

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL USO DE CENIZAS VOLANTES PROVENIENTES DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO EN MEZCLAS DE CONCRETO DE BAJAS A MEDIAS RESISTENCIAS.

Presentado ante la Ilustre

Universidad Central de Venezuela

por la Bachiller

González B. Elena P.

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, Junio 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL USO DE CENIZAS VOLANTES PROVENIENTES DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO EN MEZCLAS DE CONCRETO DE BAJAS A MEDIAS RESISTENCIAS.

TUTOR ACADEMICO: Prof. Ronald Torres

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por la Bachiller
González B. Elena P.
Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, Junio 2009

ACTA

El día **06 de Julio de 2009** se reunió el jurado formado por los profesores:

Idalberto Aguilera
Jesus Balboa
Ronald Torres

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: "**EVALUACIÓN DEL USO DE CENIZAS VOLANTES PROVENIENTES DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO EN MEZCLAS DE CONCRETO DE BAJAS A MEDIAS RESISTENCIAS.**".

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

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

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Br. Elena Paola González Blanco	20	VEINTE

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO

Idalberto Aguilera
Jesús Balboa
Ronald Torres

Caracas, 06 de Julio de 2009

***“Porque soy así gracias a ustedes,
porque su amor y su
dedicación no tienen igual.”***

Dedicado a mis padres

Elena Blanco y Pablo González.

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada un agradecimiento infinito a Dios, por darme la vida, por darme a mi familia, todo lo que tengo y las maravillosas oportunidades que siempre me ha dado, mil gracias.

Un agradecimiento muy especial a mi familia, mis hermanos Marvelys González y Wilfredd González y sobre todo a mis padres Pablo González y Elena Blanco por su apoyo incondicional, por todo su esfuerzo y por todos sacrificios que hicieron por mí, porque gracias a ustedes soy como soy, gracias por el amor, el tiempo, el cariño con el que me mostraron el mundo y gracias por los regaños, los límites y por enseñarme como decir lo quiero para mí. También un agradecimiento a José Días por su amor, su apoyo y comprensión, gracias por acompañarme incondicionalmente.

Agradezco a la Universidad Central de Venezuela, por abrirme sus puertas y por brindarme excelente formación profesional y personal. A mi tutor el Prof. Ronald Torres y al Prof. Cesar Peñuela por su apoyo, compañía y guía durante la elaboración de este Trabajo Especial de Grado. Además un agradecimiento especial al personal técnico del IMME por toda su colaboración.

Por último y no menos importante, a toda las personas, amigos, compañeros de clase y del trabajo que aportaron su granito de arena para ayudarme a llegar hasta aquí. Especialmente a mis amigos Andres Pazos, Francisco Yépez y Jesús Molina que me han acompañado desde el principio y con los que he compartido las altas y bajas en esta aventura de crecer y formarme como ingeniero, y han sido un gran apoyo en los momento más difíciles.

Gracias.

González B. Elena P.

**EVALUACIÓN DEL USO DE CENIZAS VOLANTES
PROVENIENTES DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO
SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO EN MEZCLAS DE
CONCRETO DE BAJAS A MEDIAS RESISTENCIAS.**

**Tutor Académico: Prof. Ronald Torres. TESIS. Caracas, U.C.V. Facultad de
Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. 2009. 145 Pág.**

RESUMEN

En este Trabajo Especial de Grado se realizó una evaluación del comportamiento de las mezclas de concreto con cenizas volantes como sustituto parcial del cemento en porcentajes de 5, 10 y 15% y de resistencias de 180 kg/cm² y 250kg/cm². Las cenizas se utilizaron en estado natural, sometidas a un proceso de secado y retirándose los gruesos existentes mediante un cernido con el tamiz COVENIN #4. Se elaboraron las mezclas según la norma COVENIN 338 y los parámetros evaluados fueron el asentamiento, la consistencia en estado fresco, la resistencia a compresión de cilindros normalizados a 7, 14, 21 y 28 días, el módulo de elasticidad de las muestras, la velocidad de propagación de ondas y la densidad de las muestras. Concluyéndose que las cenizas volantes pueden utilizarse como sustituto parcial del cemento en los porcentajes de cenizas antes mencionados ya que producen produciendo una mejora en la resistencia de la mezcla con módulo más bajo y una densidad menor.

Palabras claves: concreto, cenizas volantes, aditivos, cemento, resistencias bajas, resistencias medias

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I

INTRODUCCION.....	1
I.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
I.2.- OBJETIVOS	
I.2.1.- Objetivo general.....	3
I.2.2.- Objetivos específicos.....	3
I.3.- APORTES.....	4

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

II.1. Antecedentes históricos del concreto.....	5
II.2 Cemento Portland.....	6
II.3 El concreto.....	8
II.3.1. Características del concreto fresco.....	10
II.3.1.1. Reología del concreto.....	10
II.3.1.2. Fluidéz.....	11
II.3.1.3 Compactibilidad.....	11
II.3.1.4 Estabilidad a la segregación.....	11
II.4 Diseño de mezclas.....	12
II.4.1 Relación triangular.....	13
II.4.2 La ley de Abrams.....	13
II.5 Puzolanas.....	14
II.5.1 Tipos de Puzolanas.....	15
II.5.2 Ceniza de Combustible Pulverizado (Ceniza Volante).....	15
II.5.4. La caña de azúcar.....	17

II.5.5 Complejo Azucarero El Palmar.....	19
II.6 Cono de Abrams.....	20
II.7 El peso específico o peso unitario.....	21
II.8 Resistencias mecánicas.....	22
II.9 Ensayo de velocidad del ondas en el concreto.....	22
II.10 Ensayo a compresión.....	23
II.11 Módulo de elasticidad.....	24
II.12 Método estadístico.....	25

CAPITULO III

MÉTODO.....	26
--------------------	-----------

III.1. Caracterización de la Cenizas Volantes y Agregados

III.1.1 Caracterización en el estado inicial para las cenizas.....	27
III.1.2 Método de ensayo para determinar la consistencia normal de cementos hidráulicos. Según CCCA: Ce 12.....	27
III.1.3 Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de cementos hidráulicos por la aguja de Vicat. Según CCCA: Ce11.....	29
III.1.4 Determinación por cernido de la distribución granulométrica de los tamaños de partículas de agregados finos y gruesos. Según la Norma COVENIN N° 255:.....	29
III.1.5 Método de determinación de la densidad aparente con muestra saturada y superficie seca según la Norma COVENIN 268:1998.....	33
III.1.6 Método de determinación de la densidad aparente con muestra saturada y superficie seca según la Norma Venezolana COVENIN 269:1998.....	36

III.2 Diseño de las mezclas.....	39
III.3 Preparación de la Mezcla	
Método para la elaboración, curado (Según Norma COVENIN N° 338).....	42
III.4 Caracterización del concreto fresco y endurecido	
III.4.1 Método para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams (Según Norma COVENIN N° 339)	43
III.4.2. Peso unitario para el concreto endurecido.....	44
III.4.3 Método para determinar la propagación de ondas en el concreto (Según Norma COVENIN N° 1681-80).....	45
III.4.4 Método para el ensayo a compresión de cilindros de concreto (Según Norma COVENIN N° 338).....	46
III.4.5 Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad (secante) en probetas cilíndricas de concreto (Según Norma Venezolana COVENIN 1468).....	47
III.5 Comparación con mezclas patrones.....	51

CAPITULO IV

RESULTADOS

IV.1 Ensayo de la aguja de Vicat para mezcla de cemento con cenizas volantes.....	52
IV.2 Características del agregado fino.....	55
V.2.1 Calculo de la densidad, absorción y contenido de humedad del agregado fino.....	57
IV.3 Características del agregado grueso.....	58

IV.3.1	Calculo de la densidad, absorción y contenido de humedad del agregado grueso.....	60
VI.4 Diseños de mezclas		
VI.4.1	Diseño de la mezcla MP-1.....	61
VI.4.2	Diseño de la mezcla MP-2.....	61
VI.4.3	Diseño de la mezcla CV-1.....	62
VI.4.4	Diseño de la mezcla CV-2.....	62
VI.4.5	Diseño de la mezcla CV-3.....	63
VI.4.6	Diseño de la mezcla CV-4.....	63
VI.4.7	Diseño de la mezcla CV-5.....	64
VI.4.8	Diseño de la mezcla CV-6.....	64
IV.5 Resultados y medidas de ensayos de la mezclas en estado endurecido		
IV.5.1	Mezcla MP-3 180 kg/cm ² (patrón).....	66
IV.5.2	Mezcla MP-1 250 kg/cm ² (patrón).....	70
IV.5.3	Mezcla CV-1 180 kg/cm ² con 5% CV.....	75
IV.5.4	Mezcla CV-2 250 kg/cm ² con 5% CV.....	80
IV.5.5	Mezcla CV-3 180 kg/cm ² con 10% CV.....	85
IV.5.6	Mezcla CV-4 250 kg/cm ² con 10% CV.....	90
IV.5.7	Mezcla CV-5 180 kg/cm ² con 15% CV.....	95
IV.5.8	Mezcla CV-6 250 kg/cm ² con 15% CV.....	100
IV.6 Comparación con las mezclas patrones		
IV.6.1	Mezclas de 180 kg/cm ²	105
IV.6.2	Mezclas de 250 kg/cm ²	106
IV.7	Tipos de fallas obtenidas.....	107

CAPITULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

V.1	Ensayo de Aguja de Vicat.....	108
V.2	Granulometría.....	108

V.2.1 Agregado Grueso.....	108
V.2.2 Agregado Fino.....	109
V.3 Densidad, Absorción y Contenido de Humedad.....	109
V.4 Ensayo de Cono de Abrams.....	110
V.5 Ensayos de Resistencia a Compresión.....	110
V.6 Ensayos de Ultrasonido.....	112
V.7 Ensayos de Módulo de Elasticidad.....	113
V.8 Peso Unitario.....	114
CAPITULO VI	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	116
BIBLIOGRAFÍA.....	119
APÉNDICES	
Apéndice 1. Hoja de cálculo para el diseño de mezcla.....	121
Apéndice 2. Formato para recolección de datos par ensayos a compresión.....	122
Apéndice 3. Formato para el cálculo de peso unitario.....	122
Apéndice 4. Formato para la recolección de datos para el modulo de elasticidad.....	123
Apéndice 5. Formato de recolección de datos para la velocidad de onda.....	123
Apéndice 6. Formato de recolección de datos para los agregados.....	124
ANEXOS	
Anexo 1. Complejo azucarero El Palmar.....	125
Anexo 2. Bagazo de caña triturado.....	125
Anexo 3. Calderas del complejo el palmar.....	126
Anexo 4. Transporte hidráulico de las cenizas.....	126
Anexo 5. Laguna de sedimentación.....	127

Anexo 6. Aparato de Vicat. Según CCCa:Ce12.....	128
Anexo 7. Aparato de Vicat.....	129
Anexo 8. Molde cilíndrico con base para el aparato de Vicat.....	129
Anexo 9. Mezcladora de dos velocidades.....	130
Anexo 10. Preparación de la mezcla para los ensayo de consistencia y de la aguja de Vicat.....	130
Anexo 11. Ensayo con el aparato de Vicat.....	131
Anexo 12. Balanza para el pesaje de los materiales.....	131
Anexo 13. Pesaje de los materiales de mezcla.....	132
Anexo 14. Preparación de los molde para los cilindros.....	132
Anexo 15. Preparación de la mezcla.....	133
Anexo 16. Medición del asentamiento en el cono de Abrams.....	133
Anexo 17. Llenado y compactado de los cilindros.....	134
Anexo 18. Eliminación de aire y preparación para el enrazado de las probetas.....	134
Anexo 19. Enrazado de las probetas.....	135
Anexo 20. Alisado de la cara de la probeta.....	135
Anexo 21. Curado de las probetas.....	136
Anexo 22. Máquina para el ensayo a compresión y modulo.....	136
Anexo 23. Certificación de SENCAMER para la máquina de ensayos.....	137
Anexo 24. Ensayo a compresión de los cilindros.....	137
Anexo 25. Elaboración del Caping para las probetas del módulo de elasticidad.....	138
Anexo 26. Colocación de las pastillas de fijación de los Flexímetros	138
Anexo 27. Flexímetro.....	139
Anexo 28. Ensayo del modulo de elasticidad.....	139
Anexo 29. Máquina para medir la velocidad de onda.....	140
Anexo 30. Medición de la velocidad de onda.....	140
Anexo 30. Cilindros preparados para ensayos de compresión.....	141

Anexo 31. Cilindros preparados para ensayos de modulo de elasticidad.....	141
Anexo 32. Muestra de Agregado grueso.....	142
Anexo 33. Tamizado del agregado grueso.....	142
Anexo 34. Ensayo de absorción del agregado grueso.....	143
Anexo 35.Muestra de Agregado fino.....	143
Anexo 36. Ensayo del cono para obtener la condición de superficie seca del agregado fino.....	144
Anexo 37. Ensayo de picnómetro con el agregado fino.....	144
Anexo 38. Tipos de fallas en probetas cilíndricas.....	145
Anexo 39. Resultados a 28 días de la muestra MP-3.....	146

INDICE DE TABLAS

Tabla VI.1.1. Tiempo de fraguado con Aguja de Vicat para 0% de CV.....	52
Tabla VI.1.2. Tiempo de fraguado con Aguja de Vicat para 5% de CV.....	52
Tabla VI.1.3. Tiempo de fraguado con Aguja de Vicat para 10% de CV	53
Tabla VI.1.4. Tiempo de fraguado con Aguja de Vicat para 15% de CV	53
Tabla IV.2.1. Resultados del tamizado del agregado fino.....	55
Tabla IV.3.1. Resultados del tamizado del agregado grueso.....	58
Tabla IV.5.1.1. Resumen de los ensayos a compresión para la mezcla MP-3.....	66
Tabla IV.5.1.2. Medida del cilindro utilizado para módulo de elasticidad de la muestra PM-3.....	67
Tabla IV.5.1.3. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta A para la muestra PM-3.....	67
Tabla IV.5.1.4. Resultados de la velocidad de propagación de ondas en la muestra MP-3.....	68
Tabla IV.5.1.5. Resultados de la densidad en la muestra MP-3.....	69
Tabla IV.5.2.1. Resumen de los ensayos a compresión para la mezcla MP-1.....	70
Tabla IV.5.2.2. Medida del cilindro utilizado para módulo de elasticidad de la muestra PM-1.....	71
Tabla IV.5.2.3. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta A para la muestra PM-1.....	71
Tabla IV.5.2.4. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta B para la muestra PM-1.....	71
Tabla IV.5.2.5. Resultados del módulo de elasticidad promedio para la muestra PM-1.....	72
Tabla IV.5.2.6. Resultados de la velocidad de propagación de ondas en la muestra MP-1.....	73

Tabla IV.5.2.7. Resultados de la densidad en la muestra MP-1.....	74
Tabla IV.5.3.1. Resumen de los ensayos a compresión para la mezcla CV-1.....	75
Tabla IV.5.3.2. Medida de los cilindros utilizados para módulo de elasticidad de la muestra CV-1.....	76
Tabla IV.5.3.3. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta A para la muestra CV-1.....	76
Tabla IV.5.3.4. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta B para la muestra CV-1.....	76
Tabla IV.5.3.5. Resultados del módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-1.....	77
Tabla IV.5.3.6. Resultados de la velocidad de propagación de ondas en la muestra CV-1.....	78
Tabla IV.5.3.7. Resultados de la densidad en la muestra CV-1.....	79
Tabla IV.5.4.1. Resumen de los ensayos a compresión para la mezcla CV-2.....	80
Tabla IV.5.4.2. Medida de los cilindros utilizados para módulo de elasticidad de la muestra CV-2.....	81
Tabla IV.5.4.3. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta A para la muestra CV-2.....	81
Tabla IV.5.4.4. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta B para la muestra CV-2.....	81
Tabla IV.5.4.5. Resultados del módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-2.....	82
Tabla IV.5.4.6. Resultados de la velocidad de propagación de ondas en la muestra CV-2.....	83
Tabla IV.5.4.7. Resultados de la densidad en la muestra CV-2.....	84
Tabla IV.5.5.1. Resumen de los ensayos a compresión para la mezcla CV-3.....	85
Tabla IV.5.5.2. Medida de los cilindros utilizados para módulo de elasticidad de la muestra CV-3.....	86

Tabla IV.5.5.3. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta A para la muestra CV-3.....	86
Tabla IV.5.5.4. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta B para la muestra CV-3.....	86
Tabla IV.5.5.5. Resultados del módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-3.....	87
Tabla IV.5.5.6. Resultados de la velocidad de propagación de ondas en la muestra CV-3.....	88
Tabla IV.5.5.7. Resultados de la densidad en la muestra CV-3.....	89
Tabla IV.5.6.1. Resumen de los ensayos a compresión para la mezcla CV-4.....	90
Tabla IV.5.6.2. Medida de los cilindros utilizados para módulo de elasticidad de la muestra CV-4.....	91
Tabla IV.5.6.3. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta A para la muestra CV-4.....	91
Tabla IV.5.6.4. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta B para la muestra CV-4.....	91
Tabla IV.5.6.5. Resultados del módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-4.....	92
Tabla IV.5.6.6. Resultados de la velocidad de propagación de ondas en la muestra CV-4.....	93
Tabla IV.5.6.7. Resultados de la densidad en la muestra CV-4.....	94
Tabla IV.5.7.1. Resumen de los ensayos a compresión para la mezcla CV-5.....	95
Tabla IV.5.7.2. Medida de los cilindros utilizados para módulo de elasticidad de la muestra CV-5.....	96
Tabla IV.5.7.3. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta A para la muestra CV-5.....	96
Tabla IV.5.7.4. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta B para la muestra CV-5.....	96

Tabla IV.5.7.5. Resultados del módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-5.....	97
Tabla IV.5.7.6. Resultados de la velocidad de propagación de ondas en la muestra CV-5.....	98
Tabla IV.5.7.7. Resultados de la densidad en la muestra CV-5.....	99
Tabla IV.5.8.1. Resumen de los ensayos a compresión para la mezcla CV-6.....	100
Tabla IV.5.8.2. Medida de los cilindros utilizados para módulo de elasticidad de la muestra CV-6.....	101
Tabla IV.5.8.3. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta A para la muestra CV-6.....	101
Tabla IV.5.8.4. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta B para la muestra CV-6.....	101
Tabla IV.5.8.5. Resultados del módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-6.....	102
Tabla IV.5.8.6. Resultados de la velocidad de propagación de ondas en la muestra CV-6.....	103
Tabla IV.5.8.7. Resultados de la densidad en la muestra CV-6.....	104
Tabla IV.6.1.1. Resumen de resultados par las mezclas de 180 kg/cm ²	105
Tabla IV.6.2.1. Resumen de resultados par las mezclas de 250 kg/cm ²	106
Tabla IV.7.1. Tipos de fallas obtenidas para las mezclas	106

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica IV.1 Tiempos de fraguado medidos por la Aguja de Vicat.....	54
Grafica IV.2.1 Comparación del agregado fino con los límites de la Noma COVENIN 227:2000.....	56
Grafica IV.3.1 Comparación del agregado grueso con los límites de la Noma COVENIN 227:2000.....	59
Grafica IV.5.1.1. Módulo de elasticidad promedio para la muestra PM-3.....	68
Grafica IV.5.2.1. Módulo de elasticidad promedio para la muestra PM-1.....	73
Grafica IV.5.3.1. Módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-1.....	78
Grafica IV.5.4.1. Módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-2.....	83
Grafica IV.5.5.1. Módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-3.....	88
Grafica IV.5.6.1. Módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-4.....	93
Grafica IV.5.7.1. Módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-5.....	98
Grafica IV.5.8.1. Módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-6.....	103
Grafica IV.6.1.1. Resumen comparativo de las mezclas de 180 kg/cm ²	105
Grafica IV.6.2.1. Resumen comparativo de las mezclas de 250 kg/cm ²	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II.1. Requisitos físicos.....	7
Figura II.2. Producción de caña de azúcar en Venezuela.....	19
Figura II.3. Cono de Abrams	20
Figura III.1. Masa mínima de muestras.....	37

CAPITULO I

INTRODUCCION

I.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

I.1.1.- ANTECEDENTES

En las últimas décadas en el área de la construcción se ha buscado mejorar el concreto con la finalidad de hacerlo más resistente, atendiendo esta necesidad el mercado se llenó de aditivos que modifican muchas de la cualidades del concreto, pero su elevado costo generó a la vez la búsqueda de aditivos de una procedencia distinta, igual de efectivos, pero más económicos.

En el área de ingeniería civil se han desarrollado numerosas investigaciones técnicas para determinar el uso y funciones de aditivos provenientes de materiales de origen natural, en su mayoría, reciclados de la industria agrícola. Una referencia importante e el Trabajo realizado por el Ingeniero Idalberto Águila en 2005 Profesor Agregado del IDEC desde 1997, donde hizo una caracterización de la ceniza de hoja de maíz con miras a su utilización, como material puzolánico, en sustitución parcial del cemento Pórtland a emplear en las obras, para la elaboración de morteros y concretos. Evaluó las características físicas y químicas del material, así como algunas de sus propiedades principales, desde el punto de vista constructivo, entre las que destacan la resistencia a compresión y la durabilidad, concluyendo que el material en estudio posee potencialidades de ser empleado con estos fines.

Respondiendo a las necesidades dentro de la industria de la construcción y a un llamado de la industria agrícola, los Ing. Felipe Odhenal y Ronald Torres propusieron evaluar el efecto del uso de las cenizas volantes como sustituto parcial

del cemento en el concreto debido a que se han tenido experiencias en trabajos especiales de grado previos con cenizas volantes provenientes de otros desechos agrícolas. Actualmente en el país las cenizas del bagazo de caña son desechadas en rellenos sanitarios y presentan una problemática de contaminación ambiental importante en las zonas productoras de caña de azúcar.

