantitativamente la calidad del concreto endurecido. Para ello se requeriría una minuciosa calibración por correlación contra el concreto que se desea evaluar, correlación no siempre fácil de lograr por las altas dispersiones que produce el esclerómetro.



Foto # 7: Ensayo Esclerómetro. **Fuente:** Norma Covenin 1976-2003.

2.7 Peso Unitario del Concreto

Las denominaciones peso específico (γ), peso unitario (W) y las variantes de estas designaciones, se refieren al peso del material por unidad de volumen. Las diferencias provienen de si los poros o huecos se consideran dentro del volumen o no. En el texto se utiliza como referencia el peso unitario del concreto, o peso específico para señalar que está determinado con precisión. El volumen corresponde al del material que no tuviera poros. La masa específica $\bar{\rho}$ se obtiene dividiendo el peso unitario W , por la aceleración de la gravedad g .

El método para determinar el peso unitario del concreto es poco preciso (Norma COVENIN 349, "*Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico, rendimiento y contenido de aire en el concreto*"). El peso unitario del concreto puede ser determinado de manera relativamente sencilla, mediante el siguiente procedimiento:

- Durante 24 horas, las probetas normativas se dejan en sus moldes, tapadas. El propósito es que no pierdan agua.
- Al cabo de ese tiempo se desmoldan, se pesan con exactitud (P_1) y se sumergen en agua.
- Transcurridas 24 horas, se pesan dentro del agua (P_2) y se extraen.
- Se las seca superficialmente y se pesan nuevamente (P_3).
- Se calcula su peso unitario con la fórmula:

$$W = P_1 / (P_3 - P_2)$$

Donde:

$P_3 - P_2$ = representa el volumen de la probeta libre de poros.

Las probetas empleadas no han sido alteradas, por lo que pueden ser destinadas al ensayo de resistencia o a la medida de la porosidad.

Los valores del peso unitario del concreto W dependerán del tipo y proporción de los agregados, del contenido de cemento y del volumen de vacíos. Usualmente varía entre 2.200 y 2.350 Kgf/m³. El peso específico, adimensional, se obtiene dividiendo W entre el peso unitario del agua.

CAPÍTULO III
Marco Metodológico

3.1 Selección de los Materiales

Existen diferentes tipos de agregados para la elaboración de concreto procedentes de diferentes canteras, sin embargo, para este estudio se escogió un agregado proveniente de la cantera de Puentearea, el mismo fue donado por la fábrica de concreto premezclado LAFARGE ubicada en la zona de La Bandera (Caracas), por lo que las mezclas realizadas están constituidas por dicho agregado.

El agregado existente en el patio de almacenamiento de la planta de premezclado LAFARGE, fue empacado y sellado en bolsas plásticas especiales para su mejor manipulación y evitar así la pérdida de ciertas propiedades del mismo, tales como el contenido de humedad y el contenido de finos.



Foto # 8: Grava natural, almacenada en los patios de Lafarge La Bandera, nótese que en el aviso dice grava triturada, pero en realidad es grava natural. **Fuente:** Elaboración propia.



Foto # 9: Arena Lavada, recolección de agregados en bolsas plásticas, almacenada en los patios de Lafarge La Bandera. **Fuente:** Elaboración propia.

Se trasladó la cantidad necesaria de material para la elaboración de las mezclas, colocándose en el laboratorio de agregados del IMME, donde se garantizó de esta manera la utilización del mismo tipo de agregado, además de encontrarse bajo las condiciones ambientales “controladas” (en cuarto techado sin presencia de luz solar).

Se utilizó cemento CPCA 1 (Eco Plus) y Portland Tipo I en sacos por la facilidad de transporte, almacenamiento y manipulación, se controló la procedencia de un mismo lote para este tipo de cemento, en el caso particular del cemento Portland Tipo I fue necesaria la donación por parte de Lafarge La Bandera, ya que no se puede adquirir en ferreterías debido a la escasez que actualmente existe en el país, ya que el precio de este insumo fue regulado por el gobierno en años anteriores, igualmente se tomó la cantidad de cemento necesaria de un mismo silo, el cual cuenta con un

certificado de calidad emanado de la planta Lafarge de Ocumare del Tuy. Ver Anexo #1



Foto # 10 y #11: Donación de cemento Portland Tipo I en bolsas plásticas, almacenado en los silos de Lafarge La Bandera **Fuente:** Elaboración propia.

En resumen, los materiales seleccionados fueron los siguientes:

- ✓ Arena Lavada de arenera Puenteareas.
- ✓ Agregado grueso: Grava 1 1/2" de arenera Puenteareas.
- ✓ Cemento Portland Tipo I
- ✓ Cemento Portland CPCA 1
- ✓ Agua.

3.2 Análisis de los Agregados

3.2.1 Granulometría:

Se realizó un análisis granulométrico tanto para el agregado grueso como para el fino, se siguió lo contemplado en la Norma COVENIN 255 — 1998 "Agregados. Determinación De La Composición Granulométrica"

Los tamices utilizados para el agregado fino fueron los siguientes: 3/8", 1/4", #4, #8, #16, #30, #50, #100. Luego se realizó el gráfico de los porcentajes pasantes Vs. Tamaño de los tamices en mm para este agregado.

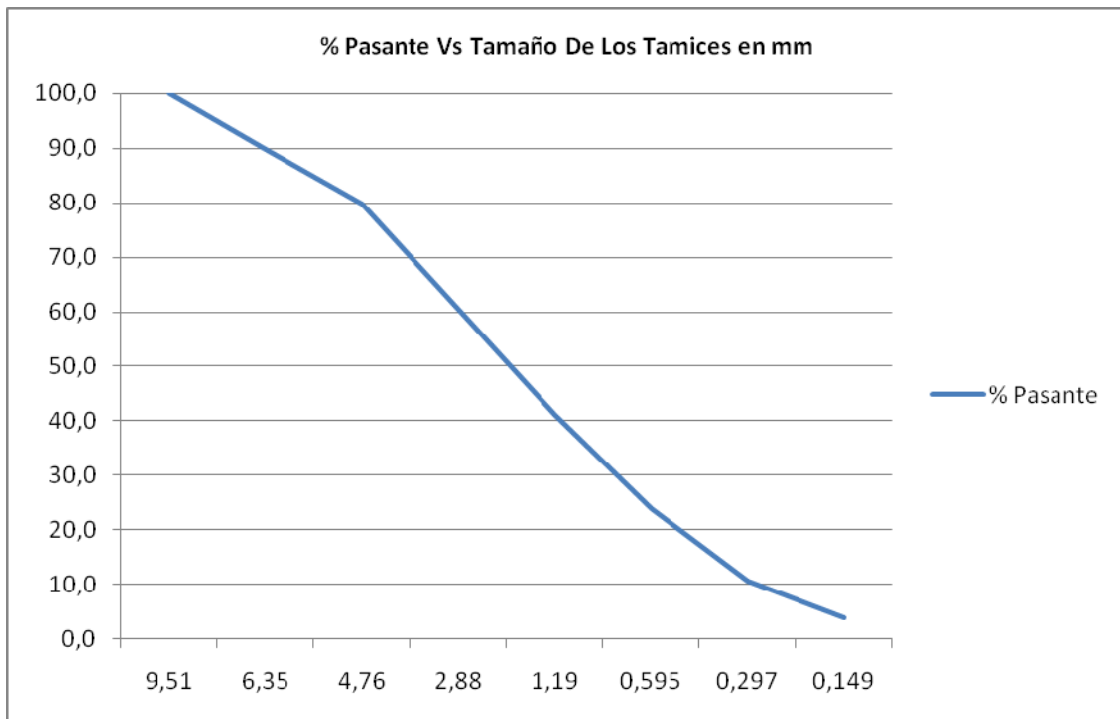


Gráfico # 1: % Pasante Vs Tamaño de los tamices en mm, para granulometría de agregados finos.

Los tamices utilizados para el agregado grueso fueron los siguientes: 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4". Luego se realizó el gráfico de los porcentajes pasantes Vs. Tamaño de los tamices en mm para este agregado.

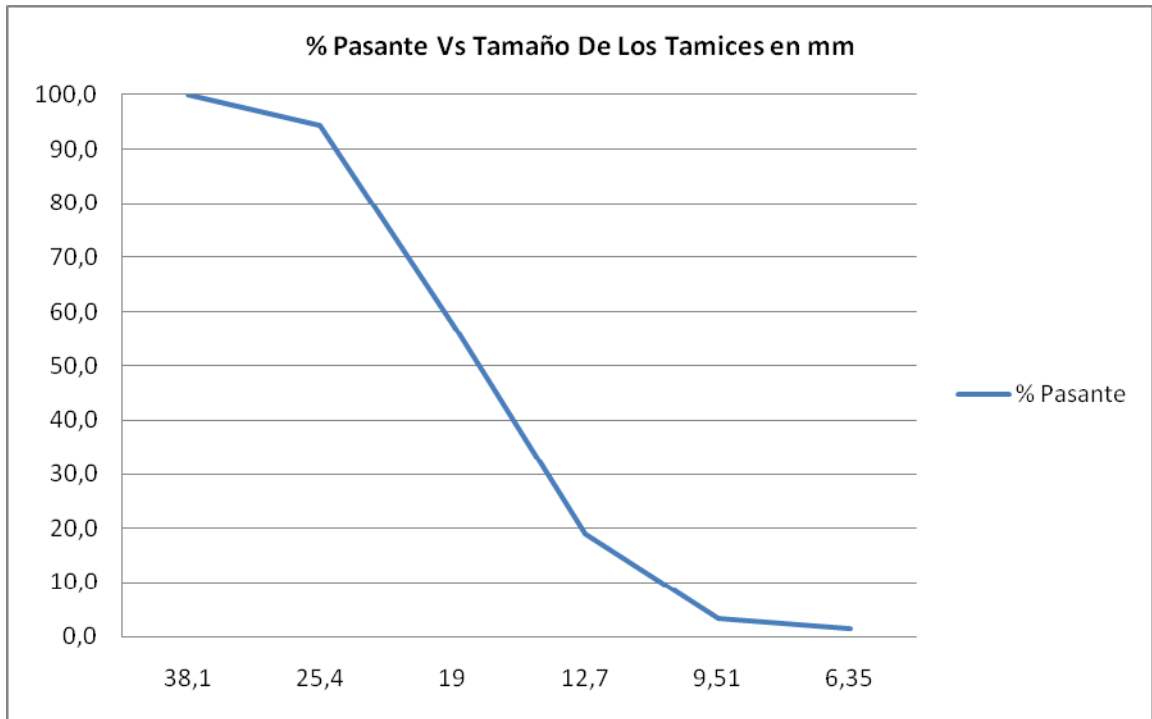


Gráfico # 2: % Pasante Vs Tamaño de los tamices en mm, para granulometría de agregados gruesos.

3.2.2 Módulo de Finura

Se determinó el módulo de finura del agregado fino sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices de la serie normativa y dividiendo la suma entre cien.

$$\text{Módulo de Finura} = \frac{\sum \text{retenidos}}{100}$$

Módulo de Finura = 0,959

3.2.3. Peso Específico y Absorción

Se determinó según lo contemplado en las Normas COVENIN 0268 — 1998 "Agregado Fino, Determinación De La Densidad Y La Absorción " y COVENIN 0269 — 1998 " Agregado Grueso, Determinación De La Densidad Y La Absorción".

PESOS ESPECÍFICOS		
AGREGADOS FINOS		Und.
PESO DE LA MUESTRA SECA AL AIRE "W1"	488	gr
PESO DE LA MUESTRA AL AIRE CON SS "W"	500	gr
PESO DEL PIGNÓMETRO CON AGUA "Wa"	1295	gr
PESO DEL PIGNÓMETRO MUESTRA + AGUA "Wp"	1600	gr
MUESTRA EN ESTADO NATURAL	500	gr
CONTENIDO DE HUMEDAD	5,4	gr
PESO ESPECÍFICO SSS " ψ "	2,56	gr
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN "A"	2,46	%
AGREGADOS GRUESOS		Und.
PESO DE LA MUESTRA AL AIRE SECA "W1"	5834	gr
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA CON SS "W2"	5923	gr
PESO EN EL AGUA DE LA MUESTRA SATURADA "W3"	4930	gr
MUESTRA EN ESTADO NATURAL	972,8	gr
CONTENIDO DE HUMEDAD	0,6	gr
PESO ESPECÍFICO SSS " ψ "	2,73	gr
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN "A"	1,53	%

Tabla # 5: Caracterización de los agregados mediante ensayos de laboratorio.

