

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO.

**ANÁLISIS DE MEZCLAS DE CONCRETO ELABORADAS CON
CEMENTO PORTLAND ESCORIA A RESISTENCIAS F`C DE 210,
250 Y 280 KGF/CM².**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs.:
Al Gindi Kasrmallie, Jorge Antonio
Marrero Sánchez, Mayrelis Andreina
Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, 2015.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO.

**ANÁLISIS DE MEZCLAS DE CONCRETO ELABORADAS CON
CEMENTO PORTLAND ESCORIA A RESISTENCIAS F^c DE 210,
250 Y 280 KGF/CM².**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. César Peñuela.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs.:
Al Gindi Kasrmallie, Jorge Antonio
Marrero Sánchez, Mayrelis Andreina
Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, 2015.

Nelson Camacho

María Eugenia Korody

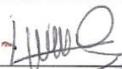
Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: **ANÁLISIS DE MEZCLAS DE CONCRETO ELABORADAS CON CEMENTO PORTLAND ESCORIA A RESISTENCIAS F`C DE 210, 250 Y 280 KGF/CM²**. Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de INGENIERO CIVIL.

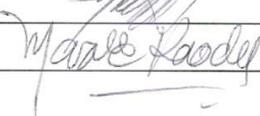
Una vez oída la defensa oral que los bachilleres hicieron de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Br. Al Gindi K. Jorge A.	20	VEINTE
Br. Marrero S. Mayrelis A.	20	VEINTE

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO





Caracas, 02 de Noviembre del 2015.

AGRADECIMIENTOS.

A DIOS, por darme salud, fortaleza y guiarme durante toda mi formación académica, brindándome siempre un motivo para seguir emprendiendo nuevas metas.

A MIS PADRES, MARIA SANCHEZ Y JESUS MARRERO, por estar siempre presente y apoyarme en cada paso que doy en mi vida, brindándome valores y una excelente educación que me permiten ser mejor persona.

A MIS HERMANAS, MARIBEL Y MAYRA MARRERO, por ser un ejemplo a seguir de constancia, dedicación y superación.

A MÍ NOVIO SIMON TORRES, por estar siempre presente durante mi formación profesional, brindándome seguridad, apoyo incondicional y ser un ejemplo de fortaleza, superación y perseverancia ante las dificultades durante toda mi carrera.

A LA ILUSTRE UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA, por darme una excelente formación profesional y ser mí segundo hogar.

AL PROFESOR E INGENIERO CÉSAR PEÑUELA, por brindarnos la tutoría y guiarnos durante todo el desarrollo de nuestro trabajo especial de grado, que permitió la culminación del mismo.

AL PROFESOR E INGENIERO NELSON CAMACHO, que nos aclaró dudas durante el desarrollo de los ensayos.

A LOS TÉCNICOS DEL IMME, que estuvieron a disposición cuando necesitamos de su asesoría y su ayuda. Especialmente el Sr. ELIONER.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS YULIAN GOMEZ, PATRICIA PISANO Y KIMBERLY GONZALES, LOTTY SEQUEIRA, EDINSON STAND Y EGLIS DELGADO por apoyarme y darme fortaleza cuando más la necesite, compartiendo conmigo los buenos y malos momentos a lo largo de mi carrera.

A LA EMPRESA GARCIA&QUINTANA Ingenieros Asociados C.A. por la colaboración, donación de materiales.

A MÍ COMPAÑERO Y AMIGO JORGE, por haber sido un excelente compañero de tesis y amigo, siempre teniendo en cuenta la responsabilidad, el respeto y sobre todo el buen trabajo en equipo, entendiendo las fortalezas y limitaciones de cada uno.

Mayrelis Marrero.

AGRADECIMIENTOS.

A DIOS, por guiarme durante mi vida de la mejor manera posible, con misericordia y sabiduría, bendiciendo mis pasos y enseñándome que el hombre propone y Dios dispone, que con él todo y sin él nada y que la Fe es lo último que se pierde.

A MIS PADRES, IBRAHIM AL GINDI Y JACQUELINE KASRMALLIE, por brindarme y desearme siempre lo mejor, por darme la oportunidad de ser el hijo de unos padres increíbles, por crear la mejor familia y por ser el tesoro más apreciado que tengo en mi vida, estaré agradecido eternamente, gracias por todo, los AMO.

A MIS HERMANOS, NATHALY Y JOSÉ, a mi hermana por decirme “el sufrido” cada vez que me veía matándome con una materia y enseñarme de alguna manera, que a veces hay que relajarse y disfrutar la vida, a mi hermano “el cabezón”, por distraerme mediante peleas todos los días por cualquier cosa. Ambos son perfectos para mí y los mejores, mi contrabajista preferida, y mi futbolista.

A MIS ABUELOS, JOSÉ, LELA, JORGE Y RENE, los mejores abuelos y los únicos, ustedes son el inicio de esta historia. Gracias por enseñarnos a ser luchadores y trabajadores por nuestros sueños.

A MÍ FAMILIA, AL GINDI Y KASRMALLIE, a todos los Al Gindi por hacerme reír con sus locuras, una familia de locos, y a todos los Kasrmallie por ser una familia tan unida, bella y humilde. Ambas familias esenciales durante toda mi carrera.

A MÍ MAESTRA DE VIOLÍN, CECILIA GOMÉZ, por enseñarme hacer las cosas primero por mí y luego por los demás, por enamorarme con cada clase individual y hacerme sentir especial, siempre diciéndome que si puedo con ambas carreras, gracias por confiar en mi amada maestra, siempre haré las cosas con el corazón porque usted me enseñó a hacerlo así, siempre estaré agradecido con usted por absolutamente todo.

A LA ILUSTRE UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA, no solo por brindarme una excelente formación profesional, sino también por enseñarnos a ser guerreros y quien intenta lo absurdo conquista lo imposible.

AL MAESTRO JOSÉ A. ABREU, por permitirme ser parte de su sueño, esa gran familia a la que llamamos El Sistema, por enriquecernos la vida con música y por dedicar su VIDA a cambiar la vida de generaciones de jóvenes a través de la música.

A MIS AMIGOS, FRANCIS GARCIA, ROSANGELA FONSECA, KEIBER UTRERA Y LOS SHAJATAS, por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas, por enseñarme que lo más importante de un viaje es lo que aprendemos de él, son los mejores y obviamente gracias por lidiar con mi estrés e intensidad.

AL PROFESOR E INGENIERO CÉSAR PEÑUELA, por confiar en nosotros y guiarnos durante todo el desarrollo de nuestro trabajo especial de grado.

A LOS TÉCNICOS DEL IMME, que estuvieron a disposición cuando necesitamos de su asesoría y su ayuda. Especialmente el Sr. ELIONER.

A MÍ ORQUESTA TERESA CARREÑO, por brindarme los mejores momentos llenos de música y los mejores viajes llenos de experiencia. Son lo máximo. Gracias.

A MÍ COMPAÑERA Y AMIGA MAYRELIS, por haber sido una excelente compañera de tesis y amiga durante la carrera, por ayudarme en momentos de crisis, por ser tan seria y no quererse tomar una selfie conmigo, pero sobre todas las cosas por entenderme y confiar en mí. Lo logramos futura colega, te deseo lo mejor.

Y A TODOS MIS PROFESORES, MAESTROS Y AMIGOS, por hacer este viaje único, por enseñarme a no preocuparme por las recompensas o los elogios que pueda recibir, que la experiencia es lo que se obtiene cuando logras tus sueños y que no hay mejor manera de vivir si no es arriesgándose. GRACIAS A TODOS.

Jorge Al Gindi.

**Al Gindi K. Jorge A.
Marrero S. Mayrelis A.**

**ANÁLISIS DE MEZCLAS DE CONCRETO ELABORADAS CON
CEMENTO PORTLAND ESCORIA A RESISTENCIAS F`C DE
210, 250 Y 280 KGF/CM².**

Tutor académico: Prof. César Peñuela

Trabajo Especial de Grado. Caracas. UCV. Facultad de Ingeniería.

Escuela de Ingeniería Civil. 2015, N° de pág. 181

RESUMEN

En los últimos años la población venezolana ha presentado un incremento acelerado, así lo refleja el Instituto Nacional de Estadística (INE) en su portal web donde señala una cantidad de 30 millones de habitantes. Por consiguiente, el presidente de la Cámara Venezolana de la Construcción (CVC), Jaime Gómez, puntualiza que aunque se registró un incremento en la producción de unidades de vivienda, no existe una adecuada planificación para llevar a cabo la construcción de las mismas, que para cubrir el crecimiento poblacional, debe ser de 118.572 viviendas al año. En Venezuela, el cemento tipo Portland Tipo I es el más utilizado en la industria de la construcción; sin embargo a través del tiempo ha cambiado el panorama debido a la baja disposición de materia prima para elaborar dicho cemento lo que ha originado el incremento de la producción de cementos con adiciones. Resulta importante el análisis minucioso de las características estructurales que presenta este nuevo material, especialmente cuando se mezcla con el agregado fino, agregado grueso y agua, para elaborar el concreto usado en la industria de la construcción. De lo antes expuesto surgen las interrogantes: ¿Qué asentamiento presentarán las mezclas de concreto elaboradas con cemento Portland Escoria para resistencias de f`c de 210, 250 y 280 kgf/cm²?, ¿Cuál será la velocidad del pulso ultrasónico y la dureza

esclerométrica de las mezclas de concreto endurecidos con cemento Portland Escoria?, ¿El cemento Portland Escoria empleado en la construcción cumplirá con la resistencia a compresión para $f'c$ de 210, 250 y 280 kgf/cm²?

Palabras clave: Cemento Portland Escoria, concreto, resistencia, Ingeniería Civil, asentamiento.

ÍNDICE GENERAL

	Página
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.1.1. Objetivo General.....	6
1.1.2. Objetivos Específicos.....	6
1.2. APORTES	7
CAPÍTULO II	9
2. MARCO TEORICO	9
2.1. Escorias siderúrgicas.....	9
2.2. Composición de las escorias siderúrgicas.....	10
2.3. Características físicas de la escoria.....	11
2.4. El cemento.....	12
2.5. Constitución del cemento.....	12
2.6. Cemento Portland- Escoria.....	13
2.7. Proceso de fabricación del cemento Portland-Escoria.....	15
2.8. Inspección y recepción del cemento Portland-Escoria.....	16
2.9. Ventajas del cemento Portland-Escoria.....	16
2.10. Desventajas del uso de cemento Portland-Escoria.....	16
2.11. El concreto.....	17
2.12. Componentes del concreto.....	17
2.13. Los agregado.....	18
2.14. Tipos de agregados.....	18
2.14.1 Agregados finos (arena lavada).....	18

2.14.2 Agregados gruesos (piedra picada).....	19
2.15. Propiedades de los agregados.....	19
2.16. Relación Beta (β).....	20
2.17. Resistencia de los agregados.....	21
2.18. Control de calidad.....	22
2.19. Diseños de mezclas.....	22
2.20. Datos de entrada para el diseño de mezcla.....	24
2.21. Ley de Abrams.....	24
2.22. Cono de Abrams.....	25
2.23. Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico.....	27
2.24. Determinación del Número de Rebote o Ensayo Esclerométrico.....	29
2.25. Tipos de fallas en los cilindros sometidos a compresión.....	29
CAPÍTULO III.....	30
3. MÉTODO.....	30
3.1. Recopilación de información bibliográfica y estudios previos realizados.....	30
3.2. Obtención de los materiales: arena lavada, piedra picada y cemento Portland Escoria.....	30
3.3. Caracterización de los agregados.....	33
3.3.1. Granulometría del agregado fino.....	33
3.3.2. Granulometría del agregado grueso.....	37
3.3.3. Desgaste de los Ángeles.....	40
3.3.4. Densidad y Absorción del agregado fino.....	44
3.3.5. Densidad y Absorción del agregado grueso.....	49
3.3.6. Peso Unitario suelto y compacto del agregado fino.....	52
3.3.7. Peso Unitario suelto y compacto del agregado grueso.....	54
3.3.8. Contenido de Humedad del agregado fino.....	57

3.3.9. Contenido de Humedad del agregado grueso.....	60
3.4. Diseño de mezclas.....	62
3.4.1. Relación Beta (β).....	63
3.4.2. Resistencia promedio requerida (F_{cr}).....	65
3.4.3. Relación agua/cemento.....	66
3.4.4. Relación agua/cemento corregida (α_c).....	67
3.4.5. Dosis de Cemento (C).....	68
3.4.6. Dosis de cemento corregida (C_c).....	68
3.4.7. Volumen absoluto de los granos de cemento (V_c).....	69
3.4.8. Volumen absoluto del agua (a).....	70
3.4.9. Volumen de aire atrapado (V).....	70
3.4.10. Densidad del agregado total.....	70
3.4.11. Peso de los Agregados.....	71
3.4.12. Volumen de los Agregados.....	71
3.4.13. Corrección por humedad y absorción.....	72
3.4.14. Dosificación para la mezcladora.....	73
3.5. Elaboración de las mezclas.....	74
3.6. Caracterización del concreto fresco.....	79
3.7. Elaboración y curado de las probetas.....	82
3.8. Caracterización del concreto endurecido.....	87
3.8.1. Peso Unitario.....	87
3.8.2. Velocidad del pulso ultrasónico.....	90
3.8.3. Índice Esclerométrico.....	93
3.8.4. Ensayo a Compresión.....	97
3.9. Análisis y presentación de los resultados.....	100
CAPÍTULO IV.....	101

4. RESULTADOS	101
4.1. Caracterización de los agregados.....	102
4.1.1. Granulometría.....	102
4.1.1.1 Agregado fino natural.....	102
4.1.1.2. Agregado grueso.....	104
4.1.2. Desgaste de los Ángeles.....	105
4.1.3. Densidad y absorción.....	105
4.1.4. Peso unitario suelto y compacto.....	107
4.1.5. Humedad.....	107
4.2. Diseño de mezcla.....	108
4.2.1. Relación Beta (β).....	108
4.2.2. Parámetros para el diseño de mezcla.....	110
4.2.3. Dosificación para cada diseño de mezcla.....	111
4.2.3.1 Dosificación de la mezcla de resistencia de diseño 210kgf/cm ²	111
4.2.3.2 Dosificación de la mezcla de resistencia de diseño 250 kgf/cm ²	112
4.2.3.3 Dosificación de la mezcla de resistencia de diseño 280 kgf/cm ²	113
4.3 Caracterización del concreto fresco.....	114
4.3.1. Asentamiento.....	114
4.4. Caracterización del concreto endurecido.....	115
4.4.1. Peso Unitario.....	115
4.4.2. Velocidad del pulso ultrasónico.....	119
4.4.3. Dureza esclerométrica.....	124
4.4.4. Ensayo a compresión.....	128
CAPÍTULO V	131
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	131
5.1. Caracterización de los agregados.....	131

5.1.1. Granulometría.....	131
5.1.1.1. Tamaño Máximo.....	131
5.1.1.2. Módulo de Finura.....	131
5.1.1.3. Desgaste de Los Ángeles.....	131
5.1.2. Densidad.....	132
5.1.3. Porcentaje de Absorción.....	132
5.1.4. Peso Unitario Suelto y Compacto.....	132
5.1.5. Humedad.....	133
5.2. Caracterización del concreto fresco.....	133
5.2.1. Asentamiento.....	133
5.3. Caracterización del concreto endurecido.....	133
5.3.1. Peso Unitario.....	133
5.3.2. Velocidad del pulso ultrasónico.....	134
5.3.3. Índice Esclerométrico.....	135
5.3.4. Resistencia a la compresión.....	135
5.3.5. Fallas en los cilindros sometidos a compresión.....	136
CAPÍTULO VI.....	138
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	138
6.1. Conclusiones.....	138
6.2. Recomendaciones.....	141
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	143
ANEXOS.....	148

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I-1 Composición química de escorias siderúrgicas.....	10
Tabla I-2 Requisitos químicos del cemento Portland-Escoria.....	14
Tabla I-3 Requisitos físicos del cemento Portland-Escoria.....	14-15
Tabla III-1 Límites granulométricos recomendados para distintos tamaños máximos del agregado. Porcentajes Pasantes.....	65
Tabla III-2 Resistencia promedio a la compresión requerida, F_{cr} , cuando no se dispone de datos para establecer la Desviación Estándar.....	66
Tabla III-3 K_R Factor para corregir α por Tamaño Máximo, mm (Pulgadas).....	67
Tabla III-4 K_A Factor para corregir α por Tipo de agregado.....	67
Tabla III-5 C_1 Factor para Corregir C por Tamaño Máximo, mm (Pulgadas).....	69
Tabla III-6 C_2 Factor para corregir C por Tipo de Agregado.....	69
Tabla III-7 Número de golpes para compactar con barra.....	82
Tabla IV-1 Granulometría del agregado fino natural (Arena Lavada).....	102
Tabla IV-2 Porcentaje pasante del tamiz # 200 determinado por lavado del agregado fino natural.....	103
Tabla IV-3 Granulometría del agregado grueso (Piedra Picada).....	104
Tabla IV-4 Tamaño de la muestra para el ensayo de Desgaste de Los Ángeles.....	105
Tabla IV-5 Desgaste de los Ángeles del agregado grueso.....	105
Tabla IV-6 Densidad y porcentaje de absorción del agregado fino natural (Arena Lavada).....	105
Tabla IV-7 Densidad y porcentaje de absorción del agregado grueso (Piedra Picada)....	105

Tabla IV-8 Peso unitario del agregado fino natural (Arena Lavada).....	107
Tabla IV-9 Peso unitario del agregado grueso (Piedra Picada).	107
Tabla IV-10 Contenido de humedad del agregado fino natural (Arena Lavada).....	107
Tabla IV-11 Contenido de humedad del agregado grueso (Piedra Picada).	108
Tabla IV-12 Relación Beta de Diseño.	108
Tabla IV-13 Parámetros para el diseño de mezcla de resistencia de 210 kgf/cm ² , 250 kgf/cm ² y 280 kgf/cm ²	110
Tabla IV-14 Dosificación corregida por humedad y absorción. 1 m ³ de mezcla para resistencia de 210 kgf/cm ²	111
Tabla IV-15 Dosificación corregida por humedad y absorción. 66,3 l de mezcla para resistencia de 210 kgf/cm ²	111
Tabla IV-16 Dosificación corregida por humedad y absorción. 1 m ³ de mezcla para resistencia de 250 kgf/cm ²	112
Tabla IV-17 Dosificación corregida por humedad y absorción. 66,3 l de mezcla para resistencia de 250 kgf/cm ²	112
Tabla IV-18 Dosificación corregida por humedad y absorción. 1 m ³ de mezcla para resistencia de 280 kgf/cm ²	113
Tabla IV-19 Dosificación corregida por humedad y absorción. 66,3 l de mezcla para resistencia de 280 kgf/cm ²	113
Tabla IV-20 Asentamientos para cada diseño de mezcla.	114
Tabla IV-21 Peso unitario a los 7 días.	115
Tabla IV-22 Peso unitario a los 14 días.	116
Tabla IV-23 Peso unitario a los 28 días.	117

Tabla IV-24 Velocidad del pulso ultrasónico a los 7 días.	119
Tabla IV-25 Velocidad del pulso ultrasónico a los 14 días.	120-121
Tabla IV-26 Velocidad del pulso ultrasónico a los 28 días.	121-122
Tabla IV-27 Desviación Estándar en el tiempo.	123
Tabla IV-28 Índice Esclerométrico a los 7 días.	124
Tabla IV-29 Índice Esclerométrico a los 14 días.	125
Tabla IV-30 Índice Esclerométrico a los 28 días.	126
Tabla IV-31 Índice Esclerométrico promedio.	127
Tabla IV-32 Resistencia a compresión a los 7 días.	128
Tabla IV-33 Resistencia a compresión a los 14 días.	128-129
Tabla IV-34 Resistencia a compresión a los 28 días.	129
Tabla IV-35 Desviación Estándar en el tiempo.	130

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico I-1 Diagrama ternario CaO-SiO ₂ -Al ₂ O ₃	11
Gráfico III-1 Relación Arena/Agregado Total.	64
Gráfico IV-1 Curva granulométrica del agregado fino natural.....	103
Gráfico IV-2 Curva granulométrica del agregado grueso (Piedra Picada).	104
Gráfico IV-3 Densidad.....	106
Gráfico IV-4 Absorción.....	106
Gráfico IV-5 Contenido de humedad de los agregados.	108
Gráfico IV-6 Relación Beta (β).	109
Gráfico IV-7 Asentamientos para cada diseño de mezcla.	114
Gráfico IV-8 Peso unitario a los 7 días para cada diseño de mezcla.	116
Gráfico IV-9 Peso unitario a los 14 días para cada diseño de mezcla.....	117
Gráfico IV-10 Peso unitario a los 28 días para cada diseño de mezcla.....	118
Gráfico IV-11 Peso unitario del concreto endurecido en el tiempo.....	118
Gráfico IV-12 Velocidad del pulso ultrasónico a los 7 días.	120
Gráfico IV-13 Velocidad del pulso ultrasónico a los 14 días.	121
Gráfico IV-14 Velocidad del pulso ultrasónico a los 28 días	122
Gráfico IV-15 Velocidad del pulso ultrasónico del concreto endurecido en el tiempo....	123
Gráfico IV-16 Índice esclerométrico en el tiempo.....	127
Gráfico IV-17 Resistencia a compresión en el tiempo.	130

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen II-1 Instrumentos usados para realizar el ensayo de asentamiento.....	26
Imagen II-2 Resumen del ensayo de asentamiento.....	27
Imagen III-1 Arena lavada.....	31
Imagen III-2 Piedra Picada.....	32
Imagen III-3 Cemento Portland Escoria.....	32
Imagen III-4 Balanza OHAUS Adventurer™Pro	34
Imagen III-5 Arena Lavada en estado seco.	34
Imagen III-6 Tamices ordenados de mayor a menor.....	35
Imagen III-7 Lavado de la muestra sobre el tamiz #200.....	36
Imagen III-8 Muestra pasante del tamiz #200 en el horno.....	37
Imagen III-9 Balanza TOLEDO.....	38
Imagen III-10 Piedra Picada en estado seco.....	38
Imagen III-11 Cernidora modelo Gilson Screen del agregado grueso.....	39
Imagen III-12. Tamizado del agregado grueso por el tamiz $\frac{3}{4}$ ".....	40
Imagen III-13 Tabla de Gradaciones de muestras de ensayo (Agregado Grueso).....	41
Imagen III-14 Maquina de Los Ángeles.....	42
Imagen III-15 Peso del material pasante por el tamiz #12.....	43
Imagen III-16 Instrumentos a utilizar en el ensayo de densidad y absorción del agregado fino.....	44
Imagen III-17 Arena lavada sumergida en agua durante 24 horas.....	45
Imagen III-18 Secado superficial del material por medio de la estufa.....	45

Imagen III-19 Muestra ya alcanzada la condición de saturado con superficie seca.....	46
Imagen III-20 Peso de la muestra saturada con superficie seca de 500gr y agua en el picnómetro.....	47
Imagen III-21 Peso del agua en el picnómetro.	47
Imagen III-22 Secado del material superficialmente.....	49
Imagen III-23 Peso de la muestra saturado con superficie seca.	50
Imagen III-24 Peso sumergido de la muestra de 500gr.....	50
Imagen III-25 Llenado y enrazado con arena lavada en estado suelto.	52
Imagen III-26 Peso de la arena lavada en estado suelto.	53
Imagen III-27 Compactación por medio de 3 capas y enrazado de la arena lavada.....	54
Imagen III-28 Llenado y enrazado con piedra picada en estado suelto.....	55
Imagen III-29 Peso de la piedra picada en estado suelto.....	56
Imagen III-30 Compactación por medio de 3 capas y enrazado de la arena lavada.....	57
Imagen III-31 Secado por 24 horas de 2Kg de arena lavada.....	58
Imagen III-32 Peso de la arena lavada seca luego de transcurrido las 24 horas.....	59
Imagen III-33 Secado por 24 horas de 20Kg de piedra picada.	60
Imagen III-34 Peso de la piedra picada seca luego de transcurrido las 24 horas	61
Imagen III-35. Mezcladora de concreto de eje vertical.....	75
Imagen III-36. Pesaje del cemento Portland Escoria en la balanza de apreciación 10g....	75
Imagen III-37. Pesaje de la piedra picada en la balanza de apreciación 10g.	76
Imagen III-38. Pesaje de la arena lavada en la balanza de apreciación 10g.....	76
Imagen III-39. Mezcladora de concreto de eje vertical y componentes de la mezcla.....	77
Imagen III-40. Proceso de mezclado homogéneo de los componentes del concreto I.....	78

Imagen III-41. Proceso de mezclado homogéneo de los componentes del concreto II.....	78
Imagen III-42. Materiales usados para realizar el ensayo del Cono de Abrams: Molde cónico, base metálica y barra compactadora.	80
Imagen III-43. Proceso de compactación de la mezcla de concreto.....	80
Imagen III-44. Proceso de enrasado de la mezcla de concreto.....	81
Imagen III-45. Medición del asentamiento de la mezcla de concreto.....	81
Imagen III-46. Disposición de las conchas cilíndricas sobre la mesa de trabajo.	83
Imagen III-47. Proceso de lubricación de las conchas cilíndricas.....	83
Imagen III-48. Compactación de la mezcla con la barra metálica	84
Imagen III-49. Colocación de las probetas cilíndricas enrasadas en la mesa de trabajo.....	84
Imagen III-50. Desencofrado de los cilindros de concreto.....	85
Imagen III-51. Probetas cilíndricas desencofradas e identificadas.....	85
Imagen III-52. Colocación de las probetas cilíndricas en la piscina de curado.....	86
Imagen III-53. Probetas cilíndricas sumergidas en agua saturada de cal	86
Imagen III-54. Vernier de marca Mitutoyo (hecho en Japón).....	87
Imagen III-55. Medición de los diámetros de la probeta.....	88
Imagen III-56. Medición de la altura de la probeta.....	88
Imagen III-57. Peso de la probeta.....	89
Imagen III-58. Máquina de Pulso Ultrasónico, NDT James Instruments INC.....	90
Imagen III-59. Lubricación de transductores con vaselina.....	91

Imagen III-60. Acoplamiento entre transductores y concreto.....	92
Imagen III-61. Probeta sobre la prensa universal con una fuerza a compresión de diez toneladas.....	94
Imagen III-62. Esclerómetro.....	95
Imagen III-63. Marcado de 20 puntos con distancia entre ellos de 2 a 3cm.....	96
Imagen III-64. Misma inclinación del esclerómetro sobre el cilindro para cada punto.....	97
Imagen III-65. Colocación de un disco en la cara superior para garantizar la distribución uniforme.....	98
Imagen III-66. Aplicación de la fuerza a compresión hasta lograr la falla del cilindro.....	99

INTRODUCCIÓN.

La industria de la construcción ha incrementado la producción y con ello la demanda de los materiales, por ello ha surgido la necesidad de elaborar nuevos cementos que no solo sustituyan al cemento Portland usado frecuentemente, sino que también sean más económicos y sustentables, con el fin de implementar el desarrollo garantizando la materia prima a las generaciones futuras sin impactar al medio ambiente.

Los materiales reciclados han sido la tendencia global en la elaboración de mezclas de concreto, específicamente aquellas que se hacen con sustituciones parciales de sus componentes por materiales reciclados.

En Venezuela, el concreto es el material más utilizado para llevar a cabo las construcciones, y con ello debido al incremento poblacional, se ha dado la necesidad de crear nuevos cementos que brinden las mismas o mejores características que los cementos ya utilizados.

Por consiguiente, la Industria Venezolana del Cemento S.A (INVECEM) en su planta de producción de cemento ubicada en la localidad de San Sebastián del Estado Aragua, elabora cemento Portland Escoria, el cual es un producto nuevo en el mercado de la construcción. Es importante destacar que dicho cemento representa una mezcla íntima y uniforme del cemento Portland y escoria siderúrgica básica granulada, finamente molida el cual se fabrica por la mezcla y homogenización del cemento Portland y escoria siderúrgica.

Por tal motivo, la presente investigación analizará de manera detallada el comportamiento del concreto elaborado con cemento escoria en estado fresco y endurecido para contrastar los valores obtenidos con los establecidos en las diversas Normativas Venezolanas y concluir si es factible su uso en la industria de la construcción.

La presente investigación está estructurada de la siguiente manera:

Capítulo I: El PROBLEMA; en este se describe detallada y precisamente la situación, ubicándola dentro de un contexto general para comprender sus orígenes y relaciones, justificándola y mencionando los objetivos del trabajo investigativo.

Capítulo II: MARCO TEÓRICO; comprende una serie de elementos referidos a criterios, los respectivos antecedentes y las bases legales en que se sustenta la investigación y la definición de términos básicos.

Capítulo III: MÉTODO; donde se explica y describe el diseño y tipo de investigación, además de los métodos e instrumentos a ser utilizados para poder recolectar los datos.

Capítulo IV: RESULTADOS; se exponen los resultados de la investigación.

Capítulo V: ANÁLISIS DE RESULTADOS; se analizan de manera detallada cada uno de los valores obtenidos durante los ensayos.

Capítulo VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CAPÍTULO I.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En los últimos años la población venezolana ha presentado un incremento acelerado, así lo refleja el Instituto Nacional de Estadística (INE) en su portal web donde señala una cantidad de 30 millones de habitantes. Al mismo tiempo, González (2014) indica que la población del país ha experimentado un importante y sostenido crecimiento con una tasa interanual de 1,5 %, (señalado en el portal web del Banco Mundial); paralelamente, se enfatiza el aumento del índice de desempleo que para el año 2015 es de 7,9 %, así lo puntualiza el INE en su portal web. Estos hechos conllevan el aumento de la problemática habitacional, principalmente en los sectores populares del país. Las cifras obtenidas en el Censo del año 2011, revelan que 7,5 millones de venezolanos requieren un hogar.

El presidente de la Cámara Venezolana de la Construcción (CVC) Jaime Gómez, puntualiza que aunque se registró un incremento en la producción de unidades de vivienda, no existe una adecuada planificación para llevar a cabo la construcción de las mismas, ya que para cubrir el crecimiento poblacional debe ser de 118.572 viviendas al año (CVC, 2015). Para la fabricación de superestructuras o infraestructuras, el concreto es el material que ha tenido el mayor uso en la historia de la civilización. Está constituido por cemento Portland, agregados (gruesos y finos) y agua. (Espinoza y Escalante, 2008).

En Venezuela, el cemento tipo Portland es el más utilizado en la construcción por ser de fácil adquisición y bajo costo (22 bolívares fuertes por saco). Así lo estipula el Instituto para la Defensa del Consumidor y el Usuario (INDECU). Sin embargo, en los últimos años la producción de dicho material ha disminuido considerablemente, puesto que la Industria del Cemento trabaja a 50% de su capacidad productiva. Lo anterior es detallado por la Alianza Nacional de Trabajadores del Cemento, cifra que se traduce aproximadamente en 4,5 millones de toneladas métricas en el 2013. El déficit se debe a la falta de inversión y contraloría

de la producción, además del mal estado de los equipos. Es importante señalar, que el 85% de la producción está destinada a la Gran Misión Vivienda Venezuela también lo indica la Alianza Nacional de Trabajadores del Cemento (2013).

