

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CENIZAS VOLANTES PRODUCTO DE LA INCINERACIÓN DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN MEZCLAS DE CONCRETO DE BAJAS A MEDIAS RESISTENCIAS COMO SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Cabrera Socha, Yanina

Díaz López, José Manuel

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, 2010

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CENIZAS VOLANTES PRODUCTO DE LA INCINERACIÓN DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN MEZCLAS DE CONCRETO DE BAJAS A MEDIAS RESISTENCIAS COMO SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Cesar Peñuela

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Cabrera Socha, Yanina

Díaz López, José Manuel

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, 2010

Dedicado a mi familia,

“Gracias por la confianza y el apoyo”

Yanina Cabrera Socha

Dedicado a mis padres

Mireya y Manuel

Gracias por todo el amor que me han dado.

José Manuel Díaz

Agradecimientos

Alcanzar las metas fijadas forma parte del sentido que pueda tener nuestras vidas, esto implica cerrar un ciclo e iniciar otro, el cual siempre va impregnado de esperanza y motivación ya que representa una nueva oportunidad en la que esperamos equivocarnos lo menos posible; no obstante, el mayor aprendizaje se encuentra erradicado en las equivocaciones y es esta la parte más dura en el transitar hacia nuestros objetivos, sin embargo; debemos tener presente en todo momento que no estamos solos, tenemos personas maravillosas a nuestro alrededor dispuestas a tendernos la mano y a impulsarnos para seguir adelante.

Por tu amor incondicional, apoyo y por infundir valores y principios que me permiten avanzar cada día, gracias mamá.

Gracias abuela por estar siempre ahí, ser mi amiga, mi cómplice y por tu lucha sin desmayo para hacer de nosotros mejores personas.

Gracias Adolfo, por darme un lugar para poder completar mis estudios y siempre estar dispuesto a colaborar.

A mis hermanos, tías, madrina, primos y sobrinos gracias por las frases de aliento y por tanto cariño.

A mi gran amigo Willy Zambrano por la colaboración brindada en todo momento durante la realización de este trabajo especial de grado, por tu compañía y tus ocurrencias, gracias.

Gracias a mis compañeros y amigos: José Manuel Díaz, Liriana Gil, Naillett Sotillo, Yeison Palma, Christian Huanca y Francisco Castillo por la cooperación y los buenos momentos.

Yanina Cabrera Socha

Agradecimientos

Gracias a Dios por guiarme y fortalecerme en los momentos más difíciles, por ayudarme a encontrar el camino verdadero y hacer que se cumpla un sueño.

Gracias a mis padres Mireya y Manuel por todo el amor, apoyo y comprensión ofrecido siempre cuando más lo necesitaba, por hacer todo lo posible y hasta lo imposible para que yo alcanzara esta meta, que también es suya. Gracias por su sacrificio.

Gracias a mis hermanas Rowina, Fabiola y Cinthya por estar siempre a mi lado en todo momento y por el apoyo ofrecido incondicionalmente.

Gracias a mi amigo Christian Huanca por permitirme quedarme en su hogar y compartir con su familia, a su mamá la señora Gloria que siempre está pendiente del desayuno y a toda su familia por el buen trato que me dan, mis más sinceras gracias.

Gracias a mis amigas Naillet Sotillo y Gina Osuna que siempre me están apoyando en todo y dándome ánimos cuando ya no los tengo, siempre pensando en positivo.

Gracias a mi compañera de tesis Yanina Cabrera por su paciencia en los momentos difíciles, por sus panes con orégano y también por sus chistes malos jajaja.

Gracias a mi amigo Willy por su valiosa ayuda en la preparación de las mezclas y llevar parte de nuestras cargas sin pedir nada a cambio. Muy buen amigo. Gracias.

Gracias a los compañeros de clases Liriana Gil y Yeison Palma quienes con su compañía pasamos buenos momentos en el laboratorio, también a los profesores César Peñuela, Ronald Torres y Alba López por la ayuda prestada siempre en el momento.

José Manuel, Díaz López

Yanina Cabrera Socha

José M. Díaz López

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CENIZAS
VOLANTES PRODUCTO DE LA INCINERACIÓN DEL BAGAZO
DE CAÑA DE AZÚCAR EN MEZCLAS DE CONCRETO DE BAJAS
A MEDIAS RESISTENCIAS COMO SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL
CEMENTO**

**Tutor Académico: Prof. Cesar Peñuela. TESIS. Caracas, U.C.V. Facultad
de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. 2010. 118 Páginas.**

Palabras Clave: Cemento, Cenizas Volantes, Concreto, Asentamiento,
Resistencias Bajas, Resistencias Medias.

Resumen

En este Trabajo Especial de Grado se evaluó el comportamiento de mezclas de concreto con ceniza volantes de bagazo de caña de azúcar como sustituto parcial del cemento en porcentajes de 40, 45 y 50% para resistencias de diseño de 180 kgf/cm² y 250kgf/cm²; las cenizas empleadas se sometieron a un proceso de secado. Las mezclas se realizaron según la norma COVENIN 354:2001 y las propiedades evaluadas fueron: asentamiento, velocidad de propagación de ondas, peso unitario, resistencia a compresión a los 7, 14, 21 y 28 días y módulo de elasticidad. En concretos elaborados con ceniza, la resistencia a compresión disminuyó considerablemente; para las mezclas de diseño de 180 kgf/cm² se obtuvieron resistencias de 52 y 66 kgf/cm² y para las mezclas de 250 kgf/cm² resistencias de 103 y 130 kgf/cm². Concluyéndose que para la resistencia alcanzada y el bajo módulo de elasticidad obtenido, este concreto puede ser utilizado en trabajos ornamentales, en bases de pavimentos o en concreto compactado con rodillo en la construcción de presas de gravedad.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	2
I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
I.2 OBJETIVOS	4
I.2.1 <i>Objetivo General</i>	4
I.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	4
I.3 APORTES.....	5
CAPITULO II.....	6
II.1 MARCO TEÓRICO.....	6
II.1.1 <i>Antecedentes</i>	6
II.1.2 <i>Cemento Portland</i>	6
II.1.3 <i>Producción del Cemento Portland</i>	7
II.1.4 <i>Impacto ambiental por producción de cemento</i>	10
II.1.5 <i>Puzolanas</i>	10
II.1.6 <i>Tipos de Puzolanas</i>	11
II.1.7 <i>Cementos Puzolánicos</i>	12
II.1.8 <i>Ceniza de Combustible Pulverizado</i>	12
II.1.9 <i>La caña de azúcar</i>	13
II.1.10 <i>Complejo Azucarero el Palmar</i>	15
II.1.11 <i>Concreto</i>	17
II.1.12 <i>Diseño de mezcla</i>	18
II.1.13 <i>La ley de Abrams</i>	19
II.1.14 <i>Relación triangular</i>	20
II.1.15 <i>Concreto fresco</i>	20
II.1.16 <i>Reología del concreto</i>	20

II.1.17	Proceso de curado.....	23
II.1.18	Resistencias mecánicas	23
II.1.19	Resistencia a la compresión.....	24
II.1.20	Concreto Endurecido	24
CAPITULO III	28
III.1	MÉTODO.....	28
III.1.1	Caracterización de las cenizas volantes y agregados.....	29
III.1.2	Determinación del peso unitario suelto de las cenizas volantes.	29
III.1.3	Ensayo para determinar la consistencia normal de cementos hidráulicos. Según comité conjunto del concreto armado (CCCA: Ce 12).....	29
III.1.4	Tiempo de fraguado de cementos hidráulicos por la aguja de Vicat. Según comité conjunto del concreto armado (CCCA: Ce 11).....	30
III.1.5	Distribución granulométrica de los tamaños de partículas de agregados finos y gruesos. Según la Norma COVENIN N° 255-1998 “Agregados. Determinación de la composición granulométrica”	31
III.1.6	Diseño de las mezclas	31
III.1.7	Preparación de las mezclas según Norma COVENIN 354:2001 “Concreto. Método para mezclado en el laboratorio”	35
III.1.8	Mezclado de material.....	36
III.1.9	Colocación del material en las probetas y curado	36
III.1.10	Caracterización del concreto fresco	37
III.1.11	Caracterización del concreto endurecido	37
III.1.12	Peso unitario	37
III.1.13	Ensayo para determinar la propagación de ondas en el concreto Según Norma COVENIN 1681-1980 “Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto”	38
III.1.14	Ensayo a compresión de cilindros de concreto (Según Norma COVENIN N° 338) “Concreto. Método para la elaboración, y ensayo a compresión de cilindros de concreto curado”	39

III.1.15 Ensayo para determinar el módulo de elasticidad. Según Norma Venezolana COVENIN 1468-08 “Método de ensayo para determinar el modulo de elasticidad (secante) en probetas cilíndricas de concreto”	40
III.1.16 Comparación con mezclas patrones.....	41
CAPITULO IV	43
IV.1 RESULTADOS.....	43
IV.1.1 Ensayo de tiempo de fraguado.....	43
IV.1.2 Características de los agregados.....	47
IV.1.3 Diseño de mezclas.....	51
IV.1.4 Concreto Fresco.....	56
IV.1.5 Concreto Endurecido	57
IV.1.6 Comparación con las mezclas Patrones	87
IV.1.7 Fallas Obtenidas en el Ensayo de resistencia a la compresión..	90
CAPITULO V	91
V.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	91
V.1.1 Tiempo de fraguado	91
V.1.2 Asentamiento	91
V.1.3 Ensayos de Resistencia a Compresión.....	91
V.1.4 Velocidad de Ultrasonido	93
V.1.5 Peso Unitario	94
V.1.6 Módulo de Elasticidad	95
CAPITULO VI	96
VI.1 CONCLUSIONES	96
VI.2 RECOMENDACIONES	99
REFERENCIAS	100
APÉNDICES.....	102
<i>Apéndice 1. Diseño de Mezcla para $f'c=250 \text{ kgf/cm}^2$</i>	102

<i>Apéndice 2. Tabla de datos para ensayo de velocidad de propagación de ondas</i>	105
<i>Apéndice 3. Tabla para datos de peso unitario de las probetas</i>	105
<i>Apéndice 4. Tabla para recolección de datos del ensayo de resistencia a compresión de cilindros de concreto</i>	106
<i>Apéndice 5. Tabla para resultados del ensayo de Módulo de Elasticidad</i>	107
ANEXOS	108
<i>Anexo 1. Cenizas volantes de bagazo de caña</i>	108
<i>Anexo 2. Mezcladora de dos velocidades para el ensayo de la aguja de Vicat</i>	108
<i>Anexo 3. Aparato de Vicat. Según CCCa: Cel</i>	109
<i>Anexo 4. Ensayo de tiempo de fraguado</i>	109
<i>Anexo 5. Balanza para el pesaje de los materiales</i>	110
<i>Anexo 6. Preparación de materiales a mezclar</i>	110
<i>Anexo 7. Preparación de probetas</i>	111
<i>Anexo 8. Mezcladora de eje variable utilizada en el preparación de las mezclas</i>	111
<i>Anexo 9. Preparación de mezclas</i>	112
<i>Anexo 10. Ensayo del cono de Abrams</i>	112
<i>Anexo 11. Disposición de la mezcla en la carrucha para posterior transporte al lugar de vaciado</i>	113
<i>Anexo 12. Llenado y compactado en moldes cilíndricos</i>	113
<i>Anexo 13. Probetas encofradas</i>	114
<i>Anexo 14. Proceso de curado</i>	114
<i>Anexo 15. Probetas con capping</i>	115
<i>Anexo 16. Pesaje de probetas en balanza electrónica</i>	115
<i>Anexo 17. Medición con vernier</i>	116
<i>Anexo 18. Calibración del receptor de ondas</i>	116

<i>Anexo 19. Ensayo de pulso ultrasónico</i>	<i>117</i>
<i>Anexo 20. Ensayo de resistencia a la compresión</i>	<i>117</i>
<i>Anexo 21. Ensayo de módulo de elasticidad.....</i>	<i>118</i>

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA III.1.15.1.1. ENSAYO DE LA AGUJA DE VICAT. 0% DE CENIZAS.....	43
TABLA III.1.15.1.2. ENSAYO DE LA AGUJA DE VICAT CON 40% DE CENIZAS.....	44
TABLA III.1.15.1.3. ENSAYO DE LA AGUJA DE VICAT CON 45% DE CENIZAS.....	45
TABLA III.1.15.1.4. ENSAYO DE LA AGUJA DE VICAT CON 50% DE CENIZAS.....	46
TABLA III.1.15.1.1. AGREGADO FINO. RETENIDOS Y PASANTES.....	47
TABLA III.1.15.1.2. AGREGADO GRUESO. RETENIDOS Y PASANTES	49
TABLA III.1.15.1.1. PATRÓN PARA 1M ³	51
TABLA III.1.15.1.2 MP1.PATRÓN PARA 0,08 M ³	51
TABLA III.1.15.1.3. CV1.CON 40% DE CENIZAS PARA 0,08 M ³	52
TABLA III.1.15.1.4 CV2. CON 45% DE CENIZAS PARA 0,08 M ³	52
TABLA III.1.15.1.5 CV3. CON 50% DE CENIZAS PARA 0,08 M ³	52
III.1.15.1.6. TOTAL DE MATERIALES PARA 0.32 M ³	53
TABLA III.1.15.1.7 PATRÓN PARA 1M ³	53
TABLA III.1.15.1.8 MP2.PATRÓN PARA 0,08 M ³	54
TABLA III.1.15.1.9 CV4.CON 40% DE CENIZAS PARA 0,08 M ³	54
TABLA III.1.15.1.10 CV5. CON 45% DE CENIZAS PARA 0,08 M ³	55
TABLA III.1.15.1.11 CV6. CON 50% DE CENIZAS PARA 0,08 M ³	55
TABLA III.1.15.1.12 TOTAL DE MATERIALES PARA 0.32 M ³	56
TABLA IV.1.4.1.1 CONO DE ABRAMS.....	56
TABLA IV.1.5.1.1 ENSAYO DE VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS A LOS 7 DÍAS	57
TABLA IV.1.5.1.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO A LOS 7 DÍAS.....	58
TABLA IV.1.5.1.3 PESO UNITARIO DE LAS PROBETAS A LOS 7 DÍAS.....	59
TABLA IV.1.5.2.1 ENSAYO DE VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS A LOS 14 DÍAS	60
TABLA IV.1.5.2.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO A LOS 14 DÍAS.....	61
TABLA IV.1.5.2.3 PESO UNITARIO DE LAS PROBETAS A LOS 14 DÍAS.....	62

TABLA IV.1.5.3.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO A LOS 21 DÍAS	63
TABLA IV.1.5.3.2 PESO UNITARIO DE LAS PROBETAS A LOS 21 DÍAS	64
TABLA IV.1.5.4.1 ENSAYO DE VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS A LOS 28 DÍAS	65
TABLA IV.1.5.4.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO A LOS 28 DÍAS	66
TABLA IV.1.5.4.3 PESO UNITARIO DE LAS PROBETAS A LOS 28 DÍAS	67
TABLA IV.1.5.4.4 DATOS DE LA PROBETA EMPLEADA PARA EL ENSAYO	67
TABLA IV.1.5.4.5 RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD	68
TABLA IV.1.5.4.6 DATOS DE LA PROBETA EMPLEADA PARA EL ENSAYO	69
TABLA IV.1.5.4.7 RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD	69
TABLA IV.1.5.4.8 DATOS DE LA PROBETA EMPLEADA PARA EL ENSAYO	70
TABLA IV.1.5.4.9 RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD	70
TABLA IV.1.5.4.10 DATOS DE LA PROBETA EMPLEADA PARA EL ENSAYO	71
TABLA IV.1.5.4.11 RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD	71
TABLA IV.1.5.5.1 ENSAYO DE VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS A LOS 7.....	72
TABLA IV.1.5.5.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO A LOS 7 DÍAS	73
TABLA IV.1.5.5.3 PESO UNITARIO DE LAS PROBETAS A LOS 7 DÍAS	74
TABLA IV.1.5.6.1 ENSAYO DE VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS A LOS 14.....	75
TABLA IV.1.5.6.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO A LOS 14 DÍAS	76
TABLA IV.1.5.6.3 PESO UNITARIO DE LAS PROBETAS A LOS 14 DÍAS	77
TABLA IV.1.5.7.1 ENSAYO DE VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS A LOS 21.....	78
TABLA IV.1.5.7.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO A LOS 21 DÍAS	79
TABLA IV.1.5.7.3 PESO UNITARIO DE LAS PROBETAS A LOS 21 DÍAS	80
TABLA IV.1.5.8.1 ENSAYO DE VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS A LOS 28.....	81

TABLA IV.1.5.8.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO A LOS 28 DÍAS	82
TABLA IV.1.5.8.3 PESO UNITARIO DE LAS PROBETAS A LOS 28 DÍAS	83
TABLA IV.1.5.8.4 DATOS DE LA PROBETA EMPLEADA PARA EL ENSAYO	83
TABLA IV.1.5.8.5 RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD	84
TABLA IV.1.5.8.6 DATOS DE LA PROBETA EMPLEADA PARA EL ENSAYO	85
TABLA IV.1.5.8.7 RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD	85
TABLA IV.1.5.8.8 DATOS DE LA PROBETA EMPLEADA PARA EL ENSAYO	86
TABLA IV.1.5.8.9 RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD	86
TABLA IV.1.6.3.1. RESUMEN DE RESULTADOS PARA MEZCLAS DE $F'_{C}=180 \text{ KGF/CM}^2$..	88
TABLA IV.1.6.3.3 RESUMEN DE RESULTADOS PARA MEZCLAS DE $F'_{C}=250 \text{ KGF/CM}^2$...	89

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO II.1.5.1-2 FUENTE: FEDEAGRO. PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR 1998-2005	15
GRÁFICO IV.1.5.4-1 CURVA ESFUERZO – DEFORMACIÓN DE LA MEZCLA PATRÓN.....	68
IV.1.5.4-2 CURVA ESFUERZO – DEFORMACIÓN. MEZCLA CON 40% CV.....	69
GRÁFICO IV.1.5.4-3 CURVA ESFUERZO – DEFORMACIÓN. MEZCLA CON 45% CV	70
GRÁFICO IV.1.5.4-4 CURVA ESFUERZO – DEFORMACIÓN. MEZCLA CON 50% CV	71
GRÁFICO IV.1.5.8-1 CURVA ESFUERZO – DEFORMACIÓN. MEZCLA PATRÓN	84
GRÁFICO IV.1.5.8-2 CURVA ESFUERZO – DEFORMACIÓN. MEZCLA CON 45% CV	85
GRÁFICO IV.1.5.8-3 CURVA ESFUERZO – DEFORMACIÓN. MEZCLA CON 50% CV	86
GRÁFICO IV.1.6.1-1. TIEMPO DE FRAGUADO MEDIDO CON LA AGUJA DE VICAT	87
GRÁFICO IV.1.6.2-1. COMPARACIÓN DE ASENTAMIENTOS. ENSAYO: CONO DE ABRAMS	87
GRÁFICO IV.1.6.3-1. COMPARACIÓN PARA LAS MEZCLAS DE $f'c = 180 \text{ kgf/cm}^2$	88
GRÁFICO IV.1.6.3-2 COMPARACIÓN PARA LAS MEZCLAS DE $f'c = 250 \text{ kgf/cm}^2$	89

INTRODUCCIÓN

En el proceso de elaboración del cemento se producen ciertos contaminantes, por lo que se hace necesario buscar nuevas alternativas para mejorar los procesos industriales implicados en su elaboración y así contrarrestar el impacto ambiental, para tal fin es primordial abarcar todas las áreas del conocimiento, desde la búsqueda de nuevas tecnologías con el fin de mejorar los métodos industriales, hasta la búsqueda de materiales que puedan sustituir parcialmente el cemento y de alguna manera reducir su producción, con el fin de disminuir la contaminación y a su vez reducir los costos de producción. Disminuir dichos factores y buscar el modo de mantener los parámetros de calidad exigidos es un camino arduo que queda a merced de estudiantes y profesionales dedicados a la investigación en el área de la tecnología del concreto.