Tomando la sugerencia de los Ing. Felipe Odhenal y Ronald Torres surge una nueva interrogante: ¿Cómo modifican las cenizas volantes las características de mezclas de concreto de bajas a medias resistencias? En búsqueda de una respuesta, el objetivo principal de este trabajo especial de grado es el de evaluar las diferentes características y la resistencia final del concreto elaborado con Cenizas Volantes provenientes de la incineración del bagazo de caña de azúcar como sustitución parcial del cemento para verificar la acción de éstas en la resistencia y cuantificar el porcentaje óptimo de Cenizas Volantes a ser agregado en un diseño de mezcla estándar.

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. Caracterizar las cenizas volantes provenientes de la incineración del bagazo de caña de azúcar respecto a su efecto en la capacidad cementante de mezclas.
2. Elaborar los diseños de mezclas para concretos de resistencias de 180Kg/cm^2 y 250Kg/cm^2 con cenizas volantes es como sustituto parcial del Cemento Pórtland en porcentajes del 5% al 15%.
3. Caracterizar las mezclas de concreto con cenizas volantes en estado fresco, tomando en cuenta los parámetros de reología, trabajabilidad y retracción.
4. Caracterizar las mezclas de concreto con cenizas volantes en estado endurecido, tomando en cuenta el desarrollo de resistencia, peso unitario, velocidad de propagación de ondas y deformabilidad.
5. Contrastar los resultados obtenidos con valores de mezclas patrones.

I.3.- APORTES

Ampliar el conocimiento sobre las propiedades de las cenizas volantes como aditivo mejorador de concreto, ya que no se maneja mucha información sobre ellas en Venezuela. Debido que se medirán los cambios que las cenizas volantes realizan en las propiedades del concreto con los ensayos normativos fijados en las distintas Normas COVENIN ya que estos podrán ser reproducidos por cualquier ente interesado dentro del territorio nacional.

Al introducir información nueva sobre un material económicamente competitivo en el mercado de aditivos del país, se puede generar un auge de nuevas tendencias industriales al procesamiento de dicho aditivo que a su vez conlleva a una solución viable a un problema ecológico de contaminación por desechos orgánicos en las zonas azucareras del país. Además, podría representar un ingreso económico para dicho sector y una solución distinta para la disposición de estos desechos que normalmente no se les da otro uso en el país.

Es importante para la UCV ya que genera conocimientos sobre un material estudiado y usado en otros países, pero revisado con ensayos descritos en las normas COVENIN con lo cual el empleo de las cenizas se podría empezar a usar dentro del país bajo la normativa del mismo. Además con los datos aportados en este Trabajo Especial de Grado el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales podría incursionar en el estudio y elaboración de normativas mas específicas en el ámbito del uso de las cenizas volantes provenientes de desechos vegetales.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

II.1. Antecedentes históricos del concreto.

La historia del cemento está ligada a la historia misma del hombre en la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible. Desde que el ser humano supero la época de las cavernas, aplicó sus mayores esfuerzos para delimitar su espacio, satisfaciendo primero sus necesidades de vivienda y después levantando numerosas construcciones con muy diversos fines.

Los Templos, palacios, museos, fuertes son el resultado del esfuerzo que constituye las bases para el progreso de la humanidad. El pueblo egipcio ya utilizaba un mortero una mezcla de arena con materia cementosa para unir bloques y lozas de piedra al elegir sus asombrosas construcciones. Los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos depósitos volcánicos, mezclados con caliza y arena producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua, dulce o salada.

Un material volcánico muy apropiado para estas aplicaciones lo encontraron los romanos en un lugar llamado Pozzuoli con el que aun actualmente lo conocemos como pozzolona. Investigaciones y descubrimientos a lo largo del tiempo, nos conducen hasta el cemento. El nombre del cemento Portland le fue dado por la similitud que este tenía con la piedra de la isla de Portland del canal inglés.

La aparición de este cemento y de su producto resultante el concreto ha sido un factor determinante para que el mundo adquiriera una fisionomía diferente. Gracias a la mezcla de concreto se pudieron construir edificios, calles, avenidas, carreteras, presas y canales, fábricas, talleres y casas, dentro del más alto rango de tamaño y variedades nos dan un mundo nuevo de comodidad y de protección.

II.2 Cemento Portland

Según la norma COVENIN 28-2003, se define como 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.

El cemento Portland según su uso, se clasifica en:

Tipo I: Para usarse en las 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: Para usarse en obras expuestas a la acción moderada de los sulfatos, o donde se requiera un calor de hidratación moderado. Tipo III: Para usarse en construcciones que requieran altas resistencias iniciales. Tipo IV: Para usarse en obras donde sea necesario un bajo calor de hidratación. Tipo V: Para usarse en construcciones que requieran alta resistencia a los sulfatos.

El cemento Portland debe cumplir con los requisitos indicados en la Tabla 1. al ser sometido a los ensayos establecidos en la misma.

Figura II.1. Requisitos físicos

Requisitos	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V	Método de ensayo COVENIN*
Finura Superficie específica. m ² /kg	280	280	---	280	280	487
Ensayos de permeabilidad al aire (Blaine): Valor promedio, mínimo Valor mín, cualquier muestra	260	260	---	260	260	
Estabilidad del Volumen: (%) Máx.	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	491
Tiempo de fraguado ensayo de Vicat: Tiempo inicial (min) Tiempo final (min)	> 45 < 480	> 45 < 480	> 45 < 480	> 45 < 480	> 45 < 480	493
Calor de hidratación: Valor máximo a los 7 días, (Kj/Kg.) Valor máximo a los 28 días (Kj/Kg.)	-- --	290 --	-- --	250 290	-- --	495
Contenido de aire en morteros. (Opcional): % Máx.	12	12	12	12	12	496
Resistencia a la compresión: MPa(kg/cm ²) 1 día 3 días 7 días 28 días	-- > 10,0 (100) > 17,0 (170) > 27,4 (280)	-- > 8,3 (85) >14,7(150) >24,5(250)	>12,4(126) >24,1(246)	- - > 6,9 (70) >17,2 (175)	- > 8,3 (85) >15,2 (155) >20,7 (212)	484
Nota: En Venezuela es costumbre tomar la fecha de 28 días como dato de referencia. * Se indica el Número de la Norma Venezolana COVENIN en la cual se describe el Método de Ensayo aplicable.						

Fuente Norma COVENIN 28-2003, pág. 5

II.3 El concreto

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

Aproximadamente un 80% del peso del concreto está compuesto por partículas de origen pétreo, de diferentes tamaños, material denominado usualmente como agregados, áridos o inertes. Por esa razón las características de estos materiales son decisivas para la calidad de la mezcla de concreto. La calidad de los agregados depende de las condiciones geológicas de la roca madre y, también, de los procesos extractivos. Se acostumbra añadir a la mezcla esos materiales pétreos en dos fracciones diferentes, de acuerdo con su tamaño; una que se denomina agregado grueso (usualmente la piedra picada, canto rodado natural, o canto rodado picado) y la otra agregado fino (arena natural o arena obtenida por trituración).

Una característica fundamental de los agregados es el diferente tamaño de todos sus granos, lo cual se conoce como granulométrica.

La calidad granulométrica de los agregados es una de las variables más frecuentes de manera similar, la rugosidad y forma de los agregados pueden modificar la calidad del concreto e influir sobre algunas o todas las relaciones establecidas.

Son muchas las características del concreto que interesan; algunas de ellas se hacen críticas en determinadas circunstancias, sin embargo, desde un punto de vista general, son dos las características o propiedades principales de mayor consideración. La primera es la relativa a la consistencia o grado de fluidez del material en estado fresco, la cual se conoce también como manejabilidad, docilidad, trabajabilidad,

asentamiento y otros. La segunda propiedad es el grado de endurecimiento o resistencia que es capaz de adquirir el concreto.

La capacidad de la mezcla de endurecer hasta formar una verdadera roca artificial, se debe a la relación entre el agua y el cemento. Esta es una reacción interna que se produce aunque el material este encerrado herméticamente bajo agua (de ahí viene el nombre de cemento hidráulico). En una primera fase el agua de mezclado sirve como lubricante entre los granos de los inertes, dando fluidez a la mezcla, que puede ser moldeada. Pero desde el mismo momento en que entran en contacto con el agua y el cemento se inician las reacciones de hidratación que conducirán al endurecimiento final del material.

Las propiedades del concreto dependen, primordialmente, de las características y proporciones de sus componentes constitutivos. En la práctica, se juega fundamentalmente con las propiedades entre los principales componentes para hacer variar la calidad del concreto, adaptándola a las necesidades específicas de cada caso. Esas proporciones suelen expresarse en unidades de peso o de volumen por cada unidad de volumen de concreto. En el primer caso kgf/m^3 en el segundo litro/m^3 . Sin embargo, en la tecnología del concreto es frecuente o conveniente expresar estas relaciones como sigue:

- El cemento directamente en kgf/m^3 (o en sacos/ m^3), lo que se conoce como dosis de cemento.
- El agua indirectamente, a través de la conocida relación agua/cemento (α) en peso.
- El agregado queda dado implícitamente, al conocer las cantidades de cemento y agua, considerando que todos los componentes forman siempre un volumen fijo de concreto según sus pesos específicos.

Hoy en día y gracias al cuidadoso procedimiento de selección y control de los componentes del concreto, el uso de aditivos e diversos orígenes en algunos países es

posible obtener comercialmente concretos de resistencias de 700 a 1.400 Kgf/cm² pero la definición de alta resistencia dependerá de cada zona geográfica. Si en una región la resistencia media es de 700 Kgf/cm² entonces un concreto de alta resistencia será de 850 Kgf/cm², por lo tanto en Venezuela se consideran las resistencias medias en 250 Kgf/cm² y las altas a partir de los 280 Kgf/cm².

3.1. Características del concreto fresco

Se denomina concreto fresco al material mientras permanece en estado fluido, es decir desde el momento cuando todos los componentes son mezclados hasta que se inicia el endurecimiento de la masa (periodo plástico). En ese lapso el concreto es transportado, colocado en moldes o encofrados y luego compactado manualmente por vibración.

El estado de plasticidad tiene una duración diferente entre unas y otras localidades, y entre una y otra época del año, ya que las condiciones del clima tienen gran influencia. En lugares cálidos y secos el estado fresco dura menos tiempo que en las localidades húmedas y frías.

Son muchas las propiedades del concreto fresco que interesan y pueden llegar a ser críticas. No solo por su relación con el manejo del concreto en ese estado, sino porque pueden servir como señal anticipada de las propiedades que pueda tener el material al endurecer posteriormente. Indicios de algún comportamiento atípico del concreto en este estado inicial avisa, en muchos casos, que en estado endurecido también puede ser impropia su calidad. En ese momento temprano, y antes de completarse los vaciados del material, es cuando se deben ejecutar las correcciones. El comportamiento del concreto fresco depende de sus componentes, de las características de mezclado, de su diseño, del medio ambiente circundante y de las condiciones de trabajo.

II.3.1.1. Reología del concreto

Es el conjunto de características de la mezcla que posibilitan su manejo y posterior compactación. Desde el punto de vista físico, estas características dependen

de las variaciones de la viscosidad y de la tixotropía de la mezcla a lo largo del tiempo. En la práctica, se define a Reología del concreto con base en tres características: Fluidez, Compactibilidad y Estabilidad a la segregación.

II.3.1.2. Fluidez

La fluidez describe la calidad de fluido o viscosidad que indica el grado de movilidad que puede tener la mezcla. En un sentido general, 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.

II.3.1.3 Compactibilidad

Cuando la mezcla es vibrada se hace más fluida y puede así distribuirse más uniforme mente, envolviendo bien las armaduras y ocupando todas las sinuosidades del encofrado. Esta propiedad que 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.

II.3.1.4 Estabilidad a la segregación

Los componentes del concreto son físicamente heterogéneos: liquido (agua), polvo (cemento y arena), fragmentos de piedra y una pequeña fracción de aire, cuya mezcla tiene la natural tendencia a separarse unos de otros. La separación del agua d los restantes componentes de la mezcla, cuando queda flotando sobre el material recién colocado, se conoce como exudación o sangrado y tiene su propio desarrollo evolutivo. Por otro lado, la tendencia a separarse los granos gruesos de mortero, lo que se conoce como segregación, depende de la viscosidad y de la tixotropía, y se relaciona con la cantidad y el tamaño de los granos. En algunos constructores existe la indebida tendencia a trabajar con concretos de alta fluidez, que son fáciles de colocar y alisar; lo indebido es que, las obtenerlos, no diseñan mezcal especiales o solicitan concretos premezclados con aditivos sino que, simplemente, añaden agua a la mezcla, indiscriminadamente. Eso produce un daño directo a la resistencia mecánica, favorece la aparición de grietas por retracción y le quita defensas al

concreto para lograr durabilidad, aparte de que hace a la mezcla propensa a la segregación.

II.4 Diseño de mezclas

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

- a) Economía y manejabilidad en estado fresco.
- b) Resistencia, aspectos y durabilidad en estado endurecido.

En algunos casos puede ser importante el concreto, peso unitario, textura superficial y otros. Las cantidades de los componentes sólidos, agregados y cemento en kilogramos por metro cúbico de mezcla. El agua puede expresarse en litros o kilogramos 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 solo pueden conseguirse mediante mezclas de prueba, tanto de laboratorio como de obra.

El método usado en este Trabajo Especial ha sido probado en laboratorios y en plantas de preparación comercial de concreto, con excelentes resultados, y ha sido concebido especialmente para el caso de empleo de agregados poco controlados y el de profesionales con relativa poca experiencia. De allí lo organizado y sistemático del procedimiento.

El método considera, en primer término, un grupo de variables que constituyen su esqueleto fundamental: dosis de cemento, trabajabilidad, relación agua/cemento y resistencia. Estas se vinculan a través de dos leyes básicas: relación triangular y ley de Abrams. Mediante factores de corrección, también toma en cuenta la influencia de variables que tienen carácter general, tales como tamaño máximo y tipo de agregado. Otros factores que en determinadas ocasiones, no están considerados en el método, como es el caso de incorporación de aire, presencia elevada de ultrafinos o empleo de más de dos agregados.

II.4.1 Relación triangular

Esta es una expresión que relaciona la trabajabilidad (T) medida como asentamiento en el Cono de Abrams con dos parámetros claves del diseño de mezclas, como lo son la relación agua /cemento (α) y la dosis de cemento (C)

$$C=k.T^n / \alpha^m$$

II.4.2 La ley de Abrams

Esta ley establece la correspondencia entre la resistencia del concreto y la relación agua/cemento ($\alpha=a/C$), en peso, que se ha simbolizado como “valor α ”

$$R = M / N^\alpha$$

Donde:

R = es la resistencia media a la compresión (kgf/cm^2)

M, N = constante.

En general, 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.

II.5 Puzolanas

Según la norma COVENIN 3135-1994, 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. Por extensión, el término puzolana se aplica también a otros productos naturales o artificiales que tienen propiedades análogas, tales como la tierra de diatomeas, las arcillas activas, las cenizas volantes u otras.

La mayoría de materiales puzolanicos descritos aquí son subproductos de procesos industriales o agrícolas, que son producidos en grandes cantidades,

constituyendo un problema de desperdicio, si permanecen sin utilizar. Incluso si no hubiera otros beneficios, sólo este aspecto justificaría un incremento del empleo de estos materiales. Comparado con la producción y empleo del cemento portland, estos materiales contribuyen a ahorrar costos y energías, ayudan a reducir la contaminación ambiental y, en la mayoría de los casos, mejoran la calidad del producto final.

II.5.1 Tipos de Puzolanas

Básicamente hay dos tipos de puzolana, llamadas puzolanas naturales y artificiales. Las puzolanas naturales esencialmente son cenizas volcánicas de actividades volcánicas geológicamente recientes. Las puzolanas artificiales son el resultado de diversos procesos industriales y agrícolas, generalmente como subproductos. Las puzolanas artificiales más importantes son arcilla cocida, cenizas de combustible pulverizado, escoria de altos hornos granulada y molida y ceniza de cascara de arroz.

La primera puzolana natural empleada en construcciones fue la ceniza volcánica del Monte Vesubio (Italia), encontrada cerca de la ciudad Pozzuoli, que le dio el nombre. Aunque los compuestos químicos son similares, el material vidrioso formado por el lanzamiento violento de la magna fundida en la atmósfera es más reactiva con la cal, que la ceniza volcánica formada por erupciones menos violentas. La generación de puzolanas naturales adecuadas está, por lo tanto, limitada a solo a algunas regiones del mundo.

Las buenas puzolanas a menudo se encuentran como cenizas finas, pero también en forma de grandes partículas o tufos (ceniza volcánica solidificada), que deben ser triturados para emplearse como puzolana. Sin embargo, la calidad de dichas puzolanas puede variar grandemente, incluso dentro de un mismo depósito. Las puzolanas naturales son empleadas igual que las puzolanas artificiales.

II.5.2 Ceniza de Combustible Pulverizado (Ceniza Volante)

Comparando los procesos de producción de ceniza de combustible pulverizado, más conocida como ceniza volante, y de cemento portland ordinario,

queda claro porque 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, 1500°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 1400°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 cementosas 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 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:

- Con el incremento del tiempo, se desarrollan mayores resistencias que el concreto sin ceniza de combustible pulverizado.
- 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 silice-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.5.3. La caña de azúcar

La Caña de Azúcar es un cultivo tradicional en Venezuela, su procesamiento 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.

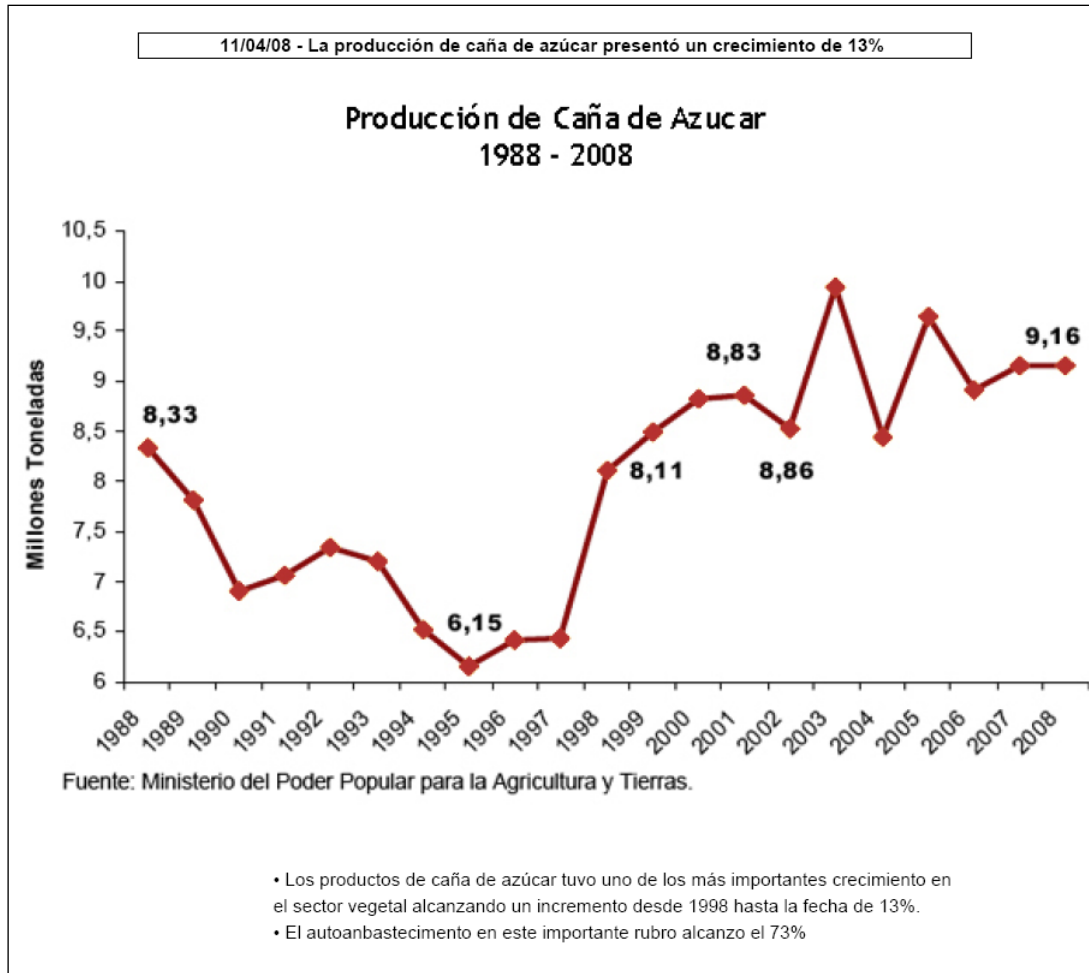
La caña es un cultivo de zonas tropicales del mundo, además requiere de agua y suelos adecuados para crecer de manera óptima. Igualmente, se propaga mediante la plantación de trozos de caña, de cada nudo sale una planta nueva idéntica a la original; una vez cultivada la planta crece y acumula azúcar en su tallo, el cual se corta cuando está maduro. La planta retoña varias veces y puede seguir siendo cosechada, estos cortes sucesivos se conocen como zafras.

La planta se deteriora con el tiempo y por el uso de la maquinaria que pisa las raíces, así que se debe replantar cada siete a diez años. Además, su periodo de crecimiento varía entre 11 y 17 meses, dependiendo de la variedad de caña y de la zona. De igual forma, requiere de nitrógeno, fósforo y potasio para su fertilización.

Este rubro requiere la utilización de mucha mano de obra, así como ciertos niveles de tecnificación para elevar su rendimiento y lograr abastecer las necesidades del país, ya que se cuenta con excelentes instalaciones a nivel de centrales azucareros.