Al respecto, Armas (2014) expone en su artículo de prensa que las estadísticas oficiales revelan que la manufactura pública en el cuarto trimestre del 2013, presentó una contracción de 17,9% y en ese resultado incide el pobre desempeño que mostraron las empresas cementeras. Asimismo, el Banco Central de Venezuela (BCV) revela que la Industria Venezolana de Cementos que tiene la mayor capacidad de producción en el país, presentó una baja del 13,1% en el último trimestre del pasado año, por las paradas no programadas que se realizaron ante la falta de materia prima e insumos y las fallas con los equipos para empacar.

De la afirmación anterior se puede concluir que debido a la falta de Cemento Tipo Portland (sin adiciones) como materia prima para la elaboración de concreto estructural, la industria de la construcción está utilizando otros tipos de cementos; entre ellos el cemento Portland Escoria.

El cemento Portland Escoria es definido en la Norma COVENÍN 935-76 como la mezcla íntima y uniforme de cemento Portland y escoria siderúrgica básica granulada, finamente molida. El concreto elaborado con este tipo de cemento debe cumplir ciertos requerimientos físicos y químicos para ser usado en la construcción de estructuras. Sin embargo, en el país se está utilizando y aún no se han realizado estudios detallados sobre su comportamiento estructural.

En virtud de ello, es importante el análisis minucioso de las características de su uso en elementos estructurales que presenta este nuevo material, especialmente cuando se mezcla con el agregado fino, agregado grueso y agua, para elaborar el concreto usado en la industria de la construcción, ya que el cemento Portland Escoria ha sido utilizado en obras civiles y se desea conocer su comportamiento mediante ensayos en su estado fresco y endurecido para contrastar los valores obtenidos con los

establecidos en las diversas Normas venezolanas y concluir en qué tipo de estructura puede usarse.

Para conocer las características del concreto elaborado con cemento Portland Escoria en estado fresco se realiza el ensayo del Cono de Abrams que de acuerdo a la Norma COVENÍN 339-2003 “Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams”, el cual valora el grado de influencia de las propiedades reológicas de la mezcla.

En cuanto a las características físicas del concreto en estado endurecido se realizarán los siguientes ensayos: velocidad del pulso ultrasónico, medición de la dureza esclerométrica y medición de la resistencia a compresión. La velocidad de pulso ultrasónico de acuerdo a la Norma COVENÍN 1681-80 “Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto”, la medición de la dureza esclerométrica el cual se detalla en la Norma COVENÍN 1609-80 “Método de ensayo para la determinación de la dureza esclerométrica en superficies de concreto endurecidas”, y por último se medirá la resistencia a compresión en los cilindros de concreto siguiendo los lineamientos establecidos en la Norma COVENÍN 338-2002 “Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”. Cada una de estas características físicas son importantes ya que nos permite conocer si el concreto cumple con los criterios de aceptación y rechazo, establecidos en la Norma COVENÍN 1976-2003. “Concreto. Evaluación y Métodos De Ensayo”.

De lo anteriormente expuesto se plantean las siguientes interrogantes:

¿Qué asentamiento presentarán las mezclas de concreto elaboradas con cemento Portland Escoria para resistencias de $f'c$ de 210, 250 y 280 kgf/cm²?

¿Cuál será la velocidad del pulso ultrasónico y la dureza esclerométrica de las mezclas de concreto endurecidas fabricadas con cemento Portland Escoria?

¿El cemento Portland Escoria empleado en la construcción cumplirá con la resistencia a compresión para $f'c$ de 210, 250 y 280 kgf/cm²?

1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.1.1. Objetivo general.

Analizar mezclas de concreto elaboradas con cemento Portland Escoria a resistencias f_c de 210, 250 y 280 kgf/cm^2 .

1.1.2. Objetivos específicos.

1.1.2.1 Identificar el asentamiento de mezclas de concreto elaboradas con cemento Portland Escoria, para resistencias de f_c de 210, 250 y 280 kgf/cm^2 .

1.1.2.2 Medir la velocidad del pulso ultrasónico de mezclas de concreto elaboradas con cemento Portland Escoria, para resistencias de f_c de 210, 250 y 280 kgf/cm^2 .

1.1.2.3 Medir la dureza esclerométrica en la superficie de muestras de concreto elaboradas con cemento Portland Escoria.

1.1.2.4 Conocer la resistencia a la compresión en muestras de concreto elaboradas con cemento Portland Escoria.

1.2. APORTES.

En Venezuela, la industria que se encarga de elaborar el cemento Portland escoria es la Industria Venezolana de Cemento (INVECEM), la cual tiene su oficina principal en la ciudad de Caracas y su planta de cemento en la localidad de San Sebastián.

El presente trabajo de investigación, no solo busca cubrir las necesidades que tienen los que lo fabrican, sino también abarca dimensiones de fin común. La importancia de esta investigación de tipo experimental, está reflejada en su utilidad para hacer del conocimiento de ingenieros, técnicos, personal obrero de la industria de la construcción, estudiantes de Ingeniería Civil y carreras afines, cómo es el comportamiento que tienen las mezclas de concreto elaboradas con el cemento Portland Escoria, ya que este tipo de cemento es el que se ha venido utilizando en los últimos meses en la construcción de viviendas en Venezuela.

Además, si los resultados obtenidos en la presente investigación son favorables, sería un aporte al equilibrio ambiental, ya que como se mencionó antes la escoria es un desecho de la industria metalúrgica contaminante y se aumentaría la producción de este tipo de cemento dándole un uso productivo.

El presente trabajo especial de grado también permitirá al Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME-UCV) tomar la investigación como patrón para próximos trabajos especiales de grado, ya que si los resultados obtenidos en los diversos ensayos son positivos y normativos, se podría profundizar la línea de investigación sobre el cemento Portland Escoria y su uso en la construcción de estructuras específicas. Es importante destacar que los ensayos necesarios para conocer las características que presenta este material permitirán avances en la tecnología del concreto.

Por último, para los autores la investigación representa un gran aporte, ya que nos familiariza con las actividades prácticas realizadas en el laboratorio para evaluar

el concreto fresco y endurecido, así como también nos enseña a tener una adecuada planificación para llevar a cabo las actividades que se desarrollarán en cada etapa del método propuesto.

CAPÍTULO II.

2. MARCO TEÓRICO.

El marco teórico tiene como objetivo presentar las bases conceptuales para la elaboración de mezclas de concreto con cemento Portland Escoria. En primer lugar, se presenta los conceptos, composición y características de la escoria, luego se describe brevemente el concepto del cemento y su constitución para así dar entrada a la combinación de ambos materiales, es decir, del cemento Portland escoria donde hoy en día son empleados en la construcción en Venezuela. Además se expone la función del agregado, los tipos de agregados y algunas de sus propiedades principales que se deben de tomar en cuenta para el diseño de mezclas de concreto. De igual manera, se describe los ensayos de asentamiento, velocidad del pulso ultrasónico y determinación del número de rebote o ensayo esclerométrico.

2.1. Escorias siderúrgicas.

La Norma COVENÍN 935-76 define la escoria siderúrgica como el producto no metálico obtenido a la vez con arrabio en hornos siderúrgicos y simultáneamente en silicatos y aluminos-silicatos de calcio. Dicha escoria es granulada para su vitrificación por enfriamiento brusco del material fundido, por agua o por vapor y aire.

Además, es importante resaltar que las escorias siderúrgicas son el resultado de la combinación de gangas o componentes no metálicos de los minerales de las distintas metalurgias con las cenizas de combustibles usados como agente reductor y con la caliza y dolomita empleadas como fundente, o en general de los materiales utilizados para el refinado de los metales.

Calleja (1982) expone que la combinación de los componentes óxidos ácidos y básicos y la formación de los constituyentes de las escorias tienen lugar por fusión a altas temperaturas de unos 1600 °C y enfriamiento del magma fluido a 1400 °C hasta la temperatura ambiente. Este enfriamiento tiene una importancia decisiva en las

propiedades físicas y químicas, y en la naturaleza y comportamiento de las escorias y de los cementos fabricados a base de ellas.

2.2. Composición de las escorias siderúrgicas.

Los componentes ácidos sílice y alúmina se combinan con los componentes básicos cal y magnesio, con distintas relaciones dependiendo de los materiales que utilice cada siderúrgica; puede verse que en la composición de las escorias entran los mismos óxidos que en el Clinker de cemento Portland aunque en proporciones diferentes, de esta manera lo refleja Calleja (1982).

Asimismo, el autor expresa que en la composición de las escorias siderúrgicas con relación a la de otros materiales utilizados para la elaboración de cementos y con el mismo cemento Portland queda de manifiesto el diagrama triangular de Rankine, el cual destaca las diferencias entre una y otras escorias y las puzolanas. Al mismo tiempo pone de manifiesto que las escorias siderúrgicas más idóneas para fabricar cementos supersulfatados son precisamente las escorias aluminosas y aquellas que posean gran contenido de calcio. (Ver tabla I-1) (Ver gráfico I-1)

Tabla I-1 Composición química de escorias siderúrgicas.

Óxidos	%			
	Máximo	Mínimo	Medio	Promedio
CaO	50-55	25-35	40-55	45
SiO₂	40-55	25-40	30-40	30
Al₂O₃ + TiO₂	15-20	5-15	10-15	15
MgO	2-12	0-8	4-6	4
FeO + Fe₂O₃	0-5	0-1	1-1,5	3
SO₃	0-5	0-1	1,5-2,5	1
S⁻²	0-3	0-1	1-1,5	1
MnO	0-3	0-2,5	1-1,5	0,5
Na₂O + K₂O	0-1	0-1	0-0,5	0,5

Fuente: Calleja, José (1982).

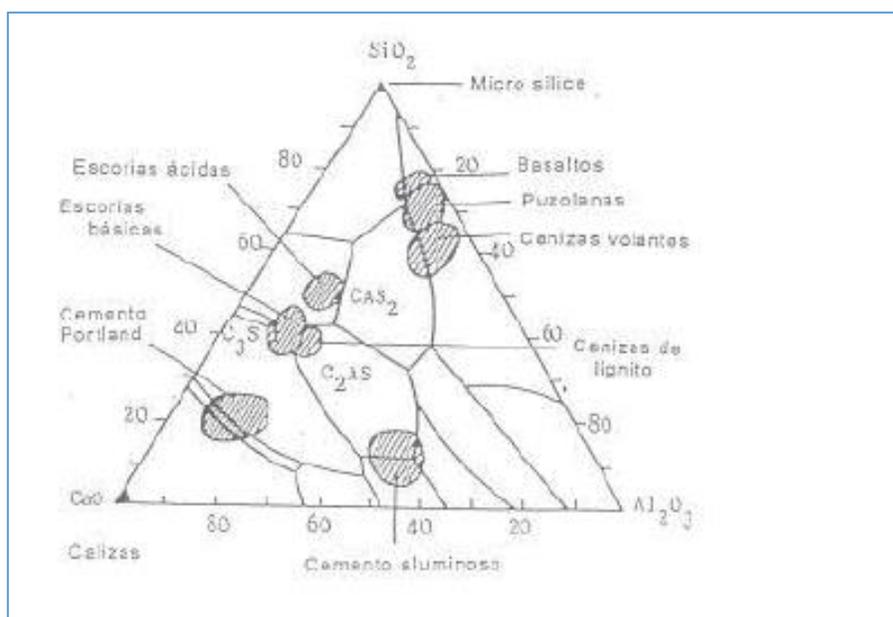


Grafico I-1 Diagrama ternario CaO-SiO₂-Al₂O₃.

Fuente: Vásquez Rosaura (2006).

2.3. Características físicas de la escoria.

Gonzales (1978) muestra que la escoria se presenta en forma de una arena de graduación 0/S. El promedio se encuentra en un diámetro de un milímetro, característico del tipo de granulación adoptado en Chimbote. El porcentaje de finos menores de 149 micrones es pequeño, lo mismo que pasa con los de tamaño mayor de 5 milímetros, que pueden ser considerados inertes.

Igualmente, precisa que la densidad aparente, que en promedio es 1.17 gr/cm³, no coincide con la densidad que caracterizan a las escorias de mayor reactividad. El peso específico promedio es de 1.17 gr/cm³ y se encuentra dentro de lo normal. Cuando el color de la escoria es oscuro, se está en presencia de una escoria de baja calidad y difícil de moler.

2.4. El cemento.

El cemento es el componente activo del concreto e influye en todas las características de este material. Sin embargo, el cemento constituye apenas entre un 10% a un 20% del peso del concreto, siendo el 80% y 90% de materiales restantes el que condiciona la posibilidad de que se desarrollen las propiedades del concreto. (Porrero y otros, 2012).

Por consiguiente, el cemento Portland es definido por Vázquez (2007) como conglomerante hidráulico que al ser hidratado se solidifica y endurece. Se obtiene mediante un proceso industrial, pulverizando a un grado de finura determinado una mezcla fría de arcilla y materiales calcáreos, previamente sometida a cocción, que se denomina Clinker Portland, al cual se le adiciona sulfato de calcio como anhídrido (CaSO_4), yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) o hemihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), para regular el tiempo de fraguado.

2.5. Constitución del cemento.

Porrero y otros (2012) expresan que cuando se habla del cemento, implícitamente se alude al cemento Portland o cemento sobre la base de Portland, ya que son productos aglomerantes que se usan casi exclusivamente con fines estructurales. Para otros aglomerantes distintos, también empleados en la construcción, se suele añadir a la palabra cemento, alguna otra que lo especifique (cemento de escoria, cemento puzolánico, cemento supersulfatado etc.).

Igualmente, los autores indican que el cemento Portland o simplemente cemento, es una especie de cal hidráulica perfeccionada. Se produce haciendo que se combinen químicamente materias de carácter ácido (sílice y alúmina, principalmente) provenientes de arcillas, con otras de carácter básico (primordialmente, cal) aportadas por calizas. Esta reacción tiene lugar entre las materias primas, finamente molidas, calentadas en hornos a temperaturas de semifusión. El producto resultante no es una especie química o mineralógica única, sino una mezcla compleja de minerales

artificiales como silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, yeso, álcalis, magnesia, cal libre, residuo insoluble y ferritoaluminato tetracálcico.

Este material que sale del horno de la fábrica de cemento y que se llama “clinker” o “klinker”, son trozos redondos, de mayor o menor tamaño, formados por conglomerados debido a la semifusión a que estuvo sometido el polvo de las materias primas iniciales. Este Clinker debe ser molido de nuevo a tamaños menores para potenciar la futura capacidad de reacción de los granos de cemento. Esta última molienda se lleva a cabo conjuntamente con una pequeña proporción de yeso, donde la incorporación de yeso impide el fraguado instantáneo. El fino material resultante es el cemento tal como se conoce, capaz de combinarse con agua y dar origen a productos hidratados que se entranan íntimamente entre sí, adquiriendo las propiedades de resistencia y durabilidad que le son características.

2.6. Cemento Portland- Escoria.

La norma COVENÍN 935-76 especifica que cemento Portland-Escoria es una mezcla íntima y uniforme del cemento Portland y escoria siderúrgica básica granulada, finamente molida, el cual se fabrica por la mezcla y homogenización de cemento Portland y escoria básica granulada finamente molida o por molienda conjunta del Clinker y la citada escoria siderúrgica. Es preciso destacar que, en ambos casos se podrá adicionar agua, sulfatos de calcio o ambos, en cantidades que no excedan los límites de trióxido de azufre (SO_3). Por otra parte, la cantidad de escoria obedecerá a razones técnicas de fabricación, y estará comprendida entre los límites de 20% y 70% del peso del cemento Portland Escoria, debiendo cumplir este en todos los casos con los requisitos físicos y químicos mostrados en las tablas I-2 y I-3.

Tabla I-2. Requisitos químicos del cemento Portland-Escoria.

Requisitos	Porcentaje Máximo	Método de ensayo a utilizar.
Trióxido de Azufre (SO₃)	4,0	Métodos de ensayos para análisis químicos para cementos hidráulicos.
Pérdida al fuego	5,0	
Residuos Insolubles	3,0	

Fuente: Norma COVENIN 935-76.

Tabla I- 3. Requisitos físicos del cemento Portland-Escoria.

Requisitos	Método de ensayo a utilizar
Finura (Superficie específica) en cm ² /g De acuerdo con el ensayo de permeabilidad al aire (Blaine) El valor promedio es de 2800cm²/g y el valor mínimo de 2600cm²/g para cualquier muestra.	Método de ensayo para determinar la finura del cemento portland por medio del aparato Blaine de permeabilidad.
Estabilidad del volumen: Porcentaje de expansión en autoclave= 0,5	Método de ensayo para determinar la expansión de autoclave del cemento Portland.
Tiempo de fraguado: No menos de ¾ de horas y no más de 10 horas.	Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de cementos hidráulicos por la aguja de Vicat.
Calor de hidratación: Valores máximos en calorías por gramos. ➤ A los 7 días.....70 gr ➤ A los 28 días.....80 gr	Método de ensayo para determinar el calor de hidratación de cementos hidráulicos.

<p>Resistencia a la compresión en Kg/cm²</p> <p>La resistencia a la compresión de cubos de mortero compuesto de 1 parte de cemento y 2,75 partes de arena normalizada gradada por pesos, preparados y ensayados de acuerdo a la norma COVENIN 484, será igual o mayor a los valores especificados para las edades indicadas a continuación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 1 día en aire húmedo y 2 días en agua..... 85 Kg/cm² ➤ 1 día en aire húmedo y 6 días en agua150 Kg/cm² ➤ 1 día en aire húmedo y 27 días en agua..... 250 Kg/cm² 	<p>Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cementos hidráulicos en probetas cubicas de 5,08 cm (2'') de lado.</p>
---	--

Fuente: Norma COVENIN 935-76.

2.7. Proceso de fabricación del cemento Portland-Escoria.

La etapa inicial para el proceso de fabricación del cemento Portland Escoria es la obtención del material de las canteras para su trituración, el cual es llevado a un depósito donde se realiza la homogenización junto a la materia prima, una vez realizada esta actividad se procede a la molienda de la materia prima donde se adiciona la escoria siderúrgica y da lugar al nuevo cemento empleado en la construcción el cemento Portland Escoria.

Luego de realizar la molienda se lleva acabo el precalentamiento del material, seguido del enfriamiento del Clinker, molienda del cemento y por último el despacho en bolsas.

2.8. Inspección y recepción del cemento Portland-Escoria.

La norma COVENÍN 935-76 especifica que se deberán proporcionar todas las facilidades al comprador para efectuar una inspección y muestreo cuidadoso ya sea en la fábrica o en el lugar de trabajo, según lo especifique el comprador. El muestreo deberá llevarse a cabo de acuerdo al método de muestreo de cementos hidráulicos.

Por otra parte, la norma indica cuándo deberán ser rechazados los cementos Portland Escoria; si el cemento está almacenado a granel en la fábrica durante 6 meses o el cemento en sacos ha estado almacenado localmente por un vendedor por un periodo de 3 meses después de haber realizado las pruebas, podrá ser usado si luego de los ensayos correspondientes todavía cumple las especificaciones. (Ver Anexo C).

2.9. Ventajas del cemento Portland-Escoria.

Puertas (1993) señala que los cementos Portland Escoria se caracterizan por tener las siguientes ventajas:

- Más rápidas y mayores resistencias mecánicas.
- Menor calor de hidratación.
- Mejor impermeabilidad.
- Mejor comportamiento frente a la carbonatación.
- Mayor resistencia al hielo-deshielo.
- Mayor resistencia a las altas temperaturas.
- Mayor resistencia al ataque químico.
- Mayor protección a las armaduras metálicas.
- Resistencia bacteriológica.
- Menor costo y mayor ahorro de energía.

2.10. Desventajas del uso de cemento Portland-Escoria.

- Fraguado más rápido.

- Mayor retracción y formación de microfisuras.
- Alta posibilidad de que se reproduzca mayor reacción arido-alkali.
- Mayor formación de eflorescencias.

2.11. El concreto.

El concreto es un material que se puede considerar constituido por dos partes: una 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 esta pasta. A su vez, la pasta está constituida por agua y un producto aglomerante o conglomerante que es el cemento. Por otra parte, el agua cumple la doble misión de dar fluidez a la mezcla y de reaccionar químicamente con el cemento dando lugar con ello al endurecimiento. Porrero y otros (2012).

2.12. Componentes del concreto.

Aproximadamente un 80% del peso del concreto está compuesto por partículas de origen pétreo, de diferentes tamaños, material denominado usualmente como agregados, áridos o inertes. Por tal motivo, las características de esos materiales son decisivas para la calidad de la mezcla de concreto. La calidad de los agregados depende de las condiciones geológicas de la roca madre, y también de los procesos extractivos. (Porrero y otros, 2012).

Por otra parte, Porrero y otros (2012), recomiendan agregar a la mezcla esos materiales pétreos en dos fracciones, de acuerdo con su tamaño, una que se denomina agregado grueso (usualmente piedra picada, canto rodado natural, o canto rodado picado) y la otra agregado fino (arena natural o arena obtenida por trituración). A veces, se utilizan más de las dos fracciones indicadas, con tamaños intermedios. Una característica fundamental de los agregados, es el diferente tamaño de todos sus granos, lo cual se conoce como granulometría. En principio, debe haber una secuencia gradual, desde los granos más gruesos hasta los granos más finos.

2.13. Los agregados.

Los agregados, también denominados áridos o inertes, son fragmentos o granos, usualmente pétreos, cuyas finalidades específicas son abaratar la mezcla y dotarla de ciertas características favorables, entre las cuales se destaca la disminución de la retracción de fraguado o retracción plástica.

Los agregados constituyen la mayor parte de la masa del concreto, ya que alcanzan a representar entre el 70% y el 85% de su peso, razón por la cual las propiedades de los inertes resultan tan importantes por la calidad final de la mezcla.

La característica de los agregados empleados deberán ser aquellas que beneficien el desarrollo de ciertas propiedades en el concreto, entre las cuales destacan: la trabajabilidad, las exigencias del contenido de cemento, la adherencia con la pasta y el desarrollo de resistencias mecánicas. Porrero y otros (2012).

2.14. Tipos de agregados.

Existen dos tipos de agregados, el agregado fino y el agregado grueso:

2.14.1. Agregados finos (arena lavada): es aquel agregado que pasa por el tamiz de 3/8"; puede pasar todo, dejar una pequeña parte en el tamiz #4 y es fundamentalmente retenido en el tamiz #200. Puede ser natural provenientes de ríos, minas a cielo abierto o artificial la cual es producto de la trituración de rocas.

Uno de los aspectos más importantes del agregado fino es su comportamiento con la humedad, ya que ellas tienen mayor facilidad para retenerla que el agregado grueso y en consecuencia es más difícil de secarlas. La humedad produce variaciones significativas en el volumen de la arena, dependiendo estos cambios de la composición granulométrica del agregado, esto es, mientras más fina es la arena mayor es la humedad, y por lo tanto mayor la variación de volumen (Porrero y otros, 2012).

2.14.2 Agregados gruesos (piedra picada): constituye la parte del agregado que queda retenido en el tamiz #4 y todos los demás colocados por encima de este, y que son recomendados por las normas COVENÍN 277-2000 “Criterios de aceptación y rechazo de los agregados”.

Cuando el agregado grueso es obtenido por trituración de rocas, material que se conoce como “piedra picada”, resultan granos semiangulosos, de superficie más rugosa y buena adherencia.

Los cantos rodados son redondeados, suelen tener una resistencia alta y superficie lisa que permiten trabajarlos con menos agua, pero que se adhieren menos fuertemente a la pasta. Los cantos rodados triturados son angulosos y en consecuencia dan menor trabajabilidad, lo cual queda compensado en parte por tener superficie rugosa y por consiguiente una adherencia mayor (Porrero, Joaquín y otros, 2012).

2.15. Propiedades de los agregados.

Según Porrero y otros (2012) algunas de las propiedades principales de los agregados son:

- **Granulometría:** la granulometría es la composición del material en cuanto a la distribución del tamaño de los granos que lo integran. Esta característica decide, de manera muy importante, la calidad del material para su uso como componente del concreto.
- **Tamaño máximo:** se denomina tamaño máximo de un agregado al tamaño de sus partículas más gruesas, medido como abertura del cedazo de menor tamaño que deja pasar el 95% o más del material. Desde el punto de vista técnico, su relación con las características de la mezcla es decisiva para la calidad y economía de ésta.
- **Peso Unitario:** es el que se toma como volumen de referencia. Existen dos tipos de peso unitario: el suelto, el cual se determina llenando un recipiente de volumen conocido y estable, con el agregado, dejándolo caer libremente desde cierta altura; después se pesa y se establece la relación peso/volumen (Norma COVENIN 263-

1978, “Método de Ensayo para Determinar el Peso Unitario del Agregado” y ASTM C29), y el compactado que se realiza mediante un proceso parecido al anterior, pero se compacta el material dentro del molde (Norma COVENIN 263-1978 “Método de Ensayo para Determinar el Peso Unitario del Agregado” y ASTM C29).

- **Peso específico:** es el peso del volumen absoluto de la materia sólida del agregado, sin incluir huecos entre granos, es decir, espacios vacíos (Normas COVENIN 268-98 y COVENIN 269-98).
- **Humedad y absorción:** los agregados suelen retener algunas cantidades de agua en forma de humedad. La humedad se considera como la diferencia en peso entre el material húmedo y el mismo material secado al horno. Se suele expresar como porcentaje en peso, referido al material seco.

Esta humedad se encuentra en los agregados de dos maneras diferentes, una es rellenando los poros y microporos internos de los granos, y la otra es como una película o capa envolvente, más o menos gruesa.

Para la determinación de la humedad y de la absorción, tanto de los agregados gruesos como de las arenas (finos), hay ensayos normativos (Norma COVENIN 268-98, “Agregado fino, Determinación de la densidad y la absorción”, Norma COVENIN 269-98, “Agregado grueso, Determinación de la densidad y la absorción” y la Norma COVENIN 272 “Método de ensayo para determinar la humedad superficial en el agregado fino”).

2.16. Relación Beta (β).

El valor β define la relación de combinación existente entre los dos o más agregados de la mezcla, se expresa como el cociente entero entre el peso de los agregados finos y los agregados totales (la suma de finos más gruesos). Generalmente este valor se expresa en porcentaje.

El valor de la relación β debe ser seleccionado de tal forma que la combinación de agregados tenga una granulometría, para su tamaño máximo, que se ubique dentro de los límites recomendados. Cuando se requieran diseños especiales, los valores granulométricos obtenidos podrán no cumplir con los límites; en dicho caso es necesario justificar estas condiciones y los ajustes necesarios.

En aquellos diseños que presenten tres o más tipos de agregados, el valor de β expresará en porcentajes la proporción que cada material tendrá con respecto al volumen total de agregados utilizados. (Porrero y otros, 2012).

2.17. Resistencia de los agregados.

La resistencia de los agregados es también decisiva para la resistencia del concreto fabricado con ellos. Dada su alta proporción en la mezcla, no se puede pretender que esta alcance resistencias mayores a la de los granos pétreos que la integran. La correspondencia entre las variables, relación agua-cemento y resistencia mecánica, está condicionada en buena parte por la calidad resistente de los agregados, además de por la dosis de agua en la pasta.

Los concretos hechos con agregados de baja resistencia, tienen poca resistencia al desgaste, lo que puede resultar crítico en pavimentos, túneles de desvió en represas, tuberías a presión, etc.

La resistencia más crítica es la del agregado grueso. Para medirla se acude al ensayo de desgaste que produce la máquina conocida como la de los Ángeles (Norma COVENIN 266-77, “Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste de agregados gruesos, menores de 38,1 mm (1 1/2 pulgadas), por medio de la máquina de los Ángeles” y Norma COVENIN 267-77. “Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste de agregados gruesos mayores de 19,0 mm, por medio de la máquina de los Ángeles, ASTM C 131, y ASTM C 535”), Las normas suelen permitir límites de desgaste del 40%. Sin embargo, de acuerdo a las condiciones del concreto

deseado, se pueden requerir límites más exigentes. Los agregados de alta resistencia al desgaste pueden tener pérdida de menos del 20% (Porrero y otros, 2012).

2.18. Control de calidad.

La industria de la construcción, al igual que todas las actividades de producción hacen énfasis en el control de calidad de sus productos, tomando en cuenta ciertos criterios y prácticas que serán beneficiosas tanto para el productor, como para el comprador. Porrero Joaquín y otros (2012), indican que la calidad del concreto va a depender de la calidad de sus componentes, de la calidad del diseño de la mezcla y su posterior preparación y manejo, de los cuidados de uso y mantenimiento y también del grado de satisfacción de las exigencias de uso.

La norma COVENÍN 1753-2006 “Estructuras de concreto reforzado para edificaciones, análisis y diseño”, específicamente en el capítulo 3, expone los requerimientos normativos sobre la calidad que deben satisfacer los materiales a ser empleados en obras de concreto reforzado. En la misma norma se describe los ensayos que deben hacerse a los componentes del concreto, así como también los que se hacen al cemento fresco, luego de elaborada la mezcla y por último, al concreto endurecido.

2.19. Diseños de mezclas.

Se conoce como diseños de mezclas el procedimiento mediante el cual se calculan las cantidades que debe hacer de todos y cada uno de los componentes que intervienen en una mezcla de concreto, para obtener de ese material el comportamiento deseado, tanto durante su estado plástico como después, en estado endurecido. Los requisitos que una dosificación apropiada debe cumplir son:

- Economía y manejabilidad en estado fresco;
- Resistencias, aspecto y durabilidad en estado endurecido.

En algunos casos puede ser importante el color, peso unitario, textura superficial y otros. Las cantidades de los componentes sólidos, agregados y cemento,

suelen expresarse en kilogramos por metro cúbico de mezcla. El agua puede expresarse en litros o kilogramos entendiendo, para el diseño de mezclas, que un kilogramo de agua equivale a un litro de agua.

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

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

Además de cumplir su propósito de establecer las cantidades a usar de cada componente, el diseño de mezclas es una importante herramienta para el análisis teórico de la influencia de ciertos cambios que se pueden producir en los materiales o en las proporciones que pudieran tener sobre el concreto. Esto abre puerta a la toma de decisiones sobre aspectos relativos a materiales, equipos, costos, controles y otros.

Inevitablemente, los diseños de mezclas tienen cierto grado de imprecisión debido a que las variables que condicionan la calidad y el comportamiento del concreto son numerosas y difíciles de precisar. Los ajustes que pueden dar más exactitud a las proporciones de los componentes solo pueden conseguirse mediante “mezclas de prueba”, tanto de laboratorio como de obra.

