

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

“CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO PESADO ELABORADAS CON MINERAL DE HIERRO COMO AGREGADO FINO”

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por las Brs.:
Alayón Buitrago, Yenitza Lourdes
Álvarez Briceño, Eylim Joanna
Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, Noviembre de 2008

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

“CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO PESADO ELABORADAS CON MINERAL DE HIERRO COMO AGREGADO FINO”

TUTORES ACADÉMICOS: Prof. César Peñuela
Prof. Nelson Camacho

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por las Brs.:
Alayón Buitrago, Yenitza Lourdes
Álvarez Briceño, Eylim Joanna
Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, Noviembre de 2008

DEDICATORIA

A el eclipse que ha estado presente en todos mis días, mi manita Yessika María. Llegar a la meta que me tracé, sabiendo que estuviste y estás a mi lado es la alegría mas grande que tengo, puedo decir sin temor a equivocarme que en los buenos momentos reímos y en las tristezas tratamos de no llorar pero siempre juntas, unidas como las grandes amigas que hemos sido Te Amo Nani linda.

A mi flaco precioso Juan Alfredo Abreu dedico este trabajo por ser el resultado del esfuerzo de ambos, gracias vida por ser y estar, además por la infinita paciencia y por tus continuas palabras de aliento acompañadas de un abracito reconfortante. Como siempre te digo eres un tesoro que la vida me dispuso, que me ha dado raudales de amor y enseñado que la vida tiene muchos motivos para sonreír y ser feliz para mi tu eres uno de ellos cielo.

Yenitza L. Alayón Buitrago

AGRADECIMIENTOS

Especialmente a mis padres Luis Alayón y Francisca de Alayón GRACIAS por las enseñanzas, las vivencias, la crianza y el día a día.

Con humildad y gran esfuerzo construyeron una gran familia sobre bases sólidas.

En el largo trayecto de mi carrera debo agradecer a muchos actores que fueron coparticipes de esta que para mí ha sido una gran historia; hoy veo con regocijo el fruto de un gran esfuerzo que solo fue posible por la invaluable presencia y apoyo de:

*Una mujer de temple en extremo bondadosa en la que siempre encontré las palabras que me reconfortaban y los brazos dispuestos a darme calorcito de hogar GRACIAS **Betty Vilchez**, eres una de las responsables de la persona que soy hoy.*

*Mi viejita linda **Zenobi**, que como es bien sabido es el motorcito que mueve a la familia y la mantiene unida por ser tan bella y un alma tan noble Te Amo Mucho.*

*Mi nueva familia por la que cada día doy gracias a Dios y a la vida, son un inmenso regalo **Bexis** y **Juan Abreu** (padre) por los abrazos y los regaños, por entendernos y ayudarnos. **Chochito** (Juan Alfonzo) siempre atento y dispuesto a ayudarme. **María** y **Marcela** mis niñas, también aportaron su granito de arena aunque no lo crean.*

*Mis bebas preciosas, mis pelirrojas **Yeraly Daniela** y **Yerelmy Gabriela** que con sus sonrisas, ocurrencias y esos abrazotes con besitos a yenitá llenaban de alegría el cortito fin de semana. Y por supuesto a su mamá **Nina** por tenerlas tan bellas.*

*Agradezco además a mi cuñis internacional **Alay Martínez**, cuya contribución ha sido incalculable.*

*A mis tutores **César Peñuela** y **Nelson Camacho** por el apoyo y colaboración para que todo se resolviera de la mejor manera. Al personal del IMME por la colaboración y ayuda prestada, especialmente a **Elione** más que un técnico del instituto excelente trabajador y un gran ser humano.*

*Gracias "**Amichi**", compañera de tesis y de vivencias en los últimos semestres. Hemos vivido, hemos crecido y aprendido. Con dedicación y esfuerzo logramos mantener el rumbo.*

Gracias a profesores, familiares y amigos, todos los que de una u otra forma han contribuido con mi formación profesional y crecimiento personal...

Sé que nunca he estado sola... Gracias!

Yenitza L., Alayón Buitrago

Quiero dedicar este trabajo,
primero que nada a mis padres:
Miguel Antonio, quien me enseñó
dos cosas tan dísimiles
como la firmeza en el carácter
pero también la firmeza en el corazón.
A Lercy Marcella, por su paciencia.
Paciencia incondicional.
Por ese cafecito en las mañanas,
algunas veces para empezar,
otras para continuar.
A Miguelito, mi morocho.
Mi mejor amigo y apoyo, mi cómplice.
A mis hermanos, Mikhaíl y Kristine,
porque tienen que continuar,
porque los sueños comienzan
desde que los empezamos a soñar.
A Benjamín Briceño,
pionero, el ingeniero que más respeto,
donde realmente comenzó todo.
A mi sobrina, Milye Joanna,
en quien se refleja el comienzo de nuevos tiempos,
y la llegada de nuevas generaciones.
Y por último y no menos importante
al Dios-Diosa, ese que vive en todos nosotros
y nos acompaña siempre, incluso en los momentos de oscuridad.
Una vez escuché que lo importante no es la llegada sino el viaje, y este viaje
maravilloso en el que me embarqué hace ya muchos años, lo agradezco, lo celebro
y lo continúo.

EYLIM JOANNA

Quiero también, agradecer, muy humildemente,
a todo el personal técnico del IMME;
y en especial, un millón de gracias a ELIONE BARRIOS,
nuestro Técnico *SUPER ESTRELLA*,
y ahora *AMIGO*
sin él, éste trabajo hubiese sido imposible terminarlo, él es el padrino de la criatura!
Igualmente, gracias a nuestros Tutores: Peñuela y Camacho,
por confiarnos lo que empezó como una idea,
luego fue un anteproyecto, y ahora es un Trabajo Especial de Grado.
A la profa. Ma. Eugenia Korody,
cuya rectitud y apego a lo correcto, siempre fue motivo de mi admiración.
A mis amigas de toda la vida,
amigas de hoy y de siempre:
Mi Comadre Alivith, Maryangela y Paola, por el apoyo incondicional.
A Caminos Sagrados del Sol y La Luna,
mis hermanas y amigas. Por apoyarme incluso en la distancia.
A mi familia: conformada por ti@s y prim@s que siempre estuvieron al pendiente.
A Gustavo, por este año de vivencias y aprendizaje,
e comienzo, por una nueva oportunidad. Gracias Amor.
A una persona muy especial: JUAN ABREU. Juancho, gracias por todo, eres el
tercero en esta tesis, en este grupo.
A mi compañera de estudios, compañera de tesis,
compañera de cuarto, y ahora amiga, Yenitza Alayón. Te quiero mucho Amiga.
A todos aquellos que colaboraron, que pusieron su granito de arena.
Y por último, a los que me la pusieron difícil, porque con ellos fortalecí mi espíritu.

EYLIM JOANNA

ACTA

El día 21-11-2008 se reunió el jurado formado por los profesores:

CESAR PERUELO / NELSON CAMACHO
AIBA LOPEZ
RONALD TORRES

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado:
**"CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO PESADO ELABORADAS
CON MINERAL DE HIERRO COMO AGREGADO FINO".**

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

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

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Br. Yenitza Lourdes Alayón Buitrago	20	VEINTE
Br. Eylim Joanna Álvarez Briceño	20	VEINTE

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO

[Firma]
[Firma]
[Firma]

Caracas, 21 de 11 - 2008

**Alayón B., Yenitza L.
Álvarez B., Eylim J.**

**CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO PESADO
ELABORADAS CON MINERAL DE HIERRO COMO AGREGADO FINO**

Tutores Académicos: Prof. César Peñuela
Prof. Nelson Camacho

**Trabajo Especial de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.
Escuela de Ingeniería Civil. 2008, n°pág.(139)**

Palabras Clave: Concreto, Resistencia, Densidad, Módulo de Elasticidad, Asentamiento, Mineral de Hierro.

Resumen

Como otra alternativa para obtener concreto pesado, en este trabajo se sustituyó parte del agregado fino por mineral de hierro, el cual se encuentra en la naturaleza formando Hematita Fe_2O_3 . Para realizar el diseño de mezcla, se sustituyó proporcionalmente el 30, 40 y 50% del volumen total de la arena por mineral. La piedra utilizada tenía tamaño máximo de $1\frac{1}{2}$ ". Se calcularon para estas mezclas, valores numéricos de asentamiento, resistencia, peso unitario y modulo de elasticidad, los cuales fueron comparados con los obtenidos en una mezcla de concreto normal elaborada con los mismo materiales empleados para dosificar el concreto pesado.

El concreto pesado, desarrolló resistencias tempranas a los 7 días, para finalmente a los 28 días arrojar valores de resistencia entre los 273.51, 281.93 y 300.10 kg/cm^2 para las mezclas con 30, 40 y 50% de sustitución respectivamente. Comparando ambos resultados y tomando como referencia

las especificaciones de las normas COVENIN se pudo observar que son aceptables. Además, la resistencia de diseño fue de 250 kg/cm^2 , y la alcanzada por el concreto convencional de 282.74 kg/cm^2 . El promedio de las densidades de la muestra patrón estuvo en 2373 Kg/m^3 , y las elaboradas con hematita, se ubicaron entre 2521 y 2655 kg/m^3 .

En lo que al comportamiento elástico respecta, los concretos elaborados con mineral resultaron ligeramente menos deformables que el concreto convencional. De igual manera las mezclas demostraron ser trabajables y fluidas al medir sus respectivos asentamientos.

Como conclusión se observa que los concretos elaborados con hematita son más densos que aquellos elaborados sin mineral.

En esta investigación, se aportan valores referenciales que caracterizan el comportamiento de las mezclas de concreto pesado elaboradas con mineral de hierro.

ÍNDICE

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: FUNDAMENTO DE LA INVESTIGACIÓN	3
I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
I.2 APORTES	5
I.3 OBJETIVOS	7
OBJETIVO GENERAL	
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
II.1 ANTECEDENTES	8
II.2 EL CONCRETO	9
II.2.1 COMPONENTES DEL CONCRETO	9
II.2.1.1 AGREGADOS	10
II.2.1.1.1 NIVELES DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS	11
II.2.1.1.2 GRANULOMETRÍA	11
II.2.1.1.3 TAMAÑO MÁXIMO	11
II.2.1.1.4 SEGREGACIÓN	11
II.2.1.1.5 MÓDULO DE FINURA	12
II.2.1.1.6 RESISTENCIA DE LOS AGREGADOS	12
II.2.1.2 EL CEMENTO	13
II.2.1.2.1 TIPOS DE CEMENTO	14
II.2.1.2.2 DESARROLLO DE RESISTENCIAS MECÁNICAS	16

II.2.1.3 EL AGUA	17
II.2.2 DISEÑO DE MEZCLAS	18
II.2.2.1 FUNDAMENTOS DEL MÉTODO DE DISEÑO PROPUESTO	18
II.2.2.1.1 RELACIÓN BETA	19
II.2.2.1.2 DATOS DE ENTRADA PARA EL DISEÑO DE MEZCLA	19
II.2.2.1.3 TIPO DE AGREGADO Y TIPO DE CEMENTO	20
II.2.2.1.4 RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA	20
II.2.2.1.5 LEY DE ABRAMS	20
II.2.2.1.6 RELACIÓN TRIANGULAR	20
II.2.3 RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO	21
II.2.4 EL ENSAYO A COMPRESIÓN	21
II.2.4.1 ROTURA DE LAS PROBETAS NORMATIVAS	22
II.2.5 EL PESO UNITARIO.	23
II.2.6 MÓDULO DE ELASTICIDAD	23
II.2.7 TRABAJABILIDAD	24
II.2.8 VELOCIDAD DEL PULSO ULTRASÓNICO	25
II.3 CONCRETOS ESPECIALES	25
II.3.1 CONCRETO PESADO	25
II.3.1.1 EFECTO DE PROTECCIÓN	26
II.3.1.2 COMPONENTES	28
II.3.1.2.1 AGREGADOS UTILIZADOS	28

II.3.1.2.1.1 AGREGADOS PESADOS	28
II.3.1.2.1.1.1 BARITA (BaSO_4)	28
II.3.1.2.1.1.2 MAGNETITA (Fe_3O_4)	29
II.3.1.2.1.1.3 LIMONITA $\text{FeO}(\text{OH})$	29
II.3.1.2.1.1.4 ILMENITA (FeTiO_3)	29
II.3.1.2.1.1.5 FERROFÓSFORO (Fe_3P , Fe_2P , FeP)	29
II.3.1.2.1.1.6 HEMATITA Fe_2O_3	30
II.3.1.2.2 EL CEMENTO	31
II.3.1.2.3 EL AGUA	31
II.3.1.4 MEZCLADO Y PREPARACIÓN	31
II.3.1.5 COLOCACIÓN	31
II.3.1.6 CUIDADOS	32
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	33
III.1 MATERIALES SELECCIONADOS	33
III.1.1 ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE.	34
III.2 ANÁLISIS DE LOS AGREGADOS	36
III.2.1 GRANULOMETRÍA	36
III.2.2 CONTENIDO DE HUMEDAD	38
III.2.3 PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	39
III.2.4 ENSAYO DE DESGASTE LOS ANGELES	45
III.3 DISEÑO DE MEZCLA	46

III.3.1 RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA (F_{cr})	47
III.3.2.RELACIÓN AGUA/CEMENTO (α)	47
III.3.3 LEY DE ABRAMS	47
III.3.4 RELACIÓN TRIANGULAR	49
III.3.5 RELACIÓN BETA	50
III.3.6 VOLUMEN DE AIRE	50
III.3.7 VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS	51
III.3.7.1 DOSIS DE PIEDRA Y ARENA	52
III.3.8 AGUA DE MEZCLADO	52
III.3.8.1 CORRECCIÓN POR HUMEDAD	52
III.3.9 DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETO PESADO	53
III.4 MEZCLADO	54
III.5 TOMA DE MUESTRAS	57
III.5.1 ENSAYO DE CONO DE ABRAMS	57
III.5.2 PESO UNITARIO EN CONCRETO FRESCO	59
III.6 ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS	63
III.6.1 CURADO	64
III.7 ENSAYOS FÍSICOS	66
III.7.1 PESO ESPECÍFICO CONCRETO ENDURECIDO	66
III.7.2 ENSAYO DE PULSO ULTRASÓNICO	67
III.7.3 ENSAYO A COMPRESIÓN	68
III.7.4 MÓDULO DE ELASTICIDAD	71

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS	76
IV.1 RESULTADOS	76
IV.1.1 ANÁLISIS DE AGREGADOS	76
IV.1.1.1 GRANULOMETRÍA	76
IV.1.1.1.1 AGREGADO FINO	76
IV.1.1.1.2 AGREGADO GRUESO	77
IV.1.1.1.3 AGREGADO MINERAL	79
IV.1.1.2 CONTENIDO DE HUMEDAD	80
IV.1.1.3 PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	81
IV.1.1.3.1 AGREGADO FINO	81
IV.1.1.3.2 AGREGADO GRUESO	81
IV.1.1.4 ENSAYO DE DESGASTE “LOS ANGELES”	81
IV.1.2 DISEÑO DE MEZCLA	82
IV.1.3 ENSAYOS DE CONCRETO FRESCO	86
IV.1.3.1 ENSAYO DE ASENTAMIENTO	86
IV.1.3.2 ENSAYO DE PESO UNITARIO	90
IV.1.4 ENSAYOS DE CONCRETO ENDURECIDO	91
IV.1.4.1 DENSIDAD APARENTE (PESO ESPECÍFICO)	91
IV.1.4.2 ENSAYO DE COMPRESIÓN	94
IV.1.4.2.1 ENSAYO A LOS 7 DÍAS	94
IV.1.4.2.2 ENSAYO A LOS 14 DÍAS	99
IV.1.4.2.1 ENSAYO A LOS 21 DÍAS	104
IV.1.4.2.1 ENSAYO A LOS 28 DÍAS	109
IV.1.4.3 ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD (SECANTE)	116

IV.1.4.4 VELOCIDAD DEL PULSO ULTRASÓNICO	122
IV.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	125
IV.2.1. GRANULOMETRÍA	125
IV.2.1.1 AGREGADO FINO	125
IV.2.1.2 AGREGADO GRUESO	125
IV.2.1.3 AGREGADO MINERAL	126
IV.2.2 DISEÑO DE MEZCLA	126
IV.2.3 ENSAYOS DE CONCRETO FRESCO	126
IV.2.3.1 ENSAYO DE ASENTAMIENTO	126
IV.2.3.2 ENSAYO DE PESO UNITARIO	127
IV.2.4 ENSAYOS DE CONCRETO ENDURECIDO	128
IV.2.4.1 DENSIDAD APARENTE (PESO ESPECÍFICO)	128
IV.2.4.2 ENSAYO DE COMPRESIÓN	129
IV.2.4.3 ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD (SECANTE)	133
IV.2.4.4 VELOCIDAD DEL PULSO ULTRASÓNICO	133
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	135
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	137
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138
Material Consultado en Internet	

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II

TABLA II. 1 Componentes Mineralógicos del Cemento	14
--	-----------

CAPÍTULO III

Tabla III.1 Análisis Químico del Mineral	35
Tabla III.2: Relación agua/cemento máxima permisible cuando no existen datos de ensayo de resistencia o experiencia en obra	48
Tabla III.3 Kr Factor para Corregir α por Tamaño Máximo	48
Tabla III.4 Ka Factor para Corregir α por Tipo de Agregado	48
Tabla III.4 Ka Factor para Corregir α por Tipo de Agregado	49
Tabla III.5 Cronograma de Ensayos	69
Tabla III.6 Registro de Ensayo a Compresión	71
Tabla III.7 Registro de Ensayo de Módulo de Elasticidad	74

CAPÍTULO IV

Tabla IV.1 Granulometría del agregado fino	76
Tabla IV.2: Granulometría del Agregado Grueso	77
Tabla IV.3 Granulometría del Agregado Mineral	79
Tabla IV.4 Combinación granulométrica. Relación Beta	80
Tabla IV.5 Contenido de Humedad del Agregado Fino	80
Tabla IV.7 Peso específico y Absorción del Agregado Grueso	81
Tabla IV.6 Peso específico y Absorción del Agregado Fino	81
Tabla IV.8 Corrección por Humedad del Agregado Fino	81
Tabla IV.9 Corrección por Humedad del Agregado Grueso	82
Tabla IV.10 Diseño de Mezcla para Concreto Normal de 250 kgf/cm²	82
Tabla IV.11 Cantidad de Mineral para 100 Litros de Mezcla (Capacidad del Trompo)	83

Tabla IV.12 Dosificación para mezclas para diferentes porcentajes de sustitución por metro cúbico de mezcla. Para $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$	84
Tabla IV.13 Valores de Asentamiento para las mezclas en estudio	86
Tabla IV.14 Consistencia del concreto fresco de acuerdo al asentamiento	88
Tabla IV.15 Peso Unitario del Concreto Fresco para Distintos Tratamientos	90
Tabla IV.16 Densidad del Concreto Endurecido para probetas de concreto normal y con sustitución de mineral de hierro	91
Tabla IV.17 Comparaciones de Densidad entre los Concretos	94
Tabla IV.18 Resistencia a compresión simple, promedio y desviación estándar. Concreto Normal $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$	95
Tabla IV.19 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita	96
Tabla IV.20 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto con Sustitución de 40% de Fino por Hematita	97
Tabla IV.21 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita	98
Tabla IV.22 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto Normal con $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$	100
Tabla IV.23 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita	101
Tabla IV.24 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto con Sustitución de 40% de Fino por Hematita	102
Tabla IV.25 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita	103
Tabla IV.26 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto Normal con $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$	105
Tabla IV.27 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación	

Estándar. Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita	106
Tabla IV.28 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación	
Estándar. Concreto con Sustitución de 40% de Fino por Hematita	107
Tabla IV.29 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación	
Estándar. Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita	108
Tabla IV.30 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación	
Estándar. Concreto Normal con $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$	110
Tabla IV.31 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación	
Estándar. Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita	111
Tabla IV.32 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación	
Estándar. Concreto con Sustitución de 40% de Fino por Hematita	112
Tabla IV.33 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación	
Estándar. Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita	113
Tabla IV.34 Resistencia Promedio de Cilindros para las Mezclas Analizadas	114
Tabla IV.35 Peso al Aire Promedio de Probetas de las Mezclas Analizadas	115
Tabla IV.36 Deformación de Probetas de Concreto Normal con $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. Ensayo a 28 Días	117
Tabla IV.37 Deformación de Probetas de Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días	118
Tabla IV.38 Deformación de Probetas de Concreto con Sustitución de 40% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días	119
Tabla IV.39 Deformación de Probetas de Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días	120
Tabla IV.40 Datos y Resultados Correspondientes al Ensayo para Determinar Módulo de Elasticidad	121
Tabla IV.41 Velocidad del Pulso Ultrasónico, Promedio, Desviación y Varianza Mezcla de Concreto Normal. Ensayo a 28 Días	123

Tabla IV.42 Velocidad del Pulso Ultrasónico, Promedio, Desviación y Varianza. Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días	123
---	------------

Tabla IV.43 Velocidad del Pulso Ultrasónico, Promedio, Desviación y Varianza. Concreto con Sustitución de 40% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días	123
---	------------

Tabla IV.44 Velocidad del Pulso Ultrasónico, Promedio, Desviación y Varianza. Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días	123
---	------------

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico IV.1 Curva granulométrica del Agregado Fino	77
Gráfico IV.2 Curva granulométrica del Agregado Grueso	78
Gráfico IV.3 Curva granulométrica del Agregado Mineral	79
Gráfico IV.4 Dosificación de Componentes de la Mezcla Normal	83
Gráfico IV.5 Dosificación de Componentes de la Mezcla con Sustitución al 30% de fino por Mineral	84
Gráfico IV.6 Dosificación de Componentes de la Mezcla con Sustitución al 40% de fino por Mineral	85
Gráfico IV.7 Dosificación de Componentes de la Mezcla con Sustitución al 50% de fino por Mineral	85
Gráfico IV.8 Valores Promedio de Densidad (kg/lt)	92
Gráfico IV.9 Variación Porcentual de Densidad entre Mezcla de Concreto Convencional y Mezclas con Agregado Mineral	92
Gráfico IV.10 Relación de Densidades entre Mezclas	93
Gráfico IV.11 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto Normal $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. Ensayo a 7 Días	95

Gráfico IV.12 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita. Ensayo a 7 Días	96
Gráfico IV.13 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 40% de Fino por Hematita. Ensayo a 7 Días	97
Gráfico IV.14 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita. Ensayo a 7 Días	98
Gráfico IV.15 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto Normal $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. Ensayo a 14 Días	100
Gráfico IV.16 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita. Ensayo a 14 Días	101
Gráfico IV.17 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 40% de Fino por Hematita. Ensayo a 14 Días	102
Gráfico IV.18 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita. Ensayo a 14 Días	103
Gráfico IV.19 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto Normal $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. Ensayo a 21 Días	105
Gráfico IV.20 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita. Ensayo a 21 Días	106
Gráfico IV.21 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 40% de Fino por Hematita. Ensayo a 21 Días	107

Gráfico IV.22 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita. Ensayo a 21 Días	108
Gráfico IV.23 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto Normal $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. Ensayo a 28 Días	110
Gráfico IV.23 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto Normal $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. Ensayo a 28 Días	111
Gráfico IV.24 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días	112
Gráfico IV.26 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días	113
Gráfico IV.27 Desarrollo de Resistencia de las Mezclas Analizadas	114
Gráfico IV.28 Comparación de Peso al Aire de Probetas de las Mezclas	115
Gráfico IV.29 Curva Esfuerzo vs Deformación. Concreto Normal	117
Gráfico IV.30 Curva Esfuerzo vs Deformación. Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días	118
Gráfico IV.31 Curva Esfuerzo vs Deformación. Concreto con Sustitución de 40% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días	119
Gráfico IV.32 Curva Esfuerzo vs Deformación. Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días	120
Gráfico IV.33 Valores de Módulo de Elasticidad de cada Mezcla	122
Gráfico IV.34 Velocidad Promedio de Propagación del Pulso Ultrasónico en Probetas de las Mezclas Analizadas	124
Gráfico IV.35 Comparación Velocidad de Pulso Ultrasónico/Densidad	124

ÍNDICE DE FOTOS

Foto III.1 Mineral de Hierro suministrado por SIDOR	34
Foto III.2 Disposición del Mineral para realizar Método de cuarteo	37
Foto III.2.a y Foto III.2.b Método de Cuarteo realizado al Mineral	38
Foto III.4 Agregado Fino secado al Horno	38
Foto III.5 Inmersión del Agregado fino	40
Foto III.6 Llenado del picnómetro	41
Foto III.7 Colocación de Papel Absorbente	41
Foto III.8 Pesada del Agregado Grueso	43
Foto III.9 Inmersión del Agregado Grueso	44
Foto III.10 Extracción del Agua al Agregado Grueso	44
Foto III.11 Saturación de Poros del Agregado Grueso	45
Fotos III.11.- Pesada de Agregado Grueso	55
III.12.- Pesada de Mineral de Hierro	55
III.13 Pesada de Agregado Fino	56
Foto III.14 Descarga del Trompo al recipiente	56
Foto III.15 Disposición de la Mezcla en el recipiente	56
Foto III.16 Llenado del Cono de Abrams	58
Foto III.17 Compactación de la Mezcla dentro del Cono	58
Foto III.18 Retiro del Cono	59
Foto III.19 Medición del Asentamiento	59
Foto III.20 Llenado del recipiente normado	62
Foto III.21 Compactación de la Mezcla	62
Foto III.22 Preparación de los Moldes	75
Foto III.23 Compactación de la Mezcla	64
Foto III.24 y III.25 Mezcla vaciada en los moldes y enrasadas	64
Foto III.25 y III.26 Desencofrado de las Probetas	65

Foto III.27 Disposición de las Probetas ya Desencofradas	65
Foto III.28 Calibración del Instrumento	67
Foto III.29 Realización del Ensayo	68
Foto III.30 Consola de la Prensa Universal	69
Foto III.31 Prensa Universal	70
Foto III.32 y III.33 Colocación del Yeso sobre la mesa	72
Foto III.34 Colocación de la probeta sobre el yeso y su nivelación	73
Foto III.35 Yeso Utilizado y Probeta con Enrase	73
Foto IV.1 Medición del Asentamiento para Concreto Patrón con el Cono de Abrams	87
Fotos IV.2 Asentamiento en Mezclas con Agregado Mineral	88
IV.2-a.- Asentamiento de mezcla con sustitución de 30%	88
IV.2-b.- Asentamiento de mezcla con sustitución de 40%	88
IV.2-c.- Asentamiento de mezcla con sustitución de 50%	88
Foto IV.3 Asentamiento nulo, mezcla con 50% de sustitución de mineral	

INTRODUCCIÓN

El concreto es un material capaz de endurecer en el tiempo, y de deformarse sin fallar; cuyos componentes, agua, cemento, piedra y arena, se encuentran fácilmente en la naturaleza.

El cemento, responsable del desarrollo de la resistencia a la compresión, es el aglomerante que, reaccionando químicamente con el agua, da lugar a este endurecimiento.

Por otro lado, el concreto pesado, es aquel elaborado con agregados densos, que son capaces de aportar densidad a la mezcla. En efecto, los agregados más comunes para utilizar en su elaboración, son el mineral de hierro, así como la caliza y la barita.

En nuestro país existe abundante materia prima como minerales de hierro, por lo cual es importante conocer cómo se comportaría un concreto elaborado con tales materiales, determinar si el mismo ofrece propiedades adecuadas para su uso a gran escala en el campo de la construcción venezolana.

La relevancia de este trabajo especial de grado, radica en que se genera un aporte de conocimientos acerca de las características que posee un concreto pesado elaborado con un agregado denso (hematita) proveniente de yacimientos venezolanos, en este caso a través de la donación realizada por la Siderúrgica del Orinoco “Alfredo Maneiro” SIDOR C.A.

Hasta la fecha, el conocimiento existente en la materia, proviene en su mayoría, de investigaciones y normativas realizadas en otros países, basadas en concretos pesados elaborados con materia prima que, obviamente proviene de otra geografía.

Para la determinación de estas características, se realizó el ensayo a compresión, se determinó el modulo de elasticidad e inclusive, la velocidad de pulso ultrasónico, en los cuales se comparó la mezcla de concreto pesado, con una de concreto de peso normal elaborada bajo las mismas condiciones. Los métodos de ensayo utilizados, son los establecidos en las respectivas Normas COVENIN venezolanas, esto con la finalidad de contextualizar los resultados en la realidad nacional.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El concreto pesado, es un concreto producido utilizando agregados especiales de alta densidad, y es utilizado comúnmente como protección contra rayos gamma, rayos X, radiación de neutrones, y como contrapesos.

A excepción de la densidad, las propiedades físicas del concreto pesado son similares a las del concreto normal. Esta característica estará condicionada específicamente al agregado utilizado en el diseño de la mezcla, entre los cuales se pueden encontrar: la barita (BaSO_4), limonita $\text{FeO}(\text{OH})$, Hematita (Fe_2O_3), entre otros.

En la mayoría de los países industrializados, el agregado más utilizado es la Barita, ya que se obtienen concretos con densidades entre 2687,736 y 3160,377 Kg/m^3 (Vazquez, Anni. 1999), cuya trabajabilidad es aceptable.