Este trabajo especial de grado está enmarcado en el ámbito de seguir explorando el camino recorrido por otros, continuando la búsqueda del material que pueda en las proporciones correctas cubrir las necesidades a los problemas planteados.

CAPITULO I

I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El concreto se ha empleado como material de construcción desde la antigüedad, comenzando con la elaboración de mezclas obtenidas al combinar agua con cementos puzolánicos los cuales son una composición de cal con elementos de origen volcánico que poseen capacidad cementante.

El éxito de los cementos primitivos incrementó su utilización y motivó el desarrollo de investigaciones con la finalidad de mejorar sus propiedades, evolucionando a lo que actualmente se conoce como cemento Portland, el cual es el más utilizado en la industria de la construcción.

Actualmente se estudia la posibilidad de emplear materiales puzolánicos con propiedades cementantes que puedan sustituir parcialmente al cemento en las mezclas de concreto, con la finalidad de reducir costos y disminuir el impacto ambiental que genera la producción y utilización del cemento.

Estudios realizados en desechos producidos por actividades agroindustriales como las cenizas de la hoja de maíz, la cascarilla de arroz y bagazo de caña, han demostrado que éstos poseen propiedades cementantes y que pudieran ser utilizados como sustituto parcial del cemento.

La factibilidad del uso de la cáscara de arroz como material puzolánico fue comprobada por el Ing. Idalberto Águila Arbolález (2001), quien en sus investigaciones obtuvo un producto que cumple con los parámetros de calidad exigidos en las normas. A esta investigación se unió la Ing. Milena Sosa Griffin (2005), pero en este caso se utilizó la hoja de maíz obteniéndose resultados similares.

En Venezuela existen 15 centrales azucareros, en los cuales se generan aproximadamente 6 millones de toneladas de caña de azúcar, según registros del año

CAPITULO I.

en curso. En el actual proceso de elaboración de azúcar, un 30% del tonelaje de caña que entra a las centrales se convierte en cenizas; es decir, se producen aproximadamente 2 millones de toneladas de cenizas, esto indica que el país cuenta con una fuente segura y económica de material puzolánico y debido a su manera de producción el material resultante es muy fino, por lo que su disposición final le causa graves problemas a la plantas azucareras, ya que se convierte en un factor contaminante.

El empleo de las cenizas de bagazo de caña como material puzolánico dependerá de las propiedades físicas, reológicas y mecánicas que presente la mezcla de concreto al realizar los ensayos de laboratorio pertinentes; asociado a esto, surge la siguiente interrogante: ¿Qué efectos produce en las propiedades del concreto la sustitución parcial del cemento por cenizas volantes provenientes de la incineración del bagazo de caña?

Para responder esta interrogante se tomará como objetivo principal del trabajo especial de grado, evaluar del efecto de la adición de cenizas volantes, producto de la incineración del bagazo de caña de azúcar en mezclas de concreto de bajas a medias resistencias como sustitución parcial del cemento.

I.2 OBJETIVOS

I.2.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de la adición de cenizas volantes producto de la incineración del bagazo de caña de azúcar en mezclas de concreto de bajas a medias resistencias como sustitución parcial del cemento.

I.2.2 Objetivos Específicos

1. Diseñar mezclas para concretos de resistencias de 180 kgf/cm^2 y 250 kgf/cm^2 con cenizas volantes como sustituto parcial del cemento Portland en porcentajes de 40% a 50%.
2. Caracterizar las mezclas de concreto con cenizas volantes en estado fresco, tomando en cuenta los parámetros de trabajabilidad y retracción.
3. Caracterizar las mezclas de concreto con cenizas volantes en estado endurecido, tomando en cuenta el desarrollo de resistencia, peso unitario, velocidad de propagación de onda y deformabilidad.
4. Contrastar los resultados obtenidos con valores de mezclas patrones.

CAPITULO I.

I.3 APORTES

El empleo de cenizas volantes provenientes de la incineración del bagazo de caña de azúcar como sustituto parcial del cemento en las mezclas de concreto, constituye una medida contra la degradación ambiental que genera la producción masiva del cemento debido al alto consumo de recursos naturales, energéticos y las emisiones de CO₂, lo cual compromete la utilización de este material de construcción.

Al usar las cenizas de bagazo de caña se reduce la cantidad de este desecho proveniente de la actividad agrícola, el cual una vez producido queda libre en el ambiente actuando como otro factor de deterioro ambiental.

En las últimas décadas se ha cuestionado el uso del cemento debido a su alto costo; de ser factible la utilización de cenizas de bagazo de caña como sustituto parcial del cemento, se tendría una disminución en la de producción del mismo; lo cual representa una ventaja para la industria de la construcción y el ambiente.

Por otra parte, la evaluación de mezclas de concreto realizadas con cenizas de bagazo de caña como sustituto parcial del cemento contribuye a ampliar el conocimiento adquirido en investigaciones llevadas a cabo en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela.

CAPITULO II

II.1 MARCO TEÓRICO

II.1.1 Antecedentes

Ciertos materiales puzolánicos han sido caracterizados para detectar su factibilidad de uso en las mezclas de concreto como sustituto parcial del cemento con el fin de mejorar las propiedades de dichas mezclas y reducir el consumo de cemento ya que su alto costo y su producción genera gran impacto ambiental.

Existen normativas que establecen las condiciones de uso de materiales puzolánicos de acuerdo a estudios realizados, que han llevado al desarrollo de nuevas tecnologías y al mismo tiempo han ampliado el área de conocimiento en la tecnología del concreto. El aporte al conocimiento se alimenta con el progreso de investigaciones tales como trabajos especiales de grado, investigaciones privadas, búsqueda de alternativas a problemas específicos que abarcan desde lo económico a lo ecológico. En la Universidad Central de Venezuela, los estudiantes Jorge Palomino, María Karina Amigo y Elena González realizaron previamente trabajos especiales de grado, en los cuales se evaluó el efecto de la sustitución parcial del cemento en 5%, 10% y 15% por cenizas de bagazo de caña para mezclas de concreto de bajas a medias resistencias y de medias a altas como parte de una investigación promovida en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales por los ingenieros Ronald Torres y Felipe Odenhal.

II.1.2 Cemento Portland

El cemento Portland, según la Norma COVENIN 28-2003, “*Cemento Portland. Requisitos*” es el producto obtenido por la pulverización de Clinker Portland, el cual consiste esencialmente en silicatos de calcio hidráulico, con la adición de agua y sulfato de calcio.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

II.1.2.1.1 Clasificación del Cemento Portland

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

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

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

Tipo III: Construcciones que requieran altas resistencias iniciales.

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

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

II.1.3 Producción del Cemento Portland

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

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

II.1.3.1 Extracción en Cantera: se extrae de la cantera la roca caliza, principal materia prima para la elaboración del cemento.

II.1.3.2 Trituración de Materias Primas: estas piedras de gran tamaño son transportadas por camiones a la planta de trituración y través de estas trituradoras se reducen las rocas a un tamaño adecuado para su posterior procesamiento.

II.1.3.3 Conformación de Escombreras

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

II.1.3.4 Acopio de Materias Primas

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

II.1.3.5 Molienda de Crudo

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

II.1.3.6 Acopio en Silos de Crudo

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

II.1.3.7 Precalcinación de Harina Cruda

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

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

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

II.1.3.8 Clinkerización

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

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

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

II.1.3.9 Enfriamiento de Clinker

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

II.1.3.10 Acopio del Clinker

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

II.1.3.11 Molienda de Cemento

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

II.1.3.12 Ensayo y Despacho a Granel

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

II.1.3.13 Embolsado de Cemento: Los silos de cemento permiten alimentar las embolsadoras automáticas y el despacho a granel.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

II.1.3.14 Consistencia Normal del Cemento

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

II.1.4 Impacto ambiental por producción de cemento

El impacto ambiental de la industria cementera ocurre en mayor magnitud en los procesos de obtención del clinker; especialmente en el proceso de calcinación, puesto que los grandes hornos requieren una enorme cantidad de energía para conseguir temperaturas superiores a los 1400°C, expulsando todo tipo de emisiones como partículas de polvo, gases como dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido y dióxido de carbono sin olvidar los cloruros, fluoruros y compuestos orgánicos tóxicos. La producción de cemento es una fuente de emisión de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera, un gas que potencia el efecto invernadero.

II.1.5 Puzolanas

Según la Norma COVENIN 483-1992, "*Cementos y sus constituyentes. Definiciones*", se define como puzolanas el producto natural que, finamente molido, es capaz de fijar cal a temperatura ambiente, en presencia de agua, formando compuestos con propiedades hidráulicas.

El término puzolana es también aplicado a materiales silíceos o alúmino – silíceo, de origen natural o artificial que por sí mismos pueden tener poca o ninguna actividad hidráulica pero que, finamente divididos y en presencia de agua, reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.

II.1.5.1 Propiedades químicas de las puzolanas

Las puzolanas están compuestas principalmente por Aluminosilicatos (Dióxido de Silicio, SiO₂ + Óxido de Aluminio, Al₂O₃): que alcanzan entre un 76% y

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

82%, según el tipo de puzolana. El elemento más importante en las cenizas es el contenido de Sílice (SiO_2).

También contienen Oxido Férrico (Fe_2O_3), Oxido de Calcio (CaO) y Óxido de Potasio (K_2O), los que, en conjunto con los dos elementos anteriores, ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{K}_2\text{O}$) componen entre un 85% y 95% de la masa total de la puzolana.

El restante 5% a 15% de la puzolana está compuesta por otros diversos tipos de Oxido, como el de Magnesio (MgO), de Sodio (Na_2O), de Potasio (K_2O), de Titanio (TiO_2), de Fósforo (P_2O_5) y de Manganeso (Mn_2O_3), tal como se muestra en la siguiente tabla genérica.

Al trabajar con cenizas de bagazo de caña de azúcar se debe tener en lo posible un control riguroso de pérdidas al fuego y de porcentaje de humedad de las cenizas.

II.1.6 Tipos de Puzolanas

Existen dos tipos de puzolanas, naturales y artificiales. Las puzolanas naturales son rocas que se encuentran en la naturaleza y para utilizarlas es preciso triturarlas, es la más usada en este grupo. Las puzolanas naturales también pueden ser encontradas en forma de ceniza o escoria. Las puzolanas artificiales se obtienen a partir de la trituración y cocción de arcillas o rocas sedimentarias sometidas a un posterior enfriamiento rápido, también se obtienen de subproductos industriales como las escorias metalúrgicas y las cenizas volantes.

Actualmente, las puzolanas se utilizan como aditivos para conferir más propiedades hidráulicas a los cementos, pero estas ya se conocían en la época de los romanos, de hecho la utilización de las puzolanas naturales, básicamente procedentes de rocas volcánicas les permitía obtener cal hidráulica y preparar las conocidas argamasas que eran morteros de cal que se utilizaban para la realización de obras de carácter civil como caminos, puentes, acueductos, etc.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

II.1.7 Cementos Puzolánicos

El Cemento puzolánico es una mezcla de cemento Portland y puzolanas naturales o artificiales. Este tipo de cemento es de mayor resistencia a los agentes químicos, se caracteriza por desarrollar menos calor al fraguar, tener menor dilatación y ser más impermeable que el Cemento Portland, disminuyendo la exudación y segregación.

II.1.8 Ceniza de Combustible Pulverizado

Comparando los procesos de producción de ceniza de combustible pulverizado, más conocida como ceniza volante, y de cemento Portland ordinario, queda claro por qué razón la ceniza de combustible pulverizado puede emplearse como sustituto parcial de éste último. El carbón de piedra finamente molido es inyectado a gran velocidad con un chorro de aire caliente (aproximadamente. 1400°C) en un horno en las estaciones de generación de electricidad. El contenido carbónico se quema instantáneamente, y la materia restante (que comprende sílice, alúmina y óxido de hierro) se funde en suspensión, formando finas partículas esféricas por el rápido enfriamiento mientras son llevados por los gases de combustión.

En la producción de cemento Portland ordinario, la piedra caliza y la arcilla, finamente molidas y mezcladas, son alimentadas en un horno giratorio inclinado, en el cual se forma clinker a 1450°C. El clinker enfriado se muele finamente y se mezcla con yeso para producir cemento Portland ordinario. Dependiendo del tipo de carbón de piedra, la ceniza de combustible pulverizado contiene diversas proporciones de cal, la ceniza de combustible pulverizado de poca cal es puzolánica y la ceniza de combustible pulverizado con mucha cal tiene propiedades cementantes en si misma igual que en otras puzolanas, la cal liberada por la hidratación del cemento Portland ordinario se combina con la ceniza de combustible pulverizado para actuar como un material cementoso. Las partículas esféricas, huecas, vidriosas de ceniza de

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

combustible pulverizado tienen la misma finura que el cemento Portland ordinario, por lo que no es necesaria una mayor molienda. La adición de ceniza de combustible pulverizado genera un concreto fresco más trabajable (probablemente debido al efecto de cojinete de bolas de las partículas esféricas) y homogéneo (dispersando el cemento y distribuyendo uniformemente el agua).

Otras ventajas de emplear la ceniza de combustible pulverizado son:

- Se desarrollan mayores resistencias que en el concreto sin ceniza de combustible pulverizado con el incremento del tiempo.
- La ceniza de combustible pulverizado no influye negativamente el comportamiento estructural de las piezas de concreto.
- Comparada con el concreto de cemento Portland ordinario, el concreto de ceniza de combustible pulverizado es más liviano, menos permeable (debido a su compactación más densa) y con un mejor acabado
- El concreto de ceniza de combustible pulverizado es además más resistente al ataque del sulfato y a la reacción sílice-álcali.
- Los concretos en los cuales se reemplaza entre 35 a 50% del peso de cemento Portland ordinario por ceniza de combustible pulverizado han mostrado buen comportamiento.
- Los áridos derivados de la ceniza volátil muestran una excelente adhesión en concretos de ceniza de combustible pulverizado, contribuyendo favorablemente a su comportamiento y durabilidad.

II.1.9 La caña de azúcar

La caña de azúcar es una planta proveniente del sudeste asiático. La expansión musulmana supuso la introducción de la planta en territorios donde hasta entonces no se cultivaba. Así llegó al continente europeo, más en concreto a la zona costera entre

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

las ciudades de Málaga y Motril, siendo esta franja la única zona de Europa donde arraigó. Posteriormente los españoles llevaron la planta, primero a las Islas Canarias, y luego a América. Así este cultivo se desarrolló en países como Brasil, México, Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela, que se encuentran entre los mayores productores de azúcar del mundo

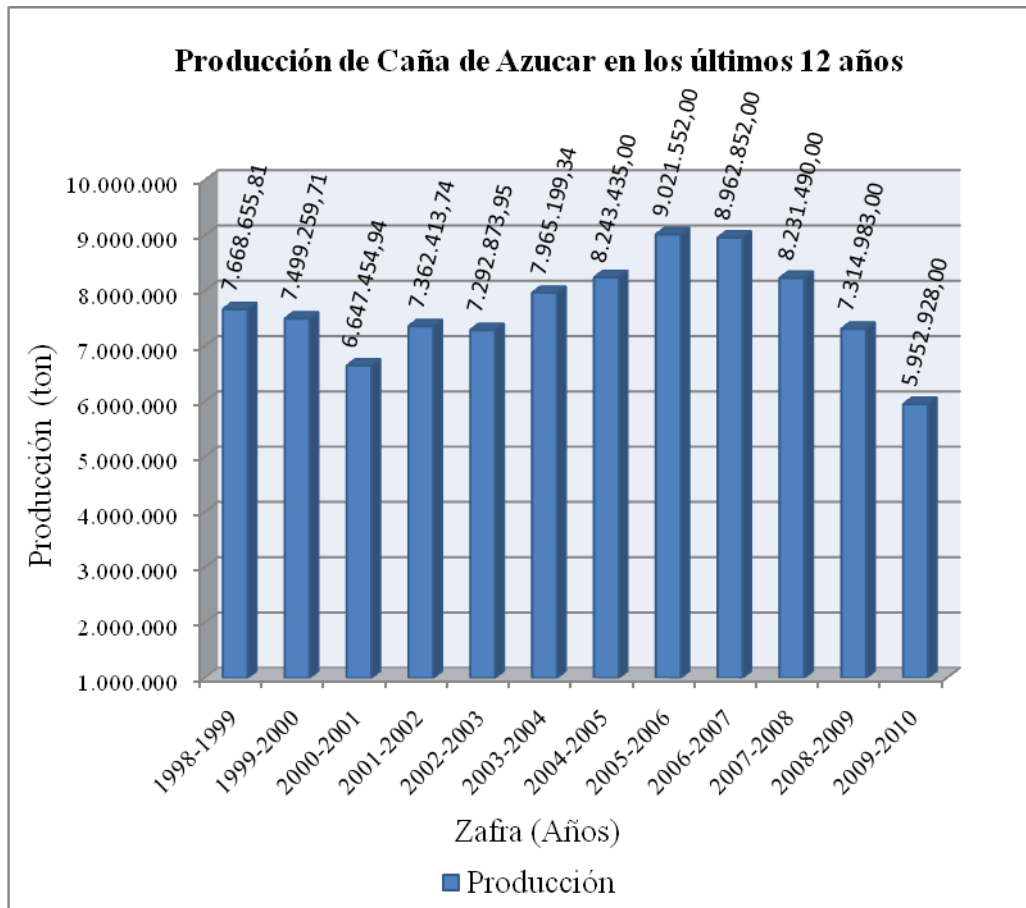
El procesamiento de la caña de azúcar en Venezuela a nivel de centrales azucareros data de los años 40, así como el inicio de la modernización e industrialización de este sector. Asimismo, este rubro se encuentra distribuido en casi todas las zonas agrícolas del país: Aragua, Carabobo, Cojedes, Lara, Yaracuy, Portuguesa, Barinas, Sucre, Zulia, Táchira y Trujillo.

El desarrollo de la caña de azúcar depende en gran medida de la luz solar, razón por la cual su cultivo se realiza en las zonas tropicales que poseen un brillo solar alto y prolongado.

La caña de azúcar, se propaga mediante la plantación de trozos de caña, de cada nudo sale una planta nueva idéntica a la original. Una vez cultivada, la planta crece y acumula azúcar en su tallo, el cual se corta cuando está maduro. La planta retoña varias veces y puede seguir siendo cosechada, estos cortes sucesivos son conocidos como zafras, en Venezuela el periodo de zafra puede durar aproximadamente 6 meses.

Con carácter referencial, en el **GráficoII.1.5.1-1** “Fuente: Fedeaagro. *Producción de caña de azúcar 1998-2005*”, se muestra la producción de caña de azúcar en Venezuela para los últimos 12 años (1998-2010). Por ser el 2010 el año en curso sólo se presentan valores estimados para la última zafra.

GráficoII.1.5.1-2 Fuente: Fedegro. Producción de caña de azúcar 1998-2005



II.1.10 Complejo Azucarero el Palmar

El Central El Palmar, S.A. se estableció en 1955 en la Hacienda El Palmar e hizo su primera zafra en 1956, hasta la fecha ha molido 45 zafras en total.

Su capacidad de molienda original fue de 3.600 toneladas de caña por día y actualmente la capacidad de molienda es de 9.000 toneladas de caña por día.

El central tiene una capacidad de producción de más de 100.000 tonelada de azúcar por zafra para las cuales requiere moler algo más de un millón cien mil toneladas de caña, a razón de 7.000 a 8.000 toneladas por día, desde Noviembre a

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

principios de Mayo. Además, refina otras 260.000 toneladas de azúcar crudo y otras materias primas.

La caña molida por este central es cultivada en más de 13.200 hectáreas por 386 productores independientes en los estados Aragua, Carabobo, Guárico, Cojedes, Miranda y Yaracuy, donde el 47% proviene de Aragua.

Su capacidad total de producción llega así a 260.000 toneladas refinadas por año.