En el actual proceso de elaboración del azúcar un 30% del tonelaje entrante de caña a las centrales se convierte en cenizas, que 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 residuo contaminante. Sin embargo actualmente en el país se llevan a cabo distintas investigaciones para la utilización de este material sobrante como materia prima para diversos productos, ya que como se puede apreciar en la siguiente grafica la producción del material es bastante elevada.

Figura II.2. Producción de caña de azúcar en Venezuela



II.5.4 Complejo Azucarero El Palmar

El Complejo Azucarero El Palmar es una planta refinadora de azúcar ubicada en el estado Aragua, donde se producen diferente tipos de azúcar refinada. El proceso de producción en esta planta se inicia en una molienda de la caña, después el jugo se caña resultante se pasa por un proceso de clarificación, una vez hecha la clarificación se hace una evaporación donde se obtiene el jarabe y posteriormente la cristalización y refinación del azúcar.

Durante el proceso se produce el bagazo de caña triturado que posteriormente es incinerado y sale de las calderas por una vía de transporte hidráulico a una laguna de sedimentación. También se produce la melaza como subproducto que se utiliza como materia prima para la elaboración de licores. Y toda el agua utilizada en la planta para el funcionamiento de las calderas y para el lavado del humo que sale de

las mismas, es recirculada en la planta de manera que no se desecha en cauces de agua corriente.

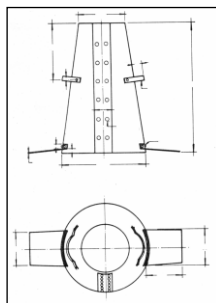
II.6 Cono de Abrams

El cono de Abrams es un método para la medición del asentamiento regulado según la Norma COVENIN 339. El método descrito en la norma puede ser ejecutado en las obras y en el laboratorio. 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 Cono de Abrams según como lo establece la norma está construido de un material rígido e inatacable por el concreto, con un espesor mínimo de 1.5 mm. Su forma interior debe ser la de un tronco de cono, de (200 + 3) mm de diámetro de base mayor, (100 + 3) mm de diámetro de base menor y (300 + 3) mm de altura. Las bases deben ser abiertas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cono.

El molde debe estar provisto de asas y aletas. El interior del molde debe ser relativamente suave y sin protuberancias, tales como remaches. 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.

Figura II.3. Cono de Abrams



Fuente: Norma COVENIN 339

II.7 El peso específico o peso unitario

El peso específico de una sustancia se define como su peso por unidad de volumen. Se calcula al dividir el peso de la sustancia entre el volumen que ésta ocupa. En el sistema técnico, se mide en kilopondios por metro cúbico (kp/m³). En el Sistema Internacional de Unidades, en newton por metro cúbico (N/m³).

$$Pe = \frac{P}{V} \quad \text{o} \quad Pe = \rho \times g$$

Donde:

Pe = peso específico

P = es el peso de la sustancia

V = es el volumen que la sustancia ocupa

ρ = es la densidad de la sustancia

g = es la aceleración de la gravedad

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

Como bajo la gravedad de la Tierra el kilopondio equivale, aproximadamente, al peso de un kilogramo, esta magnitud tiene el mismo valor numérico que la densidad expresada en (kg/m³)

Para medir el peso unitario en mezclas de concreto, la Norma COVENIN 349 establece un método donde el peso unitario se mide considerando el los poros o huecos dentro del volumen.

$$A = ((W_E - W) * 100) / W_E \quad \text{ó} \quad A = ((V_c - V_E) * 100) / V_c$$

Donde:

A = contenido total de aire (porcentaje de vacíos) en el concreto fresco.

W_E = peso unitario nominal del concreto fresco en Kg/m^3 calculado como si no tuviera aire.

W = peso unitario del concreto fresco, Kg/m^3 .

V_c = volumen de concreto fresco producido por mezcla, m^3 .

V_E = suma de los volúmenes absolutos de cada componente de la mezcla, m^3 .

II.8 Resistencias mecánicas

En una estructura el concreto se encuentra sometido a diversas solicitaciones; tales como corte, compresión, tracción, flexotracción, agentes agresivos, entre otros. Sin embargo no es práctico ni económico realizar el control de todos estos 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.

Debido a experiencias anteriores se han podido determinar relaciones de tipo empírico, que se reseñan en las normas, que correlacionan resistencias del concreto bajo los diversos estados de sollicitación, con el valor de la resistencia en compresión simple, de aquí la gran importancia que tiene conocer esta propiedad y la necesidad de definir criterios de interpretación.

II.9 Ensayo de velocidad del ondas en el concreto

La velocidad de propagación de ondas puede ser utilizada para el estudio de la homogeneidad de los concretos puestos en obras. También los resultados obtenidos pueden ser utilizados para calcular el módulo de elasticidad o la resistencia del concreto siempre y cuando se disponga de la cantidad de ensayos de resistencia mecánica y de velocidad de ondas, efectuados en la misma serie de muestras de un

determinado concreto. Si se cumplen los requisitos se puede establecer una correlación que sirva para calcular estimar la resistencia mecánica del mismo concreto.

II.10 Ensayo a compresión

La resistencia del concreto se determina al conocer 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 la aclaratoria de ensayos validos porque eventualmente el resultado de alguna o varias probetas pueden ser rechazados por ciertas anormalidades (como algún valor notablemente alejado de la media). Se debe tratar siempre de tener 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 numero de muestras es variable dependiendo del el grado de probabilidad esperado, de la importancia de la obra y de la precisión con la que se ha venido trabajando.

La norma COVENIN 338-2002 establece el método y las siguientes condiciones para la elaboración, curado y ensayos a compresión de cilindros de concreto. La Máquina de ensayo utilizada en los ensayos de compresión, debe tener la capacidad suficiente para producir la rotura de la probeta y un mecanismo capaz de regular la velocidad de carga, de modo que se pueda alcanzar la velocidad requerida para el ensayo. Debe estar provista de dos platos de acero cuya dureza Rockwell C no sea inferior a 60 (HRC). Uno de estos platos, preferiblemente el que se apoya sobre la base superior de la probeta debe ir montado sobre una rótula esférica. Las superficies de los platos cuando éstos estén nuevos, no deben presentar desigualdades superiores a 0,025mm y una vez usada la máquina, de 0,06 mm. El centro de la superficie esférica de la rótula, debe coincidir con el del plato correspondiente y tendrá su articulación proyectada de tal forma, que permita a éste girar ligeramente e inclinarse ángulos pequeños en cualquier dirección. El diámetro mínimo del plato debe ser 15% mayor que el diámetro del cilindro.

Los Moldes cilíndricos son preferiblemente metálicos, rígidos, estancos de superficie interior lisa, no absorbente y que no reaccione con el concreto. Deben estar provistos de una base metálica maquinada, en el caso de moldes metálicos; en el caso de otros materiales, la base debe ser el mismo material que el de las paredes del molde o metálicas, con planos lisos y con elementos para sujetarla firmemente al molde con el plano perpendicular al eje del cilindro. De tal manera que se consiga un cierre hermético.

El molde normal debe tener $152,5 \pm 2,5$ mm de diámetro y $305 \pm 6,0$ mm de altura para el tamaño nominal de agregado grueso no mayor de 50 mm. Se pueden utilizar moldes de otras dimensiones, siempre que el diámetro sea como mínimo tres veces el tamaño nominal del agregado grueso. La relación altura a diámetro se debe mantener 2 a 1 y en ningún caso su diámetro debe ser menor de 50 mm.

La Barra compactadora debe ser de acero, cilíndrica y lisa, de 16 mm de diámetro por 600 mm de longitud, aproximadamente, y punta semiesférica, de 8 mm de radio.

Se toma una muestra del concreto fresco según la Norma Venezolana COVENIN 344. Por cada muestra combinada o de ensayo se debe elaborar dos cilindros por cada condición de ensayo.

II.11 Módulo de elasticidad

Se denomina módulo de elasticidad (E_c) a la relación entre la tensión aplicada y la deformación unitaria producida. Para el rango elástico:

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

La tensión (f) se mide en kgf/cm^2 y la deformación unitaria (ϵ) es adimensional (mm/mm), por lo que las unidades del módulo son las mismas que las de la tensión. Además de su comportamiento elástico, los materiales pueden presentar

en algún tramo de la curva representativa otro comportamiento inelástico, en el cual la deformación producida por la carga no desaparece totalmente al efectuar la descarga. En la práctica, para el concreto simple se usa fundamentalmente el módulo de elasticidad a compresión, el cual se puede determinar en el laboratorio. El ensayo no es rutinario y se suele hacer, más bien, en trabajos de investigación.

II.12 Método estadístico

La estadística permite condensar datos y presentarlos en forma probabilística, de manera que sean más fácilmente comprensibles y comparables. Constituye la herramienta más adecuada y útil de la cual se dispone para el control de calidad tanto en su etapa de planificación como en la interpretación de los resultados. Sin embargo, la estadística en sí no permite la toma de decisiones, estas tienen que basarse en criterios de otra índole. La información estadística permite calcular las probabilidades de que se excedan, o se alcancen, ciertos límites que deben ser fijados por procedimientos ajenos a ella, estos se encuentran frecuentemente basados en estimaciones, acuerdos o decisiones condicionadas por la experiencia.

Lo importante es que una vez convenidos unos límites de calidad, se mantengan invariables en todas las circunstancias, lo cual establecerá una referencia segura a la cual atenderse. La norma COVENIN 3549-1999 establece los métodos de análisis estadísticos más efectivos dependiendo del número de muestras.

CAPITULO III

MÉTODO

Este trabajo especial de grado pretende evaluar el efecto que produce en el concreto de bajas a medias resistencias las cenizas volantes adicionadas como sustitución parcial del cemento en porcentajes que se encuentran entre 5% y 30%, haciéndole seguimientos a las características del mismo en estado fresco y endurecido. En este caso la variable independiente será las cenizas volantes y las dependientes las propiedades del concreto a medir. Para hacer una evaluación de los efectos de las cenizas volantes en el concreto se necesitarán los resultados de una serie de ensayos de laboratorio que se realizarán en el IMME(Instituto de materiales y modelos estructurales) los cuales miden las características de interés en las mezclas con base en las Normas COVENIN.

Los procesos necesarios para la completa evaluación de las mezclas empiezan en la preparación y caracterización de las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento en las mezclas, una vez caracterizado este material se debe realizar la fase de diseño de las mezclas usando para esto la relación triangular y la ley de Abrams, cuando ya se tenga definido el diseño se procederá a la preparación, la caracterización de las mezclas de concreto con cenizas volantes en estado fresco y endurecido según las Normas COVENIN respectivas, y por último se realizarán los análisis de los datos obtenidos y la comparación con muestras estándar. Estos procesos se pueden definir claramente como etapas en la metodología que las llamaremos:

- I. Caracterización de la Cenizas Volantes y Agregados
- II. Diseño de las mezclas
- III. Preparación de las mezcla
- IV. Caracterización del concreto fresco

V. Caracterización del concreto endurecido

VI. Comparación con mezclas patrones.

III.1. Caracterización de la Cenizas Volantes y Agregados

III.1.1 Caracterización en el estado inicial para las cenizas:

Debido a que las cenizas volantes se encuentran en una condición inicial saturada debido a su proceso regular de producción serán sometidas a un proceso de secado en horno a una temperatura constante de 80 ± 5 °C por 48 horas. Posteriormente una vez secas y a temperatura ambiente se realizara un cernido utilizando el cedazo COVENIN # 4 para separar la fracción gruesa existente en el material y se utilizara el material pasante de dicho tamiz de manera que se utilice en estado natural.

III.1.2 Método de ensayo para determinar la consistencia normal de cementos hidráulicos. Según CCCA: Ce 12

Preparación de la pasta de cemento:

1. Coloque la paleta seca y el recipiente seco e la posición de mezclas. Para preparar la pasta se procederá de la siguiente manera:
 - 1.1 Coloque toda el agua de mezclas en el recipiente.
 - 1.2 Añada e cemento al agua y deje que la absorba durante 30 seg.
 - 1.3 Haga funcionar la mezcladora a velocidad baja (140 ± 5 rpm) y mezcle durante 30 seg.
 - 1.4 Detenga la mezcladora y rápidamente (15seg) raspe hacia abajo la pasta que se haya podido adherir al recipiente.
 - 1.5 Haga funcionar la mezcladora a velocidad rápida (285 ± 10 rpm) y mezcle durante un minuto.

Moldeo de probetas de ensayo.

1. Con la pasta de cemento que se preparo se formará una bola con las manos enguantadas.
2. Arroje 6 veces de una mano a la otra manteniéndolas separadas alrededor de 15cm.
3. Presione la bola de mezcla dentro del extremo mayor del anillo tronco cónico, el cual será sujeto con la otra mano. Llene el anillo completamente. Se quita con la mano el exceso en el extremo mayor.
4. Se coloca el anillo con su extremo mayor sobre una placa de vidrio H (ver anexo 6) y se enrasará la pasta en exceso en el extremo menor con un pase de una cuchara de albañil afilada mantenida a un ángulo pequeño con la parte superior del anillo.
5. Se alisara la parte superior, si es necesario con unos toques ligeros con la punta de la cuchara del albañil. Durante estas operaciones de enrasas y alisar, se deberá tener cuidado de no comprimir la pasta.

Determinación de la consistencia:

1. La pasta que está confinada en el anillo que descansa en la placa, se centrara debajo de la barra B, (Anexo 6) cuyo extremo en émbolo, C, se pondrá en contacto con la superficie de la pasta y se apretara el tornillo fijador, E.
2. Se colocara el indicados movable, F, en la marca cero superior de la escala o se tomará, una lectura inicial y luego se soltara la barra 30 segundos después de haberse completado el mezclado.
3. El aparato deberá estar libre de toda vibración durante el ensayo. La pasta será de consistencia normal cuando la barra penetre 10 ± 1 mm a los 30 segundos de haber sido soltada.
4. Se harán pastas de prueba con porcentajes de agua variables, hasta que se obtenga la consistencia normal. Cada prueba deberá hacerse con una nueva mezcla.

III.1.3 Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de cementos hidráulicos por la aguja de Vicat. Según CCCA: Ce11

1. Se utilizara una mezcla de consistencia normal preparada de igual manera como se preparo para el ensayo de consistencia.
2. Se mantiene la probeta en el curato húmedo durante 30 minutos después del moldeo, sin pertúrbala.
3. Determine la penetración de la aguja de Vicat en ese momento y luego cada 15 minutos (cada 10 minutos para cemento tipo III) hasta que se obtenga una penetración de 25 mm o menos.
4. Baje la aguja hasta que descansa sobre la superficie de la pasta de cemento.
5. Apriete el tornillo fijador, E, y coloque el indicador, F, en el extremo superior de la escala o haga una lectura inicial (ver Anexo 6).
6. Suelte la barra rápidamente aflojando el tornillo fijador, E, y deje que la aguja se asiente durante 80 seg. Luego tome la lectura para determinar la penetración. (Si la pasta está muy blanda se podrá retarda la caída de la barra para evitar que se doble la aguja; se deberá soltar solamente por medio el tornillo fijador cuando se hagan las verdaderas determinaciones del tiempo de fraguado).
7. La separación entre puntos de penetración no será menor de 6mm. No se harán ensayos de penetración a una distancia menor de 10 mm del borde interior del molde. Anote los resultados de todos los ensayos de penetración y por interpolación, determine el tiempo para obtener una penetración de 25mm. Este es el tiempo de fraguado.

III.1.4 Determinación por cernido de la distribución granulométrica de los tamaños de partículas de agregados finos y gruesos. Según la Norma COVENIN N° 255:

1. Se seca la muestra en el horno hasta que alcance una masa constante a una temperatura de $(100 \pm 5) ^\circ\text{C}$

- a) El tamaño máximo nominal es menor de 12,70mm, o sea que pasa por el cedazo COVENIN ½ “.
 - b) El agregado grueso contiene una fracción importante de finos menores de 4,76 mm (cedazo COVENIN # 4).
 - c) El agregado grueso es altamente absorbente (un agregado de masa ligero, por ejemplo). Así mismo muestras pueden someterse a secado por altas temperaturas en hornos provistos de escape de vapor sin que se afecten los resultados y sin que se generen presiones lo suficientemente grandes como para fracturar las partículas, y bajo temperaturas no tan elevadas como para causar la descomposición química del agregado.
2. Se deben seleccionar los tamaños adecuados de los cedazos para proporcionar la información requerida por las especificaciones que cubren el material ensayado. El uso de cedazos adicionales puede ser deseable para la obtención de otro tipo de información, como el valor de módulo de finura, o para regular la cantidad de material en los cedazos.
 3. Se ensamblan los cedazos en orden de tamaños de aberturas desde arriba hacia abajo colocando la muestra en el cedazo superior. Se agitan los cedazos a mano o por medios mecánicos durante un periodo de tiempo determinado por tanteo o por mediciones en la muestra de ensayo, que sea suficiente para cumplir con el criterio de cernido establecido en el paso numero 5.
 4. Se limita la cantidad de material en un cedazo determinado, para que todas las partículas tengan oportunidad de alcanzar las aberturas del mismo, un cierto número de veces durante la operación de cernido. Para cedazos con aberturas menores de 4,76 mm (COVENIN #4), la masa retenida en cualquier cedazo al final de la operación de cernido no debe exceder de 6 kg/m^2 . Para cedazos con abertura de 4,76 mm (COVENIN #4) ó mayores, la masa en kg/m^2 en la superficie del cedazo no debe exceder en 2,5 veces la abertura del cedazo en

mm. En ningún caso la masa debe ser superior al valor que pueda causar la deformación permanente del tejido del cedazo.

5. Se continua el cernido hasta que durante un minuto de cernido manual continuo, no pase más del 1% del residuo por ningún cedazo; desarrollado de la siguiente manera:

5.1 se sostiene con una mano el cedazo, el cual debe estar provisto de un recipiente de fondo y tapa bien ajustada, en posición ligeramente inclinada.

5.2 Se mueve vigorosamente el cedazo con un movimiento ascendente contra la palma de la otra mano y hacia los lados con ambas manos, a razón de unas 150 veces por minuto, rotando el cedazo en un sexto de vuelta cada 25 golpes.

5.3 Cuando se hace el cernido a mano, en agregados que tengan partículas que excedan el cedazo COVENIN 4,76mm (#4), se coloca en el cedazo una cantidad de material que forme una sola capa de partículas en caso de que el tamaño de los cedazos ensamblados haga movimiento de cernido descrito, se usan cedazos de 203mm de diámetro para verificar la eficacia del cernido.

6. En caso de mezclas con agregados finos y gruesos la fracción fina de la muestra menor que el cedazo COVENIN 4,76 mm (#4), puede distribuirse en dos(2) ó más juegos de cedazos para prevenir la sobre carga de los mismos

6.1 Alternativamente. La porción de finos menores que el cedazo COVENIN 4,76 mm (#4), se puede reducir en tamaño usando un separador mecánico. Si se sigue el siguiente procedimiento. Se calcula la masa de cada fracción de la muestra original por la relación:

$$M_0=(M_1/M_2)M_3.$$

Donde:

M_0 es la masa de la muestra original total

M_1 es la masa de la fracción más fina que el cedazo COVENIN 4,76 mm (#4) en la muestra total

M_2 es la masa de la porción de material reducido más fino que el cedazo COVENIN 4,76 mm (#4) realmente cernido

M_3 es la masa de la fracción en la porción reducida cernida.

7. Si no se usa cernidora mecánica, se deben cernir manualmente partículas superiores a $75\mu\text{m}$ para determinar la menor abertura del cedazo a través de la cual puede pasar cada partícula. Se inicia el ensayo en el cedazo más pequeño a usar. Se rotan las partículas, si es necesario, con el fin de terminar cuál de ellas pasas a través de una abertura dada. Sin embargo, no se debe forzar el paso de las partículas a través de las aberturas.
8. Se determina la masa de cada porción de la muestra en una balanza con precisión de 0,1% de la masa seca total original de la muestra. La masa total del material después del cernido debe controlarse rigurosamente a partir de la masa original de la muestra colocada en los cedazos. Si las cantidades difieren en más del 0,3%, basándose en la masa total de la muestra seca, los resultados no se pueden usar para propósitos de decisión.
9. Para ensayos rutinarios de agregados de gradación normal es normalmente satisfactorio el cernido al seco; sin embargo, cuando se desea la determinación exacta de la cantidad total que pasa por el cedazo COVENIN #200 ($75\mu\text{m}$) se procede como sigue:
 - 9.1 se ensaya primero la muestra de acuerdo con la Norma Venezolana COVENIN 258, obteniéndose un porcentaje más fino que el COVENIN

#200 (75 μ m) al cual se añade el porcentaje que pasa el cedazo COVENIN 75 μ m al cernir la misma muestra seca.

- 9.2 Después de la operación final de secado descrita en la Norma Venezolana COVENIN 258, se cierne la muestra seca según lo indicado en 2 y 3.

Una vez determinada la granulometría inicial se procederá al proceso de molienda para reducir las cenizas de manera que alcancen una finura similar a la del cemento, ya que estas serán incorporadas como sustitución del mismo.