Sin embargo, los yacimientos de Barita existentes en el que país no se encuentran en situación de explotación, lo cual conlleva a plantear la posibilidad de buscar alternativas en cuanto a la utilización de otros agregados cuya disponibilidad esté garantizada.

Además de esto, no abundan en el país suficientes estudios en la tecnología del concreto que abarquen el concreto pesado, en cuanto a su caracterización y comportamiento. La falta de esta información teórica,

dificulta la masificación del uso del concreto pesado en la industria de la construcción en el país, y deja un vacío en el campo de la investigación y experimentación con concretos.

El mineral de hierro será, en esta investigación, el agregado fino a utilizar, ya que la garantía de su existencia y explotación en el país facilitará la realización de los ensayos necesarios para caracterizar las mezclas de concreto pesado a elaborar.

Actualmente, tampoco existen estudios que caractericen mezclas de concreto pesado elaboradas con este mineral, así que resultaría de gran importancia el poder inferir partir de la caracterización que se pretende realizar, el comportamiento y uso más acertado que se le puede dar a este material en función de sus propiedades físicas más representativas, así como el planteamiento de la siguiente interrogante: ¿ofrece el concreto pesado elaborado con mineral de hierro propiedades físicas aceptables según la norma COVENIN?

I.2 APORTES

A continuación se presenta una breve explicación de los aspectos más relevantes que sugieren la importancia de la investigación, tanto para la industria de la construcción, como para el ámbito académico y de investigación.

El concreto, para elevar su densidad de manera tal que pueda ser considerado un concreto pesado, debe elaborarse utilizando agregados tales como: la barita (BaSO_4), limonita $\text{FeO}(\text{OH})$, hematita (Fe_2O_3), entre otros.

La demanda de barita a nivel nacional se satisface con materia prima importada (Estudio de Prospección de Áreas con Mineralización de Barita. Área Qda. El Chino- Río Pao, Estado Aragua 1996. FUNDACITE-ARAGUA) y aunque en Venezuela también se utiliza la piedra caliza para obtener concretos de alta densidad, la existencia de grandes yacimientos de hierro en el país, sugiere la posibilidad de satisfacer una demanda masiva de concreto pesado elaborándolo con este mineral, ya que Venezuela puede suplir la demanda futura de metálicos por más de un siglo, basándose en la demanda actual y en las reservas comprobadas (Revista Acero Latinoamericano - ILAFA, Septiembre - Octubre de 2003).

En la actualidad, no abundan en el país estudios que identifiquen y determinen las características de las mezclas de concreto pesado elaboradas con el mineral de hierro, por lo tanto, debido a la garantía de existencia y explotación del mismo, y a la demanda habitual de concretos que posee la industria de la construcción venezolana, surge la necesidad de realizar ensayos y experimentos que aporten nuevos conocimientos en la materia.

La determinación del peso unitario servirá para valorizar en cada mezcla elaborada de concreto su peso por unidad de volumen, ya que estos valores

deberán ser superiores a 2350 kg/cm^2 para que en efecto, el concreto sea considerado pesado.

Según Porrero (2004) al determinar la resistencia a compresión de probetas normalizadas de concreto pesado, se podrán inferir a partir del resultado los valores de otras características mecánicas tales como la resistencia a la tracción y la resistencia al corte. También se podrá relacionar con la composición de su mezcla mediante la conocida Ley de Abrams.

De igual manera, se medirá el asentamiento (T) con el Cono de Abrams, el cual es un índice bastante práctico, porque aunque no mide todas las propiedades físicas de la mezcla, brinda información útil en términos comparativos (Porrero, 2004). El asentamiento es representativo en cuanto a las propiedades reológicas del concreto, es decir, el conjunto de características de la mezcla fresca que posibilitan el manejo y posterior compactación.

Igualmente, en el concreto resulta importante conocer las deformaciones que puede sufrir bajo los diferentes tipos y magnitudes de solicitaciones (Porrero, 2004). Es por ello, que el módulo de elasticidad es otra de las características a determinar, ya que el mismo relaciona la deformación unitaria con la tensión aplicada, evaluándose así, el comportamiento elástico e inelástico de la mezcla elaborada.

En consecuencia, ésta investigación pretende aportar valores numéricos de las propiedades físicas más representativas de, las cuales se obtendrán mediante los respectivos ensayos establecidos en la NORMA COVENIN, los cuales al generalizarse constituirán una fuente o referencia para futuras investigaciones.

I.3 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Caracterizar mezclas de concreto pesado elaboradas con mineral de hierro como agregado fino.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Calcular valores de resistencia, el peso unitario, el asentamiento y el módulo de elasticidad de las mezclas de concreto pesado elaboradas con mineral de hierro, según los métodos de ensayo establecidos en la NORMA COVENIN.
2. Contrastar los valores numéricos de resistencia, peso unitario, el asentamiento y el módulo de elasticidad obtenidos en los ensayos para las mezclas de concreto pesado, con los valores aceptados según la NORMA COVENIN.
3. Contrastar los valores numéricos de resistencia, peso unitario, el asentamiento y el módulo de elasticidad obtenidos en los ensayos para las mezclas de concreto pesado, con los valores numéricos obtenidos en los ensayos para una mezcla de concreto convencional.
4. Relacionar las propiedades físicas de resistencia, asentamiento y módulo de elasticidad con el peso unitario de las mezclas de concreto pesado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Para la determinación de las propiedades físicas del concreto pesado elaborado con mineral de hierro, es necesario el conocimiento de algunos conceptos y principios que ayudarán a comprender la importancia del trabajo y también servirán para presentar los fundamentos conceptuales del mismo.

En esta sección, se presentará en primer lugar una breve descripción de los antecedentes en lo que a investigaciones y conocimientos previos se refiere; y en segundo lugar, se presentarán definiciones que abarcan desde el concreto, sus componentes, diseños de mezcla, propiedades, así como la normativa vigente que rige la materia.

II.1 ANTECEDENTES

La escasa información existente en el país en materia de concretos pesados, crea la necesidad de obtener referencias y valores de propiedades físicas de estos concretos, y más aún, de aquellos elaborados con materia prima nacional.

La Norma ACI 211.1-91 *“Standard Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete”* señala en su Apéndice 2, un modelo de diseño de mezcla para concretos pesados, sin embargo, en Venezuela no se cuenta con normativas que establezcan procedimientos y métodos adaptados al contexto nacional, en lo que a cemento y agregados se refiere.

A pesar de lo expuesto, el Trabajo de Grado de Vasquez, Anni (1999), quien diseñó mezclas de concreto pesado utilizando Barita, aporta valores de densidad y resistencias obtenidas, así como parámetros de comportamiento, los cuales sirven de referencia ya que son utilizados materiales venezolanos. Otro factor que se considera influyente en el desarrollo de investigaciones que involucren el concreto pesado, es su alto costo respecto al concreto normal, pero la disposición en el país de numerosos minerales de hierro en calidad de explotación, reivindica la necesidad de aportar referencias y características que coadyuven la escasez de información en la materia.

II.2 EL CONCRETO.

El **concreto**, también denominado **hormigón** en algunos países, resulta de la mezcla de uno o más conglomerantes (generalmente cemento) con áridos (grava, gravilla y arena), agua y, eventualmente, aditivos y adiciones. El cemento se hidrata en contacto con el agua, iniciándose complejas reacciones químicas que derivan en el fraguado y endurecimiento de la mezcla, obteniéndose al final del proceso un material con consistencia pétrea¹.

II.2.1 COMPONENTES DEL CONCRETO

II.2.1.1 AGREGADOS

Los agregados son fragmentos de granos que tienen como finalidad específica abaratar los costos de las mezclas y dotarlas de ciertas

¹ www.wikipedia.org/hormigon

características como lo son, la disminución de la retracción del fraguado o retracción plástica. Los agregados constituyen casi el 80% de la masa, lo que hace que su papel sea relativamente importante a la hora de tratar la calidad.

Asimismo, los agregados seleccionados deberán colaborar con características como la trabajabilidad, exigencias del contenido de cemento, adherencia con la pasta y desarrollo de resistencia mecánica. También se busca que su granulometría sea homogénea para favorecer la lubricación y evitar así la segregación.

II.2.1.1.1 NIVELES DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS

La calidad del concreto es afectada directamente por los niveles de calidad que presenten los agregados, si las normativas que establecen estos límites no son respetadas, propiedades como la trabajabilidad y la retracción serían seriamente afectadas o alteradas pudiendo ocasionar defectos en la mezcla elaborada.

Para garantizar esta calidad en el agregado deben realizarse ensayos bajo las siguientes condiciones²:

1. Deben realizarse sobre muestras representativas del yacimiento y de sus diferentes zonas.
2. Deben ser llevadas a cabo en laboratorios con personal y equipos adecuados, siguiendo cuidadosamente los sucesivos pasos de un procedimiento normativo.

² Porrero, J. y otros. (2004) Manual del Concreto Estructural. Caracas: SIDETUR. 503 p.

II.2.1.1.2 GRANULOMETRÍA

Se entiende por granulometría la composición del material en cuanto a la distribución del tamaño de los granos que lo integran³. Esta característica es determinante para la obtención de mezclas de concreto de alta calidad.

Para determinar el tamaño de los granos se utiliza el método de ensayo mediante cedazos de aberturas calibradas según la Norma COVENIN 254 “Cedazos de ensayo”, por los cuales se hace pasar el material según pasos descritos en la Norma COVENIN 255 “Agregados. Determinación de la composición granulométrica”.

Según Porrero (1999), la finalidad principal de una granulometría adecuada, es obtener mezclas trabajables y con pocos espacios entre los granos para que se requiera poca pasta.

II.2.1.1.3 TAMAÑO MÁXIMO.

Se refiere al tamaño de la partícula más gruesa dentro de un agregado, medido como abertura del cedazo de menor tamaño que deja pasar el 95% o más del material⁴. Ensayos realizados muestran que el tamaño de los agregados es una propiedad decisiva para la calidad y economía de ésta.

II.2.1.1.4 SEGREGACIÓN

La segregación aparece cuando hay presencia de granos en los agregados muy diferente, esto hace que los agregados se separen y generen concretos

³ Porrero, J. y otros. (2004) Manual del Concreto Estructural. Caracas: SIDETUR. 503 p.

⁴ Porrero, J. y otros. (2004) Manual del Concreto Estructural. Caracas: SIDETUR. 503 p.

de calidad heterogénea y dudosa. Para evitar esto se mezclan los agregados al momento de realizar la mezcla de concreto, y así disminuir los efectos de la segregación. Esto se puede contrarrestar colocando una mayor variedad en los tamaños de granos de los agregados, sub-fracciones de los agregados, lo cual haría que el concreto sea más homogéneo y estable pero esto sería una solución que incrementaría los costos.

II.2.1.1.5 MÓDULO DE FINURA

Es el tamaño promedio ponderado de un cedazo del grupo en el cual el material es retenido. Se utiliza para detectar los cambios que pueda sufrir una determinada arena por variaciones en la explotación o manejo. También sirve para definir cuándo las variaciones granulométricas de un agregado fino pueden inducir cambios significativos en la fluidez de la mezcla de concreto. Se recomienda ajustar el diseño de la mezcla cuando el valor del módulo de finura varía en más de $\pm 0,2$.

II.2.1.1.6 RESISTENCIA DE LOS AGREGADOS

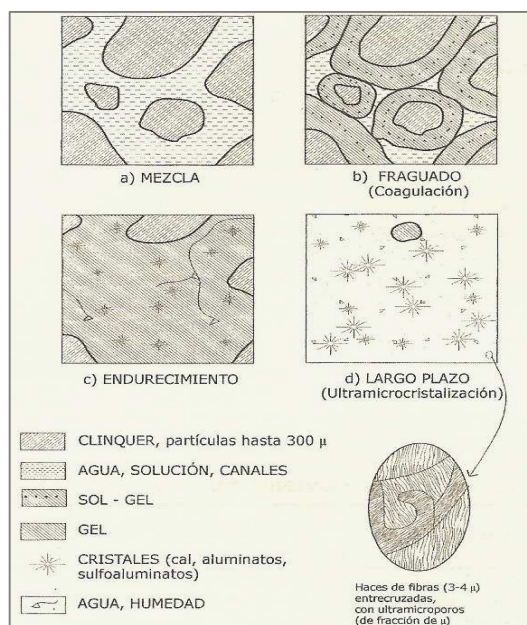
Esta propiedad es decisiva para los niveles de calidad de la mezcla, ya que la resistencia del concreto elaborado depende de la resistencia de los granos de los agregados. Para determinar la resistencia al desgaste de los agregados se realiza el ensayo de desgaste en utilizando la Máquina de Los Ángeles (Norma COVENIN 266 “Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste de agregados gruesos, menores de 38,1 mm, por medio de la máquina de Los Ángeles”). Puesto que la resistencia del agregado grueso es la más crítica, es ésta resistencia la que se evalúa para

determinar si el agregado grueso aporta la resistencia necesaria para obtener un concreto de resistencia aceptable según su posterior uso.

II.2.1.2 EL CEMENTO

Este componente constituye entre el 10 al 20% del peso del concreto, y es el componente que al entrar en contacto con el agua, inicia una reacción química, la cual durará varios años según las condiciones ambientales. Esta pasta envolverá los granos formando un coloide alrededor de cada grano (fraguado). Estas áreas coloidales crecen y se funden en una matriz dentro de la cual quedara cemento y agua libre (endurecimiento). La matriz se endurecerá gradualmente convirtiéndose en un gel con inclusiones de cemento y agua libre sin reaccionar.

Fig. II.1 Ilustración del proceso de hidratación del cemento



Fuente: Porrero, J. y otros. (2004) *Manual del Concreto Estructural*. Caracas: SIDETUR.

Básicamente se trabaja con el cemento tipo portland cuando el fin es estructural, que se define como una especie de cal hidráulica. La materia prima para su producción son el sílice y la alúmina (materiales de carácter ácido) provenientes de las arcillas que se combinan químicamente con cal (material de carácter básico) proveniente de las calizas luego de ser molidas y calentadas en hornos a temperaturas de semifusión que produce una mezcla formada básicamente por cuatro componentes: silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferritoaluminato tetracálcico, cabe destacar la existencia de otros componentes pero en menor proporción:

TABLA II. 1 Componentes Mineralógicos del Cemento

COMPONENTE	FÓRMULA QUÍMICA	FÓRMULA ABREVIADA
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} - \text{SiO}_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} - \text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferritoaluminato Tetracálcico	$4\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4FA
Yeso	$\text{CaSO}_4 - 2\text{H}_2\text{O}$	Y
Álcalis	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	N+K
Magnesia	MgO	M
Cal libre	$\text{CaO} - \text{Ca}(\text{OH})_2$	C.L.
Residuo insoluble	$\text{SiO}_2 + \text{R}_2\text{O}_3$	R.I

Fuente: Porrero, J. y otros. (2004) *Manual del Concreto Estructural*. Caracas: SIDETUR.

II.2.1.2.1 TIPOS DE CEMENTO

Tipo I

Es utilizado en construcciones generales de concreto, tales como: placas, estructuras, muros, pisos, pavimentos, aceras, elementos prefabricados, etc.

así como en aplicaciones de albañilería y mampostería, tales como: frisos, pega para bloques y tablillas, sobrepisos, mezclillas, etc. Es el adecuado cuando no se requieran las propiedades especiales correspondientes a los otros tipos. El cemento blanco entra en esta clasificación.

Tipo II

Para usarse en obras expuestas a la acción moderada de los sulfatos, o donde se requiera un calor de hidratación moderado. Esto se debe al menor contenido de Aluminato tricálcico (C_3A). El hecho de tener un C_3A más bajo, garantiza una generación menor de calor de hidratación que un cemento tipo I. Este cemento puede ser utilizado en construcciones generales pero dadas sus características y al su desarrollo de alta resistencia es muy conveniente para los siguientes casos:

- Estructuras con requerimientos de alta resistencia mecánica inicial.
- En estructuras en donde se necesite retirar el encofrado en pocas horas de haber vaciado el concreto.
- En obras con requerimientos de puesta en servicio a temprana edad del concreto, tales como: carreteras, puentes y pontones.
- En plantas de elementos prefabricados de concreto, tales como: bloques, tubos, etc; cuya exigencia de producción en serie y pronta entrega de los elementos exigen el uso de un cemento que haga más eficiente los procesos.

Tipo III

Para usarse en construcciones que requieran altas resistencias iniciales. Es un cemento obtenido por la pulverización de clinker Portland especial, el cual

consiste esencialmente en silicatos de calcio hidráulico con la adición de agua y sulfato de calcio. Es indicado para el uso en construcciones de concreto cuando se requieran altas resistencias iniciales y finales

Tipo IV

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

Tipo V

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

II.2.1.2.2 DESARROLLO DE RESISTENCIAS MECÁNICAS

El cemento tiene una influencia determinante en la resistencia mecánica del concreto. Sin embargo, la misma está condicionada a la calidad de los diferentes componentes de la mezcla.

Actualmente, se realizan ensayos con morteros para detectar las calidades de cementos, entre los cuales los más utilizados son:

1. Método ASTM C109: con gran influencia en América, es el procedimiento que la Norma COVENIN 28 “Cemento Pórtland. Especificaciones” exige en Venezuela.
2. RILEM: actualmente es una norma ISO, corresponde en Venezuela a la Norma COVENIN 497 “Cemento Pórtland. Determinación de la resistencia a la tracción por flexión de morteros” y la Norma COVENIN 498 “Cemento Pórtland. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros, usando las porciones de prismas rotos por flexión”.

II.2.1.3 EL AGUA

Es el componente encargado de reaccionar químicamente con el cemento. Ocupa entre el 15 y 20% del volumen del concreto, y en conjunto con el cemento es imprescindible para lograr una pasta manejable, capaz de lubricar y soportar los agregados.

Así como se utiliza agua para el mezclado, el agua de curado es necesaria para reponer la humedad perdida por la evaporación luego de la colocación, compactación y alisado del concreto fresco. Esta agua garantiza que las reacciones de hidratación del cemento se desarrollen con normalidad.

En general, el agua utilizada para mezclar y curar, debe estar libre de agentes contaminantes que perjudiquen el fraguado del concreto o que generen una reacción química contraproducente en el estado fresco o endurecido (reacción química con tuberías metálicas o el acero de refuerzo).

II.2.2 DISEÑO DE MEZCLAS

Se conoce como diseño de mezcla al procedimiento mediante el cual se calculan las cantidades que debe haber 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 endurecido⁵.

⁵ Porrero, J. y otros. (2004) Manual del Concreto Estructural. Caracas: SIDETUR. 503 p.

Las condiciones necesarias de una dosificación apropiada son: economía y manejabilidad en estado fresco, resistencias, aspecto y durabilidad en estado endurecido, también se pueden tomar en consideración el color, peso unitario, textura superficial y otros. Estas cantidades suelen expresarse en kilos por metro cúbico de mezcla, el agua puede expresarse en kilos o litros ya que la relación es 1:1.

El diseño de mezcla cumple la finalidad de, además de determinar las cantidades de cada componente, las proporciones adecuadas de los mismos y su influencia sobre el concreto. Si bien es cierto que existe un cierto nivel de imprecisión, el método de diseño de mezcla debe lograr un equilibrio entre la precisión o exactitud, y el manejo y operatividad del mismo.

De igual manera, es una importante herramienta para el análisis teórico de la influencia que ciertos cambios en los materiales o en las proporciones de uso pudieran tener sobre el concreto⁶.

II.2.2.1 FUNDAMENTOS DEL MÉTODO DE DISEÑO PROPUESTO

Según Porrero (1999), el método que se presenta ha sido probado en laboratorios y en plantas de preparación comercial de concreto, con excelentes resultados, y ha sido concebido especialmente para el caso de empleo de agregados poco controlados y el de profesionales con relativa poca experiencia.

El método considera, dosis de cemento, trabajabilidad, relación agua/cemento y resistencia relacionadas a través de las leyes básicas,

⁶ Porrero, J. y otros. (2004) Manual del Concreto Estructural. Caracas: SIDETUR. 503 p.

Relación triangular y ley de Abrams y de igual manera toma en cuenta factores como el tamaño máximo y el tipo de agregado mediante factores de corrección.

II.2.2.1.1 RELACIÓN BETA

Cuando se trata de dos agregados, fino y grueso, la relación de combinación entre ellos se expresa como el cociente entero entre el peso del fino (arena) y del agregado total, suma del grueso y el fino, se simboliza β y se expresa en tanto por uno o en porcentaje.⁷

$$\beta = \frac{A}{A + G} \times 100$$

Donde A y G son los pesos de la arena y del agregado grueso respectivamente.

II.2.2.1.2 DATOS DE ENTRADA PARA EL DISEÑO DE MEZCLA

Existen distintas variables que pueden ser usadas como datos de entrada entre los que destacan las condiciones ambientales de la obra, tipo de obra o parte de la estructura, tipo de agregado y cemento, resistencia requerida promedio, Ley de Abrams, relación triangular entre otras, para los efectos de este trabajo se usarán como datos de entrada los últimos cuatro nombrados.

⁷ Porrero, J. y otros. (2004) Manual del Concreto Estructural. Caracas: SIDETUR. 503 p.

II.2.2.1.3 TIPO DE AGREGADO Y TIPO DE CEMENTO

El tipo de agregado se refiere a si es producido industrialmente, como la piedra picada y la arena triturada o si proviene directamente de la naturaleza, sin tratamientos mecánicos, como los cantos rodados y la arena natural. El tipo de cemento será Portland Tipo I.

II.2.2.1.4 RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA

La resistencia denominada resistencia promedio de mezcla será la resistencia media esperada para el material a ser elaborado (expresado en kg/cm^2).

II.2.2.1.5 LEY DE ABRAMS

Esta ley establece la correspondencia entre la resistencia del concreto y la relación agua/cemento, en peso, que se ha simbolizado como “valor α ”

$$\alpha = a/C$$

Donde:

a: cantidad de agua en litros o kilogramos fuerza

C: dosis de cemento en kilogramos fuerza

II.2.2.1.6 RELACIÓN TRIANGULAR

Esta es una expresión que relaciona la trabajabilidad (T) medida como asentamiento en el cono de Abrams (y que puede considerarse como la propiedad de mayor representatividad del concreto en estado fresco) con dos

parámetros claves en el diseño de mezcla como lo son la relación agua/cemento (α) y la dosis de cemento (C) y se expresa como:

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

Donde:

C= Dosis de cemento en Kg/m³

α = Relación Agua/cemento en peso

T = Asentamiento en el cono de Abrams (cm)

k, m, n son constantes de la mezcla y de las condiciones en que se elabora.

II.2.3 RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO

El ensayo destructivo a compresión simple sobre probetas normalizadas, permite inferir los valores de otras características mecánicas tales como la resistencia a la tracción y al corte.

Esta propiedad resulta de vital importancia ya que la resistencia a la compresión está correlacionada con la resistencia del concreto sometido a diversos estados de sollicitación.

II.2.4 EL ENSAYO A COMPRESIÓN.

El método de ensayo está normalizado según la Norma COVENIN 338:2002 “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”.

La norma establece que la resistencia del concreto se determina al conocer el promedio de los resultados válidos sobre un conjunto de probetas normalizadas, las cuales serán de forma cilíndrica con diámetro de 15 cm y altura de 30 cm.

De igual manera el procedimiento sistemático está prescrito en dicha normativa, los cuales deben cumplirse a cabalidad para que los valores obtenidos en el ensayo puedan considerarse válidos.

Otro factor importante a analizar en este ensayo, es la velocidad con la cual el concreto adquiere esta resistencia. La edad normativa en la cual se evalúa la compresión es a los 28 días, sin embargo se pueden ensayar a otras edades para fines informativos (1, 3, 7, 14, 90 y 360 días).

II.2.4.1 ROTURA DE LAS PROBETAS NORMATIVAS

Según Porrero (2004), la rotura de la masa de concreto al ser sometida a la compresión presenta patrones semejantes para cualquier tipo de solicitud, las cuales permiten identificar las siguientes situaciones:

- a) Rotura por agregado: Los granos gruesos se observan claramente partidos. Esta situación demuestra el uso de agregados indebidos la calidad dudosa de la pasta.
- b) Separación por interfase Mortero/agregado: La fractura se muestra en planos de desprendimiento de granos grueso, con la huella sobre la masa de mortero. Esta situación infiere suciedad en los agregados, la cual podría haber impedido la adherencia entre la pasta y los granos, calidad regular de

la pasta o en el caso menos probable, excesiva absorción de la piedra, resecándose las zonas de contacto del mortero.

c) Rotura por pasta: Se producen desprendimientos del mortero en fragmentos, se podría suponer en este caso, una pasta poco cohesiva, baja dosis de cemento, arenas sucias o calidad de agregados muy superior a la calidad de la pasta.

II.2.5 EL PESO UNITARIO.

Esta característica se refiere al peso del concreto por unidad de volumen, y el método utilizado para determinarlo está establecido en la NORMA COVENIN 349 “Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico, rendimiento y contenido de aire en el concreto”.

Los valores del peso unitario W del concreto dependerán del tipo y la proporción de agregados, del contenido de cemento y del volumen de vacíos. Para concretos normales varía entre 2200 y 2400 Kg/m³⁸.

II.2.6 MÓDULO DE ELASTICIDAD.

El módulo de elasticidad se refiere a la relación entre la tensión aplicada y la deformación unitaria producida. Para el rango elástico:

$$E_c = \Delta f / \Delta \epsilon$$

Donde:

f : tensión medida en kgf/m³

ϵ : deformación unitaria adimensional (mm/mm)

⁸ Geymayr, Guido. (1985) Todo lo esencial del Concreto en su Bolsillo. Valencia: EGN COMUNICACIONES.

Debido a que el concreto no es un material perfectamente elástico, en los rangos de cargas el material presenta un comportamiento elástico y un comportamiento plástico; puesto que al retirar la carga sólo recupera parcialmente la deformación alcanzada. Cuando es sometido a ciclos de carga y descarga, su deformación remanente será menor y su módulo de elasticidad será más estable⁹.

Entre los diferentes módulos de elasticidad, el que interesa para efectos de esta investigación, es el *Módulo de elasticidad normativo*, el cual para su determinación se emplea el procedimiento descrito en la NORMA COVENIN 1468-79 "Método para determinar el módulo de elasticidad (secante) en probetas cilíndricas de concreto".

Según Porrero (2004), este módulo se define como la pendiente de la recta que une la deformación unitaria de 5×10^{-5} , con el punto sobre la curva tensión-deformación correspondiente al 40% de la tensión máxima ($f_{\max}$).

II.2.7 TRABAJABILIDAD.

Esta expresión se utiliza para designar el asentamiento medido por el procedimiento normalizado del Cono de Abrams. Sin embargo, otra tendencia es utilizar esta expresión para designar el conjunto de propiedades del concreto que permiten manejarlo, colocarlo en moldes y compactarlo, sin presencia de segregación.

⁹ Porrero, J. y otros. (2004) Manual del Concreto Estructural. Caracas: SIDETUR. 503 p.

Aún así, a pesar de que el procedimiento no revela de manera exacta y específica las propiedades reológicas de la mezcla, es un índice práctico que brinda información en términos comparativos.

El método para medir el asentamiento con el Cono de Abrams, está establecido en la NORMA COVENIN 339 *“Concreto. Método para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams”*.

II.2.8 VELOCIDAD DEL PULSO ULTRASÓNICO

Este ensayo consiste en medir el tiempo en que tarda un pulso en atravesar la masa de concreto que se quiere evaluar. El mismo es representativo de la homogeneidad, ya que factores como la densidad, presencia de grietas y contenido de aire, afectan la velocidad del pulso.

El método de ensayo está establecido en la Norma COVENIN 1681-1980 *“Método de Ensayo para determinar la velocidad de propagación de Velocidad de Ondas en el Concreto”*. Se debe cuidar la debida calibración del instrumento, la posición de los terminales (transductores), la presencia del acero de refuerzo y la humedad del concreto.

II.3 CONCRETOS ESPECIALES.

Son aquellos concretos cuyas características principales no son las del concreto ordinariamente concebido, ya sea porque utiliza algún insumo especial o específico, o por la tecnología de aplicación y/o producción.

II.3.1 CONCRETO PESADO

Los concretos pesados difieren de los tradicionales tan solo en la densidad de hasta aproximadamente 6400 kg/m^3 , la cual depende de los agregados empleados. Las propiedades del concreto de gran peso, sea este en estado fresco o endurecido, se pueden adecuar para satisfacer las condiciones de la obra y los requisitos de blindaje por medio de una selección apropiada de los materiales y de las proporciones de la mezcla.

A excepción de la densidad, las propiedades físicas del concreto de gran peso son similares a las del concreto normal. *La resistencia es función de la relación agua/cemento*; por lo tanto, para cualquier conjunto de materiales en particular, se pueden lograr resistencias comparables a las de los concretos de peso normal. Como cada blindaje contra radiación presenta requisitos especiales, se deberán llevar acabo mezclas de prueba con los materiales y bajo las condiciones de obra a fin de determinar las proporciones adecuadas para la mezcla.

II.3.1.1 EFECTO DE PROTECCIÓN

Una protección biológica nuclear puede estar sometida a dos tipos de acciones: radiación gamma y neutrones rápidos.