II.1.10.1 Manejo de sólidos en El Palmar

El principal contaminante sólido es el bagazo de caña; éste es principalmente desmedulado y utilizado en la producción de tableros, otra parte en forma de pellets es utilizada como base en la fabricación de alimentos animales. Otra parte importante es incinerada aprovechándolo para la producción de vapor y con éste generar energía en forma de vapor de agua.

Otro de los elementos de este grupo es lo que comúnmente se llama tierra, y que no es más que una mezcla del bagazo retirado debajo de la mesa de los molinos con su jugo residual y la tierra que viene con la caña, una parte retirada en el molino y otra parte retirada en la fábrica con la cachaza, es devuelta a los campos, después de pasar por un proceso de maduración o compostaje, para mejorar la estructura y fertilidad del suelo.

Un tercer grupo, lo componen residuos como papeles, cartones, envoltorios de las materias primas utilizadas en el proceso, residuos generados por la misma actividad humana; para lo cual se dispone de sitios especiales para su disposición final donde se les da el manejo correspondiente a todo aquello que no es posible reciclar.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

II.1.11 Concreto

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

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

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

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

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

II.1.12 Diseño de mezcla

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

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

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

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

Inevitablemente los diseños de mezclas tienen cierto grado de imprecisión debido a que las variables que condicionan la calidad y el comportamiento del concreto son numerosas y difíciles de precisar. Los ajustes que puedan dar más exactitud a las proporciones de los componentes sólo pueden conseguirse mediante mezclas de prueba, tanto de laboratorio como de obra. (Porrero, 2008).

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

II.1.13 La ley de Abrams

La ley de Abrams representa la relación existente en la relación agua/cemento en peso y la resistencia media a la compresión.

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

Donde:

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

M, N= constante.

α : relación agua/ cemento en peso

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

Hoy, a casi un siglo de su formulación, el principio de la Ley de Abrams sigue teniendo aplicación, pero han surgido condiciones tecnológicas que obligan a establecer ciertos tipos de correctivos. Tal es el caso cuando se emplean adiciones como las puzolanas, las cenizas volantes y otras, que tienen actividad cementante. Su contenido debe ser tomado en cuenta para establecer el verdadero valor de α que, en estos casos, es la relación entre el agua y el contenido de cemento incluyendo aquellas proporciones activas cementantes de cada una de las sustancias citadas que estén presentes. (Porrero, 2008).

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

II.1.14 Relación triangular

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

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

Donde:

C: Dosis de cemento (kgf/m³)

α : Relación agua/cemento en peso

T: Asentamiento en el Cono de Abrams (cm)

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

II.1.15 Concreto fresco

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

II.1.16 Reología del concreto

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

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

II.1.16.1 Fluidez

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

Consistencia es la condición de tieso y se puede considerar el antónimo de fluidez. (Porrero, 2008)

II.1.16.2 Compactibilidad

Cuando la mezcla es vibrada se hace más fluida y puede así distribuirse más uniformemente, envolviendo bien las armaduras y ocupando todas las sinuosidades del encofrado. Esta propiedad se conoce como tixotropía: endurecimiento en reposo y fluidificación en movimiento y es la característica que permite la compactibilidad de la mezcla y su adaptación al molde. (Porrero, 2008)

II.1.16.3 Estabilidad a la segregación

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

II.1.16.4 Trabajabilidad

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

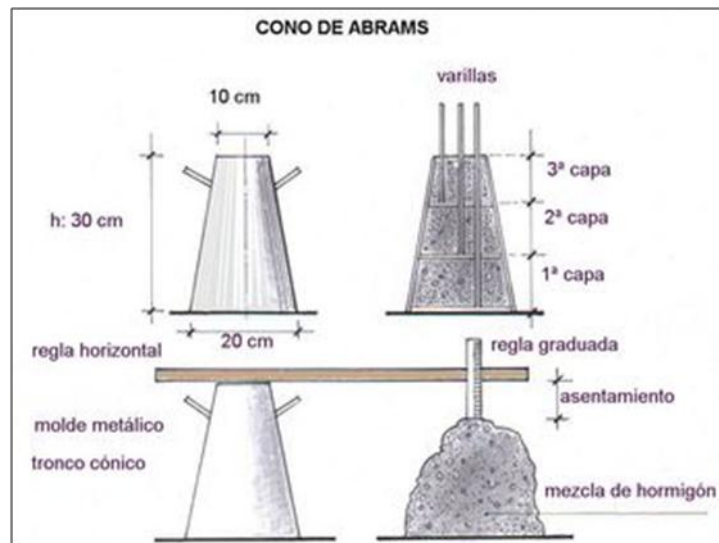
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

II.1.16.5 Cono de Abrams

Es un molde construido de un material rígido e inatacable por el concreto, con un espesor mínimo de 1,5 mm. Su forma interior debe ser la de un tronco de cono, de (200 ± 3) mm de diámetro de base mayor, (100 ± 3) mm de diámetro de base menor y (300 ± 3) mm de altura. Las bases deben ser abiertas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cono. Este cono se utiliza para medir el asentamiento de concreto en estado fresco, siendo útil sólo para concretos con agregados pétreos. El rango de asentamiento que contempla el procedimiento va desde $\frac{1}{2}$ " (15 mm) a 8" (203 mm) y no es aplicable para mezclas donde existan cantidades agregados mayores de $1 \frac{1}{2}$ " (3,75 cm.)

El molde a emplear (*Ilustración II.1.16.5.1. Cono de Abrams. Medición del asentamiento*) debe estar provisto de asas y aletas. El interior del molde debe ser relativamente suave y sin protuberancias, tales como remaches. Este debe estar acompañado de una Barra compactadora la cual debe ser de acero, recta, cilíndrica y lisa, de 16 mm de diámetro, 600 mm de longitud aproximada, con el extremo semiesférico de 8 mm de radio.

Ilustración II.1.16.5.2. Cono de Abrams. Medición del asentamiento



CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

II.1.17 Proceso de curado

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

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

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

II.1.18 Resistencias mecánicas

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

Para detectar o comparar calidades resistentes de cementos con base en el ensayo de probetas de concreto, las mezclas deben ser estrictamente iguales en todos los aspectos, incluidas las condiciones del ensayo, excepto naturalmente, el cemento

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

que se desea comparar, sin embargo no es práctico ni económico realizar el control de todos los estados tensionales, por lo que se acostumbra a realizar el ensayo destructivo a compresión simple en probetas normalizadas y a partir de los resultados obtenidos se infieren los valores de otras características mecánicas tales como la resistencia a la tracción o al corte.

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

II.1.18.1 Resistencia a la compresión

Es la característica mecánica más importante del concreto, pues sirve para juzgar su calidad y para determinarla se emplea el promedio de los resultados de ensayos validos, sobre un conjunto de probetas normalizadas, en una fecha determinada y siguiendo un procedimiento establecido. Se hace referencia a ensayos validos porque eventualmente el resultado de alguna o varias probetas pueden ser rechazados por ciertas anormalidades. Se debe trabajar siempre con un conjunto mínimo de probetas para contar con una confiabilidad estadística, el número mínimo acostumbrado suele ser tres por cada edad y condición de ensayo. El número de muestras es variable dependiendo del grado de probabilidad esperado, de la importancia de la obra y de la precisión con la que se ha venido trabajando. (Porrero, 2008)

II.1.19 Concreto Endurecido

II.1.19.1 Peso Unitario

Se calcula al dividir el peso del material entre el volumen que este ocupa. En el sistema técnico, se mide en kilopondios por metro cúbico (kp/m^3). En el Sistema Internacional de Unidades, en newton por metro cúbico (N/m^3). (Porrero, 2008)

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

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

Donde:

PU: Peso unitario (kg/dm³)

P: Peso del material (kg)

V: Volumen que ocupa el material (dm³)

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

II.1.19.2 Inspección Visual

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

II.1.19.3 Velocidad de pulso ultrasónico

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

La velocidad de pulso puede ser afectada por la presencia de grietas o vacíos y sufrir desviación en las discontinuidades modificando el tiempo de viaje. Una aparente disminución de la velocidad no siempre es debida a una baja resistencia

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

puesto que existen otros factores distintos a la resistencia que afectan la velocidad de pulso como: el contenido de humedad, el proceso de curado, entre otros.

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

II.1.19.4 Clasificación del concreto según su velocidad ultrasónica

$V > 4575$ Excelente

$4575 > V > 3660$ Bueno

$3660 > V > 3050$ Cuestionable

$3050 > V > 2135$ Pobre

$V < 2135$ Muy pobre

Donde,

V: Velocidad en m/s

II.1.19.5 Relación tensión-deformación unitaria (f-e)

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

II.1.19.6 Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad (E_c) se define como una relación entre la tensión aplicada y la deformación unitaria producida. Para el rango elástico, la tensión (f) se mide en kgf/cm^2 y la deformación unitaria (ϵ) es adimensional (mm/mm), por lo que las unidades de módulo son las mismas que las de la tensión.

El concreto no es un material perfectamente elástico que se ajuste a la Ley de Hooke. En cualquiera de los rangos de carga presenta los dos comportamientos:

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

elástico y plástico; al retirar la carga que se le aplico sólo recupera parcialmente la deformación alcanzada.

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

CAPITULO III

III.1 MÉTODO

En este capítulo se presenta de manera explícita las acciones llevadas a cabo en la ejecución del trabajo especial de grado, las cuales hacen referencia un conjunto de ensayos y actividades complementarias, necesarias para el análisis completo de las mezclas patrones y de las mezclas realizadas con 40, 45 y 50% de cenizas volantes de bagazo de caña de azúcar como sustituto parcial del cemento y posteriormente establecer comparaciones con la finalidad de describir el comportamiento de las cenizas como material de construcción.

Los procesos necesarios para alcanzar los objetivos propuestos serán definidos a continuación en seis etapas, partiendo desde el estudio de los agregados finos y gruesos, determinando su granulometría, peso específico y capacidad de absorción; estos datos condicionan el diseño de mezcla, en el cual se determinaron las cantidades de los materiales que la componen, también se calculó el volumen representado por cada porcentaje de ceniza y realizar la sustitución del cemento. Luego se procedió al pesado de los componentes para iniciar el mezclado, caracterizar la mezcla en estado fresco y vaciar en moldes cilíndricos que al cumplir su tiempo de fraguado, pasaron al lapso de curado y finalmente fueron caracterizados en estado endurecido.

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

CAPITULO III. MÉTODO

III.1.1 Caracterización de las cenizas volantes y agregados

Las cenizas fueron sometidas a un proceso de secado en el horno a una temperatura de 80 °C por 48 horas.

III.1.2 Determinación del peso unitario suelto de las cenizas volantes

Se tomó un recipiente de volumen y peso conocido, el cual se llenó de cenizas hasta su máxima capacidad sin compactar, luego se enrasó la superficie y se pesó el recipiente con la muestra.

El peso unitario suelto fue determinado por la siguiente ecuación:

$$PU_{cenizas} = \frac{W_{recipiente+muestra} - W_{recipiente}}{V_{recipiente}}$$

III.1.3 Ensayo para determinar la consistencia normal de cementos hidráulicos.

Según comité conjunto del concreto armado (CCCA: Ce 12)

Para dar inicio al ensayo de consistencia del cemento se verificó que el recipiente y la paleta de mezclado estuvieran completamente secos, luego se preparó una pasta mezclando 400 g de cemento con una cantidad de agua conocida.

III.1.3.1 Preparación de la pasta:

Se añadió el cemento y el agua en el recipiente de mezclado, pasados 30 s, se hizo funcionar la mezcladora a una velocidad de 140 rpm y se mezcló durante 30 s.

Luego, se detuvo la mezcladora por espacio de 15 s para incorporar el material adherido a la paleta y a las paredes del recipiente.

Se puso en funcionamiento la mezcladora por 1 min, esta vez a una velocidad de 290 rpm.

CAPITULO III. MÉTODO

Seguidamente se procedió al moldeo de la pasta, para esto se tomó la pasta y se formó una esfera, esta esfera se arrojó 6 veces de una mano a la otra manteniendo una separación aproximada de 15 cm, luego se dispuso la pasta en un molde tronco cónico, el cual se hizo descansar por su extremo mayor sobre una placa de vidrio H y se enrasó la superficie de la mezcla en el extremo menor.

III.1.3.2 Determinación de la consistencia

La pasta confinada en el molde se centró debajo de la barra B, (*Anexo 1. "Aparato de Vicat. Según CCCa: Ce12"*), cuyo extremo en émbolo, C, se colocó en contacto con la superficie de la pasta.

Se calibró el aparato moviendo el indicador F hasta marcar cero y luego se soltó la barra para medir la penetración de la aguja en la mezcla 30 minutos después de haberse completado el mezclado.

Se realizaron tres mezclas empleando distintas cantidades de agua, antes de obtener la consistencia normal.

III.1.4 Tiempo de fraguado de cementos hidráulicos por la aguja de Vicat. Según comité conjunto del concreto armado (CCCA: Ce 11).

Para este ensayo se utilizó una mezcla de cemento con la cantidad de agua determinada en el ensayo de consistencia realizado.

Inmediatamente después de mezclar la pasta de cemento se colocó en el recipiente cónico truncado hasta llenar todo su volumen, teniendo cuidado de no dejar oquedades. Por último se enrasó la cara del cono con menor superficie con una espátula.

Después del moldeo se colocó la aguja en contacto con la superficie de la pasta de cemento y se mantuvo la probeta durante 30 min sin perturbarla; transcurrido este tiempo se determinó la penetración en ese momento, luego se tomaron

CAPITULO III. MÉTODO

mediciones cada 15 minutos, teniendo en cuenta que la separación entre puntos de penetración no fuese menor de 6 mm y que la distancia de los puntos de penetración cercanos al borde interior no fuese menor que 10 mm.

El ensayo fue realizado análogamente para las distintas combinaciones cemento-ceniza.

III.1.5 Distribución granulométrica de los tamaños de partículas de agregados finos y gruesos. Según la Norma COVENIN N° 255-1998 “Agregados. Determinación de la composición granulométrica”.

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

Los agregados finos y gruesos empleados fueron donados por la Fábrica Nacional de Cemento (FNC); por tanto, al momento de la donación, fueron proporcionados los resultados de los ensayos de calidad pertinentes, los cuales se anexan en el presente trabajo.

III.1.6 Diseño de las mezclas

Se empleó el método descrito en el Manual del Concreto Estructural de Joaquín Porrero (2008), por ser este un procedimiento que ha tenido excelentes resultados tanto en laboratorios como en plantas de preparación comercial de concreto; es un método organizado y sistemático que admite la utilización de agregados poco controlados y puede ser aplicado por profesionales con relativa poca experiencia.

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

CAPITULO III. MÉTODO

1. Se programó una hoja de cálculo haciendo uso de la herramienta Excel para el diseño de una mezcla patrón, luego esta programación fue adaptada a las demás mezclas.
2. Al iniciar la programación se establecieron los parámetros de entrada, los cuales constituyen la información básica para llegar a la dosificación de las mezclas deseadas, estos parámetros son:
 - Tipo de agregado fino y grueso.
 - γ_a, γ_g : Peso específico del agregado fino y grueso.
 - ω_a, ω_g : Humedad del agregado fino y grueso.
 - Ab_a, Ab_g : Absorción del agregado fino y grueso.
 - P: Tamaño máximo del agregado grueso.
 - $f'c$ ó R_{28} : Resistencia media a la compresión del concreto a los 28 días.
 - T: Asentamiento esperado.
 - β : Relación que denota el contenido de arena con relación al agregado total $A/(A+G)$.
 - CV: Porcentajes de Cenizas Volantes.
3. Se calculó la resistencia promedio requerida para concretos con $f'c \leq 350$ kgf/cm² según la Norma COVENIN 1753-87 ***“Proyecto y construcción de obras en concreto estructural”***

$$Fcr = f'c + 1,34 * \sigma$$

Donde,

Fcr: Resistencia promedio requerida

CAPITULO III. MÉTODO

F'c: resistencia a la compresión

$\sigma = 40 \text{ kgf/cm}^2$ y representa la desviación estándar para un control intermedio.

4. Luego se calculó la relación agua/cemento (α) mediante la ecuación:

$$\alpha = 3,147 - 1,065 * \log R_{28}$$

5. Esta relación fue corregida en función del tamaño máximo (K_R) y el tipo de agregados (K_A) empleados, obteniéndose la relación agua/ cemento corregida (α_c) mediante la ecuación:

$$\alpha_c = \alpha * K_R * K_A$$

6. Con α_c se calculó la cantidad de cemento (C) a incorporar en la mezcla tomando en cuenta la relación triangular, seguidamente ésta relación fue corregida (C_c) por tamaño máximo (C_1) y por tipo de agregados (C_2):

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

$$C_c = C * C_1 * C_2$$

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

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

$$a = C_c * \alpha_c$$

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

CAPITULO III. MÉTODO

- Peso específico de los agregados combinados

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

- Cantidad total de agregados:

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

- Cantidad de agregado fino y grueso:

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

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

9. El método de diseño de mezclas adoptado considera que los agregados se encuentran en la condición de humedad ideal, pero en la práctica ésta condición no se presenta, pues los agregados pueden estar en cualquier condición. Por tal motivo fue necesario realizar la corrección por humedad.

- Peso de agregado saturado con superficie seca:

$$A_{SSS} = \frac{A * (100 + Ab_a)}{100 + W_a}$$

$$G_{SSS} = \frac{G * (100 + Ab_g)}{100 + W_g}$$

- Cantidad de agua a usar en la mezcla:

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

10. Por último se calculó la cantidad de cenizas volantes empleando la siguiente fórmula:

CAPITULO III. MÉTODO

$$C_{CV} = V_C * \% C_V$$

La sustitución se realizó por volumen, para esto se dividió el valor de cada uno de los pesos entre el respectivo peso unitario de cada componente.

Se realizaron 48 muestras por cada resistencia nominal, 12 cilindros por cada % de ceniza para un total 96 muestras.

Diseños de mezcla realizados:

- Mezcla Patrón de $f'c= 180 \text{ kgf/cm}^2$ (MP1):
- Mezcla de $f'c=180 \text{ kgf/cm}^2$ con 40% de Cenizas Volantes (CV1)
- Mezcla de $f'c=180 \text{ kgf/cm}^2$ con 45% de Cenizas Volantes (CV2)
- Mezcla de $f'c=180 \text{ kgf/cm}^2$ con 50% de Cenizas Volantes (CV3)
- Mezcla Patrón de $f'c= 250 \text{ kgf/cm}^2$ (MP2):
- Mezcla de $f'c=250 \text{ kgf/cm}^2$ con 40% de Cenizas Volantes (CV4)
- Mezcla de $f'c=250 \text{ kgf/cm}^2$ con 45% de Cenizas Volantes (CV5)
- Mezcla de $f'c=250 \text{ kgf/cm}^2$ con 50% de Cenizas Volantes (CV6)

III.1.7 Preparación de las mezclas según Norma COVENIN 354:2001 “Concreto. Método para mezclado en el laboratorio”

Para la elaboración de las mezclas de concreto se utilizó el cemento CPCA2 en lugar del cemento Portland tipo I, este cambio se debió a que para la fecha de la preparación de las mezclas solo se vendía el CPCA2 en la mayoría de los establecimientos especializados, relegando al cemento Portland tipo I solo para ventas a granel.

CAPITULO III. MÉTODO

Los agregados utilizados fueron arena lavada y piedra picada con tamaño máximo 3/4 de pulgadas.

III.1.8 Mezclado de material

El mezclado se inició con el pesado de los materiales de acuerdo a los cálculos obtenidos previamente en el diseño de mezclas, posteriormente se dio inicio al proceso de mezclado utilizando una mezcladora de eje de inclinación variable y con capacidad para 110 L, para la cual se consideraron pérdidas del 15% del material incorporado en la misma.

Al poner en funcionamiento la mezcladora se colocó dentro la piedra picada con un tercio de la cantidad total de agua, luego se incorporó la arena lavada y el cemento, por último se añadió la cantidad restante de agua y se dejó mezclar por 2 min. Durante este tiempo fue realizado el ensayo del cono de Abrams.