3.3 Control de Humedad de los Agregados.

Desde el comienzo de esta investigación se conoce que los agregados a la intemperie varían de muchas maneras sus propiedades y cualidades, por lo que se ha tomado en cuenta las más importantes, como lo son la pérdida de finos y la variación de la humedad.

A partir del momento en que se tomaron los agregados se siguieron las recomendaciones del tutor y se almacenaron en bolsas plásticas selladas (para evitar la variación de humedad).

Al momento de realizar las mezclas para los diferentes ensayos, se comprobó el contenido de humedad de las diferentes bolsas de agregados con el fin de evitar tener problemas posteriores de variación del α , lo que a sus vez ocasiona una variación de la resistencia y el asentamiento.



Foto # 12: Agregado en bolsas plásticas almacenado en el laboratorio de agregados del IMME. **Fuente:** Elaboración propia.

El día precedente al de mezclado se procedió a abrir las bolsas de agregado necesarias para la realización de las mezclas y se mezclaron entre ellas, la arena por una parte y por la otra la piedra, homogenizando cada agregado, con el fin de tomar muestras representativas las cuales serán pesadas y dejadas al horno por 24 horas con el fin analizar el contenido de humedad de la porción exacta del agregado que será usado, luego de esto, los agregados se devolvieron a las bolsas y se sellaron nuevamente.



Foto # 13: Agregado mezclado y homogenizado, laboratorio de agregados del IMME.
Fuente: Elaboración propia.



Foto # 14: Secado de los agregados fino mediante el uso de un horno, laboratorio de Suelos IMME. **Fuente:** Elaboración propia.

El día de vaciado, se procede a retirar las muestras del agregado seco al horno, se calculó el contenido de humedad y se hicieron las correcciones necesarias en el diseño de mezcla, además de esto, se abrieron nuevamente las bolsas de agregados y se homogenizaron mediante mezcla manual, se tomó una muestra representativa de cada agregado, se pesaron y se colocaron en el fuego por razón de una hora. Transcurrido este tiempo, las diferentes muestras poseen apariencia seca, se pesaron nuevamente y se compararon estos resultados con las pruebas realizadas con el horno.

Fecha de vaciado:	14-09-2009			18-09-2009		
	Natural (gr)	Seco (gr)	%	Natural (gr)	Seco (gr)	%
Arena en el Horno	500	468	6,4	500	462	7,6
Arena en el Mechero	500	467	6,6	500	461	7,8

Tabla # 6: Valores de la arena en el Mechero Vs. Horno



Foto # 15: Secado del agregado fino mediante el uso de un mechero, laboratorio de Agregados IMME. **Fuente:** Elaboración propia.

3.3 Diseño de Mezcla

El procedimiento para obtener las proporciones de cada uno de los componentes del concreto está basado en método de diseño de mezcla propuesto en el "Manual del Concreto"(4).

3.4.1 Resistencia de Cálculo

La selección de la resistencia de cálculo está basada en los valores más usados comúnmente al momento de diseñar 250 Kg/cm^2 , 210 Kg/cm^2 y 180 Kg/cm^2 . La resistencia empleada es igual a la resistencia de cálculo más una cierta cantidad en función de la desviación estándar y de la fracción defectuosa, en este caso no se cuenta con estudios previos para generar datos estadísticos, por lo cual se realizaron los diseños de mezclas bajo las condiciones que se muestran en la tabla anexa # 5 para un control de calidad

intermedio siguiendo las recomendaciones del Manual del Concreto Estructural (4) para los casos cuando la desviación estándar no es conocida.

RESISTENCIA ESPECIFICADA A LA COMPRESIÓN FC (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA REQUERIDA A LA COMPRESIÓN		
	CONTROL DE CALIDAD EXCELENTE	CONTROL DE CALIDAD INTERMEDIO	SIN CONTROL DE CALIDAD
Menor de 210	Fc + 45	Fc + 80	Fc + 130
De 210 a 350	Fc + 60	Fc + 95	Fc + 170
Mas de 350	Fc + 75	Fc + 110	Fc + 210

Tabla # 7: Resistencias requerida para un diseño de mezcla cuando no se conoce la desviación estándar. (4)

$$R_c = F_c + X$$

X = Cantidad en Kg/cm² adicionales al resistencia especificada, debido a un control de calidad intermedio.

RESISTENCIA ESPECIFICADA (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA REQUERIDA (Kgf/cm ²)
180	Rc = 180+80= 260
210	Rc = 210+95= 305
250	Rc = 250+95= 345

Tabla # 8: Resistencias requeridas para los diseños de mezclas.

3.4.2 Ley de Abrams

La ley establece la relación que existe entre la resistencia del concreto y la relación agua / cemento (α) en peso, donde se expresa.

$$R = \frac{M}{N^{\alpha}}$$

Donde R represente la resistencia media esperada, M y N son constantes que dependen de las características de los materiales y de la edad del ensayo, en este caso estas variables toman los valores de 902,5 y 8,69 respectivamente.

Así mismo para la obtención de la relación / agua cemento (α) se debe despejar de la ecuación de Abrams:

$$\alpha = 3,147 - 1,065 \times \text{Log}R_{28}$$

RESISTENCIA ESPECIFICADA (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA REQUERIDA (Kgf/cm ²)	Relación α
180	260	0,58
210	305	0,50
250	345	0,44

Tabla # 9: Relación Agua / Cemento, para los 3 diferentes diseños de mezclas.

Correcciones de α :

Debido a los agregados empleados en estas mezclas es necesario corregir la relación agua/cemento según su naturaleza.

Debido al tipo de agregado: Grava Natural y Arena Natural, el factor de corrección $K_A = 0,91$ (4).

Para un tamaño máximo de agregado grueso (1 1/2) el factor $K_R = 0,91$ (4).

RESISTENCIA ESPECIFICADA (Kgf/cm ²)	Relación Agua / Cemento	
	α	α_c
180	0,58	$\alpha_c = 0,575 \times 0,91 \times 0,91 = 0,48$
210	0,50	0,42
250	0,44	0,37

Tabla # 10: Relación Agua / Cemento Corregida.

α_c = alfa corregido.

Los valores de la relación agua/cemento poseen un valor máximo dependiendo de las condiciones de servicio Según COVENIN 1753:2003. Para atmosfera común el valor máximo de α es de 0,75.

RESISTENCIA ESPECIFICADA (Kgf/cm ²)	Relación Agua / Cemento			COVENIN 1753:2003
	α	α_c	α_{max}	α_D
180	0,58	0,48	0,75	0,48
210	0,50	0,42	0,75	0,42
250	0,44	0,37	0,75	0,37

Tabla #11: Valores máximos para la relación Agua / Cemento.

Siendo α_D = alfa de diseño.

3.4.3 Relación Triangular

La relación asocia la trabajabilidad (T), determinada por medio del Cono de Abrams, con dos parámetros importantes en el diseño de mezcla, la relación agua / cemento (α) y la dosis de cemento (C), mediante la siguiente expresión:

$$C = K \times \frac{T^n}{\alpha^m}$$

En donde K, m y n son constantes que dependen de las características de los materiales, para piedra picada, arena natural, tamaño máximo 1" y cemento Portland Tipo I, se obtiene buenos resultados con la ecuación:

$$C = 117,2 \times \frac{T^{0,16}}{\alpha^{1,6}}$$

Donde C es el contenido de cemento.

T = asentamiento, en caso de estudio se escogió 9 cm.

RESISTENCIA ESPECIFICADA (Kgf/cm ²)	α_D	CONTENIDO DE CEMENTO C (Kg/m ³)
180	0,48	437,23
210	0,42	524,21
250	0,37	613,11

Tabla # 12: Contenido de cemento calculado para las diferentes mezclas.

Siguiendo el mismo método de corrección de α se debió corregir la dosis de cemento C debido al tamaño máximo y al tipo de agregados.

Factores de corrección C1 y C2; C1 sirve para corregir C por tamaño máximo, en este caso C1 = 0,93 por ser el tamaño máximo de 1 1/2"; C2 se utiliza para corregir C por tipo de agregado, para este estudio se utilizó C2 = 0,90 debido a que el agregado es una combinación de grava natural y arena natural.

$$C_c = C \times C1 \times C2$$

Donde **Cc** es la dosis corregida de cemento

RESISTENCIA ESPECIFICADA (Kgf/cm ²)	CONTENIDO DE CEMENTO C (Kg/m ³)	CONTENIDO DE CEMENTO CORREGIDO Cc (Kg/m ³)
180	437,23	Cc = 437,23 x 0,93 x 0,90 Cc = 365,96
210	524,21	438,76
250	613,11	513,17

Tabla # 13: Contenido de cemento corregido para las diferentes mezclas, dependiendo de las características de los agregados.

Para una resistencia especificada de 180 Kgf/cm² la relación agua / cemento de diseño será 0,48; para una trabajabilidad T = 9 cm y mediante la corrección correspondiente por tipo de agregado arroja un valor de contenido de cemento igual a 365,96 Kgf/m². De manera similar para las mezclas de 210 y 250 Kgf/cm², tal como se muestra en la tabla #13.

RESISTENCIA ESPECIFICADA (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA REQUERIDA (kgf/cm ²)	α_D	Contenido de Cemento corregido Cc (kg/m ³)
180	260	0,48	365,96
210	305	0,42	438,76
250	345	0,37	513,17

Tabla # 14: Resumen del diseño de mezcla.

3.4.4 Proporción entre Agregados Finos y Gruesos

La relación β es el cociente entre la arena y el agregado total, expresado generalmente en porcentaje.

$$\beta = \frac{A}{A + G}$$

Donde **A** es el contenido de arena y **G** el agregado grueso.

El valor de la relación β debe ser escogido de forma que los agregados combinados cumplan una granulometría dentro de la zona recomendada de límites granulométricos.

Para este caso, se tomaron los límites granulométricos recomendados para un tamaño máximo de 1 1/2". (4)

Abertura Del Cedazo	Limites
1 1/2	100 – 90
1	84 – 70
3/4	77 – 61
1/2	70 – 49
3/8	65 – 43
1/4	60 – 35
# 4	55 – 30
# 8	45 – 20
# 16	35 – 15
# 30	25 – 10
# 50	16 – 7
# 100	8 – 2

Tabla # 15: Limites granulométricos para un tamaño máximo de 1 1/2", (4)

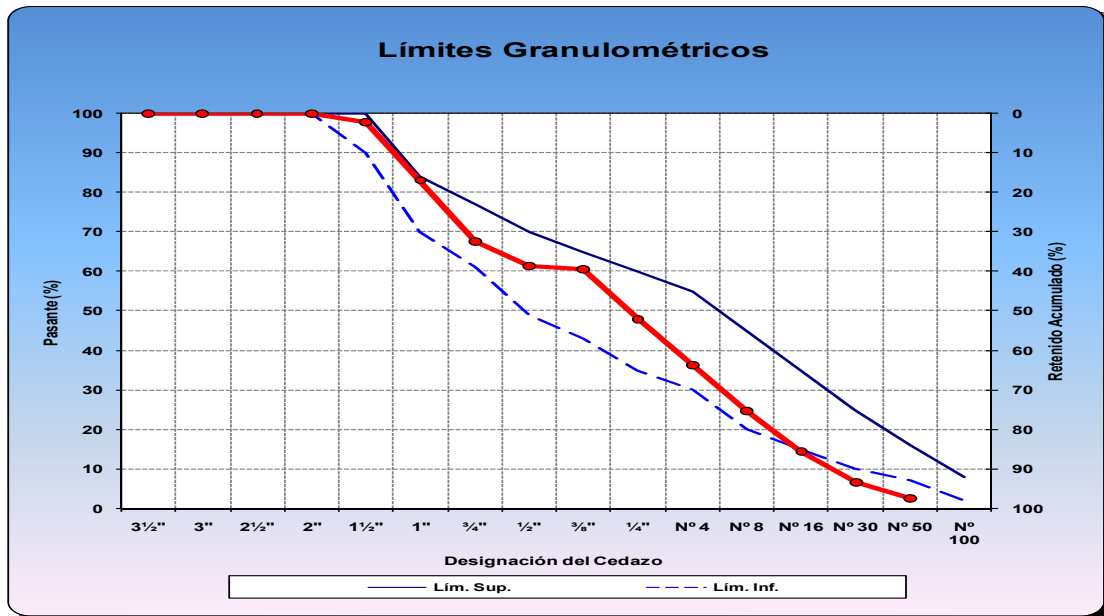


Grafico # 3: Límites Granulométricos, para tamaño máximo 1 1/2".