La radiación gamma, al igual que ocurre con los rayos X, se puede atenuar mediante un espesor determinado de un material con un alto coeficiente de absorción., de tal forma que si I_0 es la intensidad de la radiación inicial e I la intensidad que pasa por una protección x , formada por un material de coeficiente de absorción u , tiene:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

Dado que el coeficiente μ en materiales de peso atómico hasta 100 es proporcional a la densidad interesa emplear en las protecciones elementos de número atómico grande en las que entren materiales de gran densidad como puede ser acero, plomo, o incluso de densidad superior a 2,4 Kg. /dm³, es decir, concretos pesados. Para la protección contra neutrones interesan materiales de elevada sección de captura que, en general, son cuerpos que poseen elementos de número atómico pequeño, siendo muy eficaces los cuerpos hidrogenados, agua, polietileno, hidruros, madera comprimida, etc.

Dado que en la captura de neutrones se suele producir radiación gamma, es preciso que a los materiales ligeros empleados contra los neutrones se unan materiales pesados para absorber estas radiaciones.

El concreto es un buen material de protección debido a que posee los elementos precisos para capturar los neutrones y para atenuar la radiación gamma. Posee hidrógeno, agua en el gel de cemento hidratado, agua libre entre sus poros y agua de cristalización en algunos áridos, especialmente si éstos son pesados seleccionados con este fin, puesto que al mismo tiempo que actúan frenando los neutrones, al poseer calcio, silicio e hierro, pueden absorber también las radiaciones gamma. A veces se producen capturas de neutrones térmicos cerca de las caras externas de las protecciones, por lo que para absorber la radiación gamma que se produce y evitar su salida al exterior habrá que emplear protecciones sobredimensionadas con los inconvenientes de peso y costo; desde este punto de vista interesa disponer de una gran cantidad de hidrógeno para captar neutrones y de elementos de considerable sección eficaz capaces de absorber neutrones térmicos sin producir radiación gamma. Estos elementos suelen ser boro y litio o

derivados de los mismos fundamentalmente los derivados del primero, carburo de boro y pirex, que tienen la ventaja de no ser solubles en el hormigón. También pueden emplearse turmalina y colemánita.

II.3.1.2 COMPONENTES

II.3.1.2.1 AGREGADOS UTILIZADOS

II.3.1.2.1.1 AGREGADOS PESADOS

Para concretos de gran peso se debe utilizar agregados que tienen alta densidad, de los casi sesenta y cinco minerales que tienen densidades superiores a 3500 (Kg/m³) en el campo de la construcción, sólo algunos son utilizados como agregados para el concreto, la razón por la cual no son utilizados todos los minerales es por cuestiones económicas.

Los agregados tradicionales, aunque son económicos, tienen el inconveniente de obtener concretos con resistencias no mayores de 2400 (Kg/m²), además el inconveniente de que el contenido de H es bajo, aproximadamente un 0.85 por 100 en peso.

Algo importante que se debe tomar en cuenta en la utilización de los agregados pesados, que estos materiales deben ser inactivos frente al cemento y no perjudicar sus propiedades mecánicas.

Los agregados más utilizados son los siguientes:

II.3.1.2.1.1.1 BARITA (BaSO_4)

- Material opaco de estructura laminar.
- Color ámbar.
- Densidad: 4,5.
- Dureza: 3 a 3,5.
- Se emplea en forma de polvo, arena y gravilla de hasta 30 mm de tamaño máximo.
- Presenta problemas de granulometría.
- Es el más común de los minerales de bario.
- La Barita, por lo general, produce concretos de densidad comprendida entre 3,3 y 3,7 kg/dm³.

II.3.1.2.1.1.2 MAGNETITA ($\text{Fe}_3 \text{O}_4$)

- Es uno de los áridos más empleados junto con la Barita.
- Tiene brillo metálico.
- El mineral viene mezclado con rocas ígneas y sedimentarias.
- Densidad 4,2 a 5,2.
- La magnetita da concretos cuya densidad está comprendida entre 3,5 y 4,2 kg/dm³.
- La itabira es una variedad de magnetita que procede del Brasil.

II.3.1.2.1.1.3 LIMONITA $\text{FeO}(\text{OH})$

- Es un árido parecido a la magnetita.
- Densidad: 2,7 a 3,8.

II.3.1.2.1.1.4 ILMENITA (FeTiO_3)

- Color negro metálico.
- Densidad: 4,72.

- Dureza 5 a 6.

II.3.1.2.1.1.5 FERROFÓSFORO (Fe_3P , Fe_2P , FEP)

- Es un subproducto de la producción del fósforo.
- Densidad: 5,72 a 6,3.
- Se ha empleado mucho como árido grueso y fino en protecciones dando hormigones de densidad de hasta 5,3 kg/dm³.

II.3.1.2.1.1.6 HEMATITA Fe_2O_3

- Dureza: 5,5 - 6,5.
- Densidad: 4,9 - 5,3.
- Color: negro, rojo o pardo, según las variedades.
- Raya: rojiza o parda.

Se conoce la existencia de yacimientos sedimentarios en Lara suroccidental, depósitos metasomáticos en el Estado Miranda, yacimientos laminados en los estados: Apure, Bolívar y Delta Amacuro, yacimientos de grano grueso ubicados al norte de la Falla de El Pao en el Estado Bolívar (Cerro El Pao, Cerro Gutiérrez, Cerro La Imperial, Cerro Las Grullas, Cerro Piacoa, pequeños yacimientos ubicados al norte de la Falla de El Pao), yacimientos de grano medio en el Cerro María Luisa (Estado Bolívar), pequeños yacimientos localizados en el área de El Guri, pequeños yacimientos localizados al sur de la Falla Guri - Río Carapo¹⁰.

¹⁰ <http://www.pdvsa.com/lexico/museo/minerales/hierro.htm>

En Venezuela, los yacimientos del mineral de hierro son de origen sedimentario y están constituidos principalmente por hematita y en menor proporción por magnetita, limonita y goethita.

En la presente investigación, el mineral utilizado en el diseño de mezcla de concreto pesado es Hematita.

II.3.1.2.2 EL CEMENTO

Para este tipo de concretos en general en la clasificación el contenido de cemento que se utiliza esta en el orden de 350 (Kg/m³)

II.3.1.2.3 EL AGUA

Los problemas frecuentes que se tienen con este tipo de concretos es la segregación, por lo tanto para evitar la segregación se utilizan relaciones da agua cemento de 0.35 a 0.40, se pueden utilizan superfluidificantes para conseguir concretos clásicos.

II.3.1.4 MEZCLADO Y PREPARACIÓN

Para el amasado se debe utilizar mezcladoras de eje vertical, debido a la mejor eficacia del amasado de la pasta, sin embargo no es aconsejable utilizar mezcladoras vasculantes por que los esfuerzos sobre el eje son muy grandes. El tiempo de amasado, del concreto pesado es generalmente similar al tiempo de amasado de los concretos tradicionales; se debe

descarga cuidadosamente la mezcla de la mezcladora para evitar la segregación.

II.3.1.5 COLOCACIÓN

La puesta en obra de esta clase de concreto se debe extremar vigilancia para evitar problemas de segregación y posibles descuidos de compactación, el espesor de las capas de vaciado no debe sobre pasar los 25 cm y además el vibrado debe ser enérgico y de corta duración con frecuencias próximas 20 ciclos / min. Durante el vaciado es conveniente controlar la homogeneidad del concreto a fin de detectar posibles cangrejas.

II.3.1.6 CUIDADOS

Las resistencias mecánicas de estos concretos no suelen ser preocupantes debido al fuerte espesor de paredes impuesto por razones de protección

Sin embargo, un factor preocupante puede ser la figuración que debe evitarse incluso a temperaturas de 300 °C, y normalmente muchas protecciones esta expuestas a altas temperaturas a este respecto hay que tener en cuenta que cuando un concreto esta sometido a temperaturas de 300 a 400 °C durante mucho tiempo experimenta una disminución en su resistencia a compresión del 20 al 50% y que, a 400 °C el concreto se deshidrata disminuyendo su poder de protección.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

A continuación se describen los procedimientos realizados para la elaboración y posterior ensayo de las probetas cilíndricas de concreto. Esta sección tiene como finalidad explicar la ejecución de dichos procedimientos, además de validarlos en función de la normativa nacional existente, y respaldar los resultados provenientes de estos ensayos.

Cabe destacar que el trabajo constituye una investigación de desarrollo experimental, que pretende aportar valores y características del concreto pesado a las referencias ya existentes.

III.1 MATERIALES SELECCIONADOS

Todos los agregados empleados para el ensayo fueron suministrados en calidad de donación.

La piedra y la arena (25 sacos cada de cada agregado) fueron suministrados por la Premezcladora Lafarge ubicada en el sector El Valle, Caracas - Venezuela.

El Mineral de Hierro (Hematita) fue donado por la Siderúrgica del Orinoco "Alfredo Maneiro" SIDOR C.A.; según información suministrada por la Ing. Gloria Basanta, Gerente de Calidad de la planta el mismo fue previamente secado en hornos.

El cemento utilizado fue Cemento Pórtland Tipo I, marca HOLCIM, y suministrado por la FERRETERÍA LOMA ALTA C.A. ubicada en Petare, Estado Miranda.

III.1.1 ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE.

Agregado Grueso: Se transportó en sacos con capacidad aproximada de 60 Kg, en una camioneta tipo pick-up, desde el patio de agregados de la premezcladora Lafarge, hasta el Laboratorio de Concreto Fresco del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME). Según información suministrada por la premezcladora, el mismo provenía de la Cantera “Las Marías”, con tamaño máximo de 1 ½”.

Agregado fino: Igual que el agregado grueso, fue suministrado por la premezcladora Lafarge bajo las mismas condiciones de transporte. La arena según información suministrada por la premezcladora, provenía del Río Tuy y estaba saturada por lo cual se le debió realizar previamente el secado en los hornos del Laboratorio de Mecánica de Suelos para realizar las correcciones por humedad.

Mineral de Hierro: Transportado desde el Patio B1 de SIDOR, en una camioneta tipo pick-up, dentro de 5 tambores metálicos con capacidad de 100Kg cada uno, debidamente sellados e identificados.

Foto III.1 Mineral de Hierro suministrado por SIDOR



A continuación se presenta el análisis químico suministrado por la Ing. Gloria Basanta, realizado en el Laboratorio de Materias Primas de SIDOR:

Tabla III.1 Análisis Químico del Mineral



Gerencia de Calidad
Superintendencia de Laboratorios
Laboratorio de Materias Primas
REPORTE DE MUESTRAS ESPECIALES

ID Muestra	Mineral Especial Patio 1 B		
Fecha Recepción	07/10/2008		
A. Químico	(%)		
Fet	64,63		
FeO	0,43		
SiO₂	2,12		
Al₂O₃	0,88		
MgO	0,035		
CaO	0,024		
TiO₂	0,100		
MnO	0,04		
P.P.C	4,37		
C	0,140		
S	0,0185		
H₂O			
Densidad	5,100		

Fuente: Laboratorio de Materias Primas de SIDOR. Ing. Gloria Basanta, Gerente del Instituto de Investigación de Metalurgia y Materiales, SIDOR.

Cemento: Transportado desde la ferretería Loma Alta, hasta la Nave de Ensayos Físicos del IMME, en presentación de sacos de 42,5kg. En este sitio fueron dispuestos en filas de tres (3) sacos para evitar su compactación y debidamente protegidos de la humedad y la intemperie.

III.2 ANÁLISIS DE LOS AGREGADOS

III.2.1 GRANULOMETRÍA:

Agregado grueso: El análisis del agregado se realizó según lo pautado en la norma COVENIN 255-1998 *“Agregados. Determinación de la composición granulométrica”*, según la cual, luego de ordenar los cedazos por número de abertura empezando por el mayor de arriba hasta abajo en forma de cascada (norma COVENIN 254 *“Cedazos de ensayo”*), se agita el material a través de la serie distribuyéndose los granos según su tamaño.

Los tamices utilizados fueron: 1½”, 1”; ½”; 3/8” y ¼”; los resultados obtenidos permitieron realizar la respectiva curva granulométrica (porcentaje pasante vs. Tamaño de partícula en mm), así como determinar el tamaño máximo del agregado.

Agregado fino: Previo a la realización del análisis granulométrico, se tomó una muestra de 500 gr, la cual fue secada en horno durante 24 horas a 105°C aproximadamente. Este procedimiento se realizó debido a que la arena presentaba alto contenido de humedad, el cual era apreciable al tacto, situación que influye en la realización del ensayo alterando la precisión del mismo. Luego de secada la muestra, la misma fue pesada para determinar la diferencia en peso de la misma.

Al igual que para el agregado grueso, el análisis granulométrico se realizó según lo pautado en la norma COVENIN 255-1998 *“Agregados. Determinación de la composición granulométrica”*, según la cual, luego de ordenar los cedazos por número de abertura empezando por el mayor de arriba hasta abajo en forma de cascada (norma COVENIN 254 *“Cedazos de*

ensayo”), se agita el material a través de la serie distribuyéndose los granos según su tamaño.

Los tamices utilizados fueron: #4, #8, #16; #30, #50 y #100; los resultados obtenidos permitieron realizar la respectiva curva granulométrica (Porcentaje pasante vs. Tamaño de partícula en mm).

Agregado Mineral: Se obtuvo por el método de cuarteo descrito en la norma COVENIN 270-1998 “Agregados. Extracción de muestras para morteros y concretos”, una muestra de 500 gr, la cual se hizo pasar por los tamices #4, #8, #16; #30, #50 y #100; y los resultados obtenidos permitieron realizar la respectiva curva granulométrica (Porcentaje pasante vs. Tamaño de partícula en mm). Cabe destacar que el mineral era visiblemente un material fino, por lo tanto fue realizada su granulometría según lo pautado para agregados de este tipo.

Foto III.2 Disposición del Mineral para realizar Método de cuarteo



Foto III.1 y Foto III.2 Método de Cuarteo realizado al Mineral



III.2.2 CONTENIDO DE HUMEDAD

Agregado Fino:

Procedimiento:

1. Se tomó una muestra aleatoria del agregado fino.
2. Se pesó hasta obtener exactamente 500 gr.
3. Se colocó en el horno a 105°C por 24 horas.
4. Al cabo de las 24 horas, se extrajo la muestra y se pesó nuevamente.

Foto III.4 Agregado Fino secado al Horno



5. La diferencia en peso entre el material húmedo (antes de secar al horno) y el material secado en horno, arrojó el valor correspondiente al porcentaje de humedad.

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad \text{Ec. III.1}$$

Donde:

W_w : Peso de la muestra húmeda.

W_s : Peso de la muestra seca.

III.2.3 PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.

Agregado Fino

Se realizó este ensayo para determinar las tres formas de densidad y absorción, puesto que el agua incluida en los poros del agregado, suponen correcciones y ajustes en el diseño de mezcla respecto a la cantidad de agua a utilizar. El procedimiento utilizado es el descrito en la norma COVENIN 268:1998 “Agregado Fino. Determinación de la densidad y absorción”, el cual consiste en sumergir una muestra previamente de arena durante aproximadamente 24 horas con la finalidad de saturar sus poros, y así calcular, las tres formas de densidad y la absorción. Para ello, se remueve el agua de la muestra sumergida y se seca, se determina su masa, luego se vuelve a sumergir en agua para posteriormente determinar nuevamente su masa. Finalmente, se seca al horno, y se determina su masa por tercera vez. Con estos valores y aplicando las fórmulas que a continuación se escriben, se determinan los mencionados valores de densidad y absorción.

Densidad aparente:

$$\rho_a = M_1 / (M_a + M - M_p) \text{ Ec.III.2}$$

Densidad aparente con muestra saturada y con superficie seca (SSS):

$$\rho_s = M / (M_a + M - M_p) \text{ Ec.III.3}$$

Densidad nominal:

$$\rho = M_1 / (M_a + M_1 - M_p) \text{ Ec.III.4}$$

Absorción:

$$A_b = \frac{M - M_1}{M_1} \times 100 \quad \text{Ec.III.5}$$

Donde:

M_1 : Peso en el aire de la muestra seca

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

M_a : Peso del picnómetro con agua

M_p : Peso del picnómetro con la muestra y el agua

En el Laboratorio de Mecánica de Suelos el procedimiento fue el siguiente:

1. Se obtuvo por el método de cuarteo descrito en la norma COVENIN 270-1998 “Agregados. Extracción de muestras para morteros y concretos”, una muestra de aproximadamente 1500 gr.
2. Se dejó sumergida aproximadamente 24 horas en agua.

Foto III.5 Inmersión del Agregado fino



3. Se extrajo la muestra del agua y se dispuso de la misma en una bandeja metálica adecuada para evitar pérdida de material y finos.
4. Se secó utilizando una hornilla, removiéndola constante y cuidadosamente.
5. Se pesó esta muestra saturada y con superficie seca.
6. Se llenó el picnómetro (previamente pesado) con agua y se introdujo la muestra saturada y con superficie seca, se añadió agua gradualmente hasta completar 50%, 75% y 100% de la capacidad del picnómetro, agitando la muestra e introduciendo un papel absorbente, para evitar burbujas de aire.

Foto III.6 Llenado del picnómetro



Foto III.7 Colocación de Papel Absorbente



7. Se pesó el picnómetro con la muestra.

8. Se sacó la muestra del picnómetro cuidadosamente, se secó hasta masa constante y se pesó.
9. Se determinaron los resultados.

Agregado Grueso:

Al igual que el agregado fino, es necesario determinar las densidades y absorción del agregado grueso; para ello, se procedió según lo establecido en la norma COVENIN 269:1998 “Agregado grueso. Determinación de las densidades y absorción”, cuyo método consiste en tomar una muestra de agregado grueso, la cual se sumerge en agua aproximadamente 24 horas, se remueve el agua y se seca para calcular su masa. Posteriormente se vuelve a sumergir y se determina su masa por segunda vez. Finalmente, se seca al horno y se determina su masa por tercera vez.

Con estos valores y aplicando las ecuaciones establecidas en la norma, se determinarán las diferentes densidades y la absorción.

Densidad aparente:

$$\rho_a = (d)M_1 / M_1 - M_2 \quad \text{Ec.III.6}$$

Densidad aparente con muestra saturada y con superficie seca (SSS):

$$\rho_s = (d)M_2 / M_2 - M_3 \quad \text{Ec.III.7}$$

Densidad nominal:

$$\rho = (d)M_1 / M_1 - M_3 \quad \text{Ec.III.8}$$

Absorción (en porcentaje):

$$A_b = [(M_2 - M_1) / M_1] \times 100 \quad \text{Ec.III.9}$$

Donde:

(d): Densidad del agua 1 gr/ml

M₁: Masa en el aire de la muestra secada en el horno

M₂: Masa saturada y con superficie seca.

M₃: Masa en al agua de la muestra saturada.

En el Laboratorio de Mecánica de Suelos el procedimiento fue el siguiente:

1. Se obtuvo por el método de cuarteo descrito en la norma COVENIN 270-1998 *“Agregados. Extracción de muestras para morteros y concretos”*, una muestra de 10000 gr.

Foto III.8 Pesada del Agregado Grueso



2. Se lavó para eliminar finos e impurezas.
3. Se dejó sumergida aproximadamente 24 horas en agua. Cabe destacar que se obviaron las condiciones de secado a masa constante puesto que los valores obtenidos en el ensayo se utilizarían para un diseño de mezcla.

Foto III.9 Inmersión del Agregado Grueso



4. Se extrajo la muestra del agua y se dispuso de la misma en una bandeja metálica adecuada para evitar pérdida de material.

Foto III.10 Extracción del Agua al Agregado Grueso



5. Se secó haciendo rodar la muestra a través de un paño de mediano tamaño, hasta eliminar la película de agua visible.
6. Se pesó esta muestra saturada y con superficie seca.
7. Se colocó esta muestra saturada y con superficie seca en la cesta y se determinó su masa en el agua.

Foto III.11 Saturación de Poros del Agregado Grueso



8. Se extrajo la muestra del agua y se secó en el horno hasta masa constante a 105°C.
9. Se extrajo la muestra del horno, y se dejó al aire hasta poder ser manipulada y se pesó.
10. Se determinaron los resultados.

III.2.4 ENSAYO DE DESGASTE LOS ANGELES

Esta prueba permite evaluar la resistencia del agregado grueso, y se realiza según lo pautado en la norma COVENIN 266:77 *“Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste de agregados gruesos menores de 38,1 mm (1 ½”), por medio de la máquina Los Ángeles”*.

El método consiste en colocar una muestra del agregado en conjunto con unas bolas de acero normadas dentro de un tambor de acero, el cual se hace girar, para luego medir granulométricamente, las fracciones provenientes del desgaste de dicho agregado.

El procedimiento en el laboratorio fue el siguiente:

1. Se obtuvo por el método de cuarteo descrito en la norma COVENIN 270-1998 *“Agregados. Extracción de muestras para morteros y concretos”*, una muestra de aproximadamente 5000 gr.
2. La muestra tenía la siguiente gradación:
 - a. 1250 gramos retenidos en el Tamiz de 1”
 - b. 1250 gramos retenidos en el Tamiz de ¾”
 - c. 1250 gramos retenidos en el Tamiz de ½”
 - d. 1250 gramos retenidos en el Tamiz de 3/8”

Por lo tanto correspondió la gradación A, según la cual, corresponde utilizar 12 esferas de acero y dar 500 revoluciones.

3. Se colocó la muestra dentro de la máquina, y se procedió a dar las vueltas correspondientes.
4. Se extrajo la muestra del tambor y se hizo pasar por el Tamiz N°12.
5. Se pesó el material retenido en dicho Tamiz.
6. Con el peso inicial de la muestra, y el peso retenido en el Tamiz N°12, se determinó el porcentaje de desgaste según la siguiente formulación:

$$\% \text{Desgaste} = [(P_i - P_f)/P_i] \times 100 \text{ Ec.III.10}$$

Donde:

P_i: Peso inicial de la muestra

P_f: Peso retenido en el Tamiz N°12

III.3 DISEÑO DE MEZCLA

Se elaboró un diseño de mezcla convencional para concreto normal, según la metodología señalada en el Manual del Concreto Estructural de Joaquín

Porrero. Este diseño se elaboró para una resistencia de 250 kg/cm^2 , y es a partir de ésta mezcla que se estableció la dosificación para elaborar las mezclas de concreto pesado.

III.3.1 RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA (F_{cr})

La resistencia para la elaboración de de la mezcla de concreto normal, se calculó según la siguiente fórmula:

$$F_{cr} = f_c + 1,34 \times \sigma \quad \text{Ec.III.11}$$

Donde:

f_c : Resistencia fijada (250 kg/cm^2)

σ : Desviación estándar.

III.3.2.RELACIÓN AGUA/CEMENTO (α)

Según la Norma Covenin 1753, la cual autoriza la dosificación de concretos con base en los límites de relación agua/cemento dados en la tabla a continuación mostrada, la cual se utilizó para la selección del valor α necesario para dosificar:

TABLA III.2: Relación agua/cemento máxima permisible cuando no existen datos de ensayo de resistencia o experiencia en obra

Resistencia especificada F_c (Kgf/cm²)(2)	Relación agua/cemento por peso (1)	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0,62	0,51
210	0,52	0,42
250	0,44	0,34
300	0,37	(4)
350	(4)	(4)

(1)Interpólese para valores intermedios de resistencia aplicada

(2)Resistencia especificada a los 28 días

(3)En zonas sísmicas no se permiten concretos con resistencias inferiores a 210kgf/cm²

(4)La dosificación de concretos con resistencias mayores a 300kgf/cm² sin aire incorporado o mayores de 250kgf/cm² con aire incorporado, debe hacerse por los métodos de la sección VI.5 y VI.6 de este manual

Fuente: Manual del Concreto Estructural,(Romero R., Porrero J., 2004)

Según los agregados suministrados, el factor de corrección K_r para ajustar el valor de α según el tamaño máximo del mismo es de 0,91 por lo tanto, y el valor de K_a es de 0,97, por lo tanto α debe ser modificado.

TABLA III.3 K_r Factor para Corregir α por Tamaño Máximo

(mm)	6,35	9,53	12,7	19,1	25,4	38,1	50,8	63,5	76,2
(pulg)	(1/4)	(3/8)	(1/2)	(3/4)	(1)	(1 ½)	(2)	(2 ½)	(3)
Factor K_r	1,6	1,30	1,10	1,05	1,00	0,91	0,82	0,78	0,74

Fuente: Manual del Concreto Estructural, p.136. (Romero R., Porrero J., 2004)

TABLA III.4 Ka Factor para Corregir α por Tipo de Agregado

GRUESOS	TRITURADOS	SEMITRITURADOS	CANTO RODADO
FINOS			
ARENA NATURAL	1,00	0,97	0,91
ARENA TRITURADA	1,14	1,10	0,93

Fuente: Manual del Concreto Estructural, p.136. (Romero R., Porrero J., 2004)

III.3.3 LEY DE ABRAMS

Relaciona la composición de la mezcla del concreto con su resistencia, y se representa con la siguiente ecuación:

$$R_{28} = \frac{M}{N^\alpha} \quad \text{Ec.III.12}$$

Donde:

R: Es la resistencia media esperada

M y N: Constantes que dependen de las características de los materiales componentes y de la edad de ensayo

III.3.4 RELACIÓN TRIANGULAR

Esta es una expresión que relaciona el asentamiento medido con el cono de Abrams, con la relación agua/cemento (α) y la dosis de cemento (C).

$$C = k \times T^n / \alpha^m \quad \text{Ec.III.13}$$

Donde:

C: Dosis de cemento (kgf/m³)

α : Relación agua/cemento

T: Asentamiento del cono de Abrams

K, m, n: Constantes que dependen de las características de los materiales componentes de la mezcla

Un ajuste de la ecuación anterior:

$$\log C = 2,069 + 0,16 \log T - 1,3 \log \alpha \quad \text{Ec.III.14}$$

III.3.5 RELACIÓN BETA

Es la relación de combinación entre agregados finos y gruesos en la mezcla.

Se calcula con la siguiente expresión:

$$\beta = 100 \times A/(A+G) \% \quad \text{Ec. III.15}$$

Este valor de Beta se seleccionó de manera tal que se pudiese obtener la combinación más apropiada de agregados, incluso al realizar la sustitución de mineral de hierro.

III.3.6 VOLUMEN DE AIRE

Se debe considerar que, aún y cuando se realice una adecuada compactación del concreto, en la mezcla siempre quedan pequeñas cantidades de aire las cuales deben tomarse en cuenta en el diseño de mezcla. Su cálculo es impreciso, pero una manera de aproximar el volumen

de aire atrapado en la mezcla, es a través de una ecuación que contempla el tamaño máximo del agregado (P), y la dosis de cemento (C):

$$V = C/P \text{ (Litros/m}^3\text{)} \quad \text{Ec.III.16}$$

Donde:

C: Dosis de cemento en kilogramos fuerza

P: Tamaño máximo expresado en milímetros

III.3.7 VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS

El volumen ocupado por los agregados se obtiene dividiendo el peso de cada uno entre su peso específico, como si estuvieran saturados con superficie seca. Según lo establecido por Porrero (2004), a pesar de que el peso específico es calculado con precisión en el laboratorio, se puede emplear 2,65 como valor promedio para ambos agregados y para su combinación.

$$V_{(A+G)} = (A+G) / \gamma_{(A+G)} \quad \text{Ec.III.17}$$

Donde:

A: Agregado fino

G: Agregado grueso

$\gamma_{(A+G)}$: Peso específico de combinación de agregados, igual a 2,65.

III.3.7.1 DOSIS DE PIEDRA Y ARENA

Para calcular los pesos A y G de los agregados fino y grueso se utiliza la siguiente expresión:

$$A = \beta (A + G) \quad \text{Ec.III.18}$$

$$G = (1 - \beta) (A + G) \quad \text{Ec.III.19}$$

III.3.8 AGUA DE MEZCLADO

El peso del agua a utilizar denominado (a), se calcula por la siguiente expresión:

$$a = C \times \alpha \text{ Ec.III.20}$$

Según Porrero (2004), en la tecnología del concreto un litro de agua es equivalente a un kilogramo de la misma.

III.3.8.1 CORRECCIÓN POR HUMEDAD

El grado de humedad de los agregados, influirá en la capacidad del mismo en aportar o absorber agua de la mezcla, por lo tanto deben hacerse las correcciones pertinentes en este aspecto para no alterar la cantidad exacta de agua de mezclado.

Para ello se utiliza la siguiente ecuación:

Agregado grueso:

$$G_{SSS} = G_w \times (100 + A_b) / (100 + w) \text{ Ec.III.21}$$

Donde:

G_{SSS} : Peso del agregado saturado con superficie seca.

G_w : Peso del material húmedo

W : Humedad del agregado.

A_b : Absorción del agregado.

Agregado fino:

$$A_{SSS} = A_w \times (100 + A_b) / (100 + w) \text{ Ec.III.22}$$

Donde:

A_{SSS} : Peso del agregado saturado con superficie seca.

A_w : Peso del material húmedo

W : Humedad del agregado.

A_b : Absorción del agregado.