En algunas circunstancias, en las que no es tan necesario precisar la dosificación del concreto, o donde las exigencias al material no son particularmente críticas se pueden usar algunas reglas sencillas, o generales, para establecer las proporciones entre los componentes, empleando “recetas” aplicables a esos casos. Hay que advertir que esas fórmulas deben ser tomadas solo como un punto de partida,

sobre el cual, la experiencia y los conocimientos de los responsables de la obra, podrán añadir los ajustes que sean necesarios para lograr, en definitiva el concreto deseado (Porrero y otros, 2012).

2.20. Datos de entrada para el diseño de mezcla.

Los datos de entrada constituyen la información básica a partir de la cual, siguiendo un procedimiento detallado, puede llegarse a la dosificación de la mezcla deseada. Los datos de entrada básicos son:

- Condiciones ambientales y, particularmente, del lugar de la obra.
- Tipo de obra, o parte de la estructura y sus dimensiones.
- Tipo de agregado y tipo de cemento.
- Resistencia del diseño de mezcla o algún dato relacionado.

Es importante recalcar que cualquiera de las variables a considerar en el diseño de mezclas pueden ser datos de entradas, pero cada método escoge las que le son propias (Porrero y otros, 2012).

2.21. Ley de Abrams.

Porrero y otros (2012) formulan que esta ley establece la correspondencia entre la resistencia del concreto y la relación triangular agua/cemento, en peso, que se ha simbolizado como “valor α ”:

$$\alpha = a/c \quad \text{[Ecuación II-1]}$$

Dónde: a; representa la cantidad de agua en litros o en kilogramos fuerza;

c; representa la dosis de cemento en kilogramos fuerza.

Sabiendo que la relación agua/cemento en peso ($\alpha = a/c$), y la resistencia media a la compresión (R) pueden relacionarse mediante la siguiente formula:

$$R = M / N^\alpha \quad \text{[Ecuación II-2]}$$

Según la Norma COVENIN 338-2002, “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”, los valores aproximados de las constantes son:

$$M = 902,5 \text{ (con R expresada en Kgf/cm}^2\text{)}$$

$$N = 8,69$$

2.22. Cono de Abrams.

El asentamiento medido con el Cono de Abrams, según la Norma COVENÍN 339-2003, “Concreto. Método para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams” y ASTM C143, cuyo equipo se describe en Imagen II-1, es un índice bastante práctico; aunque no mide todas las propiedades plásticas de la mezcla, ni las valora con el mismo grado de influencia que ellas realmente tienen en el concreto, brinda una información útil sobre todo en términos comparativos. Se usan también otros métodos de ensayo que, aun adoleciendo de restricciones similares a las del Cono, valoran el grado de influencia de las propiedades reológicas de otra forma y resultan más convenientes en algunos casos específicos, como se verá más adelante. Como índice general, estos otros métodos no tienen ventajas decisivas sobre el Cono lo cual, unido a la facilidad práctica de ejecución del ensayo de Abrams, a la experiencia de su empleo y a la simplicidad de su equipo, hacen que el Cono sea el método más empleado, con gran diferencia respecto a los otros.



Imagen II-1. Instrumentos usados para realizar el ensayo de asentamiento.

Fuente: <http://wp.cienciaycemento.com> (2015).

Independientemente de estos aspectos, el Cono tiene limitaciones, ya que es útil solamente para concretos con agregados pétreos, tamaños máximos menores a 5 centímetros y con relativa plasticidad, caracterizada por asentamientos entre unos 2 y 17 centímetros.

Por otra parte, Porrero y otros (2012) indican que otra limitación del Cono de Abrams es su insensibilidad para concretos ásperos o pedregosos. En los concretos normales, la masa del Cono ya desmoldada, suele quedar de forma más o menos abombada según su asentamiento, simétrica y con la superficie superior casi plana. Las mezclas pedregosas, al ser desmoldadas, suelen tomar forma del Cono con su base superior inclinada o totalmente caída lateralmente o se desmoronan, según sea su contenido de agua. En cierto modo, este resultado indicaría un concreto propenso a la segregación.

Del mismo modo, los mencionados autores manifiestan que la propiedad del concreto fresco menos representada por el Cono es la compactibilidad. El ensayo utiliza como única energía de deformación la gravedad mientras que, en la práctica, sobre esa fuerza se sobreponen las proporcionadas por otros medios en especial por

la vibración, de tal manera que el Cono no puede representar adecuadamente la mayor o menor facilidad que puede tener el material para acomodarse en el encofrado, entre las armaduras. Para evaluar este aspecto es preciso acudir a algunos de los otros procedimientos, menos usuales como los penetrometros, con distintas geometrías de penetración, como la Bola de Kelly.

El Cono de Abrams, además de dar información sobre aspectos de la reología del concreto, sirve como una medida indirecta del contenido de agua de la mezcla y de ciertas variaciones en algunas propiedades de los componentes. Ambos datos son importantes para quienes están diseñando las mezclas. Esto pone de manifiesto la atención y el cuidado con que deben ser realizados los ensayos, de los que se obtienen informaciones directrices. (Ver Imagen II2).

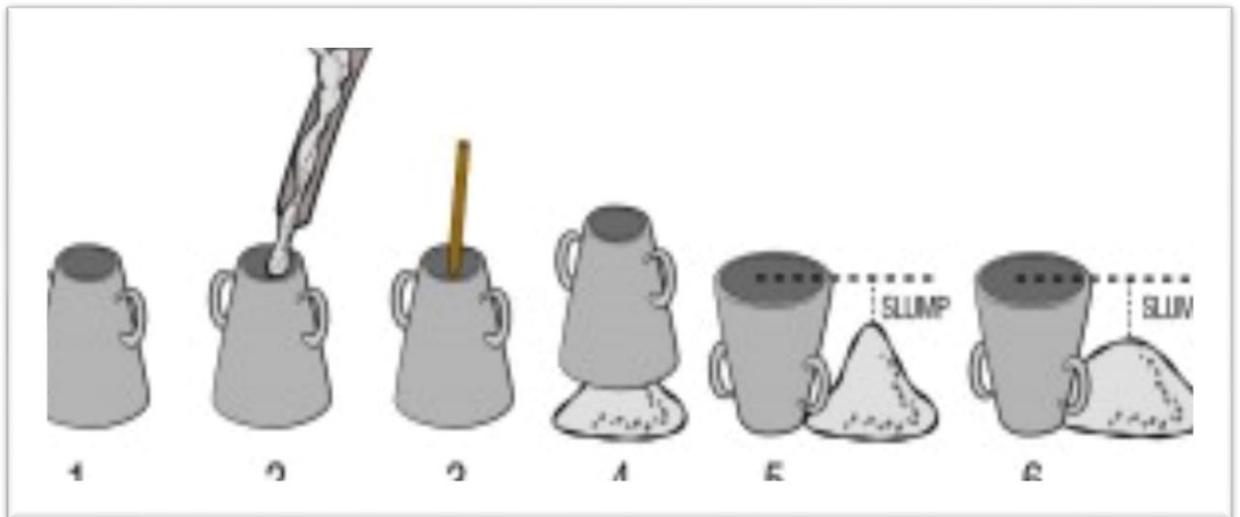


Imagen II-2. Resumen del ensayo de asentamiento.

Fuente: <http://wp.cienciaycemento.com> (2015).

2.23. Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico.

Este ensayo consiste en medir el tiempo que tarda un pulso ultrasónico en atravesar la masa de concreto que se está evaluando. La técnica más común y confiable consiste en colocar, en dos caras opuestas del elemento a estudiar, enfrentados, el emisor en una y el receptor de las ondas ultrasónicas en la otra.

Ambos terminales deben establecer en un buen contacto con la superficie del concreto, evitando vacíos intermedios donde resulta muy baja la velocidad de propagación; para lograr ese buen contacto, a los terminales se les unta una capa de grasa especial. Ambos conectados a un dispositivo que, por interferencia electrónica, indica el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción de la onda. Dividiendo ese tiempo entre la distancia que hay entre las caras donde los terminales hacen contacto con el concreto, se obtiene la velocidad característica del material en esa zona, generalmente expresada en m/seg (el orden de magnitud es de pocos miles). Por ser transmisión directa, a mayor velocidad corresponde una mayor densidad y mayor resistencia.

Para que los resultados del ensayo de pulso ultrasónico sean confiables, debe cumplirse con lo indicado en la Norma COVENIN 1681-80, “Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto” y cuidar los siguientes aspectos:

- El aparato de ensayo debe estar adecuadamente calibrado y usarse en la correspondiente escala de apreciación. El equipo se suministra con una barra de calibración, útil para estos menesteres.
- Los terminales deben estar en perfecta oposición. Para lograr eso es bueno mantener fijo un terminal y mover ligeramente el opuesto, hasta lograr la lectura mínima.
- En lo posible, se debe evitar la presencia del acero de refuerzo en la trayectoria entre los terminales. Por eso es bueno contar, previamente, con los planos de detalle estructural o con mediciones de ubicación de las armaduras hechas con electroimanes de alta densidad (por ejemplo, sistema “ferroscan”)
- Resulta conveniente tener alguna idea del estado de humedad del concreto, ya que ella favorece la velocidad de transmisión.

La velocidad de propagación de las ondas de un pulso ultrasónico es una función de la densidad y de las constantes elásticas del material. En elementos de concreto, las variaciones en densidad pueden ocurrir como consecuencia de una

consolidación no uniforme y las variaciones en las propiedades elásticas pueden ocurrir debido a variaciones en los materiales constitutivos, en la preparación de la mezcla, o durante el curado (Porrero y otros, 2012).

2.24. Determinación del Número de Rebote o Ensayo Esclerométrico.

Esta determinación se realiza con la ayuda de un aparato denominado “esclerómetro” (instrumento que sirve para medir la dureza de los cuerpos), capaz de registrar el rebote de cierta masa que impacta sobre la superficie del concreto, o ensayo esclerométrico. Al producirse el impacto, parte de la energía cinética que trae la masa se convierte en deformación de la superficie de concreto; el remanente es lo que da lugar al rebote, por lo que es evidente que, a mayor rebote mayor dureza superficial y, presumiblemente, mayor resistencia del concreto. El procedimiento debe efectuarse de acuerdo con la Norma COVENIN 1609-80, “Método de ensayo para la determinación de la dureza esclerométrica en superficies de concreto endurecido” (Porrero y otros, 2012).

2.25. Tipos de fallas en los cilindros sometidos a compresión.

Los tipos de fallas que se pueden presentar en los cilindros sometidos a compresión son:

- Falla por presencia de agregado plano.
- Falla por rotura del agregado.
- Falla por la resistencia de la pasta.

Además de esto se puede observar en el siguiente diagrama las posibles fallas de los cilindros sometidos a compresión. Ver Anexo (A).

CAPÍTULO III.

3. MÉTODO.

El presente trabajo especial de grado se caracteriza por ser una investigación de tipo experimental, con el propósito de analizar las mezclas de concreto elaboradas con cemento Portland escoria a resistencias $f'c$ de 210, 250 y 280 kgf/cm^2 ; en un marco referencial actual con un grado de control alto, donde se harán tres diseños de mezclas; posteriormente, en estado endurecido, se analizarán sus características físicas contrastándolas con las establecidas en las normativas venezolanas.

Es importante destacar, que para cumplir los objetivos propuestos en la investigación se elaboró un plan de trabajo, que abarca las siguientes etapas:

3.1. Recopilación de información bibliográfica y estudios previos realizados.

En esta etapa inicial se recopiló toda la información bibliográfica en textos, artículos de prensa, trabajos especiales de grado y en las normativas venezolanas que guarden relación con el objeto de estudio de la presente investigación, representado por el cemento Portland Escoria, los agregados y el agua. Además, la implementación de este tipo de cemento en la industria de la construcción.

3.2. Obtención de los materiales: arena lavada, piedra picada y cemento Portland Escoria.

Se seleccionaron los materiales a ser usados en este trabajo especial de grado, para el caso de los agregados se obtuvo la arena lavada de río como se muestra en la Imagen (III-1) y la piedra picada de 1" proveniente de canteras como se muestra en la Imagen (III-2), todos estos agregados fueron donados por la empresa GARCIA & QUINTANA Ingenieros Asociados C.A. El cemento Portland Escoria se obtuvo por medio de donativos hechos por las empresas constructoras ubicadas en el Fuerte Tiuna al Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), el cemento Portland Escoria se muestra en la Imagen (III-3).

Es preciso acotar, que todos los materiales presentaron las características óptimas, ya que de ellos dependerán los resultados que se obtendrán al final de la investigación.



Imagen III-1 Arena lavada.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 11-06-2015.



Imagen III-2 Piedra Picada.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 11-06-2015.



Imagen III-3 Cemento Portland Escoria.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 11-06-2015.

3.3. Caracterización de los agregados.

En esta etapa los agregados serán sometidos a diversos ensayos de laboratorio para determinar sus características físicas, estos ensayos son los siguientes:

- Granulometría del agregado fino.
- Granulometría del agregado grueso.
- Desgaste de Los Ángeles (agregado grueso).
- Densidad y Absorción del agregado fino.
- Densidad y Absorción del agregado grueso.
- Peso Unitario suelto y compacto del agregado fino.
- Peso Unitario suelto y compacto del agregado grueso.
- Contenido de Humedad del agregado fino.
- Contenido de Humedad del agregado grueso.

Los ensayos se llevaran acabo de acuerdo a lo establecido en las Normas COVENÍN (255-1998, 266-1977, 268-1998, 269-1998, 263-1978, 1375-1979). Dichos ensayos se realizarán en las instalaciones del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela.

3.3.1. Granulometría del agregado fino.

Para el ensayo de granulometría del agregado fino (arena lavada), se tomó en cuenta la Norma COVENÍN 255-1998 “Agregados. Determinación de la composición granulométrica”. La balanza utilizada para este ensayo es de marca OHAUS Adventurer™Pro con apreciación de 0,1gr como se muestra en la Imagen (III-4), en el cual se pesó una muestra de 500gr en su condición húmeda para luego ser llevada al horno por 24 horas y pesarla nuevamente como se muestra en la Imagen (III-5).



Imagen III-4 Balanza OHAUS Adventurer™Pro.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 17-06-2015.



Imagen III-5 Arena Lavada en estado seco.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 17-06-2015.

Luego de ser llevada al horno por 24 horas y pesarla, se ordenaron los tamices de mayor a menor, empezando con ¼”, #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200 y por último el fondo como se muestra en la Imagen (III-6).



Imagen III-6 Tamices ordenados de mayor a menor.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 17-06-2015.

Una vez ordenados los tamices de mayor a menor, se procedió hacer el tamizado de la muestra de 500 gr en su estado seco (después de transcurrida las 24 horas en el horno), el cual se realizó manualmente durante 5 minutos por los cedazos ¼”, #4, #8, #16, #30, #50, #100 y por último se pesó el material retenido en cada tamiz. Se determinó el pasante #200 de la muestra de 500 gr siguiendo el procedimiento de la Norma COVENIN 258-1988. “Método de ensayo para la determinación por lavado del contenido de materiales finos que el cedazo COVENIN 74 micras en agregados minerales”, el cual consistió en realizar un lavado de la muestra sobre el tamiz #200 y colocarla al horno durante 24 horas como se muestra en la Imagen (III-7) e Imagen (III-8) para luego ser pesada en la balanza de

apreciación 0,1gr y calcular el porcentaje (%) pasante como se muestra en la ecuación [III-1].

$$\% \text{ Pasante} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} * 100 \quad [\text{Ecuación III-1}]$$

Donde:

%Pasante: Porcentaje más fino que el cedazo COVENIN 74 micras (#200).

W₀: Peso seco original de la muestra (Kg).

W₁: Peso seco de la muestra después de lavada (Kg).



Imagen III-7 Lavado de la muestra sobre el tamiz #200.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 17-06-2015.

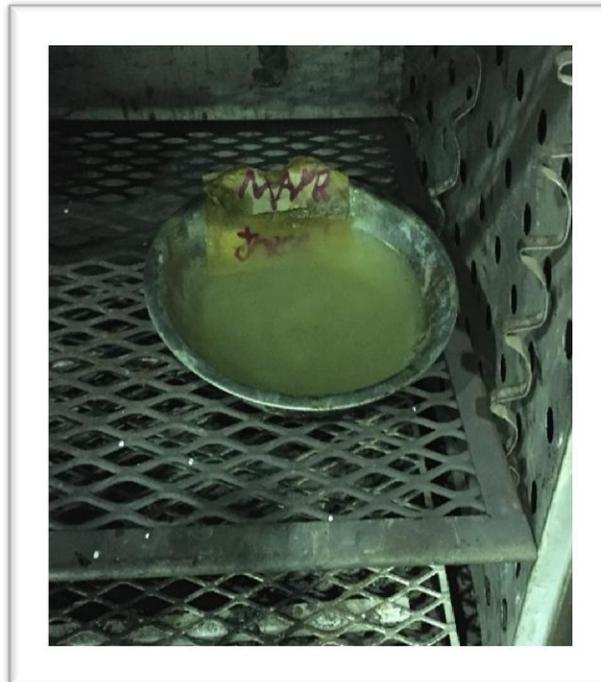


Imagen III-8 Muestra pasante del tamiz #200 en el horno.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 17-06-2015.

Es de gran importancia resaltar que los equipos e instrumentos utilizados para la realización de este ensayo se encuentran en la nave de ensayos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela y se recomienda colocarse guantes y tapa bocas durante la elaboración del ensayo para evitar malestares, aunque no es obligatorio.

3.3.2. Granulometría del agregado grueso.

Para el ensayo de la granulometría del agregado grueso (piedra picada), se tomó en cuenta la Norma COVENIN 255-1998 “Agregados. Determinación de la composición granulométrica”. La balanza utilizada para este ensayo es de marca TOLEDO con capacidad máxima de 50 Kg y apreciación de 500gr como se muestra en la Imagen (III-9), en el cual se taro el recipiente a utilizar para proceder a pesar una muestra de 20Kg en su condición ambiental, para luego ser llevada al horno por 24 horas y pesarla nuevamente como se muestra en la Imagen (III-10).



Imagen III-9 Balanza TOLEDO.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 17-06-2015.



Imagen III-10 Piedra Picada en estado seco.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 17-06-2015.

Después de ser llevada al horno por 24 horas y pesarla, se procedió a colocarla durante 5 minutos en una cernidora mecánica modelo Gilson Screen, la cual cuenta con los siguientes tamices: 2", 1½", 1", 1/2", 3/8", 1/4" y por último el fondo como se muestra en la Imagen (III-11). Es importante comentar que la cernidora con la que se realizó el tamizado del agregado grueso no contiene el tamiz ¾", por lo tanto se realizó manualmente este tamizado como se muestra en la Imagen (III-12) y el material pasante se volvió a colocar en el cernidora para obtener así los porcentajes de pasante y retenido correctos por los tamices 1/2", 3/8" y 1/4".



Imagen III-11 Cernidora modelo Gilson Screen del agregado grueso.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 17-06-2015.



Imagen III-12. Tamizado del agregado grueso por el tamiz $\frac{3}{4}$ "
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 17-06-2015.

Por último se pesó el fondo, de manera de obtener el porcentaje pasante por cada tamiz.

Es importante resaltar que los equipos e instrumentos utilizados para la realización de este ensayo se encuentran en la nave de ensayos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela y se recomienda colocarse guantes y tapa bocas durante la elaboración del ensayo para evitar malestares, aunque no es obligatorio.

3.3.3. Desgaste de los Ángeles.

Para la realización de este ensayo se siguió el criterio establecido en la Norma COVENIN 266-1977 “Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste en los agregados gruesos, menores de 38,1mm (1 ½”) por medio de la máquina Los Ángeles”.

Finalizado el ensayo de granulometría del agregado grueso, como se explicó anteriormente en el punto 3.3.2, se procedió a separar el material según su gradación usando la Imagen (III-13), para así poder clasificarlo, donde se obtuvo el grupo tipo

(B), el cual contiene 2500gr del material retenido en el tamiz de 1/2” y 2500gr retenido en el tamiz 3/8”, por ser perteneciente al grupo tipo B se colocaron 11 esferas de diámetro de 17/8” teniendo como función ser la carga abrasiva y se realizaron 500 revoluciones (vueltas) en un tiempo aproximado de 13 minutos.

ABERTURA DE CEDAZOS		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS						
Pasa	Retenido	GRADACIONES						
		A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	1/4"			2500				
1/4"	N° 4			2500			3263	
N° 4	N° 8				5000			
Peso Total:		5000	5000	5050	6000	10000	10000	10000
N° Revolut.		500	500	500	500	1000	1000	1000
N° Esferas		12	11	8	6	12	12	12

Imagen III-13 Tabla de Gradaciones de muestras de ensayo (Agregado Gueso).
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 17-06-2015.

La máquina de Los Ángeles se muestra en la Imagen (III-14), la cual contiene un diámetro interior de 28” y un largo de 20”, utilizada para realizar el ensayo de “Desgaste de los Ángeles” insertando dentro de ella el agregado grueso y las 11 esferas correspondientes al grupo B.



Imagen III-14 Máquina de Los Ángeles.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 17-06-2015.

Es importante resaltar que la maquina se debe calibrar, el cual se contó con la ayuda del Técnico Elioner, quién calibró la máquina para poder empezar a realizar el ensayo. Igualmente, se debe sellar correctamente la máquina y en caso de que alguna persona permanezca dentro del laboratorio deben tener equipos de protección auditiva para prevenir algún tipo de daño a la salud.

Luego de transcurridas las 500 vueltas, se retiró el material de la máquina y se procedió a tamizar por el tamiz #12, seguidamente se pesó el material retenido en el mismo, en una balanza con apreciación de 0,1gr como se muestra en la Imagen (III-15) y se calculó el porcentaje de desgaste por medio de la ecuación [III-2].



Imagen III-15 Peso del material pasante por el tamiz #12.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 17-06-2015.

$$\%D = \frac{P_o - P_f}{P_o} * 100 \quad \text{[Ecuación III-2]}$$

Donde:

%D: Porcentaje de desgastes a que fue sometido la muestra (%D).

Po: Peso inicial de la muestra (Kg).

Pf: Peso final después del desgaste Los Ángeles y luego de tamizar el material por el tamiz #12 (Kg).

Los equipos e instrumentos utilizados para la ejecución de este ensayo se encuentran en la nave de ensayos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela.

3.3.4. Densidad y Absorción del agregado fino.

Para determinar la densidad y absorción del agregado fino se usó la Norma COVENIN 268-1998 “Agregado Fino. Determinación de la densidad y absorción”.

Los instrumentos empleados para llevar a cabo este ensayo fueron: la balanza con apreciación de 0,1gr, una estufa, una espátula, un picnómetro con volumen de 500ml para una muestra de 500gr, un molde metálico de forma tronco-cónica con diámetro superior de 40mm, diámetro inferior de 90mm y altura de 75mm y un compactador (barra metálica) que pesa 340gr con diámetro de 25mm. Estos instrumentos se pueden observar en la Imagen (III-16).



Imagen III-16 Instrumentos a utilizar en el ensayo de densidad y absorción del agregado fino.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 30-06-2015.

Para dar inicio al ensayo se tomó una muestra representativa de 2000gr (2Kg) de arena lavada, la cual fue sumergida durante 24 horas como se muestra en la Imagen (III-17), para garantizar la saturación de los poros. Seguidamente, se extendió

la muestra en un molde y se procedió a secar con una estufa la superficie del material como se muestra en la Imagen (III-18), revolviendo la muestra con una espátula con frecuencia para garantizar un secado homogéneo durante aproximadamente 15 minutos.



Imagen III-17 Arena lavada sumergida en agua durante 24 horas.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 29-06-2015.



Imagen III-18 Secado superficial del material por medio de la estufa.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 30-06-2015.

Durante el secado del material en la estufa se procedió a realizar el ensayo del cono de arena, el cual se encuentra especificado en la Norma mencionada anteriormente. Donde la muestra deberá ser colocada en el cono y compactada mediante 25 golpes en caída libre, para luego levantar el molde (cono) y poder observar si la muestra se mantiene igual o se derrumba, en caso de que la muestra se derrumbe como se muestra en la Imagen (III-19), quiere decir que el agregado a alcanzado la condición de saturado con superficie seca, de no ser así se debe repetir el procedimiento hasta alcanzar dicha condición.



Imagen III-19 Muestra ya alcanzada la condición de saturado con superficie seca.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 30-06-2015.

Una vez que el material haya alcanzado la condición de saturado con superficie seca (S.S.S), se introdujeron 500gr de la muestra en el picnómetro y se añadió agua de forma gradual hasta alcanzar la marca de calibración, al tiempo que se retiraban las burbujas de aire, para así poder determinar la masa del picnómetro con la muestra y el agua como se muestra en la Imagen (III-20). Asimismo, se pesó también el picnómetro con agua como se muestra en la Imagen (III-21).

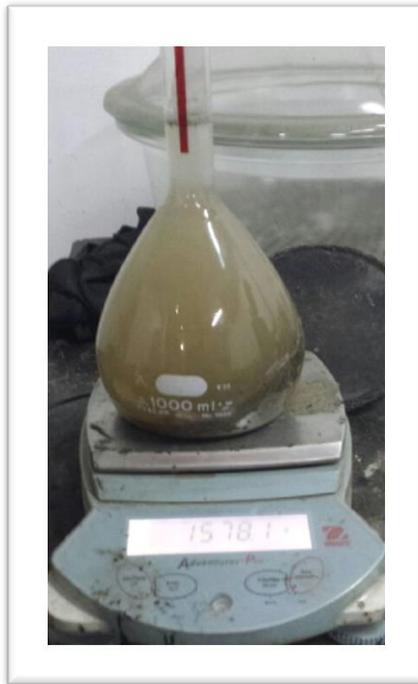


Imagen III-20 Peso de la muestra saturada con superficie seca de 500gr y agua en el picnómetro.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 30-06-2015.

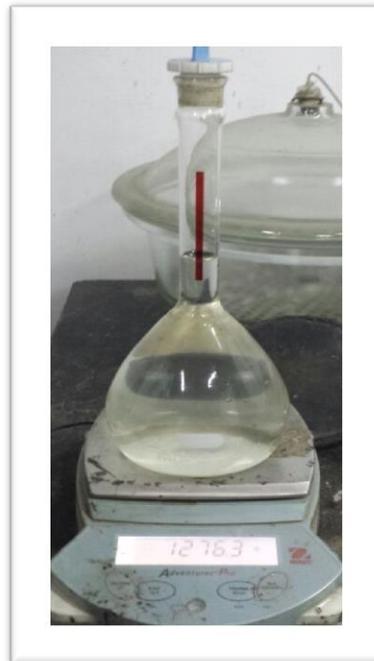


Imagen III-21 Peso del agua en el picnómetro.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 30-06-2015.

Posteriormente, se retiró el material del picnómetro y se secó a temperatura de 100°C en el horno durante 24 horas, para determinar la masa de la muestra seca en el aire. Finalmente se procedió a determinar la densidad aparente como se muestra en la ecuación [III-3] y la absorción como se muestra en la ecuación [III-4].

$$ds = \frac{d * M_1}{M_a + M_1 - M_p} \quad \text{[Ecuación III-3]}$$

Dónde:

ds: Densidad aparente (gr/ml).

d: Densidad del agua (0,1gr/ml).

M₁: Masa en el aire de la muestra seca (gr).

M₂: Masa en el aire de la muestra saturada con superficie seca (gr).

M_a: Masa del picnómetro con agua (gr).

M_p: Masa del picnómetro con la muestra más agua (gr).

$$A = \frac{M_2 - M_1}{M_1} * 100 \quad \text{[Ecuación III-4]}$$

Dónde:

A: Porcentaje de absorción (%A).

M₁: Masa en el aire de la muestra seca (gr).

M₂: Masa en el aire de la muestra saturada con superficie seca (gr).

Es substancial resaltar, que el cálculo de la absorción se realiza para conocer el cambio en la masa de un agregado por el agua retenido en los espacios de los poros saturables. Igualmente todos los equipos e instrumentos utilizados para la ejecución de este ensayo se encuentran en la nave de ensayos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela.

3.3.5. Densidad y Absorción del agregado grueso.

Para determinar la densidad y absorción del agregado grueso se usó la Norma COVENÍN 269-1998 “Agregado Grueso. Determinación de la densidad y absorción”.

Los instrumentos empleados para llevar a cabo este ensayo fueron: la balanza con apreciación de 0,1gr y 500gr, un paño para secar superficialmente el material y un molde metálico para sumergir la muestra, pesarla y llevarla al horno.

Para dar inicio al ensayo se tomó una muestra 7000gr (7Kg) la cual fue sumergida durante 24 horas y así garantizar la saturación de los poros. Después de transcurrir el tiempo estipulado se procedió a secar el material superficialmente con la ayuda de un paño como se muestra en la Imagen (III-22) hasta quedar saturado con superficie seca, luego se tomó una muestra de 500gr como se muestra en la Imagen (III-23), inmediatamente se introdujo en agua a 23°C como se muestra en la Imagen (III-24), agitando el recipiente con el fin de eliminar el aire del material sumergido y poder determinar su peso sumergido.



Imagen III-22 Secado del material superficialmente.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 30-06-2015.



Imagen III-23 Peso de la muestra saturado con superficie seca.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 30-06-2015.



Imagen III-24 Peso sumergido de la muestra de 500gr.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 30-06-2015.

Una vez obtenido el peso sumergido se sacó la muestra del agua y se colocó sobre una tara para llevarla al horno y secarla durante 24 horas, luego se sacó del horno y se dejó reposando aproximadamente 1 hora para poder pesarla y obtener el peso del material seco.

Finalmente, se procedió a determinar la densidad aparente como se muestra en la ecuación [III-5] y la absorción como se muestra en la ecuación [III-6].

$$ds = \frac{d \cdot M_2}{M_2 - M_3} \quad \text{[Ecuación III-5]}$$

Dónde:

ds: Densidad aparente (gr/ml).

d: Densidad del agua (1,0gr/ml).

M₁: Masa en el aire de la muestra seca (gr).

M₂: Masa en el aire de la muestra saturada con superficie seca (gr).

M_a: Masa en el agua de la muestra saturada (gr).

$$A = \frac{M_2 - M_1}{M_1} * 100 \quad \text{[Ecuación III-6]}$$

Dónde:

A: Porcentaje de absorción (%A).

M₁: Masa en el aire de la muestra seca (gr).

M₂: Masa en el aire de la muestra saturada con superficie seca (gr).

Igualmente, todos los equipos e instrumentos utilizados para la realización de este ensayo se encuentran en la nave de ensayos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela.

3.3.6. Peso Unitario suelto y compacto del agregado fino.

Para el cálculo del Peso Unitario suelto y compacto del agregado fino (arena lavada) se utilizó la Norma COVENIN 263-1978 “Método de Ensayo para Determinar el Peso Unitario del Agregado”.