Según Porrero los valores de β deben estar entre 40 y 60 %, es por esto que escogimos un valor que se encontrara entre los límites granulométricos,

empleando un método grafico donde se tomo en cuenta la gradación del material haciéndose más fácil encontrar un valor de β apropiado, jugando entre la segregación y la economía, tomando en cuenta los límites granulométricos sugeridos en la tabla # 14.

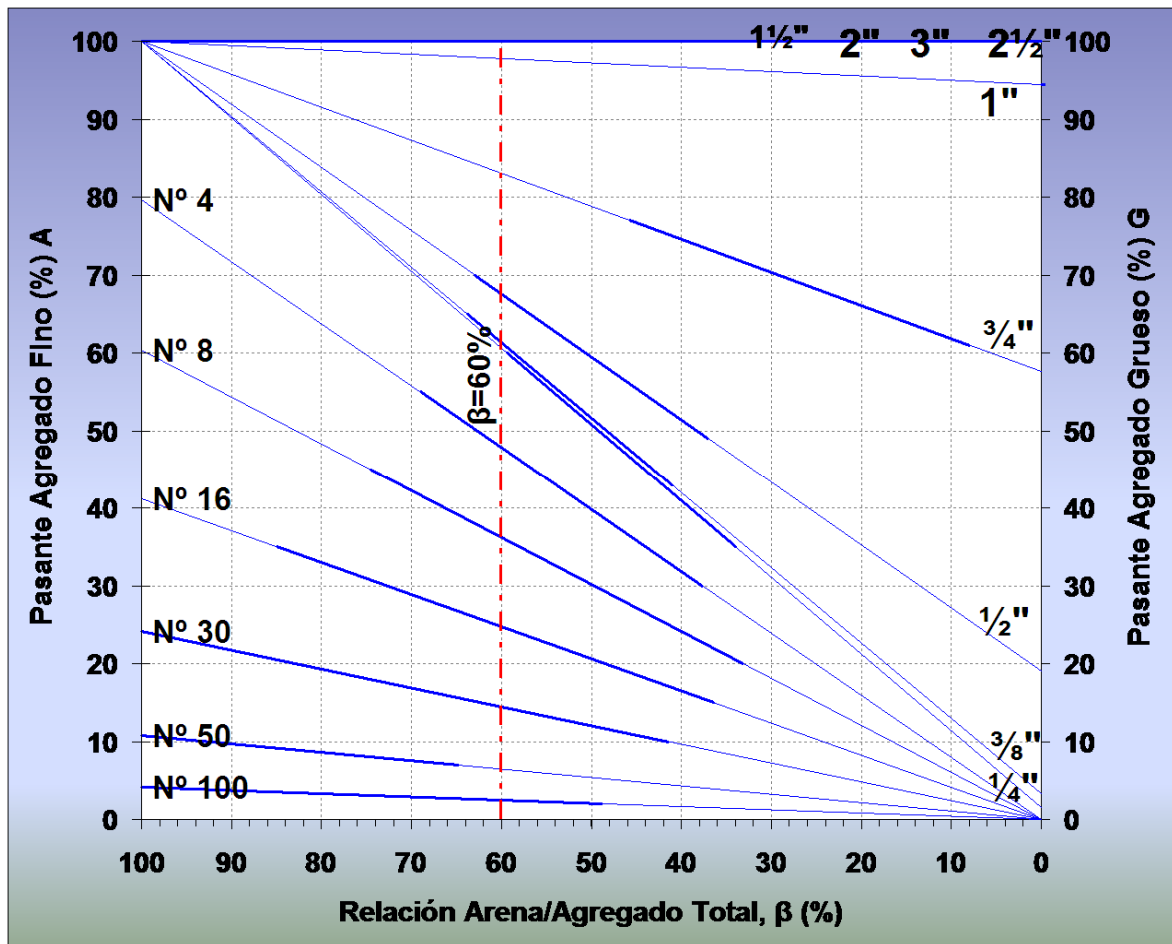


Grafico # 4: Método gráfico para la obtención de β , a la izquierda: el porcentaje pasante de agregado fino; a la derecha: el porcentaje pasante de agregado grueso; el eje superior representa los valores de β posible.

Sobre cada una de las rectas de proporcionalidad se señalan los límites correspondientes al tamaño máximo (Ver tabla # 14) resaltados con una línea

más gruesa. Para cada cedazo se tendrá entonces las posibilidades de combinación que cae dentro de los límites recomendados.

Analizando éste método gráfico se puede constatar que por motivo de los agregados disponibles, no es posible encontrar un β que cumpla con la granulometría sugerida en la tabla #14.

En el estudio se tomara un β de 60% debido a que es el valor que mejor se ajusta entre los límites granulométricos.

En algunas situaciones es posible y hasta recomendable salirse de los límites de la tabla # 14, pero requiere la opinión de un profesional experto. (4).

3.4.5 Contenido de Agua

Para garantizar la relación agua / cemento (α) establecida, el volumen de agua viene dada por:

$$a = C \times \alpha$$

Para $\alpha = 0,476$ y $C = 365,96 \text{ Kg/m}^3$, se tiene: $a = 174,20 \text{ Kg/m}^3$

RESISTENCIA ESPECIFICADA (kgf/cm^2)	α_D	CONTENIDO DE CEMENTO CORREGIDO C_c (kg/m^3)	CONTENIDO DE AGUA (Kg/m^3)
180	0,48	365,96	174,20
210	0,42	438,76	181,65
250	0,37	513,17	188,33

Tabla # 16: Contenido de agua para cada mezcla.

3.4.6 Volumen Absoluto de los Agregados

El volumen ocupado por los agregados, sin incluir el aire entre ellos, se obtiene al dividir el peso de cada uno entre su correspondiente peso específico, asumiendo un estado de saturación con superficie seca.

Para simplificar los cálculos es conveniente obtener el peso específico del agregado combinado (G + A). Esto puede hacerse con suficiente precisión práctica, calculando el promedio ponderado, basado en el valor de β . (4).

$$\gamma_{(A+G)} = \beta \times \gamma_A + (1 - \beta) \times \gamma_G$$

$$\gamma_{(A+G)} = 2,62$$

Donde:

$\gamma_{(A+G)}$ = peso específico del agregado combinado

γ_A = Peso específico del agregado fino.

γ_G = Peso específico del agregado grueso.

3.4.7 Volumen de Aire Atrapado

A pesar de la compactación realizada en el concreto siempre queda un volumen de aire atrapado el cual puede estimarse sobre la base del tamaño máximo del agregado y al contenido de cemento mediante la siguiente fórmula:

$$V = \frac{C}{P}$$

Donde V es el volumen de aire atrapado, P es el tamaño máximo en milímetros del agregado.

Para $C = 365,96 \text{ Kg/m}^3$ y $P = 38,1 \text{ mm}$, se tiene, $V = 9,61 \text{ L / m}^3$

RESISTENCIA ESPECIFICADA (kgf/cm^2)	CONTENIDO DE CEMENTO CORREGIDO C_c (kg/m^3)	VOLUMEN DE AIRE ATRAPADO (L)
180	365,96	9,61
210	438,76	11,52
250	513,17	13,47

Tabla # 17: Volumen de aire atrapado en 1 m^3 de mezcla.

3.4.8 Cálculo de las Dosis de Agregados

La condición de volumen para 1 m^3 de mezcla, se define mediante:

$$V_C + V_A + V + V_{(A+G)} = 1000$$

Donde se puede expresar:

$$V_C = 0,3 \times C_c$$

$V_A = \alpha$; donde el peso específico del agua se toma igual a 1.

$$V_{(A+G)} = \frac{A + G}{\gamma_{(A+G)}}$$

Reescribiendo la ecuación:

$$0,3 \times Cc + a + V + \frac{A + G}{\gamma_{(A+G)}} = 1000$$

$$2,628 \times (-0,3 \times Cc - a - 9,61 + 1000) = A + G$$

RESISTENCIA ESPECIFICADA (Kgf/cm ²)	CONTENIDO DE AGUA (Kg/m ³)	CONTENIDO DE CEMENTO CORREGIDO Cc (Kg/m ³)	A+G (Kg)
180	174,20	365,96	1856,42
210	181,65	438,76	1779,45
250	188,33	513,17	1703,23

Tabla # 18: Peso del agregado combinado por mezcla.

En donde A+G es el peso total de los agregados y como los agregados deben cumplir con la relación β expuesta anteriormente, se tiene:

$$A = \beta (A + G)$$

Resistencia Especificada(Kgf/cm ²)	A + G (Kg)	A (Kg)
180	1856,42	1113,85
210	1779,45	1067,67
250	1703,23	1021,94

Tabla # 19: Contenido de agregado fino para cada mezcla.

$$G = (1-\beta) (A+G)$$

Resistencia Especificada(Kgf/cm ²)	A + G (Kg)	G (Kg)
180	1856,42	742,57
210	1779,45	711,78
250	1703,23	681,29

Tabla # 20: Contenido de agregado grueso para cada mezcla.

3.5 Conversión de las Dosis a Volumen de Trabajo

RESISTENCIA ESPECIFICADA (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA REQUERIDA (Kgf/cm ²)	CONTENIDO DE AGUA (Kg/m ³)	CONTENIDO DE CEMENTO CORREGIDO Cc (Kg/m ³)	A + G (Kg)	A (Kg)	G (Kg)
180	260	174,20	365,96	1856,42	1113,85	742,57
210	305	181,65	438,76	1779,45	1067,67	711,78
250	345	188,33	513,17	1703,23	1021,94	681,29

Tabla # 21: Resumen de cantidad de componentes para preparar 1 m³ muestras de diferentes resistencias.

Los valores obtenidos en el diseño de mezcla convencional fueron calculados para 1 m³ de mezcla, por lo que es necesario llevar estas cantidades a un número práctico para la realización de las mezclas en el laboratorio

RESISTENCIA ESPECIFICADA (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA REQUERIDA (Kgf/cm ²)	CONTENIDO DE AGUA (kg)	CONTENIDO DE CEMENTO CORREGIDO Cc (Kg/m ³)	A+G (Kg)	A (Kg)	G (Kg)
180	260	15,68	33	167,07	100,25	66,82
210	305	16,35	39,48	160,15	96,09	64,06
250	345	16,95	46,2	153,29	91,97	61,31

Tabla # 22: Cantidad de componentes para preparar 0,09 m³ de muestras de diferentes resistencias.

Se calculó la cantidad de concreto necesario según la cantidad de moldes normalizados para muestras de concreto. En este caso, se tomarán 9 muestras por vaciado, las cuales se disponen de la siguiente manera: 3 cilindros para ser ensayados a los 3 días, 3 cilindros para ser ensayados a los 7 días y 3 cilindros para ser ensayados a los 28 días, así mismo se procederá para las tres resistencias especificadas con los dos tipos de cemento a comparar, es decir, en total se producirán 54 cilindros.

$$\text{Vol Cilindro} = 5,3 \text{ L}$$

$$\text{Volumen total} = 5,3 \text{ L} \times 9 = 47,7 \text{ L} \approx 50 \text{ L}$$

Para preparar mezcla suficiente para el llenado de 9 moldes normalizados más ensayo de peso unitario y desperdicio, serán necesarios 90 litros de mezcla aproximadamente.



Foto # 16: Vaciado de los nueve moldes necesarios para cada tipo de concreto. **Fuente:** Elaboración propia.