III.1.5 Método de determinación de la densidad aparente con muestra saturada y superficie seca según la Norma COVENIN 268:1998

Preparación de la muestra:

1. El material a ensayar, consiste en una muestra de agregado fino con un peso de aproximadamente 1.000 g tomados por medio de un divisor de muestras o por el método de cuarteo de acuerdo con la Norma Venezolana COVENIN 270.
2. Se seca la muestra del ensayo en un recipiente adecuado, hasta obtener una masa constante a una temperatura de $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$. se deja enfriar la muestra hasta una temperatura que permita su manipulación y se sumerge en agua durante $(24 \pm 4)\text{h}$, se decanta el exceso de agua con cuidado para evitar la pérdida de finos.
3. Se extiende la muestra húmeda sobre una superficie plana no absorbente, se expone a una corriente suave de aire tibio y se revuelve con frecuencia, para garantizar un secado uniforme y homogéneo, este procedimiento debe hacerse con sumo cuidado para evitar la pérdida de finos ya que alterarían los resultados. Si se desea, se suelen emplear ayudas mecánicas tales como un mezclador para la obtención de la condición saturada y de superficie seca. Esta operación se continua hasta que la muestra en ensayo se aproxime a la condición de flujo libre de partículas (se haga fluida). Se sigue el procedimiento 4. Para determinar si hay o no humedad superficial sobre las partículas constituyentes del agregado fino.

4. Ensayo de cono para la determinación de la humedad superficial

4.1 Se sostiene firmemente el molde (cono) sobre una superficie lisa no absorbente con el diámetro mayor hacia abajo. Se coloca una porción de la muestra del agregado fino parcialmente seco en el molde, llenándolo hasta que se rebose del borde superior el cual se sujeta firmemente con los dedos de la mano, en forma de copa y se procede a rasar con el mismo compactador o utilizando una regla. Se apisona suavemente la superficie del agregado fino dentro del cono con 25 caídas leves del compactador. Cada caída debe comenzar desde una altura aproximada de 5mm sobre la superficie superior del cono. Se ajusta la altura de caída hasta la nueva elevación de la superficie después de cada compactación, las cuales se distribuyen sobre toda la superficie.

4.2 Se alisa la superficie de la muestra removiendo el agregado suelto y se alza el molde verticalmente sin girarlo. Si el agregado mantiene la forma de cono, se debe a que todavía la humedad superficial está presente y no se ha logrado la condición de superficie seca. Se continua con la operación de secado, agitando constantemente y se prueba a intervalos frecuentes, hasta que el cono de agregado fino se derrumbe ligeramente al quitar el molde, indicando esto que el agregado ha alcanzado la condición de superficie seca ; si el agregado fino se desmorona desde la primera prueba quiere decir que se ha secado mas allá de la condición de saturación y de superficie seca, en este caso se deben mezclar completamente algunos milímetros cúbicos de agua con el agregado fino, se deja reposar durante 30 min en un recipiente tapado, luego se comienza de nuevo el proceso de secado hasta lograr la condición de superficie seca.

Procedimiento:

1. Se llena el picnómetro parcialmente con agua. Inmediatamente se introduce en el mismo una muestra de (500 ± 10) g del agregado fino saturado y de superficie seca como se describe en el punto 8, se añade agua gradualmente en un 50%, luego completando a 75% y finalmente hasta el 100%, agitando la muestra del picnómetro e invirtiéndolo si es preciso, hasta que no se observen burbujas de aire.
2. Se ajusta la temperatura hasta $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ y si necesario se sumerge en circulación y se lleva el nivel de agua en el picnómetro hasta su capacidad de calibración.

3. Se determina la masa total del picnómetro con la muestra y el agua, como alternativa se puede determinar volumétricamente la cantidad de agua necesaria para llenar el picnómetro, mediante una bureta de apreciación de 0,15ml. El peso total del picnómetro con la muestra y agua se determina según la fórmula siguiente:

$$M_p = (d)(V_a) + M + M_o$$

Donde:

M_p : es la masa del picnómetro con la muestra y el agua, hasta la calibración, en gramos;

d : es la densidad del agua: aproximándola al 1 g/ml;

V_a : es el volumen del agua añadida al picnómetro, en ml;

M : es la masa de la muestra saturada y de superficie seca, en ml;

M_o : es la masa del picnómetro vacío, en gramos.

4. El agregado fino se saca del picnómetro y se seca hasta masa constante, a una temperatura comprendida entre 100°C y 110°C. Se deja a temperatura ambiente por un tiempo de 30 min a 90 min y se pesa.
5. Se determina la masa del picnómetro lleno con agua hasta su capacidad de calibración, a una temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$.
6. Se extrae el agregado fino del picnómetro, se saca hasta obtener una masa constante a una temperatura de $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, se enfría al aire a una temperatura ambiente por $(1 \pm 1/2)\text{h}$, y se determina su masa.
7. Para la determinación de la absorción, se necesita una porción de muestra separada de $(500 \pm 10)\text{g}$ del agregado fino saturado y de superficie seca, se seca hasta obtener una masa constante y se determina otra vez su masa.

Expresión de resultados

1. La masa del picnómetro lleno con agua a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ hasta su capacidad de calibración se calcula con la fórmula siguiente:

$$M_a = (d)(V) + M_o$$

Donde:

Ma: es la masa del picnómetro lleno con agua, en gramos;

V: es el picnómetro, en ml.

2. La densidad aparente se calcula a $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ según la siguiente fórmula:

$$\rho_s = (d) (M) / (Ma + M - Mp)$$

ρ_s : es la densidad aparente con base saturada y de superficie seca, (densidad aparente SSS), en g/ml.

3. Se calcula el porcentaje de absorción según la siguiente fórmula:

$$A = [(M-M_1) / M_1] 100$$

Donde:

A: es la absorción, en porcentaje (%)

M₁: es la masa de la muestra en el aire secada al horno, en gramos.

III.1.6 Método de determinación de la densidad aparente con muestra saturada y superficie seca según la Norma Venezolana COVENIN 269:1998

Preparación de la muestra:

1. El material a ensayar consiste en una muestra de agregado grueso la cual se mezcla completamente y se reduce a la cantidad requerida, esto se hace por medio de un divisor de muestras o por el método del cuarteo de acuerdo con la Norma Venezolana COVENIN 270. Se rechaza todo el material que pase por el cedazo COVENIN #4 (4,76mm) por cernido en seco.
 - 1.1 Se puede trabajar con muestras de diferentes masas, siempre que estas se reconstruyan de acuerdo a la granulometría de la muestra con masa normativa.
 - 1.2 En muchos casos puede ser deseable ensayar un agregado grueso en varias fracciones de tamaño separadas; si es así y la muestra retiene más del 15% en el cedazo COVENIN 1 ½" (38,1mm) se ensayara el material

mayor de 38,1mm en una o más fracciones separadas de las fracciones de menor tamaño. Cuando un agregado es ensayado en fracciones de tamaño separado, la masa mínima de la muestra de ensayo para cada fracción debe ser la diferencia entre las masas prescritas para los tamaños máximos y mínimos de la fracción.

Figura III.1. Masa mínima de muestras

Tabla 1 - Masa mínima de las muestras

Tamaño nominal, mm	Masa mínima de la muestra de ensayo (*), kg
9,50 ó menos	1
12,50	1,25
19,00	4,50
25,40	10
38,10	40
50,80	80
64,00	160
76,10	280
90,50	460
101,60	640
107,60	800
125,00	1.240
150	2.140
175	3.380
200	5.200
225	7.200
250	9.900
275	13.060
300	17.200
450	57.400

(*) Tomado de USBR 4075.

Imagen tomada de la Norma Venezolana COVENIN 269:1998 pág. 4

1.3 Cuando se ensaye agregado grueso de tamaño nominal grande que requiera de grandes muestras de ensayo, es conveniente tomar el peso nominal de la partícula más grande y multiplicarlo por 1.000, siendo el valor resultante el peso de la muestra de ensayo.

2. Se lava la muestra para eliminar el polvo y otras impurezas superficiales.

3. Se seca la muestra de ensayo hasta obtener una masa constante a una temperatura comprendida entre 100°C y 110°C, se deja enfriar a temperatura ambiente durante 1 a 3 h para las muestras de ensayo de tamaño nominal de 1 ½" (38,1mm) ó más tiempo para muestras de tamaño más grande, hasta que el agregado se haya enfriado a una temperatura de cómoda manipulación ($\pm 50^\circ\text{C}$). Luego se sumerge en agua a temperatura ambiente durante un período de (24 ± 4) h.
4. Se extrae la muestra del agua y se hace rodar sobre un paño grande absorbente hasta hacer desaparecer toda película de agua visible. Se secan separadamente las partículas más grandes y se tiene cuidado de evitar la evaporación del agua en los poros de estas, durante la operación de secado de la superficie. Puede usarse una corriente de aire para ayudar en la operación de secado.

Procedimiento:

1. Se obtiene la masa de la muestra bajo condición de saturada y de superficie seca, y se determina esta y todas las demás masas con aproximación entre 0,5% y 0,05% de la masa de la muestra.
2. Después de determinar la masa, se coloca inmediatamente la muestra de ensayo y de superficie seca en el recipiente o cesta de alambre, y se determina su masa en el agua a una temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ con un valor de densidad del agua de 1 g/ml. Antes de pesar se toman precauciones para eliminar todo el aire atrapado, agitando el recipiente mientras está sumergido.
3. Se seca la muestra introduciéndola en el horno a una temperatura comprendida entre 100°C y 110°C hasta que el valor de su masa sea constante. Se deja enfriar al aire a temperatura ambiente durante 1h a 3h, ó hasta que el agregado se haya enfriado a una temperatura de cómoda manipulación ($\pm 50^\circ\text{C}$), y se determina su masa.

Expresión de los resultados:

1. La densidad aparente a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ se calcula, con la siguiente fórmula:

$$\rho_a = (d) (M_1) / (M_2 - M_3)$$

Donde:

ρ_a : es la densidad aparente, en g/ml;

d: es la densidad e agua, aproximándola 1 g/ml;

M_1 : es la masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno, en gramos;

M_2 : es la masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y con superficie seca, en gramos;

M_3 : es la masa en el agua de la muestra de ensayo saturada, en gramos;

2. El porcentaje de absorción se calcula con la siguiente fórmula:

$$A = [(M_2 - M_1) / M_1] 100$$

Donde:

A es la absorción, en porcentaje (%)

III.2 Diseño de las mezclas (56 muestras por cada resistencia nominal, 14 cilindros por cada % de ceniza, Total 112 muestras)

Procedimiento:

1. Se elaborara una hoja de cálculo programada para el diseño de las mezclas para las siguientes combinaciones:
 - a. Mezcla P-1: f'c 180 Kg/cm².
 - b. Mezcla P-2: f'c 250 Kg/cm².
 - c. Mezcla CV-1: f'c 180 Kg/cm² y 5% de Cenizas Volantes.

- d. Mezcla CV-2: $f'c$ 250 Kg/cm² y 5% de Cenizas Volantes.
- e. Mezcla CV-3: $f'c$ 180 Kg/cm² y 10% de Cenizas Volantes.
- f. Mezcla CV-4: $f'c$ 250 Kg/cm² y 10% de Cenizas Volantes.
- g. Mezcla CV-5: $f'c$ 180 Kg/cm² y 15% de Cenizas Volantes.
- h. Mezcla CV-6: $f'c$ 250 Kg/cm² y 15% de Cenizas Volantes.

Los porcentajes de Cenizas Volantes pudiesen cambiar durante la realización de este Trabajo Especial de Grado.

2. Los parámetros de entrada para el diseño de las mezclas 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. Para el diseño se establece una resistencia promedio requerida (F_{cr}), según lo especificado en la Tabla “Resistencia promedio a la compresión requerida f'_{cr} , cuando no se dispone de datos para establecer la desviación estándar”, extraída de la norma COVENIN 1753, tomando en cuenta un control de calidad aceptable.
4. Se calculara la relación agua/cemento despejando de la Ley de Abrams, la siguiente formulación:

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

5. Aplicando factores de corrección, por tamaño máximo (K_r) y por tipos de agregados (K_a), se obtiene la relación agua/cemento corregida:

$$\alpha_c = \alpha \times K_r \times K_a$$

6. Usando la formulación descrita en la Ley de Relación Triangular se obtiene la cantidad materia cementante (Cemento + Cenizas Volantes):

$$C = 117,2 \times T^{0,16} / \alpha_c^{1,3}$$

7. De igual forma que con la relación agua/cemento se corrige con factores por tamaño máximo (C_1) y por tipos de agregados (C_2):

$$C_c = C \times C_1 \times C_2$$

8. El volumen de aire atrapado (V) y el volumen de agua (a) se estima con las formulas:

$$V = C_c / P$$

$$a = C_c \times \alpha_c$$

9. Para estimar la cantidad de los agregados se usaran las formulas:

- Peso específico de la combinación de agregados:

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

- Cantidad total de agregados:

$$A+G = \gamma_{a+g} \times (1.000 - 0,3 C_c - a - V)$$

- Cantidad de agregado fino y grueso:

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

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

10. Los resultados se expresaran en las siguientes tablas:

<i>Comparte</i>	<i>Peso (Kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (Lts/m³)</i>
Cemento	-	-
Cenizas Volantes	-	-
Agua	-	-
Agregado Fino	-	-
Agregado Grueso	-	-
Aire	-	-
Total	-	1.000

Donde el peso de Cenizas Volantes serán:

$$C_{cv} = C_c \times \%CV$$

Para calcular el volumen absoluto se dividirá el valor de cada uno de los pesos entre el respectivo peso unitario de cada componente.

11. Los resultados con corrección por humedad se obtienen modificando los siguientes valores:

- Peso de agregado saturado con superficie seca:

$$A_{sss} = A \times (100 + A_{b_a}) / (100 + \omega_a)$$

$$G_{sss} = G \times (100 + A_{b_g}) / (100 + \omega_g)$$

- Cantidad de agua a usar en la mezcla:

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

III.3 Preparación de la Mezcla

Método para la elaboración, curado (Según Norma COVENIN N° 338):

Para la elaboración de los cilindros de concreto se debe realizar el siguiente procedimiento:

1. El molde debe estar limpio, su superficie interior así como su base, deben estar aceitadas, a este fin sólo se permite el uso de aceites minerales u otros productos destinados a este uso.

2. Se deben evitar las pérdidas de agua. Las zonas de contacto entre molde y base se pueden sellar con una mezcla de parafina y cera virgen, trabajable a temperatura ambiente, o algún otro material que no afecta la resistencia del concreto.
3. El concreto se vacía en los moldes, en dos capas, si se va a compactar por el método de vibrado y en tres si se va a compactar por el método de la barra, asegurándose al mínimo la segregación del material dentro del molde, utilizando la barra para tal fin.
4. Las probetas deben moldearse en el lugar donde se almacenarán durante las primeras 20 horas.

III.4 Caracterización del concreto fresco y endurecido

III.4.1 Método para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams (Según Norma COVENIN N° 339):

1. Se humedece el interior del molde y se coloca sobre una superficie horizontal rígida, plana y no absorbente (se recomienda una lámina metálica que garantice las condiciones anteriores). El molde se sujeta firmemente por las aletas con los pies y se llena con la muestra de concreto, vaciando ésta en tres capas, cada una de ellas de un tercio del volumen del molde.
2. Cada capa se compacta con 25 golpes de la barra compactadora, distribuidos uniformemente en toda la sección transversal. Para la capa inferior es necesario inclinar ligeramente la barra y dar aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro, acercándose progresivamente en espiral hacia el centro de la sección. Esta capa debe compactarse en todo su espesor, las capas siguientes se compactan, en su espesor respectivo de modo que la barra penetre ligeramente en la capa inmediata inferior.
3. El molde se llena por exceso antes de compactar la última capa. Si después de compactar, el concreto se asienta por debajo del borde superior, se agrega concreto hasta lograr un exceso sobre el molde. Luego se enrasa mediante la barra compactadora o una cuchara de albañilería. Inmediatamente se retira el

molde alzándolo cuidadosamente en dirección vertical. Deben evitarse los movimientos laterales o de torsión. Esta operación debe realizarse en un tiempo aproximado de 5 a 10 segundos.

4. El asentamiento se mide inmediatamente después de alzar el molde y se determina por la diferencia entre la altura del molde y la altura promedio de la base superior del cono deformado.
5. En caso de que se presente una falla o corte, donde se aprecie separación de una parte de la masa, debe rechazarse el ensayo, y se hace nuevamente la determinación con otra parte de la mezcla.
6. Si dos ensayos consecutivos sobre una misma mezcla de concreto arrojan el resultado descrito en el paso N° 5 el concreto probablemente carece de la plasticidad y cohesión necesaria para la validez del ensayo.

III.4.2. Peso unitario para el concreto endurecido.

1. Los cilindros a utilizar en el ensayo a compresión se miden y se pesan con exactitud.
2. Se calcula el peso unitario (ρ) según la fórmula de densidad.

$$\rho = M / V$$

Donde:

M: peso de la probeta

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

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

III.4.3 Método para determinar la propagación de ondas en el concreto (Según Norma COVENIN N° 1681-80):

Preparación:

Las zonas de aplicación de los transductores deben estar limpias, lisas, secas y libres de todo revestimiento. En los casos en los cuales se ha quitado el revestimiento, se recomienda esmerilar las áreas de aplicación de los transductores.

Procedimiento:

1. Se presionan los transductores firmemente contra la superficie del concreto. Se debe aplicar vaselina o similar en las superficies de contactos a menos que se utilicen transductores puntuales a fin de garantizar un buen acoplamiento entre el transductor y el concreto.
2. Si la señal recibida no es definida (baja relación señal/ ruido) se debe comprobar si ha cumplido con lo indicado en la preparación y si el aparato que se utiliza, tiene potencia adecuada para cubrir la distancia de medición.
3. Se toma cuidadosamente la lectura del tiempo de paso de la onda con aproximación del 1%.
4. Se mide la distancia entre los puntos de aplicación de los transductores (base de medición) con aproximación del 1%.

Expresión de los resultados:

La velocidad de propagación de onda en el seno del concreto se calcula con aproximación de 1 m/seg, como se indica a continuación:

$$V = L / t$$

Donde:

V= Velocidad de propagación de la onda en m/seg.

L= Base de medición, en mm.

t= Tiempo de paso de la onda, en microsegundos.

III.4.4 Método para el ensayo a compresión de cilindros de concreto (Según Norma COVENIN N° 338):

1. Preparación de la muestra

1.1 Las caras de compresión deben ser rematadas de tal forma que se logre el paralelismo entre las caras del cilindro. Las superficies de compresión deben ser visiblemente planas, sin grumos, ralladuras o defectos visibles.

1.2 Para el momento del ensayo el remate debe tener una resistencia superior a la del concreto que se va a ensayar, pudiéndose emplear cualquier material capaz de proporcionar en el momento del ensayo, la resistencia y la adherencia necesaria. El espesor de la capa de remate debe estar entre 2 y 3% de la dimensión lateral (cara de la probeta). Uno de los materiales más usados para el remate de las caras de los cilindros, es el mortero de azufre, el cual debe tener una resistencia mínima de 350 kgf/cm² a las dos horas y ensayado en cubos de 50 x 50 mm.

1.3 Los cilindros se deben ensayar a la edad prevista, con una tolerancia de $\pm t/14$.

$$t = \text{EDAD PREVISTA PARA EL ENSAYO}$$

1.4 La sección del cilindro se determina en su zona central y el diámetro de cálculo es el promedio de los diámetros ortogonales aproximados hasta el milímetro entero más próximo.

1.5 La altura del cilindro se determina después de ser rematadas sus caras. La altura se aproxima al milímetro más cercano.

2. Procedimiento

2.1 Los cilindros se colocan en la máquina de ensayo, se centran cuidadosamente y se comprimen. Tanto las superficies rematadas de los cilindros y los platos de la máquina deben estar exentos de polvo, grasa y de cualquier otro material extraño.

2.2 En el caso de las máquinas de tipo mecánico el desplazamiento del cabezal debe ser aproximadamente de 1,3 mm. Por minuto; en las máquinas operadas hidráulicamente se aplicará una presión 5 a una tasa constante dentro del rango de 1,4 kg/cm²/seg a 3,5 kg/cm²/seg. Durante la aplicación de la primera mitad de la presión, se permite incrementar dicha tasa.

3. Expresión de los resultados

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

$$R_c = P/A$$

Donde:

R_c = Resistencia a compresión kgf/cm²

P = Carga máxima aplicada, kgf

A = Área de la sección transversal del cilindro, cm²

La resistencia a compresión de cada cilindro es el cociente entre la carga máxima y el área de la sección del cilindro. El resultado del ensayo es el promedio de las resistencias de los cilindros por cada condición de ensayo.

4. La desviación estándar máxima en los ensayos de resistencia de una muestra, debe ser 8 kg/cm² para considerar la precisión la dispersión máxima entre dos laboratorios, debe ser de 16 kg/cm², (dos veces la desviación estándar). Esto es la expresión de la exactitud.

III.4.5 Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad (secante) en probetas cilíndricas de concreto (Según Norma Venezolana COVENIN 1468)

Equipos de ensayo:

1. Máquina de ensayo: que permite aplicar las cargas a una velocidad constante de manera que los esfuerzos aumenten en $2,5 \pm 0,5$ kg/cm²

2. Extensómetros: mecánicos, eléctricos o electromecánicos, capaz de apreciar una deformación unitaria 6×10^{-4} por ciento para la longitud efectiva de medición utilizada en el ensayo.

Procedimiento:

1. Se elaboran y cura las probetas cilíndricas moldeadas según la norma COVENIN 338 y se ensayan a la edad para la cual se desea obtener información sobre la elasticidad y una hora después de extraídas del ambiente húmedo o de almacenamiento.
 - 1.1 Las probetas de ensayos que hayan sido sacadas del ambiente húmedo, se conservan húmedas con un paño mojado que la cubra durante el intervalo de tiempo que transcurre desde su retiro del ambiente húmedo hasta el ensayo.
2. Las probetas son extraídas del concreto endurecido o según las normas COVENIN 345, estas deben cumplir con los requisitos de preparación final, condiciones de humedad y recubrimiento establecido en dicha norma. Los requisitos de preparación final, condiciones ambientales ante el ensayo son las mismas que para las probetas cilíndricas moldeadas.
3. Preparación de las probetas
 - 3.1 Se termina la sección de la probeta en su zona central y su diámetro de cálculo es el promedio de dos diámetros ortogonales aproximados hasta el milímetro entero más cercano.
 - 3.1.1 Las bases de medición se establecen centradas a la mitad de la altura del cilindro, a lo largo de dos generatrices diametralmente opuestas tres generatrices equidistantes. La longitud efectiva de medición no debe ser menor de tres veces el tamaño máximo del

agregado del concreto, ni mayor que dos tercios de la altura de la probeta. La longitud preferible es la mitad de la altura de probeta.