III.1.9 Colocación del material en las probetas y curado

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

Se procedió a la colocación de la mezcla en los moldes cilíndricos previamente aceitados, ejecutando el vaciado en tres capas, todas con un espesor aproximado a un tercio del volumen de la probeta, cada capa fue compactada dando 25 golpes distribuidos en su sección transversal haciendo uso de una barra compactadora normalizada. Para finalizar, se enrasó el molde en la superficie con el fin de retirar el exceso de mezcla. Esta operación se llevó a cabo con la barra compactadora.

Pasadas 24 horas, las probetas fueron desencofradas y se dio inicio al proceso de curado, el cual finaliza al momento de realizar el ensayo de resistencia a la compresión.

CAPITULO III. MÉTODO

III.1.10 Caracterización del concreto fresco

III.1.10.1 Medición del asentamiento con el Cono de Abrams según Norma COVENIN N° 339-2003.

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

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

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

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

III.1.11 Caracterización del concreto endurecido

III.1.12 Peso unitario

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

Se calculó el peso unitario (ρ) según la fórmula de Peso Unitario

$$\rho = M / V$$

Donde:

M: peso de la probeta en kg

CAPITULO III. MÉTODO

V: volumen de la probeta calculado con la altura y el diámetro promedio del cilindro (m^3)

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

III.1.13 Ensayo para determinar la propagación de ondas en el concreto **Según Norma COVENIN 1681-1980 “Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto”**

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

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

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

$$V = L / t$$

Donde:

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

L= Base de medición en m

t= Tiempo de paso de la onda en s

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

CAPITULO III. MÉTODO

III.1.14 Ensayo a compresión de cilindros de concreto (Según Norma COVENIN N° 338) “Concreto. Método para la elaboración, y ensayo a compresión de cilindros de concreto curado”.

Antes de dar inicio al ensayo fue necesario refrentar las probetas, algunas por ambas caras. El material usado para el refrentado fue yeso piedra por ser capaz de alcanzar resistencias de 390 Kg/cm² a la hora de haber sido preparado. Para asegurar el paralelismo entre las caras de las probetas se utilizó un nivel.

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

A continuación se tomaron tres pesos de cada probeta con una balanza digital de capacidad 30 Kg y apreciación de 1g.

Posteriormente se colocaron las probetas en la maquina de ensayos teniendo cuidado de centrarlas adecuadamente en el área de prueba para comprimir las hasta que falle el material.

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

El criterio de aceptación o rechazo de los resultados de los ensayos de compresión se tomó con la desviación estándar máxima de 8 kgf/cm².

Para calcular la resistencia a compresión del concreto se utilizó la siguiente expresión:

$$R_c = \frac{P}{A}$$

Donde:

CAPITULO III. MÉTODO

Rc: Resistencia a compresión en Kgf/cm^2

P: Carga máxima aplicada en Kgf

A: Área de la sección transversal del cilindro en cm^2

Los cilindros fueron ensayados a las edades de: 7, 14, 21 y 28 días. Con estos resultados se construyeron las graficas de desarrollo de resistencia para cada tipo de concreto.

III.1.15 Ensayo para determinar el módulo de elasticidad. Según Norma Venezolana COVENIN 1468-08 “Método de ensayo para determinar el modulo de elasticidad (secante) en probetas cilíndricas de concreto”.

Se prepararon las probetas a ensayar, las bases de medición fueron establecidas de acuerdo a las especificaciones de la norma.

Se determinó la carga a compresión a la cual fallaron las probetas de comparación, en donde se tomó el 40% y se denominó carga promedio de rotura (C).

Una vez fijados los instrumentos de medición, se colocó la probeta en la plataforma de apoyo de la máquina de ensayo y se centró con respecto su placa superior. Se bajó lentamente la placa hasta ponerla en contacto con la probeta, se giró suavemente con la mano la parte móvil para obtener un asiento uniponerla

Ciclo de precarga: Se aplicó la carga sin impacto a una velocidad de 2,5 kgf/cm^2 por segundo hasta alcanzar el valor de C. Se mantuvo la carga por un minuto, la cual se redujo gradualmente hasta cero. Luego se aplicó la carga una segunda vez de forma semejante hasta alcanzar el valor C.

Ciclo de mediciones: Se tomaron las lecturas del extensómetro, aplicando la carga tres veces a la misma velocidad, de forma continua y sin interrupción. Se tomaron las lecturas del extensómetro en cada ciclo de carga.

CAPITULO III. MÉTODO

III.1.15.1 Expresión de los resultados

1. Se elaboró un gráfico de esfuerzo-deformación unitaria con los resultados obtenidos en el último ciclo de ensayo. La deformación unitaria, definida como la deformación total, dividida entre la longitud efectiva de medición, se lleva al eje de las abscisas y los esfuerzos al eje de las ordenadas.

2. El módulo de elasticidad secante para cada una de las curvas, con aproximación de 5000 kgf/cm² se calculó de la siguiente forma.

$$E1 = (Sc - SD) / (\epsilon_c - 5 \times 10^{-5})$$

Donde:

E1= Módulo de elasticidad secante de cada una de las curvas, expresadas en kgf/cm².

Sc= Esfuerzo correspondiente a la carga C, expresada en kgf/cm².

SD= Esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria longitudinal de 5×10^{-5} mm/mm expresada en kgf/cm².

ϵ_c = deformación unitaria longitudinal por esfuerzo Sc.

III.1.16 Comparación con mezclas patrones

Se realizaron gráficos comparativos de las propiedades obtenidas a través de los distintos ensayos realizados al cemento y a las mezclas de concreto tanto en estado fresco como endurecido para determinar semejanzas o diferencias presentadas por las mezclas de cenizas volantes respecto a las mezclas patrones.

CAPITULO III. MÉTODO

Las propiedades comparadas fueron las siguientes:

Cemento:

- Tiempo de fraguado

Mezclas de concreto en estado fresco:

- Asentamiento

Mezclas de concreto en estado endurecido:

- Peso Unitario
- Velocidad de propagación de ondas
- Resistencias a compresión
- Módulo de elasticidad

CAPITULO IV

IV.1 RESULTADOS

Los resultados que se muestran a continuación constituyen el foco vital de este trabajo especial de grado. Por tal motivo es fundamental el análisis de estos, puesto que las propiedades físicas y mecánicas medidas en el laboratorio a través de los distintos ensayos realizados se emplearan para comparar mezclas patrones con mezclas alteradas y esta comparación permitirá evaluar los efectos de la adición de cenizas de bagazo de caña de azúcar como sustituto parcial del cemento en las mezclas de concreto.

IV.1.1 Ensayo de tiempo de fraguado

Tabla III.1.15.1.1. Ensayo de la aguja de Vicat. 0% de Cenizas

Cemento (ml)	320	
Ceniza (ml)	0	
Agua (ml)	150	
Hora de inicio:	01:36 pm	
Hora de ensayo	Tiempo de Penetración (min)	Penetración (mm)
2:06 pm	30	40
2:21 pm	45	40
2:36 pm	60	40
2:51 pm	75	40
3:06 pm	90	36
3:21 pm	105	26
3:36 pm	120	13

CAPITULO IV. RESULTADOS

Tabla III.1.15.1.2. Ensayo de la aguja de Vicat con 40% de cenizas

Cemento (ml)	192	40%
Ceniza (ml)	128	
Agua (ml)	150	
Hora de inicio:	11:05 am	
Hora de ensayo	Tiempo de Penetración (min)	Penetración (mm)
11:35 am	30	40
11:50 am	45	40
12:05 pm	60	40
12:20 pm	75	40
12:35 pm	90	40
12:50 pm	105	40
1:05 pm	120	40
1:20 pm	135	40
1:35 pm	150	38
1:50 pm	165	38
2:05 pm	180	36
2:20 pm	195	34
2:35 pm	210	31
2:50 pm	225	27
3:05 pm	240	24
3:20 pm	255	18
3:35 pm	270	13

CAPITULO IV. RESULTADOS

Tabla III.1.15.1.3. Ensayo de la aguja de Vicat con 45% de cenizas

Cemento (ml)	176	45%
Ceniza (ml)	144	
Agua (ml)	150	
Hora de inicio:	9:15 am	
Hora de ensayo	Tiempo de Penetración (min)	Penetración (mm)
9:45 am	30	40
10:00 am	45	40
10:15 am	60	40
10:30 am	75	40
10:45 am	90	40
11:00 am	105	40
11:15 am	120	40
11:30 am	135	40
11:45 am	150	39
12:00 pm	165	38
12:15 pm	180	37
12:30 pm	195	35
12:45 pm	210	33
1:00 pm	225	30
1:15 pm	240	28
1:30 pm	255	26
1:45 pm	270	18

CAPITULO IV. RESULTADOS

Tabla III.1.15.1.4. Ensayo de la aguja de Vicat con 50% de cenizas

Cemento (ml)	160	50%
Ceniza (ml)	160	
Agua (ml)	150	
Hora de inicio:	10:36 am	
Hora de ensayo	Tiempo de Penetración (min)	Penetración (mm)
11:01 am	30	40
11:16 am	45	40
11:31 am	60	40
11:46 am	75	40
12:01 pm	90	40
12:16 pm	105	40
12:31 pm	120	40
12:46 pm	135	40
1:01 pm	150	40
1:16 pm	165	38
1:31 pm	180	37
1:46 pm	195	37
2:01 pm	210	36
2:16 pm	225	34
2:31 pm	240	31
2:46 pm	255	27
3:01 pm	270	24

CAPITULO IV. RESULTADOS

IV.1.2 Características de los agregados

La composición granulométrica y el resto de las especificaciones necesarias para caracterizar los agregados fueron proporcionadas por la Fabrica Nacional de Cemento (F.N.C.).

Granulometría del agregado fino

Tabla III.1.15.1.1. Agregado fino. Retenidos y pasantes

CEDAZO	PESO RETENIDO	% RETENIDO	RETENIDOS ACUMULADOS	% PASANTES
1/2"				
3/8"	9	0,9	0,9	99,1
1/4"	0,0	0,0	0,9	99,1
# 4	200	20,0	20,9	79,1
# 8	199	19,9	40,8	59,2
# 16	209	20,9	61,7	38,3
# 30	165	16,5	78,2	21,8
#50	117	11,7	89,9	10,1
# 100	68	6,8	96,7	3,3
# 200	20	2,0	98,7	1,3
Fondo	13	1,3	100,0	0,0
Peso T.	1.000 g			

El porcentaje de material retenido en dos cedazos consecutivos no excede el 45%; cumpliendo con el requisito de calidad exigido por la Norma COVENIN 277-92 “*Concreto. Agregado. Requisitos.*” en su artículo 3.1.1.2.

CAPITULO IV. RESULTADOS

Especificaciones del material fino proporcionadas por la Fábrica Nacional de Cemento (FCN)

PESO ESPECIFICO

Desidad*Muestra+Envas	663,69 gr/cm ³
Peso del Envase:	165 g
Peso del Envase+H2O:	662 g
P.del Envase+H2O+Mues	972 g
Peso de La Muestra:	500 g
Desidad del H2O:	0,99797 cm ³
P ESPECIFICO:	2,60 g/cm ³

PORCENTAJE DE ABSORCION

Peso SSS:	500 g
Peso Seco:	486 g
PORC ABS:	2,88 %

PESO UNITARIO SUELTO

Temperatura:	22 °C
Peso Unitario H2O:	997,6268
Peso del Agua:	2,815 Kg
Peso Recipiente:	6,558 Kg
Peso Muest. + Recip.:	11,308 Kg
Peso Muestra:	4,750 Kg
Factor:	354,40 m ³

PESO UNITARIO COMPACTO

Temperatura:	22 °C
Peso Unitario H2O:	997,6268
Peso del Agua:	2,815 Kg
Peso Recipiente:	6,558 Kg
Peso Muestra + Recipiente:	11,754 Kg
Peso Muestra:	5,196 Kg
Factor:	354,40 m ³

PESO UNITARIO SUELTO:

1.683 Kglm³

TAMIZ # 200

Peso Lav.Ta # 200:	2.000 g
Peso Sec.D.Lav:	1.921 g
TAMIZ # 200:	3,95%

PESO UNITARIO COMPACTO:

1.841 Kglm³

PORCENTAJE EN SUSPENSION

Cant de Mat en Suspención:	40 cm ³
Cant de Muestra:	500 g
PORCENTAJE EN SUSPENSION	4,80 %

IMPUREZAS ORGANICAS

Color N° 1
NO Contiene Impurezas.

PRESENCIA DE CLORUROS Y SULFATOS

Cloruros: SI NO
 Sulfatos: SI NO

CAPITULO IV. RESULTADOS

Granulometría del agregado Grueso

Tabla III.1.15.1.2. Agregado grueso. Retenidos y pasantes

CEDAZO	PESO RETENIDO	% RETENIDO	RETENIDOS ACUMULADOS	% PASANTES ACUMULADOS
1"	112	0,9	0,9	99,1
3/4"	989	7,6	8,4	91,6
1/2"	6.605	50,6	59,0	41,0
3/8"	3.495	26,8	85,8	14,2
1/4"	1.435	11,0	96,8	3,2
#4	219	1,7	98,5	1,5
#8	143	1,1	99,6	0,4
#16	35	0,3	99,9	0,1
#30	54	0,4	100,3	-0,3
Fondo	77	0,6	100,9	-0,9
Peso T.	13.052 g			

CAPITULO IV. RESULTADOS

Especificaciones del material grueso proporcionado por la Fábrica Nacional de Cemento (FCN)

PESO ESPECIFICO

Peso en el Aire:	<u>8.006 g</u>
Peso en el Agua:	<u>4.927 g</u>
P ESPECIFICO:	<u>2,60 g/cm³</u>

PESO UNITARIO SUELTO

Temperatura:	<u>22 °C</u>
Peso Unitario H2O:	<u>997,6268</u>
Peso del Agua:	<u>14,130 Kg</u>
Peso Recipiente:	<u>7,508 Kg</u>
Peso Muest. + Recip.:	<u>27,330 Kg</u>
Peso Muestra:	<u>19,822 Kg</u>
Factor:	<u>70,60 m³</u>

PESO UNITARIO SUELTO: 1.400 Kg\m³

TAMIZ # 200

Peso Lav.Ta .# 200:	<u>5.000 g</u>
Peso Sec.D.Lav.	<u>4.961 g</u>
TAMIZ # 200:	<u>0,78%</u>

PORCENTAJE DE ABSORCION

Peso Mues S.S.S.:	<u>8.006 g</u>
Peso Seco:	<u>7.947 g</u>
PORC ABS:	<u>0,74 %</u>

PESO UNITARIO COMPACTO

Temperatura:	<u>22 °C</u>
Peso Unitario H2O:	<u>997,6268</u>
Peso del Agua:	<u>14,130 Kg</u>
Peso Recipiente:	<u>7,508 Kg</u>
Peso Muestra + Recipiente:	<u>29,200 Kg</u>
Peso Muestra:	<u>21,692 Kg</u>
Factor:	<u>70,60 m³</u>

PESO UNITARIO COMPACTO: 1.532 Kg\m³

PORCENTAJE DE PART (MAXIMAS Y MINIMAS

Número Particulas Medidas:	<u>50</u>
Numero de Part. Largas:	<u>26</u>
% Part. Largas	<u>52,00</u>
Numero de Part. Planas:	<u>12</u>
% Part. Planas:	<u>24,00</u>
Numero de Part. Planilargas:	<u>7</u>
% Part. Planilargas:	<u>14</u>
Numero de Partículas:	<u>12</u>
Porcentaje Max Min:	<u>24,00</u>

CAPITULO IV. RESULTADOS

IV.1.3 Diseño de mezclas

Mezclas de $f'c = 180 \text{ kgf/cm}^2$

Tabla III.1.15.1.1. Patrón para 1 m^3

Componente	Peso (kg/m^3)	V_{Absoluto} (L/m^3)
Cemento	287	86,3
Cenizas	0	0
Agua	183	183
Arena	931	716
Piedra	931	
Aire	—	15
Total	2,336	1,000

Tabla III.1.15.1.2 MP1. Patrón para $0,08 \text{ m}^3$

Componente	Peso (kg/m^3)	V_{Absoluto} (L/m^3)
Cemento	22,4	0,0067
Cenizas	0	0
Agua	13	0,0130
Arena	72,6	0,0558
Piedra	72,6	
Aire	-	0,0012
Total	181	0,08

CAPITULO IV. RESULTADOS

Tabla III.1.15.1.3. CV1. Con 40% de cenizas para 0,08 m³

Componente	Peso (kg/m³)	V_{Absoluto} (L/m³)
Cemento	13,5	0,0040
Cenizas	1,1	0,0027
Agua	13,0	0,0130
Arena	72,6	
Piedra	72,6	0,0558
Aire	-	0,012
Total	173	0,08

Tabla III.1.15.1.4 CV2. Con 45% de cenizas para 0,08 m³

Componente	Peso (kg/m³)	V_{Absoluto} (L/m³)
Cemento	12,3	0,0037
Cenizas	1,2	0,0030
Agua	13,0	0,0130
Arena	72,6	
Piedra	72,6	0,0558
Aire	-	0,012
Total	172	0,08

Tabla III.1.15.1.5 CV3. Con 50% de cenizas para 0,08 m³

Componente	Peso (kg/m³)	V_{Absoluto} (L/m³)
Cemento	11,2	0,0034
Cenizas	1,4	0,0034
Agua	13,0	0,0130
Arena	72,6	
Piedra	72,6	0,0558
Aire	-	0,012
Total	171	0,08

CAPITULO IV. RESULTADOS

Cantidad total de material empleado para realizar 48 probetas cilíndricas

III.1.15.1.6. Total de materiales para 0.32

Componente	Cantidad
Cemento	2 Sacos
Cenizas	3,7 kg
Agua	52 L
Arena	290 kg
Piedra	290 kg

Mezclas de $f'c = 250 \text{ kgf/cm}^2$

Tabla III.1.15.1.7 Patrón para 1m^3

Componente	Peso (kg/m^3)	V_{Absoluto} (L/m^3)
Cemento	380	114,3
Cenizas	0	0
Agua	195	195
Arena	872	671
Piedra	872	671
Aire	-	20
Total	2,320	1,000

CAPITULO IV. RESULTADOS

Tabla III.1.15.1.8 MP2.Patrón para 0,08 m³

Componente	Peso (kg/m³)	V_{Absoluto} (L/m³)
Cemento	29,7	0,0089
Cenizas	0	0
Agua	14	0,0014
Arena	68	0,0523
Piedra	68	0,0523
Aire	-	0,0016
Total	180	0,08

Tabla III.1.15.1.9 CV4.Con 40% de cenizas para 0,08 m³

Componente	Peso (kg/m³)	V_{Absoluto} (L/m³)
Cemento	17,8	0,0053
Cenizas	1,4	0,0036
Agua	14	0,0014
Arena	68	0,0523
Piedra	68	0,0523
Aire	-	0,0016
Total	170	0,08

CAPITULO IV. RESULTADOS

Tabla III.1.15.1.10 CV5. Con 45% de cenizas para 0,08 m³

Componente	Peso (kg/m³)	V_{Absoluto} (L/m³)
Cemento	16,3	0,0049
Cenizas	1,6	0,0040
Agua	14	0,0014
Arena	68	0,0523
Piedra	68	0,0523
Aire	-	0,0016
Total	168	0,08

Tabla III.1.15.1.11 CV6. Con 50% de cenizas para 0,08 m³

Componente	Peso (kg/m³)	V_{Absoluto} (L/m³)
Cemento	14,8	0,0045
Cenizas	1,8	0,0045
Agua	14	0,0014
Arena	68	0,0523
Piedra	68	0,0523
Aire	-	0,0016
Total	167	0,08

CAPITULO IV. RESULTADOS

Cantidad total de material empleado para realizar 48 probetas cilíndricas

Tabla III.1.15.1.12 Total de materiales para 0.32 m³

Componente	Cantidad
Cemento	2 Sacos
Cenizas	4,8 kg
Agua	56 L
Arena	272 kg
Piedra	272 kg

IV.1.4 Concreto Fresco

IV.1.4.1 Asentamiento

Tabla IV.1.4.1.1 Cono de Abrams

Mezcla	T(cm)
<i>MP1</i>	1,5
<i>CV1</i>	2
<i>CV2</i>	18
<i>CV3</i>	19
<i>MP2</i>	2
<i>CV4</i>	5
<i>CV5</i>	14
<i>CV6</i>	16

CAPITULO IV. RESULTADOS

IV.1.5 Concreto Endurecido

Se muestran los resultados de los ensayos realizados al concreto en estado endurecido para las edades de 7, 14, 21 y 28 días.