3.6 Corrección por Humedad

Se realizó la corrección por humedad según los datos de contenido de agua de los agregados del día, dicho procedimiento se realizó a diario en los días de vaciado arrojando los siguientes resultados:

Fecha de vaciado:	14-09-2009			18-09-2009		
	Natural (gr)	Seco (gr)	%	Natura (gr)l	Seco (gr)	%
Arena	500	468	6,4	500	462	7,6
Grava Natural	2000	1998	0,1	2000	1997	0,1

Tabla # 23: Resultados de control de humedad llevado el día de mezclado.

En el caso del agregado fino, se puede apreciar que el contenido de humedad en la muestra varía en gran cantidad con respecto al contenido

inicialmente medido al comienzo de los ensayos del agregado en el laboratorio, esto se debe a que al momento de llevarse a cabo los ensayos preliminares, por razones de espacio, el agregado no fue mezclado con el fin de homogeneizarlo, por lo que ahora se puede corregir de forma precisa las mezclas gracias al control de humedad planteado.

$$A_c = A_e \times \frac{100 + \%}{100 + \%_{abs}}$$

Donde:

A = agregado corregido

Ae = peso del agregado en su estado natural.

% = contenido de humedad.

%abs = porcentaje de absorción.

Corrigiendo la arena por humedad obtenemos, para la mezcla de 210 Kg/cm² lo siguiente:

$$A_c = 96,09Kg \times \frac{100 + 7,6}{100 + 2,46} = 100,91 Kg$$

De la misma forma corrigiendo el agregado por humedad obtenemos, para la mezcla de 210 Kg/cm² lo siguiente:

$$A_c = 64,06Kg \times \frac{100 + 0,1}{100 + 1,53} = 63,15 Kg$$

Se observa la arena sobresaturada de agua, en cambio el agregado grueso posee una humedad por debajo de la saturada con superficie seca, por lo que debemos corregir la cantidad de agua que será añadida a la mezcla.

$$\text{Cantidad de agua} = A_e - A_{sss}$$

Donde **A_{ss}** corresponde a un agregado saturado con superficie seca, el cual puede ser calculado a partir del peso seco de la muestra y su correspondiente porcentaje de absorción. Para el caso de la arena en la mezcla de 210 Kg/cm² se tiene que ésta aportará 4,82 Kg de agua, en cambio, la piedra necesitará 0,91 Kg de agua para alcanzar la condición de saturada con superficie seca, entonces corregimos el agua añadida.

$$agua\ corregida = ad + aabs - ades$$

Donde:

ad = agua de diseño.

aabs = agua absorbida.

ades = agua desprendida.

$$agua\ corregida = 16,35\ Kg + 0,91\ Kg - 4,82\ Kg = 12,44\ Kg$$

RESISTENCIA ESPECIFICADA (Kg/cm ²)	RESISTENCIA REQUERIDA (Kg/cm ²)	CONTENIDO DE AGUA (kg)	CONTENIDO DE CEMENTO CORREGIDO Cc (kg)	Contenido de Agua Corregido (kg)	A (Kg)	G (Kg)
180	260	15,68	33	11,59	105,28	65,88
210	305	16,35	39,48	12,44	96,09	64,06
250	345	16,95	46,2	13,20	96,58	60,45

Tabla # 24: Resultados con el contenido de agua y agregados corregidos.

3.7 Mezclado

El mezclado quedó determinado por la norma COVENIN 354:79 "Método para mezclado de Concreto en el Laboratorio", en este trabajo especial de grado se utilizó una mezcladora con eje de inclinación variable (Trompo), con una capacidad nominal de un octavo de metro cúbico.

Siguiendo el procedimiento descrito en la norma, se añadieron los componentes en la mezcladora, primero se añadió el agregado grueso y parte del agua, luego se agregó la arena, el cemento y el resto del agua. Una vez añadidos todos los materiales se mezclaron hasta alcanzar una apariencia homogénea.

Se realizaron un total de 54 mezclas, debido a razones de tiempo, se deberá ajustar un plan de trabajo donde se toma como objetivo la realización de los experimentos y ensayos en un período de dos meses tomando en cuenta que para los ensayos de compresión simple es necesario esperar hasta 28 días.

Las probetas que se ensayaran quedan distribuidas de la siguiente manera: 9 para ensayar a los 3 días, 9 para ensayar a los 7 días y 9 más para ensayar a los 28 días tanto para el cemento Portland I como para el CPCA1.

3.8 Ensayos del Concreto Fresco

Una vez lista la mezcla se procedió a la toma de muestras según Norma COVENIN 0344:2002 y se determinó el asentamiento el Cono de Abrams mediante tres mediciones consecutivas, con el fin de obtener resultados confiables.



Foto # 17: Elaboración de ensayo de asentamiento según Norma COVENIN 0339:2003.
Fuente: Elaboración propia.

Luego se devolvió la muestra a la carretilla y se homogenizó mediante mezcla manual, para realizar en esta ocasión el ensayo de peso unitario del concreto usando un tobo con un volumen de 14 litros y un peso de 9,25 Kg., donde se fue llenando con un tercio de su volumen a la vez que se iba compactando con 25 golpes para cada capa, una vez lleno el tobo se procedió al enrase y pesaje del mismo.



Foto # 18: Peso de una muestra de concreto para la determinación del Peso Unitario.
Fuente: Elaboración propia.

3.9 Elaboración de Cilindros

El concreto fue vaciado en moldes cilíndricos metálicos de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, “herméticos”, rígidos, de superficie interior lisa, no absorbentes y no reactivos al concreto, aceitados en su interior y base utilizando aceites minerales, según la Norma COVENIN 0338-2002 "Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto".

El vaciado se realizó en tres capas de igual volumen aproximadamente, compactados con una barra de 16 mm de diámetro, 60 cm de longitud y de punta semi - esférica de 8 mm de radio. La compactación se ejecutó con un número de 25 golpes por cada capa, uniformemente distribuidos en la

sección transversal del molde. Cada capa fue compactada en toda su profundidad tratando de no penetrar con la barra en más de 3 cm la capa inmediatamente inferior.

Luego de terminada la compactación, los moldes fueron golpeados suavemente en sus paredes externas para evitar posibles huecos que no hayan sido llenados por la mezcla durante la compactación. Luego se enrasaron las probetas con una cuchara de albañilería.

3.10 Curado

El curado se realizó siguiendo los procedimientos de la Norma COVENIN 0338 -2002, durante las primeras 24 horas las probetas se mantuvieron en los cilindros, luego fueron desmoldadas y colocadas en el tanque de curado.



Foto # 19: Colocación de los cilindros en el tanque de curado, 24 horas después del vaciado. **Fuente:** Elaboración propia.

3.11 Ensayos de Concreto Endurecido

3.11.1 Ensayo de ultrasonido

Se limpiaron los cilindros siguiendo las recomendaciones de la Norma COVENIN 1681:80 “Método De Ensayo Para Determinar La Velocidad De Propagación De Ondas En El Concreto”, aplicando vaselina en los extremos de los cilindros a ensayar y en los transductores del aparato para luego proceder a tomar las mediciones directas axiales según lo recomendado en la norma.



Foto # 20: Realización del ensayo de ultrasonido. **Fuente:** Elaboración propia.

3.11.2 Ensayo de Esclerometría

En cada uno de los cilindros se seleccionaran espacios secos, limpios distanciados 5 cm entre sí, superando lo mínimo recomendado por la Norma COVENIN 1608:80. Una vez seleccionadas las caras a ensayar, se procedió a limpiar la costra creada por la carbonización con la ayuda de una lija abrasiva N° 80 y luego se frotó con una piedra de carborundo tal como recomienda la norma, hasta alcanzar una superficie lisa al tacto.



Foto # 21: Limpieza de la cara de los cilindros para la realización del ensayo de esclerometría. **Fuente:** Elaboración propia.

Para este ensayo se utilizó un martillo esclerométrico marca Schmidt el cual tiene una escala graduada con una apreciación de 2 unidades.

Luego de preparar las superficies se sujetaron los cilindros en la prensa de ensayos sometiéndolos a un esfuerzo promedio de 56 Kg/cm^2 , aun cuando lo recomendado en el manual del concreto es 35 Kg/cm^2 , partiendo de la hipótesis de que todos los cilindros poseen la misma área transversal promedio de 177 cm^2 .

Se procedió con la aplicación de martillo de Schmidt de manera perpendicular a las zonas previamente marcadas y seleccionadas con el fin de evitar los efectos de la gravedad y evitando los poros e irregularidades superficiales se tomaron 25 muestras de cada cilindro.



Foto # 22: Realización del ensayo de esclerometría. **Fuente:** Elaboración propia.

3.11.3 Ensayos de Concreto Endurecido

Al cumplirse el tiempo establecido de 3, 7 y 28 días para el ensayo de compresión simple, se sacaron las probetas del tanque de curado, fueron medidos los radios y diámetros de cada una y luego se consumó el ensayo a compresión según Norma COVENIN 0338-2002.



Foto # 23: Probeta de un ejemplar de mezcla Portland I de resistencia 180 Kg/cm^2 a una edad de 3 días. **Fuente:** Elaboración propia.

Para los cilindros que se ensayaron a los 28 días, luego de realizar las mediciones correspondientes y antes de someterlos a compresión, se procedió a realizar los ensayos de esclerometría según la Norma COVENIN 1608:80 (Método de Ensayo para la Determinación de la dureza Esclerométrica en Superficies de concreto Endurecidas). Una vez realizado este ensayo procedimos a medir la velocidad de propagación de ondas utilizando la Norma COVENIN 1681:80 (17).

CAPÍTULO IV

Análisis de Resultados

4.1 Ensayos con el Cono de Abrams

Se realizaron tres ensayos para cada muestra, tomando en cuenta las Norma COVENIN 0344:2002 y Norma COVENIN 0339:2003 para la toma de muestras y la medición del asentamiento con el cono de Abrams respectivamente, en las experiencias realizadas no se rechazaron muestras debido a corte o por desprendimiento de masas y la precisión en mediciones tomadas entre dos muestras fue menor a 1,27 cms, gracias a esto, se puede reportar el valor promedio de las tres mediciones realizadas a cada muestra de concreto.

Mezcla	180	210	250
Asentamiento CPCA1 (cm)	7,5	7,5	8,0
Asentamiento Portland 1 (cm)	9,0	8,5	8,5

Tabla # 25: Resultados de los ensayos con el cono de Abrams, redondeando los resultados como indica la Norma COVENIN 0339:2003, Concreto. Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams.



Foto # 24: Medición del asentamiento mediante el cono de Abrams. **Fuente:** Elaboración propia.

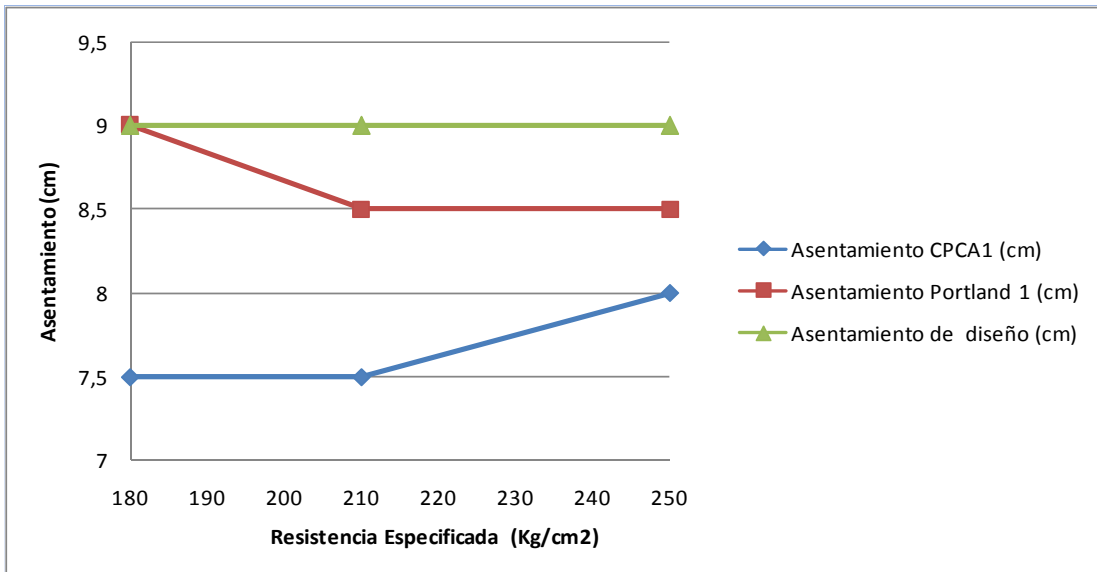


Grafico # 5: Asentamiento Vs. Resistencia Especificada.