4. Preparación del para el ensayo

4.1 Se anota la temperatura y la humedad relativa en el momento del ensayo.

4.2 Se determina la resistencia a compresión, a las probetas de comparación, según la norma COVENIN 338, de la cual se toma el 40% y se denomina carga promedio de rotura, denotándose con la letra C. se calcula con una aproximación de 1 tonelada.

4.3 En el caso en que el procedimiento requiera medir la distancia base, ésta se determinara con una aproximación de ± 1 mm.

5. Ensayo

5.1 Se colocan las probetas, con los instrumentos de medición ya fijados, en la plataforma inferior de carga o en la placa de apoyo de la máquina de ensayo y se centra con respecto a la rotura de la placa superior. Se baja lentamente la placa para que entre en contacto con la probeta, se gira suavemente con la mano la parte móvil para obtener un asiento uniforme.

5.2 Ciclo de precarga. Se aplica la carga sin impacto a una velocidad de $2,5 \pm 0,5$ kg/cm² por segundo hasta alcanzar el valor de C. Se mantiene la carga por un minuto y se reduce gradualmente hasta cero. Se anotan las lecturas de los extensómetros. Se aplica la carga una segunda vez de forma semejante hasta alcanzar el valor C. se anotan nuevamente las lecturas de los extensómetros y se reduce la carga gradualmente hasta cero.

5.3 Ciclo de medición. Se toman las lecturas de los extensómetros, aplicando la carga una tercera vez a la misma velocidad, de forma continua y sin interrupción. Si el registro de las deformaciones no es continuo se toman como mínimo diez lecturas de los extensómetros a intervalos de cargas

aproximadamente iguales, hasta el valor de C. se comparan las deformaciones obtenidas para esta carga, en cada extensómetro, con las del ciclo anterior. Si difieren en más del 5% del promedio se continúan los ciclos de carga hasta que la diferencia entre las deformaciones obtenidas en ciclos consecutivos no exceda el 5%.

Expresión de los resultados

1. Se elabora un grafico de esfuerzo-deformación unitarias, con los resultados obtenidos en el último ciclo de ensayo en el cual se determina una curva para cada una de las generatrices medida. 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 calcula de la siguiente forma.

$$E_1 = (S_c - S_D) / (\epsilon_o - 5 \times 10^{-5})$$

Donde:

E_1 = Módulo de elasticidad secante de cada una de las curvas, expresadas en kgf/cm².

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

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

ϵ_c = deformación unitaria longitudinal por esfuerzo S_c .

3. Se determina el promedio, de las medidas hechas sobre las probetas, si esté difieren de los valores individuales en más del 10%, el ensayo deberá repetirse. En caso contrario dicho promedio se tomara como Módulo de Elasticidad del concreto ensayado.

III.5 Comparación con mezclas patrones

Se realizara un cuadro resumen con las propiedades medidas en el laboratorio según la resistencia y porcentaje de Ceniza Volante de cada mezcla y se colocaran también los valores típicos de la mezcla patrón, de manera que se simplifique el análisis de resultados y las conclusiones de la evaluación.

CAPITULO IV

RESULTADOS

IV.1 Ensayo de la aguja de Vicat para mezcla de cemento con cenizas volantes

Tabla IV.1.1. Tiempo de fraguado con Aguja de Vicat para 0% de CV

Muestra con 0% CV

Cemento (g)		500	
Ceniza (g)		0	
Agua de amasado (ml)		125	
Hora de inicio :		10:34	
Hora de penetración	Tiempo		Penetración (mm)
	horas	min	
11:08	0	30	41
11:24	0	15	41
11:40	0	15	41
11:56	0	15	41
12:13	0	15	40
12:30	0	15	33
12:43	0	10	23
12:53	0	10	19
01:05	0	10	7,5
01:11	0	5	1,5
01:18	0	5	1,5
Tiempo (min) para una penetración de 25(mm)= 83			

Tabla IV.1.2. Tiempo de fraguado con Aguja de Vicat para 5% de CV

Muestra con 5% CV

Cemento (g)		475	
Ceniza (g)		25	
Agua de amasado (ml)		135	
Hora de inicio :		13:45	
Hora de penetración	Tiempo		Penetración (mm)
	horas	min	
02:25	0	30	41
02:40	0	15	41

CAPITULO IV. RESULTADOS

02:55	0	15	41
03:10	0	15	41
03:26	0	15	41
03:46	0	15	32
04:05	0	10	22
04:22	0	10	9
04:37	0	10	2
04:54	0	5	1
Tiempo (min) para una penetración de 25(mm)= 82			

Tabla IV.1.3. Tiempo de fraguado con Aguja de Vicat para 10% de CV

Muestra con 10% CV

Cemento (g)	450
Ceniza (g)	50
Agua de amasado (ml)	150
Hora de inicio :	09:10

Hora de penetración	Tiempo		Penetración (mm)
	horas	min	
09:40	0	30	41
10:13	0	15	40
10:00	0	15	40
00:00	0	15	40
10:48	0	15	38,5
11:23	0	15	31
11:33	0	15	19
11:44	0	15	14
12:00	0	15	7
12:10	0	15	2
Tiempo (min) para una penetración de 25(mm)= 82,5			

Tabla IV.1.4.. Tiempo de fraguado con Aguja de Vicat para 15% de CV

Muestra con 15% CV

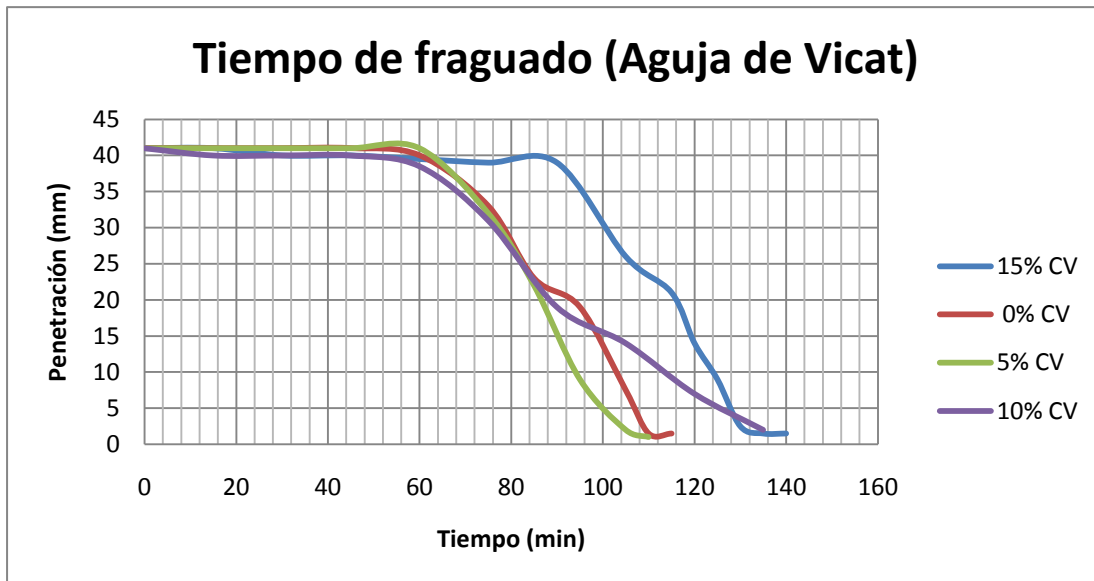
Cemento (g)	425
Ceniza (g)	75
Agua de amasado (ml)	167,5
Hora de inicio :	09:59

Hora de	Tiempo	Penetración
---------	--------	-------------

penetración	horas	min	(mm)
10:40	0	30	41
10:56	0	15	41
11:12	0	15	40
11:27	0	15	40
11:47	0	15	39,5
12:02	0	15	39
12:21	0	15	39
12:37	0	15	26
12:49	0	10	21
12:57	0	5	14
01:03	0	5	9
01:10	0	5	2,5
01:16	0	5	1,5
01:22	0	5	1,5

Tiempo (min) para una penetración de 25(mm)= 105

Grafica IV.1 Tiempos de fraguado medidos por la Aguja de Vicat



IV.2 Características del agregado fino

Tabla IV.2.1. Resultados del tamizado del agregado fino

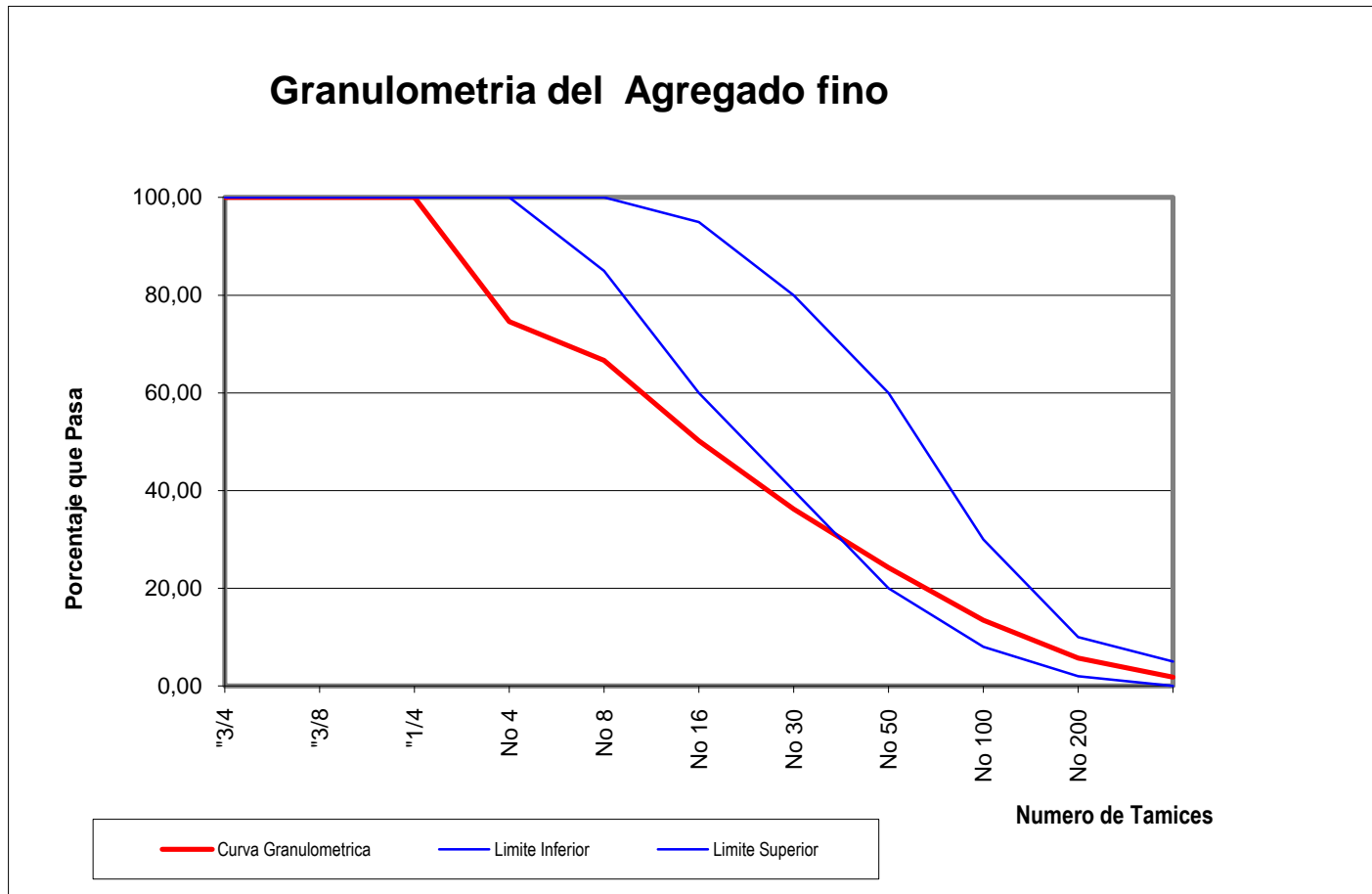
Peso Lavado + Bandeja (grs)	672
Peso Lavado (grs)	470,5
Peso de la Bandeja	201,5

Material: Arena Natural

Fecha: 27/04/2009

Tamices (mm)	Peso de Material + Bandeja	Peso del Material (g)	Acumulado (g)	% Retenido	% Pasante	Límites normativos		¿Cumple los límites?
						inferior	superior	
"3/4	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	----
1/2"	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	----
"3/8	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	Si
"1/4	321,00	119,50	119,50	25,40	74,60	100	100	No
No 4	239,00	37,50	157,00	33,37	66,63	85	100	No
No 8	279,00	77,50	234,50	49,84	50,16	60	95	No
No 16	267,00	65,50	300,00	63,76	36,24	40	80	No
No 30	258,00	56,50	356,50	75,77	24,23	20	60	Si
No 50	252,00	50,50	407,00	86,50	13,50	8	30	Si
No 100	238,00	36,50	443,50	94,26	5,74	2	10	Si
No 200	220,00	18,50	462,00	98,19	1,81	0	5	Si
Fondo	210,00	8,50						
Módulo de finura		4,04						

Gráfica IV.2.1 Comparación del agregado fino con los límites de la Norma COVENIN 227:2000



V.2.1 Calculo de la densidad, absorción y contenido de humedad del agregado fino

Densidad γ_s

W: peso de la muestra (gr)=		0,5
Wa: peso del picnómetro + agua (gr)		1,289
Wp: peso del picnómetro + agua + muestra (gr)		1,599

$$\gamma_a = \frac{W}{W_a + W - W_p}$$

$$\gamma_a = 2631,58$$

Contenido de humedad 27/04/09

ω_a : contenido de humedad	
W: peso de la muestra natural (gr)	500
W1: peso del material seco (gr)	472

$$\% \omega_a = \frac{(W - W_1) * 100}{W_1}$$

$$\% \omega_a = 5,93$$

Absorción

Ab _a : Absorción	
W: peso de la muestra (gr)	500
W1: peso del material seco (gr)	485

$$Ab_a = \frac{(W - W_1) * 100}{W_1}$$

$$Ab_a = 3,09$$

IV.3 Características del agregado grueso

Tabla IV.3.1. Resultados del tamizado del agregado grueso

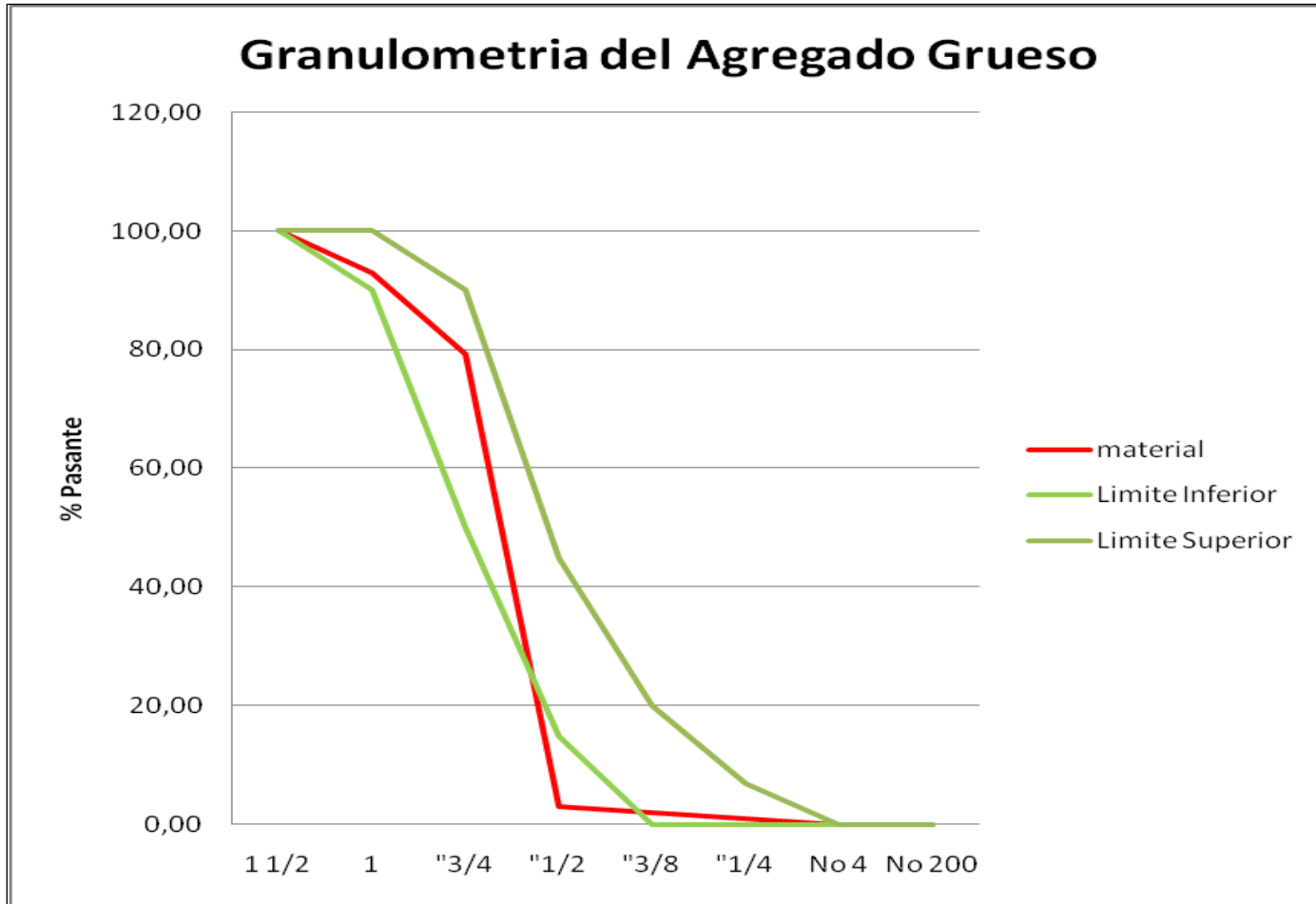
Material: piedra picada nº1
 Fecha: 27/04/2009

Peso Lavado + Bandeja (Kg)	672
Peso Lavado (kg)	20
Peso de la Bandeja (kg)	

Tamices (mm)	Peso de Material + Bandeja	Peso del material (kg)	Acumulado (kg)	% Retenido	% Pasante	Limites normativos		¿Cumple los límites normativos?
						inferior	superior	
1 ½	0,00	0,00	0,00	0,0	100,00	100	100	----
1	1,42	1,42	1,42	7,1	92,90	90	100	si
"3/4	2,75	2,75	4,17	20,9	79,15	50	90	si
"1/2	7,40	7,40	11,57	57,9	3,09	15	45	no
"3/8	4,55	4,55	16,12	80,6	2,06	0	20	si
"1/4	2,15	2,15	18,27	91,4	1,00	0	7	si
No 4	0,52	0,52	18,79	93,9	0,00	0	0	----
No 200	1,90	1,90	20,69	103,5	0,00	0	0	----
Fondo	0,01	0,00						

Módulo de finura	6,65
------------------	------

Grafica IV.3.1 Comparación del agregado grueso con los límites de la Noma COVENIN 227:2000



IV.3.1 Calculo de la densidad, absorción y contenido de humedad del agregado grueso

densidad pa

d: densidad del agua g/ml	1000
M1: masa de la muestra seca en el horno	9769
M2: masa de la muestra saturada en el aire con superficie seca	9932
M3: masa de la muestra saturada en el agua	5963

$$\gamma_g = \frac{d \cdot M1}{(M2 - M3)}$$

$$\gamma_g = 2461,33$$

Absorción

Ab_g: Absorción

$$Ab_g = \frac{(M2 - M1) \cdot 100}{M1}$$

$$Ab_g = 1,67$$

Contenido de humedad 27/04/09

W: peso de la muestra natural (gr)	1000
W1: peso del material seco (gr)	996

$$\% \omega_g = \frac{(W - W1) \cdot 100}{W1}$$

$$\% \omega_g = 0,40$$

VI.4 Diseños de mezclas

VI.4.1 Diseño de la mezcla MP-1

<i>Comparte</i>	<i>Peso (Kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (Lts/m³)</i>	<i>Medidas para la muestra</i>
Cemento	262	79	23,99 kg
Cenizas Volantes	0	0	0,00 kg
Agua	167	168	15,26 Lts
Arena Natural	861	329	78,74 m ³
Piedra Semitriturada	1011	413	92,50 m ³
Aire	-	10	0,95 Lts
Total	2.302	1.000	0,091 m³

VI.4.2 Diseño de la mezcla MP-2

<i>Comparte</i>	<i>Peso (Kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (Lts/m³)</i>	<i>Medidas para la muestra</i>
Cemento	321	97	27,43 kg
Cenizas Volantes	0	0	0,00 kg
Agua	169	170	14,53 Lts
Arena Natural	835	319	0,027 m ³
Piedra Semitriturada	981	401	0,034 m ³
Aire	-	13	1,09 Lts
Total	2.307	1.000	0,085 m³

VI.4.3 Diseño de la mezcla CV-1

<i>Comparte</i>	<i>Peso (Kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (Lts/m³)</i>	<i>Medidas para la muestra</i>
Cemento	249	75	22,79 kg
Cenizas Volantes	13	4	1,20 kg
Agua	167	168	15,26 Lts
Arena Natural	861	329	78,74 m ³
Piedra Semitriturada	1011	413	92,50 m ³
Aire	-	10	0,95 Lts
Total	2.302	1.000	0,091 m³

VI.4.4 Diseño de la mezcla CV-2

<i>Comparte</i>	<i>Peso (Kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (Lts/m³)</i>	<i>Medidas para la muestra</i>
Cemento	333	100	30,43 kg
Cenizas Volantes	18	5	1,60 kg
Agua	180	181	16,44 Lts
Arena Natural	812	310	74,23 m ³
Piedra Semitriturada	953	390	87,19 m ³
Aire	-	14	1,27 Lts
Total	2.295	1.000	0,091 m³

VI.4.5 Diseño de la mezcla CV-3

<i>Comparte</i>	<i>Peso (Kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (Lts/m³)</i>	<i>Medidas para la muestra</i>
Cemento	236	71	21,59 kg
Cenizas Volantes	26	8	2,40 kg
Agua	167	168	15,26 Lts
Arena Natural	861	329	78,74 m ³
Piedra Semitriturada	1011	413	92,50 m ³
Aire	-	10	0,95 Lts
Total	2.302	1.000	0,091 m³

VI.4.6 Diseño de la mezcla CV-4

<i>Comparte</i>	<i>Peso (Kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (Lts/m³)</i>	<i>Medidas para la muestra</i>
Cemento	315	95	28,83 kg
Cenizas Volantes	35	11	3,20 kg
Agua	180	181	16,44 Lts
Arena Natural	812	310	74,23 m ³
Piedra Semitriturada	953	390	87,19 m ³
Aire	-	14	1,27 Lts
Total	2.295	1.000	0,091 m³

VI.4.7 Diseño de la mezcla CV-5

<i>Composte</i>	<i>Peso (Kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (Lts/m³)</i>	<i>Medidas para la muestra</i>
Cemento	223	67	20,39 kg
Cenizas Volantes	39	12	3,60 kg
Agua	167	168	15,26 Lts
Arena Natural	861	329	78,74 m ³
Piedra Semitriturada	1011	413	92,50 m ³
Aire	-	10	0,95 Lts
Total	2.302	1.000	0,091 m³

VI.4.8 Diseño de la mezcla CV-6

<i>Composte</i>	<i>Peso (Kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (Lts/m³)</i>	<i>Medidas para la muestra</i>
Cemento	298	90	27,23 kg
Cenizas Volantes	53	16	4,80 kg
Agua	180	181	16,44 Lts
Arena Natural	812	310	74,23 m ³
Piedra Semitriturada	953	390	87,19 m ³
Aire	-	14	1,27 Lts
Total	2.295	1.000	0,091 m³

IV.5 Resultados y medidas de ensayos de la mezclas en estado endurecido

Debido a una interpretación errónea de los valores de desviación para la elaboración de las mezclas se tomo un control de calidad intermedio para las mismas, lo que se alejaba del objetivo principal de la tesis obteniéndose las mezclas MP-1= 180 ± 80 kg/cm² y MP-2= 250 ± 90 kg/cm².