IV.1.5.1 Ensayos a los 7 días

Velocidad de propagación de ondas en el concreto

Resistencia Nominal: 180 kgf/cm²

Fecha del Ensayo: 3/08/2010

Tabla IV.1.5.1.1 Ensayo de velocidad de propagación de ondas a los 7 días

% CV	Probeta N°	t _{ultrasonido} (μs)	t _{ultrasonido} (s)	h _{probeta} (m)	V(m/s)
0	1	89,60	0,0000896	0,31	3404
0	2	88,70	0,000089	0,31	3494
0	3	86,90	0,0000869	0,30	3508
40	1	97,60	0,0000976	0,30	3124
40	2	97,40	0,0000974	0,30	3121
40	3	97,80	0,0000978	0,31	3119
45	1	97,90	0,0000979	0,31	3126
45	2	98,00	0,0000980	0,30	3077
45	3	98,20	0,0000982	0,30	3091
50	1	98,60	0,0000986	0,31	3100
50	2	98,40	0,0000984	0,30	3075
50	3	98,90	0,0000989	0,31	3110

CAPITULO IV. RESULTADOS

Resistencia a compresión

Resistencia Nominal: 180 kgf/cm²

Fecha del Ensayo: 3/08/2010

Tabla IV.1.5.1.2 Ensayo de resistencia a compresión de cilindros de concreto a los 7 días

% CV	Probeta N°	Altura Media (cm)	Diámetro Medio (cm)	Peso (kg)	Área Media (cm ²)	Q (kg)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	% Resistencia Alcanzado	Esfuerzo Medio (kgf/cm ²)
0	1	30,50	15,17	12,61	180,66	23840	131,96	73	135
0	2	30,99	15,02	12,87	177,11	23946	135,21	75	
0	3	30,48	15,03	12,60	177,50	24238	136,55	76	
40	1	30,50	15,07	12,31	178,29	6179	34,66	19	42
40	2	30,40	15,09	12,48	178,76	8179	45,75	25	
40	3	30,50	14,90	12,25	174,37	7934	45,50	25	
45	1	30,60	15,08	12,46	178,68	4618	25,84	14	35
45	2	30,15	14,90	11,99	174,37	6874	39,42	22	
45	3	30,35	15,11	12,14	179,24	7043	39,29	22	
50	1	30,57	14,98	12,30	176,32	5069	28,75	16	31
50	2	30,26	14,90	11,93	174,29	5306	30,44	17	
50	3	30,75	15,04	12,33	177,66	5976	33,64	19	

CAPITULO IV. RESULTADOS

Cálculo del peso unitario

Resistencia Nominal: 180 kgf/cm²

Tabla IV.1.5.1.3 Peso Unitario de las probetas a los 7 días

% CV	Probeta N°	Diámetro Medio (m)	h_{probeta} (m)	Peso (kg)	Volumen (m³)	Peso Unitario (kg/m³)
0	1	0,15	0,305	12,61	0,0055	2289
0	2	0,15	0,310	12,87	0,0055	2344
0	3	0,15	0,305	12,60	0,0054	2329
40	1	0,15	0,305	12,31	0,0054	2263
40	2	0,15	0,304	12,48	0,0054	2297
40	3	0,15	0,305	12,25	0,0053	2303
45	1	0,15	0,306	12,46	0,0055	2278
45	2	0,15	0,302	11,99	0,0053	2281
45	3	0,15	0,304	12,14	0,0054	2231
50	1	0,15	0,306	12,30	0,0054	2282
50	2	0,15	0,303	11,93	0,0053	2262
50	3	0,15	0,308	12,33	0,0055	2257

CAPITULO IV. RESULTADOS

IV.1.5.2 Ensayos a los 14 días

Velocidad de propagación de ondas en el concreto

Resistencia Nominal: 180 kgf/cm²

Fecha del Ensayo: 10/08/2010

Tabla IV.1.5.2.1 Ensayo de velocidad de propagación de ondas a los 14 días

% CV	Probeta N°	t_{ultrasonido} (μs)	t_{ultrasonido} (s)	h_{probeta} (m)	V(m/s)
0	1	83,700	0,0000837	0,31	3710
0	2	86,500	0,000087	0,30	3524
0	3	87,200	0,0000872	0,31	3534
40	1	87,500	0,0000875	0,31	3545
40	2	89,200	0,0000892	0,31	3464
40	3	88,900	0,0000889	0,31	3450
45	1	95,000	0,0000950	0,31	3280
45	2	96,200	0,0000962	0,31	3210
45	3	94,300	0,0000943	0,31	3275
50	1	96,800	0,0000968	0,31	3223
50	2	97,500	0,0000975	0,31	3173
50	3	98,000	0,0000980	0,31	3143

CAPITULO IV. RESULTADOS

Resistencia a compresión

Resistencia Nominal: 180 kgf/cm²

Fecha del Ensayo: 10/08/2010

Tabla IV.1.5.2.2 Ensayo de resistencia a compresión de cilindros de concreto a los 14 días

% CV	Probeta N°	Altura Media (cm)	Diámetro Medio (cm)	Peso (kg)	Área Media (cm²)	Q (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	% Resistencia Alcanzado	Esfuerzo Medio (kgf/cm²)
0	1	31,05	14,97	12,71	175,93	26892	152,86	85	162
0	2	30,48	15,00	12,78	176,71	29613	167,58	93	
0	3	30,82	15,01	12,49	177,03	29454	166,38	92	
40	1	31,02	14,53	12,34	165,70	10301	62,17	35	60
40	2	30,90	15,02	12,29	177,11	10310	58,21	32	
40	3	30,67	15,05	12,24	177,89	10715	60,23	33	
45	1	31,16	14,93	12,37	175,15	5680	32,43	18	42
45	2	30,88	14,90	12,29	174,37	7929	45,47	25	
45	3	30,88	15,02	12,17	177,11	8752	49,42	27	
50	1	31,20	15,02	12,26	177,19	7412	41,83	23	41
50	2	30,93	15,05	12,32	177,82	7432	41,80	23	
50	3	30,80	15,05	12,31	177,82	7257	40,81	23	

CAPITULO IV. RESULTADOS

Cálculo del peso unitario

Resistencia Nominal: 180 kgf/cm²

Tabla IV.1.5.2.3 Peso Unitario de las probetas a los 14 días

% CV	Probeta N°	Diámetro Medio (m)	h_{probeta} (m)	Peso (kg)	Volumen (m³)	Peso Unitario (kg/m³)
0	1	0,15	0,31	12,71	0,0055	2327
0	2	0,15	0,30	12,78	0,0054	2373
0	3	0,15	0,31	12,49	0,0055	2289
40	1	0,15	0,31	12,34	0,0051	2402
40	2	0,15	0,31	12,29	0,0055	2245
40	3	0,15	0,31	12,24	0,0055	2243
45	1	0,15	0,31	12,37	0,0055	2267
45	2	0,15	0,31	12,29	0,0054	2282
45	3	0,15	0,31	12,17	0,0055	2226
50	1	0,15	0,31	12,26	0,0055	2217
50	2	0,15	0,31	12,32	0,0055	2240
50	3	0,15	0,31	12,31	0,0055	2248

CAPITULO IV. RESULTADOS

IV.1.5.3 Ensayos a los 21 días

Resistencia a compresión

Resistencia Nominal: 180 kgf/cm²

Fecha del Ensayo: 17/08/2010

Tabla IV.1.5.3.1 Ensayo de resistencia a compresión de cilindros de concreto a los 21 días

% CV	Probeta N°	Altura Media (cm)	Diámetro Medio (cm)	Peso (kg)	Área Media (cm ²)	Q (kg)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	% Resistencia Alcanzado	Esfuerzo Medio (kgf/cm ²)
0	1	30,77	14,94	12,59	175,38	30362	173,12	96	173
0	2	30,83	14,95	12,61	175,46	30337	172,90	96	
0	3	30,75	14,95	12,60	175,54	30355	172,93	96	
40	1	30,63	14,99	12,32	176,56	11132	63,05	63	63
40	2	30,68	14,95	12,30	175,54	11369	64,77	65	
40	3	30,57	14,97	12,21	176,09	10870	61,73	62	
45	1	30,63	14,94	12,14	175,30	9407	53,66	54	52
45	2	30,66	14,98	12,26	176,32	8567	48,59	49	
45	3	30,71	14,90	12,19	174,44	9184	52,65	53	
50	1	30,49	14,73	11,96	170,49	8581	50,33	50	50
50	2	30,65	15,02	12,37	177,26	8533	48,14	48	
50	3	30,57	14,97	12,17	175,93	9007	51,20	51	

CAPITULO IV. RESULTADOS

Cálculo del peso unitario

Resistencia Nominal: 180 kgf/cm²

Tabla IV.1.5.3.2 Peso Unitario de las probetas a los 21 días

% CV	Probeta N°	Diámetro Medio (m)	h_{probeta} (m)	Peso (kg)	Volumen (m³)	Peso Unitario (kg/m³)
0	1	0,15	0,31	12,59	0,0054	2332
0	2	0,15	0,31	12,61	0,0054	2332
0	3	0,15	0,31	12,60	0,0054	2334
40	1	0,15	0,31	12,32	0,0054	2279
40	2	0,15	0,31	12,30	0,0054	2284
40	3	0,15	0,31	12,21	0,0054	2268
45	1	0,15	0,31	12,14	0,0054	2260
45	2	0,15	0,31	12,26	0,0054	2267
45	3	0,15	0,31	12,19	0,0054	2275
50	1	0,15	0,30	11,96	0,0052	2301
50	2	0,15	0,31	12,37	0,0054	2277
50	3	0,15	0,31	12,17	0,0054	2263

CAPITULO IV. RESULTADOS

IV.1.5.4 Ensayos a los 28 días

Velocidad de propagación de ondas en el concreto

Resistencia Nominal: 180 kgf/cm²

Fecha del Ensayo: 24/08/2010

Tabla IV.1.5.4.1 Ensayo de velocidad de propagación de ondas a los 28

% CV	Probeta Nº	t_{ultrasonido} (µs)	t_{ultrasonido} (s)	h_{probeta} (m)	V(m/s)
0	1	93,600	0,0000936	0,30	3253
0	2	93,800	0,000094	0,31	3264
40	1	94,500	0,0000945	0,31	3257
45	1	96,100	0,0000961	0,31	3186
45	2	98,400	0,0000984	0,31	3122
50	1	99,500	0,0000995	0,31	3071
50	2	98,200	0,0000982	0,31	3138

CAPITULO IV. RESULTADOS

Resistencia a compresión

Resistencia Nominal: 180 kgf/cm²

Fecha del Ensayo: 24/08/2010

Tabla IV.1.5.4.2 Ensayo de resistencia a compresión de cilindros de concreto a los 28 días

% CV	Probeta N°	Altura Media (cm)	Diámetro Medio (cm)	Peso (kg)	Área Media (cm ²)	Q (kg)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	% Resistencia Alcanzado	Esfuerzo Medio (kgf/cm ²)
0	1	30,45	14,88	12,36	173,98	31409	180,54	100	180
0	2	30,62	14,90	12,37	174,37	31238	179,15	100	
40	1	30,78	14,98	12,38	176,32	11661	66,13	37	66
45	1	30,62	15,04	12,20	177,66	10948	61,62	34	59
45	2	30,72	14,96	12,27	175,70	9986	56,84	32	
50	1	30,56	14,99	12,08	176,56	8934	50,60	28	52
50	2	30,81	14,95	12,09	175,54	9398	53,54	30	

CAPITULO IV. RESULTADOS

Cálculo del peso unitario

Resistencia Nominal: 180 kgf/cm²

Tabla IV.1.5.4.3 Peso Unitario de las probetas a los 28 días

% CV	Probeta N°	Diámetro Medio (m)	h _{probeta} (m)	Peso (kg)	Volumen (m ³)	Peso Unitario (kg/m ³)
0	1	0,15	0,30	12,36	0,0053	2333
0	2	0,15	0,31	12,37	0,0053	2317
40	1	0,15	0,31	12,38	0,0054	2280
45	1	0,15	0,31	12,20	0,0054	2243
45	2	0,15	0,31	12,27	0,0054	2274
50	1	0,15	0,31	12,08	0,0054	2239
50	2	0,15	0,31	12,09	0,0054	2234

Módulo de Elasticidad

Ensayo realizado a los 28 días, se utilizó una probeta correspondiente a cada combinación cemento - ceniza; naturalmente, estas probetas no fueron ensayadas a compresión.

Tabla IV.1.5.4.4 Datos de la probeta empleada para el ensayo

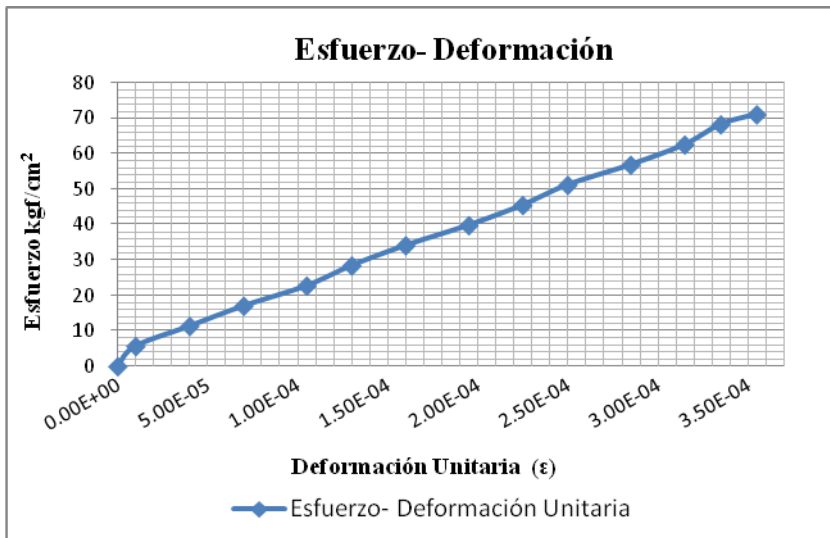
Probeta N°	%CV	Diámetro Medio (cm)	Área (cm ²)
3	0	14,96	175,77

CAPITULO IV. RESULTADOS

Tabla IV.1.5.4.5 Resultados del ensayo de Módulo de Elasticidad

<i>MPI</i>			
Carga (kgf)	Esfuerzos (kgf/cm ²)	Deformación	Deformación Unitaria
1000	6	2	0,00001
2000	11	8	0,00004
3000	17	14	0,00007
4000	23	21	0,000105
5000	28	26	0,00013
6000	34	32	0,00016
7000	40	39	0,000195
8000	46	45	0,000225
9000	51	50	0,00025
10000	57	57	0,000285
11000	63	63	0,000315
12000	68	67	0,000335
12500	71	71	0,000355

Gráfico IV.1.5.4-1 Curva Esfuerzo – Deformación de la mezcla patrón



<i>MPI</i>	
Sc	71
ϵ_c	$3,55 \times 10^{-04}$
sd	12
EI	$1,94E+05$

CAPITULO IV. RESULTADOS

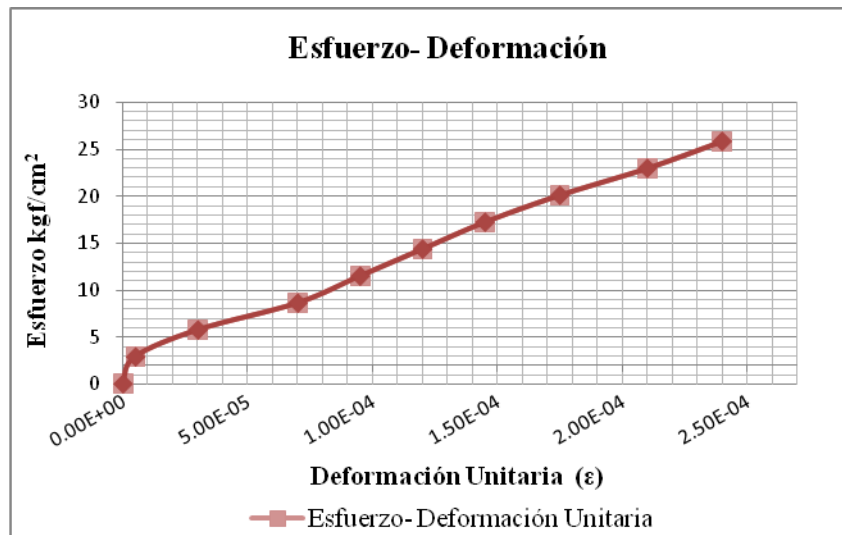
Tabla IV.1.5.4.6 Datos de la probeta empleada para el ensayo

Probeta N°	%CV	Diámetro Medio (cm)	Área (cm ²)
3	40	14,91	174,60

Tabla IV.1.5.4.7 Resultados del ensayo de Módulo de Elasticidad

CVI			
Carga (kgf)	Esfuerzos (kgf/cm ²)	Deformación	Deformación Unitaria
500	3	1	0,000005
1000	6	6	0,00003
1500	9	14	0,00007
2000	11	19	0,000095
2500	14	24	0,00012
3000	17	29	0,000145
3500	20	35	0,000175
4000	23	42	0,00021
4500	26	48	0,00024

IV.1.5.4-2 Curva Esfuerzo – Deformación. Mezcla con 40% CV



CVI	
Sc	26
εc	2,4x10 ⁻⁴
sd	7
E1	0,98x10 ⁵

CAPITULO IV. RESULTADOS

Tabla IV.1.5.4.8 Datos de la probeta empleada para el ensayo

Probeta N°	%CV	Diámetro Medio (cm)	Área (cm ²)
3	45	14,93	175,07

Tabla IV.1.5.4.9 Resultados del ensayo de Módulo de Elasticidad

CV2			
Carga (kgf)	Esfuerzos (kgf/cm ²)	Deformación	Deformación Unitaria
500	3	3	0,000015
1000	6	7	0,000035
1500	9	13	0,000065
2000	11	18	0,00009
2500	14	24	0,00012
3000	17	29	0,000145
3500	20	36	0,00018
4000	23	41	0,000205
4500	26	47	0,000235

Gráfico IV.1.5.4-3 Curva Esfuerzo – Deformación. Mezcla con 45% CV



CV2	
Sc	26
εc	2,35x10 ⁻⁴
sd	8
E1	0,957x10 ⁵

CAPITULO IV. RESULTADOS

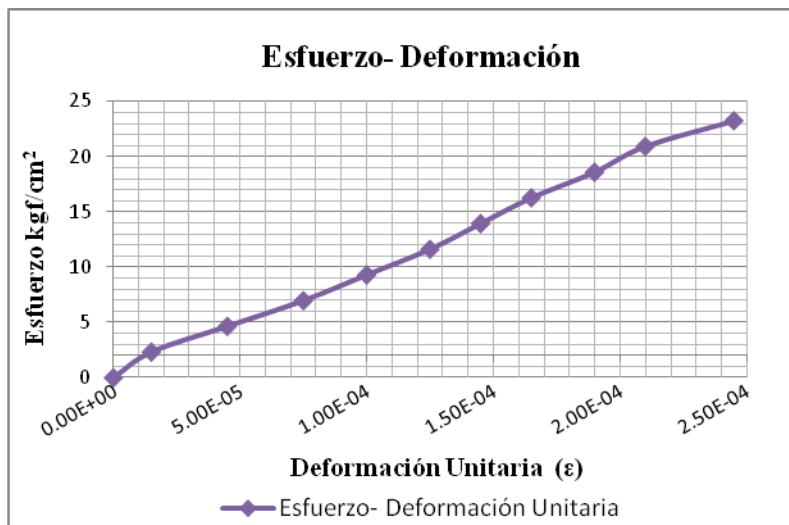
Tabla IV.1.5.4.10 Datos de la probeta empleada para el ensayo