Se puede apreciar que el asentamiento en el caso del cemento CPCA1 está, en promedio, 1,33 cm por debajo del asentamiento (T) de diseño, recordando que este último es de 9 cm, por otra parte se observa que los resultados del asentamiento en el cemento Portland I están, en el peor de los casos, solo 0,5 cm por debajo del asentamiento (T) de diseño.

4.2 Peso Unitario del Concreto Fresco

El peso unitario del concreto fresco aparece como factor en cantidades de peso y de volumen dependiendo del caso, para esta propiedad no podemos ver una tendencia clara, donde se pueda asociar este factor con alguna otra variable.

El concreto realizado con Portland Tipo I obtuvo un asentamiento mayor al CPCA 1, donde, al tener más fluidez el concreto Portland I se amolda mejor

al volumen del tobo de ensayos, por lo que se podría resaltar que el peso unitario del concreto Portland I es siempre mayor en comparación al CPCA 1.

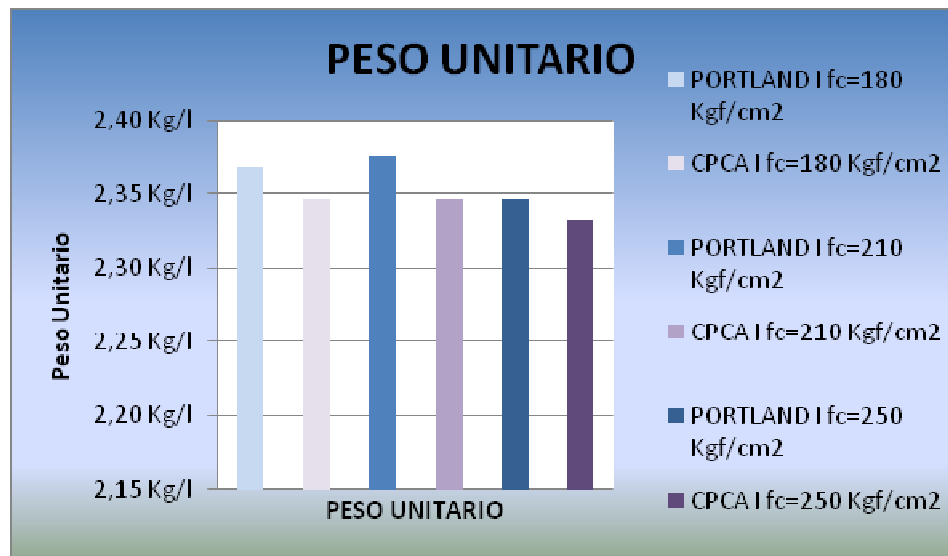


Gráfico # 6: Peso Unitario VS Rc.

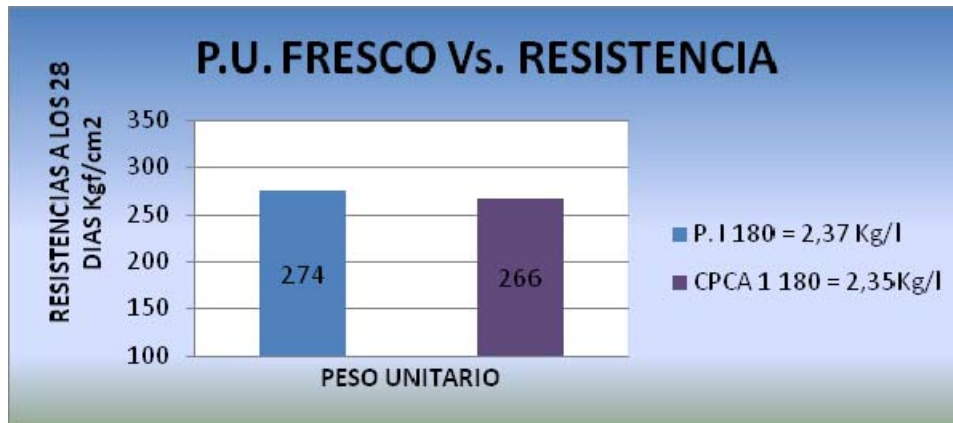


Gráfico # 7: Peso Unitario del concreto fresco Rc28 = 180 Kg/cm².

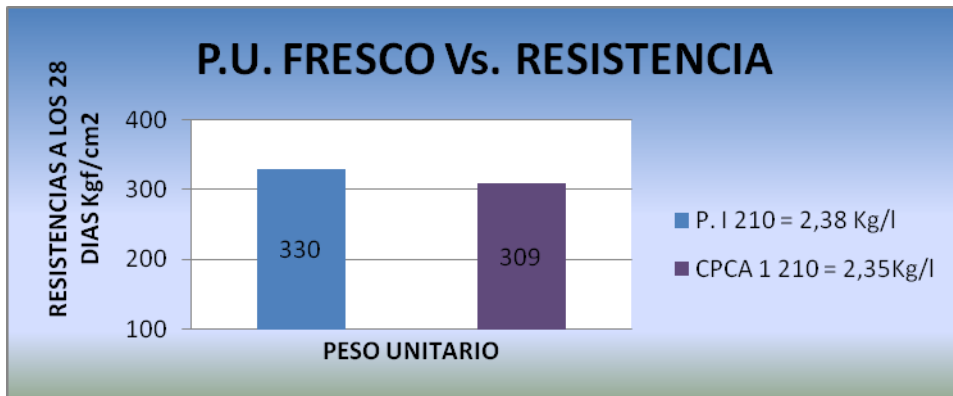


Grafico # 8: Peso Unitario del concreto fresco Rc28 = 210 Kg/cm².

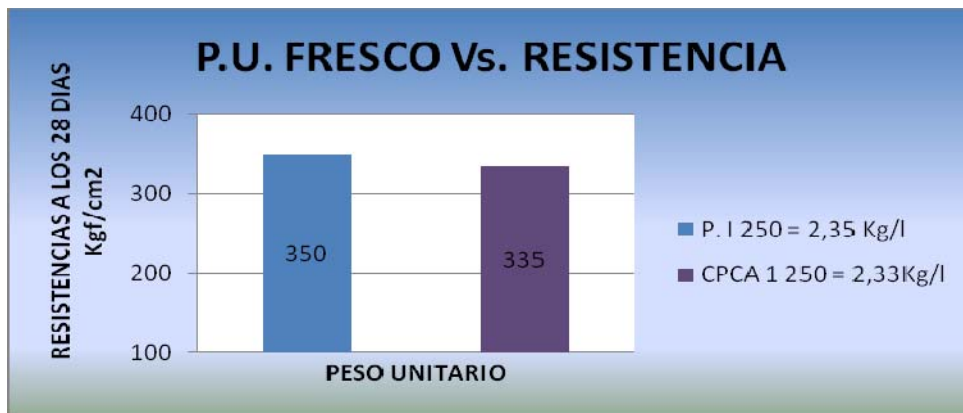


Grafico # 9: Peso Unitario del concreto fresco Rc28 = 250 Kg/cm².

En las gráficas # 7, # 8 y # 9 se aprecia una tendencia a la mayor densidad del concreto elaborado con el cemento Portland Tipo 1, la cual no puede ser asociada de ninguna forma con el α del concreto y por lo tanto con la resistencia de los mismos, pero es evidente que el concreto realizado con Portland I tiene mayor masa que el elaborado con CPCA 1.

4.3 Ensayos de Ultrasonido

Las relaciones entre la resistencia a compresión del concreto (R_c) y la velocidad de pulso (V_p) son mostradas en las graficas: # 13 y # 14. Allí puede verse como la velocidad de pulso en el concreto decrece con el incremento de la relación agua-cemento.

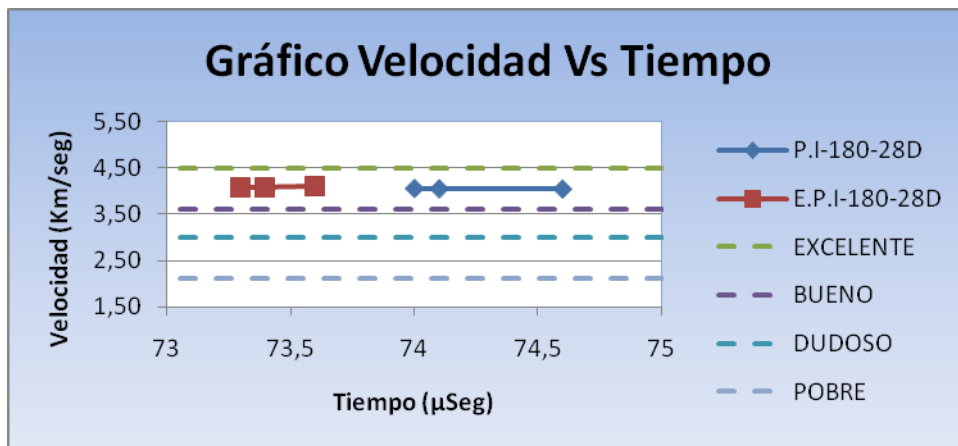


Grafico #10: Velocidad de pulso en concreto R_c 180 Kg/cm².

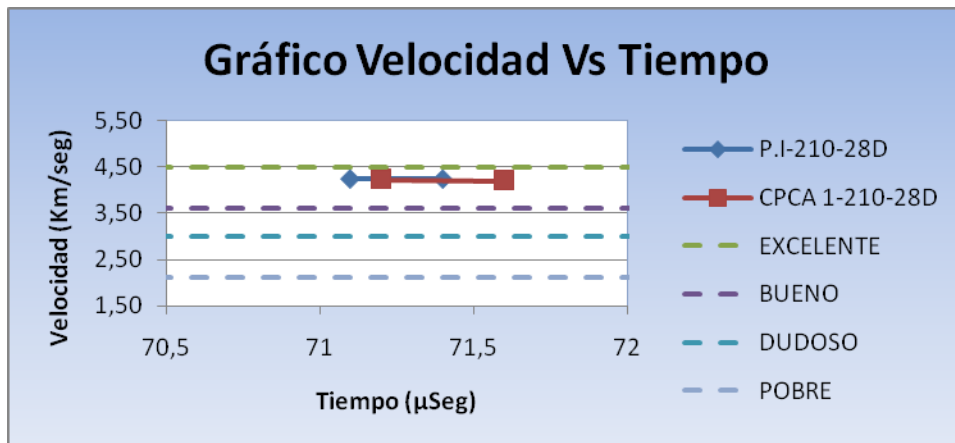


Grafico #11: Velocidad de pulso en concreto R_c 210 Kg/cm².

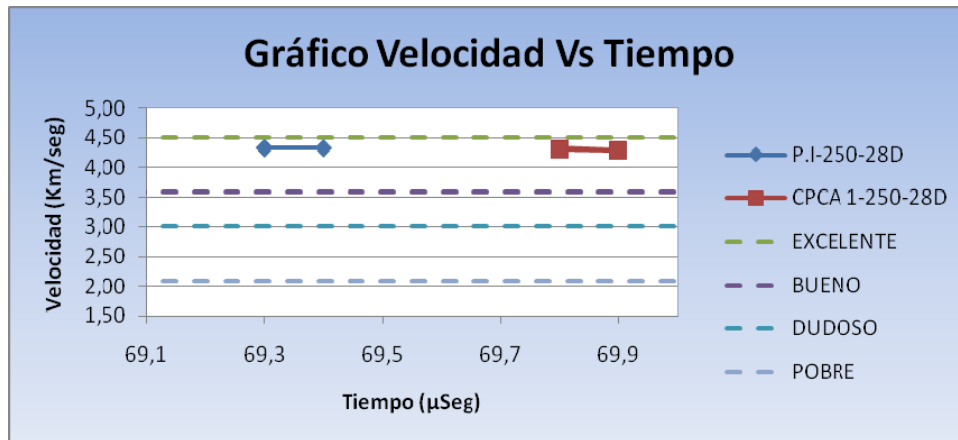


Grafico #12: Velocidad de pulso en concreto Rc 250 Kg/cm².