Con el ensayo de compresión a 7 días se pudo observar que las mezclas alcanzarían resistencias de próximamente 230 kg/cm² para MP-1 y 320 kg/cm² para MP-2. Por lo que se descarto la mezcla MP-2 inicial y se utilizo la mezcla MP-1 para la resistencia nominal de 250 kg/cm² y para la resistencia de 180 kg/cm² se realizo una tercera mezcla patrón MP-3 con una resistencia de 180 ± 20 kg/cm² que ajustaba mejor a los requisitos del presente Trabajo Especial de Grado, dicha mezcla se realizo posterior a todas las mezclas por lo que solo se tienen resultados hasta los 21 días.

Los datos utilizados para lograr comparación serán producto de proyecciones y estimaciones a partir del resultado a 21 días obtenido, asumiendo el comportamiento teórico de las muestras de concreto según el “Manual del Concreto Estructural” de J. Porrero S, que para 21 ha desarrollado el 95% de su resistencia nominal de compresión.

IV.5.1 Mezcla MP-3 180 kg/cm² (patrón)

Tabla IV.5.1.1. Resumen de los ensayos a compresión para la mezcla MP-3

Mezcla	<u>PM-3</u>	Día de elaboración	<u>28/05/2009</u>	Resistencia nominal (kg/cm ²)	<u>180</u>
% de CV	<u>0</u>	Asentamiento (cm)	<u>3</u>		
		litros de agua agregada	<u>0</u>		

Probeta N	Edad de ensayo (días)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro 3 (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Área promedio (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% Resistencia alcanzado	Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio
1	7	14,93	14,93	14,96	30,22	12,520	175,30	24200	138,05	76,69	142,37
2	7	14,82	14,85	15,05	30,05	12,384	174,52	25600	146,69	81,49	
3	14	14,89	14,96	14,98	30,17	12,472	175,38	30800	175,62	97,56	175,62
4	21	15,06	15,09	15,09	30,20	12,535	178,60	31150	174,41	96,89	176,63
5	21	14,89	14,93	14,96	30,04	12,510	174,99	31000	177,15	98,42	
6	21	14,85	14,89	14,89	30,30	12,568	173,82	31000	178,34	99,08	

Tabla IV.5.1.2. Medida del cilindro utilizado para módulo de elasticidad de la muestra PM-3

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)
A	12,535	15,060	30,200
		15,090	
		15,090	

Tabla IV.5.1.3. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta A para la muestra PM-3

Carga	Esfuerzos	Deformación Flexímetro 1	Deformación Flexímetro 2	Deformación unitaria 1	Deformación unitaria 2	Deformación unitaria Promedio
0	0,00	3807	834	0	0	0
1250	7,00	3810	840	0,000015	0,00003	0,0000225
2500	14,00	3818	849	0,000055	0,000075	0,000065
3750	21,00	3826	857	0,000095	0,000115	0,000105
5000	27,99	3833	861	0,00013	0,000135	0,0001325
6250	34,99	3841	869	0,00017	0,000175	0,0001725
7500	41,99	3847	878	0,0002	0,00022	0,00021
8750	48,99	3854	886	0,000235	0,00026	0,0002475
10000	55,99	3861	893	0,00027	0,000295	0,0002825
11250	62,99	3869	898	0,00031	0,00032	0,000315
12500	69,99	3873	902	0,00033	0,00034	0,000335

Grafica IV.5.1.1. Módulo de elasticidad promedio para la muestra PM-3

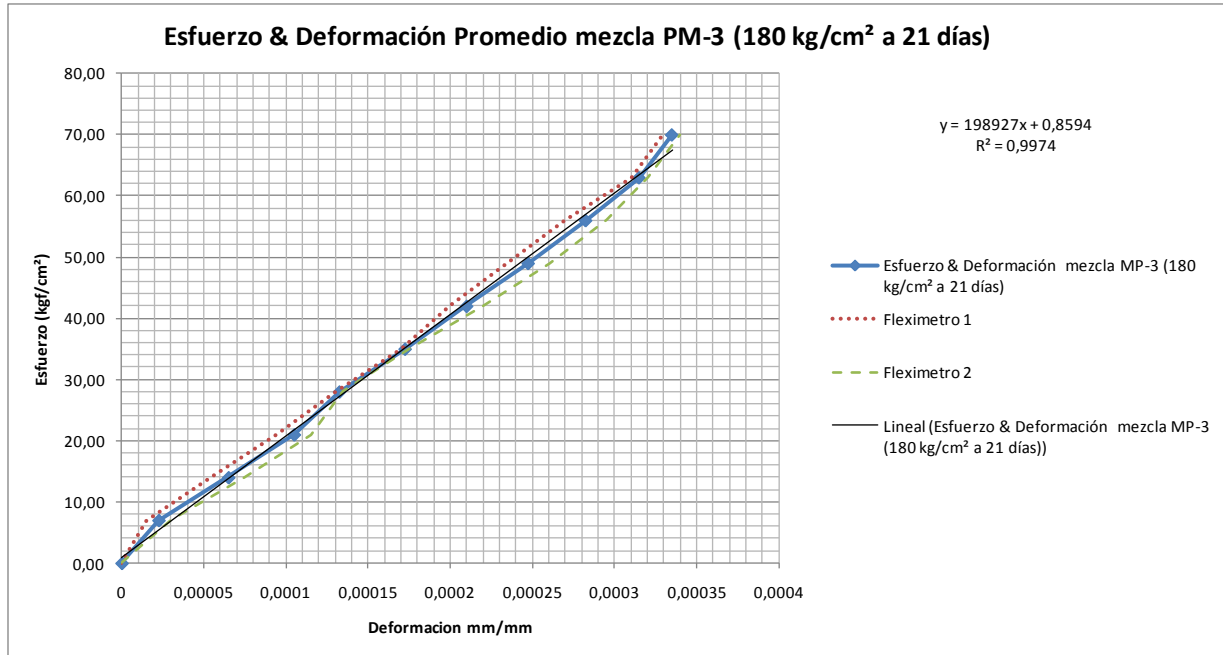


Tabla IV.5.1.4. Resultados de la velocidad de propagación de ondas en la muestra MP-3

Velocidad de la propagación de onda para la mezcla MP-3				
cilindro	t (μs)	t (s)	L (m)	V (m/s)
A	72,9	0,0000729	0,300	4120,71
B	73,9	0,0000739	0,303	4100,14
V (m/s) promedio				4110,42

Tabla IV.5.1.5. Resultados de la densidad en la muestra MP-3

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Densidad (Kg/m ³)
1	12,520	14,930	30,220	0,018	0,005	2362,25
		14,940				
		14,960				
2	12,384	14,820	30,050	0,017	0,005	2361,38
		14,850				
		15,050				
3	12,472	14,890	30,170	0,018	0,005	2357,09
		14,960				
		14,980				
4	12,535	15,060	30,200	0,018	0,005	2323,94
		15,090				
		15,090				
5	12,510	14,890	30,040	0,017	0,005	2379,81
		14,930				
		14,960				
6	12,568	14,850	30,300	0,017	0,005	2386,29
		14,890				
		14,890				
Densidad Promedio(Kg/m ³)						2360,24

IV.5.2 Mezcla MP-1 250 kg/cm² (patrón)*Tabla IV.5.2.1. Resumen de los ensayos a compresión para la mezcla MP-1*

Mezcla	<u>MP-1</u>	Día de elaboración	<u>30/04/2009</u>	Resistencia nominal (kg/cm ²)	<u>250</u>
% de CV	<u>0</u>	Asentamiento (cm)	<u>5</u>		
		litros de agua agregada	<u>0</u>		

Probeta N°	Edad de ensayo (días)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro 3 (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Área promedio (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% Resistencia alcanzado
1	7	14,85	14,88	14,87	30,31	12,356	173,59	29800	171,67	68,67
2	7	15,08	15,06	14,95	29,9	12,516	177,42	32400	182,62	73,05
3	14	14,93	14,88	14,92	30,12	12,407	174,60	33400	191,29	76,52
4	14	14,84	14,94	14,93	30,18	12,448	174,44	35400	202,93	81,17
5	21	15,14	14,95	14,90	30,36	12,598	176,64	38600	218,53	87,41
6	21	14,97	14,96	14,99	30,05	12,397	176,09	38800	220,35	88,14
7	28	14,92	14,91	14,89	30,27	12,454	174,52	37600	215,45	86,18
8	28	14,81	14,93	14,88	30,11	12,205	173,74	41000	235,98	94,39
9	28	14,75	14,71	14,91	29,85	12,261	171,80	40800	237,48	94,99
10	28	14,63	14,82	14,91	30,56	12,451	171,72	40400	235,26	94,10
11	28	14,79	14,93	15,08	29,73	12,349	175,15	40200	229,52	91,81

Tabla IV.5.2.2. Medida del cilindro utilizado para módulo de elasticidad de la muestra PM-1

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)
A	12,451	14,63	30,567
		14,82	
		14,91	
B	12,443	14,79	29,737
		14,93	
		15,08	

Tabla IV.5.2.3. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta A para la muestra PM-1

Carga	Esfuerzos	Deformación Flexímetro 1	Deformación Flexímetro 2	Deformación unitaria 1	Deformación unitaria 2	Deformación unitaria Promedio
0	0,00	4232	2444	0	0	0
1600	9,32	4232	2446	0	0,00001	0,000005
3200	18,63	4232	2448	0	0,00002	0,00001
4800	27,95	4234	2452	0,00001	0,00004	0,000025
6400	37,27	4241	2461	0,000045	0,000085	0,000065
8000	46,59	4251	2464	0,000095	0,0001	0,0000975
9600	55,90	4260	2473	0,00014	0,000145	0,0001425
11200	65,22	4266	2479	0,00017	0,000175	0,0001725
12800	74,54	4275	2489	0,000215	0,000225	0,00022
14400	83,86	4283	2497	0,000255	0,000265	0,00026
16000	93,17	4292	2507	0,0003	0,000315	0,0003075

Tabla IV.5.2.4. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta B para la muestra PM-1

Carga	Esfuerzos	Deformación Flexímetro 1	Deformación Flexímetro 2	Deformación unitaria 1	Deformación unitaria 2	Deformación unitaria Promedio
0	0,00	1230	4281	0	0	0
1600	9,14	1230	4283	0	0,00001	0,000005
3200	18,27	1231	4287	0,000005	0,00003	0,0000175

CAPITULO IV. RESULTADOS

4800	27,41	1236	4292	0,00003	0,000055	0,0000425
6400	36,54	1242	4298	0,00006	0,000085	0,0000725
8000	45,68	1250	4303	0,0001	0,00011	0,000105
9600	54,81	1258	4310	0,00014	0,000145	0,0001425
11200	63,95	1265	4318	0,000175	0,000185	0,00018
12800	73,08	1273	4326	0,000215	0,000225	0,00022
14400	82,22	1282	4335	0,00026	0,00027	0,000265
16000	91,35	1290	4342	0,0003	0,000305	0,0003025

Tabla IV.5.2.5. Resultados del módulo de elasticidad promedio para la muestra PM-1

deformación unitaria promedio	Esfuerzo promedio
0,000000	0,00
0,000005	9,23
0,000014	18,45
0,000034	27,68
0,000069	36,90
0,000101	46,13
0,000143	55,36
0,000176	64,58
0,000220	73,81
0,000263	83,04
0,000305	92,26

Sc	92,26
Ec	0,000305
sd	26,49875
E1	257896,22

E1 promedio teórico 230185,85

Grafica IV.5.2.1. Módulo de elasticidad promedio para la muestra PM-1

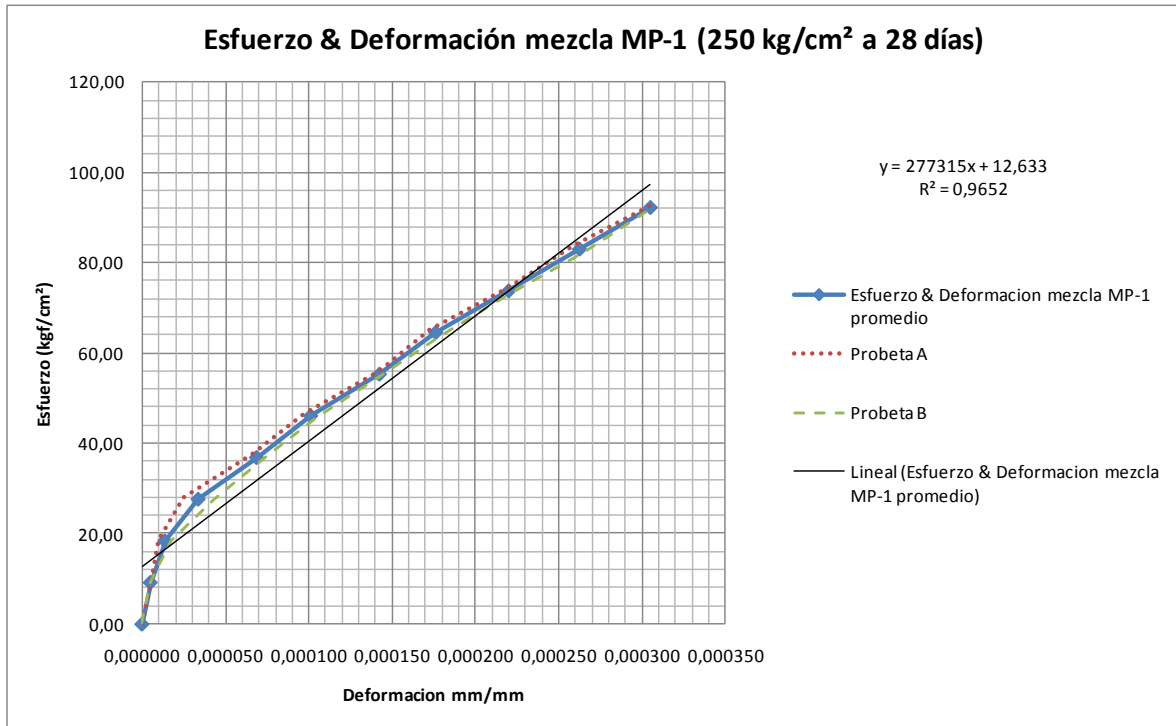


Tabla IV.5.2.6. Resultados de la velocidad de propagación de ondas en la muestra MP-1

Velocidad de la propagación de onda para la mezcla MP-1				
cilindro	t (μs)	t (s)	L (m)	V (m/s)
A	76,4	0,0000764	0,306	4000,87
B	77,3	0,0000773	0,297	3846,92
V (m/s) promedio				3923,89

Tabla IV.5.2.7. Resultados de la densidad en la muestra MP-1

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Densidad (Kg/m ³)
1	12,356	14,850	30,310	0,017	0,005	2357,92
		14,880				
		14,780				
2	12,516	15,080	29,900	0,018	0,005	2359,32
		15,060				
		14,950				
3	12,407	14,930	30,130	0,017	0,005	2358,43
		14,880				
		14,920				
4	12,448	14,840	30,473	0,017	0,005	2341,65
		14,940				
		14,930				
5	12,598	15,140	30,357	0,018	0,005	2349,46
		14,950				
		14,900				
6	12,397	14,970	30,050	0,018	0,005	2342,85
		14,960				
		14,990				
7	12,454	14,92	30,277	0,017	0,005	2356,95
		14,91				
		14,89				
8	12,205	14,81	30,110	0,017	0,005	2333,03
		14,93				
		14,88				
9	12,261	14,75	29,857	0,017	0,005	2390,33
		14,71				
		14,91				
10	12,451	14,63	30,567	0,017	0,005	2372,06
		14,82				
		14,91				
11	12,349	14,79	29,737	0,018	0,005	2371,02
		14,93				
		15,08				
Densidad Promedio(Kg/m ³)						2357,55

IV.5.3 Mezcla CV-1 180 kg/cm² con 5% CV*Tabla IV.5.3.1. Resumen de los ensayos a compresión para la mezcla CV-1*

Mezcla	<u>CV-1</u>	Día de elaboración	<u>08/04/2009</u>	Resistencia nominal (kg/cm ²)	<u>180</u>
% de CV	<u>5</u>	Asentamiento (cm)	<u>1</u>		
		litros de agua agregada	<u>0</u>		

Probeta N°	Edad de ensayo (días)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro 3 (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Área promedio (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% Resistencia alcanzado
1	7	15,05	15,02	14,87	30,07	12,401	176,24	25000	141,85	78,81
2	7	14,98	14,87	15,02	30,05	12,423	175,70	26000	147,98	82,21
3	14	15,00	15,02	14,99	30,14	12,653	176,79	34200	193,45	107,47
4	14	15,03	15,05	14,98	30,19	12,558	177,19	24600	138,84	77,13
5	21	14,93	14,94	14,87	30,05	12,585	174,68	35000	200,37	111,32
6	21	14,84	14,85	14,77	30,24	12,626	172,50	35200	204,06	113,37
7	28	14,56	14,55	14,52	30,03	12,289	166,12	32000	192,63	107,02
8	28	14,87	14,88	14,83	30,08	12,631	173,43	36000	207,57	115,32
9	28	14,97	14,92	14,87	30,14	12,690	174,83	36600	209,34	116,30
10	28	14,93	14,94	14,92	30,07	12,502	175,07	37700	215,34	119,64
11	28	14,95	14,92	14,96	30,04	14,489	175,38	34000	193,86	107,70
12	28	14,96	14,96	14,93	30,20	12,636	175,54	38150	217,33	120,74

Tabla IV.5.3.2. Medidas de los cilindros utilizados para módulo de elasticidad de la muestra CV-1

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)
A	12,631	14,870	30,080
		14,880	
		14,830	
B	12,636	14,960	30,200
		14,960	
		14,930	

Tabla IV.5.3.3. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta A para la muestra CV-1

Carga	Esfuerzos	Deformación Flexímetro 1	Deformación Flexímetro 2	Deformación unitaria 1	Deformación unitaria 2	Deformación unitaria Promedio
0	0,00	4518	1442	0	0	0
1400	8,07	4519	1443	0,000005	0,000005	0,000005
2800	16,14	4523	1449	0,000025	0,000035	0,00003
4200	24,22	4529	1457	0,000055	0,000075	0,000065
5600	32,29	4540	1465	0,00011	0,000115	0,0001125
7000	40,36	4549	1472	0,000155	0,00015	0,0001525
8400	48,43	4558	1480	0,0002	0,00019	0,000195
9800	56,51	4566	1488	0,00024	0,00023	0,000235
11200	64,58	4574	1495	0,00028	0,000265	0,0002725
12600	72,65	4582	1503	0,00032	0,000305	0,0003125
14000	80,72	4588	1509	0,00035	0,000335	0,0003425

Tabla IV.5.3.4. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta B para la muestra CV-1

Carga	Esfuerzos	Deformación Flexímetro 1	Deformación Flexímetro 2	Deformación unitaria 1	Deformación unitaria 2	Deformación unitaria Promedio
0	0,00	3690	1176	0	0	0
1400	7,98	3692	1181	0,00001	0,000025	0,0000175
2800	15,95	3700	1189	0,00005	0,000065	0,0000575