Probeta N°	%CV	Diámetro Medio (cm)	Área (cm ²)
3	50	14,81	172,27

Tabla IV.1.5.4.11 Resultados del ensayo de Módulo de Elasticidad

CV3			
carga (kgf)	Esfuerzos (kgf/cm ²)	Deformación	Deformación Unitaria
400	2	3	0,000015
800	5	9	0,000045
1200	7	15	0,000075
1600	9	20	0,0001
2000	12	25	0,000125
2400	14	29	0,000145
2800	16	33	0,000165
3200	19	38	0,00019
3600	21	42	0,00021
4000	23	47	0,000235

Gráfico IV.1.5.4-4 Curva Esfuerzo – Deformación. Mezcla con 50% CV



CV3	
Sc	23
εc	2,45x10 ⁻⁴
sd	5
E1	0,985x10 ⁵

CAPITULO IV. RESULTADOS

IV.1.5.5 Ensayos a los 7 días

Velocidad de propagación de ondas en el concreto

Resistencia Nominal: 250 kgf/cm²

Fecha del Ensayo: 5/08/2010

Tabla IV.1.5.5.1 Ensayo de velocidad de propagación de ondas a los 7

% CV	Probeta	t_{ultrasonido} (μs)	t_{ultrasonido} (s)	h_{probeta} (m)	V(m/s)
0	1	85,500	0,0000855	0,30	3550
0	2	83,600	0,000084	0,30	3620
0	3	83,800	0,0000838	0,30	3632

CAPITULO IV. RESULTADOS

Resistencia a compresión

Resistencia Nominal: 250 kgf/cm²

Fecha del Ensayo: 5/08/2010

Tabla IV.1.5.5.2 Ensayo de resistencia a compresión de cilindros de concreto a los 7 días

% CV	Probeta N°	Altura Media (cm)	Diámetro Medio (cm)	Peso (kg)	Área Media (cm²)	Q (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	% Resistencia Alcanzado	Esfuerzo Medio (kgf/cm²)
0	1	30,35	14,95	12,48	175,54	44190	251,74	100,70	243
0	2	30,27	15,00	12,41	176,71	42163	238,59	95,44	
0	3	30,44	14,95	12,54	175,62	41869	238,41	95,36	
40	1	30,45	14,70	12,07	169,72	12272	72,31	28,92	58
40	2	30,97	14,95	12,38	175,62	5871	33,43	13,37	
40	3	30,66	14,97	12,26	176,01	12158	69,08	27,63	
45	1	30,29	14,96	12,33	175,85	13097	74,48	29,79	64
45	2	30,27	15,30	12,19	183,77	12819	69,75	27,90	
45	3	30,71	14,93	12,10	175,15	8487	48,46	19,38	
50	1	30,28	15,00	12,17	176,71	9654	54,63	21,85	51
50	2	30,67	15,02	12,17	177,11	8277	46,73	18,69	
50	3	30,03	15,01	11,98	176,87	9346	52,84	21,14	

CAPITULO IV. RESULTADOS

Cálculo del peso unitario

Resistencia Nominal: 250 kgf/cm²

Fecha del Ensayo: 5/08/2010

Tabla IV.1.5.5.3 Peso Unitario de las probetas a los 7 días

% CV	Probeta N°	Diámetro Medio (m)	hprobeta (m)	Peso (kg)	Volumen (m³)	Peso Unitario (kg/m³)
0	1	0,15	0,304	12,48	0,0053	2343
0	2	0,15	0,303	12,41	0,0053	2319
0	3	0,15	0,304	12,54	0,0053	2346
40	1	0,15	0,305	12,07	0,0052	2335
40	2	0,15	0,310	12,38	0,0054	2276
40	3	0,15	0,307	12,26	0,0054	2271
45	1	0,15	0,303	12,33	0,0053	2314
45	2	0,15	0,303	12,19	0,0056	2191
45	3	0,15	0,307	12,10	0,0054	2250
50	1	0,15	0,303	12,17	0,0054	2274
50	2	0,15	0,307	12,17	0,0054	2240
50	3	0,15	0,300	11,98	0,0053	2256

CAPITULO IV. RESULTADOS

IV.1.5.6 Ensayos a los 14 días

Velocidad de propagación de ondas en el concreto

Resistencia Nominal: 250 kgf/cm²

Fecha del Ensayo: 12/08/2010

Tabla IV.1.5.6.1 Ensayo de velocidad de propagación de ondas a los 14

% CV	Probeta N°	t_{ultrasonido} (μs)	t_{ultrasonido} (s)	h_{probeta} (m)	V(m/s)
0	1	82,600	0,0000826	0,31	3725
0	2	82,800	0,000083	0,31	3684
0	3	83,600	0,0000836	0,31	3653
40	1	83,200	0,0000832	0,30	3651
40	2	83,400	0,0000834	0,30	3629
40	3	83,600	0,0000836	0,30	3606
45	1	83,800	0,0000838	0,30	3584
45	2	84,000	0,0000840	0,30	3562
45	3	84,200	0,0000842	0,30	3540
50	1	84,400	0,0000844	0,30	3518
50	2	84,600	0,0000846	0,30	3497
50	3	84,800	0,0000848	0,29	3475

CAPITULO IV. RESULTADOS

Resistencia a compresión

Resistencia Nominal: 250 kgf/cm²

Fecha del Ensayo: 12/08/2010

Tabla IV.1.5.6.2 Ensayo de resistencia a compresión de cilindros de concreto a los 14 días

% CV	Probeta N°	Altura Media (cm)	Diámetro Medio (cm)	Peso (kg)	Área Media (cm²)	Q (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	% Resistencia Alcanzado	Esfuerzo Medio (kgf/cm²)
0	1	30,77	15,15	12,69	180,35	45000	249,52	99,81	267
0	2	30,50	15,08	12,52	178,68	49194	275,31	110,13	
0	3	30,54	15,05	12,49	177,89	49338	277,34	110,94	
0	4	30,38	14,99	12,37	176,53	16124	91,34	36,54	101
0	5	30,26	14,94	12,27	175,32	18451	105,24	42,10	
0	6	30,15	14,89	12,17	174,11	18382	105,58	42,23	
0	7	30,04	14,84	12,07	172,90	17179	99,36	39,74	97
0	8	29,92	14,79	11,98	171,70	16589	96,62	38,65	
0	9	29,81	14,73	11,88	170,50	16136	94,64	37,86	
0	10	29,70	14,68	11,78	169,31	13181	77,85	31,14	79
0	11	29,58	14,63	11,68	168,12	11795	70,16	28,06	
0	12	29,47	14,58	11,58	166,93	14785	88,57	35,43	

CAPITULO IV. RESULTADOS

Cálculo del peso unitario

Resistencia Nominal: 250 kgf/cm²

Fecha del Ensayo: 12/08/2010

Tabla IV.1.5.6.3 Peso Unitario de las probetas a los 14 días

% CV	Probeta N°	Diámetro Medio (m)	h_{probeta} (m)	Peso (kg)	Volumen (m³)	Peso Unitario (kg/m³)
0	1	0,15	0,31	12,69	0,0055	2287
0	2	0,15	0,31	12,52	0,0054	2298
0	3	0,15	0,31	12,49	0,0054	2299
40	1	0,15	0,30	12,37	0,0054	2307
40	2	0,15	0,30	12,27	0,0053	2313
40	3	0,15	0,30	12,17	0,0052	2319
45	1	0,15	0,30	12,07	0,0052	2325
45	2	0,15	0,30	11,98	0,0051	2331
45	3	0,15	0,30	11,88	0,0051	2337
50	1	0,15	0,30	11,78	0,0050	2343
50	2	0,15	0,30	11,68	0,0050	2348
50	3	0,15	0,29	11,58	0,0049	2354

CAPITULO IV. RESULTADOS

IV.1.5.7 Ensayos a los 21 días

Velocidad de propagación de ondas en el concreto

Resistencia Nominal: 250 kgf/cm²

Fecha del Ensayo: 19/08/2010

Tabla IV.1.5.7.1 Ensayo de velocidad de propagación de ondas a los 21

% CV	Probeta N°	t_{ultrasonido} (μs)	t_{ultrasonido} (s)	h_{probeta} (m)	V(m/s)
0	1	81,900	0,0000819	0,31	3767
0	2	83,600	0,000084	0,31	3679
0	3	77,900	0,0000779	0,30	3902
40	1	91,900	0,0000919	0,31	3341
40	2	91,500	0,0000915	0,31	3348
40	3	92,900	0,0000929	0,31	3319
45	1	92,300	0,0000923	0,30	3302
45	2	92,500	0,0000925	0,31	3297
45	3	89,900	0,0000899	0,30	3389
50	1	92,700	0,0000927	0,31	3296
50	2	92,600	0,0000926	0,30	3291
50	3	95,700	0,0000957	0,31	3194

CAPITULO IV. RESULTADOS

Resistencia a compresión

Resistencia Nominal: 250 kgf/cm²

Fecha del Ensayo: 19/08/2010

Tabla IV.1.5.7.2 Ensayo de resistencia a compresión de cilindros de concreto a los 21 días

% CV	Probeta N°	Altura Media (cm)	Diámetro Medio (cm)	Peso (kg)	Área Media (cm²)	Q (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	% Resistencia Alcanzado	Esfuerzo Medio (kgf/cm²)
0	1	30,85	15,00	12,63	180,66	50048	283,21	113,29	294
0	2	30,75	14,95	12,66	177,11	52042	296,60	118,64	
0	3	30,40	15,01	12,58	177,50	53557	302,80	121,12	
40	1	30,70	14,82	12,18	178,29	21217	122,94	49,18	119
40	2	30,63	14,98	12,28	178,76	20748	117,72	47,09	
40	3	30,84	14,99	12,30	174,37	20424	115,73	46,29	
45	1	30,48	14,97	12,26	178,68	17813	101,25	40,50	107
45	2	30,50	14,97	11,94	174,37	19192	109,09	43,64	
45	3	30,47	14,95	12,14	179,24	19652	112,00	44,80	
50	1	30,55	14,99	12,22	176,32	17840	101,13	40,45	96
50	2	30,48	14,94	12,04	174,29	16234	92,61	37,04	
50	3	30,57	14,96	12,22	177,66	16400	93,34	37,34	

CAPITULO IV. RESULTADOS

Cálculo del peso unitario

Resistencia Nominal: 250 kgf/cm²

Fecha del Ensayo: 19/08/2010

Tabla IV.1.5.7.3 Peso Unitario de las probetas a los 21 días

% CV	Probeta Nº	Diámetro Medio (m)	h_{probeta} (m)	Peso (kg)	Volumen (m³)	Peso Unitario (kg/m³)
0	1	0,15	0,31	12,63	0,0055	2316
0	2	0,15	0,31	12,66	0,0054	2346
0	3	0,15	0,30	12,58	0,0054	2340
40	1	0,15	0,31	12,18	0,0053	2299
40	2	0,15	0,31	12,28	0,0054	2274
40	3	0,15	0,31	12,30	0,0054	2260
45	1	0,15	0,30	12,26	0,0054	2287
45	2	0,15	0,31	11,94	0,0054	2226
45	3	0,15	0,30	12,14	0,0053	2272
50	1	0,15	0,31	12,22	0,0054	2267
50	2	0,15	0,30	12,04	0,0053	2253
50	3	0,15	0,31	12,22	0,0054	2275

CAPITULO IV. RESULTADOS

IV.1.5.8 Ensayos a los 28 días

Velocidad de propagación de ondas en el concreto

Resistencia Nominal: 250 kgf/cm²

Fecha del Ensayo: 26/08/2010

Tabla IV.1.5.8.1 Ensayo de velocidad de propagación de ondas a los 28

% CV	Probeta N°	t_{ultrasonido} (μs)	t_{ultrasonido} (s)	h_{probeta} (m)	V(m/s)
0	1	77,300	0,0000773	0,31	3946
0	2	77,600	0,000078	0,31	3986
40	1	78,000	0,0000780	0,31	3953
40	2	87,500	0,0000875	0,31	3524
40	3	84,500	0,0000845	0,30	3645

CAPITULO IV. RESULTADOS

Resistencia a la compresión

Resistencia Nominal: 250 kgf/cm²

Fecha del Ensayo: 26/08/2010

Tabla IV.1.5.8.2 Ensayo de resistencia a compresión de cilindros de concreto a los 28 días

% CV	Probeta N°	Altura Media (cm)	Diámetro Medio (cm)	Peso (kg)	Área Media (cm²)	Q (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	% Resistencia Alcanzado	Esfuerzo Medio (kgf/cm²)
0	1	30,50	14,93	12,64	180,66	55850	318,87	128	308
0	2	30,93	15,00	12,37	177,11	52329	296,12	118	
40	1	30,80	15,03	12,27	177,50	22643	127,57	51	129
40	2	30,83	14,97	12,22	178,29	23254	132,18	53	
45	1	30,45	14,99	12,22	174,37	20912	118,44	47	119
45	2	30,24	14,93	12,11	178,68	20830	118,93	48	
50	1	30,37	15,11	12,34	174,37	18702	104,34	42	103
50	2	30,34	14,95	12,11	179,24	17968	102,40	41	

CAPITULO IV. RESULTADOS

Cálculo del peso unitario

Resistencia Nominal: 250 kgf/cm²

Tabla IV.1.5.8.3 Peso Unitario de las probetas a los 28 días

% CV	Probeta N°	Diámetro Medio (m)	h _{probeta} (m)	Peso (kg)	Volumen (m ³)	Peso Unitario (kg/m ³)
0	1	0,15	0,31	12,64	0,0053	2366
0	2	0,15	0,31	12,37	0,0055	2262
40	1	0,15	0,31	12,27	0,0055	2245
40	2	0,15	0,31	12,22	0,0054	2254
40	3	0,15	0,31	12,18	0,0054	2238
45	1	0,15	0,30	12,22	0,0054	2274
45	2	0,15	0,30	12,11	0,0053	2287
50	1	0,15	0,30	12,34	0,0054	2268
50	2	0,15	0,30	12,11	0,0053	2275

Módulo de Elasticidad

Tabla IV.1.5.8.4 Datos de la probeta empleada para el ensayo

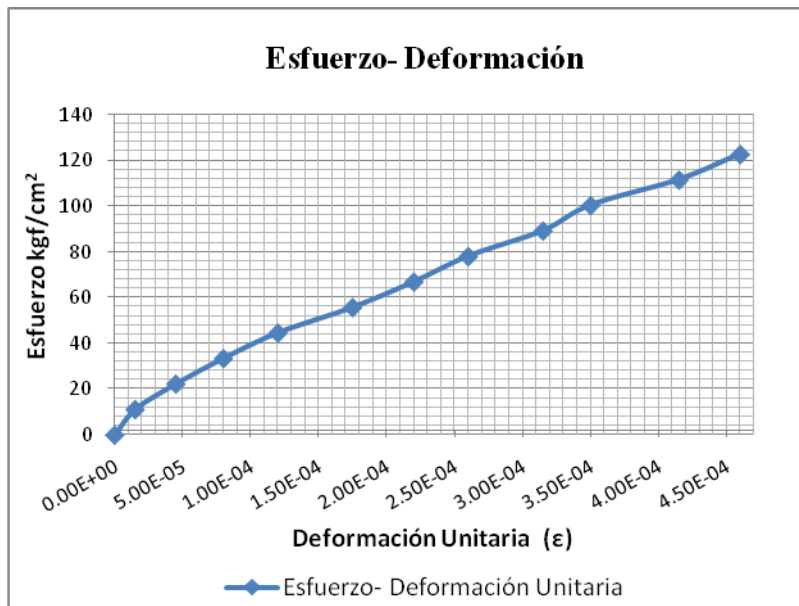
Probeta N°	%CV	Diámetro Medio (cm)	Área (cm ²)
3	0	15,10	179,08

CAPITULO IV. RESULTADOS

Tabla IV.1.5.8.5 Resultados del ensayo de Módulo de Elasticidad

MP2			
Carga (kgf)	Esfuerzos (kgf/cm²)	Deformación	Deformación Unitaria
2000	11	3	0,000015
4000	22	9	0,000045
6000	34	16	0,00008
8000	45	24	0,00012
10000	56	35	0,000175
12000	67	44	0,00022
14000	78	52	0,00026
16000	89	63	0,000315
18000	101	70	0,00035
20000	112	83	0,000415
22000	123	92	0,00046

Gráfico IV.1.5.8-1 Curva Esfuerzo – Deformación. Mezcla patrón



MP2	
Sc	123
εc	4,6x10 ⁻⁴
sd	24
E1	2.41x10 ⁵

CAPITULO IV. RESULTADOS

Tabla IV.1.5.8.6 Datos de la probeta empleada para el ensayo

Probeta N°	%CV	Diámetro Medio (cm)	Área (cm ²)
3	45	15,03	177,42

Tabla IV.1.5.8.7 Resultados del ensayo de Módulo de Elasticidad

CV5			
Carga (kgf)	Esfuerzos (kgf/cm ²)	Deformación	Deformación Unitaria
800	5	4	0,00002
1600	9	14	0,00007
2400	14	24	0,00012
3200	18	33	0,000165
4000	23	43	0,000215
4800	27	53	0,000265
5600	32	61	0,000305
6400	36	71	0,000355
7200	41	81	0,000405
8000	45	92	0,00046
8800	50	102	0,00051

Gráfico IV.1.5.8-2 Curva Esfuerzo – Deformación. Mezcla con 45% CV



CV5	
Sc	50
εc	5,1x10 ⁻⁴
sd	8
E1	0,904x10 ⁵

CAPITULO IV. RESULTADOS

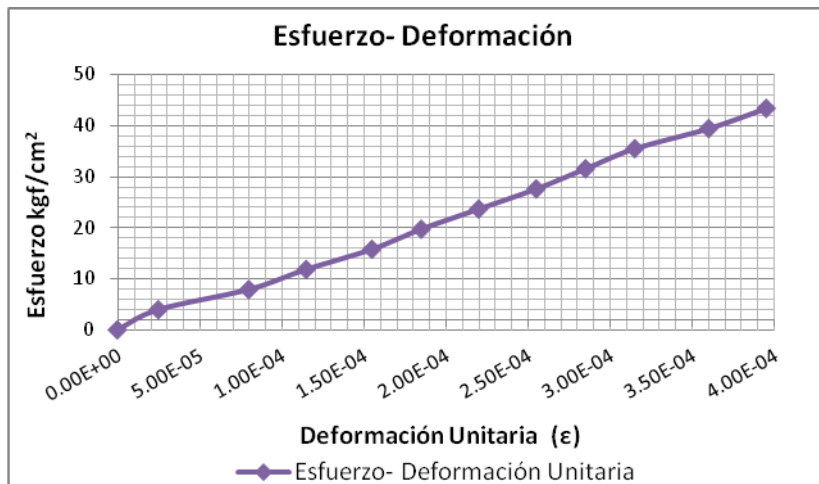
Tabla IV.1.5.8.8 Datos de la probeta empleada para el ensayo

Probeta N°	%CV	Diámetro Medio (cm)	Área (cm ²)
3	50	15,03	177,42

Tabla IV.1.5.8.9 Resultados del ensayo de Módulo de Elasticidad

CV6			
Carga (kgf)	Esfuerzos (kgf/cm ²)	Deformación	Deformación Unitaria
700	4	5	0,000025
1400	8	16	0,00008
2100	12	23	0,000115
2800	16	31	0,000155
3500	20	37	0,000185
4200	24	44	0,00022
4900	28	51	0,000255
5600	32	57	0,000285
6300	36	63	0,000315
7000	39	72	0,00036
7700	43	79	0,000395