Como ya se ha mencionado, el número de rebote y la velocidad de pulso ultrasónico de concreto varía con la relación agua-cemento (α), sin embargo, la resistencia a compresión resulta difícil poder estimarla con suficiente precisión tanto bajo el recurso del método de velocidad de pulso como con el método de martillo de Schmidt. A continuación se presenta un análisis de correlación entre la velocidad de pulso ultrasónico con la resistencia de los concretos realizados con CPCA1 y con Portland I.

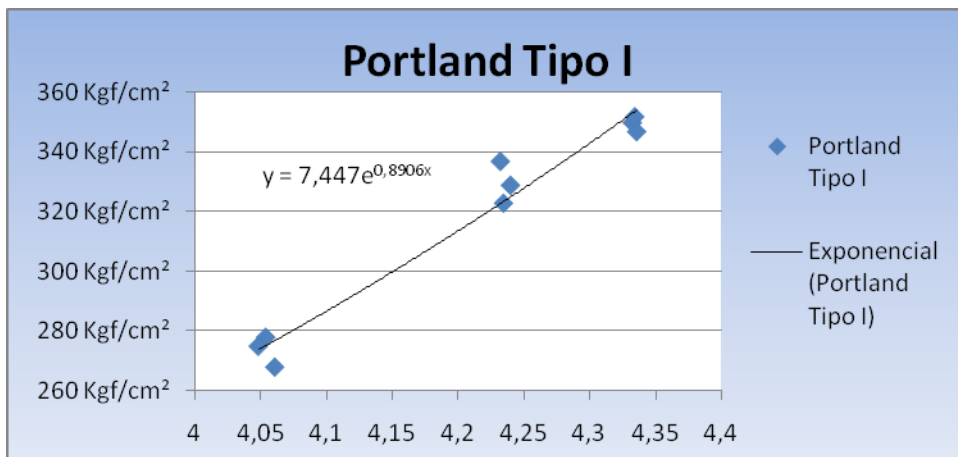


Grafico #13: Datos y curva de ajuste Velocidad – Resistencia para concreto Portland Tipo I.

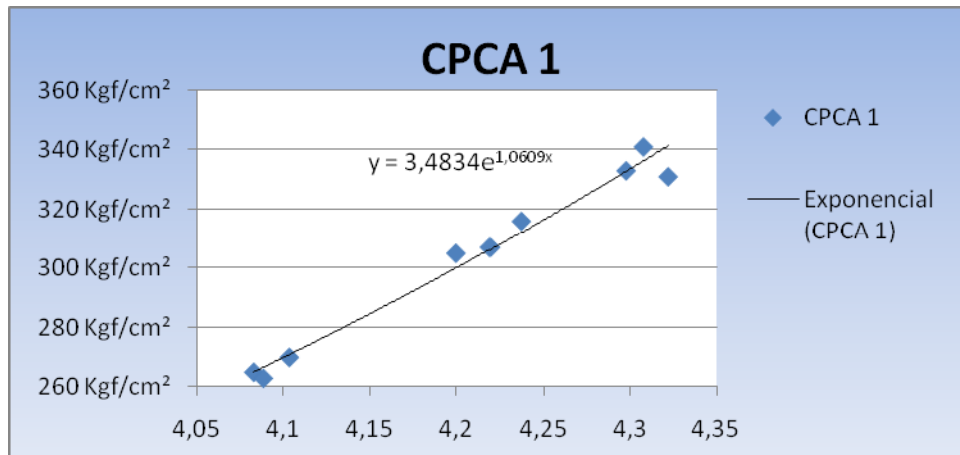


Grafico #14: Datos y curva de ajuste Velocidad – Resistencia para concreto CPCA 1.

4.4 Ensayos de Esclerometría

Se realizó siguiendo la Norma COVENIN 1608:80, con la variante de realizar 25 lecturas en lugar de 20 arrojando resultados que luego fueron depurados siguiendo las recomendaciones, eliminando así las lecturas evidentemente erradas, además, se tomó un parámetro de eliminación que descarta los valores que están más de una lectura por arriba o por debajo del promedio, es decir, los mayores o menores valores en más de dos unidades a la media fueron sustituidos por el valor de la media.

PORTLAND I	P.I-fc-250-28D(2)					Nrb
	1	2	3	4	5	28
	30	28	28	26	28	
	30	28	32	30	30	
	30	28	32	30	32	
	28	30	30	28	28	
	28	30	30	28	30	
Nrbl	29,2	28,8	30,4	28,4	29,6	

Tabla # 26: Resultados del ensayo de esclerometría en cilindro P.I-fc-250-28D(2).

Los valores resaltados en la tabla #26 se encuentran fuera de rango, por lo que son eliminados y sustituidos por valores iguales al promedio.

PORTLAND I	P.I-fc-250-28D(2)					Nrb
	1	2	3	4	5	28
	30	28	28	28	28	
	30	28	28	30	30	
	30	28	28	30	28	
	28	30	30	28	28	
	28	30	30	28	30	
Nrbl	29,2	28,8	28,8	28,8	28,8	

Tabla # 27: Resultados modificados del ensayo del cilindro P.I-fc-250-28D(2).

Luego de depurar la data se procedió a plasmar los resultados en gráficas para cada uno de los cilindros y luego para el promedio de todos los cilindros de una misma especie de cemento, encontrando que los resultados son muy particulares cuando se agrupan y se comparan con las resistencias de cada tipo de cemento.

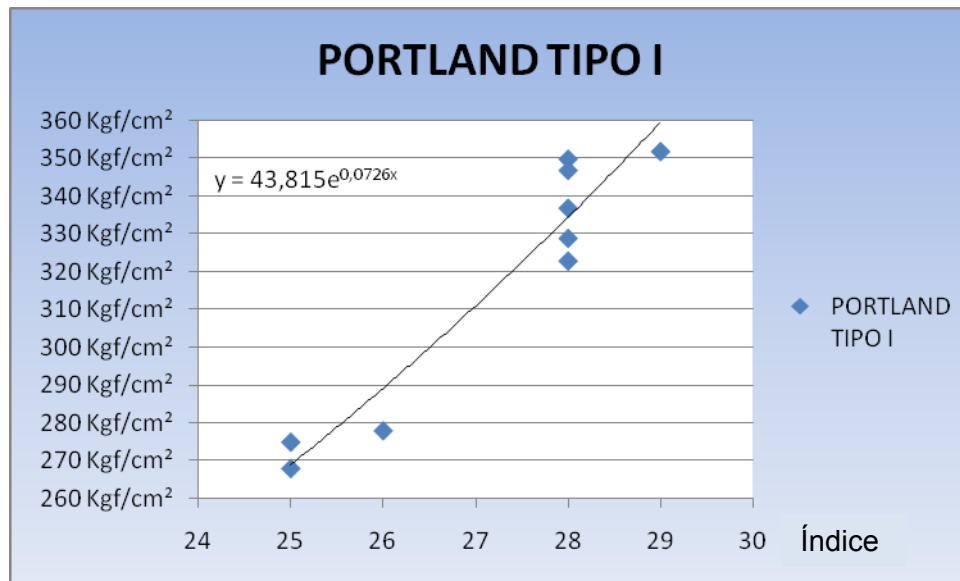


Grafico #15: Datos y curva de ajuste Resistencia – Índice Esclerométrico para concreto Portland Tipo I.

Grafico #16: Datos y curva de ajuste Resistencia – Índice Esclerométrico para concreto CPCA 1.

La dureza esclerométrica de los cilindros con un α determinado, realizados con cemento CPCA 1 se encuentran en algunas ocasiones por debajo de la dureza del Portland I y otras por arriba, pero siempre por una unidad, lo que hace pensar que las durezas de estos concretos son similares, aun cuando la

relación agua cemento es la misma, las resistencias no eran las iguales y el concreto CPCA 1 se encuentra en todo momento por debajo de la resistencia del concreto Portland I.

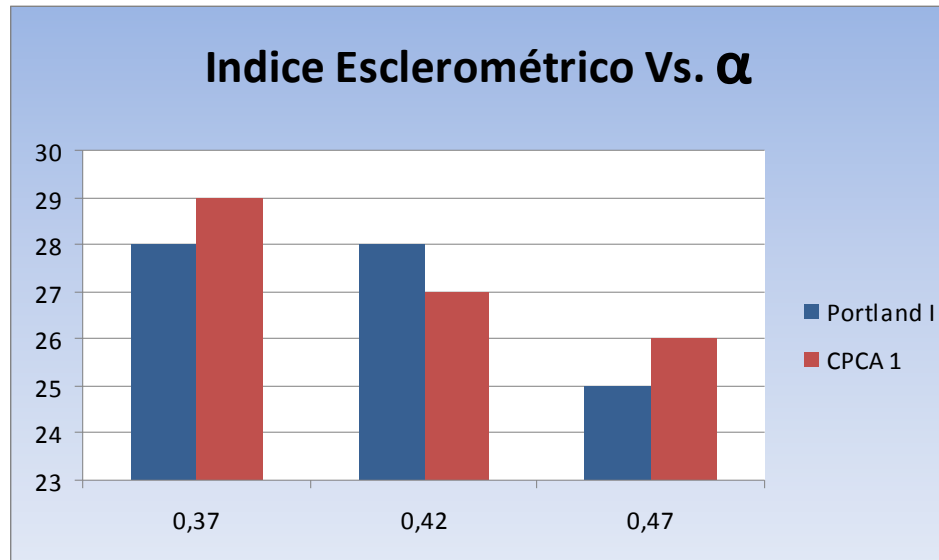


Grafico #17: Índice Esclerométrico Vs. α para concreto Portland I y CPCA 1.

4.5 Ensayos de Compresión Simple

Los resultados obtenidos en los ensayos de compresión simple (ver Tabla#28 y Tabla#29) realizados según la Norma COVENIN 0338:2002, arrojan valores de esfuerzos que superan los estimados en los diseños de mezcla a los 28 días (260 Kgf/cm², 305 Kgf/cm² y 345 Kgf/cm²) y mediante el análisis estadístico realizado se observaron desviaciones estándar entre 3 y 7 Kgf/cm², dicho rango esta por debajo de las que se manejan en obras según el tipo de control y en el laboratorio (Obra: entre 9 y 12 Kgf/cm², Laboratorio: entre 7 y 9 Kgf/cm²)(4).

Portland I				
F_c	REQUERIDO	α	28d	S
180	260	0,48	274 Kgf/cm ²	5
210	305	0,42	330 Kgf/cm ²	7
250	345	0,37	350 Kgf/cm ²	3

CPCA 1				
F_c	REQUERIDO	α	28d	S
180	260	0,48	266 Kgf/cm ²	4
210	305	0,42	309 Kgf/cm ²	6
250	345	0,37	335 Kgf/cm ²	5

Tabla # 28 y 29 Resistencias alcanzadas en los ensayos de cilindros a los 28 días.

Las formas de fallas predominantes en los ensayos fueron por inclinación en una de las caras de carga, falla ideal (con presencia del cono de desarrollo de resistencia) y por deformación del plato de cabeceo, las cuales no produjeron grandes alteraciones en los resultados finales deseados.