Este ensayo se realizó en dos fases, la primera fue llenar un recipiente de acuerdo al tamaño máximo del agregado, dicho recipiente (cubeta metálica) tiene un volumen de 2.809 litros y un peso de 2.700gr, en el cual se colocó la arena lavada hasta rebosar el borde del recipiente y se enrasó con una barra metálica como se muestra en la Imagen (III-25) , seguidamente se procedió a pesar la muestra en estado suelto en la balanza de marca TOLEDO con apreciación de 500gr como se muestra en la Imagen (III-26).



Imagen III-25 Llenado y enrasado con arena lavada en estado suelto.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 25-06-2015.

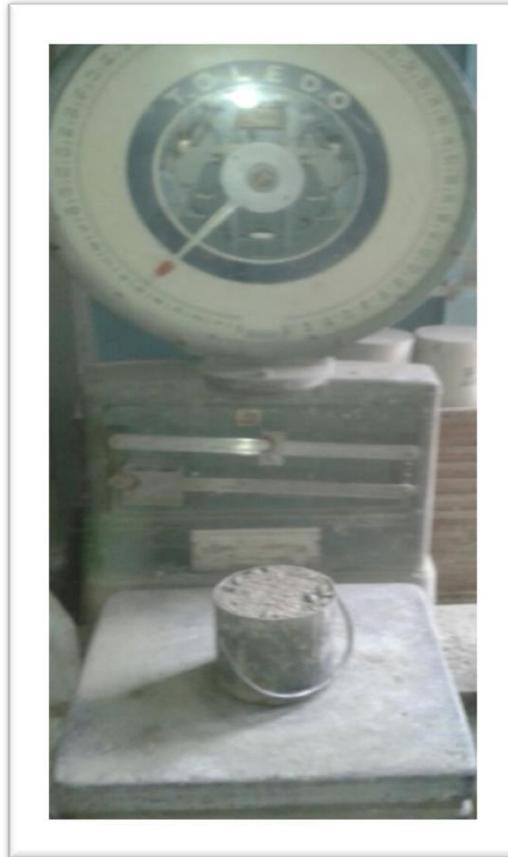


Imagen III-26 Peso de la arena lavada en estado suelto.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 25-06-2015.

La segunda fase consistió en llenar la misma cubeta por medio de tres capas compactando con una barra metálica cada una de ellas con veinticinco (25) golpes y enrasando como se muestra en la Imagen (III-27), para luego pesar nuevamente en la balanza y así poder calcular el peso unitario suelto con la ecuación [III-7] y el peso unitario compacto con la ecuación [III-8].



Imagen III-27 Compactación por medio de 3 capas y enrasado de la arena lavada.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 25-06-2015.

$$PUS = \frac{Pm}{V} \quad \text{[Ecuación III-7]}$$

$$PUC = \frac{Pmc}{V} \quad \text{[Ecuación III-8]}$$

Donde:

Pm: Peso de la muestra suelta (gr)

Pmc: Peso de la muestra compacta (gr)

V: volumen de la cubeta (l)

PUS: Peso Unitario suelta (gr/l)

PUC: Peso Unitario compacto (gr/l)

Todos los equipos e instrumentos utilizados para la realización de este ensayo se encuentran en la nave de ensayos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela.

3.3.7. Peso Unitario suelto y compacto del agregado grueso.

Para el cálculo del Peso Unitario suelto y compacto del agregado grueso (piedra picada) se utilizó la Norma COVENIN 263-1978 “Método de Ensayo para Determinar el Peso Unitario del Agregado”.

Este ensayo se realizó en dos fases, la primera fue llenar un recipiente de acuerdo al tamaño máximo del agregado, dicho recipiente (cubeta metálica) tiene un volumen de 14.400 litros y un peso de 8.850gr, en el cual se colocó la piedra picada

hasta rebosar el borde del recipiente y se enrasó con una barra metálica como se muestra en la Imagen (III-28), posteriormente se procedió a pesar la muestra en estado suelto en la balanza de marca TOLEDO con apreciación de 500gr como se muestra en la Imagen (III-29).

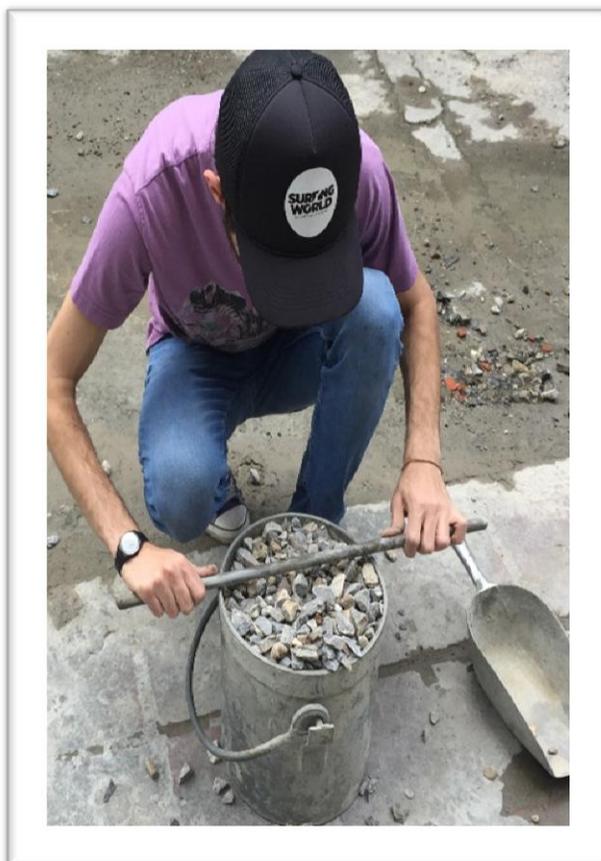


Imagen III-28 Llenado y enrasado con piedra picada en estado suelto.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 25-06-2015.



Imagen III-29 Peso de la piedra picada en estado suelto.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 25-06-2015.

La segunda fase consistió en llenar la misma cubeta por medio de tres capas compactando con una barra metálica cada una de ellas con veinticinco (25) golpes y enrasando como se muestra en la Imagen (III-30) y se pesó nuevamente en la balanza para así poder calcular el peso unitario suelto con la ecuación [III-9] y el peso unitario compacto con la ecuación [III-10].



Imagen III-30 Compactación por medio de 3 capas y enrasado de la arena lavada.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 25-06-2015.

$$PUS = \frac{Pm}{V} \quad \text{[Ecuación III-9]}$$

$$PUC = \frac{Pmc}{V} \quad \text{[Ecuación III-10]}$$

Donde:

Pm: Peso de la muestra suelta (gr)

Pmc: Peso de la muestra compacta (gr)

V: volumen de la cubeta (l)

PUS: Peso Unitario suelta (gr/l)

PUC: Peso Unitario compacto (gr/l)

Todos los equipos e instrumentos utilizados para la realización de este ensayo se encuentran en la nave de ensayos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela.

3.3.8. Contenido de Humedad del agregado fino.

Para el cálculo del Contenido de Humedad del agregado fino (arena lavada) se utilizó la Norma COVENÍN 1375-1979 “Método de ensayo para determinar por secado, el contenido de humedad total y superficial del agregado”, donde se tomó una

muestra de 2000gr (2Kg) de arena lavada y se llevó al horno por 24 horas a una temperatura de 100°C como se muestra en la Imagen (III-31).



Imagen III-31 Secado por 24 horas de 2Kg de arena lavada.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 24-06-2015.

Luego de transcurridas las 24 horas se sacó la muestra del horno y se dejó enfriar a temperatura ambiente para ser pesada como se exhibe en la Imagen (III-32) y poder determinar el porcentaje de humedad como se presenta en la ecuación [III-11].



Imagen III-32 Peso de la arena lavada seca luego de transcurrido las 24 horas.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 25-06-2015.

$$\omega = \frac{W - W_s}{W_s} * 100 \quad \text{[Ecuación III-11]}$$

Donde:

ω : Porcentaje de humedad (%)

W: Peso húmedo de la muestra de agregado (gr).

W_s: Peso de muestra de agregado secada al horno (gr).

Todos los equipos e instrumentos utilizados para la realización de este ensayo se encuentran en la nave de ensayos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela.

3.3.9. Contenido de Humedad del agregado grueso.

Para el cálculo del Contenido de Humedad del agregado grueso (piedra picada) se utilizó la Norma COVENIN 1375-1979 “Método de ensayo para determinar por secado, el contenido de humedad total y superficial del agregado”, donde se tomó una muestra de 20.000gr (20Kg) de piedra picada y se llevó al horno por 24 horas a una temperatura de 100°C como se presenta en la Imagen (III-33).



Imagen III-33 Secado por 24 horas de 20Kg de piedra picada.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 24-06-2015.

Luego de transcurridas las 24 horas se sacó la muestra del horno y se dejó enfriar a temperatura ambiente para ser pesada como se exhibe en la Imagen (III-34) y poder determinar el porcentaje de humedad como se destaca en la ecuación [III-12].

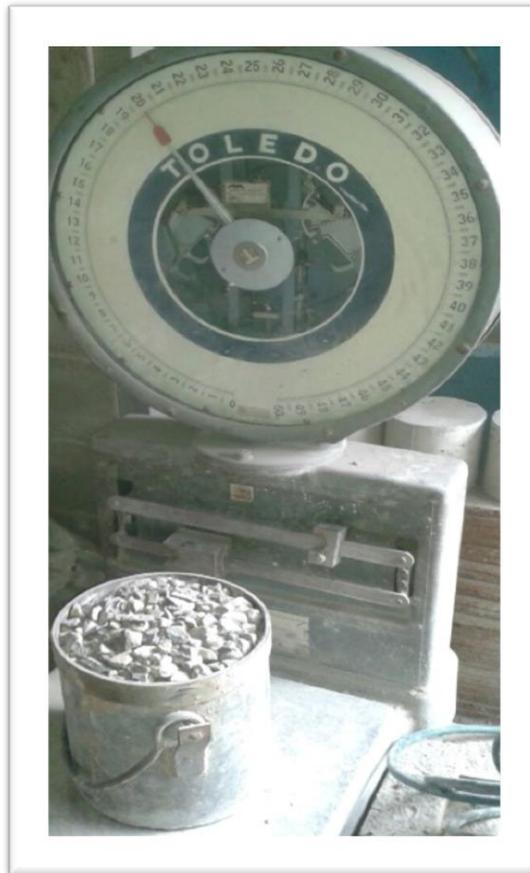


Imagen III-34 Peso de la piedra picada seca luego de transcurrido las 24 horas.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 25-06-2015.

$$\omega = \frac{W - W_s}{W_s} * 100 \quad \text{[Ecuación III-12]}$$

Donde:

ω : Porcentaje de humedad (%)

W: Peso húmedo de la muestra de agregado (g).

Ws: Peso de muestra de agregado secada al horno (gr).

Todos los equipos e instrumentos utilizados para la realización de este ensayo se encuentran en la nave de ensayos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela.

3.4. Diseño de mezclas.

En esta fase se realizó una serie de cálculos tomando como base el Manual del Concreto Estructural (Porrero y otros, 2012) para determinar las cantidades precisas de cada uno de los componentes que conformaron la mezcla de concreto, este método propuesto por los autores permitirá resultados satisfactorios en cuanto al comportamiento de la mezcla de concreto en estado fresco y endurecido.

El método de diseño de mezcla es puntualizado en el Manual de Concreto Estructural (MCE) de Joaquín Porrero y otros conforme con la Norma COVENÍN 1753-2003 “Estructuras de concreto reforzado para edificaciones, análisis y diseño”, el cual ha sido probado en laboratorios y plantas de preparación de concreto, arrojando excelentes resultados. Además, los autores expresan que es un método organizado, sistemático, considerando el empleo de agregados poco controlados.

Las principales variables fundamentales que considera el método son las siguientes: la dosis de cemento, la trabajabilidad, la relación agua/cemento y la resistencia, cada una de ellas se relacionan a través de las dos leyes básicas: Relación Triangular y la Ley de Abrams, por medio de factores de corrección, del mismo modo considera el porcentaje de humedad y absorción, tamaño máximo y tipo de agregados. El diseño adicionalmente, establece una relación entre el agregado fino y grueso denominada Relación Beta (β) la cual interviene de forma independiente del resto del procedimiento, lo que permite cambiar la proporción β sin alterar la dosis de agua y cemento. No obstante, definiendo cada de uno de los parámetros de entrada se elaboraron tres diseños de mezclas (10 cilindros de concreto por cada diseño) para resistencias de 210, 250 y 280 kgf/cm².

A continuación, se describe el procedimiento seguido, junto con las ecuaciones usadas para el cálculo de la dosificación de cada uno de los componentes de las mezclas de concreto.

3.4.1. Relación Beta (β).

Esta relación fue determinada por medio del método gráfico mostrado en el Manual del Concreto Estructural (Porrero y otros, 2012), dicho método consiste en el trazado de rectas de proporcionalidad en un gráfico como se muestra en la Imagen (III-35), donde cada una de estas rectas se genera uniendo los puntos del porcentaje pasante por cada uno de los tamices, es preciso señalar, que los puntos correspondientes al porcentaje pasante del agregado fino se muestran en el eje A, mientras que los del agregado grueso se reflejan en el eje G.

Inicialmente, se trazaron dos líneas verticales graduadas de 0 a 100, estas se constituirán con ejes para representar las granulometrías como porcentajes pasantes: uno para el agregado fino (Eje A, a la izquierda) y otro para el agregado grueso (Eje G, a la derecha). Luego, se procedió a marcar los puntos correspondientes a los porcentajes pasantes de cada uno de los agregados y se etiquetan con la designación del cedazo correspondiente, dicho procedimiento se llevó a cabo para ambos agregados.

Seguidamente, se trazó una línea horizontal que une los extremos superiores de las líneas A y G, y se gradúa de 0 a 100 partiendo del eje grueso, después se unen mediante rectas individuales los puntos etiquetados de los cedazos de igual denominación. Sobre cada una de las rectas se señalan los límites correspondientes indicados en la tabla III-1 en función del tamaño máximo del agregado. Para cada cedazo se obtuvieron diversas posibilidades de combinación en los límites recomendados, en la figura (III-35) se ven reflejados los límites máximos y mínimos con líneas más gruesas.

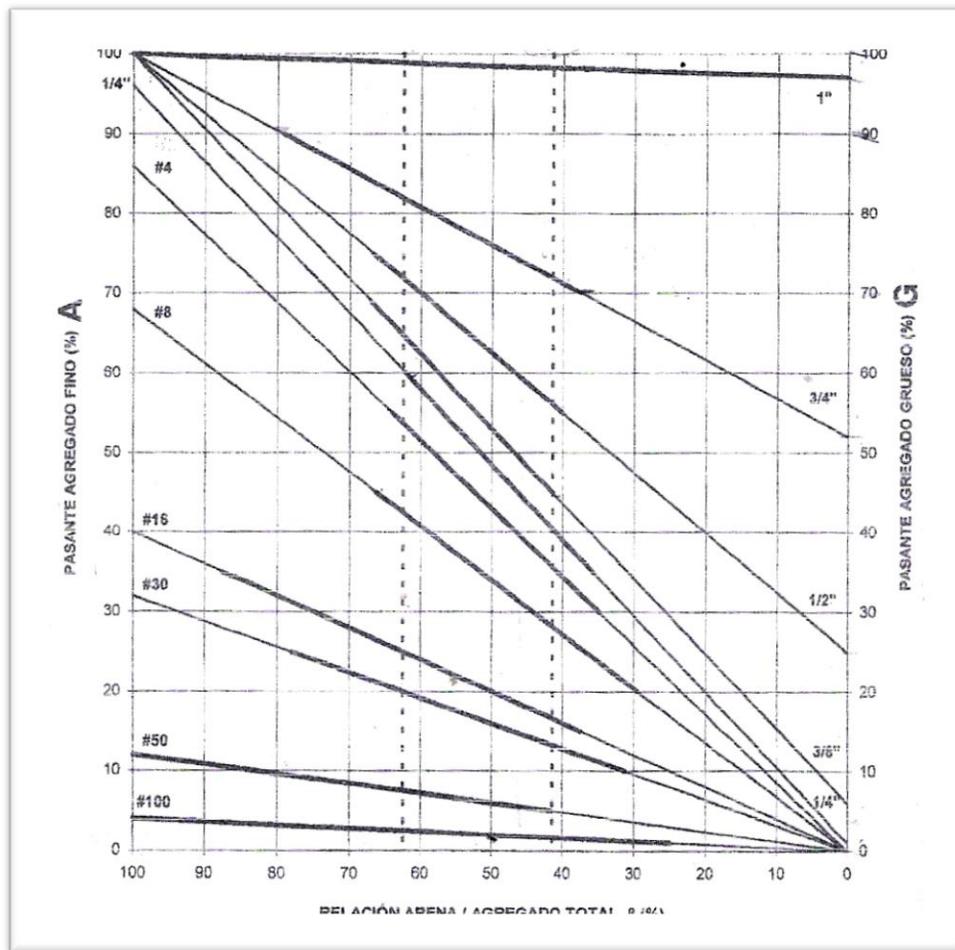


Gráfico III-1 Relación Arena/Agregado Total.

Fuente: Porrero y otros (2012).

Por último, se obtuvo la Relación Beta (β) valor ubicado entre la Beta promedio y la Beta límite de la combinación más gruesa, dicho valor fue de 52,54.

Tabla III-1. Límites granulométricos recomendados para distintos tamaños máximos del agregado. Porcentajes Pasantes.

Cedazo		Tamaños máximos: mm (pulgadas)									
Abertura		88,9	76,2	63,5	50,8	38,1	25,4	19,1	12,7	9,53	6,35
Mm	pulg.	(3 ½)	(3)	(2 ½)	(2)	(1 ½)	(1)	(¾)	(½)	(⅜)	(¼)
88,9	3 ½	100-90	-	-	-	-	-	-	-	-	-
76,2	3	95-80	100-90	-	-	-	-	-	-	-	-
63,5	2 ½	92-60	92-70	100-90	-	-	-	-	-	-	-
50,8	2	85-50	87-55	87-65	100-90	-	-	-	-	-	-
38,1	1 ½	76-40	80-45	80-55	87-73	100-90	-	-	-	-	-
25,4	1	68-33	72-38	73-47	77-59	84-70	100-90	-	-	-	-
19,1	¾	63-30	68-35	68-43	73-53	77-61	85-65	100-90	-	-	-
12,7	½	57-28	62-32	62-37	68-44	70-49	75-55	85-65	100-90	-	-
9,53	⅜	53-25	58-30	60-35	65-40	65-43	68-45	75-55	98-90	100-90	-
6,35	¼	45-22	48-25	58-30	60-35	60-35	60-35	65-45	65-51	73-61	100-90
4,76	# 4	45-22	48-25	50-28	55-30	55-30	55-30	60-38	58-42	62-58	65-52
2,38	# 8	40-20	43-20	45-20	45-20	45-20	45-20	45-20	43-37	40-26	38-26
1,19	#16	35-15	35-15	35-15	35-15	35-15	35-15	35-15	31-17	26-14	21-9
0,59	#30	25-10	25-10	25-10	25-10	25-10	25-10	25-10	20-10	13-5	8-2
0,29	#50	16-7	16-7	16-7	16-7	16-7	16-5	16-5	11-5	7-3	5-1
0,14	#100	8-2	8-2	8-2	8-2	8-2	8-1	8-1	6-1	5-1	2-0

Fuente: Manual del Concreto Estructura (Porrero y otros, 2012).

3.4.2. Resistencia promedio requerida (F_{cr}).

Para la elaboración del diseño de una mezcla de concreto es fundamental saber la resistencia, es por ello que al desconocer la desviación estándar se utilizó la tabla III-2 la cual estima el valor $z \cdot \sigma$ en función del grado de control previsto en la mezcla para un determinado rango de resistencias a compresión requeridas.

$$F_{cr} = F_c + Z \cdot \sigma \quad \text{[Ecuación III-13]}$$

Tabla III-2. Resistencia promedio a la compresión requerida, F_{cr} , cuando no se dispone de datos para establecer la Desviación Estándar.

Resistencia especificada a la compresión F_c (Kgf/cm ²)	Resistencia requerida a la compresión F_{cr} (Kgf/cm ²)		
	Control de calidad excelente.	Control de calidad intermedio	Sin control de calidad
Menor de 210	$F_c + 45$	$F_c + 80$	$F_c + 130$
De 210 a 350	$F_c + 60$	$F_c + 95$	$F_c + 170$
Más de 350	$F_c + 75$	$F_c + 110$	$F_c + 210$

Fuente: Manual del Concreto Estructura (Porrero y otros, 2012).

En la presente investigación se realizaron tres diseños de mezclas, tomando como resistencia de diseño 210, 250 y 280 kgf/cm² con un control de calidad intermedio, debido a que los ensayos realizados a los agregados se rigieron por cada una de las normativas que permitieron un control de calidad adecuado en la elaboración de las mezclas. Por tal motivo, se utilizó la ecuación [III-14] para calcular la resistencia promedio a la compresión requerida.

$$F_{cr} = F_c + 95 \quad \text{[Ecuación III-14]}$$

Dónde:

F_{cr} : Resistencia promedio requerida a la compresión (kgf/cm²).

F_c : Resistencia de cálculo o resistencia a compresión especificada en el proyecto (kgf/cm²).

3.4.3. Relación agua/cemento.

El valor de la relación agua/cemento se obtuvo por medio de la ecuación [III-15], la cual se consigue a partir de la formula general de la Ley de Abrams.

$$\alpha = 3,147 - 1,065 \cdot \log \bar{R}_{28} \quad \text{[Ecuación III-15]}$$

Dónde:

α : Relación agua/cemento.

\bar{R}_{28} : Resistencia media esperada a la compresión a los 28 días (kgf/cm²).

3.4.4. Relación agua/cemento corregida (αc).

En esta etapa se realizó una corrección a la relación agua/cemento obtenida en el paso anterior de acuerdo al tamaño máximo del agregado (factor K_R) y el tipo de agregado (factor K_A), dichos factores se ilustran en las tablas III-3 y III-4.

Tabla III-3. K_R Factor para corregir α por Tamaño Máximo, mm (Pulgadas).

Tamaño máximo	6,35 (1/4)	9,53 (3/8)	12,7 (1/2)	19,1 (3/4)	25,4 (1)	31,8 (1 1/2)	50,8 (2)	63,5 (2 1/2)	76,2 (3)
Factor K_R	1,60	1,30	1,10	1,05	1,00	0,91	0,82	0,78	0,74

Fuente: Manual del Concreto Estructura (Porrero y otros, 2012).

Tabla III-4. K_A Factor para corregir α por Tipo de agregado.

Finos \ Gruesos	Triturados	Semitriturados	Canto rodado (Grava Natural)
Arena natural	1,00	0,97	0,91
Arena triturada	1,14	1,10	0,93

Fuente: Manual del Concreto Estructura (Porrero y otros, 2012).

Posteriormente, se procedió a calcular la relación agua/cemento corregida con la ecuación [III-16], mostrada a continuación:

$$\alpha c = \alpha \cdot K_A \cdot K_R \quad \text{[Ecuación III-16]}$$

Dónde:

αC : Relación agua /cemento corregida.

α : Relación agua/cemento.

K_A : Factor para corregir α por tipo de agregado.

K_R : Factor para corregir α por tamaño máximo.

3.4.5. Dosis de Cemento (C).

La dosis de cemento se calculó mediante la Relación Triangular, representada a continuación en la ecuación [III-17]:

$$C = \frac{K \cdot T^n}{\alpha^m} \quad [\text{Ecuación III-17}]$$

Dónde:

C: Dosis de cemento (kgf/m^3).

α : Relación agua/cemento en peso.

T: Asentamiento en el Cono de Abrams (cm).

k, m y n: Constantes que dependen de las características de los materiales, componentes de la mezcla y de las condiciones en que se elabora.

La ecuación con los valores de las constantes k, m y n correspondientes a un agregado grueso de tamaño máximo 25,4mm y arena natural (ambos en condición SSS) y cemento Portland Tipo I, según el Manual del Concreto Estructural (Porrero y otros, 2012), se muestra a continuación:

$$C = \frac{117 \cdot T^{0,16}}{\alpha^{1,3}} \quad [\text{Ecuación III-18}]$$

3.4.6. Dosis de cemento corregida (Cc).

La dosis de cemento calculada anteriormente también requiere de correcciones de acuerdo al tamaño máximo del agregado (factor C_1) y al tipo de agregado (factor C_2), en base a la tabla III-5 y III-6.

$$Cc = C \cdot C_1 \cdot C_2 \quad [\text{Ecuación III-19}]$$

Dónde:

C_c : Dosis de cemento corregida (kgf/m³).

C : Dosis de cemento (kgf/m³).

C_1 : Factor para corregir C por tamaño máximo.

C_2 : Factor para corregir C por tipo de agregado.

Tabla III-5. C_1 Factor para Corregir C por Tamaño Máximo, mm (Pulgadas).

Tamaño máximo	6,35 (1/4)	9,53 (3/8)	12,7 (1/2)	19,1 (3/4)	25,4 (1)	38,1 (1 1/2)	50,8 (2)	63,5 (2 1/2)	76,2 (3)
Factor C_1	1,33	1,20	1,14	1,05	1,00	0,93	0,88	0,85	0,82

Fuente: Manual del Concreto Estructural (Porrero y otros, 2012).

Tabla III-6. C_2 Factor para corregir C por Tipo de Agregado.

Gruesos Finos	Triturados	Semitriturados	Canto rodado (Grava Natural)
Arena natural	1,00	0,93	0,90
Arena triturada	1,28	1,23	0,96

Fuente: Manual del Concreto Estructural (Porrero y otros, 2012).

3.4.7. Volumen absoluto de los granos de cemento (V_c).

Para el cálculo del volumen absoluto de cemento se multiplicó el valor de cemento corregido C_c por 0,3 (Porrero y otros, 2012):

$$V_c = 0,3 \cdot C_c \quad \text{[Ecuación III-20]}$$

Dónde:

V_c : Volumen absoluto de los granos de cemento (l/m³).

C_c : Dosis de cemento corregida (kgf/m³).

3.4.8. Volumen absoluto del agua (a).

Posteriormente, se calculó el volumen absoluto del agua (a) mediante la relación agua/cemento con la ecuación ilustrada a continuación:

$$a = C_c \cdot \alpha_c \quad \text{[Ecuación III-21]}$$

Dónde:

a: Volumen absoluto del agua (kgf/m³).

C_c: Dosis de cemento corregida (kgf/m³).

α_c: Relación agua/cemento corregida.

3.4.9. Volumen de aire atrapado (V).

$$V = \frac{CC}{P} \quad \text{[Ecuación III-22]}$$

Dónde:

V: Volumen de aire atrapado (l/m³).

CC: Dosis de cemento corregida (kgf/m³).

P: Tamaño máximo (mm).

3.4.10. Densidad del agregado total.

Usando la densidad del agregado fino y el agregado grueso obtenidos anteriormente mediante los ensayos llevados a cabo en el laboratorio, se obtiene la densidad de los agregados combinados por medio de la ecuación [III-23] mostrada a continuación:

$$\gamma_{A+B} = \gamma_G \cdot (1 - \beta) + \gamma_A \cdot \beta \quad \text{[Ecuación III-23]}$$

Dónde:

γ_{A+G}: Densidad de los agregados combinados.

γ_A: Densidad del agregado fino.

γ_G: Densidad del agregado grueso.

β: Relación Beta, en decimales.

3.4.11. Peso de los Agregados.

Inicialmente, se calculó el peso total de los agregados (A+G) mediante la ecuación [III-24], posteriormente con la ecuación [III-25] que representa la relación beta (β) se obtuvo el peso del agregado fino y finalmente usando la ecuación [III-26] se determinó el peso del agregado grueso, es importante acotar que los pesos corresponden para 1m^3 de mezcla de concreto.

$$A + G = \gamma_{A+G} \cdot (1000 - 0,3 \cdot C - a - V) \quad [\text{Ecuación III-24}]$$

Dónde:

A+G: Peso de agregado fino y agregado grueso para 1m^3 de mezcla (kgf/m^3).

γ_{A+G} : Densidad de los agregados grueso y fino en conjunto.

C: Dosis de cemento corregida (kgf/m^3).

a: Volumen de agua ($1/\text{m}^3$).

V: Volumen de aire atrapado ($1/\text{m}^3$).

$$A = \beta \cdot (A + G) \quad [\text{Ecuación III-25}]$$

$$G = (A + G) - A \quad [\text{Ecuación III-26}]$$

Dónde:

A: Peso de agregado fino (kgf/m^3).

G: Peso de agregado grueso (kgf/m^3).

β : Relación Beta.

3.4.12. Volumen de los Agregados.

Usando la densidad del agregado grueso y fino se procedió a calcular el volumen de cada uno respectivamente, mediante las siguientes ecuaciones:

$$V_A = \frac{A}{\gamma_A} \quad [\text{Ecuación III-27}]$$

$$V_G = \frac{G}{\gamma_G} \quad [\text{Ecuación III-28}]$$

Dónde:

A: Peso de agregado fino natural (kgf/m^3).

G: Peso de agregado grueso (kgf/m^3).

V_A : Volumen de agregado fino natural (l/m^3).

V_G : Volumen de agregado grueso (l/m^3).

γ_A : Densidad del agregado fino natural.

γ_G : Densidad del agregado grueso.

Luego de haber realizados todos los cálculos anteriores se tiene la dosificación en peso y volumen de cada uno de los componentes para 1m^3 de mezcla de concreto, en las siguientes fases se corregirá la mezcla por humedad y absorción.

3.4.13. Corrección por humedad y absorción.

En esta etapa se corrigió la dosificación obtenida de los agregados y la cantidad de agua obtenida, de acuerdo al porcentaje de humedad y absorción de los agregados (valores calculados inicialmente), debido a que el diseño anterior supone que los agregados se encuentran en condición de saturados con superficie seca (SSS). Con las siguientes ecuaciones se consiguieron los valores de la dosificación corregida del agregado fino, agregado grueso y agua.

$$G_W = G_{SSS}(100 + W_G)(100 + Ab_G) \quad [\text{Ecuación III-29}]$$

Dónde:

G_{SSS} : Peso del agregado grueso SSS (kgf/m^3).

G_W : Peso del agregado grueso con humedad natural (kgf/m^3).

W_G : Humedad natural del agregado grueso (%).

Ab_G : Absorción del agregado grueso (%).

$$A_W = A_{SSS}(100 + W_A)(100 + Ab_A) \quad [\text{Ecuación III-30}]$$

Dónde:

A_{SSS} : Peso del agregado fino natural SSS (kgf/m³).

A_W : Peso del agregado fino natural con humedad natural (kgf/m³).

W_A : Humedad natural del agregado fino natural (%).