Gráfico IV.1.5.8-3 Curva Esfuerzo – Deformación. Mezcla con 50% CV



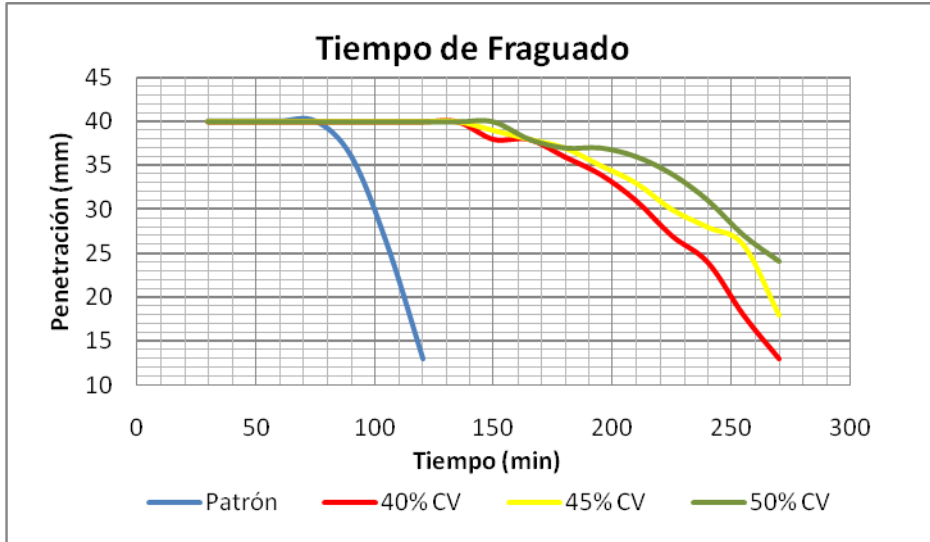
CV6	
Sc	43
εc	3,95x10 ⁻⁴
sd	7
E1	1.06x10 ⁵

CAPITULO IV. RESULTADOS

IV.1.6 Comparación con las mezclas Patrones

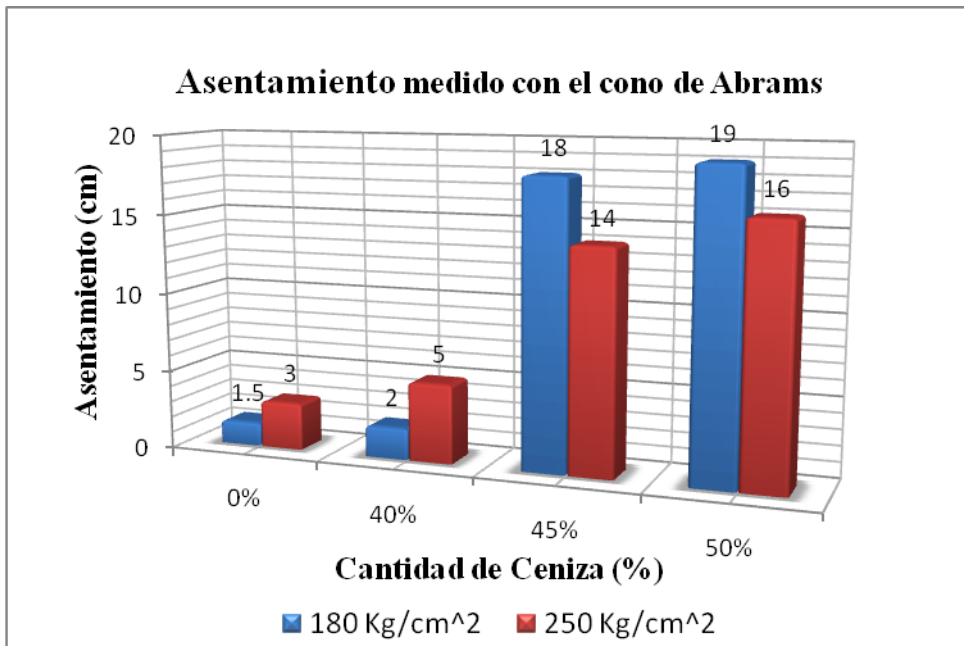
IV.1.6.1 Tiempo de Fraguado

Gráfico IV.1.6.1-1. Tiempo de fraguado medido con la aguja de Vicat



IV.1.6.2 Asentamiento

Gráfico IV.1.6.2-1. Comparación de Asentamientos. Ensayo: Cono de Abrams



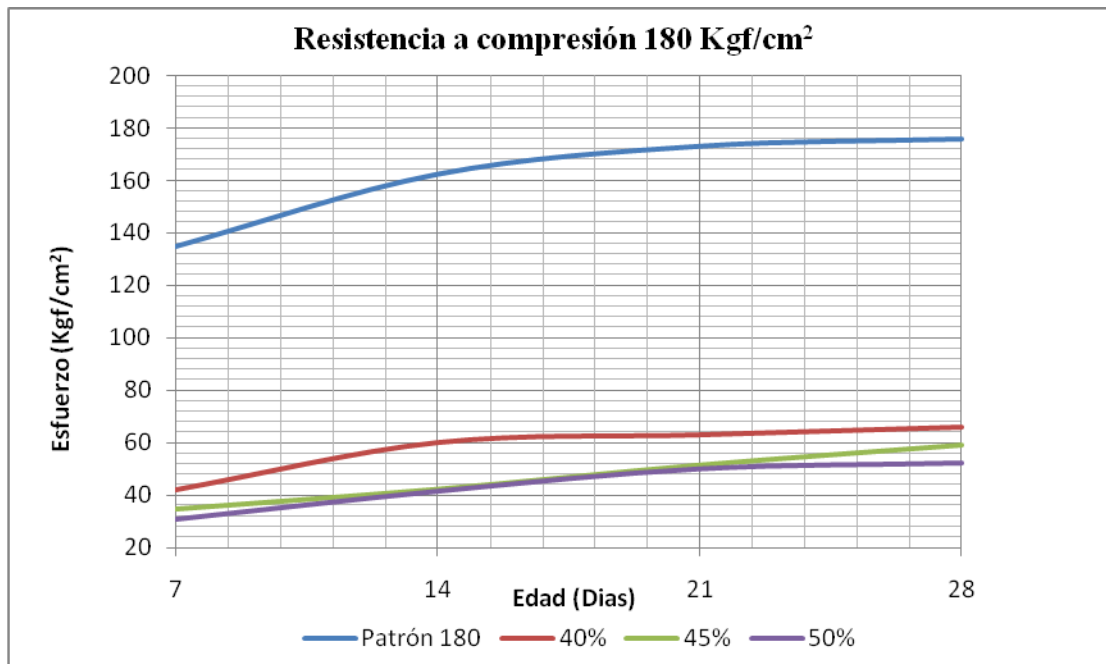
CAPITULO IV. RESULTADOS

IV.1.6.3 Resistencia a Compresión

Tabla IV.1.6.3.1. Resumen de resultados para mezclas de $f'c=180 \text{ kgf/cm}^2$

Edad (Días)	Esfuerzo promedio. $f'c= 180 \text{ kgf/cm}^2$			
	MP1	CV1	CV2	CV3
7	135	42	35	31
14	162	60	42	41
21	173	63	52	50
28	176	66	59	52
Asentamiento (cm)				
	1,50	2,00	18,00	19,00
Velocidad de Ultrasonido				
	3259	3257	3154	3104
Peso Unitario (kg/m^3)				
	2325	2280	2259	2237
Módulo de Elasticidad				
	$1,87 \times 10^5$	$0,98 \times 10^5$	$0,957 \times 10^5$	$0,985 \times 10^5$

Gráfico IV.1.6.3-1. Comparación para las mezclas de $f'c= 180 \text{ kgf/cm}^2$

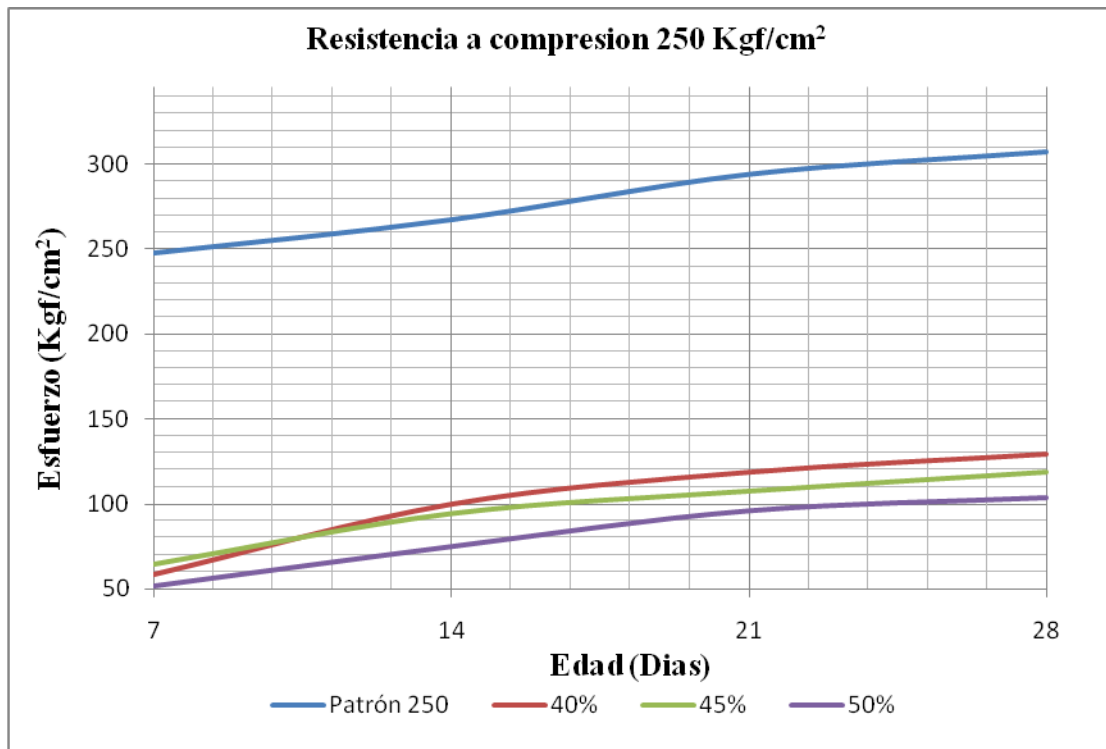


CAPITULO IV. RESULTADOS

Tabla IV.1.6.3.2 Resumen de resultados para mezclas de $f'c=250 \text{ kgf/cm}^2$

Edad (Días)	Esfuerzo promedio. $f'c= 250 \text{ kgf/cm}^2$			
	MP2	CV4	CV5	CV6
7	248	58	64	51
14	267	100	94	75
21	294	119	107	96
28	308	129	119	103
Asentamiento (cm)				
	2,00	5,00	14,00	16,00
Velocidad de Ultrasonido				
	3783	3336	3329	3260
Peso Unitario (kg/m^3)				
	2334	2278	2262	2265
Módulo de Elasticidad				
	$2,41 \times 10^5$	-	$0,904 \times 10^5$	$1,06 \times 10^5$

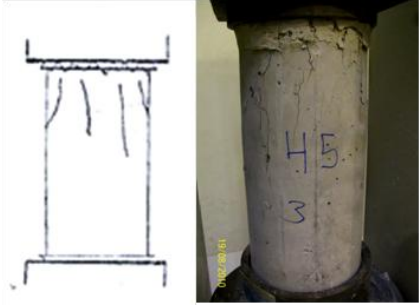
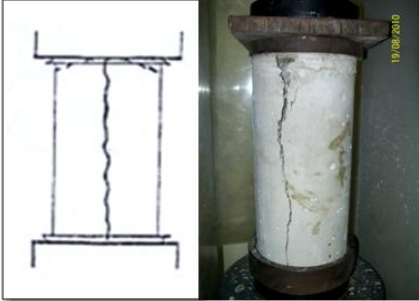
Gráfico IV.1.6.3-2 Comparación para las mezclas de $f'c= 250 \text{ kgf/cm}^2$



CAPITULO IV. RESULTADOS

IV.1.7 Fallas Obtenidas en el Ensayo de resistencia a la compresión

IV.1.7.1 Fallas por deficiencia de enrase



CAPITULO V

V.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

V.1.1 Tiempo de fraguado

En el **Gráfico IV.1.7.1-1** “*Tiempo de fraguado medido con la aguja de Vicat*” es notable el efecto de la adición de cenizas en el tiempo de fraguado del cemento hidráulico, estas inducen un retraso en el proceso de atiesamiento de las mezclas. También, se observa para la mezcla correspondiente a 0% de cenizas (mezcla patrón) un tiempo de fraguado de 105 min, mientras que para las mezclas con contenido de cenizas, este tiempo se incrementa considerablemente, presentándose para mezclas con 40, 45 y 50% tiempos de fraguado de 236, 257 y 265 min respectivamente.

Los tiempos de fraguado se determinaron mediante interpolaciones gráficas en las curvas tiempo-penetración, para una penetración fija de 25 mm.

V.1.2 Asentamiento

En el **Gráfico IV.1.7.1-1**. “*Comparación de Asentamientos. Ensayo: Cono de Abrams*” se puede apreciar un aumento en el asentamiento de las mezclas a medida que se incrementa la cantidad de ceniza, esto se debe a que la ceniza mejora la lubricación entre las partículas de los agregados. Otro aspecto importante que se puede puntualizar es que las mezclas finales con mayor cantidad de ceniza sustituida en 45% y 50%, sufren un incremento vertiginoso en el asentamiento en comparación con las mezclas iniciales.

V.1.3 Ensayos de Resistencia a Compresión

En los gráficos **IV.1.7.1-1** “*Comparación para las mezclas de $f'c= 180$ kgf/cm²*” y **IV.1.7.1-2** “*Comparación para las mezclas de $f'c= 250$ kgf/cm²*” se aprecia una disminución considerable de la resistencia a compresión para ambos tipos

CAPITULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

de concreto a medida que se incrementa la sustitución de cemento por ceniza. Las mezclas MP1 y MP2 presentaron resistencias de 175 kgf/cm² y 308 kgf/cm² respectivamente a los 28 días, estas variaciones en la resistencia de diseño permanecen cercanos a los parámetros de la desviación estándar esperados en el diseño de mezcla. Por lo tanto las mezclas con porcentajes de ceniza serán referidas a estas resistencias patrones.

La mezcla CV1 alcanzó una resistencia de 66 Kgf/cm² a los 28 días lo que representa una disminución del 62,2% con respecto a la mezcla patrón (MP1), de manera similar las mezclas CV2 y CV3 presentaron resistencias de 59 kgf/cm² y 52 kgf/cm² con una disminución de la resistencia de 66,2% y 70,2% respectivamente. Es importante resaltar que a ninguna de las mezclas realizadas en este trabajo especial de grado se les añadió agua adicional durante el mezclado.

Las mezclas CV4, CV5 y CV6 presentaron resistencias de 129 Kgf/cm², 119 Kgf/cm² y 103, estos resultados se traducen en disminuciones respecto a la resistencia de MP2 del 57,89%, 61,4% y 66,38% respectivamente.

El efecto que tienen las cenizas volantes de bagazo de caña como sustituto parcial del cemento en las mezclas de estudio, es la disminución en más de un 55% de las resistencias de diseño. Este comportamiento se le atribuye naturalmente a las condiciones que presentan las cenizas, ya que estas no fueron intervenidas previamente a su empleo; es decir no pasaron por ciertos procesos que contribuyen a una mejor respuesta en cuanto a la reactividad de estas, uno de estos procesos es la molienda la cual permite incrementar la finura de las partículas y a su vez promueve el desarrollo de resistencias ya que a mayor finura existe mayor contacto entre las partículas, lo cual aumenta la velocidad de hidratación.

Otros aspectos de gran influencia en los resultados obtenidos son las propiedades químicas de las cenizas volantes de bagazo de caña de azúcar. Los elementos más importantes que deben estar presentes y en cantidades necesarias en

CAPITULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

los materiales puzolánicos son el sílice (SiO_2) y la alúmina (Al_2O_3), también son de gran relevancia el porcentaje de humedad y las pérdidas al fuego. Probablemente los valores de estas propiedades químicas requeridas para obtener un concreto de buena calidad difieran considerablemente en las cenizas empleadas, teniendo como resultado final esta disminución de resistencias en el concreto realizado.

V.1.4 Velocidad de Ultrasonido

En las mezclas CV1, CV2 y CV3 se apreció una disminución del pulso ultrasónico de 0,1%, 3% y 5% respectivamente tomando como referencia la velocidad del pulso ultrasónico de la mezcla MP1.

El promedio de velocidades de pulso ultrasónico obtenido en la mezcla MP2 es mayor que el obtenido en las mezclas CV4, CV5 y CV6 de sustitución de ceniza, a su vez estas mezclas presentan una disminución de la velocidad a medida que se aumenta la cantidad de ceniza sustituida, es decir que, del grupo de mezclas con sustitución de ceniza, la mezcla CV4 presenta mayor promedio de velocidad de ultrasonido y la mezcla CV6 presenta la menor.

La mezcla CV4 tiene una disminución de pulso ultrasónico de 6,5 % con respecto a la mezcla patrón, de igual manera las mezclas CV5 y CV6 poseen una disminución del pulso de 16% y 18% respectivamente. Es conveniente indicar que los resultados obtenidos de la velocidad de ultrasonido para la mezcla MP2 se tomaron a los 21 días y no a los 28 debido a un desperfecto del medidor de ondas ultrasónicas.

Para las mezclas MP1 y MP2 se obtuvo un promedio de velocidades de pulso ultrasónico superior al resto de las mezclas con adición de cenizas. La velocidad de pulso ultrasónico en el grupo de mezclas con adición de cenizas disminuye a medida que se aumenta la cantidad de éstas.

Al relacionar los parámetros de velocidad y resistencia obtenidos en los ensayos se observó que a medida que los cilindros presentaban mayor resistencia a la

CAPITULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

compresión también mostraban mayores velocidades de pulso ultrasónico, lo cual corresponde con el comportamiento esperado.

V.1.5 Peso Unitario

La *Tabla IV.1.7.1.1. “Resumen de resultados para mezclas de $f'c=180$ kgf/cm²”* muestra el peso unitario obtenido para las mezclas MP1, CV1, CV2 y CV3, el cual se incrementó durante el proceso de curado, luego de los 28 días, las mezclas presentaron una disminución en su peso unitario a medida que aumentaba la cantidad de ceniza, resultando con mayor peso unitario la mezcla MP1 con 2325 Kg/m³, seguida de la mezcla CV1, que presentó una disminución del 2% con respecto a MP1, de igual manera las mezclas CV2 y CV3 obtuvieron una disminución de su peso unitario por el orden del 3 y 4% respectivamente. De acuerdo a los resultados obtenidos del peso unitario en las mezclas de concreto de 180 Kgf/cm², se observa claramente que al aumentar la sustitución de ceniza por cemento en las mezclas de concreto, el peso unitario disminuye en comparación con la mezcla patrón.

En la *Tabla IV.1.7.1.2 “Resumen de resultados para mezclas de $f'c=250$ kgf/cm²”* se muestra el comportamiento de las mezclas en cuanto a su peso unitario; la MP2 obtuvo un peso unitario de 2336 Kg/m³ resultando el más alto a los 28 días, seguidamente la mezcla CV4 alcanzó una disminución del 4% respecto de la MP2; las mezclas CV5 y CV6 obtuvieron una disminución de su peso unitario de 2,5 y 2,7% respectivamente, a diferencia del grupo anterior de mezclas con sustitución parcial de ceniza, la mezcla con menor contenido de ceniza no obtuvo el menor peso unitario, esta variación puede atribuirse a factores como la compactación al momento del vaciado de la mezcla.