CAPITULO IV. RESULTADOS

4200	23,93	3706	1195	0,00008	0,000095	0,0000875
5600	31,90	3714	1201	0,00012	0,000125	0,0001225
7000	39,88	3721	1207	0,000155	0,000155	0,000155
8400	47,85	3729	1217	0,000195	0,000205	0,0002
9800	55,83	3736	1224	0,00023	0,00024	0,000235
11200	63,80	3745	1233	0,000275	0,000285	0,00028
12600	71,78	3751	1237	0,000305	0,000305	0,000305
14000	79,75	3759	1245	0,000345	0,000345	0,000345

Tabla IV.5.3.5. Resultados del módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-1

deformación unitaria promedio	Esfuerzo promedio
0,00000	0,00
0,00001	8,02
0,00004	16,05
0,00008	24,07
0,00012	32,10
0,00015	40,12
0,00020	48,14
0,00024	56,17
0,00028	64,19
0,00031	72,22
0,00034	80,24

Sc	80,24
Ec	0,00034375
sd	15,9288
E1	218928,69

E1 promedio teórico 220381,39

Grafica IV.5.3.1. Módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-1

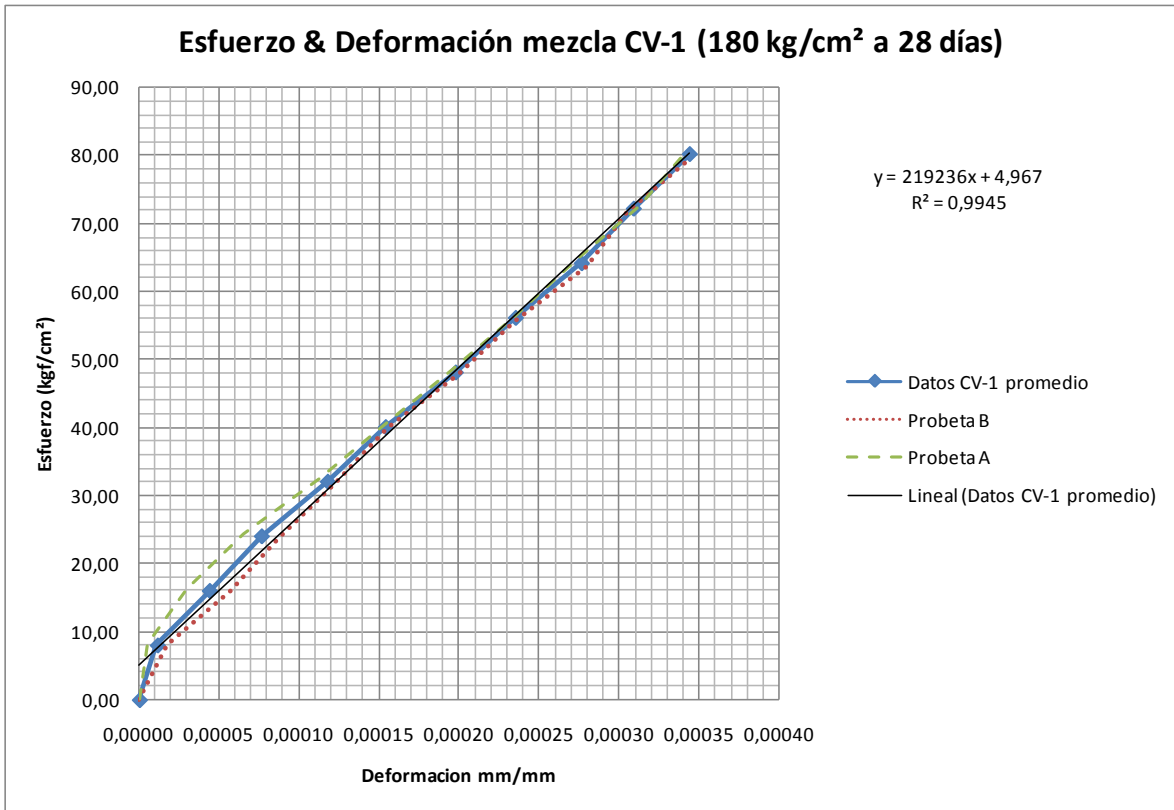


Tabla IV.5.3.6. Resultados de la velocidad de propagación de ondas en la muestra CV-1

Velocidad de la propagación de onda para la mezcla CV-1				
cilindro	t (μs)	t (s)	L (m)	V (m/s)
1	76,5	0,0000765	0,300	3925,49
3	76,8	0,0000768	0,301	3924,48
4	76,2	0,0000762	0,301	3946,19
5	76,4	0,0000764	0,300	3931,94
V (m/s) promedio				3932,03

Tabla IV.5.3.7. Resultados de la densidad en la muestra CV-1

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Densidad(Kg/m ³)
1	12,401	15,050	30,070	0,018	0,005	2339,97
		15,020				
		14,870				
2	12,423	14,980	30,050	0,018	0,005	2353,00
		14,870				
		15,020				
3	12,653	15,000	30,140	0,018	0,005	2374,57
		15,020				
		14,990				
4	12,558	15,030	30,190	0,018	0,005	2347,62
		15,050				
		14,980				
5	12,585	14,930	30,050	0,017	0,005	2397,56
		14,940				
		14,870				
6	12,626	14,840	30,240	0,017	0,005	2420,46
		14,850				
		14,770				
7	12,289	14,560	30,030	0,017	0,005	2463,45
		14,550				
		14,520				
8	12,631	14,870	30,080	0,017	0,005	2421,21
		14,880				
		14,830				
9	12,690	14,970	30,140	0,017	0,005	2408,19
		14,920				
		14,870				
10	12,502	14,930	30,070	0,018	0,005	2374,85
		14,940				
		14,920				
11	12,489	14,950	30,040	0,018	0,005	2370,52
		14,920				
		14,960				
12	12,636	14,960	30,200	0,018	0,005	2383,58
		14,960				
		14,930				
Densidad Promedio(Kg/m ³)						2387,91

IV.5.4 Mezcla CV-2 250 kg/cm² con 5% CV*Tabla IV.5.4.1. Resumen de los ensayos a compresión para la mezcla CV-2*

Mezcla	<u>CV-2</u>	Día de elaboración	<u>11/05/2009</u>	Resistencia nominal (kg/cm ²)	<u>250</u>
% de CV	<u>5</u>	Asentamiento (cm)	<u>5</u>		
		litros de agua agregada	<u>3</u>		

Probeta	Edad de ensayo (días)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro 3 (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Área promedio (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% Resistencia alcanzado	Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio
1	7	14,99	14,97	15,00	30,03	12,370	176,40	31400	178,00	71,20	177,94
2	7	15,01	14,96	15,15	30,03	12,552	177,66	31600	177,87	71,15	
3	14	15,11	15,13	15,10	30,09	12,462	179,40	37400	208,48	83,39	208,78
4	14	14,96	14,98	14,97	30,19	12,413	176,01	36800	209,08	83,63	
5	21	14,89	14,85	14,89	30,1	12,317	173,82	38000	218,62	87,45	213,07
6	21	14,87	14,85	14,99	30,05	12,436	174,44	36200	207,52	83,01	
7	28	14,85	14,94	14,95	30,09	12,517	174,68	39800	227,85	91,14	226,50
8	28	15,01	14,80	14,89	30,05	12,405	174,37	40400	231,70	92,68	
9	28	14,85	14,92	14,86	30	12,443	173,82	40400	232,42	92,97	
10	28	14,86	14,94	14,95	30,06	12,558	174,76	36600	209,43	83,77	
11	28	14,85	14,88	14,88	29,95	12,402	173,66	40600	233,78	93,51	
12	28	14,87	14,97	14,96	30,20	12,52	175,15	39200	223,81	89,52	

Tabla IV.5.4.2. Medidas de los cilindro utilizados para módulo de elasticidad de la muestra CV-2

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)
A	12,405	15,010	30,050
		14,800	
		14,890	
B	12,443	14,850	30,000
		14,920	
		14,860	

Tabla IV.5.4.3. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta A para la muestra CV-2

Carga	Esfuerzos	Deformación Flexímetro 1	Deformación Flexímetro 2	Deformación unitaria 1	Deformación unitaria 2	Deformación unitaria Promedio
0	0,00	4393	857	0	0	0
1600	9,18	4395	859	0,00001	0,00001	0,00001
3200	18,35	4403	867	0,00005	0,00005	0,00005
4800	27,53	4412	876	0,000095	0,000095	0,000095
6400	36,70	4420	886	0,000135	0,000145	0,00014
8000	45,88	4430	896	0,000185	0,000195	0,00019
9600	55,06	4440	902	0,000235	0,000225	0,00023
11200	64,23	4449	911	0,00028	0,00027	0,000275
12800	73,41	4459	920	0,00033	0,000315	0,0003225
14400	82,58	4467	927	0,00037	0,00035	0,00036
16000	91,76	4475	935	0,00041	0,00039	0,0004

Tabla IV.5.4.4. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta B para la muestra CV-2

Carga	Esfuerzos	Deformación Flexímetro 1	Deformación Flexímetro 2	Deformación unitaria 1	Deformación unitaria 2	Deformación unitaria Promedio
0	0,00	4300	823	0	0	0
1600	9,20	4303	828	0,000015	0,000025	0,00002

CAPITULO IV. RESULTADOS

3200	18,41	4311	837	0,000055	0,00007	0,0000625
4800	27,61	4322	845	0,00011	0,00011	0,00011
6400	36,82	4330	854	0,00015	0,000155	0,0001525
8000	46,02	4341	862	0,000205	0,000195	0,0002
9600	55,23	4348	869	0,00024	0,00023	0,000235
11200	64,43	4356	878	0,00028	0,000275	0,0002775
12800	73,64	4362	887	0,00031	0,00032	0,000315
14400	82,84	4369	894	0,000345	0,000355	0,00035
16000	92,05	4375	901	0,000375	0,00039	0,0003825

Tabla IV.5.4.5. Resultados del módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-2

deformación unitaria promedio	Esfuerzo promedio
0	0,00
0,000015	9,19
0,00005625	18,38
0,0001025	27,57
0,00014625	36,76
0,000195	45,95
0,0002325	55,14
0,00027625	64,33
0,00031875	73,52
0,000355	82,71
0,00039125	91,90

Sc	91,90
Ec	0,00039125
sd	14,88305
E1	225705,10

E1 promedio teórico 230025,97

Grafica IV.5.4.1. Módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-2

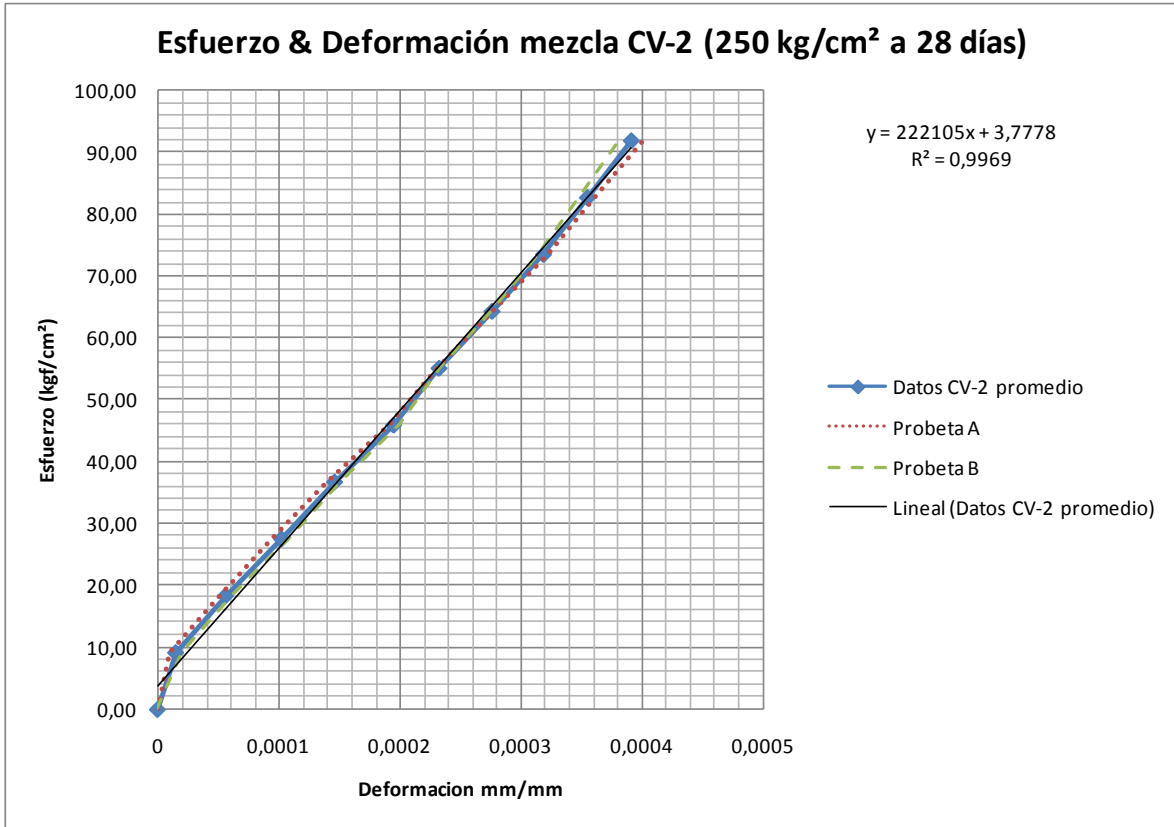


Tabla IV.5.4.6. Resultados de la velocidad de propagación de ondas en la muestra CV-2

Velocidad de la propagación de onda para la mezcla CV-2				
cilindro	t (μs)	t (s)	L (m)	V (m/s)
1	74,0	0,000074	0,301	4066,22
4	74,5	0,0000745	0,301	4034,90
5	74,1	0,0000741	0,300	4041,84
6	73,9	0,0000739	0,302	4086,60
V (m/s) promedio				4057,39

Tabla IV.5.4.7 Resultados de la densidad en la muestra CV-2

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Densidad (Kg/m ³)
1	12,370	14,990	30,030	0,018	0,005	2334,84
		14,973				
		15,000				
2	12,552	15,010	30,030	0,018	0,005	2352,73
		14,960				
		15,150				
3	12,462	15,110	30,090	0,018	0,005	2308,63
		15,130				
		15,100				
4	12,413	14,960	30,190	0,018	0,005	2336,04
		14,980				
		14,970				
5	12,317	14,890	30,100	0,017	0,005	2354,17
		14,850				
		14,890				
6	12,436	14,870	30,050	0,017	0,005	2372,35
		14,850				
		14,990				
7	12,517	14,850	30,09	0,017	0,005	2382,50
		14,940				
		14,940				
8	12,405	15,010	30,05	0,017	0,005	2367,50
		14,800				
		14,890				
9	12,443	14,850	30	0,017	0,005	2386,18
		14,920				
		14,860				
10	12,558	14,860	30,06	0,017	0,005	2390,55
		14,940				
		14,950				
11	12,402	14,850	29,95	0,017	0,005	2384,42
		14,880				
		14,880				
12	12,520	14,870	30,2	0,018	0,005	2366,98
		14,970				
		14,960				
Densidad Promedio(Kg/m ³)						2361,41

IV.5.5 Mezcla CV-3 180 kg/cm² con 10% CV*Tabla IV.5.5.1. Resumen de los ensayos a compresión para la mezcla CV-3*

Mezcla	<u>CV-3</u>	Día de elaboración	<u>11/05/2009</u>	Resistencia nominal (kg/cm ²)	<u>180</u>
% de CV	<u>10</u>	Asentamiento (cm)	<u>2</u>		
	litros de agua agregada		<u>3</u>		

Probeta	Edad de ensayo (días)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro 3 (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Área promedio (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% Resistencia alcanzado	Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio
1	7	15,07	14,97	14,94	30,12	12,412	176,56	20200	114,41	63,56	113,40
2	7	14,94	15,01	14,98	30,15	12,365	176,17	19800	112,39	62,44	
3	14	15,03	15,03	15,01	30,04	12,354	177,26	24200	136,52	75,84	130,27
4	14	14,99	14,04	15,02	29,97	12,341	169,33	21000	124,02	68,90	
5	21	14,82	14,96	14,94	30,13	12,487	174,52	26600	152,42	84,68	146,75
6	21	14,82	14,92	14,96	30,12	12,443	174,37	24600	141,08	78,38	
7	28	14,95	14,85	14,94	30,22	12,394	174,68	28600	163,73	90,96	158,40
8	28	14,86	14,83	14,89	30,04	12,42	173,43	28000	161,45	89,69	
9	28	14,89	14,87	14,86	29,87	12,300	173,74	28200	162,31	90,17	
10	28	14,85	14,80	14,80	30,05	12,149	172,42	27400	158,91	88,29	
11	28	14,90	14,93	14,95	29,96	12,386	174,99	27600	157,72	87,62	
12	28	14,85	14,87	14,89	30,03	12,393	173,66	25400	146,26	81,25	

Tabla IV.5.5.2. Medidas de los cilindros utilizados para módulo de elasticidad de la muestra CV-3

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)
A	12,394	14,950	30,22
		14,860	
		14,940	
B	12,420	14,860	30,04
		14,830	
		14,890	

Tabla IV.5.5.3. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta A para la muestra CV-3

Carga	Esfuerzos	Deformación Flexímetro 1	Deformación Flexímetro 2	Deformación unitaria 1	Deformación unitaria 2	Deformación unitaria Promedio
0	0,00	3238	1169	0	0	0
1100	6,29	3238	1169	0	0	0
2200	12,59	3243	1174	0,000025	0,000025	0,000025
3300	18,88	3247	1178	0,000045	0,000045	0,000045
4400	25,18	3254	1184	0,00008	0,000075	0,0000775
5500	31,47	3262	1192	0,00012	0,000115	0,0001175
6600	37,77	3269	1199	0,000155	0,00015	0,0001525
7700	44,06	3277	1206	0,000195	0,000185	0,00019
8800	50,36	3279	1213	0,000205	0,00022	0,0002125
9900	56,65	3292	1220	0,00027	0,000255	0,0002625
11000	62,94	3299	1227	0,000305	0,00029	0,0002975

Tabla IV.5.5.4. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta A para la muestra CV-3

Carga	Esfuerzos	Deformación Flexímetro 1	Deformación Flexímetro 2	Deformación unitaria 1	Deformación unitaria 2	Deformación unitaria Promedio
0	0,00	2036	1750	0	0	0
1100	6,34	2038	1754	0,00001	0,00002	0,000015
2200	12,69	2044	1760	0,00004	0,00005	0,000045

CAPITULO IV. RESULTADOS

3300	19,03	2050	1768	0,00007	0,00009	0,00008
4400	25,37	2058	1772	0,00011	0,00011	0,00011
5500	31,71	2065	1778	0,000145	0,00014	0,0001425
6600	38,06	2073	1785	0,000185	0,000175	0,00018
7700	44,40	2080	1793	0,00022	0,000215	0,0002175
8800	50,74	2087	1800	0,000255	0,00025	0,0002525
9900	57,08	2095	1806	0,000295	0,00028	0,0002875
11000	63,43	2103	1814	0,000335	0,00032	0,0003275

Tabla IV.5.5.5. Resultados del módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-3

deformación unitaria promedio	Esfuerzo promedio
0,00000	0,00
0,00001	6,32
0,00004	12,64
0,00006	18,96
0,00009	25,27
0,00013	31,59
0,00017	37,91
0,00020	44,23
0,00023	50,55
0,00028	56,87
0,00031	63,19

Sc	63,19
Ec	0,0003125
sd	14,66365
E1	184843,99

E1 promedio teórico 192517,51

Grafica IV.5.5.1. Módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-3

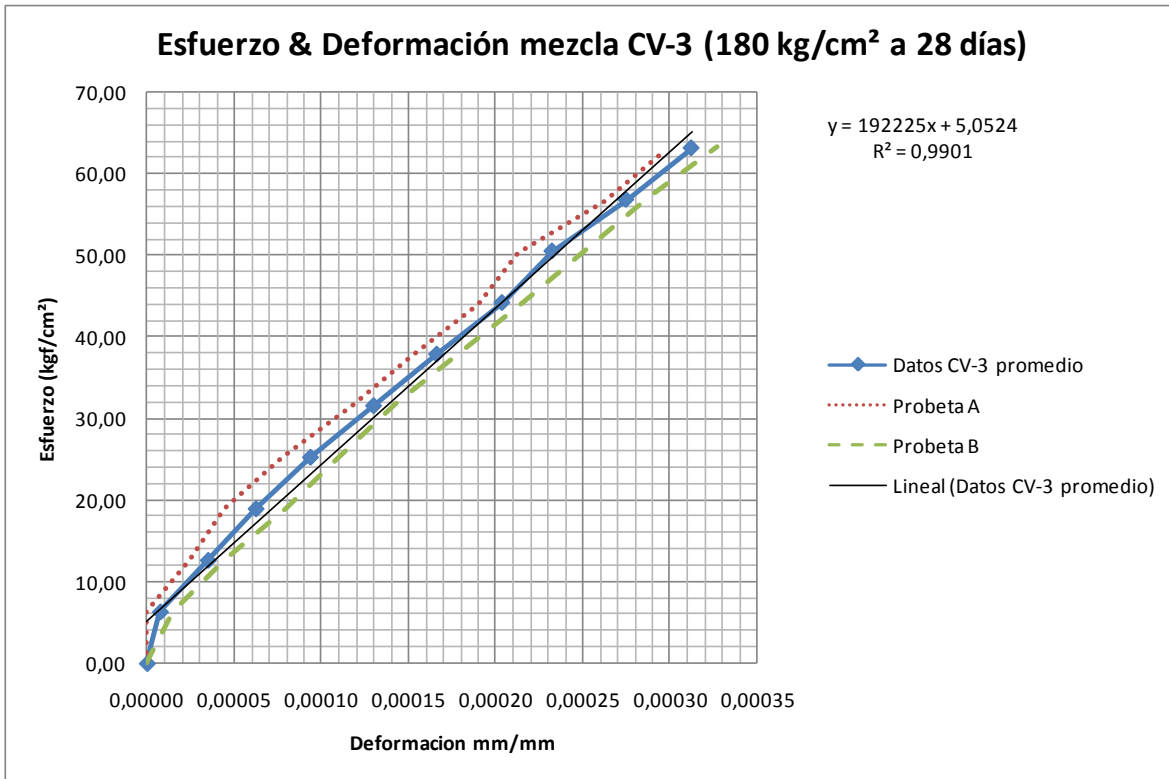


Tabla IV.5.5.6. Resultados de la velocidad de propagación de ondas en la muestra CV-3