La cantidad definitiva que será añadida se corregirá con la siguiente expresión:

$$a_M = a_D + A_{SSS} - A_w + G_{SSS} - G_w \text{ Ec.III.23}$$

Donde:

a_M : Cantidad de agua a utilizar en la mezcla

a_D : Dosis de agua según el diseño

A_{SSS} ; G_{SSS} : Dosis de agregados (arena y grueso) supuestos saturados con superficie seca.

A_w ; G_w : Pesos de los agregados en cualquier condición de humedad

III.3.9 DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETO PESADO

Las mezclas de concreto pesado se elaboraron sustituyendo el 30%, 40% y 50% del volumen total de arena contemplado en la mezcla de concreto normal, utilizando la siguiente formulación para determinar la cantidad de mineral a utilizar para cada tipo de mezcla de concreto pesado:

$$V_{\text{mineral}} = V_{\text{arena}} \times \%_{\text{sustitución}} / 100 \text{ Ec.III.24}$$

Obtenido el volumen de mineral a utilizar en cada mezcla se procede a determinar su cantidad en kilogramos:

$$\partial = W_{\text{mineral}} / V_{\text{mineral}} \text{ Ec.III.25}$$

$$W_{\text{mineral}} = \partial \times V_{\text{mineral}} \text{ Ec.III.26}$$

Donde:

∂ : Densidad absoluta del mineral

W_{mineral} : Peso en kilogramos del mineral

V_{mineral} : Volumen en litros del mineral

III.4 MEZCLADO

El mezclado de los componentes del concreto normal, se realizó según lo establecido en la norma COVENIN 354 “*Método de Mezclado de Concreto en Laboratorio*”. Se utilizó un trompo cuya capacidad es de 125 litros, sin embargo, debido a las características propias del concreto elaborado, se mezcló al 80% de dicha capacidad.

Luego de conocida la dosificación, se procedió de la siguiente manera:

1. Se pesaron las cantidades necesarias de agregados y cemento para preparar 100 Litros ($0,1 \text{ m}^3$) de mezcla, así como la cantidad de agua.

Fotos III.- Pesada de Agregados y Mineral de Hierro (Hematita)



Fotos III.11.- Pesada de Agregado Grueso



III.12.- Pesada de Mineral de Hierro



III.13 Pesada de Agregado Fino

2. Se humedeció el interior del trompo antes de encenderlo.
3. Luego de encendido, se agregaron los componentes en el siguiente orden:
 - 3.1 Se añadió aproximadamente la mitad del agregado grueso.
 - 3.2 Al cabo de pocos minutos, se añadió una (1) parte de la arena junto a una (1) parte del mineral.
 - 3.3 Se dejó mezclar durante aproximadamente 3 minutos.
 - 3.4 Transcurrido este tiempo, se añadió la mitad del cemento y la mitad del agua.
 - 3.5 Luego de añadir el agua, se procedió a añadir el resto de los componentes en el mismo orden en que fueron añadidos inicialmente..
 - 3.6 Luego de estar dentro todos los componentes de la mezcla, se mezclaron durante 15 minutos.

3.7 Se detuvo el trompo y se dejó en reposo 1 minuto mientras se tomaba la muestra para la medición del asentamiento.

3.8 Se procedió a vaciar la mezcla en un recipiente de capacidad suficiente para albergar la totalidad de la mezcla.

Foto III.14 Descarga del Trompo al recipiente



Foto III.15 Disposición de la Mezcla en el recipiente



3.9 Se procedió a la elaboración de las probetas cilíndricas.

III.5 TOMA DE MUESTRAS

La muestra de concreto se tomó según lo estipulado en la norma COVENIN 344:2002 *“Concreto Fresco. Toma de Muestras”*.

Las muestras se tomaron al momento en el que el trompo descargaba al recipiente que serviría para la elaboración de las probetas.

Se seleccionaron 40 litros de material para la realización del ensayo de Peso Unitario y medición del Asentamiento con el Cono de Abrams. Se procuró respetar los lapsos de tiempo establecidos en la mencionada norma para la realización de estos ensayos y la elaboración de las probetas.

III.5.1 ENSAYO DE CONO DE ABRAMS

El método de ensayo utilizado fue el establecido en la Norma COVENIN 339:2003 *“Método para la Medición del Asentamiento con el Cono de Abrams”*, cuyo rango de asentamiento adecuado se establece entre $\frac{1}{2}$ " (15mm) y 8" (203mm).

El Cono, es de forma troncocónica, hecho de material rígido y normado, al igual que la barra compactadora, la cual es de acero, cilíndrica y lisa.

El procedimiento realizado fue el siguiente:

1. Se humedeció el interior del Cono.
2. Se colocó sobre una base metálica rígida y plana.
3. Se sujetó el molde firmemente por las aletas con los pies.
4. Se llenó el interior del Cono con la muestra de concreto, la cual se vació en tres (3) capas, cada una a un tercio del volumen del molde.

Foto III.16 Llenado del Cono de Abrams



5. Cada capa se compactó proporcionando 25 golpes con la barra compactadora distribuidos uniformemente.

Foto III.17 Compactación de la Mezcla dentro del Cono



6. El exceso de concreto se enrasó con la barra compactadora.
7. Se retiró de inmediato el molde.

Foto III.18 Retiro del Cono



8. Se midió de inmediato el asentamiento, el cual se determina por la diferencia entre la altura del molde y la altura final de la mezcla.

Foto III.19 Medición del Asentamiento



III.5.3 PESO UNITARIO EN CONCRETO FRESCO

El ensayo se realizó según lo previsto en la norma COVENIN 349-79 “Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico, rendimiento y contenido de aire en el concreto”.

El volumen del concreto fresco se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_c = W_c + W_f + W_g + W_a / W \quad \text{Ec.III.27}$$

Donde:

V_c : Volumen del concreto fresco producido por la mezcla en m^3

W_c : Peso total del cemento en kilogramos

W_f : Peso total del agregado fino de la mezcla en la condición en que se usa en kilogramos

W_g : Peso total del agregado grueso de la mezcla en la condición en que se usa en kilogramos

W_a : Peso total del agua añadido a la mezcla en kilogramos

W : Peso total del concreto fresco en kilogramos

Rendimiento (R):

$$R = V_c / N \quad \text{Ec.III.28}$$

Donde:

R: Volumen del concreto fresco por cada saco de cemento en m^3

V_c : Volumen del concreto fresco producido por la mezcla en m^3

N: Número de sacos de cemento por mezcla

Rendimiento relativo (R_r):

$$R_r = V_c / V_d \quad \text{Ec.III.29}$$

V_c : Volumen del concreto fresco producido por la mezcla en m^3

V_d : Volumen de diseño de la mezcla de concreto

Factor real del cemento (N_m):

$$N_m = 1 / R \quad \text{Ec.III.30}$$

$$N_m = N / V_c \quad \text{Ec.III.31}$$

Donde:

R: Rendimiento del concreto por saco de cemento por m^3

N: Número de sacos de cemento por m^3 de concreto producido

V_c : Volumen de concreto producido por mezcla en m^3

El contenido de aire:

$$A = [(W_E - W) / W_E] \times 100 \quad \text{Ec.III.32}$$

$$A = [(V_c - V_E) / V_c] \times 100 \quad \text{Ec.III.33}$$

Donde:

W_E : Peso unitario nominal del concreto fresco en Kg/ m³ calculado como si no tuviera aire, se calcula con la siguiente fórmula:

$$W_E = W_1 / V_E \quad \text{Ec.III.34}$$

Donde:

W_1 : Peso total de los ingredientes componentes de la mezcla en kilogramos

W : Peso del concreto fresco en Kg/ m³

V_c : Peso de concreto fresco producido por mezcla en Kg/ m³

V_E : Suma de los volúmenes absolutos de cada componente de la mezcla en m³

Nota: el volumen absoluto es igual al peso de dicho ingrediente dividido entre el producto de su peso específico por la densidad del agua. Para los agregados, el peso específico y el peso deben basarse en la condición de saturado con superficie seca. Para el cemento se puede usar un valor de 3,14 salvo que el mismo se determine por el Método de Ensayo para determinar peso específico en cementos hidráulicos (COVENIN 492-76)

El procedimiento en laboratorio fue el siguiente:

1. Se calibró el recipiente, determinándose con precisión el peso unitario de agua necesario para llenarlo.
2. Luego de tomada la muestra, se colocó la misma en este recipiente normado, cilíndrico, de metal, el cual de acuerdo a la Tabla I: *Requisitos dimensionales para las medidas cilíndricas*, de la norma COVENIN 349-2002 ya citada, tiene capacidad de 14,16 litros
3. El recipiente se llenó con la muestra de concreto, la cual se vació en tres (3) capas, cada una a un tercio del volumen del molde.

Foto III.20 Llenado del recipiente normado



4. Cada capa se compactó proporcionando 25 golpes con la barra compactadora distribuidos uniformemente.

Foto III.21 Compactación de la Mezcla



5. El exceso de concreto se enrasó con la barra compactadora.
6. Se limpió el exceso de material.
7. Se pesó el recipiente lleno.
8. Se procedió a determinar los resultados.

III.6 ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS

El concreto se vació en los moldes cilíndricos cuyas dimensiones normadas son: $152,5 \pm 2,5$ mm de diámetro y $305 \pm 6,0$ mm de altura, metálicos, rígidos y lisos. En el laboratorio se siguió el procedimiento acorde a lo establecido en la Norma COVENIN 338-2002 “*Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto*”:

1. Los moldes fueron limpiados utilizando un cepillo de cerdas de alambre, y untados con una ligera película de aceite mineral.

Foto III.22 Preparación de los Moldes



2. Fueron colocados sobre una mesa rígida y plana ubicada dentro del laboratorio de concreto fresco del IMME, en la cual reposarían desde el vaciado hasta el desencofrado.
3. Se vació la mezcla en tres (3) capas, cada una a un tercio del volumen.
4. Cada capa se compactó proporcionando 25 golpes con la barra compactadora distribuidos uniformemente.

Foto III.23 Compactación de la Mezcla



5. El exceso de concreto se enrasó con la barra compactadora.
6. Se enrasó con una cuchara hasta obtener una superficie lisa y sin imperfecciones.

Foto III.24 y III.25 Mezcla vaciada en los moldes y enrasadas



III.6.1 CURADO

Una vez elaboradas las probetas se protegieron de la pérdida de agua hasta el momento de su desencofrado, guardándolas bajo sombra dentro del Laboratorio de Concreto Fresco del IMME, sobre una mesa rígida y nivelada, libre de vibraciones y a temperatura ambiente hasta el momento de su desencofrado.

Se retiraron de los moldes al cabo de 24 horas de su elaboración, almacenándolas bajo agua saturada de cal, limpia y libre de materiales extraños. Se usó una Tina Australiana, así como piscinas de curado ubicadas en el patio del IMME, el agua de curado fue renovada a los 12 y 20 días.

Foto III.25 y III.26 Desencofrado de las Probetas



Foto III.27 Disposición de las Probetas ya Desencofradas



Lo anteriormente expuesto, se realizó acorde a lo establecido en la norma COVENIN 338:2002 "Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto".

III.7 ENSAYOS FÍSICOS

III.7.1 PESO ESPECÍFICO CONCRETO ENDURECIDO

El método de ensayo se realizó siguiendo un procedimiento similar al establecido para agregados grueso en la norma COVENIN 269:1998 *“Agregado grueso. Determinación de las densidades y absorción”*, por recomendación del Tutor de esta investigación Prof. Nelson Camacho, según el cual se determinaron las diferentes densidades de probetas tomadas aleatoriamente.

Densidad aparente con muestra saturada y con superficie seca (SSS):

$$\rho_s = (d)M_1 / M_1 - M_2 \quad \text{Ec.III.35}$$

Absorción (en porcentaje):

$$A = [(M_2 - M_1) / M_1] \times 100 \quad \text{Ec.III.36}$$

Donde:

(d): Densidad del agua 1 gr/ml

M₁: Masa saturada y con superficie seca.

M₂: Masa en el agua de la muestra saturada.

En el Laboratorio de Mecánica de Suelos el procedimiento fue el siguiente:

1. Se dejó sumergida la probeta aproximadamente 24 horas en agua.
2. Se extrajo la muestra del agua y se secó haciendo utilizando un paño de mediano tamaño, hasta eliminar la película de agua visible
3. Se pesó esta probeta saturada y con superficie seca.

4. Se colocó la probeta saturada y con superficie seca en la cesta y se determinó su masa en el agua.
5. Se determinaron los resultados.

III.7.2 ENSAYO DE PULSO ULTRASÓNICO

Acorde a lo establecido en la norma COVENIN 1681-2005 “*Concreto Endurecido. Determinación de Pulso Ultrasónico*”, se realizó este ensayo para evaluar la calidad del concreto elaborado.

Para determinar la velocidad de propagación del pulso ultrasónico se utilizó la siguiente ecuación:

$$V = L/t \quad \text{Ec.III.37}$$

Donde:

- V: Velocidad del pulso en Km/s
L: Distancia entre los transductores en mm
t: Tiempo de tránsito en μs

El procedimiento en el Laboratorio fue el siguiente:

1. Se calibró el instrumento midiendo el tiempo de tránsito sobre la barra patrón.

Foto III.28 Calibración del Instrumento



2. Se ubicaron de forma precisa los puntos de medición sobre las probetas.
3. Se limpiaron de posibles partículas extrañas.
4. Se aplicó vaselina en la superficie.
5. Se colocaron los transductores y se tomó la menor lectura de tiempo.

Foto III.29 Realización del Ensayo



6. Se calcularon los resultados.

III.7.3 ENSAYO A COMPRESIÓN

Para determinar la resistencia a la compresión de los cilindros elaborados, se realizó el ensayo descrito en la norma COVENIN 338-2002 “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”.

La edad prevista para el ensayo fue a los 7, 14, 21 y 28 días, con una tolerancia de $\pm t/14$, quedando el siguiente cronograma de ensayos:

Tabla III.5 Cronograma de Ensayos

MEZCLA	ELABORACIÓN	HORA	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DÍAS
30%	11/10	1 PM	18/10	25/10	1/11	8/11
30%	11/10	4 PM	18/10	25/10	1/11	8/11
PATRÓN	11/10	1 PM	19/10	27/10	1/11	8/11
50%	12/10	3 PM	19/10	27/10	3/11	9/11
50%	12/10	5 PM	19/10	27/10	3/11	9/11
40%	12/10	3 PM	20/10	27/10	3/11	9/11
40%	12/10	5 PM	20/10	27/10	3/11	9/11

Fuente: Elaboración propia

El procedimiento llevado a cabo fue el siguiente:

1. Se ensayaron 6 cilindros por tipo de mezcla, por cada edad, para obtener así un total de 28 cilindros ensayados
2. Se utilizó la prensa Universal de 200 Toneladas ubicada en el IMME, manipulada y manejada por personal técnico adscrito a esta institución.

Foto III.30 Consola de la Prensa Universal



Foto III.31 Prensa Universal



3. La velocidad de carga aplicada fue de 23 ton/min.
4. Cada cilindro fue pesado y sus dimensiones medidas antes del ensayo. Acorde con la normativa, el diámetro fue medido en su zona superior, central e inferior realizando tres (3) repeticiones y calculando el promedio de las mismas. La altura fue determinada de igual manera.
5. Los cilindros se colocaron en la máquina cuidadosamente, centrados, y nivelados para su compresión. Cabe destacar que en este ensayo se utilizaron gomas para la nivelación y apoyo de los cilindros, esto con la finalidad de garantizar que posibles irregularidades de enrase en las caras de los mismos no alteren los resultados del ensayo.
6. Los resultados fueron registrados en el siguiente modelo de tabla, y así calcular la resistencia nominal de cada cilindro en kg/cm^2 :

Tabla III.6 Registro de Ensayo a Compresión

Edad de Ensayo:			Fecha: Hora:						
N° Cilindro	Diámetros Promedio (cm)		Diámetro Promedio General (cm)	Altura (cm)	Altura Promedio (cm)	Área de Sección Transversal (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kgf)	Tipo de Falla
1	Arriba								
	Medio								
	Abajo								
2	Arriba								
	Medio								
	Abajo								
3	Arriba								
	Medio								
	Abajo								

Fuente: Elaboración propia

La resistencia a compresión de cada cilindro se calcula por la siguiente fórmula:

$$R_c = P/A \quad \text{Ec.III.38}$$

Donde:

R_c: Resistencia a compresión kgf/cm²

P: Carga máxima aplicada, kgf

A: Área de la sección transversal del cilindro, cm²

El resultado del ensayo es el promedio de las resistencias de los cilindros por cada condición de ensayo (norma COVENIN 338-2002).

III.7.4 MÓDULO DE ELASTICIDAD

Este ensayo consiste en someter las probetas cilíndricas a un esfuerzo longitudinal de compresión, y así determinar su modulo de elasticidad según la siguiente expresión:

Modulo de Elasticidad E_1 :

$$E_1 = (S_c - S_d) / (\epsilon_c - 5 \times 10^{-5}) \quad \text{Ec.III.39}$$

Donde:

S_c : Esfuerzo correspondiente a la carga C, expresada en Kgf/cm^2

S_d : Esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria longitudinal de 5×10^{-5} expresada en Kgf/cm^2

ϵ_c : Deformación unitaria longitudinal por el esfuerzo S_c

Acorde a lo establecido en la norma COVENIN 1468-1979 "Método de Ensayo para Determinar el Módulo de Elasticidad (Secante) en Probetas Cilíndricas de Concreto", se procedió de la siguiente manera:

1. Se determinó la sección de la probeta en su zona central, tomando el diámetro en tres repeticiones y tomando como diámetro de cálculo, el promedio de éstos.
2. Se remataron las caras con mortero de Yeso Piedra de Alta Resistencia MAGNUM, preparado según la relación de 24 cc de agua por cada 100 gr de yeso, cuya resistencia a la compresión es de 390 kg/cm^2

Foto III.32 y III.33 Colocación del Yeso sobre la mesa



Foto III.34 Colocación de la probeta sobre el yeso y su nivelación



Foto III.35 Yeso Utilizado y Probeta con Enrase



3. Se tomaron mediciones de las alturas de las probetas luego del remate, y se pesaron.
4. Se les colocaron los puntos de medición de los extensómetros pegados con silicone, los cuales consisten en unos pequeños discos metálicos con un orificio en el centro.

5. Con la resistencia a la compresión determinada a los 28 días, de la cual se tomó el 40% de la carga, se determinó la carga promedio de rotura (C), con aproximación de 1 tonelada.
6. Se colocan las probetas cuidadosamente en la máquina con los instrumentos de medición ya fijos.
7. Se bajó lentamente la placa para hacer contacto con la probeta y asegurarla.
8. Se aseguraron los extensómetros utilizando cuatro (4) ligas, dos (2) ligas independientes para cada extensómetro.
9. Se realizó el ciclo de precarga aplicando dos cargas consecutivas hasta alcanzar el valor de C y descargar lentamente a cero (0).
10. Se realizó el ciclo de medición, aplicando una tercera carga continua.
11. Los resultados fueron registrados en el siguiente modelo de tabla:

III.7 MÓDULO DE ELASTICIDAD

FECHA: / /				
TIPO DE MEZCLA:		EDAD DE ENSAYO:		NºCILINDRO:
CARGA PROMEDIO:		40% CARGA PROMEDIO:		
	CARGA (Kgf)	LECTURA (x10 ⁻³ mm) FLEXÍMETRO 1 FLEXÍMETRO 2		Observaciones:

Fuente: Elaboración propia

12. Se comparó las lecturas de este ciclo de medición en cada extensómetro con las lecturas anteriores para verificar si diferían o no en más de 5% del promedio de las lecturas del ciclo anterior. En el caso la diferencia se excedió, se repitió el ciclo de carga hasta que esta diferencia fue menor al 5%.
13. Con las lecturas se calcularon los resultados.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

IV.1 RESULTADOS

IV.1.1 ANÁLISIS DE LOS AGREGADOS

IV.1.1.1 GRANULOMETRÍA

IV.1.1.1.1 Agregado fino

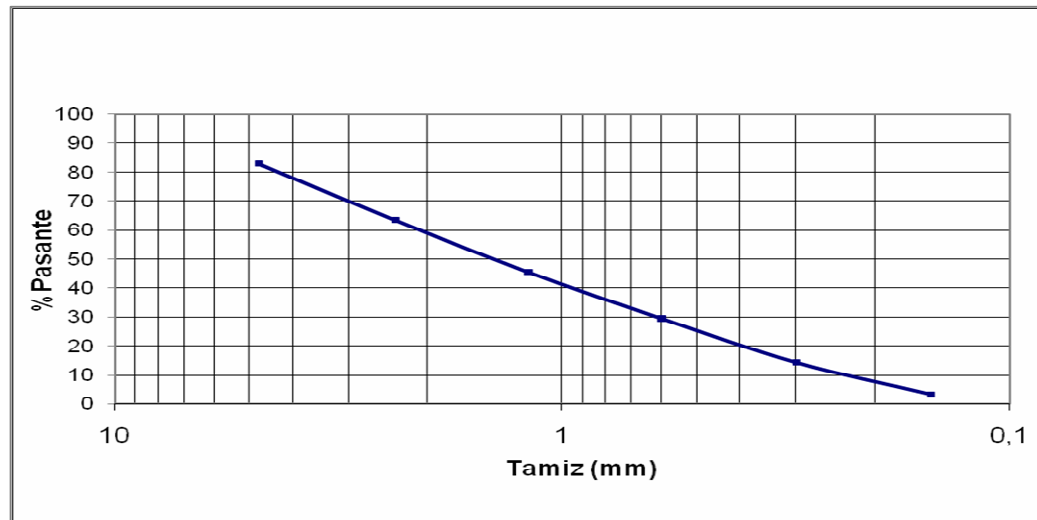
Tabla IV.1 Granulometría del agregado fino

TAMIZ	PESO RETENIDO gr	%RETENIDO	%PASANTE
#4	4,76	86	17,2
#8	2,36	97	19,4
#16	1,19	90	18
#30	0,6	80	16
#50	0,3	76	15,2
#100	0,15	55	11
FONDO	16	3,2	3,2
	500	100	0

Fuente: Elaboración Propia

La granulometría del agregado fino demuestra que el mismo no cumple a cabalidad con los límites granulométricos de porcentaje pasante en cada tamiz, establecidos en la Norma COVENIN 277-2000 “Concreto. Agregados Requisitos”, puesto que para el Tamiz #4, el porcentaje que pasa es ligeramente menor al límite inferior establecido. Sin embargo, esto se verá compensado en la combinación granulométrica realizada en el diseño de mezcla.

Gráfico IV.1 Curva granulométrica del Agregado Fino



Fuente: Elaboración Propia

IV.1.1.1.2 Agregado grueso

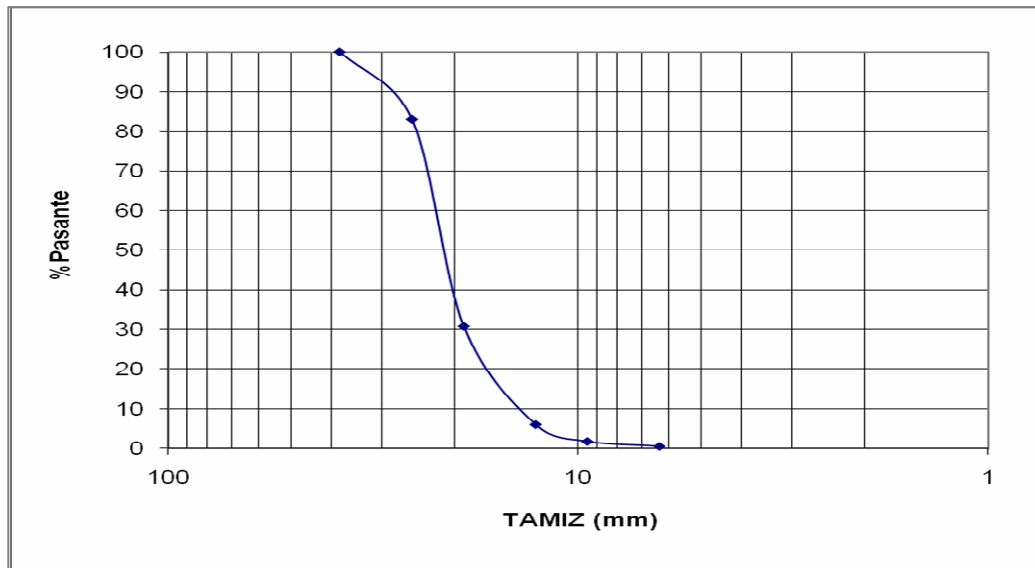
Tabla IV.2: Granulometría del Agregado Grueso

TAMIZ		PESO RETENIDO gr	%RETENIDO	%PASANTE
1½"	38,1	0	0	100
1"	25,4	3400	17	83
¾"	19	10450	52,25	30,75
½"	12,7	4950	24,75	6
3/8"	9,51	850	4,25	1,75
¼"	6,35	250	1,25	0,5
FONDO		100	0,5	-
		20000	100	

Fuente: Elaboración Propia

Al igual que el agregado fino, la granulometría del agregado grueso demuestra que tampoco se cumple a cabalidad con los límites granulométricos de porcentaje pasante en cada tamiz, establecidos en la Norma COVENIN 277-2000 “Concreto. Agregados Requisitos”, puesto que para el Tamiz 1” el porcentaje que pasa está ligeramente por debajo del límite inferior, al igual que para el Tamiz $\frac{3}{4}$ ”, cuyo porcentaje que pasa está muy por debajo del límite inferior aceptado.

Gráfico IV.2 Curva granulométrica del Agregado Grueso



Fuente: Elaboración Propia

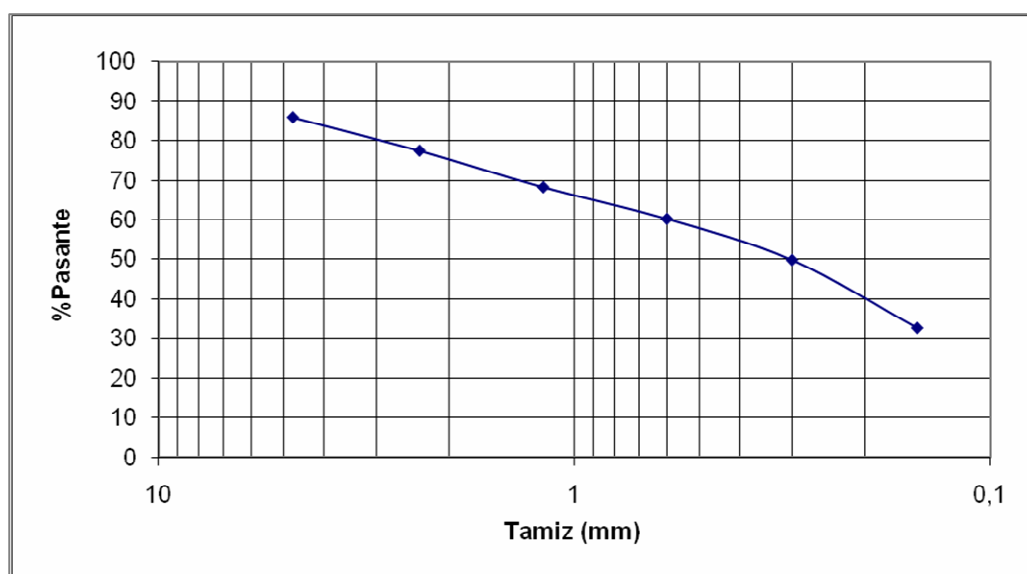
IV.1.1.1.3 Agregado Mineral

Tabla IV.3 Granulometría del Agregado Mineral

	TAMIZ	PESO RETENIDO	%RETENIDO	%PASANTE
#4	4,76	71	14,2	85,8
#8	2,36	42	8,4	77,4
#16	1,19	46	9,2	68,2
#30	0,6	40	8	60,2
#50	0,3	52	10,4	49,8
#100	0,15	85,5	17,1	32,7
	FONDO	163,5	32,7	-
		500	100	

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.3 Curva granulométrica del Agregado Mineral



Fuente: Elaboración Propia

Respecto al agregado mineral, no se consideró su comparación con los límites establecidos en la norma COVENIN 277-2000, puesto que dicha norma es enfática en afirmar que los agregados finos están constituidos por arena de río, de mina ó proveniente de piedras trituradas; de otra fuente o de arena de mar que cumpla con la normativa venezolana.

Combinación granulométrica utilizada:

Tabla IV.4 Combinación granulométrica. Relación Beta

		%PASANTE		PROPORCIONES					
				FINO	GRUESO				
TAMIZ		FINO	GRUESO	49,5	50,5	100,00	LIMITES		
1½"	38,1	100,0	100,0	49,5	50,5	100,00	100	90	OK
1"	25,4	100,0	83,0	49,5	41,9	91,42	70	84	MAL
¾"	19	100,0	30,8	49,5	15,5	65,03	77	61	OK
½"	12,7	100,0	6,0	49,5	3,0	52,53	70	49	OK
3/8"	9,51	100,0	1,8	49,5	0,9	50,38	65	43	OK
¼"	6,35	100,0	0,5	49,5	0,3	49,75	60	35	OK
#4	4,76	82,8	0,5	41,0	0,3	41,24	55	30	OK
#8	2,36	63,4	0,0	31,4	0,0	31,38	45	20	OK
#16	1,19	45,4	0,0	22,5	0,0	22,47	35	15	OK
#30	0,6	29,4	0,0	14,6	0,0	14,55	25	10	OK
#50	0,3	14,2	0,0	7,0	0,0	7,03	16	7	OK
#100	0,15	3,2	0,0	1,6	0,0	1,58	8	2	MAL

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla se aprecia la relación Beta más idónea en función a los agregados utilizados. Si se experimentaba con valores de β muy inferiores o superiores al seleccionado ($\beta=0,495$), no se lograba mayor cantidad de porcentajes pasantes que cumplieran con los límites granulométricos para combinación de agregados. De igual manera, no se encontró valor alguno que satisficiera en su totalidad con los límites establecidos, en todos los tamices.