Ab_A : Absorción del agregado fino natural (%).

$$A_M = a + A_{SSS} + A_W + G_{SSS} - G_W \quad [\text{Ecuación III-31}]$$

Dónde:

A_M : Peso de agua corregido por humedad y absorción de los agregados para 1m³ de mezcla (kgf/m³).

a : Peso de agua para 1m³ de mezcla con agregados en condición SSS (kgf/m³).

A_{SSS} : Peso del agregado fino natural SSS (kgf/m³).

A_W : Peso del agregado fino natural con humedad natural (kgf/m³).

G_{SSS} : Peso del agregado grueso SSS (kgf/m³).

G_W : Peso del agregado grueso con humedad natural (kgf/m³).

3.4.14. Dosificación para la mezcladora.

En la etapa final del diseño de mezcla se procedió a calcular la dosificación de cada material para llenar 10 moldes cilíndricos para los tres diseños de mezclas, de 15cm de diámetro y 30cm de altura, al mismo tiempo se consideró un porcentaje de desperdicio de 25%.

El volumen de mezcla requerido para llenar cada cilindro se calculó mediante la ecuación [III-32], de esta manera se obtuvo el volumen total requerido por cada diseño, y haciendo una relación entre el volumen de la mezcla para 1m³ y el volumen requerido se obtiene la dosificación final deseada.

$$Vm = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h \cdot N \left(1 + \frac{DESP}{100}\right) \quad [\text{Ecuación III-32}]$$

Dónde:

V_m : Volumen de la mezcla (m^3).

D : Diámetro de la probeta (m).

h : Altura de la probeta (m).

N : Cantidad de probetas para la mezcla.

DESP: Desperdicio de la mezcla de concreto (%).

3.5. Elaboración de las mezclas.

Luego de haber realizado el diseño de cada una de las mezclas se llevó a cabo diversas actividades que permitieron conseguir un material homogéneo de acuerdo con lo establecido en la Norma COVENÍN 354-2001 “Concreto. Método para mezclado en el laboratorio”.

Es sustancial indicar, que para la producción de las mezclas fueron utilizados los siguientes materiales: piedra picada de tamaño máximo 1”, arena lavada de río, agua y cemento Portland escoria, además se hizo uso de una mezcladora de eje vertical la cual posee una capacidad de 75litros. Ver la Imagen (III-36).

Para cumplir con los parámetros indicados en la Norma durante la elaboración de la mezcla de concreto, fue necesario seguir cierto procedimiento para un buen manejo y uso de los materiales y equipos, primeramente se pesó cada uno de los materiales: arena lavada, piedra picada, agua y cemento de acuerdo a las dosificación obtenida en la fase anterior para cada diseño, tal como se ilustra en las Imágenes (III-37), (III-38), (III-39) y (III-40).



Imagen III-35. Mezcladora de concreto de eje vertical.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 01-07-2015.



Imagen III-36. Pesaje del cemento Portland Escoria en la balanza de apreciación 500g.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 01-07-2015.

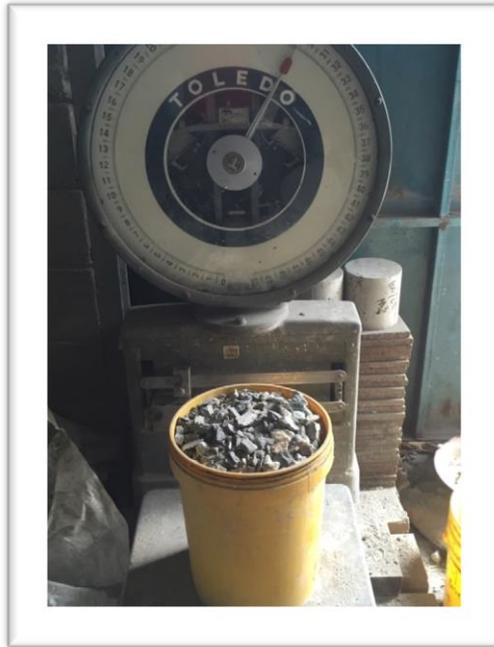


Imagen III-37. Pesaje de la piedra picada en la balanza de apreciación 500g.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 01-07-2015.

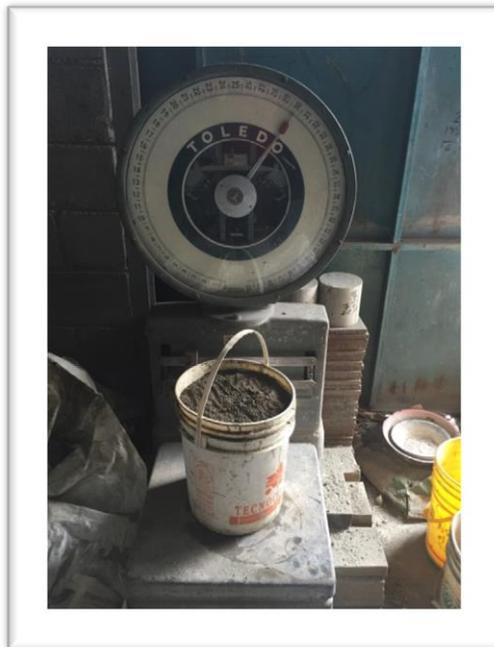


Imagen III-38. Pesaje de la arena lavada en la balanza de apreciación 500g.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 01-07-2015.



Imagen III-39. Mezcladora de concreto de eje vertical y componentes de la mezcla.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 01-07-2015.

Posteriormente, se procedió a encender la mezcladora de concreto de eje vertical para iniciar la mezcla del primer diseño, donde inicialmente se incorporó dos tercios del agua, la arena lavada, la piedra picada y el cemento Portland escoria, luego se terminó de agregar el tercio de agua faltante y se dejó mezclar durante 3 minutos con la finalidad de obtener una pasta homogénea que cubriese en su totalidad la superficie de los agregados como se ilustra en las Imágenes (III-40) y (III-41). Para elaborar la mezcla del segundo y tercer diseño se limpió la mezcladora de eje vertical y durante su desarrollo se repitió el procedimiento de mezclado descrito anteriormente.

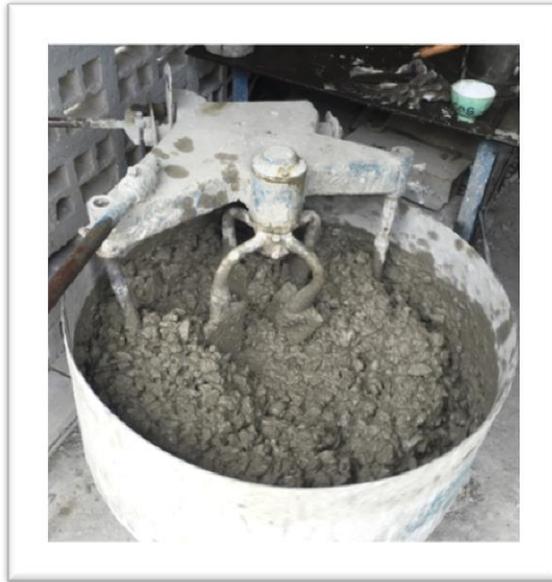


Imagen III-40. Proceso de mezclado homogéneo de los componentes del concreto I.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 01-07-2015.

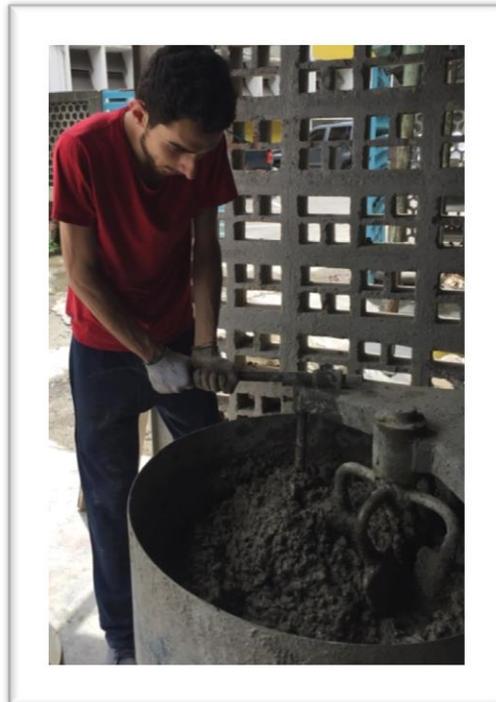


Imagen III-41. Proceso de mezclado homogéneo de los componentes del concreto

II.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 01-07-2015.

3.6. Caracterización del concreto fresco.

Después de la elaboración de la mezcla de concreto se procedió a medir su asentamiento el cual indica la fluidez que presenta la mezcla, esto se llevará a cabo por medio del ensayo del Cono de Abrams, siguiendo lo establecido en la Norma COVENIN 339-2003: “Concreto. Métodos para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams”.

Para llevar a cabo el ensayo se humedeció el molde cónico y la base metálica, siendo estos rígidos y no absorbentes sobre el cual fue desarrollado el ensayo. Es importante subrayar que el molde se sujetó firmemente por las aletas con los pies, seguidamente se procedió a colocar la mezcla de concreto dentro del cono en tres capas, cada una a un tercio del volumen del cono. En cuanto al método usado para la compactación de la mezcla fue el “Método de la barra”, donde cada capa fue compactada con 25 golpes distribuidos de manera uniforme a través de su sección transversal. La primera capa fue compactada hasta el fondo del molde, mientras que las siguientes dos fueron compactadas cada una hasta una profundidad en el cual la barra metálica no alcanzara la capa anterior tal como se presenta en la Imagen (III-42) e Imagen (III-43).

Luego de compactar la última capa, se enrasó el tope del cono con la barra compactadora mostrado en la Imagen (III-44) y fue retirado el molde alzándolo de manera cuidadosa en dirección vertical en un tiempo estimado de 5 a 10 segundos, evitando los movimientos laterales y torsión.

Por último, se colocó el molde cónico al lado de la mezcla de concreto dispuesto de manera de que el diámetro menor quede en la parte posterior y se procedió a medir el asentamiento el cual es la diferencia de altura del molde y la altura promedio de la base superior del cono que se deformó, tal como se ilustra en la Imagen (III-45). Este procedimiento se llevó a cabo al finalizar el mezclado de cada uno de los diseños elaborados.



Imagen III-42. Materiales usados para realizar el ensayo del Cono de Abrams:
Molde cónico, base metálica y barra compactadora.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 01-07-2015.



Imagen III-43. Proceso de compactación de la mezcla de concreto.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 01-07-2015.



Imagen III-44. Proceso de enrasado de la mezcla de concreto.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 01-07-2015.



Imagen III-45. Medición del asentamiento de la mezcla de concreto.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 01-07-2015.

3.7. Elaboración y curado de las probetas.

En esta etapa se elaboraron un total de 30 cilindros de concreto (10 cilindros por cada diseño de mezcla) siguiendo los lineamientos establecidos en la Norma COVENIN 338-2002 “Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”, la cual detalla los pasos a seguir para elaborar y curar los cilindros de concreto. Se utilizaron moldes llamados cochas cilíndricas de 15cm de diámetro y 30cm de altura, con superficie lisa, dichos moldes fueron armados y limpiados con anterioridad. Ver la Imagen (III-46).

Inicialmente, se lubricaron con aceite las 10 probetas metálicas a usar por cada diseño, las cuales se ordenaron en dos mesas ubicadas en el laboratorio, luego se vació en tres capas la mezcla de concreto en cada uno de ellos, es preciso detallar que cada capa se compactó con 25 golpes con la barra metálica tal como lo indica la tabla III-7 de manera uniforme en toda la sección transversal. Ver la Imagen (III-47).

Después de compactada la mezcla en cada probeta se enrasó con la barra metálica, garantizando que la superficie quede lisa y al ras con el borde del molde.

Transcurridas las 24 horas se llevó a cabo el proceso de desencofrado de los cilindros, identificando cada uno de ellos con marcador permanente la resistencia de diseño y fecha de elaboración y finalmente sumergirlos en la piscina de curado la cual posee agua saturada con cal hasta sus 7, 14 y 28 días para ser ensayados. Ver la Imagen (III-48) hasta la Imagen (III-53).

Tabla III-7 Número de golpes para compactar con barra.

Diámetro nominal del cilindro (mm)	Numero de golpes
150	25
200	50
250	75

Fuente: Norma COVENIN 338-2002.



Imagen III-46. Disposición de las conchas cilíndricas sobre la mesa de trabajo.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 01-07-2015.



Imagen III-47. Proceso de lubricación de las conchas cilíndricas.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 01-07-2015.

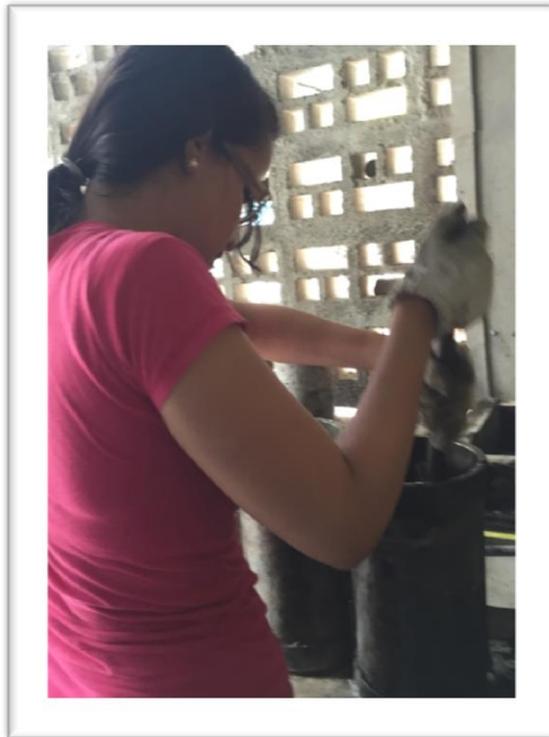


Imagen III-48. Compactación de la mezcla con la barra metálica.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 01-07-2015.



Imagen III-49. Colocación de las probetas cilíndricas enrasadas en la mesa de trabajo.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 01-07-2015.



Imagen III-50. Desencofrado de los cilindros de concreto.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 02-07-2015.



Imagen III-51. Probetas cilíndricas desencofradas e identificadas.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 02-07-2015.



Imagen III-52. Colocación de las probetas cilíndricas en la piscina de curado.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 02-07-2015.



Imagen III-53. Probetas cilíndricas sumergidas en agua saturada de cal.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 02-07-2015.

3.8. Caracterización del concreto endurecido.

Esta etapa es de suma importancia ya que se evaluaron las características físicas del concreto en edades de 7, 14 y 28 días, las cuales representan su comportamiento ya endurecido en estado de servicio, para ello se obtuvo el peso unitario de los cilindros, la velocidad del pulso ultrasónico, el índice esclerométrico y la resistencia a la compresión. Cada uno de ellos se detallará a continuación.

3.8.1. Peso Unitario.

Para obtener el Peso Unitario se procedió a medir con un Vernier de marca Mitutoyo como se presenta en la Imagen (III-54), donde se midió dos veces el diámetro en puntos distintos (diámetro superior y diámetro inferior) como se muestra en la Imagen (III-55) y la altura de la probeta en puntos distintos como se muestra en la Imagen (III-56) y luego pesarlas en una balanza de apreciación de un gramo (1gr) como se muestra en la Imagen (III-57).



Imagen III-54. Vernier de marca Mitutoyo (hecho en Japón).

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 08-07-2015.



Imagen III-55. Medición de los diámetros de la probeta.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 08-07-2015.



Imagen III-56. Medición de la altura de la probeta.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 08-07-2015.



Imagen III-57. Peso de la probeta.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 08-07-2015.

Una vez realizada las mediciones y pesar cada una de las probetas se determinará el Peso Unitario obteniendo el promedio de cada medición realizada a cada probeta y el peso promedio de las tres probetas de ensayo. Para ello se utilizara la ecuación [III-33].

$$\rho = \frac{Pe}{Vp} \quad [\text{Ecuación III-33}]$$

Donde:

ρ : Es la densidad en estado endurecido (kg)

P_e : Peso de la probeta en estado endurecido (kg)

V_p : Volumen de la probeta (m^3).

3.8.2. Velocidad del pulso ultrasónico.

Para realizar el ensayo de pulso ultrasónico se siguió el procedimiento de la Norma COVENIN 1681-1980 “Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto”.

Para dar inicio a este ensayo se utilizó el equipo de marca NDT James Instruments INC. (non destructive testing systems) como se presenta en la Imagen (III-58), el cual fue calibrado por los técnicos según las especificaciones del fabricante.



Imagen III-58. Máquina de Pulso Ultrasónico, NDT James Instruments INC.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 08-07-2015.

Una vez calibrado el equipo se verificó que las zonas donde serán colocados los transductores estuviesen limpias, lisas, secas y libres de revestimiento (caras de las probetas), para así proceder a lubricar los transductores con suficiente vaselina como se muestra en la Imagen (III-59).



Imagen III-59. Lubricación de transductores con vaselina.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 08-07-2015.

Luego de lubricados los transductores se procede a colocarlos firmemente sobre la superficie de concreto, a cada lado de la probeta garantizando un buen acoplamiento entre el transductor y el concreto, al igual que el alineamiento entre ambos transductores como se muestra en la Imagen (III-60), se esperó aproximadamente 3 minutos para que el valor arrojado por el equipo se mantenga constante y se toma dicho valor, siendo este el tiempo de propagación de la onda.

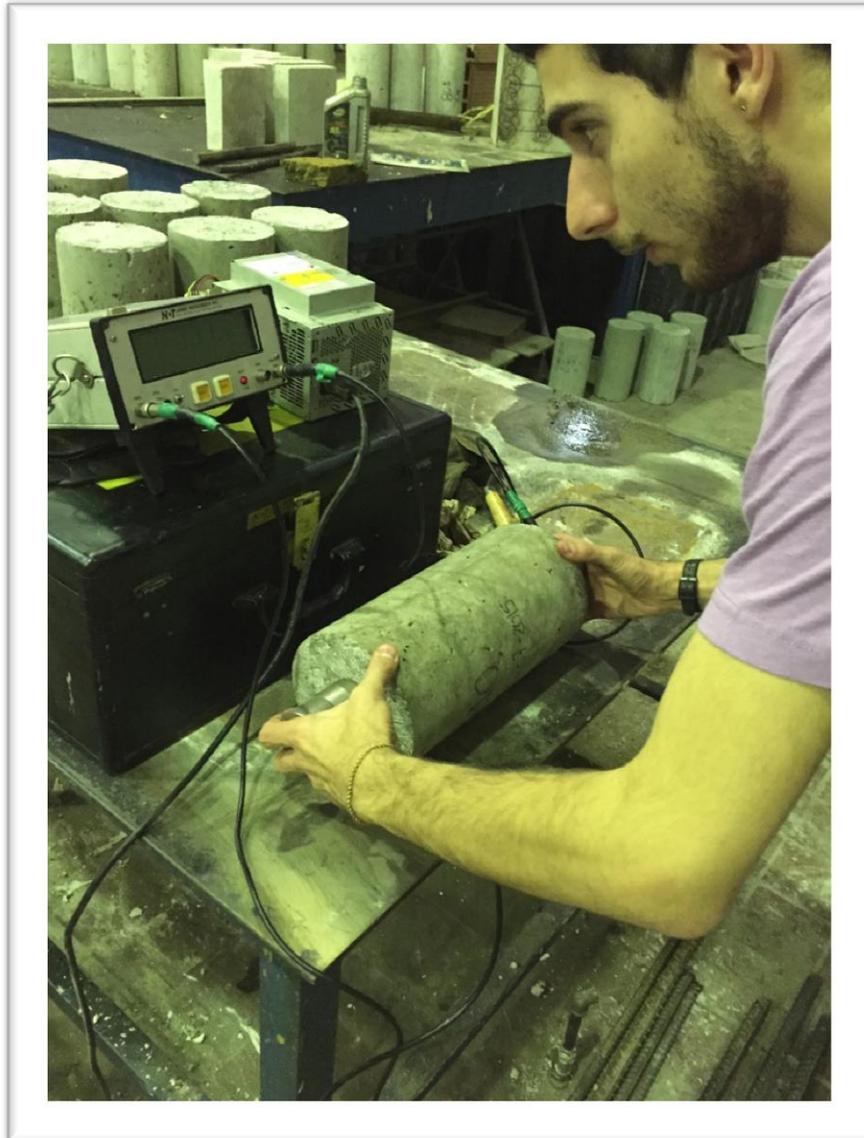


Imagen III-60. Acoplamiento entre transductores y concreto.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 08-07-2015.

Por último, ya obtenido el valor del tiempo se determina la velocidad de propagación mediante la ecuación [III-34].

$$V = \frac{L}{t} \quad \text{[Ecuación III-34]}$$

Donde:

V: Velocidad de propagación de la onda. (m/s).

L: Base de medición (m).

t: Tiempo (s).

Para conocer si el cilindro de concreto es homogéneo se debe conocer la desviación estándar, la cual se obtiene mediante la Ecuación III-35.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{(n-1)}} \quad \text{[Ecuación III-35]}$$

Donde:

S: Desviación Estándar

X: valor del ensayo o valor individual

\bar{X} : promedio de la muestra

N: número de ensayo

3.8.3. Índice Esclerométrico.

Para llevar a cabo el ensayo esclerométrico se siguieron las especificaciones de la Norma COVENIN 1609-1980 “Método de ensayo para la determinación de la dureza esclerométrica en superficies de concreto endurecidas”, donde se procedió a limpiar la superficie de cilindro quitando las impurezas y colocándolo en la prensa universal debidamente centrada y con ambas bases niveladas, para así aplicarle una carga de diez toneladas (10ton) como se muestra en la Imagen (III-61).

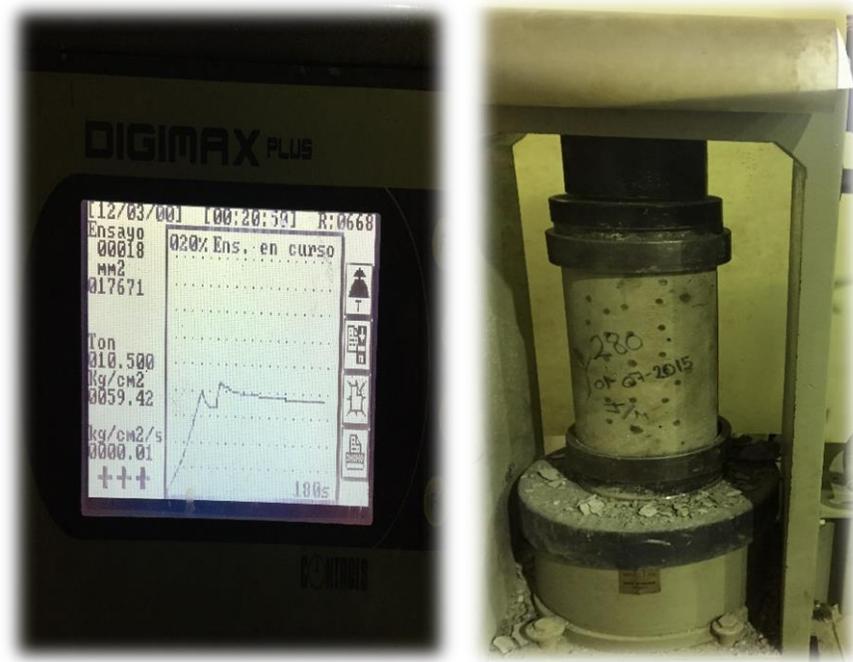


Imagen III-61. Probeta sobre la prensa universal con una fuerza a compresión de diez toneladas.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 08-07-2015.

Luego se utilizó el esclerómetro que se puede observar en la Imagen (III-62) para poder llevar acabo el ensayo, donde se marcó 20 puntos tiendo una distancia entre ellos de 2 a 3cm como se muestra en la Imagen (III-63), para luego presionar contra la superficie del cilindro lentamente manteniendo la misma inclinación del esclerómetro en todos los puntos como se muestra en la Imagen (III-64) y producir el impacto del resorte, obteniendo una lectura en la escala que se muestra en el instrumento (esclerómetro).



Imagen III-62. Esclerómetro.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 08-07-2015.



Imagen III-63. Marcado de 20 puntos con distancia entre ellos de 2 a 3cm.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 08-07-2015.



Imagen III-64. Misma inclinación del esclerómetro sobre el cilindro para cada punto.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 08-07-2015.

Es de gran importancia resaltar que durante el ensayo al realizar los impactos del resorte con el esclerómetro, se evitaron las zonas huecas o donde se pudiera llegar a observar parte de algún agregado grueso.

3.8.4. Ensayo a Compresión.

Para la realización del ensayo a compresión se tomó en cuenta la Norma COVENIN 338-2002 “Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”.

Para dar inicio a este ensayo se colocó el cilindro con la cara más plana hacia arriba en la prensa universal, se ubicaron los discos, para el caso de nosotros se colocó únicamente un disco como se muestra en la Imagen (III-65) para poder garantizar la distribución uniforme de la fuerza a ser aplicada.



Imagen III-65. Colocación de un disco en la cara superior para garantizar la distribución uniforme.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 08-07-2015.

Luego con una velocidad de 2,5m/s se procedió a encender la prensa universal hasta lograr la falla de cada cilindro como se muestra en la Imagen (III-66).



Imagen III-66. Aplicación de la fuerza a compresión hasta lograr la falla del cilindro.

Fuente: Elaboración Propia. Fecha: 08-07-2015.

Finalmente se calculó la resistencia a compresión de cada cilindro mediante la ecuación [III-36]. Este procedimiento se realizó para los 7, 14 y 28 días después de vaciado y se promedió la resistencia a compresión, ya que se ensayaron 3 cilindros por resistencia.

$$\sigma = \frac{P}{A_t} \quad \text{[Ecuación III-36]}$$

Donde:

σ : Resistencia a compresión (kgf/cm²).

P: Carga máxima aplicada (kgf).

A_t: Área de la sección transversal de la probeta (m²).

3.9. Análisis y presentación de los resultados.

En esta etapa se analizaron de manera minuciosa y detallada cada uno de los resultados obtenidos durante las etapas anteriores, con el fin de contrastar los teóricos con los prácticos y detallar si los mismos cumplen con los requisitos establecidos en las diferentes normativas nacionales, además permitirá conocer que tan viable es la elaboración de mezclas de concreto con el cemento Portland Escoria para así un nuevo enfoque en cuanto a su uso.

CAPITULO IV.

4. RESULTADOS.

En este capítulo se muestran mediante tablas y gráficos los resultados obtenidos en los ensayos que se llevaron a cabo en el laboratorio tanto para los agregados: piedra picada y arena lavada, así como a las mezclas de concreto en estado fresco y endurecido. Es importante señalar, que se realizaron tres mezclas de concreto con resistencia de 210kgf/cm^2 , 250kgf/cm^2 y 280kgf/cm^2 las cuales fueron evaluadas sus características en estado endurecido a edades comprendidas entre 7, 14 y 28 días llevados a cabo en el laboratorio del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela. Los resultados se obtuvieron mediante los procedimientos detallados en el capítulo III de la presente investigación.

4.1. Caracterización de los agregados.

4.1.1. Granulometría.

4.1.1.1 Agregado fino natural.

Tabla IV-1. Granulometría del agregado fino natural (Arena Lavada).

Tipo de agregado	Arena Lavada de río				
Procedencia	García y Quintana Ingenieros Asociados C.A				
Peso suelto (g)	500				
Abertura del cedazo (mm)	Designación del cedazo (pulg)	Peso retenido (g)	Peso retenido acumulado (g)	Retenido acumulado (%)	Pasante acumulado (%)
9,53	3/8	0,00	0,00	0,00	100,00
6,35	¼	84,15	84,15	16,83	83,17
4,76	4	42,45	126,60	25,32	74,68
2,38	8	77,35	203,95	40,79	59,21
1,19	16	74,60	278,55	55,71	44,29
0,595	30	68,55	347,10	69,42	30,58
0,297	50	56,45	403,55	80,71	19,29
0,149	100	36,85	440,40	88,08	11,92
0,075	200	22,75	463,15	92,63	7,37
Fondo	Fondo	36,85	500,00	100,00	0,00

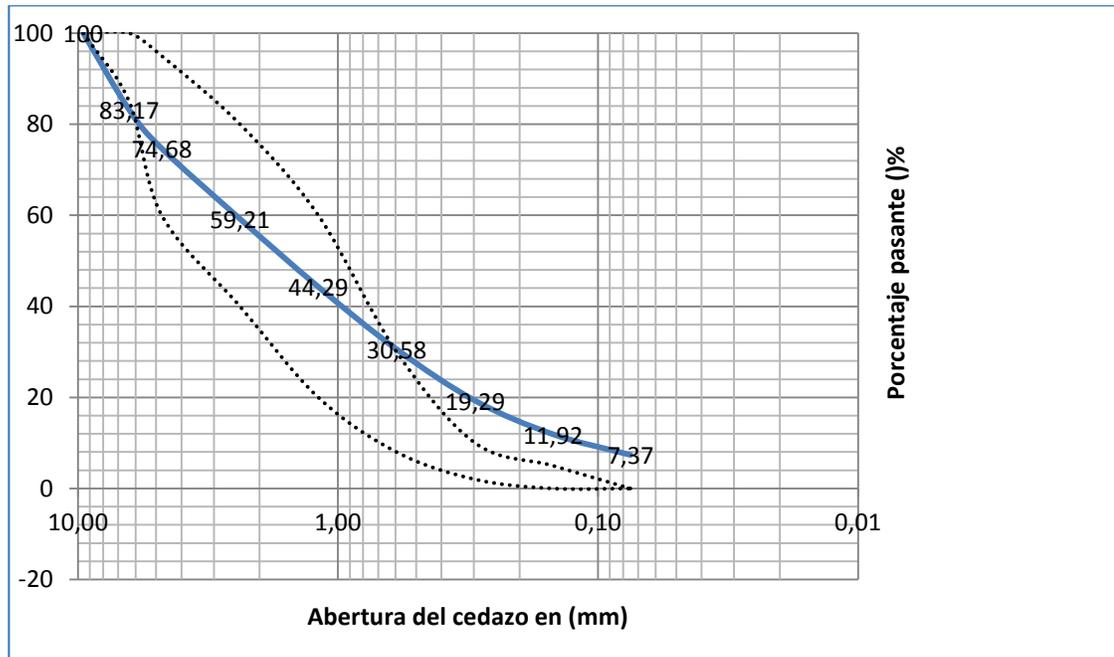
Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-2. Porcentaje pasante del tamiz # 200 determinado por lavado del agregado fino natural.

Peso seco original de la muestra (g)	Peso seco de la muestra después de lavada (g)	% Pasante del tamiz #200
463,15	446,65	3,56 %

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV.1. Curva granulométrica del agregado fino natural.



Fuente: Elaboración propia.