V.1.6 Módulo de Elasticidad

V.1.6.1 Mezclas de $f'c=180 \text{ kgf/cm}^2$

El valor de módulo de elasticidad obtenido para la mezcla MP1 fue $1,8 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$, mientras que para las mezclas CV1, CV2 y CV3 fueron de $0,980 \times 10^5$, $0,957 \times 10^5$ y $0,985 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$, se observa que las mezclas con contenido de cenizas volantes presentan módulos de elasticidad considerablemente menores al de la mezcla MP1, a su vez los módulos de elasticidad son semejantes entre las mezclas con adición de ceniza.

V.1.6.2 Mezclas de $f'c=250 \text{ kgf/cm}^2$

La mezcla patrón diseñada para esta resistencia nominal alcanzó un módulo de elasticidad de $2,41 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$, superior al módulo de MP1. Las mezclas CV5 y CV6 muestran módulos de $0,904 \times 10^5$ y $1,06 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ respectivamente.

Se observó que a medida que se aumenta el contenido de cenizas los módulos de elasticidad disminuyen considerablemente en comparación con las mezclas patrones, esto implica mayor deformación del material a medida que se incorporan la cenizas.

Por motivos técnicos, al momento de realizar el ensayo sólo se contaba con un extensómetro, por tanto este fue ejecutado usando únicamente el extensómetro disponible. Obteniendo resultados dentro de los parámetros esperados.

CAPITULO VI

VI.1 CONCLUSIONES

El comportamiento de las mezclas con adición de cenizas volantes provenientes de la incineración del bagazo de caña de azúcar sustituidas por cemento en porcentajes de 40%, 45% y 50% para resistencias de 180 kgf/cm² y 250 kgf/cm² fue evaluado y comparado con el comportamiento de las mezclas patrones diseñadas y realizadas. Las propiedades estudiadas para determinar el comportamiento de este material propuesto para la construcción fueron: tiempo de fraguado, asentamiento, velocidad de pulso ultrasónico, peso unitario, resistencias a compresión de los cilindros y módulo de elasticidad.

La utilización de cenizas volantes como sustituto parcial del cemento en los porcentajes indicados, produce el aumento significativo del tiempo de fraguado. Aunque este comportamiento indica un periodo más largo de plasticidad facilitando las operaciones de transporte, colocación y vibrado del concreto, se debe tener en cuenta que el desarrollo de resistencias se puede ver afectado. Sin embargo, si se controla el proceso de obtención de las cenizas volantes con el fin de mantener los valores de las propiedades químicas más importantes, sería posible obtener mayores velocidades de desarrollo de resistencias.

Los agregados que se encuentran actualmente en el mercado muchas veces incumplen los requisitos de calidad establecidos por las normas, uno de los parámetros más importantes es la granulometría. Contar con agregados que presenten granulometrías continuas y dentro de los límites normativos es elemental para el desarrollo de resistencias. Por tal razón, se recomienda un chequeo de la misma al adquirir el agregado, ya que esto permitiría trabajar con la relación correcta de agregados finos y gruesos.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES

Las mezclas de concreto con sustitución parcial de cemento por cenizas volantes presentaron aumentos en el asentamiento a medida que se incrementaba la cantidad de cenizas, esto se debe a que la sustitución fue realizada en función del volumen de las mezclas, lo cual se traduce en dosificaciones de cemento y cenizas que combinadas toman el volumen que antes era ocupado solo por la dosis de cemento; debido a la baja gravedad específica de las cenizas, al realizar el reemplazo volumétrico se obtienen pesos inferiores de cada uno de estos materiales; es decir, se está disminuyendo la cantidad de cemento, lo que trae como consecuencia mayor asentamiento y por tanto desarrollo de la trabajabilidad de las mezclas con sustitución por cenizas respecto a las mezclas patrones.

Las resistencias a la compresión de las mezclas con cenizas volantes en porcentajes de 40%, 45% y 50% disminuyeron en más de un 55% respecto a las mezclas patrones; existen muchas variables que pueden alterar las resistencias a compresión de las mezclas de concreto, en este caso se puede atribuir esta disminución a que el material puzolánico empleado no fue intervenido, se utilizó en su condición regular de producción.

Las resistencias de las mezclas con cenizas volantes para el diseño de 180 kgf/cm², son 52 kgf/cm² y 66 kgf/cm².

Para el diseño de 250 kgf/cm² se tienen resistencias entre 103 kgf/cm² y 129 kgf/cm², estas resistencias corresponden a las de un concreto pobre.

En las mezclas de 180 Kgf/cm² se observó que el peso unitario disminuía a medida que se aumentaban los porcentajes de cenizas, mientras que para las mezclas de 250 Kgf/cm² se obtuvo que la mezcla de CV4 fue la menos densa seguida de las mezclas CV5 y CV6. Es posible que esta divergencia de la mezcla CV4 esté vinculada con el proceso de compactación, puesto que algunas probetas en estado endurecido presentaron cangrejeras.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES

El módulo de elasticidad para las mezclas con sustitución de cenizas volantes disminuyó considerablemente a medida que aumentó la cantidad de ceniza en las mezclas de diseño. Lo que indica que las cenizas en las cantidades evaluadas contribuyen a crear un concreto con mayor susceptibilidad a la deformación.

El bajo módulo de elasticidad obtenido, permite deformaciones importantes en el material, las cuales admiten su utilización para concreto compactado con rodillo (CCR), según su resistencia, el CCR tiene aplicaciones en protección de márgenes de canales, pavimentos, pistas de aeropuertos y helipuertos, ataguías, realce de presas, reparaciones de emergencia, protección de la coronación de presas en tierra y reparación del talud aguas debajo de las mismas.

Con base en la idea original que es la estabilización del material de desecho como alternativa medioambiental, este material puede ser utilizado para elementos ornamentales y elementos no estructurales.

VI.2 RECOMENDACIONES

Realizar un estudio específico en cuanto a los procesos de obtención de las cenizas de bagazo de caña de azúcar con la finalidad de mejorar su eficiencia como material cementante.

Evaluar la factibilidad de uso del material obtenido como base o sub-base para proyectos de infraestructural vial.

Evaluar el empleo de cenizas de bagazo de caña como sustituto parcial del cemento en las mezclas para ser utilizadas en concreto compactado con rodillo, naturalmente esto implica, estudiar de manera más específica las resistencias y deformaciones obtenidas y compararlas con las requeridas para este uso.

Evaluar la factibilidad del uso de las cenizas volantes en concreto compactado con rodillo según la disponibilidad de este material en el país y los volúmenes de concreto requeridos para las distintas presas.

REFERENCIAS

REFERENCIAS

Agregados. Determinación de la composición granulométrica (1998, 12 de Agosto) Norma Venezolana COVENIN N° 255

Agregado fino. Determinación de la densidad y la absorción (1998, 12 Agosto) Norma Venezolana COVENIN N° 268

Agregado grueso. Determinación de la densidad y la absorción (1998, 12 Agosto) Norma Venezolana COVENIN N° 269

Águila, I y Sosa, M. (2008). *Evaluación físico química de cenizas de cascarilla de arroz, bagazo de caña y hoja de maíz y su influencia en mezclas de mortero, como materiales puzolánicos*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC). Caracas-Venezuela.

Comité conjunto del concreto armado (1976) Agregados para concreto, cementos, concreto. Ensayos de laboratorio y especificaciones. Tercera edición, Caracas.

Cemento portland. Requisitos (7ma revisión) (2003, 29 octubre) Norma Venezolana COVENIN N° 28

Cementos y sus Constituyentes. Definiciones (1992) Norma Venezolana COVENIN N° 483

Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto (2002, 30 de Octubre) Norma Venezolana COVENIN N° 338

Concreto. Método para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams (2003, 17 de Diciembre) Norma Venezolana COVENIN N° 339

REFERENCIAS

Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad (secante) en probetas cilíndricas de concreto (1979, 11 de Diciembre) Norma Venezolana COVENIN 1468.

Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto (1980) Norma Venezolana COVENIN 1681-80.

Método para la extracción de probetas cilíndricas y viguetas de concreto endurecido (1980, Diciembre de 09) Norma Venezolana COVENIN 345-80.

Puzolanas. Determinación del índice de actividad Puzolanica (1994, Diciembre) Norma Venezolana COVENIN N° 3135.

Porrero, J. y otros. (2004) *Manual del concreto estructural. Conforme con la Norma COVENIN 1753:2003 "Proyecto y Diseño de Obras en Concreto Estructural"*. Sidetur. Caracas.

Sin Autor. Estadísticas de producción. El Palmar. Disponible. http://www.elpalmar.com.ve/pages/productos_abono.htm [Consulta: 2010, Julio 10]

Sin Autor. Producción de caña de azúcar en Venezuela. El Mundo. Disponible. http://www.elmundo.com.ve/Default.aspx?id_portal=1&id_page=17&Id_Noticia=29331 [Consulta: 2010, Julio 16]

Sin Autor. En la molienda. La Guía. Disponible. <http://www.guia.com.ve/noti/61135/produccion-de-cana-de-azucar-caera-20-en-la-zafra-2010> [Consulta: 2010, Agosto 08]

Sin Autor. En la Molienda. Ecología Verde. Disponible. <http://www.ecologiaverde.com/el-cemento-debe-reducir-su-impacto-ambiental/> [Consulta: 2010, Agosto 08]

APÉNDICES

APÉNDICES

Apéndice 1. Diseño de Mezcla para $f'c=250 \text{ kgf/cm}^2$

<u>Agregados:</u>			
$T_{MÁX}$	3/4"	1,905	cm
			<u>Arena Natural</u>
Peso Especifico			2,60
			<u>Piedra Picada</u>
Peso Unitario Suelto (kg/m^3)			1400
% Absorción			0,74
% Humedad:			0,40
<u>Cemento:</u>			
Portland Tipo I			
Peso Unita	3330		kg/m^3
<u>Cenizas Volantes</u>			
% de adición			<u>PU CENIZAS (kg/m^3)</u>
40%	45%	50%	402
0,4	0,45	0,5	
<u>Mezcla de concreto:</u>			
$F'c=$	250	kg/cm^2	PU AGUA (kg/m^3)
$T=$	8	(cm)	1000
$\beta=$	0,5		
$\sigma=$	40	(kgf/cm^2)	
$z=$	1,34		
$Fcr=$	304	(kgf/cm^2)	
<u>Relacion Agua/Cemento</u>			
$\alpha = 3.147 - 1.065 * \log \bar{R}_{28} \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$			
$\alpha=$	0,50		
$K_R=$	1,05	Factor de corrección por tamaño máx	
$K_A=$	0,97	Factor de corrección por tipo de agregado	
$\alpha_c=$	0,51	$\alpha_c = \alpha * K_R * K_A$	
<u>Cemento</u>			
C (kg)=	390	$C = 117.2 * \frac{\tau^{0.16}}{\alpha_c^{1.3}}$	
$C_1=$	1,05	Factor de corrección por tamaño máx	
$C_2=$	0,93	Factor de corrección por tipo de agregado	
C_c (kg)=	380,5	$C_c = C * C_1 * C_2$	

APÉNDICES

Volumen de aire y de agua

$$V \text{ (L/m}^3\text{)} \quad 19,97 \quad V = \frac{C_c}{P}$$

$$a \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad 195,0 \quad a = C_c * \alpha_c$$

Mezcla Patron 180 kg/cm²

1m³

Componente	Peso (kg/m ³)	Vol Abs (L/m ³)
Cemento	380	114,3
Cenizas	0	0
Agua	195	195
Arena	872	671
Piedra	872	
Aire	—	20
Total	2.320	1.000

Corrección por humedad

$$Y_{A+B} \quad 2,60 \quad Y_{A+G} = \beta * Y_A + (1 - \beta) * Y_G$$

$$A+G \text{ (kg)} \quad 1744 \quad A + G = Y_{(A+G)} * (1,000 - 0,3 * C - a - V)$$

$$A=A_{sss} \text{ (kg)} \quad 872 \quad A = (A + G) * \beta$$

$$G=G_{sss} \text{ (kg)} \quad 872 \quad G = (A + G) * (1 - \beta)$$

$$A \text{ (kg)} \quad 890 \quad A = A_{SSS} * \frac{100 + W_A}{100 + Ab_A}$$

$$G \text{ (kg)} \quad 869 \quad G = G_{SSS} * \frac{100 + W_G}{100 + Ab_G}$$

$$a_M \text{ (L/m}^3\text{)} \quad 180 \quad a_M = a + A_{sss} - A + G_{sss} - G$$

APÉNDICES

<u>Mezcla patrón para 12 probetas</u>						
Vol (m ³)	0,08					
Componente	Peso (kg)	Vol Abs (L/m ³)				
Cemento	29,7	0,0089				
Cenizas	0	0				
Agua	14,0	0,0140				
Arena	68,0	0,05233				
Piedra	68,0					
Aire	-	0,0016				
	180	0,08				
<u>Cantidades para Mezclas con CV (kg)</u>						
Fc= 250 kg/cm ²						
Componente:	Vol (m ³)	40%	Vol (m ³)	45%	Vol (m ³)	50%
Cemento	0,0053	17,8	0,0049	16,3	0,0045	14,8
Cenizas	0,0036	1,4	0,0040	1,6	0,0045	1,8
Agua	0,0140	14,0	0,0140	14,0	0,0140	14,0
Arena	0,0523	68,0	0,0523	68,0	0,0523	68,0
Piedra		68,0		68,0		68,0
	0,08	170	0,08	168	0,08	167

APÉNDICES

Apéndice 2. Tabla de datos para ensayo de velocidad de propagación de ondas

% CV	Probeta N°	t_{ultrasonido} (μs)	t_{ultrasonido} (s)	h_{probeta} (m)	V(m/s)
0	1				
0	2				
0	3				
40	1				
40	2				
40	3				
45	1				
45	2				
45	3				
50	1				
50	2				
50	3				

Apéndice 3. Tabla para datos de peso unitario de las probetas

% CV	Probeta N°	Diámetro Medio (m)	h_{probeta} (m)	Peso (kg)	Volumen (m³)	Peso Unitario (kg/m³)
0	1					
0	2					
0	3					
40	1					
40	2					
40	3					
45	1					
45	2					
45	3					
50	1					
50	2					
50	3					

APÉNDICES

Apéndice 4. Tabla para recolección de datos del ensayo de resistencia a compresión de cilindros de concreto

% CV	Probeta N°	Altura Media (cm)	Diámetro Medio (cm)	Peso (kg)	Área Media (cm ²)	Q (kg)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	% Resistencia Alcanzado	Esfuerzo Medio (kgf/cm ²)
0	1								
0	2								
0	3								
40	1								
40	2								
40	3								
45	1								
45	2								
45	3								
50	1								
50	2								
50	3								

APÉNDICES

Apéndice 5. Tabla para resultados del ensayo de Módulo de Elasticidad

<i>Nombre mezcla</i>			
Carga (kgf)	Esfuerzos (kgf/cm²)	Deformación	Deformación Unitaria

ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1. Cenizas volantes de bagazo de caña

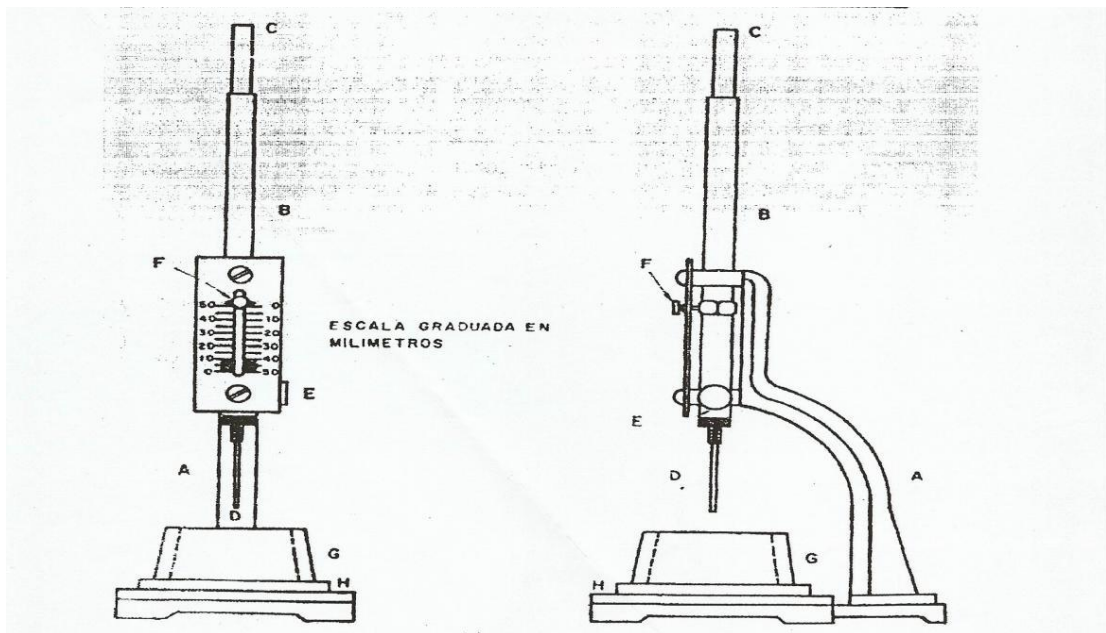


Anexo 2. Mezcladora de dos velocidades para el ensayo de la aguja de Vicat



ANEXOS

Anexo 3. Aparato de Vicat. Según CCCa: Ce1



Anexo 4. Ensayo de tiempo de fraguado



ANEXOS

Anexo 5. Balanza para el pesaje de los materiales



Anexo 6. Preparación de materiales a mezclar



ANEXOS

Anexo 7. Preparación de probetas



Anexo 8. Mezcladora de eje variable utilizada en el preparación de las mezclas



ANEXOS

Anexo 9. Preparación de mezclas



Anexo 10. Ensayo del cono de Abrams



ANEXOS

Anexo 11. Disposición de la mezcla en la carrucha para posterior transporte al lugar de vaciado



Anexo 12. Llenado y compactado en moldes cilíndricos



Anexo 13. Probetas encofradas



Anexo 14. Proceso de curado



ANEXOS

Anexo 15. Probetas con capping



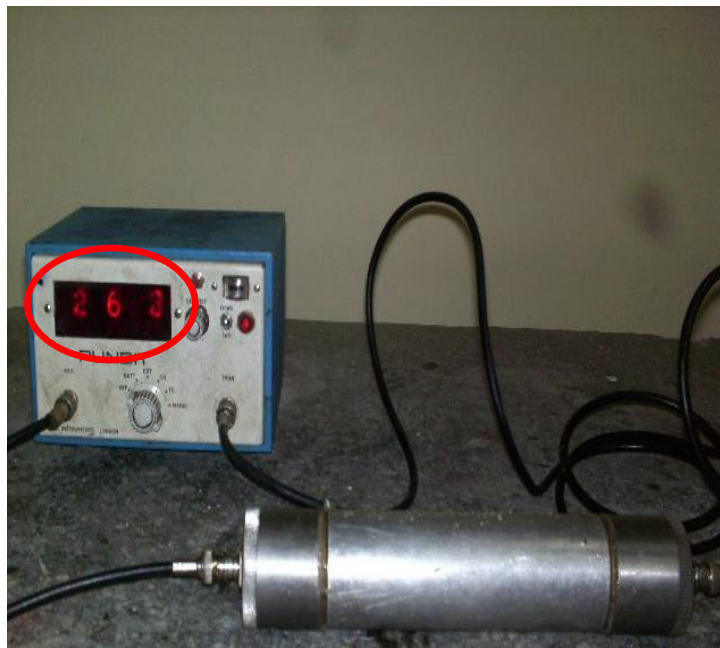
Anexo 16. Pesaje de probetas en balanza electrónica



Anexo 17. Medición con vernier



Anexo 18. Calibración del receptor de ondas



ANEXOS

Anexo 19. Ensayo de pulso ultrasónico



Anexo 20. Ensayo de resistencia a la compresión



Anexo 21. Ensayo de módulo de elasticidad