IV.1.1.2 CONTENIDO DE HUMEDAD:

Tabla IV.5 Contenido de Humedad del Agregado Fino

CONTENIDO DE HUMEDAD fino	
$W_o(\text{gr})$	1440
$W_s(\text{gr})$	1366
ω	5,42

Fuente: Elaboración Propia

IV.1.1.3 PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

IV.1.1.3.1 Agregado fino

Tabla IV.6 Peso específico y Absorción del Agregado Fino

M_1 (gr)	500,00
M (gr)	590,00
M_a (gr)	1290,00
M_p (gr)	1606
Densidad aparente con muestra saturada y con superficie seca (ρ_s)	2,61
Absorción $A_b\%$	2,34

Fuente: Elaboración Propia

V.1.1.3.2 Agregado grueso

Tabla IV.7 Peso específico y Absorción del Agregado Grueso

M_1 (gr)	6984
M_2 (gr)	7000
M_3 (gr)	4234
Densidad aparente con muestra saturada y con superficie seca (ρ_s)	2,53
Absorción $A_b\%$	1,54

Fuente: Elaboración Propia

IV.1.1.4 ENSAYO DE DESGASTE “LOS ANGELES”

$P_i = 5000$ gr

$P_f = 3650$ gr

$$\% \text{Desgaste} = [(5000 - 3650)/5000] \times 100$$

$$\% \text{Desgaste} = 27\%$$

IV.1.2 DISEÑO DE MEZCLA

Tabla IV.8 Corrección por Humedad del Agregado Fino

A_{sss}	843,85
A_b :	2,34
W	5,42
A_w	839,21

Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV.9 Corrección por Humedad del Agregado Grueso

G_{sss}	860,90
A_b :	1,54
W	0
G_w	858,93

Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV.10 Diseño de Mezcla para Concreto Normal de 250 kgf/cm²

RESISTENCIA FIJADA	F_c	250
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	σ	32
RESISTENCIA REQUERIDA	F_{cr}	292,88
RELACIÓN AGUA/CEMENTO	α	0,44
CORRECCIÓN DE ALFA $k_r X k_a$	0,8827	0,39
ASENTAMIENTO	T	7,5
DOSIS DE CEMENTO kg	C	553,30
CORRECCIÓN DE CEMENTO $C_1 X C_2$	0,90	499,14
VOLUMEN DE CEMENTO L_t	V_c	149,74
TAMAÑO MÁXIMO	P	38,10
AIRE ATRAPADO	Vol Aire	13,10
AGUA DE DISEÑO	Agua	193,86
DENSIDAD COMBINACIÓN DE AGREGADOS	$\gamma(A+G)$	2,65
DOSIS DE AGREGADOS kg	A+G	1704,75
RELACIÓN BETA	β	0,495
DOSIS DE ARENA	A	843,85
DOSIS DE PIEDRA	G	860,90
AGUA DE MEZCLADO	ad	200,47

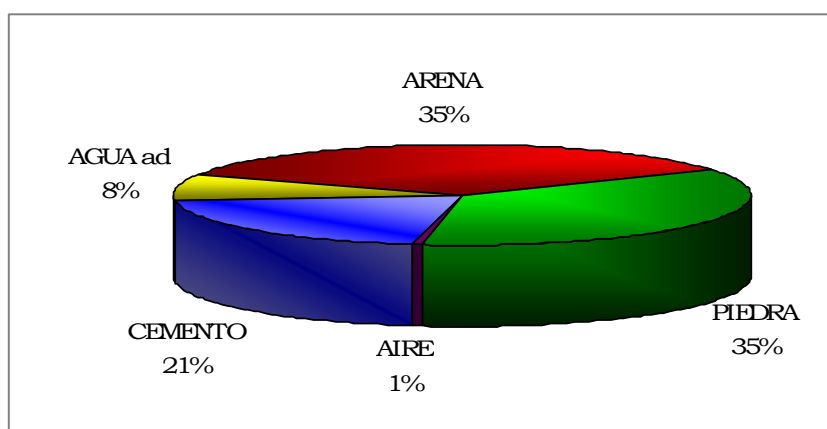
Los valores correspondientes a la dosificación de material a utilizar en las mezclas de concreto normal y mezclas con diferentes porcentaje de sustitución de mineral, se muestran en las Tablas IV.11 y IV.12 respectivamente. Asimismo los Gráficos IV.4, IV.5, IV.6, exponen la cantidad de cada componente en las distintas mezclas, expresadas en una relación porcentual.

Tabla IV.11 Cantidad de Mineral para 100 Litros de Mezcla (Capacidad del Trompo)

DOSIFICACIÓN CONCRETO NORMAL			PORCENTAJE A SUSTITUIR DE ARENA					
COMPONENTE	MASA (Kg)	VOLUMEN (Lt)	30%		40%		50%	
			V(lt)	kg	V(lt)	kg	V(lt)	kg
CEMENTO	499,14	149,74						
AGUA ad	200,47	200,47						
ARENA	843,85	318,43	95,53	487,20	127,37	649,60	159,22	812,01
PIEDRA	860,90	324,87	Cantidad de Mineral x m³ de mezcla					
AIRE	13,10	-						
Kg/m³	2417,447043							
Cantidad de Mineral para 200 litros			97,44		129,92		162,40	
Cantidad de Mineral para 100 litros			48,72		64,96		81,20	

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.4 Dosificación de Componentes de la Mezcla Normal



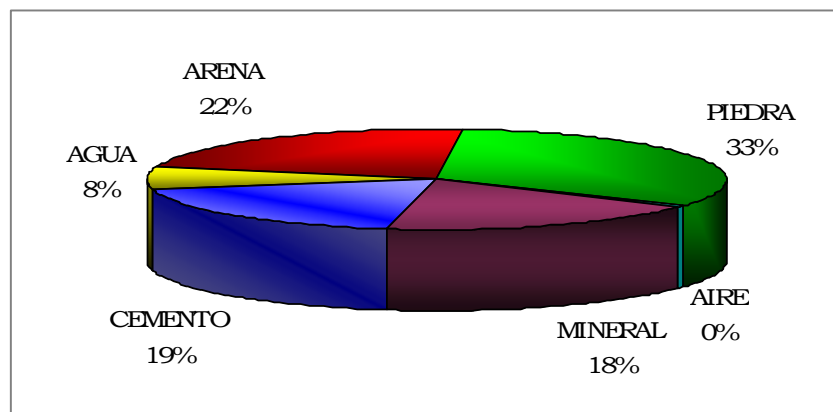
Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV.12 Dosificación para mezclas para diferentes porcentajes de sustitución por metro cúbico de mezcla. Para $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

DOSIFICACIÓN 30%		DOSIFICACIÓN 40%		DOSIFICACIÓN 50%	
CEMENTO	499,1	CEMENTO	499,1	CEMENTO	499,1
AGUA	200,5	AGUA	200,5	AGUA	200,5
ARENA	590,7	ARENA	506,3	ARENA	421,9
PIEDRA	860,9	PIEDRA	860,9	PIEDRA	860,9
AIRE	13,1	AIRE	13,1	AIRE	13,1
MINERAL	487,2	MINERAL	649,6	MINERAL	812,0
Kg/m ³	2651,5	Kg/m ³	2729,5	Kg/m ³	2807,5

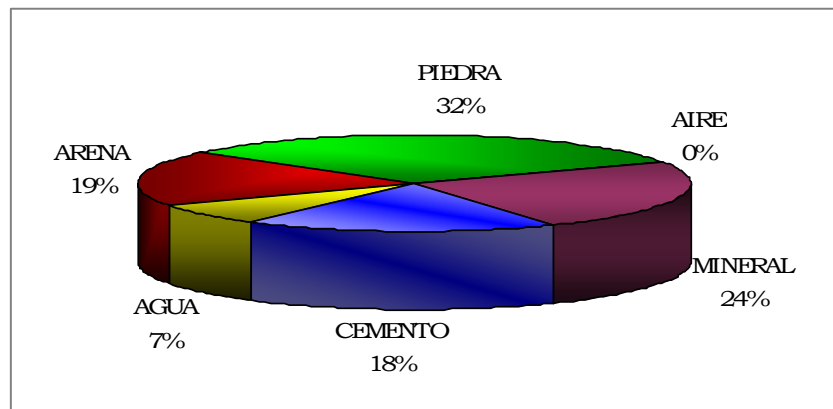
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.5 Dosificación de Componentes de la Mezcla con Sustitución al 30% de fino por Mineral



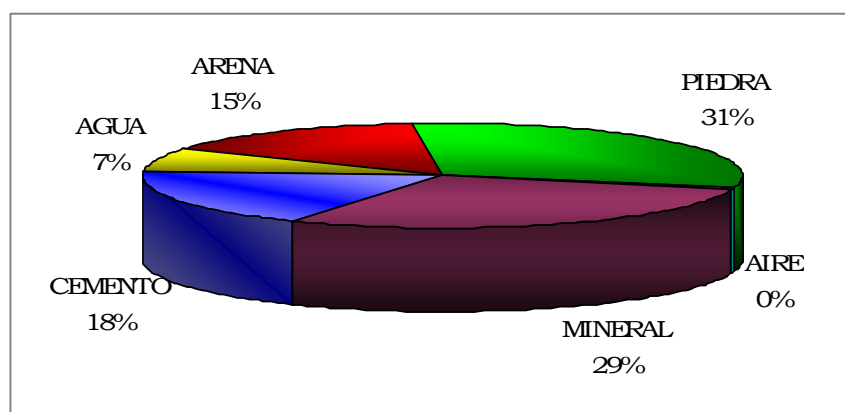
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico IV.6 Dosificación de Componentes de la Mezcla con Sustitución
al 40% de fino por Mineral**



Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico IV.7 Dosificación de Componentes de la Mezcla con Sustitución
al 50% de fino por Mineral**



Fuente: Elaboración Propia

IV.1.3 ENSAYOS PARA CONCRETO FRESCO

IV.1.3.1 ENSAYO DE ASENTAMIENTO

En principio, se definió la reología del concreto, agrupando así características de la mezcla fresca que posibilitan su manejo y compactación. (Porrero, et al, 1987). Entre las que se precisaron fluidez, compactabilidad y estabilidad a la segregación. Un índice representativo del conjunto de estas propiedades es el asentamiento medido por el Cono de Abrams, aplicando la Norma COVENIN 339:2003 “Concreto. Método Para la Medición del Asentamiento con el Cono de Abrams”, los resultados de este procedimiento para cada mezcla se exponen en la Tabla IV.13.

Tabla IV.13 Valores de Asentamiento para las mezclas en estudio

Tipo de Mezcla	Asentamiento Medido (T) (cm)		Promedio	Precisión
	Medición 1	Medición 2		
Patrón	9.00	10.50	9.75	1.5
Con sustitución 30%	8.50	8.00	8.25	0.5
Con sustitución 40%	7.60	8.50	8.05	0.9
Con sustitución 50%	10.50	9.50	10.00	1.00

Fuente: Elaboración Propia

Los valores obtenidos de asentamiento son útiles como una indicación de la consistencia y en ciertos casos de la trabajabilidad, según Mc Millan y Tuthill (1990) aunque esta no es una prueba absoluta porque no distingue entre mezclas de características distintas, cuando los materiales se miden con precisión una variación de asentamiento puede ser causada por alteración en el contenido de agua o de aire.

Por tratarse de un ensayo con pocas repeticiones, la precisión se determinó directamente con el rango, obteniendo los valores reflejados en la Tabla IV.13.

Porrero (2004), señala que en concretos normales, la masa del Cono, ya desmoldada, suele quedar de forma mas o menos abombada según su asentamiento, simétrica y con la superficie superior casi plana, en la Foto IV.1, se evidencia la masa de concreto normal en el ensayo de asentamiento.

Foto IV.1 Medición del Asentamiento para Concreto Patrón con el Cono de Abrams



La consistencia de las mezclas en las que se sustituyó mineral, de acuerdo con la clasificación establecida por Geymayr (1985), a partir de los valores de asentamiento medidos, se muestran en la Tabla IV.14.

Tabla IV.14 Consistencia del concreto fresco de acuerdo al asentamiento medido.

Tipo de Mezcla	Asentamiento (T) (pulg)	Consistencia
Patrón	3,84	Plástico
Con sustitución 30%	3,25	Plástico
Con sustitución 40%	3,17	Plástico
Con sustitución 50%	3,94	Plástico

Fuente: Elaboración Propia

El asentamiento de estos concretos al momento de realizar las mezclas se observa en las Fotos IV.2-a, IV.2-b, IV.2-c.

Fotos IV.2 Asentamiento en Mezclas con Agregado Mineral



IV.2-a.- Asentamiento de mezcla con sustitución de 30%



IV.2-b.- Asentamiento de mezcla con sustitución de 40%



IV.2-c.- Asentamiento de mezcla con sustitución de 50%

Para el caso de la mezcla con 50% de sustitución de agregado fino por mineral de hierro, al realizar el ensayo de Cono de Abrams se obtuvo asentamiento nulo (ver Foto IV.3), razón por la cual se adicionaron 3 litros de agua a la mezcla.

Foto IV.3 Asentamiento nulo, mezcla con 50% de sustitución de mineral



De acuerdo con lo afirmado por Mc. Millan y Tuthill (1990), el agua de mezclado (relación agua/cemento) es un factor determinante en la resistencia del concreto. A más baja relación agua/cemento (valor de α), es mayor la resistencia. Por lo que al agregar mas agua a la mezcla, se deben esperar cambios en la resistencia del material.

Con la nueva dosificación de agua la relación agua/cemento real será:

$$\alpha_{real} = \frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}} = \frac{23\text{lt}}{49,9\text{kg}}$$

$$\alpha_{real} = 0,46$$

IV.1.3.2 ENSAYOS DE PESO UNITARIO

El peso unitario se evaluó al momento de terminar de mezclar y previo a la manipulación del concreto para los respectivos ensayos, esto con el fin de comparar los valores con los obtenidos en el diseño de mezcla.

Los valores obtenidos de peso unitario para cada mezcla, se encuentran en la Tabla IV.15, los mismos fueron determinados para posteriormente ser comparados y establecer las semejanzas y/o diferencias encontradas en cada caso de sustitución con respecto a la mezcla patrón. El procedimiento para determinar peso unitario estuvo enmarcado dentro de los procedimientos establecidos en la Norma COVENIN 349-79 “Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico, rendimiento y contenido de aire en el concreto”.

Volumen del Recipiente= 14.16 lts

Peso del Recipiente= 9 kg

Tabla IV.15 Peso Unitario del Concreto Fresco para Distintos Tratamientos

	Tratamiento				Unidades
	Patrón	30% Mineral	40 Mineral	50% Mineral	
<i>P_{mezcla+recip}</i>	42.6	44.7	45.5	46.6	kg
<i>P_{mezcla}</i>	33.6	35.7	36.5	37.6	kg
<i>Peso Unitario</i>	2372.88	2521.19	2577.68	2655.37	kg/m ³
<i>Rendim Relativo</i>	0.98	0.95	0.94	0.95	

Fuente: Elaboración Propia

IV.1.4. ENSAYOS PARA EL CONCRETO ENDURECIDO

IV.1.4.1 DENSIDAD APARENTE (PESO ESPECÍFICO)

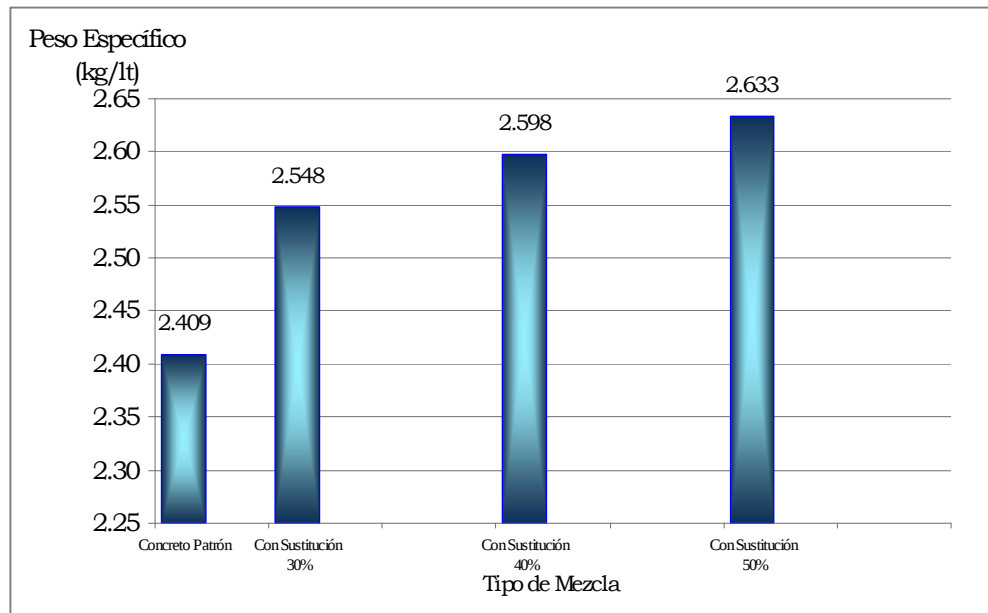
Los procedimientos establecidos en la Norma COVENIN 269:1998 “Agregado Grueso. Determinación de la densidad y la absorción” fueron aplicados para determinar la densidad de las probetas de concreto endurecido, obteniendo los valores que se muestran en Tabla IV.16. A partir de los valores de densidad aparente de cada muestra se determinó un promedio por mezcla, dicho promedio se representó en el Gráfico IV.8, para comparar el comportamiento de esta característica entre mezclas.

Tabla IV.16 Densidad del Concreto Endurecido para probetas de concreto normal y con sustitución de mineral de hierro.

Tipo de Mezcla	Nro. de probeta	$P_{al\ aire}$ (kg)	$P_{sumergido}$ (kg)	γ (kg/lt)	$\gamma_{promedio}$ (kg/lt)	σ	v	Variación Respecto al patrón (%)
Concreto Patrón	Pu-1	12.742	7.449	2.407	2.409	0.002	0.099	0.00
	Pu-2	12.808	7.495	2.411				
Sustitución 30%	Pu-1	13.551	8.229	2.546	2.548	0.009	0.337	5.76
	Pu-2	13.462	8.203	2.560				
	Pu-3	13.523	8.211	2.546				
	Pu-4	13.436	8.145	2.539				
Sustitución 40%	Pu-1	13.895	8.575	2.612	2.598	0.014	0.554	7.83
	Pu-2	13.834	8.522	2.604				
	Pu-3	13.823	8.498	2.596				
	Pu-4	13.624	8.340	2.578				
Sustitución 50%	Pu-1	13.916	8.639	2.637	2.633	0.004	0.171	9.29
	Pu-2	13.973	8.656	2.628				
	Pu-3	13.962	8.666	2.636				
	Pu-4	13.993	8.673	2.630				

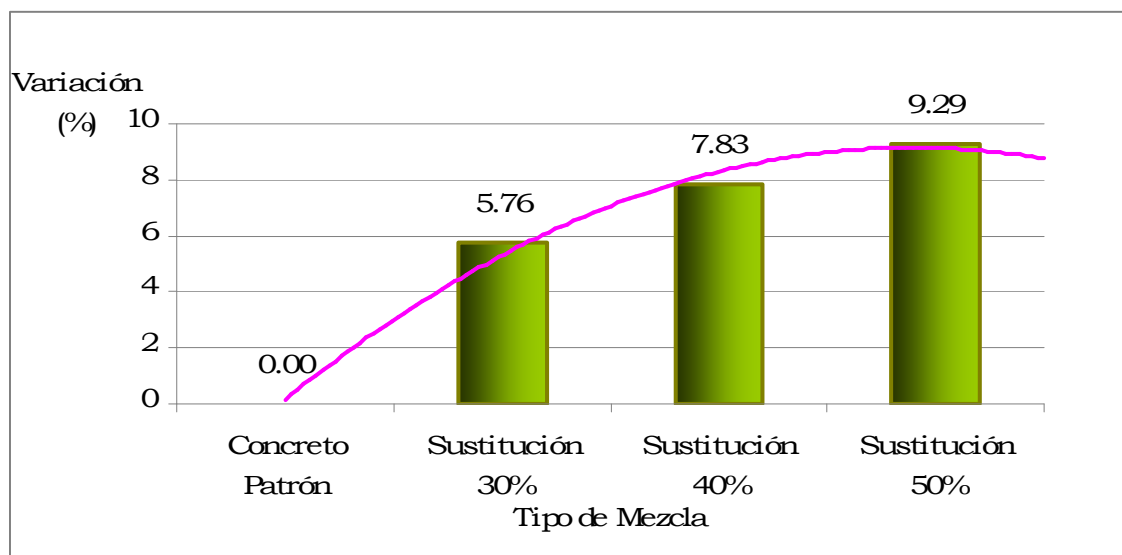
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.8 Valores Promedio de Densidad (kg/lt)



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.9 Variación Porcentual de Densidad entre Mezcla de Concreto Convencional y Mezclas con Agregado Mineral



Fuente: Elaboración Propia

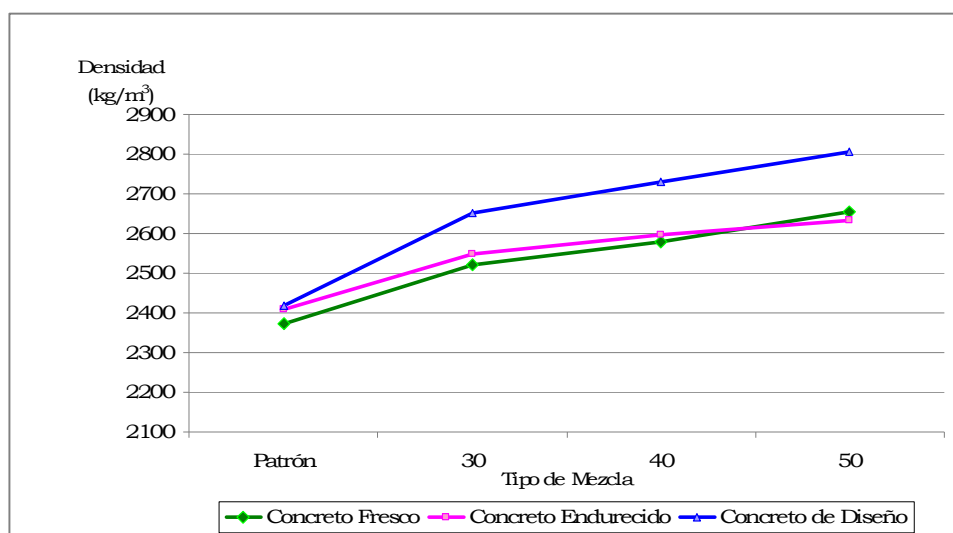
Para contrastar la variación porcentual del comportamiento de las mezclas en lo referente a su densidad para distintos estados de los materiales, la Tabla IV.17 muestra los valores promedios obtenidos en los ensayos aplicados a las muestras de concreto fresco y endurecido, así como los establecidos teóricamente en el diseño de mezclas. A su vez en el Gráfico IV.9 se evidencia la tendencia del comportamiento de las densidades para cada tipo de mezcla.

**Tabla IV.17 Comparaciones de Densidad entre los Concretos.
Según su Estado**

Mezcla	Densidades Del Concreto (kg/m ³)			Variación Respecto al Diseño (%)	
	Fresco	Endurecido	De Diseño	Fresco	Endurecido
Patrón	2372.88	2409.01	2417.46	1.84	0.35
30	2521.19	2547.79	2651.50	4.91	3.91
40	2577.68	2597.59	2729.50	5.56	4.83
50	2655.37	2632.92	2807.50	5.42	6.22

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.10 Relación de Densidades entre Mezclas



Fuente: Elaboración Propia

IV.1.4.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

IV.1.4.2.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS

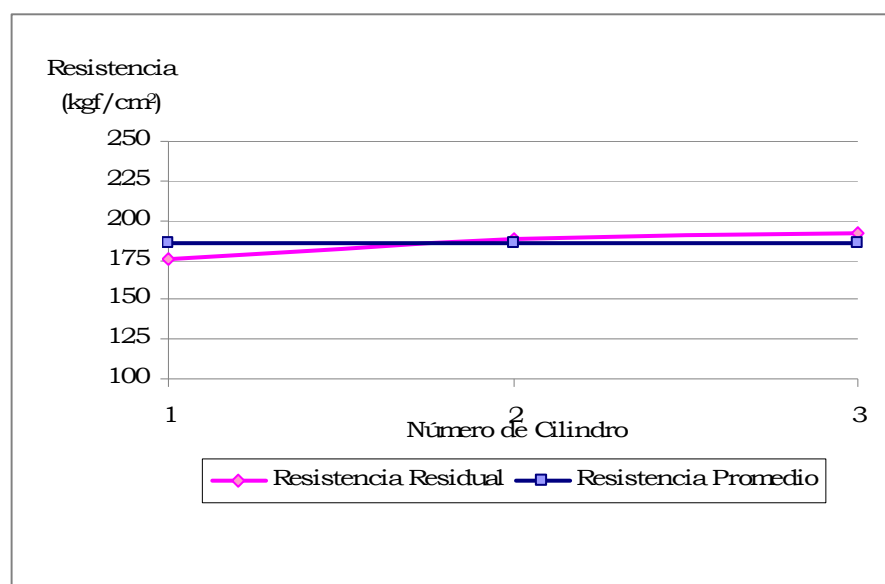
Los valores obtenidos en los ensayos de resistencia, así como su verificación estadística y otras características de los cilindros para cada una de las mezclas elaboradas, se presentan en las Tablas IV.18, IV.19, IV.20, IV.21. Esta prueba permitió establecer desde el principio la potencialidad de las mezclas, a la vez que se vigilaba el comportamiento del material. El ensayo se realizó considerando los procedimientos establecidos en la Norma COVENIN 338:2002 *“Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”*. Así mismo junto con las tablas de resultados del experimento se presentan los Gráficos IV.11, IV.12, IV.13 y IV.14, que de manera explícita muestran la resistencia real de cada probeta ensayada y el valor promedio de resistencia de las mismas.