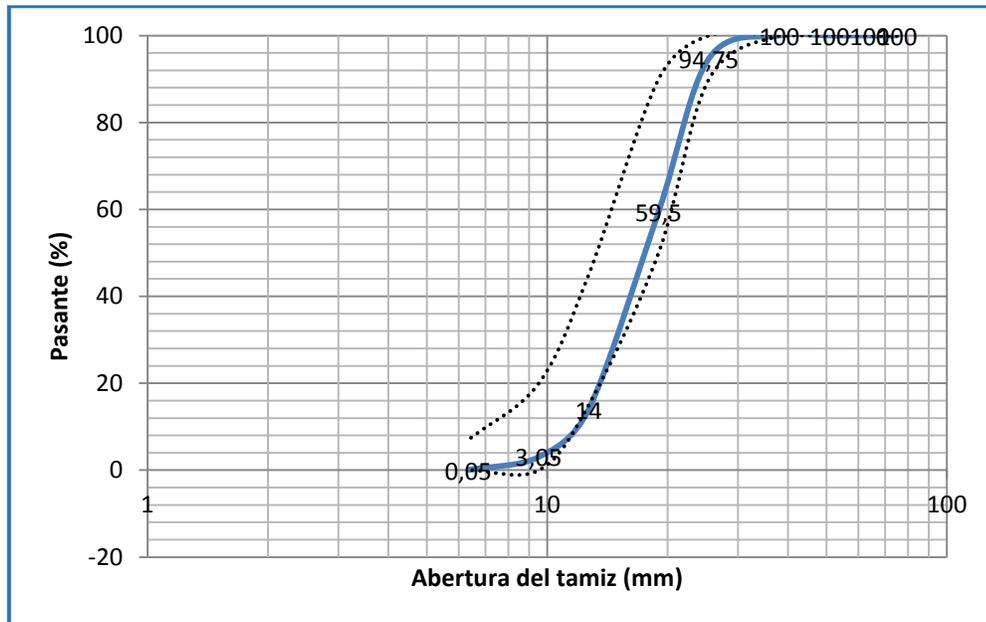
4.1.1.2. Agregado grueso.

Tabla IV-3. Granulometría del agregado grueso (Piedra Picada).

Tipo de agregado	Piedra Picada (Tamaño máximo de 1 ")				
	García y Quintana Ingenieros Asociados C.A				
Peso suelto (g)	20000				
Abertura del cedazo (mm)	Designación del cedazo (pulg)	Peso retenido (g)	Peso retenido acumulado (g)	Retenido acumulado (%)	Pasante acumulado (%)
75	3	0	0	0	100
64	2 1/2	0	0	0	100
50,8	2	0	0	0	100
38,1	1 1/2	0	0	0	100
25,4	1	1050	1050	5,25	94,75
19	3/4 "	7050	8100	40,5	59,5
12,7	1/2 "	9100	17200	86	14
9,53	3/8 "	2190	19390	96,95	3,05
6,35	1/4 "	600	19990	99,95	0,05

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV-2. Curva granulométrica del agregado grueso (Piedra Picada).



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Desgaste de los Ángeles.

Tabla IV-4. Tamaño de la muestra para el ensayo de Desgaste de Los Ángeles.

Abertura del cedazo (mm)	Designación de tamiz (pulg)	Peso retenido (g)
12,7	1/2	2500
9,51	3/8	2500
	Total	5000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-5. Desgaste de los Ángeles del agregado grueso.

Peso de la muestra del ensayo original (Wo)	Peso del material retenido acumulado en el tamiz # 12 (Wf)	% Desgaste	% Desgaste máximo admisible	Verificación
5000	3900	22	40	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Absorción y Densidad.

Tabla IV-6. Densidad y porcentaje de absorción del agregado fino natural (Arena Lavada).

M₁ (g)	M (g)	Ma (g)	Mp (g)	γ_s	A (%)
490,1	500	1276,4	1578,1	2,472	2,02

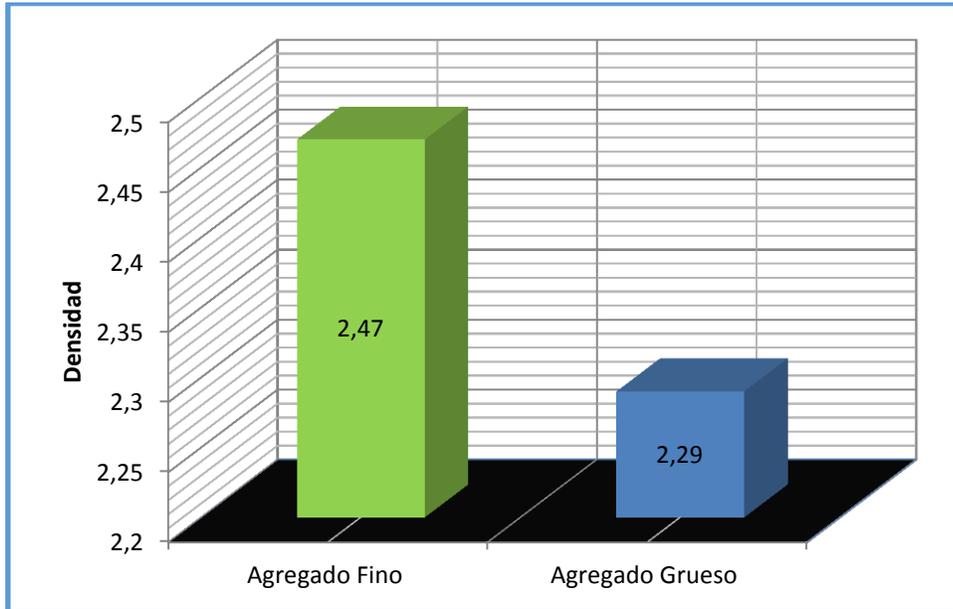
Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-7. Densidad y porcentaje de absorción del agregado grueso (Piedra Picada).

M₁ (g)	M₂ (g)	M₃ (g)	γ_s	A (%)
4935,1	5000	2816,7	2,29	1,315

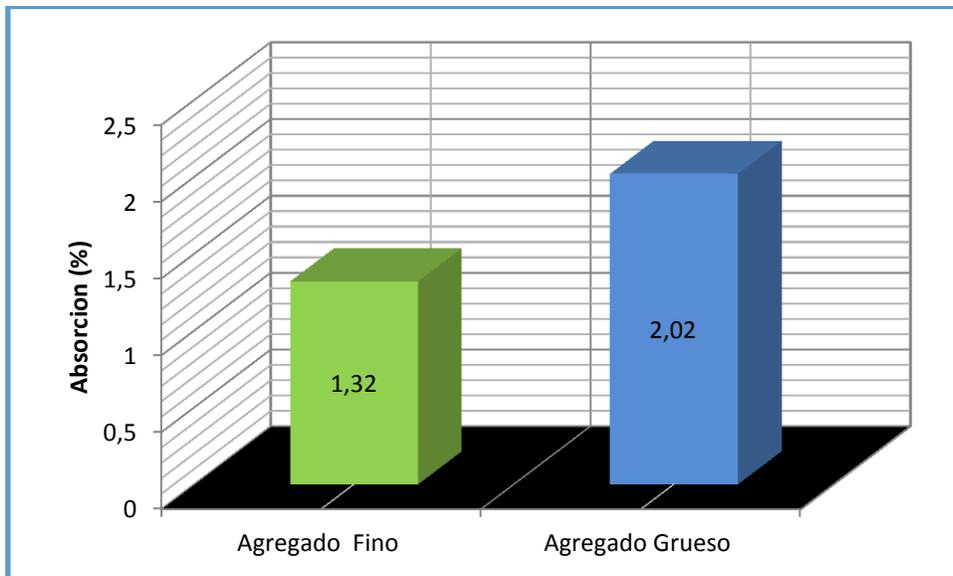
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV-3. Densidad.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV-4. Absorción.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Peso unitario suelto y compacto.

Tabla IV-8. Peso unitario del agregado fino natural (Arena Lavada).

Peso de la muestra suelta (Kg)	Volumen del recipiente (l)	Peso unitario suelto (Kgf/l)	Peso de la muestra compacta (Kg)	Peso unitario compacto (Kgf/l)	Incremento del peso unitario al compactar (%)
4,450	2,809	1,583	4,900	1,744	10,17

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-9. Peso unitario del agregado grueso (Piedra Picada).

Peso de la muestra suelta (Kg)	Volumen del recipiente (l)	Peso unitario suelto (Kgf/l)	Peso de la muestra compacta (Kg)	Peso unitario compacto (Kgf/l)	Incremento del peso unitario al compactar (%)
20,150	14,400	1,399	20,900	1,451	3,58

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. Humedad.

Tabla IV-10. Contenido de humedad del agregado fino natural (Arena Lavada).

Peso húmedo de la muestra W (g)	Peso de la muestra secada al horno Ws (g)	Contenido de humedad W (%)
2000	1900	5,263

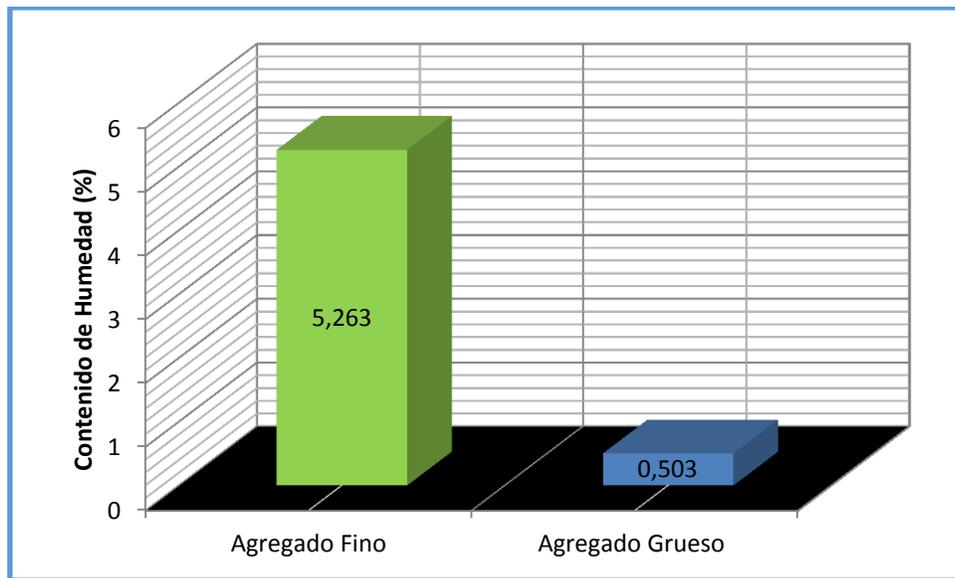
Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-11. Contenido de humedad del agregado grueso (Piedra Picada).

Peso húmedo de la muestra W (g)	Peso de la muestra secada al horno Ws (g)	Contenido de humedad W (%)
20.000	19.900	0,503

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV-5. Contenido de humedad de los agregados.



Fuente: Elaboración propia.

4.2. Diseño de mezcla.

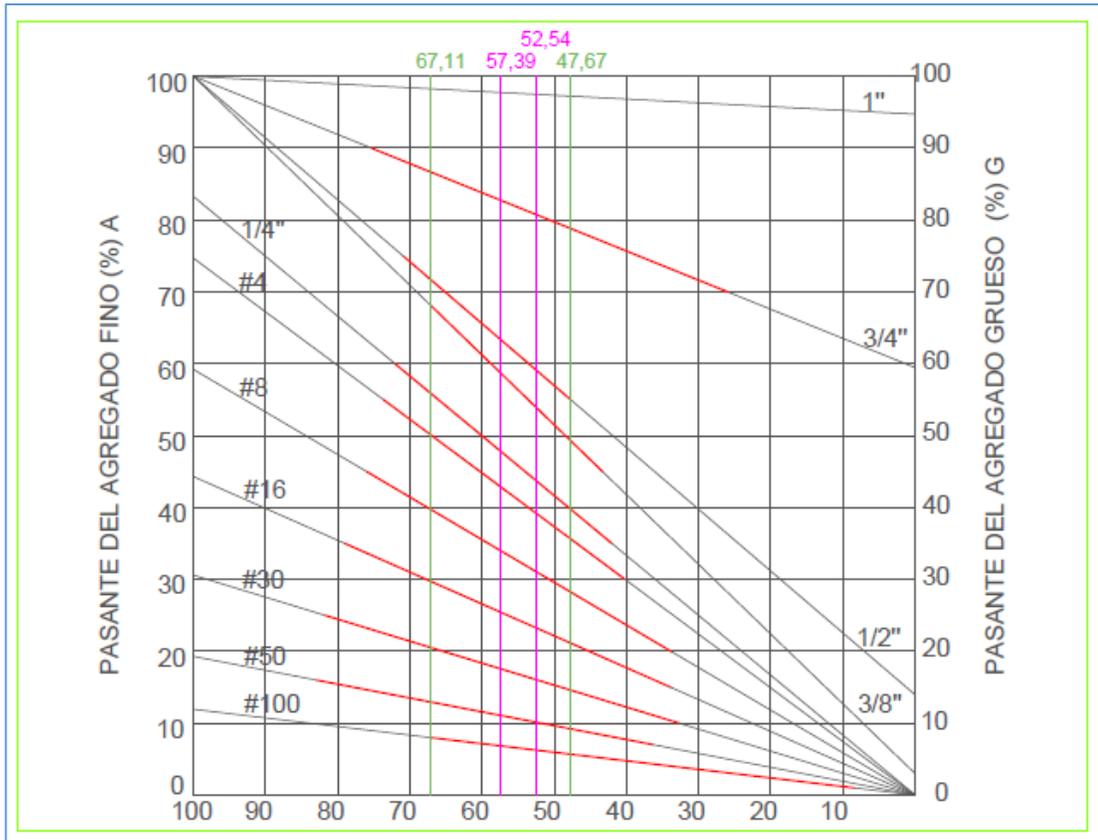
4.2.1. Relación Beta (β).

Tabla IV-12. Relación Beta de Diseño.

Extremo de la Relación Beta	Promedio	Diseño
67,11	47,67	57,39
		52,54

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV-6. Relación Beta (β)



Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Parámetros para el diseño de mezcla.

Tabla IV-13. Parámetros para el diseño de mezcla de resistencia de 210 kgf/cm², 250 kgf/cm² y 280 kgf/cm².

Control de calidad	Desviación estándar	95
Características del Concreto	Asentamiento (cm)	10
Características de los agregados	Relación Beta (β)	52,54
	Tamaño máximo (pulg)	1"
	γ_G	2,290
	γ_A	2,472
	γ_{G+A}	2,37
	% A_G	1,315
	% A_N	2,020
	w_G (%)	0,503
	w_A (%)	5,263
Factores de corrección	C_1	1,000
	C_2	0,930
	K_R	1,000
	K_A	0,970
Volumen a mezclar por cada diseño	Volumen del cilindro (m ³)	0,053010
	Numero de cilindros	10
	Volumen de 10 cilindros	0,053010
	Desperdicio	(25 %)
	Volumen a mezclar para cada diseño (m ³)	66,3

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Dosificación para cada diseño de mezcla.

4.2.3.1 Dosificación de la mezcla de resistencia de diseño 210 kgf/cm².

Tabla IV-14. Dosificación corregida por humedad y absorción. 1 m³ de mezcla para resistencia de 210 kgf/cm².

Componentes	Peso (Kgf/m³)	Volumen Absoluto (l/m³)
Cemento	403,600	121,080
Agregado Grueso	869,800	379,825
Agregado Fino	711,654	287,886
Agua	195,750	195,750
Aire	0,000	15,890
Total	2180,804	1000,431

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-15. Dosificación corregida por humedad y absorción. 66,3 l de mezcla para resistencia de 210 kgf/cm².

Componentes	Peso (Kgf/m³)	Volumen Absoluto (l/m³)
Cemento	26,740	8,022
Agregado Grueso	58,098	25,370
Agregado Fino	45,701	18,487
Agua	11,982	11,982
Aire	0,000	1,053
Total	142,521	64,914

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.2 Dosificación de la mezcla de resistencia de diseño 250 kgf/cm².

Tabla IV-16. Dosificación corregida por humedad y absorción. 1 m³ de mezcla para resistencia de 250 kgf/cm².

Componentes	Peso (Kgf/m³)	Volumen Absoluto (l/m³)
Cemento	470,533	141,160
Agregado Grueso	831,379	363,047
Agregado Fino	680,22	275,170
Agua	202,800	202,800
Aire	0,000	18,525
Total	2184,932	1000,702

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-17. Dosificación corregida por humedad y absorción. 66,3 l de mezcla para resistencia de 250 kgf/cm².

Componentes	Peso (Kgf/m³)	Volumen Absoluto (l/m³)
Cemento	31,178	9,353
Agregado Grueso	55,535	24,251
Agregado Fino	43,683	17,671
Agua	12,495	12,495
Aire	0,000	1,227
Total	142,891	64,997

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.3 Dosificación de la mezcla de resistencia de diseño 280 kgf/cm².

Tabla IV-18. Dosificación corregida por humedad y absorción. 1 m³ de mezcla para resistencia de 280 kgf/cm².

Componentes	Peso (Kgf/m³)	Volumen Absoluto (l/m³)
Cemento	528,768	158,630
Agregado Grueso	798,028	348,484
Agregado Fino	652,930	264,130
Agua	208,334	208,334
Aire	0,000	20,818
Total	2188,060	1000,396

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-19. Dosificación corregida por humedad y absorción. 66,3 l de mezcla para resistencia de 280 kgf/cm².

Componentes	Peso (Kgf/m³)	Volumen Absoluto (l/m³)
Cemento	35,036	10,511
Agregado Grueso	53,300	23,275
Agregado Fino	41,930	16,962
Agua	12,897	12,897
Aire	0,000	1,379
Total	143,163	65,024

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Caracterización del concreto fresco.

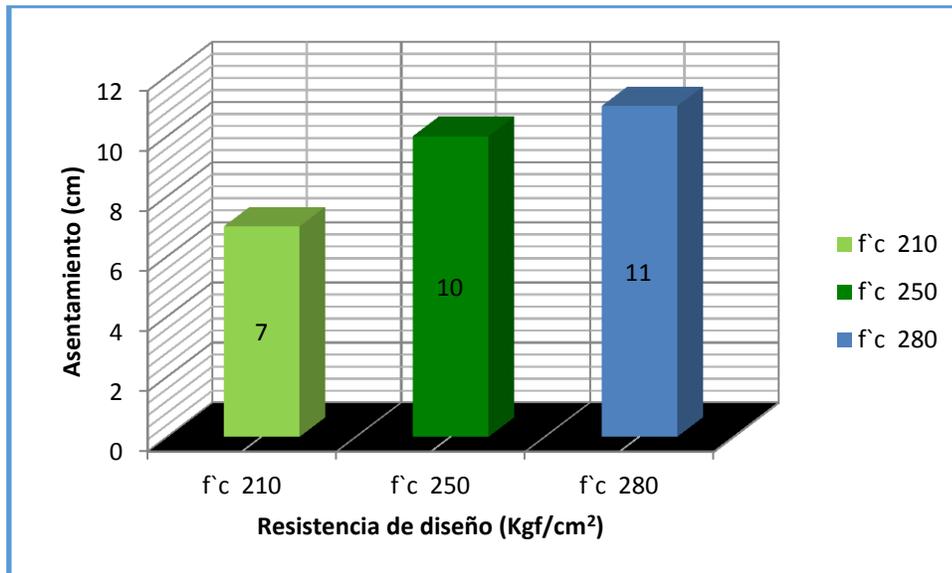
4.3.1. Asentamiento.

Tabla IV-20. Asentamientos para cada diseño de mezcla.

Tipo de mezcla	Asentamiento
f c 210 Kgf/cm ²	7
f c 250 Kgf/cm ²	10
f c 280 Kgf/cm ²	11

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV-7. Asentamientos para cada diseño de mezcla.



Fuente: Elaboración propia.

4.4. Caracterización del concreto endurecido.

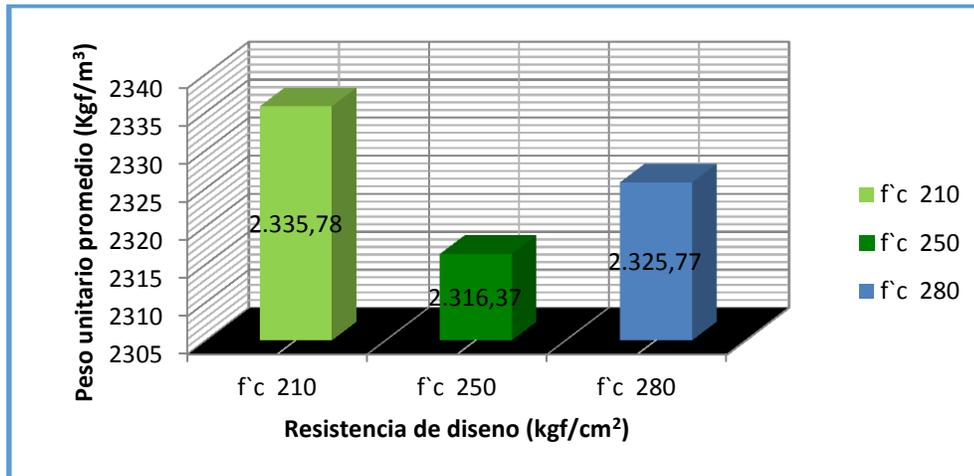
4.4.1. Peso Unitario.

Tabla IV-21. Peso unitario a los 7 días.

Tipo de mezcla	Número de la Probeta	Ø1 (mm)	Ø2 (mm)	ØProm (mm)	H (mm)	Peso (kg)	Peso Unitario (Kgf/m ³)	Peso Unitario Promedio (Kgf/m ³)
f' c 210 kfg/cm ²	1	150	150	150	301	12,517	2353,208	2335,780
	2	150	151	150,5	300	12,394	2322,343	
	3	151	151	151	301	12,569	2331,790	
f' c 250 kfg/cm ²	1	154	153	153,5	301	13,109	2353,398	2316,365
	2	152	153	152,5	301	12,351	2246,493	
	3	153	151	152,5	296	12,618	2349,204	
f' c 280 kfg/cm ²	1	155	152	153,5	301	12,935	2322,161	2325,775
	2	153	152	152,5	299	12,214	2236,434	
	3	151	151	151	299	12,951	2418,730	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV-8. Peso unitario a los 7 días para cada diseño de mezcla.



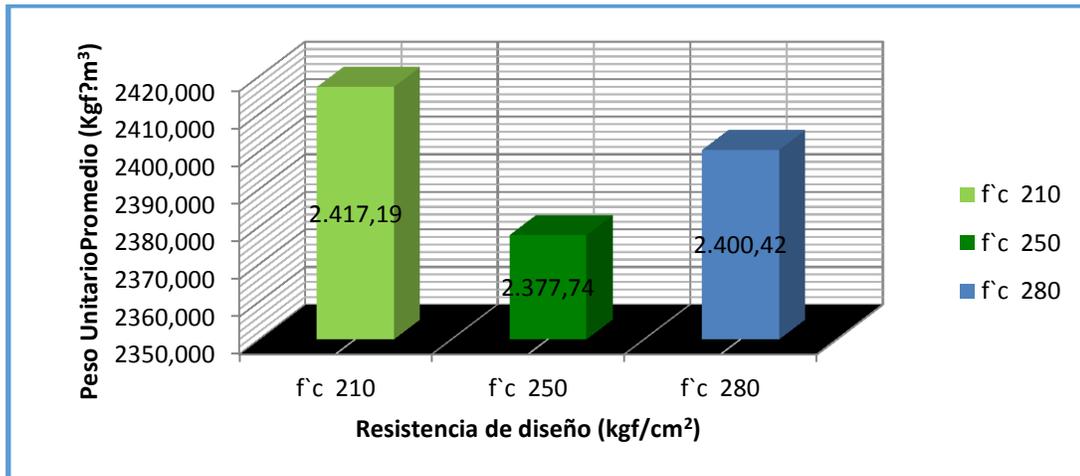
Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-22. Peso unitario a los 14 días.

Tipo de mezcla	Número de la Probeta	Ø1 (mm)	Ø2 (mm)	ØProm (mm)	H (mm)	Peso (kg)	Peso Unitario (Kgf/m ³)	Peso Unitario Promedio (Kgf/m ³)
f'c 210 kfg/cm ²	1	148	145	146,5	300	12,477	2467,305	2417,192
	2	149	149	149	300	12,482	2386,160	
	3	149	148	148,5	301	12,502	2398,111	
f'c 250 kfg/cm ²	1	150	150	150	304	12,785	2379,873	2377,739
	2	148	148	148	301	12,435	2401,403	
	3	149	149	149	300	12,303	2351,941	
f'c 280 kfg/cm ²	1	154	155	154,5	301	13,478	2403,957	2400,420
	2	148	149	148,5	302	12,591	2407,185	
	3	151	151	151	298	12,755	2390,118	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV-9. Peso unitario a los 14 días para cada diseño de mezcla.



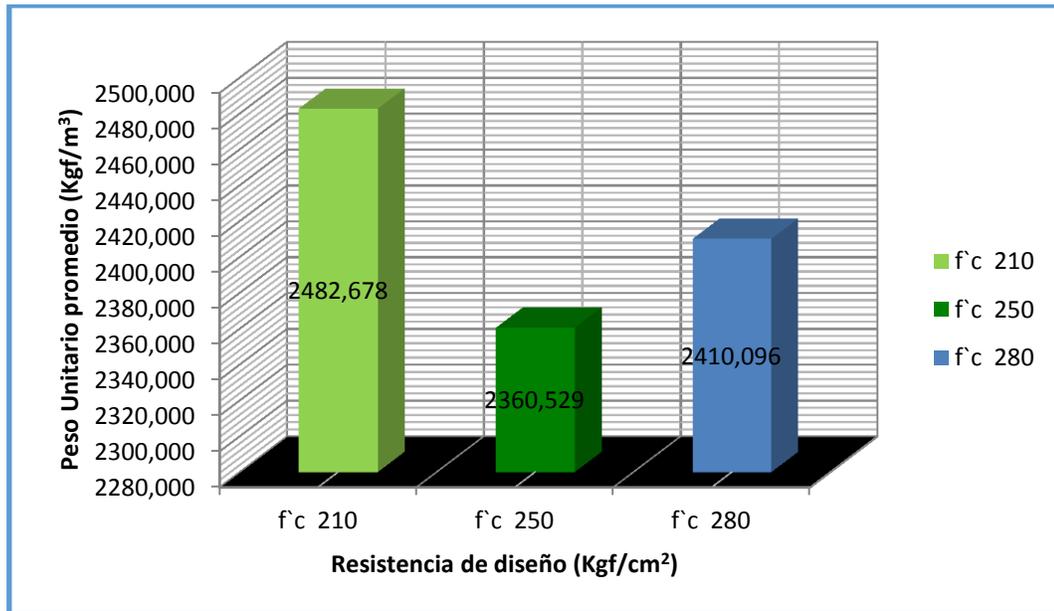
Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-23. Peso unitario a los 28 días.

Tipo de mezcla	Número de la Probeta	Ø1 (mm)	Ø2 (mm)	ØProm (mm)	H (mm)	Peso (kg)	Peso Unitario (Kg/m³)	Peso Unitario Promedio (Kg/m³)
f'c 210 kfg/cm ²	1	148	149	148,5	300	12,499	2405,527	2482,678
	2	150	149	149,5	289	12,769	2517,015	
	3	149	148	148,5	282	12,335	2525,493	
f'c 250 kfg/cm ²	1	150	150	150	302	12,486	2339,607	2360,529
	2	149	148	148,5	300	12,175	2343,171	
	3	149	149	149	301	12,590	2398,810	
f'c 280 kfg/cm ²	1	150	148	149	301	13,163	2507,985	2410,096
	2	148	149	148,5	300	12,249	2357,412	
	3	151	150	150,5	299	12,579	2364,890	

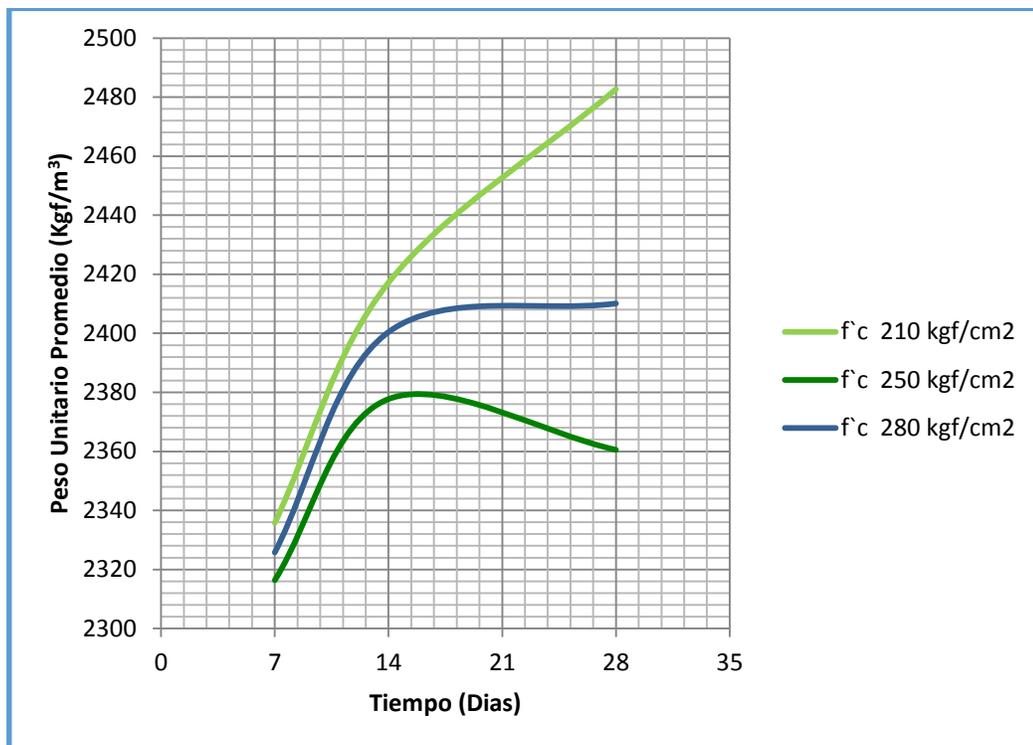
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV-10. Peso unitario a los 28 días para cada diseño de mezcla.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV-11. Peso unitario del concreto endurecido en el tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

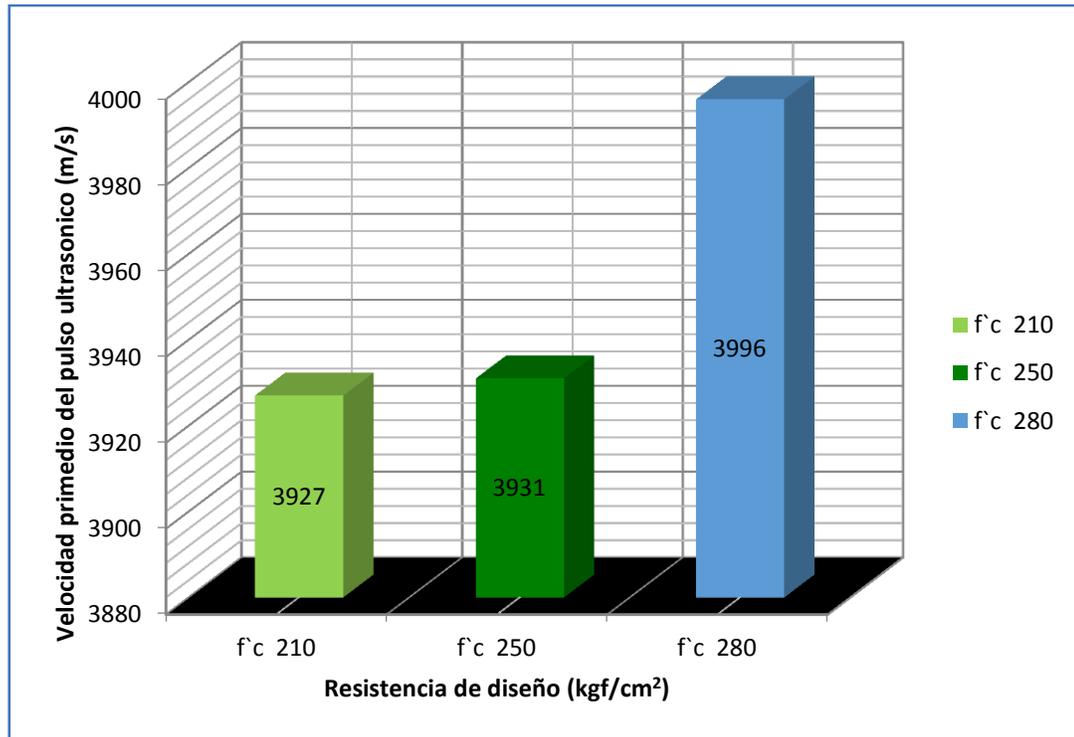
4.4.2. Velocidad del pulso ultrasónico.