CEMENTO	α	EDAD Estimada	Rc Requerida	ENSAYO					
				Área Sección	P	Rc=P/A	Rc _{prom.}	S	Falla
Portland I	0,48	3 días	260 Kg/cm ²	174,60 cm ²	31000 kgf	178 Kg/cm ²	173 Kg/cm ²	4 Kg/cm ²	NUMERO 8
				175,54 cm ²	30000 kgf	171 Kg/cm ²			NUMERO 6
				176,01 cm ²	30000 kgf	170 Kg/cm ²			NUMERO 6
		7 días		174,60 cm ²	35400 kgf	203 Kg/cm ²	206 Kg/cm ²	3 Kg/cm ²	NUMERO 6
				175,77 cm ²	36600 kgf	208 Kg/cm ²			NUMERO 6
				177,89 cm ²	36600 kgf	206 Kg/cm ²			IDEAL
		28 días		177,42 cm ²	47600 kgf	268 Kg/cm ²	274 Kg/cm ²	5 Kg/cm ²	IDEAL
				177,66 cm ²	49400 kgf	278 Kg/cm ²			NUMERO 2
				175,54 cm ²	48200 kgf	275 Kg/cm ²			NUMERO 6
Portland I	0,42	3 días	305 Kg/cm ²	175,07 cm ²	41800 kgf	239 Kg/cm ²	234 Kg/cm ²	5 Kg/cm ²	IDEAL
				176,01 cm ²	40600 kgf	231 Kg/cm ²			NUMERO 2
				176,01 cm ²	40600 kgf	231 Kg/cm ²			NUMERO 8
		7 días		175,77 cm ²	48000 kgf	273 Kg/cm ²	279 Kg/cm ²	6 Kg/cm ²	NUMERO 1
				175,07 cm ²	49000 kgf	280 Kg/cm ²			NUMERO 1
				175,30 cm ²	50000 kgf	285 Kg/cm ²			NUMERO 1
		28 días		177,19 cm ²	57200 kgf	323 Kg/cm ²	330 Kg/cm ²	7 Kg/cm ²	IDEAL
				175,54 cm ²	57700 kgf	329 Kg/cm ²			NUMERO 2
				176,01 cm ²	59400 kgf	337 Kg/cm ²			NUMERO 7
Portland I	0,37	3 días	345 Kg/cm ²	175,54 cm ²	45200 kgf	257 Kg/cm ²	258 Kg/cm ²	4 Kg/cm ²	NUMERO 3
				174,60 cm ²	44400 kgf	254 Kg/cm ²			NUMERO 4
				174,13 cm ²	45600 kgf	262 Kg/cm ²			IDEAL
		7 días		174,13 cm ²	53600 kgf	308 Kg/cm ²	310 Kg/cm ²	4 Kg/cm ²	NUMERO 1
				176,24 cm ²	55400 kgf	314 Kg/cm ²			NUMERO 1
				176,01 cm ²	54000 kgf	307 Kg/cm ²			NUMERO 4
		28 días		174,13 cm ²	60900 kgf	350 Kg/cm ²	350 Kg/cm ²	3 Kg/cm ²	NUMERO 2
				176,71 cm ²	61400 kgf	347 Kg/cm ²			IDEAL
				175,77 cm ²	61800 kgf	352 Kg/cm ²			IDEAL

Tabla # 30: Ensayos a compresión, concreto con cemento Portland Tipo I

CEMENTO	α	EDAD Estimada	Rc Requerida	ENSAYO					
				Area Sección	P	Rc=P/A	Rc _{prom.}	S	Falla
Eco-Plus	0,48	3 días	260 Kgf/cm ²	173,66 cm ²	25400 kgf	146 Kgf/cm ²	141 Kgf/cm ²	5 Kgf/cm ²	NUMERO 6
				175,77 cm ²	24600 kgf	140 Kgf/cm ²			NUMERO 4 O 5
				176,01 cm ²	24000 kgf	136 Kgf/cm ²			NUMERO 6
		7 días		176,24 cm ²	35200 kgf	200 Kgf/cm ²	194 Kgf/cm ²	5 Kgf/cm ²	NUMERO 6
				173,66 cm ²	33200 kgf	191 Kgf/cm ²			NUMERO 6
				174,37 cm ²	33400 kgf	192 Kgf/cm ²			NUMERO 5
		28 días		174,83 cm ²	47200 kgf	270 Kgf/cm ²	266 Kgf/cm ²	4 Kgf/cm ²	NUMERO 2
				172,96 cm ²	45800 kgf	265 Kgf/cm ²			IDEAL
				177,66 cm ²	46800 kgf	263 Kgf/cm ²			NUMERO 6
Eco-Plus	0,42	3 días	305 Kgf/cm ²	174,60 cm ²	36400 kgf	208 Kgf/cm ²	209 Kgf/cm ²	1 Kgf/cm ²	NUMERO 7
				172,96 cm ²	36400 kgf	210 Kgf/cm ²			NUMERO 4 O 6
				175,07 cm ²	36400 kgf	208 Kgf/cm ²			NUMERO 4 O 6
		7 días		176,24 cm ²	47000 kgf	267 Kgf/cm ²	264 Kgf/cm ²	9 Kgf/cm ²	NUMERO 1
				176,24 cm ²	44600 kgf	253 Kgf/cm ²			NUMERO 2
				175,07 cm ²	47400 kgf	271 Kgf/cm ²			NUMERO 2
		28 días		175,30 cm ²	55400 kgf	316 Kgf/cm ²	309 Kgf/cm ²	6 Kgf/cm ²	NUMERO 2
				176,01 cm ²	54000 kgf	307 Kgf/cm ²			IDEAL
				175,07 cm ²	53400 kgf	305 Kgf/cm ²			NUMERO 2
Eco-Plus	0,37	3 días	345 Kgf/cm ²	173,90 cm ²	38400 kgf	221 Kgf/cm ²	222 Kgf/cm ²	4 Kgf/cm ²	NUMERO 7
				174,37 cm ²	38000 kgf	218 Kgf/cm ²			NUMERO 3
				177,66 cm ²	40200 kgf	226 Kgf/cm ²			NUMERO 2
		7 días		175,07 cm ²	51000 kgf	291 Kgf/cm ²	291 Kgf/cm ²	9 Kgf/cm ²	NUMERO 1
				173,90 cm ²	52000 kgf	299 Kgf/cm ²			NUMERO 2
				176,48 cm ²	49800 kgf	282 Kgf/cm ²			NUMERO 1
		28 días		177,66 cm ²	58800 kgf	331 Kgf/cm ²	335 Kgf/cm ²	5 Kgf/cm ²	NUMERO 3
				174,60 cm ²	58200 kgf	333 Kgf/cm ²			NUMERO 2
				175,30 cm ²	59800 kgf	341 Kgf/cm ²			NUMERO 2

Tabla # 31: Ensayos a compresión, concreto con cemento CPCA 1.

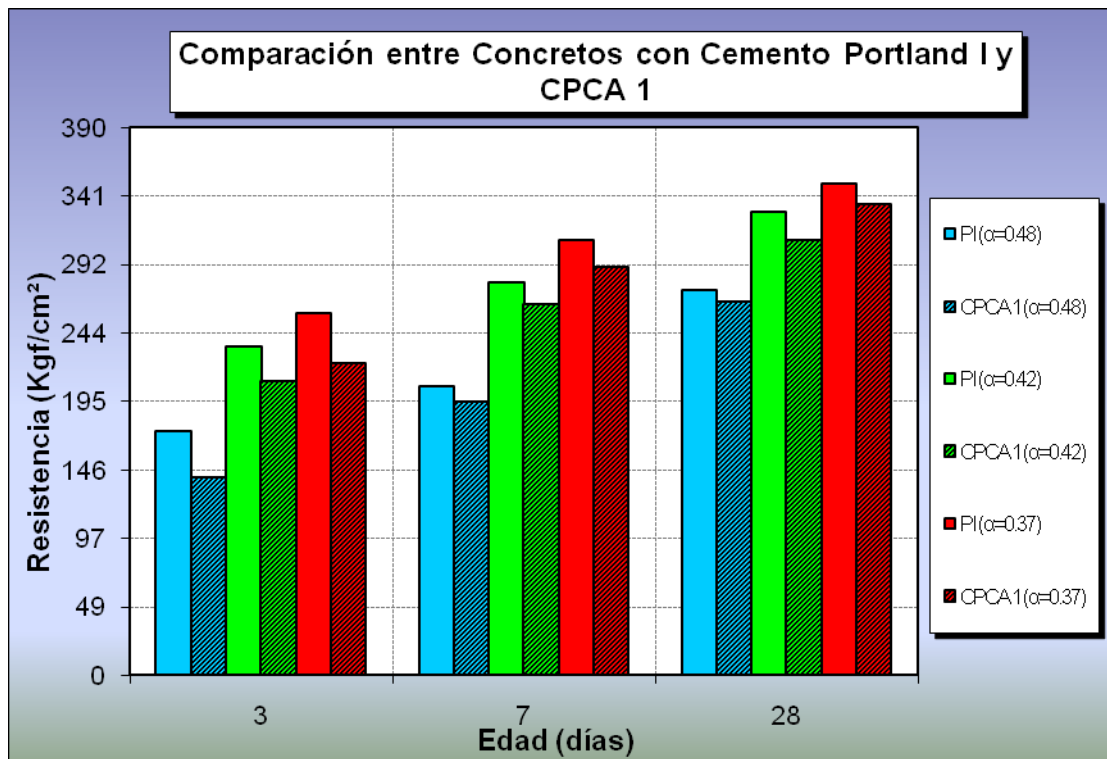


Gráfico #18: Comparación de resistencias entre concretos con cemento Portland I y CPCA 1 a diferentes edades.

Examinando el gráfico # 18 se puede observar la constante prevalencia en el concreto elaborado con el cemento Portland Tipo I aun cuando el cemento CPCA 1 cumplió con las expectativas alcanzando la resistencia de diseño.

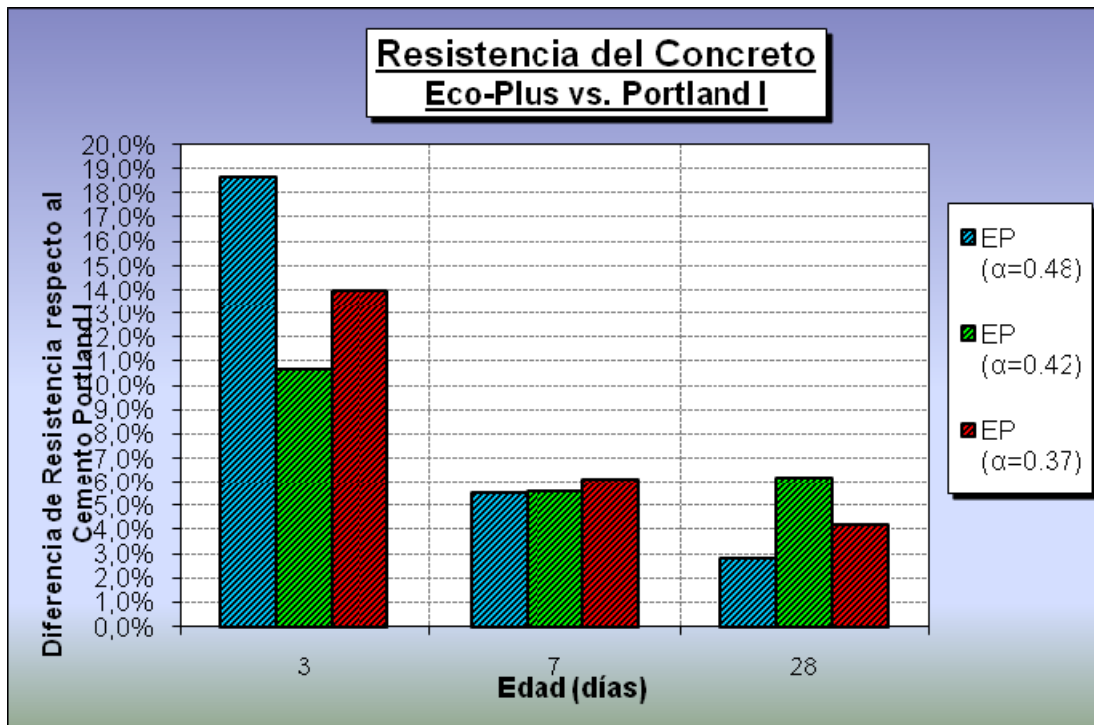


Gráfico #19: Diferencia de resistencias del concreto CPCA1 respecto al Portland Tipo I

En el gráfico Gráfico #19 se puede observar con mayor detalle las diferencias en cuanto a su resistencia, entre los concretos realizados con los dos tipos de cementos en función de los α corregidos, nótese como el concreto CPCA 1 que tiene un α de 0,48 posee una diferencia en resistencia notoria a la edad de 3 días, la cual es de 18,7 % en relación al concreto realizado con Portland Tipo I, a su vez se aprecia una reducción de este umbral en un 13,2 % , para situarse en un 5,5 % cuando la mezcla alcanza los 7 días de edad, esta tendencia continúa hasta que a la edad de 28 días alcanza un 2,8% de diferencia entre los dos tipos de concretos.