Tabla IV.18 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto Normal con $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Ensayo a los 7 Días								
N° Cilindro	Diámetros (cm)		Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Área de Sección Transversal (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kgf)	Rc (Kgf/cm²)
1	Arriba	14.88	14.90	30.09	174.44	12.604	30600	175.41
	Medio	14.92						
	Abajo	14.91						
2	Arriba	14.97	15.06	30.04	178.21	12.711	33600	188.54
	Medio	15.12						
	Abajo	15.10						
3	Arriba	14.91	14.94	30.05	175.23	12.739	33600	191.75
	Medio	14.95						
	Abajo	14.95						
					$\bar{x}=$	12.68	32600.00	185.23
					$\sigma=$	0.06	1414.21	7.07
					$\sigma=$	0.46	4.34	3.82

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.11 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto Normal $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. Ensayo a 7 Días



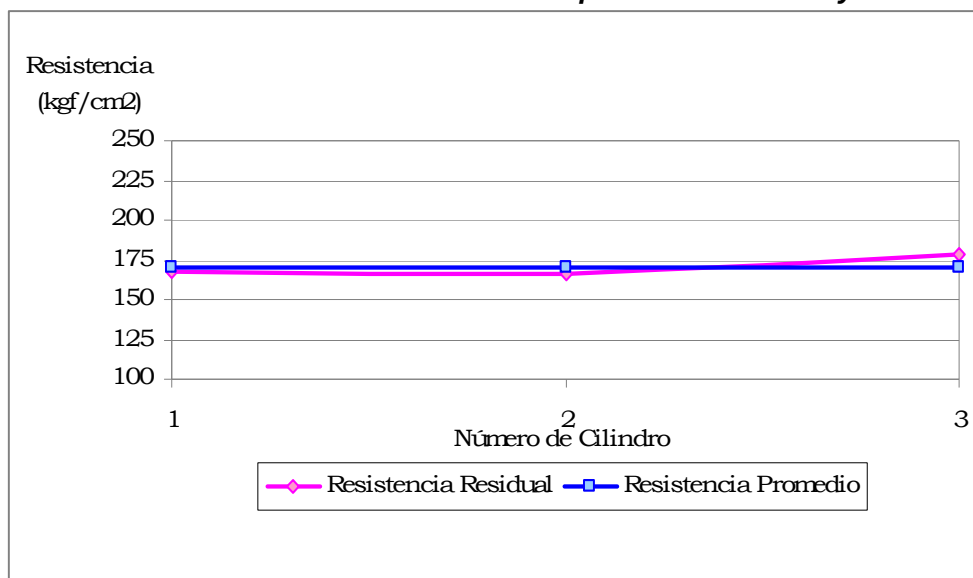
Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV.19 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita

Ensayo a los 7 Días								
N° Cilindro	Diámetros Promedio (cm)		Diámetro Promedio General (cm)	Altura (cm)	Área de Sección Transversal (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kgf)	Rc (Kgf/cm²)
1	Arriba	14.99	15.02	30.13	177.26	13.609	29600	166.98
	Medio	15.10						
	Abajo	14.98						
2	Arriba	14.89	14.93	30.08	174.99	13.489	29200	166.87
	Medio	14.94						
	Abajo	14.95						
3	Arriba	14.92	14.94	30.21	175.30	13.496	31200	177.98
	Medio	14.96						
	Abajo	14.94						
					$\chi=$	13.53	30000.00	170.61
					$\sigma=$	0.07	1058.30	6.38
					$v=$	0.50	3.53	3.74

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.12 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita. Ensayo a 7 Días



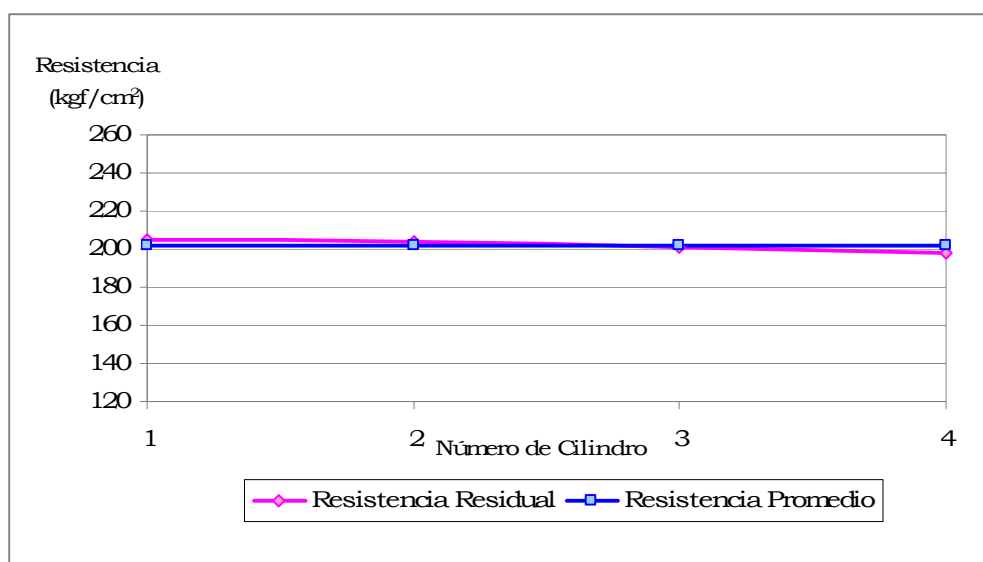
Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV.20 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto con Sustitución de 40% de Fino por Hematita

Ensayo a los 7 Días								
N° Cilindro	Diámetros Promedio (cm)		Diámetro Promedio General (cm)	Altura (cm)	Área de Sección Transversal (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kgf)	Rc (Kgf/cm²)
1	Arriba	14.98	14.96	29.99	175.77	13.794	36000	204.81
	Medio	14.94						
	Abajo	14.96						
2	Arriba	14.99	14.98	30.11	176.24	13.751	36000	204.26
	Medio	15.00						
	Abajo	14.95						
3	Arriba	14.82	14.92	30.06	174.76	13.677	35200	201.42
	Medio	15.00						
	Abajo	14.93						
4	Arriba	15.14	15.06	30.16	178.05	13.824	35200	197.69
	Medio	15.05						
	Abajo	14.98						
					$\chi =$	13.76	35600.00	202.05
					$\sigma =$	0.06	461.88	3.26
					$v =$	0.46	1.30	1.61

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.13 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 40% de Fino por Hematita. Ensayo a 7 Días



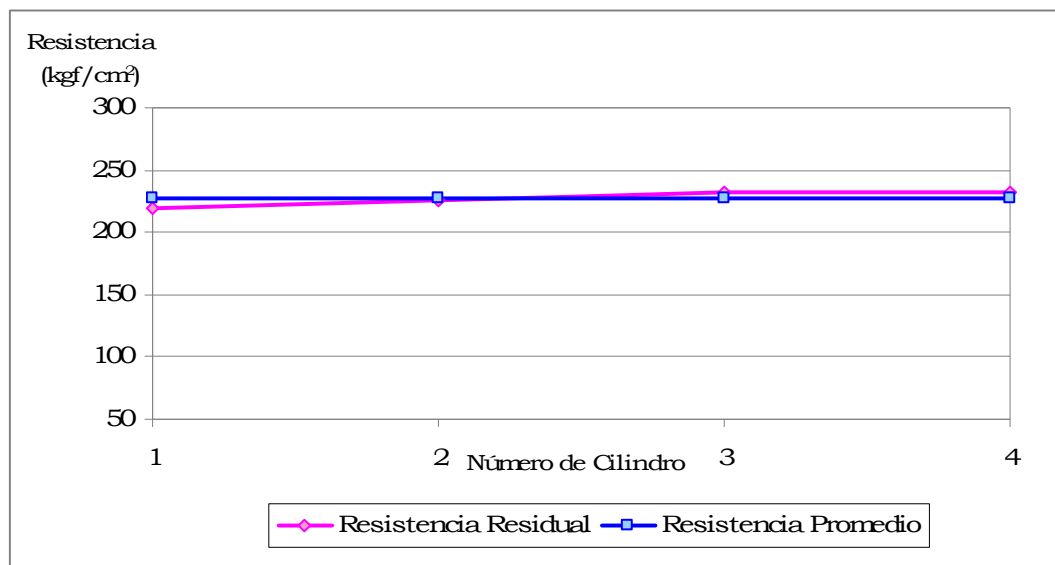
Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV.21 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita

Ensayo a los 7 Días								
N° Cilindro	Diámetros Promedio (cm)		Diámetro Promedio General (cm)	Altura (cm)	Área de Sección Transversal (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kgf)	Rc (Kgf/cm²)
1	Arriba	14.89	14.89	30.08	174.05	13.894	38200	219.47
	Medio	14.88						
	Abajo	14.89						
2	Arriba	14.99	14.99	29.93	176.48	13.809	39800	225.52
	Medio	14.99						
	Abajo	14.99						
3	Arriba	14.84	14.84	30.23	172.96	13.919	40200	232.42
	Medio	14.81						
	Abajo	14.87						
4	Arriba	14.98	14.99	30.12	176.40	14.017	41000	232.43
	Medio	14.99						
	Abajo	14.99						
					$\chi =$	13.91	39800.00	227.46
					$\sigma =$	0.09	1177.57	6.24
					$v =$	0.62	2.96	2.74

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.14 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita. Ensayo a 7 Días



Fuente: Elaboración Propia

IV.1.4.2.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS

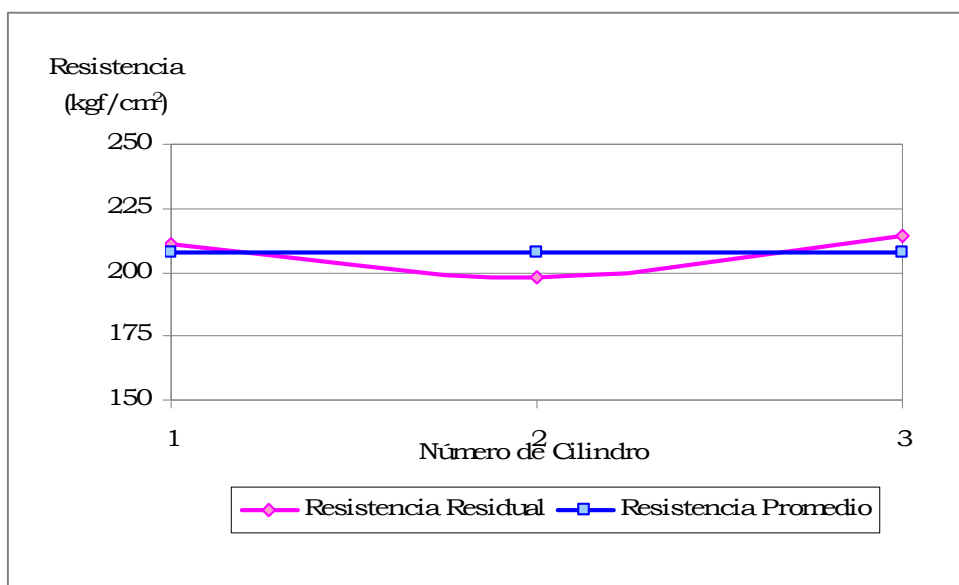
La información estadística y otras características de los cilindros en el ensayo de resistencia a la compresión simple realizado a los 14 días para cada una de las mezclas elaboradas, se exponen en las Tablas IV.22, IV.23, IV.24, IV.25. El ensayo se realizó considerando los procedimientos establecidos en la Norma COVENIN 338:2002 *“Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”*. Del mismo modo, con las tablas de resultados del experimento se presentan los Gráficos IV.15, IV.16, IV.17 y IV.18, que de manera explícita muestran la resistencia real de cada probeta ensayada y el valor promedio de resistencia de las mismas.

Tabla IV.22 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto Normal con $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Ensayo a los 14 Días								
N° Cilindro	Diámetros Promedio (cm)		Diámetro Promedio General (cm)	Altura (cm)	Área de Sección Transversal (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kgf)	Rc (Kgf/cm²)
1	Arriba	14.80	14.87	30.03	173.66	12.652	36600	210.75
	Medio	14.81						
	Abajo	15.00						
2	Arriba	14.99	14.97	29.98	175.93	12.839	34800	197.81
	Medio	14.94						
	Abajo	14.97						
3	Arriba	15.16	15.19	30.03	181.14	12.791	38800	214.20
	Medio	15.15						
	Abajo	15.25						
					$\chi =$	12.76	36733.33	207.59
					$\sigma =$	0.08	1635.71	7.06
					$v =$	0.62	4.45	3.40

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.15 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto Normal $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. Ensayo a 14 Días



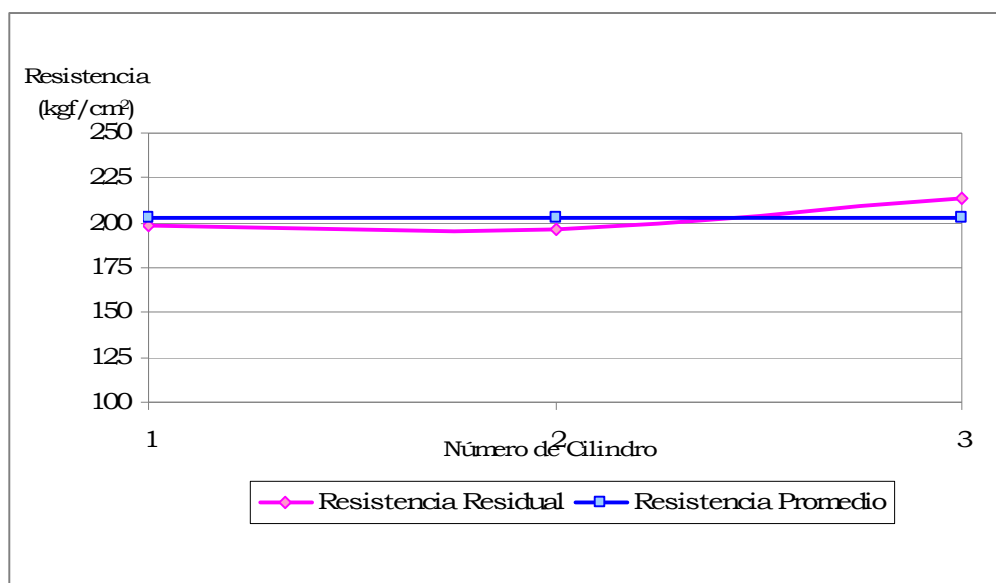
Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV.23 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita

Ensayo a los 14 Días								
N° Cilindro	Diámetros Promedio (cm)		Diámetro Promedio General (cm)	Altura (cm)	Área de Sección Transversal (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kgf)	Rc (Kgf/cm²)
1	Arriba	14.90	15.00	30.13	176.64	13.548	35000	198.15
	Medio	15.00						
	Abajo	15.09						
2	Arriba	14.96	15.01	30.10	177.03	13.561	34800	196.58
	Medio	15.00						
	Abajo	15.08						
3	Arriba	14.96	15.04	29.95	177.58	13.494	38000	213.99
	Medio	15.05						
	Abajo	15.10						
					$\chi=$	13.53	35933.33	202.91
					$\sigma=$	0.03	1463.63	7.86
					$\nu=$	0.21	4.07	3.88

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.16 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita. Ensayo a 14 Días



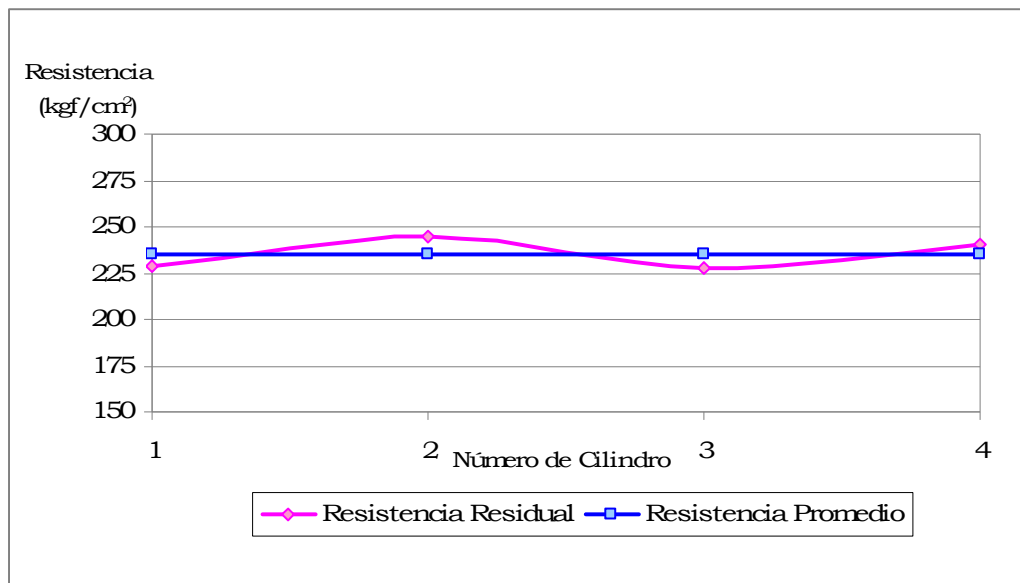
Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV.24 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto con Sustitución de 40% de Fino por Hematita

Ensayo a los 14 Días								
N° Cilindro	Diámetros Promedio (cm)		Diámetro Promedio General (cm)	Altura (cm)	Área de Sección Transversal (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kgf)	Rc (Kgf/cm²)
1	Arriba	14.90	15.00	30.11	176.64	13.914	40400	228.72
	Medio	15.04						
	Abajo	15.05						
2	Arriba	14.08	14.66	30.22	168.72	13.909	41200	244.20
	Medio	14.99						
	Abajo	14.90						
3	Arriba	15.09	15.11	30.09	179.32	13.832	40800	227.53
	Medio	15.16						
	Abajo	15.08						
4	Arriba	14.98	14.99	30.07	176.48	13.662	42400	240.26
	Medio	14.96						
	Abajo	15.03						
					$\chi =$	13.83	41200.00	235.18
					$\sigma =$	0.12	864.10	8.32
					$v =$	0.85	2.10	3.54

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.17 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 40% de Fino por Hematita. Ensayo a 14 Días



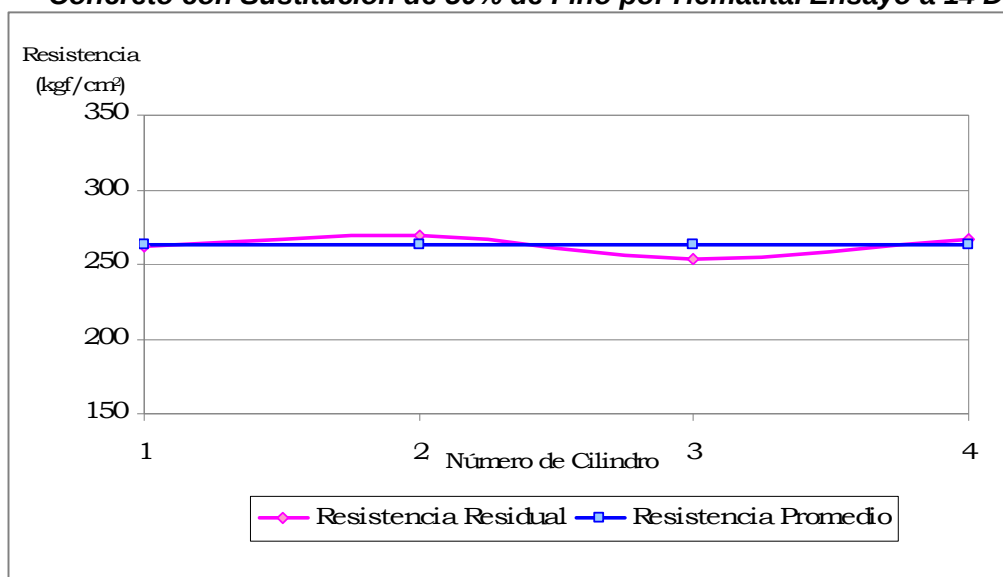
Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV.25 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita

Ensayo a los 14 Días								
N° Cilindro	Diámetros Promedio (cm)		Diámetro Promedio General (cm)	Altura (cm)	Área de Sección Transversal (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kgf)	Rc (Kgf/cm²)
1	Arriba	14.90	14.88		173.98	13.838	45600	262.10
	Medio	14.87						
	Abajo	14.88						
2	Arriba	15.10	14.96		175.85	14.052	47400	269.55
	Medio	14.88						
	Abajo	14.91						
3	Arriba	14.90	14.92		174.76	13.949	44400	254.07
	Medio	14.92						
	Abajo	14.93						
4	Arriba	14.95	14.93		175.07	13.943	46800	267.32
	Medio	14.94						
	Abajo	14.90						
					$\gamma =$	13.95	46050.00	263.26
					$\sigma =$	0.09	1330.41	6.88
					$\nu =$	0.63	2.89	2.61

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.18 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita. Ensayo a 14 Días



Fuente: Elaboración Propia

IV.1.4.2.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 21 DÍAS

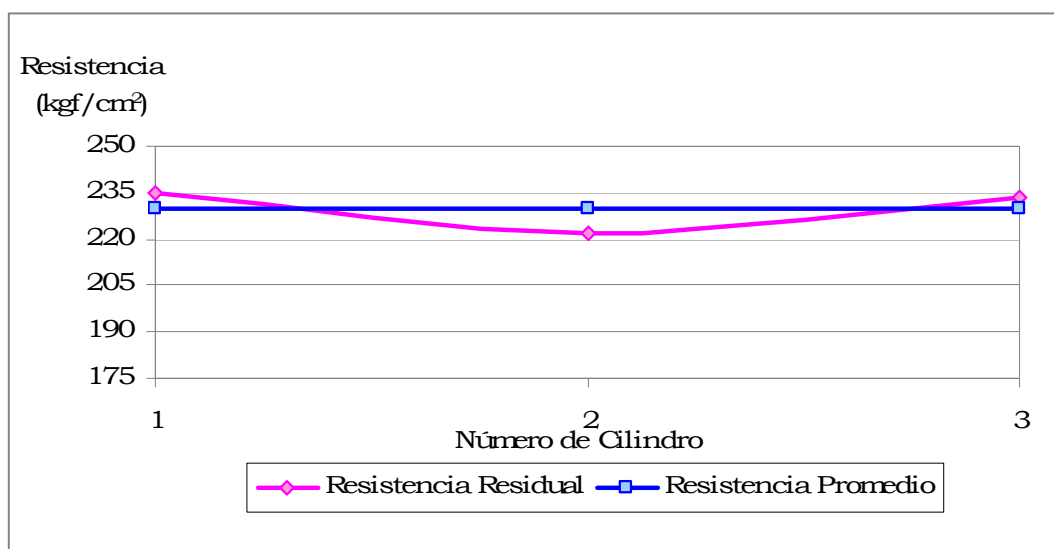
Los valores alcanzados por las probetas en la prueba de resistencia a la compresión, así como los resultados de las variables estadísticas evaluadas para cada mezcla, se presentan en las Tablas IV.26, IV.27, IV.28, IV.29. A través de esta prueba se estableció el comportamiento de las mezclas a la edad del ensayo. Los procedimientos se basaron en los parámetros establecidos por la Norma COVENIN 338:2002 *“Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”*. Con las tablas de resultados del experimento se presentan los Gráficos IV.19, IV.20, IV.21 y IV.22, que muestran la resistencia residual de cada probeta ensayada y el valor promedio de resistencia de las mismas.

Tabla IV.26 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto Normal con $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Ensayo a los 21 Días								
N° Cilindro	Diámetros Promedio (cm)		Diámetro Promedio General (cm)	Altura (cm)	Área de Sección Transversal (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kgf)	Rc (Kgf/cm²)
1	Arriba	14.92	14.98	30.06	176.17	12.805	41400	235.01
	Medio	15.00						
	Abajo	15.01						
2	Arriba	14.99	15.00	30.00	176.64	12.807	39200	221.93
	Medio	15.00						
	Abajo	15.00						
3	Arriba	14.89	14.96	30.03	175.70	12.740	41000	233.36
	Medio	14.97						
	Abajo	15.01						
					$\chi =$	12.78	40533.33	230.10
					$\sigma =$	0.04	1171.89	7.12
					$v =$	0.30	2.89	3.10

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.19 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto Normal $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. Ensayo a 21 Días



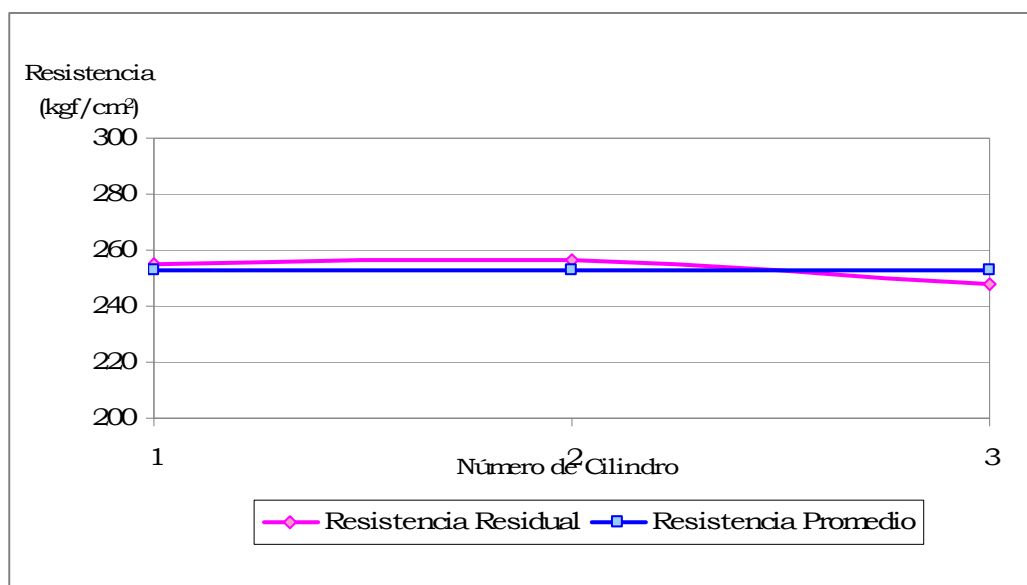
Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV.27 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita

Ensayo a los 21 Días								
N° Cilindro	Diámetros Promedio (cm)		Diámetro Promedio General (cm)	Altura (cm)	Área de Sección Transversal (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kgf)	Rc (Kgf/cm²)
1	Arriba	14.91	14.93	30.11	174.99	13.598	44600	254.87
	Medio	14.92						
	Abajo	14.95						
2	Arriba	14.89	14.91	30.08	174.60	13.545	44800	256.59
	Medio	14.90						
	Abajo	14.94						
3	Arriba	14.90	14.96	30.03	175.70	13.464	43600	248.16
	Medio	14.98						
	Abajo	14.99						
					$\chi=$	13.54	44333.33	253.21
					$\sigma=$	0.07	642.91	4.45
					$\nu=$	0.50	1.45	1.76

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.20 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita. Ensayo a 21 Días



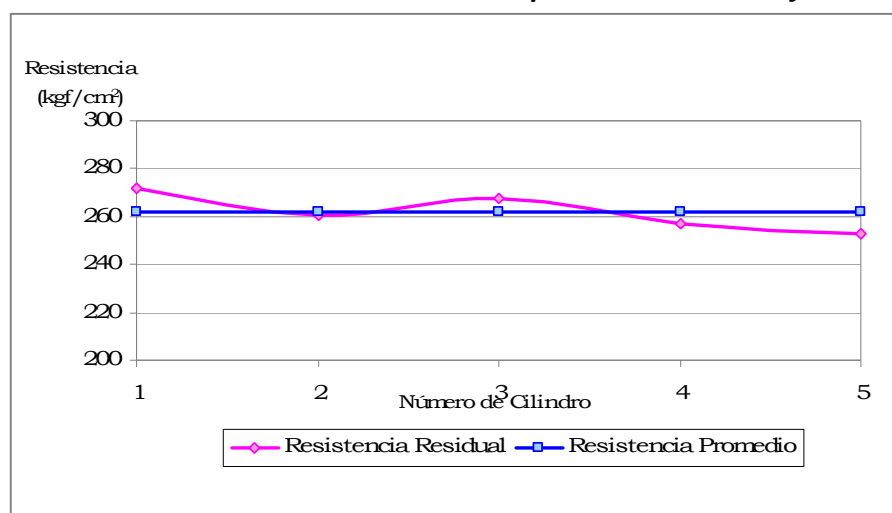
Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV.28 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto con Sustitución de 40% de Fino por Hematita

Ensayo a los 21 Días								
N° Cilindro	Diámetros Promedio (cm)		Diámetro Promedio General (cm)	Altura (cm)	Área de Sección Transversal (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kgf)	Rc (Kgf/cm²)
1	Arriba	14.87	14.90	30.16	174.37	13.834	47400	271.84
	Medio	14.91						
	Abajo	14.92						
2	Arriba	14.94	14.97	30.06	175.93	13.832	45800	260.33
	Medio	14.99						
	Abajo	14.97						
3	Arriba	14.96	14.98	30.20	176.24	13.956	47200	267.81
	Medio	15.00						
	Abajo	14.98						
4	Arriba	14.95	15.00	30.17	176.71	13.819	45400	256.91
	Medio	14.99						
	Abajo	15.06						
5	Arriba	15.00	15.03	29.99	177.42	13.580	44800	252.51
	Medio	15.05						
	Abajo	15.04						
					$\chi =$	13.80	46120.00	261.88
					$\sigma =$	0.14	1136.66	7.89
					$\nu =$	0.99	2.46	3.01

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.21 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 40% de Fino por Hematita. Ensayo a 21 Días



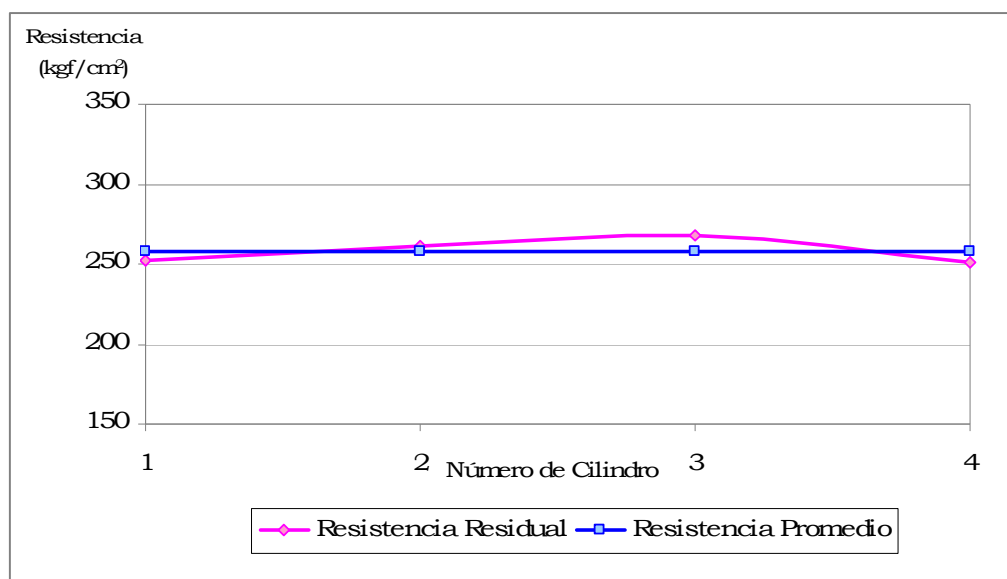
Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV.29 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita

Ensayo a los 21 Días								
N° Cilindro	Diámetros Promedio (cm)		Diámetro Promedio General (cm)	Altura (cm)	Área de Sección Transversal (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kgf)	Rc (Kgf/cm²)
1	Arriba	15.00	15.01	30.05	176.87	14.050	44600	252.16
	Medio	15.02						
	Abajo	15.00						
2	Arriba	14.95	14.94	30.05	175.23	13.912	45800	261.38
	Medio	14.96						
	Abajo	14.90						
3	Arriba	14.80	14.86	30.10	173.51	13.903	46400	267.42
	Medio	14.90						
	Abajo	14.89						
4	Arriba	15.05	14.98	30.02	176.17	13.953	44200	250.90
	Medio	14.93						
	Abajo	14.95						
					$\chi=$	13.95	45250.00	257.97
					$\sigma=$	0.07	1024.70	7.85
					$\nu=$	0.48	2.26	3.04

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.22 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita. Ensayo a 21 Días



Fuente: Elaboración Propia

IV.1.4.2.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS

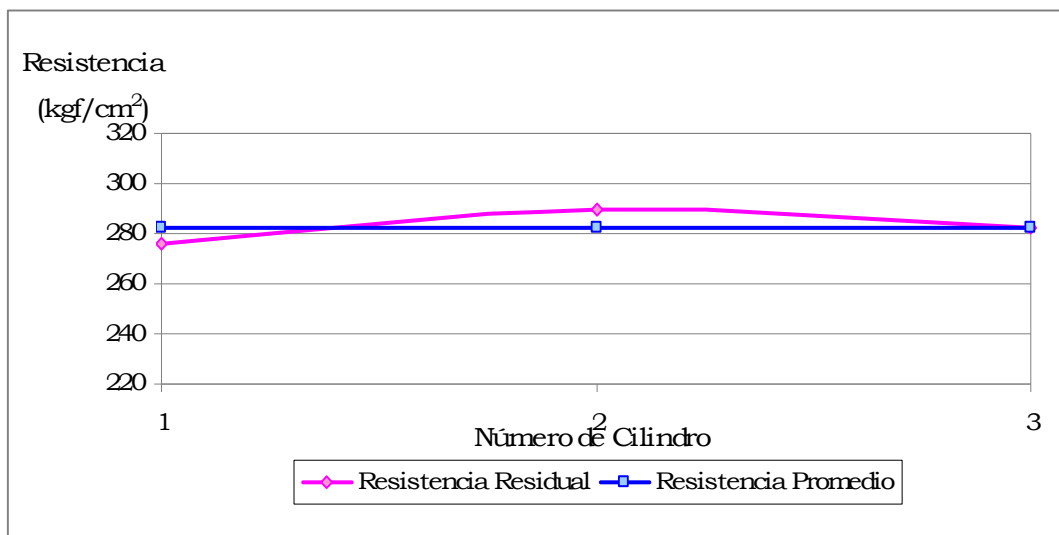
Aplicando los procedimientos establecidos en la Norma COVENIN 338:2002 *“Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”*, se obtuvieron valores de resistencia a la compresión de los cilindros para cada mezcla. Del igual modo, se presentan los resultados de la verificación estadística, resistencia y otras características de los cilindros, en las Tablas IV.30, IV.31, IV.32, IV.33. Además, se adjuntó a cada tabla los Gráficos IV.23, IV.24, IV.25 y IV.26, respectivamente que de manera explícita muestran los resultados de resistencia real de cada probeta ensayada y el valor promedio de las mismas para visualizar las tendencias

Tabla IV.30 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto Normal con $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Ensayo a los 28 Días								
N° Cilindro	Diámetros Promedio (cm)		Diámetro Promedio General (cm)	Altura (cm)	Área de Sección Transversal (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kgf)	Rc (Kgf/cm²)
1	Arriba	14.98	15.01	29.98	177.03	12.827	48800	275.66
	Medio	15.06						
	Abajo	15.00						
2	Arriba	14.90	15.00	29.99	176.64	12.781	51200	289.86
	Medio	15.00						
	Abajo	15.09						
3	Arriba	14.88	14.95	30.05	175.46	12.851	49600	282.69
	Medio	14.98						
	Abajo	14.98						
					$\chi =$	12.82	49866.67	282.74
					$\sigma =$	0.04	1222.02	7.10
					$\nu =$	0.28	2.45	2.51

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.23 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto Normal $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. Ensayo a 28 Días



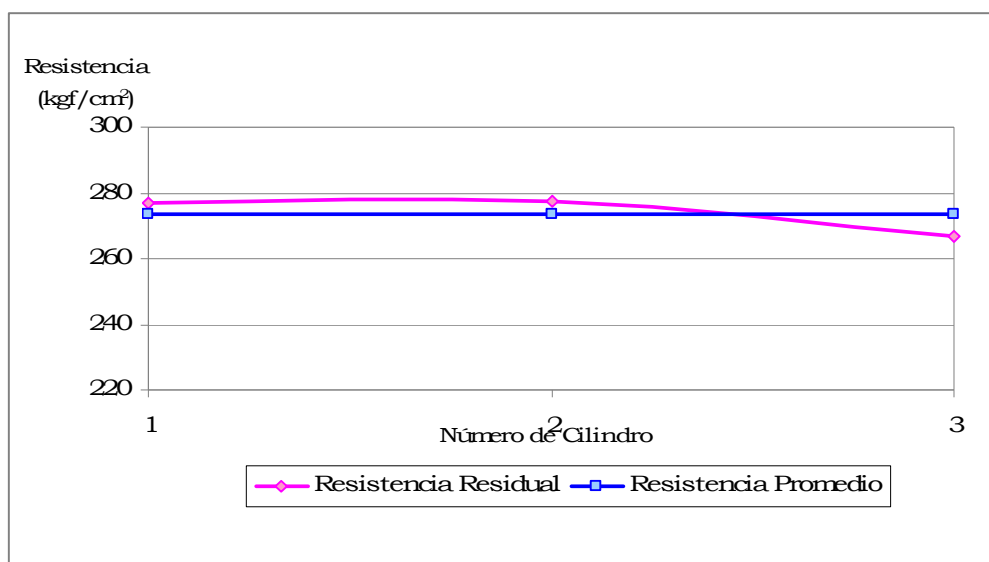
Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV.31 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita

Ensayo a los 28 Días								
N° Cilindro	Diámetros Promedio (cm)		Diámetro Promedio General (cm)	Altura (cm)	Área de Sección Transversal (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kgf)	Rc (Kgf/cm²)
1	Arriba	14.84	14.89	29.96	174.21	13.457	48200	276.68
	Medio	14.90						
	Abajo	14.94						
2	Arriba	14.89	15.06	30.15	178.13	13.779	49400	277.32
	Medio	15.20						
	Abajo	15.09						
3	Arriba	14.89	14.92	29.97	174.83	13.532	46600	266.54
	Medio	14.93						
	Abajo	14.94						
					$\bar{x}=$	13.59	48066.67	273.51
					$\sigma=$	0.17	1404.75	6.05
					$\nu=$	1.24	2.92	2.21

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.24 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días



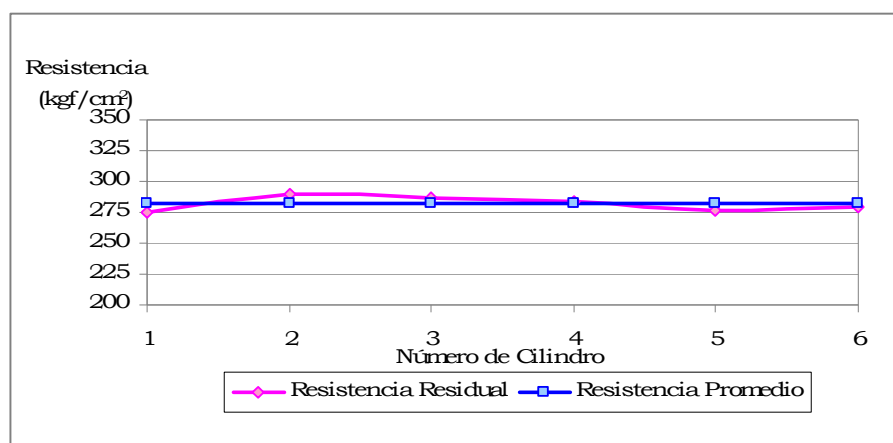
Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV.32 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto con Sustitución de 40% de Fino por Hematita

Ensayo a los 28 Días			Ensayo a Compresión con Castadura de 10% de Puro por Normada					
N° Cilindro	Diámetros Promedio (cm)		Diámetro Promedio General (cm)	Altura (cm)	Área de Sección Transversal (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kgf)	Rc (Kgf/cm²)
1	Arriba	14.90	14.96	30.17	175.85	13.881	48400	275.23
	Medio	15.00						
	Abajo	14.99						
2	Arriba	14.80	14.84	30.13	172.96	13.888	50200	290.23
	Medio	14.85						
	Abajo	14.87						
3	Arriba	14.80	14.84	29.92	173.04	13.734	49600	286.63
	Medio	14.83						
	Abajo	14.90						
4	Arriba	14.85	14.87	29.95	173.59	13.823	49200	283.43
	Medio	14.85						
	Abajo	14.90						
5	Arriba	14.80	14.86	30.04	173.43	13.618	48000	276.77
	Medio	14.88						
	Abajo	14.90						
6	Arriba	15.00	14.98	30.00	176.17	13.673	49200	279.28
	Medio	14.97						
	Abajo	14.96						
					$\bar{x} =$	13.77	49100.00	281.93
					$\sigma =$	0.11	797.50	5.86
					$v =$	0.81	1.62	2.08

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.25 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 40% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días



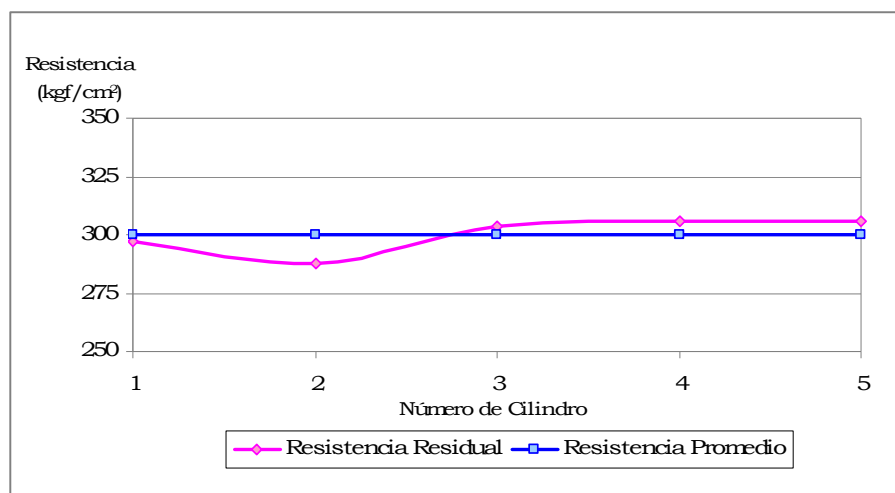
Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV.33 Resistencia a Compresión Simple, Promedio y Desviación Estándar. Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita

Ensayo a los 28 Días			Diámetro Promedio General (cm)	Altura (cm)	Área de Sección Transversal (cm²)	Peso (Kg)	Carga (Kgf)	Rc (Kgf/cm²)
N° Cilindro	Diámetros Promedio (cm)							
1	Arriba	14.86	14.99	30.07	176.40	13.902	52400	297.05
	Medio	14.96						
	Abajo	15.14						
2	Arriba	14.97	14.99	29.98	176.40	13.974	50800	287.98
	Medio	15.00						
	Abajo	14.99						
3	Arriba	14.96	15.00	30.12	176.64	13.990	53600	303.45
	Medio	14.98						
	Abajo	15.05						
4	Arriba	14.95	15.07	30.14	178.45	14.168	54600	305.97
	Medio	15.20						
	Abajo	15.07						
5	Arriba	14.91	14.88	30.09	173.82	13.983	53200	306.06
	Medio	14.88						
	Abajo	14.84						
					$\chi =$	14.00	52920.00	300.10
					$\sigma =$	0.10	1425.48	7.70
					$\nu =$	0.70	2.69	2.57

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.26 Resistencia a Compresión de Probetas y Promedio para Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días



Fuente: Elaboración Propia

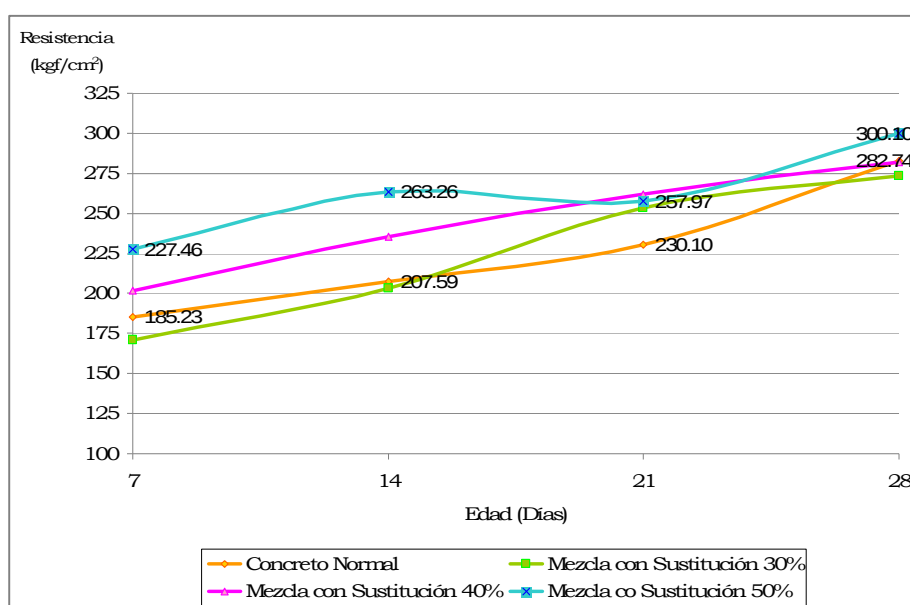
Para visualizar de manera practica el desarrollo de resistencia experimentado en el tiempo por los cilindros de las mezclas objeto de estudio, se presentan en la Tabla IV.34 valores promedio de resistencia de cada mezcla en el tiempo de ensayo indicado. Además, el Gráfico IV.22 muestra la tendencia de dichos resultados.

Tabla IV.34 Resistencia Promedio de Cilindros para las Mezclas Analizadas

Edad (Días)	Promedio de Resistencia de Cilindros por Mezcla			
	Concreto Normal	Con Sustitución 30%	Con Sustitución 40%	Con Sustitución 50%
7	185.23	170.61	202.05	227.46
14	207.59	202.91	235.18	263.26
21	230.10	253.21	261.88	257.97
28	282.74	273.51	281.93	300.10

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.27 Desarrollo de Resistencia de las Mezclas Analizadas



Fuente: Elaboración Propia

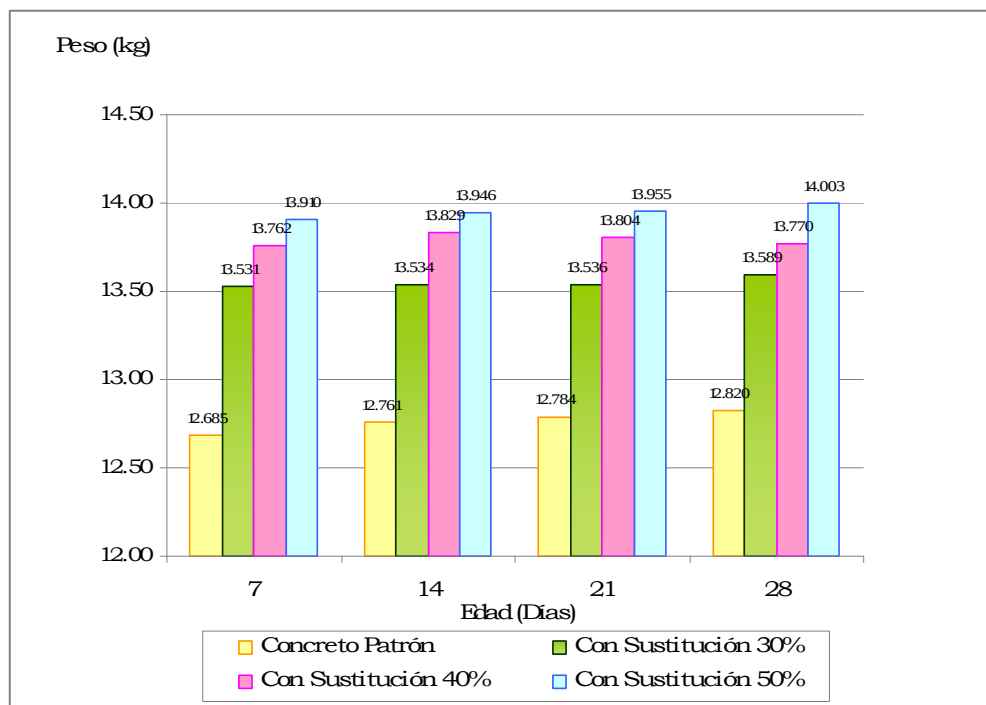
Al considerar la variable peso al aire para su respectivo análisis, los resultados obtenidos del pesaje de probetas de las distintas mezclas se exponen en la Tabla IV.35. Además, en el Gráfico IV.23 se observa la tendencia de los pesos entre mezclas de manera comparativa.

Tabla IV.35 Peso al Aire Promedio de Probetas de las Mezclas Analizadas

Edad (Días)	Peso Promedio de los Cilindros			
	Concreto Normal	Sustitución de 30%	Sustitución de 40%	Sustitución de 50%
7	12.685	13.531	13.762	13.910
14	12.761	13.534	13.829	13.946
21	12.784	13.536	13.804	13.955
28	12.820	13.589	13.770	14.003

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.28 Comparación de Peso al Aire de Probetas de las Mezclas



Fuente: Elaboración Propia

IV.1.4.3. ENSAYO MODULO DE ELASTICIDAD

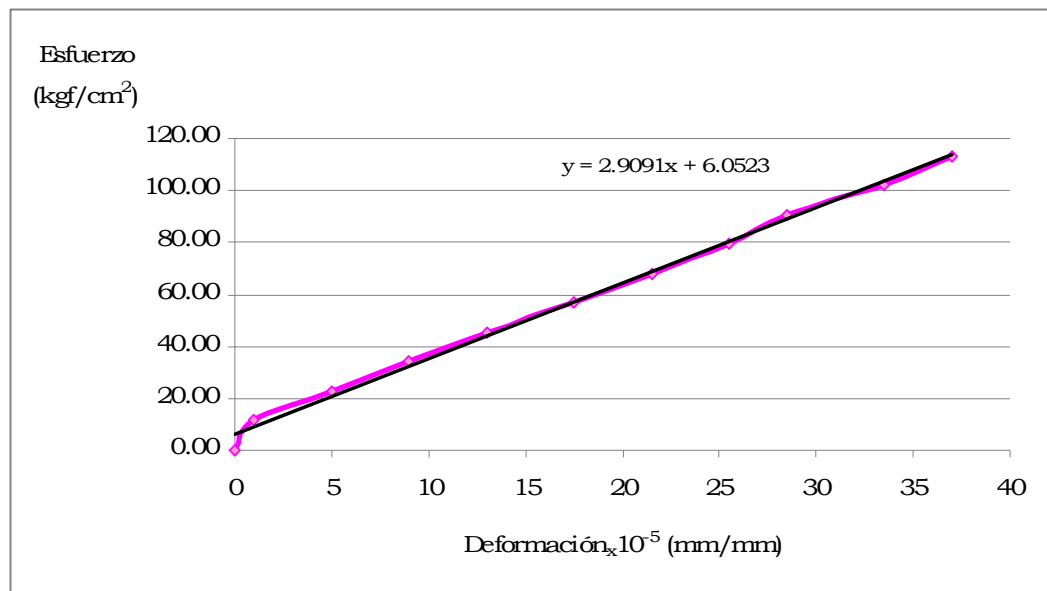
Para evaluar la relación esfuerzo-deformación del concreto endurecido se realizó el ensayo de módulo de elasticidad a cilindros de cada tipo de mezcla, a los 28 días de edad, basados en la Norma COVENIN 1468-79 *“Método de Ensayo para Determinar el Módulo de Elasticidad (Secante) en Probetas Cilíndricas de Concreto”*. A continuación, se presenta los resultados obtenidos del ensayo de modulo de elasticidad estimado a partir de los valores de resistencia a la compresión simple, determinados previamente para cada mezcla en las Tablas IV.36, IV.37, IV.38, IV.39, Seguidamente, se muestra en los Gráficos IV.29, IV.30, IV.31 y IV.32, la curva Tensión vs Deformación correspondiente al comportamiento de los cilindros de cada mezcla ante la aplicación de cargas.

Tabla IV.36 Deformación de Probetas de Concreto Normal con $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. Ensayo a 28 Días

Carga Aplicada (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Promedio Lecturas de Fleximetro	Deformación 10^{-5} (mm/mm)
0	0.00	0	0
2000	11.34	2	1
4000	22.68	10	5
6000	34.02	18	9
8000	45.36	26	13
10000	56.70	35	17.5
12000	68.04	43	21.5
14000	79.38	51	25.5
16000	90.72	57	28.5
18000	102.06	67	33.5
20000	113.39	74	37

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.29 Curva Tensión vs Deformación. Concreto Normal



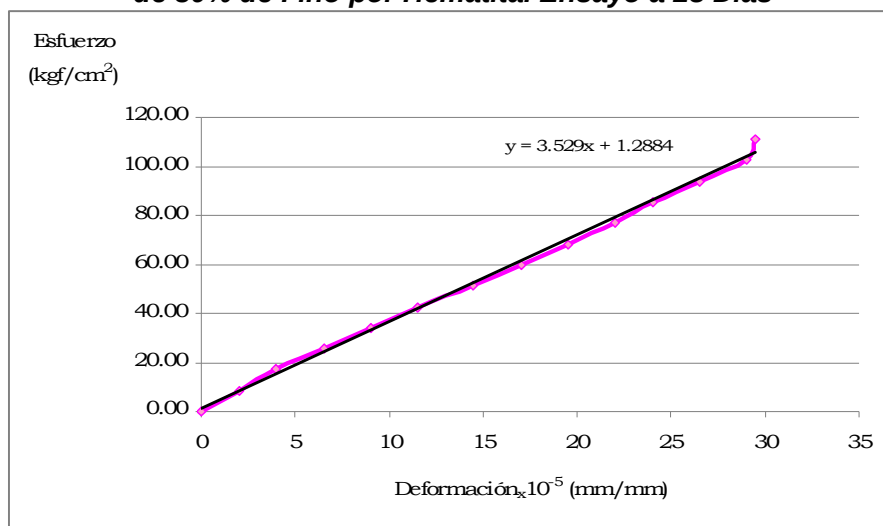
Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV.37 Deformación de Probetas de Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días

Carga Aplicada (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Promedio Lecturas de Fleximetro	Deformación 10⁻⁵ (mm/mm)
0	0.00	0	0
1500	8.54	4	2.0
3000	17.07	8	4.0
4500	25.61	13	6.5
6000	34.14	18	9.0
7500	42.68	23	11.5
9000	51.22	29	14.5
10500	59.75	34	17.0
12000	68.29	39	19.5
13500	76.82	44	22.0
15000	85.36	48	24.0
16500	93.90	53	26.5
18000	102.43	58	29.0
19500	110.97	59	29.5

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.30 Curva Tensión vs Deformación. Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días



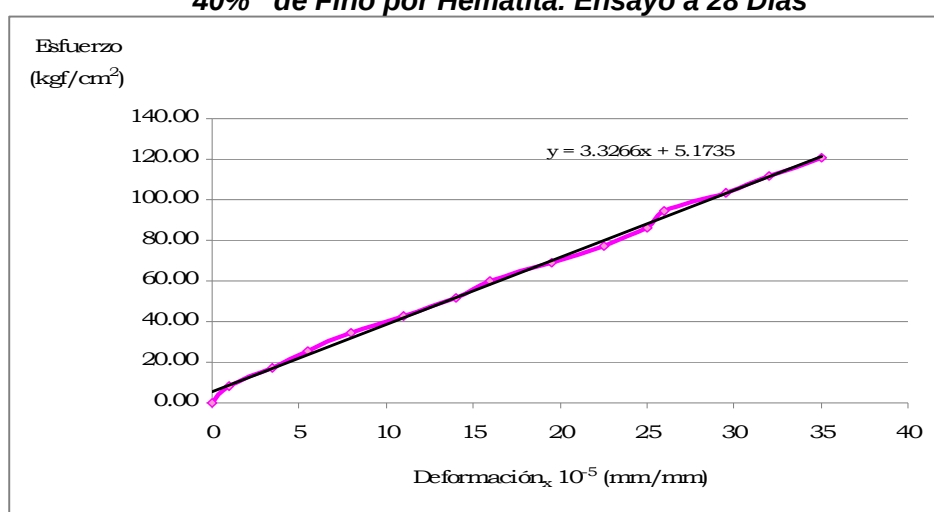
Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV.38 Deformación de Probetas de Concreto con Sustitución de 40% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días

Carga Aplicada (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Promedio Lecturas de Fleximetro	Deformación 10⁻⁵ (mm/mm)
0	0.00	0	0
1500	8.61	2	1.0
3000	17.22	7	3.5
4500	25.84	11	5.5
6000	34.45	16	8.0
7500	43.06	22	11.0
9000	51.67	28	14.0
10500	60.28	32	16.0
12000	68.90	39	19.5
13500	77.51	45	22.5
15000	86.12	50	25.0
16500	94.73	52	26.0
18000	103.35	59	29.5
19500	111.96	64	32.0
21000	120.57	68	35.0

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.31 Curva Tensión vs Deformación. Concreto con Sustitución de 40% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días



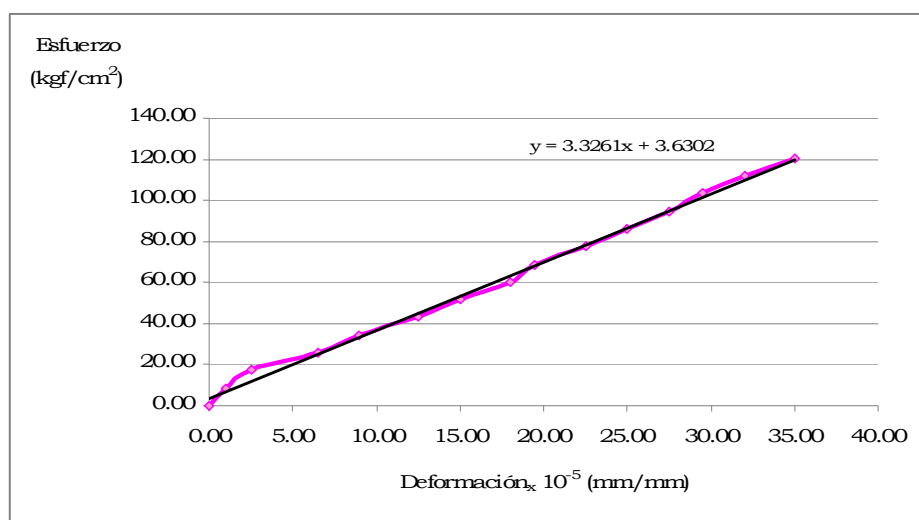
Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV.39 Deformación de Probetas de Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días

Carga Aplicada (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Promedio Lecturas de Fleximetro	Deformación 10⁻⁵ (mm/mm)
0	0.00	0	0.00
1500	8.61	2	1.00
3000	17.22	5	2.50
4500	25.84	13	6.50
6000	34.45	18	9.00
7500	43.06	25	12.50
9000	51.67	30	15.00
10500	60.28	36	18.00
12000	68.90	39	19.50
13500	77.51	45	22.50
15000	86.12	50	25.00
16500	94.73	55	27.50
18000	103.35	59	29.50
19500	111.96	64	32.00
21000	120.57	69	35.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.32 Curva Tensión vs Deformación. Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días



Fuente: Elaboración Propia

El Módulo de elasticidad Secante se calculó con la curva obtenida en el gráfico Tensión vs Deformación, a la cual se le aplicó la recta de mejor ajuste lineal cuya ecuación se usó para determinar el esfuerzo correspondiente a una deformación de 5×10^{-5} . Con el esfuerzo calculado y los valores de esfuerzo y deformación correspondientes al 40% de la carga máxima, se determinó finalmente el Modulo de Elasticidad. Los datos y resultados de este ensayo para cada tipo de mezcla, se muestran en la Tabla IV.40.