Tabla IV-24. Velocidad del pulso ultrasónico a los 7 días.

Tipo de mezcla	Probeta N	Tiempo (μs)	Tiempo (s)	h (m)	V (m/s)	V prom (m/s)
f c 210 kgf/cm²	1	76,4	0,0000764	0,301	3940	3927
	2	77,3	0,0000773	0,301	3894	
	3	75,0	0,000075	0,296	3947	
f c 250 kgf/cm²	1	73,0	0,000073	0,301	4123	3931
	2	76,1	0,0000761	0,299	3929	
	3	79,9	0,0000799	0,299	3742	
f c 280 kgf/cm²	1	73,5	0,0000735	0,301	4095	3996
	2	76,3	0,0000763	0,300	3932	
	3	76,0	0,000076	0,301	3961	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV-12. Velocidad del pulso ultrasónico a los 7 días.



Fuente: Elaboración propia.

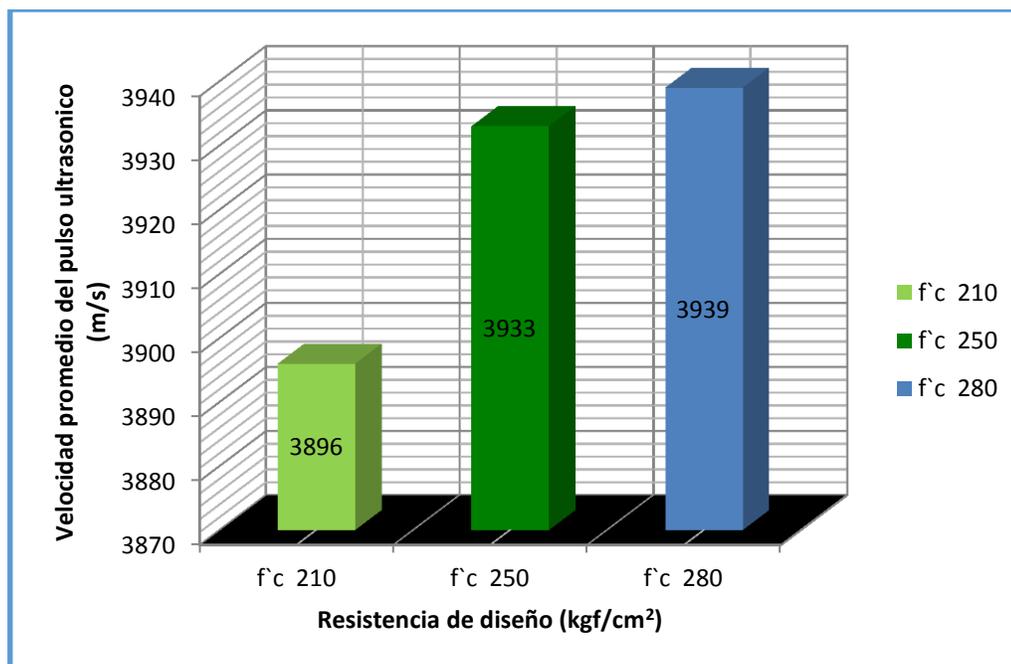
Tabla IV-25. Velocidad del pulso ultrasónico a los 14 días.

Tipo de mezcla	Probeta N	Tiempo (μs)	Tiempo (s)	h (m)	V (m/s)	V prom (m/s)
f'c 210 kgf/cm ²	1	74,6	0,0000746	0,300	4021	3896
	2	77,8	0,0000778	0,300	3856	
	3	79,0	0,000079	0,301	3810	
f'c 250 kgf/cm ²	1	77,4	0,0000774	0,304	3928	3933
	2	76,8	0,0000768	0,301	3919	
	3	75,9	0,0000759	0,300	3953	

f c 280 kgf/cm²	1	76,0	0,000076	0,301	3961	3939
	2	74,3	0,0000743	0,302	4065	
	3	78,6	0,0000786	0,298	3791	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV-13 Velocidad del pulso ultrasónico a los 14 días.



Fuente: Elaboración propia.

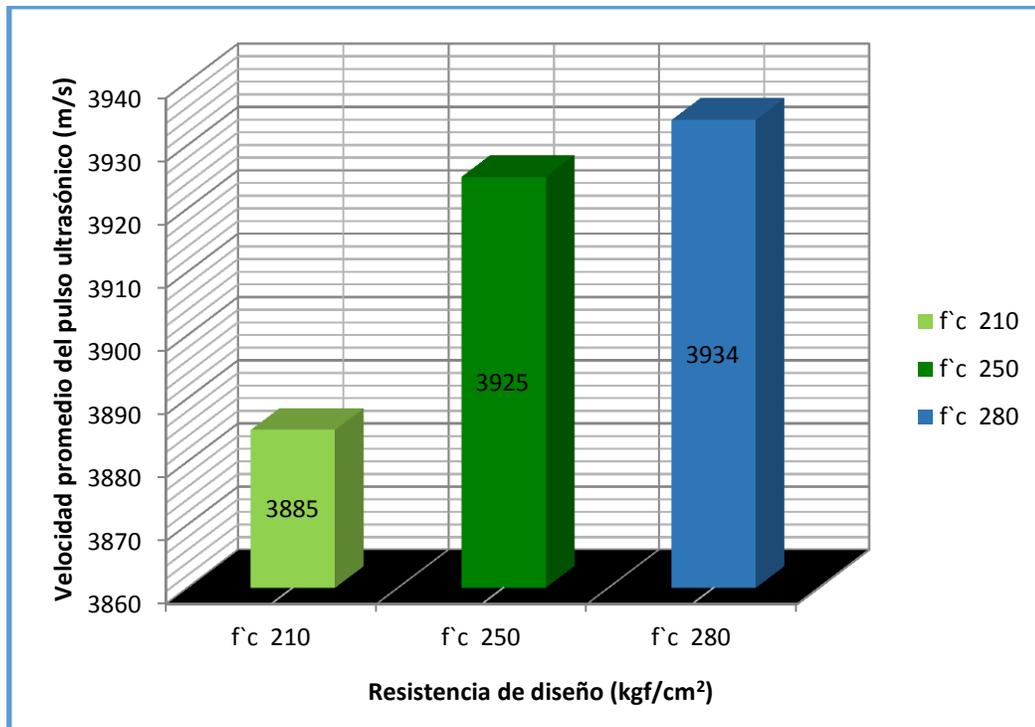
Tabla IV-26. Velocidad del pulso ultrasónico a los 28 días.

Tipo de mezcla	Probeta N	Tiempo (μs)	Tiempo (s)	h (m)	V (m/s)	V prom (m/s)
f c 210 kgf/cm²	1	74,5	0,0000745	0,300	4027	3885
	2	73,7	0,0000737	0,289	3921	
	3	76,1	0,0000761	0,282	3706	

f c 250 kgf/cm²	1	77,4	0,0000774	0,302	3902	3925
	2	76,8	0,0000768	0,300	3906	
	3	75,9	0,0000759	0,301	3966	
f c 280 kgf/cm²	1	76,0	0,000076	0,301	3961	3934
	2	74,3	0,0000743	0,300	4038	
	3	78,6	0,0000786	0,299	3804	

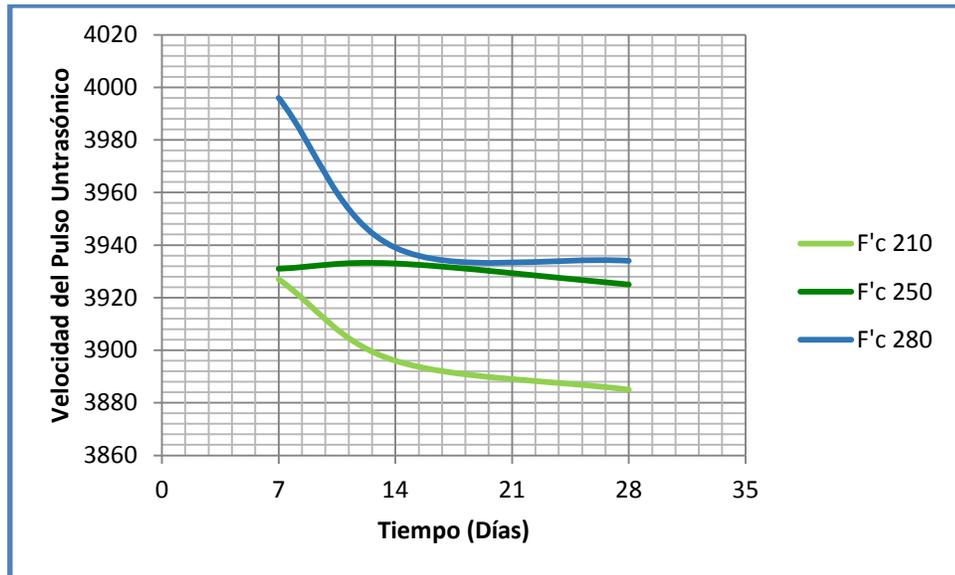
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV- 14. Velocidad del pulso ultrasónico a los 28 días.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV- 15. Velocidad del pulso ultrasónico del concreto endurecido en el tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-27. Desviación Estándar en el tiempo.

Tipo de Mezcla	Desviación estándar para velocidades del pulso ultrasónico		
	7 días	14 días	28 días
f c 210 kgf/cm²	28,79	110,95	163,56
f c 250 kgf/cm²	190,51	17,62	35,85
f c 280 kgf/cm²	86,95	138,32	119,26

Fuente: Elaboración Propia.

4.4.3. Dureza esclerométrica.

Tabla IV-28. Índice Esclerométrico a los 7 días.

Tipo de mezcla	Probeta N	Numero de ensayo																				Promedio	Promedio de mezcla
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
f c 210 kgf/cm ²	1	18	22	18	18	18	20	18	18	19	19	19	18	19	16	16	16	16	19	19	21	18,35	18,97
	2	20	20	20	16	20	21	17	16	18	21	17	20	22	19	18	21	21	18	20	20	19,25	
	3	20	22	18	19	19	18	20	16	17	22	19	16	19	19	21	20	20	21	20	20	19,3	
f c 250 kgf/cm ²	1	25	21	22	21	17	20	21	18	17	22	21	18	21	22	21	22	20	22	22	24	20,85	19,92
	2	16	19	19	20	18	20	19	22	21	18	18	25	21	18	18	16	21	22	23	19	19,65	
	3	20	22	21	20	22	20	20	21	16	22	20	20	18	16	16	18	20	16	21	16	19,25	
f c 280 kgf/cm ²	1	25	22	21	22	23	21	22	22	22	24	22	18	20	20	24	23	24	26	18	19	21,9	21,68
	2	26	26	22	23	22	16	22	16	23	19	24	23	23	23	19	22	20	23	24	24	22	
	3	21	18	22	20	18	23	21	22	22	25	24	22	21	22	22	16	18	20	23	23	21,15	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-29. Índice Esclerométrico a los 14 días.

Tipo de mezcla	Probeta N	Numero de ensayo																				Promedio	Promedio de mezcla
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
f' c 210 kgf/cm ²	1	18	24	18	20	20	18	22	22	20	22	20	20	18	22	20	22	18	18	20	22	20,2	19,73
	2	18	19	18	22	21	19	19	20	20	18	18	19	22	19	18	20	20	20	18	18	19,3	
	3	20	20	18	22	18	20	18	18	20	20	20	20	18	20	18	24	18	20	20	22	19,7	
f' c 250 kgf/cm ²	1	18	20	22	18	18	20	18	20	20	18	22	18	18	18	23	20	22	22	22	18	19,75	21,00
	2	22	24	23	20	24	22	23	18	24	22	24	18	22	20	20	20	22	24	20	24	21,8	
	3	23	21	20	24	20	22	22	20	24	22	21	23	24	20	20	20	20	23	20	20	21,45	
f' c 280 kgf/cm ²	1	23	23	23	23	24	24	26	23	20	24	24	24	25	23	23	23	20	22	20	26	23,15	23,53
	2	26	22	24	24	23	24	24	24	26	25	22	24	22	24	24	26	26	22	22	25	23,95	
	3	22	26	21	24	20	23	22	26	24	26	24	23	22	24	26	26	26	22	23	20	23,5	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-30. Índice Esclerométrico a los 28 días.

Tipo de mezcla	Probeta N	Numero de ensayo																				Promedio	Promedio de mezcla
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
f c 210 kgf/cm²	1	20	21	25	20	20	20	24	21	20	22	20	20	20	20	21	26	21	20	20	22	21,15	21,63
	2	22	20	25	23	22	26	24	22	24	20	22	22	20	22	22	22	22	20	22	24	22,3	
	3	20	20	22	22	22	23	20	20	22	20	20	23	23	23	23	20	24	20	22	20	21,45	
f c 250 kgf/cm²	1	23	20	23	24	22	23	22	20	20	22	23	20	22	23	23	20	22	24	20	22	21,9	22,97
	2	23	28	28	22	22	24	21	20	22	28	23	25	26	22	25	26	23	21	22	20	23,55	
	3	22	20	26	25	20	23	23	20	22	26	25	26	25	26	23	20	24	20	27	26	23,45	
f c 280 kgf/cm²	1	24	22	20	24	22	22	24	24	23	24	22	20	20	22	26	20	24	26	22	20	22,55	23,7
	2	22	24	20	28	28	24	24	22	24	22	26	27	25	24	22	28	28	24	28	20	24,5	
	3	20	28	22	26	26	22	24	20	28	23	28	26	24	22	22	22	26	22	24	26	24,05	

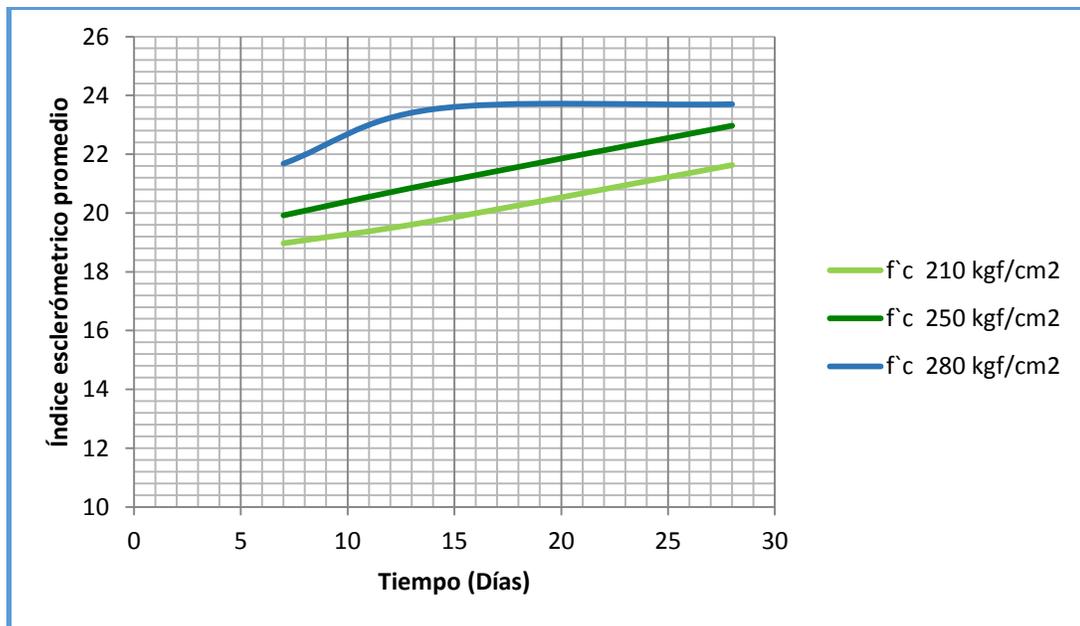
Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-31. Índice Esclerométrico promedio.

Tipo de Mezcla	Promedio del índice esclerométrico		
	7 días	14 días	28 días
f c 210 kgf/cm²	18,97	19,73	21,63
f c 250 kgf/cm²	19,92	21,00	22,97
f c 280 kgf/cm²	21,68	23,53	23,70

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV- 16. Índice esclerométrico en el tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

4.4.4. Ensayo a compresión.

Tabla IV-32. Resistencia a compresión a los 7 días.

Tipo de mezcla	Probeta N	Carga Máxima (Ton)	Tensión máxima (Kgf/cm ²)	Tensión máxima promedio (Kgf/cm ²)
f c 210 Kgf/cm²	1	31,04	176	190
	2	33,86	192	
	3	35,86	203	
f c 250 Kgf/cm²	1	36,61	207	216
	2	38,20	216	
	3	39,62	224	
f c 280 Kgf/cm²	1	46,11	261	225
	2	37,17	210	
	3	35,89	203	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-33. Resistencia a compresión a los 14 días.

Tipo de mezcla	Probeta N	Carga Máxima (Ton)	Tensión máxima (Kgf/cm ²)	Tensión máxima promedio (Kgf/cm ²)
f c 210 Kgf/cm²	1	29,563	167	176
	2	34,37	195	
	3	29,39	166	
f c 250 Kgf/cm²	1	41,73	236	220
	2	41,09	233	
	3	34,03	193	

f c 280 Kgf/cm²	1	46,13	261	258
	2	44,34	250	
	3	46,22	262	

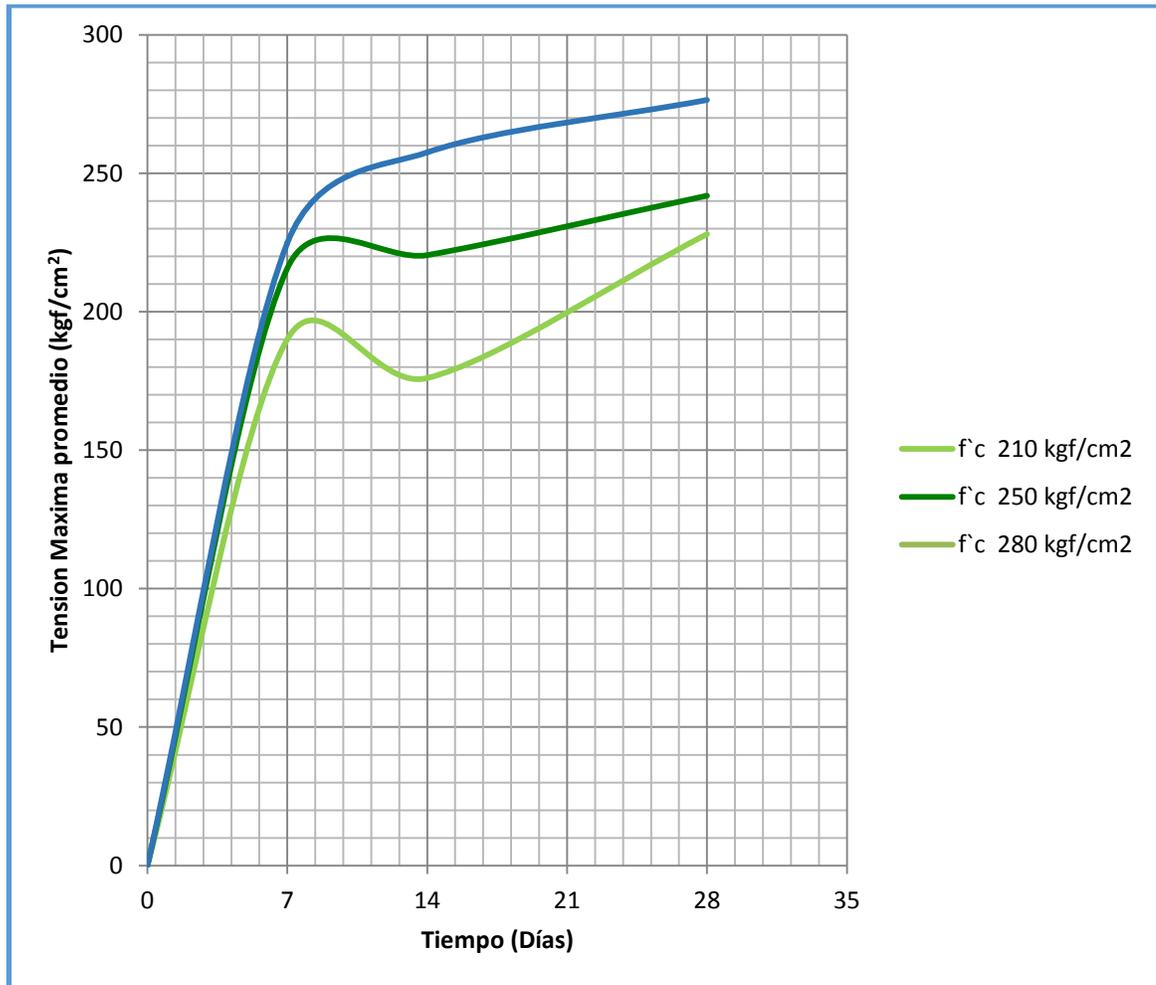
Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-34. Resistencia a compresión a los 28 días.

Tipo de mezcla	Probeta N	Carga Máxima (Ton)	Tensión máxima (Kgf/cm²)	Tensión máxima promedio (Kgf/cm²)
f c 210 Kgf/cm²	1	41,97	238	228
	2	38,69	219	
	3	40,21	228	
f c 250 Kgf/cm²	1	44,71	253	242
	2	42,36	240	
	3	41,16	233	
f c 280 Kgf/cm²	1	47,66	270	276
	2	49,05	278	
	3	49,85	282	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV-17. Resistencia a compresión en el tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-35. Desviación Estándar en el tiempo.

Tipo de Mezcla	Desviación estándar para la resistencia a la compresión		
	7 días	14 días	28 días
f c 210 kgf/cm²	13,71	16,01	9,31
f c 250 kgf/cm²	8,80	24,17	10,21
f c 280 kgf/cm²	31,53	6,53	6,27

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO V.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

5.1. Caracterización de los agregados.

5.1.1. Granulometría.

5.1.1.1. Tamaño Máximo.

Durante la ejecución del ensayo granulométrico del agregado grueso (Piedra Picada) en el laboratorio, dio como resultado los datos arrojados en la Tabla IV-3. Granulometría del agregado grueso (Piedra Picada), donde se puede observar que el tamiz que deja pasar el 95% del agregado grueso es de 1", por lo tanto cumple con el criterio teórico descrito en el Manual de Porrero y otros 2012, el cual define el tamaño máximo del agregado como la menor abertura del tamiz de malla cuadrada que deja pasar al menos el 95% en peso de una muestra de agregado, ensayada de acuerdo a la Norma COVENIN 255-1998.

5.1.1.2. Módulo de Finura.

En la Tabla IV-2. Porcentaje pasante del tamiz #200 determinado por lavado del agregado fino natural, se obtuvo el porcentaje de finura el cual es 3,56% , siendo este inferior a 5% valor máximo establecido por la Norma COVENIN 277-2000 "Concreto. Agregado. Requisitos."

En el Manual de Concreto Estructural (Porrero y otros 2012) se considera que el Modulo de Finura adecuado de una arena para producir concreto dentro de una granulometría aceptable, debe estar entre 2,3 y 3,1, donde un valor menor de 2 indica una arena fina, 2,5 una arena media y más de 3 una arena gruesa. Por lo tanto el agregado fino utilizado es una arena gruesa.

5.1.1.3. Desgaste de Los Ángeles.

En la Tabla IV-5. Desgaste de los Ángeles del agregado grueso, se muestra los resultados obtenidos del ensayo, el cual arrojó un valor de 22%, cumpliendo este con

las exigencias establecidas en Norma COVENIN 266-1977 “Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste en agregados gruesos de menores de 38,1mm (1½”) por medio de la máquina de Los Ángeles”, donde se establece que el porcentaje máximo admisible debe ser inferior al 40% para que la resistencia a la abrasión de las muestras ensayadas sea adecuada para su utilización en concreto estructural.

5.1.2. Densidad.

En las Tablas IV-6 y Tabla IV-7 se muestran los valores de las densidades del agregado fino y grueso, donde la densidad del agregado fino (Arena Lavada) es 2,47 y el agregado grueso (Piedra Picada) es 2,29, siendo la Arena Lavada más densa que la Piedra Picada. Ver Gráfico IV-3. Densidad.

5.1.3. Porcentaje de Absorción.

En las Tablas IV-6 y Tabla IV-7 se muestran los valores de los porcentajes de absorción del agregado fino y grueso, donde el porcentaje de absorción del agregado fino (Arena Lavada) es de 2,02% y el agregado grueso (Piedra Picada) es 1,31%, siendo la Arena Lavada un material más absorbente que la Piedra Picada, ya que su valor como se puede observar es notablemente mayor. Ver Gráfico IV-4. Absorción.

5.1.4. Peso Unitario Suelto y Compacto.

De acuerdo a los resultados que se muestran en las Tablas IV-8 y Tabla IV-9, el peso unitario suelto en el agregado fino fue de 1,583Kgf/l mientras que el agregado grueso es menor por tener un valor de 1.399Kgf/l. Asimismo, se pudo constatar que el peso unitario compacto del agregado fino fue de 1,744Kgf/l y el agregado grueso de 1,451Kgf/l, nuevamente arrojando un mayor valor el peso unitario compacto del agregado fino.

Se pudo observar que luego de compactar el material, el peso unitario aumenta. Por otra parte resulta importante destacar que los valores obtenidos cumplen

con lo establecido en la Norma COVENÍN 277-2000 “Concreto. Agregado. Requisitos.”, donde expone que el peso unitario debe ser mayor a 1,000Kgf/l para que el material no sea considerado como un agregado liviano.

5.1.5. Humedad.

En las Tablas IV-10 y Tabla IV-11 se exponen los valores obtenidos durante el ensayo de humedad, presentando el agregado fino un porcentaje de humedad de 5,26% mientras que el agregado grueso presentó un valor mucho menor siendo este de 0,50%, constatando así que la Arena Lavada es un material que presenta mayor humedad debido a que hay mayores espacios vacíos entre sus partículas. Ver Gráfico IV-5 Contenido de humedad de los agregados.

5.2. Caracterización del concreto fresco.

5.2.1. Asentamiento.

De acuerdo con los resultados reflejados en la Tabla IV-20 se puede observar los valores obtenidos durante el ensayo del Cono de Abrams, los cuales se mencionan a continuación: para la resistencia de diseño de 210Kgf/cm² se tuvo un asentamiento de 7cm, para la de 250Kgf/cm² un asentamiento de 10cm y por último para la de 280Kgf/cm² un asentamiento de 11cm. Los últimos dos valores se aproximaron al valor establecido en el diseño de mezcla (10cm), sin embargo, el primer asentamiento obtenido fue bajo debido a la relación agua cemento (a/c) establecida en la dosificación calculada. Ver Gráfico IV-7. Asentamientos para cada diseño de mezcla.

5.3. Caracterización del concreto endurecido.

5.3.1. Peso Unitario.

Es importante resaltar que el peso unitario del concreto endurecido depende de factores como el tipo y proporción del agregado grueso y fino, la cantidad de cemento y el volumen de vacíos presente en el mismo. Los valores obtenidos en las

Tablas IV-21, IV-22 y IV-23 se realizaron para las edades de 7, 14 y 28 días, cada uno con su respectivo gráfico.

A los 7, 14 y 28 días se pudo evidenciar que para la resistencia de 210Kgf/cm^2 se obtuvo el mayor peso unitario, siendo esta $2335,780\text{Kgf/m}^3$, $2417,192\text{Kgf/m}^3$ y $2482,678\text{Kgf/m}^3$ respectivamente.

Para las 3 resistencias los pesos unitarios fueron aumentando considerablemente, esto se puede observar en el Gráfico IV-11. Peso unitario del concreto endurecido en el tiempo, en donde la resistencia de diseño de 250Kgf/m^3 fue la que arrojó el menor peso unitario a través del tiempo.

5.3.2. Velocidad del pulso ultrasónico.

En la Tabla IV-24. Velocidad del pulso ultrasónico a los 7 días, se puede observar que para la resistencia de diseño 280Kgf/cm^2 se obtuvo el valor máximo de velocidad del pulso ultrasónico siendo este 3996m/s , lo que evidencia que esta mezcla tenía mayor densidad y resistencia con respecto a las resistencias de 210Kgf/cm^2 y 250Kgf/cm^2 .

En la Tabla IV-25. Velocidad del pulso ultrasónico a los 14 días se puede observar que para la resistencia de diseño 280Kgf/cm^2 se obtuvo el valor máximo de velocidad del pulso ultrasónico siendo este 3939m/s , lo que evidencia que esta mezcla tenía mayor densidad y resistencia con respecto a las resistencias de 210Kgf/cm^2 y 250Kgf/cm^2 .

Por último, la velocidad del pulso ultrasónico a los 28 días se puede observar en la Tabla IV-26 que para la resistencia de diseño 280Kgf/cm^2 se obtuvo el valor máximo de velocidad del pulso ultrasónico siendo este 3934m/s , lo que evidencia que esta mezcla tenía mayor densidad y resistencia con respecto a las resistencias de 210Kgf/cm^2 y 250Kgf/cm^2 .