Se puede observar que el comportamiento de la mezcla elaborada con cemento CPCA 1 de relación agua-cemento 0,37, presenta una diferencia a los 3 días de 14% en cuanto a su resistencia contra la mezcla elaborada con

Portland I, la cual se hace mas pequeña al pasar de los días, alcanzando una diferencia de 4,2% a los 28 días.

La mezcla elaborada con el cemento CPCA 1 con una relación agua-cemento de 0,37 tiene un comportamiento muy similar en cuanto a la resistencia de la mezcla de relación agua-cemento de 0,48, siendo la diferencia entre los dos tipos de concreto a los 28 días 4,2%

4.6 Absorción de Agua.

Se sacaron del estanque de curado una probeta de cada tipo de cemento y de cada una de las resistencias para un total de 6, se secaron con una toalla y se pesaron saturados con superficie seca para luego colocarlos al horno, a una temperatura de 50 °C por un día arrojando los siguientes resultados.

PORTLAND I	RESISTENCIA	EDAD	PROBETA	PESO	PESO	CANTIDAD DE
	Kg/cm2	(DIAS)		INICIAL (Kg)	FINAL (Kg)	AGUA
						ABSORBIDA
						(Kg)
	180	28	P.1-FC-180-28D(1)	12,730 Kg	12,285 Kg	0,445 Kg
	210	28	P.1-FC-210-28D(1)	12,756 Kg	12,194 Kg	0,562 Kg
	250	28	P.1-FC-250-28D(1)	12,721 Kg	11,744 Kg	0,977 Kg

CPCA 1	RESISTENCIA	EDAD	PROBETA	PESO	PESO	CANTIDAD DE
	Kg/cm2	(DIAS)		INICIAL (Kg)	FINAL (Kg)	AGUA
						ABSORBIDA
						(Kg)
	180	28	E.P-FC-180-28D(1)	12,569 Kg	12,226 Kg	0,343 Kg
	210	28	E.P-FC-210-28D(1)	12,642 Kg	12,182 Kg	0,460 Kg
	250	28	E.P-FC-250-28D(1)	12,997 Kg	12,227 Kg	0,770 Kg

Tabla # 32 y 33 resultados del ensayo de absorción de agua.

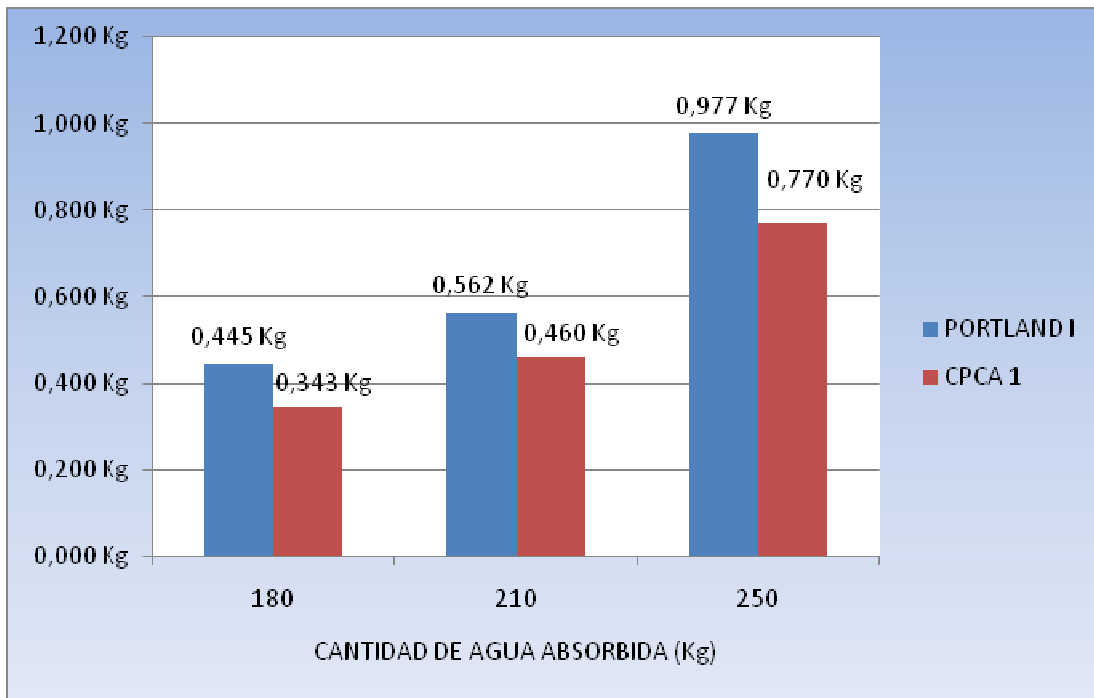


Grafico #20: Comparación de resultados del ensayo de absorción de agua.

El concreto Portland Tipo I resultó ser el que retuvo más agua, aún cuando en las probetas CPCA 1 se pudo observar una superficie más porosa.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El asentamiento del cemento Portland Tipo I está solo 0,5 cm por debajo del asentamiento de diseño y se encuentra dentro de la desviación estándar de la realización del ensayo aún cuando se tomaron en cuenta los procedimientos y recomendaciones de la Norma COVENIN correspondiente.

La diferencia entre el asentamiento de diseño y el asentamiento del cemento CPCA1 se debe a las propiedades intrínsecas del cemento, ya que en estos ensayos las variables que afectan esta propiedad están controladas de una u otra forma a excepción del tiempo de mezclado que puede afectar esta propiedad si se presentase segregación al momento de mezclado, pero dicha segregación no se evidenció y al momento de descargar el trompo en la carretilla esta mezcla fue nuevamente homogenizada por mezcla manual momentos antes de realizar cualquier toma de muestras.

El peso unitario del concreto Portland I es ligeramente mayor al concreto realizado con CPCA 1, debido a que la mezcla elaborada con el cemento Portland Tipo I es más fluido que el CPCA 1, tal como se evidencia en el asentamiento, no obstante, esto puede deberse a propiedades de cada tipo de concreto, además del tipo de compactación llevada a cabo en este ensayo.

El peso unitario no pudo ser asociado con otra variable como la resistencia, pero es evidente que el concreto realizado con Portland I tiene mayor masa que el elaborado con CPCA 1.

La velocidad de pulso en el concreto decrece con el incremento de la relación agua-cemento, el número de rebote y la velocidad de pulso ultrasónico de concreto varía con la relación agua-cemento (α), sin embargo, la resistencia

a compresión resulta difícil poder estimarla con suficiente precisión tanto bajo el recurso del método de velocidad de pulso como con el método de martillo de Schmidt. El ensayo de ultrasonido puede ser aplicado en el concreto CPCA 1 como si se tratase del Portland I ya que las velocidades son similares y se encuentran en el rango de aceptación.

La dureza esclerométrica no pudo ser asociada con la resistencia y se demostró que para un determinado concreto, esta varía alternándose con los resultados del otro. Usando el martillo de Schmidt no hay diferencia en la metodología de ensayo ni en las conclusiones, es válido emplear este método para evaluar concretos CPCA 1.

Las mezclas realizadas resultaron alcanzar mayores resistencias que las esperadas por diseño, con cemento Portland Tipo I se superan, en algunos casos, por un amplio margen, en cambio el concreto CPCA 1 se ajusta al valor de aceptación y de requerir aumentar los asentamientos alcanzados por este concreto agregándole más agua a la mezcla, la resistencia bajaría, por lo que se debe dar prioridad a la resistencia en lugar de la trabajabilidad.

Las formas de fallas predominantes en los ensayos fueron por inclinación en una de las caras de carga, falla ideal con presencia del cono de desarrollo de resistencia y por deformación del plato de cabeceo.

Se puede observar la constante prevalencia en el concreto elaborado con el cemento Portland Tipo I aun cuando el cemento CPCA 1 cumplió con las expectativas alcanzando la resistencia de diseño.

Notablemente mayores resistencias a la edad de 3 días para el concreto Portland I con respecto al CPCA 1 y estas diferencias de resistencias van decreciendo con el tiempo hasta demostrar resistencias similares a los 28

días, para el caso específico del concreto con α de 0,48 en concreto CPCA 1 alcanzó una resistencia a los 28 días de 266 Kgf/cm² y el Portland Tipo I 274 Kgf/cm², presumiendo que esta tendencia puede continuar si se estudia el comportamiento a edades más avanzadas y para concretos con relación agua-cemento mayores a 0,50.

En cuanto absorción de agua, el concreto hecho a partir del cemento Portland Tipo I fue el que arrojó los valores más altos, aún cuando en las probetas CPCA 1 se pudo evidenciar una superficie más porosa.

RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer ensayos volumétricos más a fondo con el fin de determinar el causal de la diferencia de densidad de los distintos tipos de concretos.

Es necesario hacer nuevas mediciones de comparación de velocidad de pulso ultrasónico con más especímenes para tratar de evidenciar, si es requerido, una tendencia clara.

Es importante realizar una comparación de resistencias y comportamiento a edades más avanzadas a las previstas en este trabajo con el fin de corroborar el acercamiento de las resistencias en estos dos tipos de concreto.

Efectuar una comparación de resistencias y comportamiento entre concretos elaborados con cemento Portland Tipo I y cemento CPCA 1 con α mayores a 0,50.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

(1) Bresler, B. (1981). Concreto Reforzado en Ingeniería (Vol. I). (J. L. Lepe Saucedo, Trad.) Mexico D.F, Mexico: Editorial Limusa.

(2) Fritz, K. (1973). Cemento. Fabricación, Propiedades y Aplicaciones. (A. Sarabia González, Trad.) España: Editores Técnicos y Asociados, S.A.

(3) Lepe Saucedo, J. L. (1978). Proyecto y Control de Mezclas de Concreto. Mexico D.F: Limusa.

(4) Porrero S, J., Ramos R, C., Grases G, J., & Velazco, G. J. (2004). Manual del concreto Estructural. Caracas: Sidetur.

(5) Venuat, Michel. (1966). Control de ensayos de cementos, morteros y hormigones. España: Ediciones Urno.

(6) Comité Conjunto del Concreto Armado (1976), Ensayos de laboratorio y especificaciones, Tercera edición. Caracas

(7) ASOCRETO – Inst. Colombiano de Productores de Cemento. Concreto – Serie de conocimientos básicos:

1.- Generalidades del concreto.

2.- Cemento Portland.

7.- Propiedades del concreto.

(8) Norma COVENIN (337 – 78)

Definiciones de términos relativos al concreto.

(9) Leslie, J., R, and Cheesman, W., J, an Ultrasonic Method of Studying Deterioration and Cracking in concrete Structures. ACI Proceedings, vol. 46, Septiembre 1949.

(10) Norma COVENIN 1976:2003
Concreto. Evaluación y métodos de ensayo (3ra revisión).

(11) Norma COVENIN 0339:2003
Concreto. Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams (2da revisión).

(12) Norma COVENIN 0255:1998
Agregados. Determinación De La Composición Granulométrica (1ra Revisión).

(13) Norma COVENIN 0268:1998
Agregado Fino, Determinación De La Densidad Y La Absorción (1ra Revisión).

(14) Norma COVENIN 0269:1998
Agregado Grueso, Determinación De La Densidad Y La Absorción (1ra Revisión).

(15) Norma COVENIN 0338:2002
Concreto. Método para La Elaboración, Curado Y Ensayo A Compresión De Cilindros De Concreto (2ra Revisión).

(16) Norma COVENIN 1608:80

Método De Ensayo Para La Determinación De La Dureza Esclerométrica En Superficies De Concreto Endurecidas

(17) Norma COVENIN 1681:80

Método De Ensayo Para Determinar La Velocidad De Propagación De Ondas En El Concreto.

(18) Norma COVENIN 0344:2002

Concreto fresco. Toma de muestras
(1ra Revisión).

(19) Norma COVENIN 1753:2003

Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural

ANEXOS