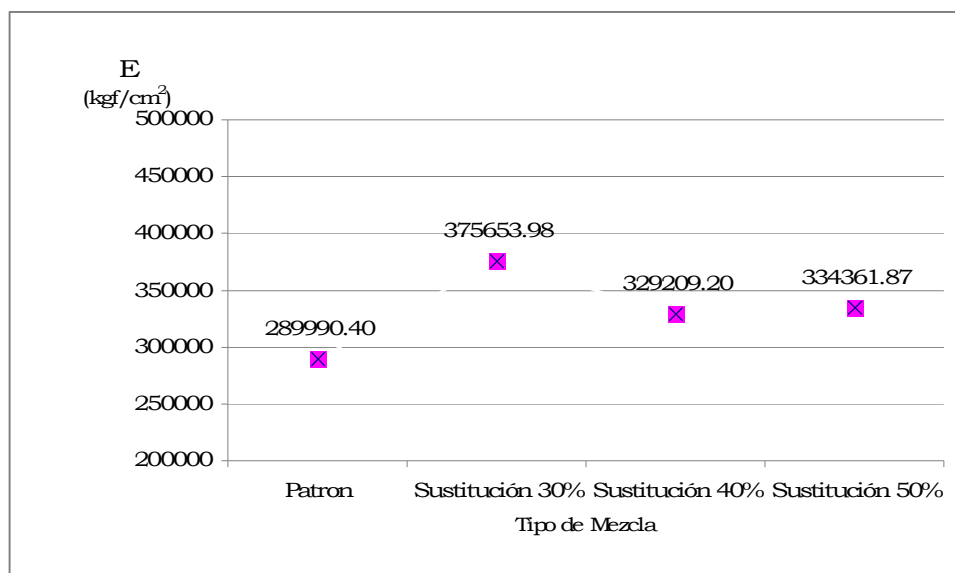
Tabla IV.40 Datos y Resultados Correspondientes al Ensayo para Determinar Módulo de Elasticidad

Tipo de Mezcla	Carga Máxima Aplicada Promedio (kgf)	40% Carga Máxima (kgf)	Ecuación de Recta	Esfuerzo correspondiente a Deformación 5×10^{-5} (kgf/cm²)	Módulo de Elasticidad (Secante) (kg/cm²)	Variación Respecto a Mezcla Patrón (%)
Patrón	49866.67	19226.67	$y=2.9091x + 6.0523$	20.60	335444.64	0
Sustitución 30%	48066.67	19226.67	$y=3.5290x + 1.2884$	18.93	375653.98	11.99
Sustitución 40%	49100.00	19640.00	$y=3.3266x + 5.1735$	21.81	329209.20	1.86
Sustitución 50%	52920.00	21168.00	$y=3.3261x + 3.6302$	20.26	334361.87	0.32

Fuente: Elaboración Propia

En el Gráfico IV.33 se contrastan los valores del modulo obtenidos para cada mezcla.

Gráfico IV.33 Valores de Módulo de Elasticidad de cada Mezcla



Fuente: Elaboración Propia

IV.1.4.4 ENSAYO DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL PULSO ULTRASÓNICO

A efectos de comparar condiciones de los cilindros en los cuales se sustituyó mineral de hierro con los de concreto normal, se determinó la velocidad de propagación del pulso a partir de los lineamientos establecidos en la norma COVENIN 1681:2005 “*Concreto Endurecido. Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico*”. Los resultados de dicho ensayo se exponen en las Tablas IV.41, IV.42, IV.43 y IV.44, del mismo modo se reflejan los resultados del análisis correspondiente a promedio, desviación estándar y varianza en cada caso. Además en el Gráfico IV.34 se representa las variaciones de velocidad del pulso entre los cilindros de las distintas mezclas.

Tabla IV.41 Velocidad del Pulso Ultrasónico, Promedio, Desviación y Varianza Mezcla de Concreto Normal. Ensayo a 28 Días

N° Cilindro	Distancia entre Transductores. (Altura de Cilindro) (cm)	Tiempo de tránsito del Pulso (μ s)	Velocidad de Propagación del Pulso Ultrasónico (m/s)
1	30.05	73.40	4094.01
2	30.00	75.00	4000.00
Fuente: Elaboración Propia			$\bar{v} = 4047.00$
			$\sigma = 66.47$
			$v = 1.64$

Tabla IV.42 Velocidad del Pulso Ultrasónico, Promedio, Desviación y Varianza. Concreto con Sustitución de 30% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días

N° Cilindro	Distancia entre Transductores. (Altura de Cilindro) (cm)	Tiempo de tránsito del Pulso (μ s)	Velocidad de Propagación del Pulso Ultrasónico (m/s)
1	30.47	72.90	4179.70
2	30.30	73.60	4116.85
Fuente: Elaboración Propia			$\bar{v} = 4148.27$
			$\sigma = 44.44$
			$v = 1.07$

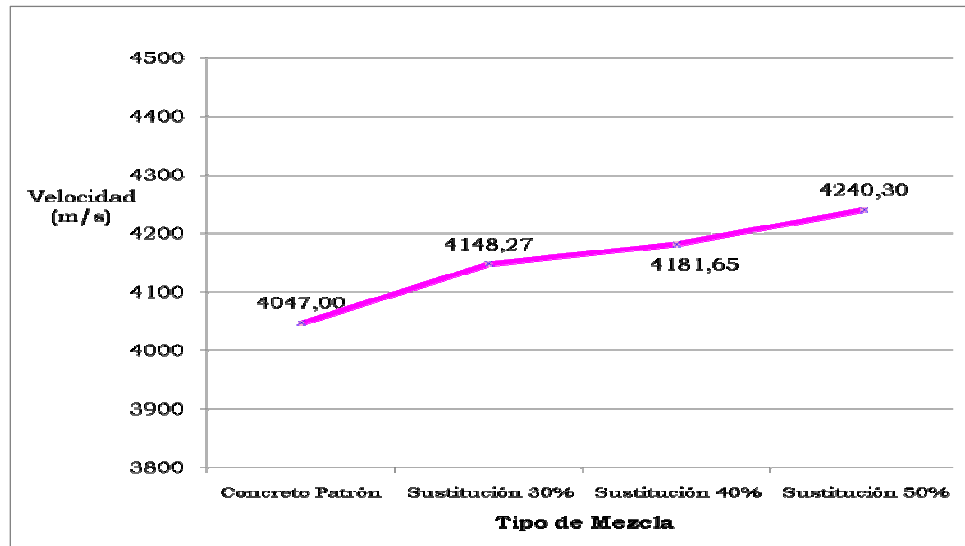
Tabla IV.43 Velocidad del Pulso Ultrasónico, Promedio, Desviación y Varianza. Concreto con Sustitución de 40% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días

N° Cilindro	Distancia entre Transductores. (Altura de Cilindro) (cm)	Tiempo de tránsito del Pulso (μ s)	Velocidad de Propagación del Pulso Ultrasónico (m/s)
1	29.92	70.60	4237.96
2	29.95	72.60	4125.34
Fuente: Elaboración Propia			$\bar{v} = 4181.65$
			$\sigma = 79.63$
			$v = 1.90$

Tabla IV.44 Velocidad del Pulso Ultrasónico, Promedio, Desviación y Varianza. Concreto con Sustitución de 50% de Fino por Hematita. Ensayo a 28 Días

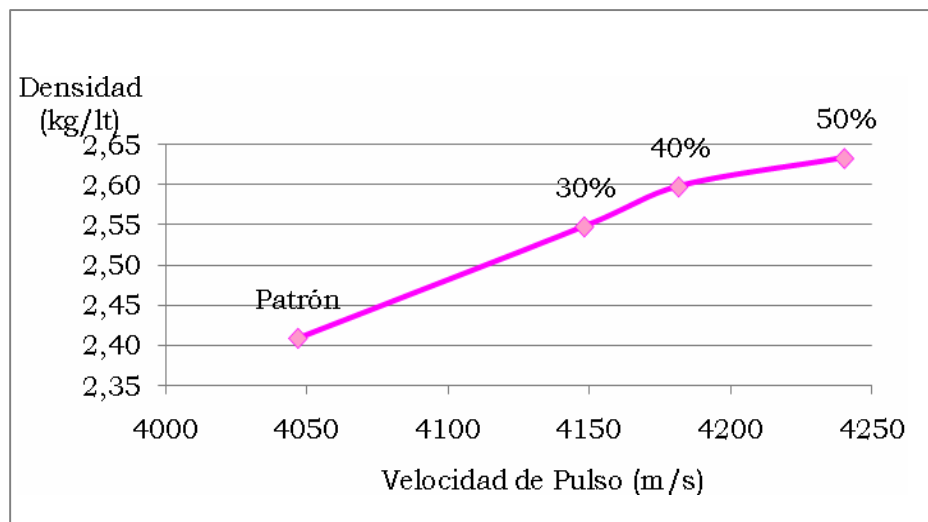
N° Cilindro	Distancia entre Transductores. (Altura de Cilindro) (cm)	Tiempo de tránsito del Pulso (μ s)	Velocidad de Propagación del Pulso Ultrasónico (m/s)
1	30.07	71.40	4211.48
2	30.14	70.60	4269.12
Fuente: Elaboración Propia			$\bar{v} = 4240.30$
			$\sigma = 40.76$
			$v = 0.96$

Gráfico IV.34 Velocidad Promedio de Propagación del Pulso Ultrasónico en Probetas de las Mezclas Analizadas



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico IV.35 Comparación Velocidad Pulso Ultrasónico vs Densidad



Fuente: Elaboración Propia

IV.1.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

IV.1.2.1 GRANULOMETRÍA

IV.1.2.1.1 AGREGADO FINO

Considerando los criterios establecidos en la Norma COVENIN 277-83 “*Agregados para Concreto. Especificaciones*”, en función de los porcentajes pasantes obtenidos de la muestra se observa que la granulometría del agregado no cumple con los límites granulométricos específicamente en el tamiz #4 el cual está ligeramente por debajo del límite inferior, por lo cual, no se cubren los requisitos de calidad establecidos. En este sentido, para evitar posibles efectos adversos en la relación agua/cemento que incidan en el desarrollo de la resistencia, se realizaron las correcciones pertinentes al caso.

IV.1.2.1.2 AGREGADO GRUESO

Los valores obtenidos de porcentaje pasante del ensayo granulométrico no cumplen con los requerimientos establecidos en los límites granulométricos, debido a que en los tamices 1” y ¾” el porcentaje pasante está muy por debajo de los límites inferiores establecidos en la Norma COVENIN 277-83. En tal sentido se realizaron las correcciones necesarias.

La resistencia al desgaste del agregado utilizado al ser evaluada con la metodología impuesta por la Norma COVENIN 266 “*Método de Ensayo para Determinar la Resistencia al Desgaste de Agregados Grueso, menores de 38,1 mm (1½ pulgadas)*”, se estableció que la misma se encuentra dentro de los parámetros aceptables.

IV.1.2.1.3 AGREGADO MINERAL

Al mineral se le realizaron ensayos granulométricos correspondientes a agregados finos, observando que el mismo no cumple con los límites establecidos para arenas, sin embargo al no contar con información puntual acerca de los límites para trabajar con el mineral en mezclas de concreto y por ser este el material objeto de experimentación se utilizó sin hacer ningún tipo de corrección.

IV.1.2.2 DISEÑO DE MEZCLAS

Respecto a la dosificación teórica establecida con las respectivas correcciones conforme a los agregados utilizados, los Gráficos IV.4, IV.5, IV.6 y IV.7 muestran que el contenido de cemento en todas las mezclas diseñadas cumplen con los parámetros referidos por Porrero (2004), según los cuales el cemento constituye entre el 10 y el 20% en peso de la totalidad de la mezcla.

IV.1.2.3 ENSAYOS DEL CONCRETO FRESCO

IV.1.2.3.1 ASENTAMIENTO

Para el caso de las muestras analizadas, se evidencia en la Tabla IV.13 que el asentamiento entre una y otra medición para una misma mezcla varió sin embargo, mantuvo una precisión de 1.5, 0.5, 0.9 y 1 en las mezclas patrón, con 30, 40 y 50% de sustitución de fino por mineral respectivamente valores que se encuentra dentro de los límites aceptados por la norma COVENIN. Asimismo, este ensayo presenta la limitación de ser útil solo para concretos con agregados pétreos de tamaño máximo menores a 5 cm y con relativa

plasticidad. (Porrero, 2004). Todas las mezclas presentan relativa plasticidad entre 6 y 10,50 cm (ver Fotos IV.2).

Los resultados mostrados en la Tabla IV.14 indican que las mezclas con sustitución de mineral tienen un comportamiento plástico similar al del concreto normal, lo cual las hace trabajables.

La pastosidad o plasticidad del concreto es influida en gran parte por los finos, en las mezclas se evidenció un aplastamiento progresivo de la masa (ver Foto IV.1) lo cual según Bran (2008) indica que tiene suficientes finos.

En el caso de la mezcla con 50% de sustitución de fino por hematita, al tener asentamiento nulo (ver Foto IV.3) se evidencia que hubo falta de lubricación, por lo cual se agregaron 3 litros de agua por encima del diseño establecido.

Este comportamiento de la mezcla se puede atribuir al hecho de que el agregado mineral aumentó la proporción de finos y a su vez la superficie a lubricar, ya que el mismo en su estado reseco absorbió gran cantidad de agua de la mezcla. Con la adición se logró la fluidez y trabajabilidad necesaria, pero esto pudo haber tenido un efecto en la disminución de la resistencia mecánica.

IV.1.2.3.2 PESO UNITARIO

El ensayo de peso para concreto fresco arrojó los valores mostrados en la Tabla IV.15, dichos valores al ser comparados con los volúmenes de mezcla calculados en el diseño para cada tratamiento y reflejados en las Tablas IV.11 y VI.12, se infiere que el rendimiento volumétrico del concreto patrón es superior al de las mezclas en las que se hizo la sustitución de agregado fino

por mineral de hierro sin embargo las diferencias de rendimiento entre mezclas no es significativo. A este respecto Sánchez de Guzmán (2001) indica que aunque el concreto se dosifique por peso, se suministra por volumen, de tal manera que el ensayo de peso unitario se emplea para calcular el rendimiento volumétrico, para lo cual se establece un rango de variación aceptable de 2%, en obra tolerable hasta 5%.

IV.1.2.4. ENSAYOS DEL CONCRETO ENDURECIDO

IV.1.2.4.1 DENSIDAD (PESO ESPECÍFICO) DE PROBETAS

Los valores de densidad aparente recogidos en la Tabla IV.16, fueron representados en el Gráfico IV.8. Por otro lado, la variación porcentual de densidad de cada mezcla con sustitución de mineral respecto a la mezcla patrón se muestra en el Gráfico IV.9, que ilustra el comportamiento del ensayo, en el mismo se observa una curva de tendencia con concavidad negativa que demuestra un aumento en el peso del concreto endurecido al aumentar la proporción de adición de mineral, dicha curva tiende a estabilizarse, es decir, los cilindros ensayados de la mezcla patrón tienen menor densidad.

Los resultados de la desviación estándar en los ensayos para el concreto normal y para concretos con sustitución de 30%, 40% y 50% de fino por hematita, fueron 0,002, 0,009, 0,014 y 0,004 respectivamente lo cual indica que el ensayo se llevó a cabo de manera exitosa.

De los valores de densidad que se exponen en la Tabla IV.17, y las curvas mostradas en el Gráfico IV.10, se percibe en la mezcla patrón poca variación

de la densidad entre el diseño y los distintos estados del concreto, no ocurriendo lo mismo en el caso de las mezclas con mineral, puesto que la variación de la densidad en estado fresco y endurecido respecto a la densidad obtenida según el diseño tiene valores que oscilan alrededor del 5%.

IV.1.2.4.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Durante la realización del ensayo, se observó la existencia de factores que pudieron haber afectado los resultados de resistencia obtenidos en varios de los cilindros ensayados.

Para los cilindros que arrojaron resistencias más elevadas, es decir por encima de la media, se presume que esto ocurre cuando la velocidad de carga no es constante. De igual manera, para los cilindros que arrojaron resistencias menores al promedio, se presume que esto ocurre debido a deficiencias en el enrase dentro de un mismo grupo de probetas y a nivelación inadecuada.

En efecto, se ameritó un cambio de las gomas de apoyo de la prensa, ya que las mismas presentaban un grave deterioro.

Por lo anteriormente expuesto, y a recomendación de los Tutores, para establecer la distribución normal de los valores se justifica el descarte de los cilindros cuyas resistencias son extremas.

Las resistencias obtenidas en todas las edades (7, 14, 21 y 28 días) y para todos los tipos de mezclas (concreto normal, sustitución al 30%, sustitución al 40% y sustitución al 50%), recogidas en las Tablas IV.18 a la VI.33,

mantuvieron valores de desviación estándar inferiores a 8 kgf/cm^2 , lo cual cumple con lo estipulado en la Norma COVENIN 338:2002, por lo cual se considera que el ensayo es aceptable. En los Gráficos IV.11 al IV.26, se muestran los valores de resistencia residual y resistencia promedio de cada mezcla para cada una de las edades de ensayo, los cuales evidencian el comportamiento de la desviación de las resistencias alrededor del promedio.

Las resistencias promedio de las mezclas, para todas las edades se exponen de manera comparativa en la Tabla IV.34. Por otra parte al observar el Gráfico IV.27, se percibe que la mezcla con 40% de sustitución de fino por mineral mantiene un desarrollo uniforme de la resistencia cuyos valores se encuentran por encima de la mezcla patrón; no ocurriendo lo mismo con la mezcla de 30% la cual a los 7 y 14 días tiene resistencias inferiores a las del concreto normal y a pesar de que a los 21 días experimenta un incremento, a los 28 aunque ha desarrollado resistencia superior a la resistencia de diseño, la misma se mantuvo por debajo del concreto normal.

De igual manera, en la mezcla con sustitución de 50% de fino por hematita el desarrollo de la resistencia presenta fluctuaciones. Se evidencia desarrollo de resistencia temprana a los 7 y 14 días, sin embargo hay una abrupta disminución de la misma a los 21 días, fenómeno que puede atribuirse a algún factor experimental o variables no controladas de las cuales no se tienen antecedentes. Sumado a esto, aunque se ensayó el número de probetas establecidas por la Norma COVENIN 338:2002, las mismas parecen no ser suficientes para definir la zona de incertidumbre. Cabe destacar, que esta mezcla siempre mantuvo resistencias por encima de la mezcla patrón.

El agua añadida modifica la relación agua/cemento aumentando su valor, lo cual se traduce en una disminución de la resistencia que a los 28 días de ensayo obtuvo un valor promedio de 300 kgf/cm². Utilizando el *Ábaco de Relaciones Fundamentales del Concreto*, de Geymayr (1985) con los valores de asentamiento y contenido de cemento se estableció la curva de α_{real} la cual al ser comparada con la curva de $\alpha_{diseño}$, muestra que probablemente se afectaron los valores de resistencia a la compresión que deberían encontrarse según el análisis realizado alrededor de los 370 a 380 kgf/cm² para la relación agua/cemento establecida inicialmente ($\alpha_{diseño}$).

Otro particular, es que se observó un desarrollo temprano de la resistencia en las mezclas elaboradas con el mineral, esto pudo ser el resultado de un comportamiento similar al de aquellas mezclas elaboradas con cemento combinado con escoria siderúrgica (Según la Norma COVENIN 935-1976 “Especificaciones para cementos Portland-Escoria”, se define escoria como “el producto no metálico obtenido simultáneamente con arrabio en hornos siderúrgicos, que consiste esencialmente en Silicatos y Alumino-Silicatos de Calcio”...).

Este cemento es responsable de concretos que desarrollan resistencias elevadas a edades tempranas por su alto contenido de C₃A (Aluminato tricálcico).

El mineral pudo haber reaccionado con componentes del cemento Portland Tipo I utilizado, o potenciado sus propiedades, tal y como sucede entre la escoria y el clínker en la elaboración de cementos Tipo III en fábrica.

Sin embargo, la resistencia final es la misma que la correspondiente al concreto normal.

Cabe destacar que según Czernin (1963), pruebas exhaustivas demuestran que mediante una adecuada elaboración en obra, la mezcla simple de escoria molida, yeso y cemento Portland, permite obtener un producto cuya calidad no es inferior a aquel concreto realizado con un cemento metalúrgico elaborado en fábrica. En base a esto, se podría afirmar que la mezcla simple de mineral con el resto de los componentes del concreto, tuvo un comportamiento similar a haber realizado este mismo procedimiento con un producto manufacturado.

Así mismo, al momento del desencofrado se observó fácil desprendimiento de las orillas de los cilindros, evidenciando un resecamiento del concreto elaborado con mineral, que pudo deberse a un lento endurecimiento inicial, así como a un posible bajo calor de hidratación. Este comportamiento, también es típico de los concretos elaborados con cemento-escoria.

IV.1.2.4.3 PESO AL AIRE CONCRETO ENDURECIDO

En cuanto al peso que desarrollaron los cilindros durante el curado, la Tabla IV.35 expone los valores obtenidos, a partir de los cuales se realizó el Gráfico IV.28 en el cual se visualiza que las probetas progresivamente ganaron peso a medida que aumentaba la edad de ensayo y que además las muestras que contenían mineral siempre presentaron pesos que estuvieron por encima del concreto normal. El ligero aumento de peso, pudo deberse a que las probetas en pocos días no absorben la máxima cantidad de agua, la absorción aumenta progresivamente en el tiempo.

IV.1.2.4.4 MÓDULO DE ELASTICIDAD (SECANTE)

De los gráficos Tensión vs. Deformación (ver Gráficos IV.29, IV.30, IV.31 y IV.32), se obtuvieron los datos recogidos en la Tabla IV.33, para determinar el Módulo de Elasticidad de cada mezcla

Los valores de Módulo de Elasticidad dependen de las propiedades de los materiales, por lo cual se determinaron para cada tipo de mezcla, evidenciando en el Gráfico IV.33 que las mezclas elaboradas con el mineral, deforman menos que la mezcla de concreto convencional, y que además, la mezcla con porcentaje de sustitución de 30%, es la que presenta mayor resultado de módulo respecto al resto de las mezclas.

Cabe destacar, que a pesar de que la misma es la que menor proporción de mineral presenta, se esperaba que fuera más deformable que las de 40% y 50% de sustitución, este hecho puede deberse a variables no controladas o algún factor experimental de los cuales no se tienen antecedentes. Puede atribuirse también a que a pesar de que el número de probetas ensayadas es el establecido en la norma, la muestra no es lo suficientemente grande para definir la zona de incertidumbre.

IV.1.2.4.5 VELOCIDAD DEL PULSO ULTRASÓNICO

Sabiendo que la velocidad de propagación de las ondas elásticas longitudinales en la masa del concreto, son útiles para el estudio comparativo de la calidad del concreto y de su homogeneidad (COVENIN 1681:2005), en las probetas de las diferentes mezclas ensayadas se obtuvieron los valores reflejados en las Tablas IV.41 a la IV.44. En las mismas se visualiza que los

valores de velocidades para la mezcla patrón y para las mezclas con 30%, 40% y 50% de sustitución de agregado fino por mineral de hierro, presentan coeficientes de variación de 1.64, 1.07, 1.90 y 0.96% respectivamente; estableciendo según el criterio de Porrero (2004) que la dispersión cumple con los parámetros considerados aceptables para este ensayo. Acorde con la *Tabla XV.2 Coeficientes de variación inherentes a los ensayos indicados, p. 369, Manual del Concreto Estructural de Joaquín Porrero*; los valores del coeficiente de variación deben estar aproximadamente alrededor de 2% .

En el Gráfico IV.34, correspondiente a las velocidades para cada tipo de mezcla, se observa una curva de tendencia lineal creciente en la medida que aumenta la proporción de mineral en las mezcla, esto permite inferir que la velocidad del pulso es mayor al aumentar la densidad de las mezclas (ver GráficoIV.35) corroborando a la vez que la mezclas con mayor contenido mineral son mas densas y que además existe homogeneidad en los concretos elaborados.

Así mismo, las mezclas elaboradas presentan velocidades entre 2000 y 5000 m/s, rango establecido como aceptable en la experimentación con concretos convencionales.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- ~ La adición de mineral a una mezcla de concreto convencional en las proporciones utilizadas, incrementa la densidad de la mezcla.
- ~ El diseño de mezcla para concretos pesados elaborados con el mineral empleado, sobreestima la densidad de la mezcla a obtener experimentalmente.
- ~ La tendencia en todas las mezclas fue la de desarrollo de la resistencia. Todas las elaboradas con mineral desarrollaron a los 28 días resistencias superiores a la esperada según el diseño. Además, presentaron desarrollo de resistencia temprana.
- ~ Es imperativo mantener una relación agua/cemento adecuada, puesto que la adición de mineral influye en el desarrollo de la resistencia y está íntimamente relacionado con las reacciones químicas del cemento. Cantidades inadecuadas de agua en la mezcla, que perturben la hidratación puede traducirse en alteraciones de la resistencia y el comportamiento de la mezcla.
- ~ Considerando los valores de asentamiento obtenidos, estos demuestran que la dosificación utilizada es trabajable y con buena fluidez, lo cual significa que todas las mezclas presentaron comportamiento plástico.

- ~ En los concretos con sustitución de 30 y 40% el desarrollo de resistencias generó curvas que se aproximan al comportamiento lineal.
- ~ Evaluando el ensayo de velocidad del pulso, las mezclas elaboradas con mineral son homogéneas y mas densas que la patrón, estableciéndose una correlación entre la velocidad del pulso y densidad del material que sustenta la calidad de la mezcla.
- ~ Debido a que la mezcla con 40% de sustitución presenta excelente tendencia lineal, a partir de la ecuación de α se puede establecer un factor de corrección para la hematita, para lograr un diseño de mezcla mas preciso que sustente el uso adecuado de este material.
- ~ Con la adición de mineral se obtienen concretos menos deformables que aquellos elaborados solo con agregados convencionales.
- ~ Los resultados obtenidos de resistencia y módulo de elasticidad para las mezclas de concreto pesado, demuestran que los mismos aumentan en función de la densidad del material.

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES

- ~ Debido a que en el país se dispone de suficiente materia prima, se recomienda la realización de estudios que sustenten la factibilidad y viabilidad económica de la posible de manufactura a gran escala de mezclas elaboradas con mineral de hierro , puesto que manteniendo las proporciones adecuadas en las dosis de los componentes del concreto, se obtienen mezclas trabajables y resistentes.
- ~ Es necesario realizar estudios específicos que abarquen las posibles reacciones químicas sucedidas entre el agregado mineral y el cemento.
- ~ Se recomienda realizar los estudios pertinentes a la humedad y absorción del mineral para definir su comportamiento durante el mezclado y establecer factores de corrección por humedad del mismo.
- ~ La realidad en cuanto a la calidad de agregados suministrados en el país, amerita realizar correcciones al diseño de mezcla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ~ ACI 211.1-91 "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete"
- ~ ACI 221R-96 "Guide for Use of Normal Weight and Heavyweight Aggregates in Concrete"
- ~ ACI 304.3R-96 "Heavyweight Concrete: Measuring, Mixing, Transporting, and Placing"
- ~ Geymayr, G. (1985). Todo lo Esencial del Concreto en su Bolsillo. 2da edición. Valencia, Venezuela. 164 p.
- ~ Mc Millan, F.y Tuthill, L. (1990). Cartilla del Concreto. Editorial Limusa. Primera edición. México. 79 p.
- ~ Neville, Adam. M.(1977). Tecnología del Concreto Tomo II. México.
- ~ NORMA COVENIN 254 "Cedazos de ensayo".
- ~ NORMA COVENIN 255-1998 "Agregados. Determinación de la composición granulométrica".
- ~ NORMA COVENIN 270-1998 "Agregados. Extracción de muestras para morteros y concretos".
- ~ NORMA COVENIN 338:2002 "Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto".
- ~ NORMA COVENIN 339 "Concreto. Método para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams".
- ~ NORMA COVENIN 1976:2003 "Concreto. Evaluación y métodos de ensayo".
- ~ NORMA COVENIN 1468-79 "Método para determinar el módulo de elasticidad (secante) en probetas cilíndricas de concreto".

- ~ NORMA COVENIN 1681:2005 *“Concreto Endurecido. Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico”*.
- ~ NORMA COVENIN 349 *“Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico, rendimiento y contenido de aire en el concreto”*.
- ~ Porrero, J. y otros. (2004) Manual del Concreto Estructural. Caracas: SIDETUR.
- ~ Sánchez de Guzmán, D.(2001). Tecnología del Concreto y del Mortero. Biblioteca de la Construcción; Bhandar Editores. Bogotá, Colombia.
- ~ Waddel, J. y Dobrowolski, J. (1997). Manual de la Construcción con Concreto. Tomo II, 3ra. ed: México: Edit. McGraw-Hill
- ~ Autor Desconocido. (1996). Estudio de Prospección de Áreas con Mineralización de Barita. Área Qda. El Chino- Río Pao, Estado Aragua FUNDACITE-ARAGUA
- ~ Revista Acero Latinoamericano - ILAFA, Septiembre - Octubre de 2003.

MATERIAL CONSULTADO EN INTERNET:

Vásquez Anni, (1999). Diseño de Mezclas de Concreto Pesado utilizando como agregado grueso Barita. [Resumen en línea]. Trabajo de grado de Pregrado, Universidad de Oriente. Disponible: http://www.biblioteca.anz.udo.edu.ve/cgi-win/be_alex.exe?Palabra=CONCRETO&Nombrebd=banztudo [Consulta: 2008, enero 6]

www.wikipedia.org/hormigon. [Consulta: 2008, enero 15]

www.fic.uni.edu.pe/construccion/concreto/Concreto%201/Concretos%20Especiales.ppt -CONCRETO ESPECIAL. [Consulta: 2008, enero 28].

<http://www.arquitectuba.com.ar/monografias-de-arquitectura/concretos-para-la-edificacion/>. [Consulta: 2008, enero 28].