De igual manera se muestran en los Gráficos IV-12, IV-13 y IV-14 las velocidades de pulso ultrasónico con respecto a cada resistencia de diseño, donde se puede observar como las velocidades de pulso para las resistencias de 210Kgf/cm², 250Kgf/cm² y 280Kgf/cm² se mantuvieron relativamente constantes.

Por otro lado, se obtuvo la desviación estándar en el tiempo como se muestra en la Tabla IV-35 “Desviación Estándar en el tiempo”, donde se puede observar que para los 7 días las resistencias 210Kgf/cm² y 280Kgf/cm² cumplen con las características para ser considerada homogénea, ya que para que sea homogénea debe ser menor a 110m/s. Y para los 14 y 28 días se tiene que la mezcla es homogénea solo para la resistencia de 250 Kgf/cm².

5.3.3. Índice Esclerométrico.

El índice esclerométrico nos permitió determinar la dureza superficial del concreto endurecido, donde en la Tabla IV-31 nos arroja los valores de índice esclerométrico según su resistencia de diseño con respecto al tiempo, reflejando que a los 28 días se obtuvo el máximo valor de índice esclerométrico con respecto a los 7 y 14 días.

En el Gráfico IV-16 se presenta el índice esclerométrico en el tiempo donde se puede presenciar que para las resistencias de diseño de 210Kgf/cm², 250Kgf/cm² y 280Kgf/cm² van aumentando constantemente en el tiempo.

5.3.4. Resistencia a la compresión.

Inicialmente se realizaron 3 diseños de mezclas considerando resistencias promedios a los 28 días de 210Kgf/cm², 250Kgf/cm² y 280Kgf/cm². En el Gráfico IV-17 se evidencia como la resistencia a la compresión para cada diseño obtenida en el laboratorio aumenta con respecto al tiempo.

En la Tabla IV-32, IV-33 y IV-34 se puede observar como la resistencia a la compresión para 280Kgf/cm² es el máximo valor obtenido, esto es debido a la

dosificación calculada anteriormente y a los métodos de ensayo llevados a cabo en el laboratorio.

De acuerdo a la Norma COVENIN 1976-2003. “Concreto. Evaluación y Métodos De Ensayo” se consideran dos criterios de aceptación y rechazo para las muestras de concreto en estado endurecido, vale acotar que el primer criterio indica que el promedio de las resistencias a compresión de tres ensayos consecutivos deben de ser mayor o igual a la resistencia de diseño, para la resistencia de diseño de 210Kgf/cm^2 se obtuvo un promedio de 228Kgf/cm^2 cumpliendo así el primer criterio, sin embargo, para la resistencia de diseño de 250Kgf/cm^2 y 280Kgf/cm^2 , se obtuvieron valores promedios de 2427Kgf/cm^2 y 276Kgf/cm^2 respectivamente, los cuales no cumplen con el criterio descrito anteriormente, pero la diferencia entre los valores de las resistencias se encuentran dentro del rango de la desviación estándar calculada en la Tabla IV-35, igualmente estos valores se aproximan a los requeridos en el diseño teórico, por lo tanto cumplen con el criterio.

Por otra parte, en el segundo criterio de aceptación y rechazo de la Norma COVENIN 1976-2003. “Concreto. Evaluación y Métodos De Ensayo”, se puntualiza que todos y cada uno de los resultados de ensayos individuales (cada uno promedio de dos o más pruebas) debe ser igual o mayor que la resistencia especificada de cálculo disminuida en 35Kgf/cm^2 , donde para la resistencia de 210Kgf/cm^2 es de 177Kgf/cm^2 , la de 250Kgf/cm^2 es de 215Kgf/cm^2 y para 280Kgf/cm^2 es de 245Kgf/cm^2 , los resultados obtenidos en el ensayo a compresión cumplen en su totalidad con el segundo criterio establecido en la Norma COVENIN 1976-2003, puesto a que su valor es mayor que los valores especificados anteriormente, como se muestran en la Tabla IV-34.

5.3.5. Fallas en los cilindros sometidos a compresión. (Ver Anexo B).

Las fallas más frecuentes durante el estudio a compresión de los cilindros, fueron las causadas por presencia de agregados planos y rotura del agregado, para los 7, 14 y 28 días de ensayo. El primer tipo de falla (agregados planos) es aquel que

sucede cuando al aplicarse una carga sobre la probeta se forma un plano de falla en dirección del agregado y consecuentemente, la rotura del espécimen por éste.

El segundo tipo de falla (rotura del agregado) es aquel que sucede cuando al aplicarse una carga sobre la probeta se forma un quiebre de falla justo en el agregado grueso, generando como consecuencia la falla del cilindro. Es importante destacar que este tipo de falla se debe a dos razones: la primera es por baja resistencia del agregado grueso y la segunda por la mala compactación del agregado grueso junto a la pasta (cemento), agregado fino y agua.

El último tipo de falla, es el ocasionado por la resistencia de la pasta, el cual se origina cuando la pasta (cemento) no ha desarrollado suficiente adherencia con los agregados como para permitir una falla conjunta de la pasta y los agregados.

Observando los tipos de fallas y las edades de cada uno de los cilindros para los cuales fueron ensayados (7, 14 y 28 días), se puede concluir que el diagrama de falla predominante fue el tipo 3 y 5, teniendo en cuenta que a medida que se hidrata más el cemento se genera más adherencia entre el agregado grueso y la pasta. Por lo tanto se evidencia un tipo de falla por rotura del agregado y por resistencia de la pasta a las edades de 14 y 28 días.

CAPÍTULO VI.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1. Conclusiones.

Posterior al análisis realizado en el Capítulo V se obtuvo en este trabajo de investigación las conclusiones presentadas a continuación, lo cual cumplen con los objetivos planteados:

- El valor del asentamiento obtenido en las mezclas de 210Kgf/cm², 250Kgf/cm² y 280Kgf/cm² fueron de 7, 10 y 11cm respectivamente, esto es debido a que a mayor resistencia la mezcla de concreto presentara mayor pasta y agregados, aportando más fluidez a la mezcla y garantizando una mayor trabajabilidad a la misma, asimismo, dichos asentamientos se aproximaron al valor establecido en el diseño de mezcla el cual era de 190 cm.
- En cuanto a las características físicas (Color y Textura) del cemento Portland Escoria son iguales que las características del presentes en el cemento Portland Tipo I.
- El tiempo de fraguado de las mezclas de concreto elaboradas con cemento Portland Escoria fue aproximadamente de 15 minutos, lo que pone en evidencia la acotación realizada por Porrero y otros (2012), donde indica que el fraguado es más rápido que las mezclas que se elaboran con cemento Portland Tipo I el cual tiene un valor de tiempo de fraguado teórico de 45 minutos a una temperatura de 25 °C.
- El peso unitario de las resistencias fueron aumentando considerablemente, es importante destacar que el peso unitario depende del tipo y proporción de los agregados, del contenido del cemento y del volumen de vacío, este valor puede variar según Porrero y otros (2012) entre 2.200 y 2.350Kgf/m³, observando de esta manera que los pesos unitarios obtenidos se encuentran dentro de este rango especificado.

- La velocidad del pulso ultrasónico aumentó en los tres tipos de mezclas, en el transcurso del tiempo, en cada edad ensayada. Se puede observar que la mezcla de 280Kgf/cm² fue la que alcanzó valores mayores, aportando mayor densidad, consistencia y resistencia con respecto a las muestras de 210Kgf/cm² y 250Kgf/cm². Es importante señalar que la velocidad del pulso ultrasónico se ve directamente afectada por la humedad de las muestras, el proceso de curado, y la textura en las caras de la probeta.
- El ensayo de índice esclerométrico presentó en las tres mezclas un aumento a lo largo del tiempo en su dureza superficial. Según el ensayo realizado, la mayor dureza la produjo las mezclas de 280Kgf/cm² para cada una de las edades. Es importante resaltar, que a mayor rebote mayor dureza superficial y, presumiblemente, mayor será la resistencia del concreto, por ende se espera que las mezclas de 280Kgf/cm² sean las probetas de concreto más resistentes para cada edad. Por otra parte, es importante indicar que para mezclas de concreto elaboradas con cemento Portland Tipo I el valor teórico del índice esclerométrico a los 28 días para resistencia de 280 Kgf/cm² es de 28Kgf/cm² mientras que las mezclas de concreto elaboradas con cemento Portland Escoria para resistencia de 280Kgf/cm² fue de 36 Kgf/cm², lo que evidencia una variación significativa en los valores.
- De acuerdo a los tipos de fallas y diagramas de tipos de fallas, se puede concluir que el diagrama de falla predominante fue el tipo 3 y 5, evidenciando un tipo de falla por rotura del agregado y por resistencia de la pasta. Ambas fallas son por falta de resistencia del agregado grueso y del concreto, sin embargo cumplen con las resistencias de diseño para las cuales fue diseñado.
- Al mismo tiempo, se concluyó que las mezclas de concreto elaboradas con cemento Portland Escoria alcanzaron las resistencias de diseño especificadas al inicio de la investigación lo que indica que el material cumple con los dos criterios de aceptación y rechazo establecidos en la Norma COVENIN 1976-2003. “Concreto. Evaluación y Métodos De Ensayo”, lo cual garantiza una

calidad óptima y se puede usar para la construcción de cualquier elemento estructural.

- Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente, el concreto elaborado con cemento Portland Escoria puede utilizarse para fabricar cualquier tipo de elemento estructural, debido a que el concreto estructural en zonas no sísmicas debe alcanzar 180Kgf/cm^2 y en zonas sísmicas 210Kgf/cm^2 así lo refleja la Norma COVENIN 1756-2001, y según este trabajo de investigación se tomó una resistencia de diseño de 280Kgf/cm^2 , lo cual cumple con las expectativas para poder ser utilizado en la industria de la construcción y contribuye con la preservación del medio ambiente.
- Por último, se puede acotar que a pesar de haber utilizado el método de diseño del Manual de concreto Estructural que toma en consideración al cemento Portland Tipo I que alcanza una resistencia teórica a la compresión de 280Kgf/cm^2 a los 28 días, lo que revela que los valores obtenidos en el laboratorio fueron bastante aproximados a estos, destacando que el cemento Portland Escoria presenta un comportamiento parecido al Cemento Portland Tipo I al combinarse con los agregados y el agua.

6.2. Recomendaciones.

Se recomienda que los agregados a utilizar no presenten materia orgánica ni impurezas, ya que estos pueden comprometer el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido. Es importante señalar, si hay presencia de este tipo de material se deben lavar los agregados y dejar secar a temperatura ambiente.

Se sugiere buscar los materiales con anticipación, específicamente el Cemento Portland Escoria, debido a que sólo es producido por la empresa INVECEM en la localidad de San Sebastián, Estado Guárico y su disponibilidad en el mercado es baja.

Se recomienda que el cemento Portland Escoria se almacene de manera adecuada sobre paletas de madera, para evitar la presencia de humedad y endurecimiento del mismo.

Se sugiere medir el tiempo de fraguado de las mezclas, para llevar un registro y poder obtener una relación entre el tiempo de fraguado y la resistencia de diseño.

Se deben llevar a cabo prácticas apropiadas de compactación durante el vaciado del concreto en las conchas cilíndricas para garantizar la homogeneidad de la mezcla y la trabazón de los agregados con la pasta de agua/cemento, ya que esto afecta de manera directa los valores obtenidos en los ensayos de pulso ultrasónico, ensayo esclerómetro y compresión.

Se recomienda que para realizar el ensayo de dureza esclerométrica dejar secar las probetas cilíndricas para que los valores obtenidos sean los reales, puesto a que si se realiza inmediatamente después de sacarlos de la piscina de curado estos presentan mayor humedad disminuyendo el valor del impacto o rebote.

Para llevar a cabo el ensayo de pulso ultrasónico es recomendable verificar que los cables estén en óptimas condiciones y que los terminales se encuentren bien lubricados con la grasa especial, debido a que los resultados arrojados en el ensayo se

verán alterados. Igualmente se recomienda que las probetas se encuentren húmedas ya que favorece la velocidad de transmisión.

Se recomienda, verificar la fecha de elaboración del cemento, así como también la verificación de las características físicas del mismo para determinar si cumple con lo establecido en la Norma COVENIN 935-1976.

Se recomienda seguir con esta línea de investigación usando cemento Portland Escoria y agregados de diferente granulometría, esto permitirá determinar si las diferencias en el tamaño de partículas que presentan los materiales en estado natural influyen en los resultados obtenidos.

Se propone dejar testigos para evaluar en el tiempo las características del concreto en estado endurecido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Armas, Mayela (2014). Producción de las cementeras se desplomó al cierre de 2013. [Artículo en línea]. El Universal. Consultado: 31 de marzo de 2015. Disponible: <http://www.eluniversal.com/economia/140331/produccion-de-las-cementeras-se-desplomo-al-cierre-de-2013>.
- Calleja, José (1982). Escorias y Cementos Siderúrgicos. [Documento en línea]. Madrid, España. Consultado: 02 de mayo de 2015. Disponible en: <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/download/1024/1079>.
- Cámara Venezolana de la Construcción. (2015). [Página web en línea]. Consultado: 01 de mayo de 2015. Disponible en: <http://www.cvc.com.ve/index.php>.
- Ciencia & Cemento (2015). [Página web en línea]. Consultado: 01 de mayo de 2015. Disponible en: <http://wp.cienciaycemento.com>
- COVENIN 254-1977 .Cedazos de Ensayos. [Documento en línea]. Consultado: 26 de junio de 2015. Disponible en: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/254-98.pdf>.
- COVENIN 255-1998. Agregados. Determinación de la composición granulométrica. [Documento en línea]. Consultado: 26 de junio de 2015. Disponible en: <http://www.simpleproyectos.com/descargas/normas-para-presupuestar/CONCRETO%20GRANULOMETRIA%20AGREGADOS%20255-1998.pdf>.
- COVENIN 258-1977. Método de ensayo para la determinación por lavado del contenido de materiales más finos que el cedazo COVENIN 74 micras en agregados minerales.
- COVENIN 263-1978. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado. Consultado: 23 de junio de 2015.

COVENIN 266-1977. Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste de los agregados gruesos menores de 38,1 mm (1 ½ “), por medio de la máquina Los Ángeles. [Documento en línea]. Consultado: 29 de junio de 2015. Disponible en: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/266-77.pdf>.

COVENIN 268-1998. Agregado Fino. Determinación de la densidad y la absorción. [Documento en línea]. Consultado: 22 de julio de 2015. Disponible en: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/268-98.pdf>.

COVENIN 269-1998. Agregado Grueso. Determinación de la densidad y la absorción. [Documento en línea]. Consultado: 22 de julio de 2015. Disponible en: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/269-98.pdf>.

COVENIN 277-2000. Concreto. Agregados. Requisitos. [Documento en línea]. Consultado: 26 de julio de 2015. Disponible en: <http://www.arquitectosrp.com/archivo/download/Covenin%200277-2000%20Concreto,%20Agregados,%20Requisitos.pdf>.

COVENIN 338-2002. Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto. [Documento en línea]. Consultado: 4 de julio de 2015. Disponible en: <http://www.simpleproyectos.com/descargas/normas-para-presupuestar/CONCRETO%20CILINDROS%200338-2002.pdf>

COVENIN 339-2003. Concreto. Métodos para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams. [Documento en línea]. Consultado: 22 de abril de 2015. Disponible en: <http://www.arquitectosrp.com/archivo/download/COVENIN%200339-2003%20Concreto%20metodo%20medicion%20asentamiento,%20Cono%20Abr.pdf>.

COVENIN 935-1976. Cementos. Especificaciones para cementos Portland-escoria. Consultado. 31 de marzo de 2015.

COVENIN 1375-1979. Método de ensayo para determinar por secado, el contenido de humedad total y superficial del agregado. [Documento en línea]. Consultado: 26 de junio de 2015. Disponible en: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/1375-79.pdf>.

COVENIN 1609-1980. Método de ensayo para la determinación de la dureza esclerométrica en superficies de concreto endurecidas. [Documento en línea]. Consultado: 26 de julio de 2015. Disponible en: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/1609-80.pdf>.

COVENIN 1681-1980. Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto. [Documento en línea]. Consultado: 25 de julio de 2015. Disponible en: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/1681-80.pdf>.

COVENIN 1976-2003. Concreto. Evaluación y Métodos De Ensayo. [Documento en línea]. Consultado: 06 de agosto de 2015. Disponible en: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/1976-03.pdf>.

COVENIN 1753-1987. Estructuras de concreto reforzado para edificaciones, análisis y diseño. [Documento en línea]. Consultado: 02 de mayo de 2015. Disponible en: http://www.funvisis.gob.ve/archivos/pdf/normas/norma_dise%C3%B1o_concreto/1753-1987A.pdf.

COVENIN 1756-2001. Edificaciones Sismorresistentes. Parte 2: Comentarios. [Documento en línea]. Consultado: 09 de mayo de 2015. Disponible en: http://www.funvisis.gob.ve/archivos/pdf/normas/norma_covenin/covenin1756-2-01.pdf

Espinoza L y Escalante I. (2007). Comparación de las propiedades del concreto utilizando escoria de alto horno como reemplazo parcial y total del cemento Portland ordinario. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua.

[Documento en línea]. Consultado: 03 de mayo de 2015. Disponible en: www.lamjol.info/index.php/NEXO/article/download/405/265.

Gonzales, Manuel (1978). Cemento Portland de escoria. [Documento en línea]. CEMENTOS NORTE PACASMAYO S.A. Consultado: 02 de mayo de 2015. Disponible en: http://www.asocem.org.pe/SCMRoot/bva/f_doc/cemento/adicionado/MGC54_inifor_final.pdf.

Gonzales del Castillo, Luis (2014). La problemática de la vivienda en Venezuela: un Estado incompetente. [Artículo en Línea]. El Nacional. Consultado: 31 de marzo de 2015. Disponible en: http://www.el-nacional.com/luis_gonzalez_de_castillo/problemativa-vivienda-Venezuela-incompetente-IV_0_502149896.html.

Grases, José; Porrero, Joaquín; Ramos, Carlos y Velazco Gilberto. (2012) Manual del concreto estructural. Cuarta Edición. Venezuela: Impresos Minipres, C.A.

Instituto Nacional De Estadística. (2015). [Página web en línea]. Consultado: 01 de mayo de 2015. Disponible en: www.ine.gov.ve/.

Puertas, Francisca (1995). Cementos de escorias activadas alcalinamente: Situación actual y perspectivas de futuro. [Documento en línea]. CSIC - Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETCC). Consultado: 03 de mayo de 2015. Disponible: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/34525/1/001.pdf>

Puertas, Francisca (1993). Escorias de alto horno: composición y comportamiento hidráulico. [Documento en línea]. CSIC - Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETCC) Consultado: 03 de mayo de 2015. Disponible en: digital.csic.es/bitstream/10261/55875/1/740.pdf

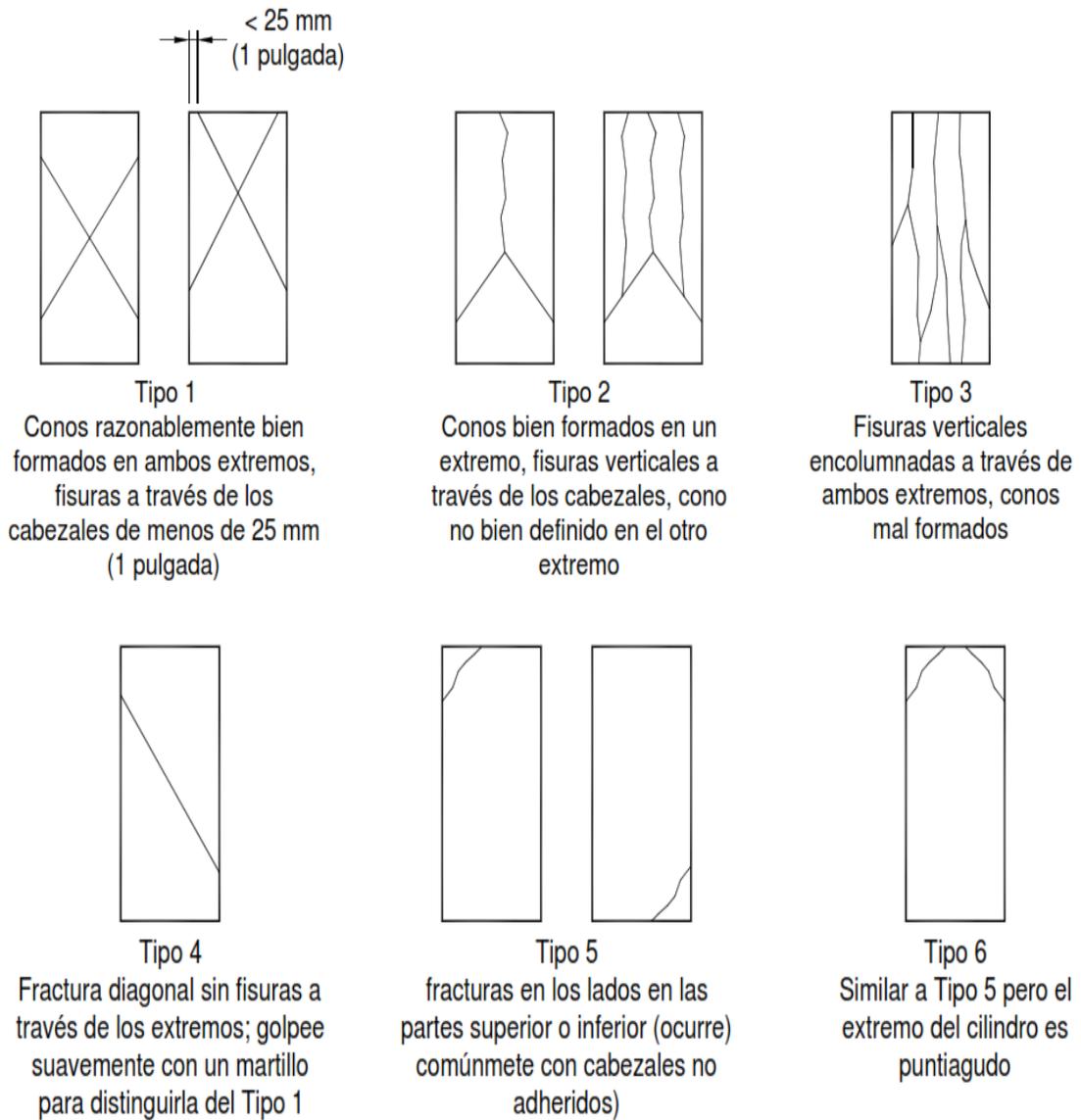
Vázquez, Rosura (2007). Estudio de las adiciones de escoria de alto horno en el comportamiento de los cementos adicionados. [Artículo en línea]. Consultado: 02

mayo de 2015. Disponible en:
www.asocem.org.pe/bivi/re/IC/ADI/estudio_adiciones.pdf

Web del Constructor Civil. Consultado: 06 de septiembre de 2015. Disponible:
www.elconstructorcivil.com

ANEXOS.

ANEXOS A: DIAGRAMA DE FALLAS DE CILINDROS SOMETIDOS A COMPRESIÓN.



Fuente: www.elconstructorcivil.com

ANEXO B: FALLA DE LOS CILINDROS SEGÚN SU TIPO.



Tipo de Falla: 6.
Día de Ensayo: 7 días.
Mezcla: 250Kgf/cm².
Fuente: Elaboración Propia.



Tipo de Falla: 3.
Día de Ensayo: 7 días.
Mezcla: 280Kgf/cm².
Fuente: Elaboración Propia.



Tipo de Falla: 3.
Día de Ensayo: 14 días.
Mezcla: 250Kgf/cm².
Fuente: Elaboración Propia.



Tipo de Falla: 5.
Día de Ensayo: 14 días.
Mezcla: 210Kgf/cm².
Fuente: Elaboración Propia.

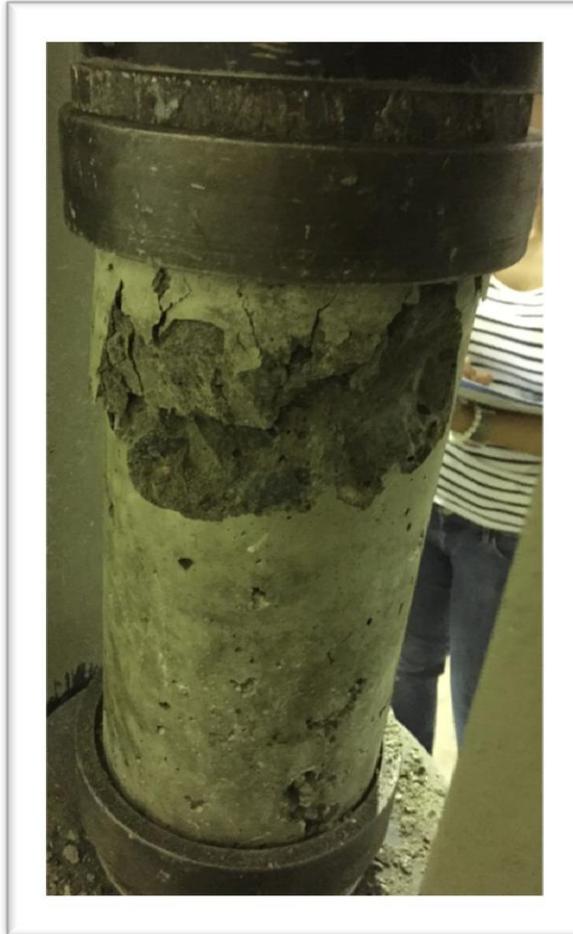


Tipo de Falla: 4.
Día de Ensayo: 28 días.
Mezcla: 280Kgf/cm².
Fuente: Elaboración Propia.



Tipo de Falla: 2.
Día de Ensayo: 28 días.
Mezcla: 280Kgf/cm².
Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO C: FALLAS DE CILINDROS.



Falla por fractura del agregado.
Día de Ensayo: 14 días.
Mezcla: 250Kgf/cm².
Fuente: Elaboración Propia.



Falla por fractura del agregado.
Día de Ensayo: 128 días.
Mezcla: 280Kgf/cm².
Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO C: PRESENTACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND ESCORIA.



CSC
Corporación
Socialista
del Cemento, S.A.

Supercem® Portland/Escoria

Uso General

CEMENTO

Ventajas

- Producto fabricado con estrictos controles de calidad.
- Buen desarrollo de resistencias a todas las edades.

Usos

- Estructuras convencionales y obras de Concreto en general.
- Aplicaciones de albañilería y mampostería.
- Aceras y brocales.
- Estabilización de suelos.



Este producto es fabricado con materias primas de calidad, mediante la molienda conjunta de clinker y yeso.



Presentación: • Sacos de 42,5 Kg





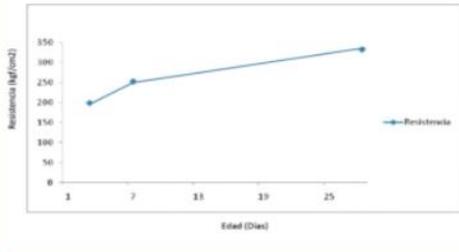
Gobierno Bolivariano de Venezuela

Ministerio del Poder Popular para Industrias

Corporación Socialista del Cemento

Industria Venezolana de Cemento

Desarrollo de Resistencias a la Compresión
Cemento Supercem Portland/Escoria



Edad (Días)	Resistencia (kg/cm²)
1	~180
7	~220
11	~240
19	~260
25	~310

Precauciones



En caso de contacto por tiempo prolongado, utilice equipo protector: guantes, mascarilla y lentes.



Cargue el saco adecuadamente para evitar accidentes y roturas.



Prevenga el contacto con piel, ojos y mucosas.



En caso de contacto con los ojos lávese con abundante agua.



Manténgase en un ambiente seco y protegido contra la humedad.



Evite tiempos de almacenamiento prolongados. Tome como fecha de vencimiento 45 días a partir de la fecha de envasado impresa en el envase.



Manténgase alejado del alcance de los niños.

Recomendaciones



Dosifique el cemento de acuerdo a las especificaciones del concreto requerido.



No acepte perforaciones en el empaque.



Añada agua limpia hasta lograr el asentamiento deseado.



Utilice el producto una vez abierto o selle herméticamente el material sobrante.



Verifique que los nigrificados sean limpios, sin impurezas y de buena granulometría.



No añada más agua para recondicionar la mezcla porque esto afecta sus características.

Consejos para preparar un Concreto de calidad





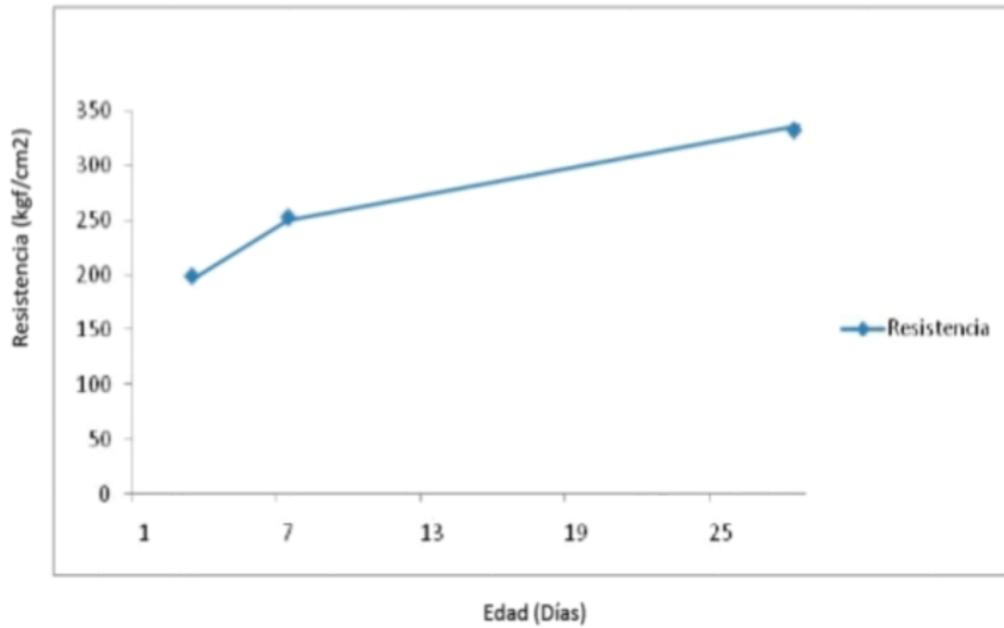




Fuente: <http://www.invecem.com/images/fichas/2013/Cemento%20Tipo%20I.JPG>

158

Desarrollo de Resistencias a la Compresión Cemento Supercem Portland/Escoria



Fuente: <http://www.invecem.com/images/fichas/2013/Cemento%20Tipo%20I.JPG>