Velocidad de la propagación de onda para la mezcla CV-3				
cilindro	t (μs)	t (s)	L (m)	V (m/s)
3	75,3	0,0000753	0,299	3966,80
4	76,6	0,0000766	0,301	3922,98
5	77,3	0,0000773	0,300	3875,81
6	77,1	0,0000771	0,300	3894,94
V (m/s) promedio				3915,13

Tabla IV.5.5.7. Resultados de la densidad en la muestra CV-3

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Densidad (Kg/m ³)
1	12,412	15,070	30,120	0,018	0,005	2334,00
		14,970				
		14,940				
2	12,365	14,940	30,150	0,018	0,005	2328,02
		15,010				
		14,980				
3	12,354	15,030	30,040	0,018	0,005	2319,99
		15,030				
		15,010				
4	12,341	14,990	29,970	0,018	0,005	2325,02
		15,040				
		15,020				
5	12,487	14,820	30,130	0,017	0,005	2374,70
		14,960				
		14,940				
6	12,443	14,820	30,120	0,017	0,005	2369,23
		14,920				
		14,960				
7	12,394	14,950	30,22	0,017	0,005	2346,84
		14,860				
		14,940				
8	12,420	14,860	30,04	0,017	0,005	2383,93
		14,830				
		14,890				
9	12,300	14,890	29,87	0,017	0,005	2370,08
		14,870				
		14,860				
10	12,149	14,850	30,05	0,017	0,005	2344,80
		14,800				
		14,800				
11	12,386	14,900	29,96	0,017	0,005	2362,51
		14,930				
		14,950				
12	12,393	14,850	30,03	0,017	0,005	2376,34
		14,870				
		14,890				
Densidad Promedio(Kg/m ³)						2352,95

IV.5.6 Mezcla CV-4 250 kg/cm² con 10% CV*Tabla IV.5.6.1. Resumen de los ensayos a compresión para la mezcla CV-4*

Mezcla	<u>CV-4</u>	Día de elaboración	<u>13/05/2009</u>	Resistencia nominal (kg/cm ²)	<u>250</u>
% de CV	<u>10</u>	Asentamiento (cm)	<u>4,5</u>		
		litros de agua agregada	<u>2,5</u>		

Probeta	Edad de ensayo (días)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro 3 (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Área promedio (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% Resistencia alcanzado	Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio
1	7	14,87	14,94	15,01	30,07	12,329	175,30	32800	187,10	74,84	184,66
2	7	14,89	15,04	14,93	30,05	12,322	175,62	32000	182,21	72,89	
3	14	14,87	14,91	14,96	30,16	12,365	174,68	38800	222,12	88,85	219,21
4	14	14,89	14,92	14,94	30,1	12,239	174,76	37800	216,30	86,52	
5	21	14,97	14,94	14,98	30,28	12,56	175,85	41200	234,29	93,72	225,20
6	21	14,87	14,99	14,91	30,08	12,4	174,91	37800	216,11	86,44	
7	28	15,30	15,00	15,06	30,25	12,539	179,55	43000	239,48	95,79	233,69
8	28	14,91	14,93	14,92	30	12,332	174,83	40000	228,79	91,52	
9	28	14,86	14,95	15,04	29,94	12,502	175,54	39350	224,17	89,67	
10	28	14,85	14,87	15,02	30,15	12,4	174,68	41600	238,15	95,26	
11	28	14,89	14,93	14,87	30,2	12,393	174,29	42000	240,98	96,39	
12	28	14,92	14,96	14,93	30,29	12,469	175,23	40400	230,56	92,22	

Tabla IV.5.6.2. Medidas de los cilindros utilizados para módulo de elasticidad de la muestra CV-4

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)
A	12,332	14,910	30,000
		14,930	
		14,920	
B	12,502	14,860	29,940
		14,950	
		15,040	

Tabla IV.5.6.3 Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta A para la muestra CV-4

Carga	Esfuerzos	Deformación Flexímetro 1	Deformación Flexímetro 2	Deformación unitaria 1	Deformación unitaria 2	Deformación unitaria Promedio
0	3508,00	1885	0	0	0	0
0	3508,00	1885	0	0	0,001	0,000005
0	3514,00	1892	0,00003	0,006	0,005	0,000025
0	3522,00	1902	0,00007	0,014	0,015	0,000075
0	3528,00	1910	0,0001	0,02	0,02	0,0001
0	3536,00	1920	0,00014	0,028	0,029	0,000145
0	3544,00	1930	0,00018	0,036	0,037	0,000185
0	3552,00	1940	0,00022	0,044	0,046	0,00023
0	3562,00	1953	0,00027	0,054	0,055	0,000275
0	3573,00	1966	0,000325	0,065	0,066	0,00033
0	3579,00	1974	0,000355	0,071	0,074	0,00037

Tabla IV.5.6.4. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta B para la muestra CV-4

Carga	Esfuerzos	Deformación Flexímetro 1	Deformación Flexímetro 2	Deformación unitaria 1	Deformación unitaria 2	Deformación unitaria Promedio
0	0,00	3660	678	0	0	0
1600	9,02	3664	683	0,00002	0,000025	0,0000225
3200	18,04	3672	690	0,00006	0,00006	0,00006

CAPITULO IV. RESULTADOS

4800	27,05	3681	700	0,000105	0,00011	0,0001075
6400	36,07	3691	710	0,000155	0,00016	0,0001575
8000	45,09	3699	718	0,000195	0,0002	0,0001975
9600	54,11	3707	726	0,000235	0,00024	0,0002375
11200	63,13	3715	735	0,000275	0,000285	0,00028
12800	72,14	3726	746	0,00033	0,00034	0,000335
14400	81,16	3732	753	0,00036	0,000375	0,0003675
16000	90,18	3740	760	0,0004	0,00041	0,000405

Tabla IV.5.6.5. Resultados del módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-4

deformación unitaria promedio	Esfuerzo promedio
0,00000	0,00
0,00001	9,02
0,00004	18,04
0,00009	27,05
0,00013	36,07
0,00017	45,09
0,00021	54,11
0,00025	63,13
0,00030	72,14
0,00035	81,16
0,00038	90,18

Sc	90,18
Ec	0,00038375
sd	17,0175
E1	219214,67

E1 promedio teórico 226080,54

Grafica IV.5.6.1. Módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-4

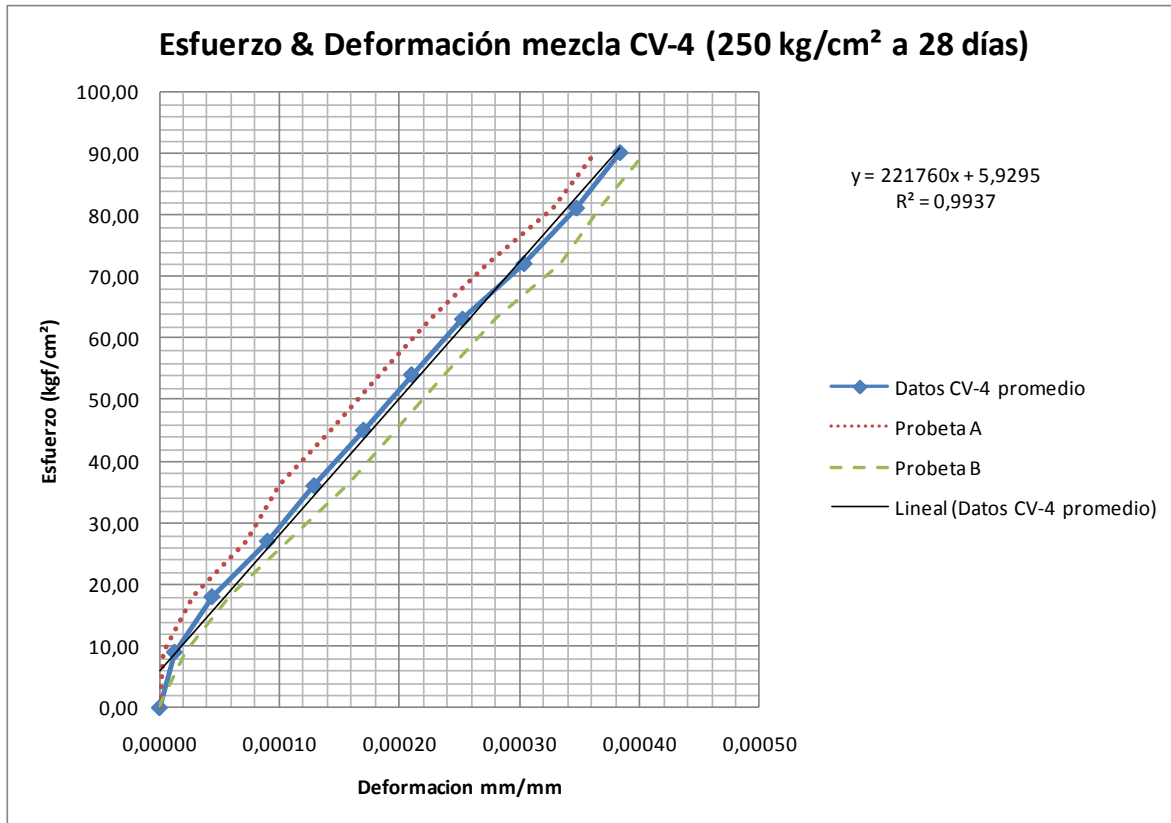


Tabla IV.5.6.6. Resultados de la velocidad de propagación de ondas en la muestra CV-4

Velocidad de la propagación de onda para la mezcla CV-4				
cilindro	t (μs)	t (s)	L (m)	V (m/s)
1	76,1	0,0000761	0,303	3975,03
4	76,2	0,0000762	0,302	3956,69
5	76,0	0,000076	0,302	3973,68
6	76,4	0,0000764	0,303	3964,66
V (m/s) promedio				3967,52

Tabla IV.5.6.7. Resultados de la densidad en la muestra CV-4

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Densidad (Kg/m ³)
1	12,329	14,870	30,070	0,018	0,005	2338,86
		14,940				
		15,010				
2	12,322	14,890	30,050	0,018	0,005	2334,91
		15,040				
		14,930				
3	12,365	14,870	30,160	0,017	0,005	2347,06
		14,910				
		14,960				
4	12,239	14,890	30,100	0,017	0,005	2326,73
		14,920				
		14,940				
5	12,560	14,970	30,280	0,018	0,005	2358,78
		14,940				
		14,980				
6	12,400	14,870	30,080	0,017	0,005	2356,80
		14,990				
		14,910				
7	12,539	15,030	30,250	0,018	0,005	2336,31
		15,000				
		15,060				
8	12,332	14,910	30,000	0,017	0,005	2351,17
		14,930				
		14,920				
9	12,502	14,860	29,940	0,018	0,005	2378,79
		14,950				
		15,040				
10	12,400	14,850	30,150	0,017	0,005	2354,48
		14,870				
		15,020				
11	12,393	14,890	30,200	0,017	0,005	2354,51
		14,930				
		14,870				
12	12,469	14,920	30,290	0,018	0,005	2349,28
		14,960				
		14,930				
Densidad Promedio(Kg/m ³)						2348,97

IV.5.7 Mezcla CV-5 180 kg/cm² con 15% CV*Tabla IV.5.7.1. Resumen de los ensayos a compresión para la mezcla CV-5*

Mezcla	<u>CV-5</u>	Día de elaboración	<u>13/05/2009</u>	Resistencia nominal (kg/cm ²)	<u>180</u>
% de CV	<u>15</u>	Asentamiento (cm)	<u>3,5</u>		
		litros de agua agregada	<u>3,5</u>		

Probeta	Edad de ensayo (días)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro 3 (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Área promedio (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% Resistencia alcanzado	Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio
1	7	14,97	14,98	15,04	30,12	12,365	176,64	19000	107,57	59,76	107,69
2	7	14,88	14,99	14,83	30,08	12,250	174,37	18800	107,82	59,90	
3	14	14,77	14,82	14,91	30,08	12,249	172,81	19800	114,58	63,65	120,83
4	14	14,79	14,85	14,90	29,96	12,137	173,12	22000	127,08	70,60	
5	21	14,95	15,00	14,94	30,1	14,376	175,85	19800	112,59	62,55	122,35
6	21	14,89	15,00	14,97	29,99	12,348	175,62	23200	132,11	73,39	
7	28	14,87	14,84	14,85	30,1	12,247	173,28	22000	126,97	70,54	144,24
8	28	14,84	14,85	14,81	30,22	12,424	172,81	26600	153,93	85,51	
9	28	14,94	14,94	14,94	30,06	12,355	175,30	25400	144,89	80,50	
10	28	14,87	14,89	14,93	30,15	12,370	174,29	26200	150,33	83,51	
11	28	14,89	14,90	14,94	30,15	12,334	174,60	24000	137,46	76,36	
12	28	14,74	14,85	14,87	30,07	12,272	172,50	26200	151,89	84,38	

Tabla IV.5.7.2. Medidas de los cilindros utilizados para módulo de elasticidad de la muestra CV-5

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)
A	12,424	14,840	30,220
		14,850	
		14,810	
B	12,272	14,740	30,070
		14,850	
		14,870	

Tabla IV.5.7.3. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta A para la muestra CV-5

Carga	Esfuerzos	Deformación Flexímetro 1	Deformación Flexímetro 2	Deformación unitaria 1	Deformación unitaria 2	Deformación unitaria Promedio
0	0,00	4111	977	0	0	0
900	5,21	4114	978	0,000015	0,000005	0,00001
1800	10,42	4120	988	0,000045	0,000055	0,00005
2700	15,62	4125	991	0,00007	0,00007	0,00007
3600	20,83	4130	995	0,000095	0,00009	0,0000925
4500	26,04	4134	1003	0,000115	0,00013	0,0001225
5400	31,25	4141	1008	0,00015	0,000155	0,0001525
6300	36,46	4148	1015	0,000185	0,00019	0,0001875
7200	41,66	4154	1024	0,000215	0,000235	0,000225
8100	46,87	4159	1028	0,00024	0,000255	0,0002475
9000	52,08	4166	1034	0,000275	0,000285	0,00028

Tabla IV.5.7.4. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta B para la muestra CV-5

Carga	Esfuerzos	Deformación Flexímetro 1	Deformación Flexímetro 2	Deformación unitaria 1	Deformación unitaria 2	Deformación unitaria Promedio
0	0,00	4446	973	0	0	0
900	5,22	4449	976	0,000015	0,000015	0,000015
1800	10,43	4455	983	0,000045	0,00005	0,0000475

CAPITULO IV. RESULTADOS

2700	15,65	4460	989	0,00007	0,00008	0,000075
3600	20,87	4466	993	0,0001	0,0001	0,0001
4500	26,09	4471	999	0,000125	0,00013	0,0001275
5400	31,30	4478	1006	0,00016	0,000165	0,0001625
6300	36,52	4484	1013	0,00019	0,0002	0,000195
7200	41,74	4491	1017	0,000225	0,00022	0,0002225
8100	46,96	4495	1023	0,000245	0,00025	0,0002475
9000	52,17	4502	1030	0,00028	0,000285	0,0002825

Tabla IV.5.7.5. Resultados del módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-5

deformación unitaria promedio	Esfuerzo promedio
0,00000	0,00
0,00001	5,21
0,00005	10,43
0,00007	15,64
0,00010	20,85
0,00013	26,06
0,00016	31,28
0,00019	36,49
0,00022	41,70
0,00025	46,91
0,00028	52,13

Sc	52,13
Ec	0,00028125
sd	11,2169
E1	176910,16

E1 promedio teórico 186718,21

Grafica IV.5.7.1. Módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-5

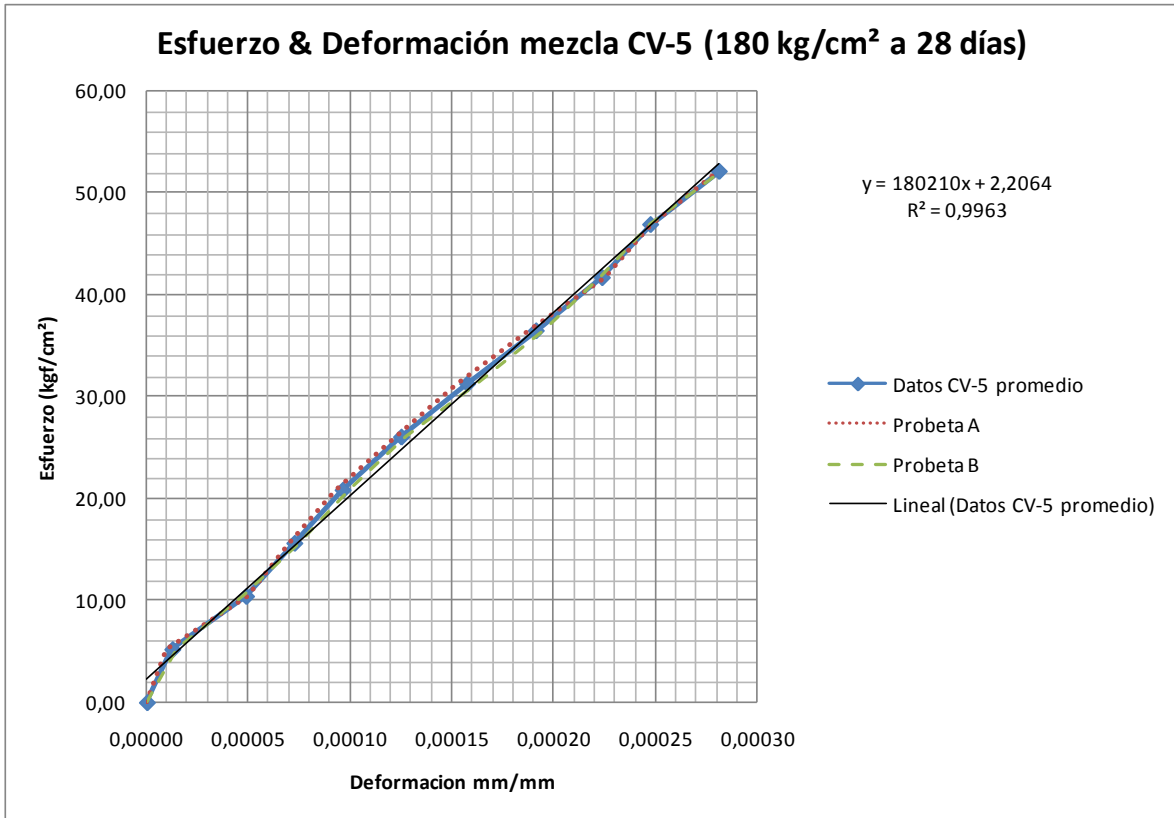


Tabla IV.5.7.6. Resultados de la velocidad de propagación de ondas en la muestra CV-5

Velocidad de la propagación de onda para la mezcla CV-5				
cilindro	t (µs)	t (s)	L (m)	V (m/s)
2	79,1	0,0000791	0,301	3800,25
3	78,8	0,0000788	0,302	3826,14
4	79,2	0,0000792	0,302	3806,82
6	78,7	0,0000787	0,301	3820,84
V (m/s) promedio				3813,51

Tabla IV.5.7.7. Resultados de la densidad en la muestra CV-5

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Densidad (Kg/m ³)
1	12,365	14,970	30,120	0,018	0,005	2324,13
		14,980				
		15,040				
2	12,250	14,880	30,080	0,017	0,005	2335,59
		14,990				
		14,830				
3	12,249	14,770	30,080	0,017	0,005	2356,43
		14,820				
		14,910				
4	12,137	14,790	29,960	0,017	0,005	2340,03
		14,850				
		14,900				
5	12,376	14,950	30,100	0,018	0,005	2338,12
		15,000				
		14,940				
6	12,348	14,890	29,990	0,018	0,005	2344,52
		15,000				
		14,970				
7	12,247	14,870	30,100	0,017	0,005	2348,15
		14,840				
		14,850				
8	12,424	14,840	30,220	0,017	0,005	2379,03
		14,850				
		14,810				
9	12,355	14,940	30,060	0,018	0,005	2344,57
		14,940				
		14,940				
10	12,370	14,870	30,150	0,017	0,005	2354,04
		14,890				
		14,930				
11	12,334	14,890	30,150	0,017	0,005	2343,00
		14,900				
		14,940				
12	12,272	14,740	30,070	0,017	0,005	2365,90
		14,850				
		14,870				
Densidad Promedio(Kg/m ³)						2347,79

IV.5.8 Mezcla CV-6 250 kg/cm² con 15% CV*Tabla IV.5.8.1. Resumen de los ensayos a compresión para la mezcla CV-6*

Mezcla	<u>CV-6</u>	Día de elaboración	<u>14/05/2009</u>	Resistencia nominal (kg/cm ²)	<u>250</u>
% de CV	<u>15</u>	Asentamiento (cm)	<u>5</u>		
		litros de agua agregada	<u>3</u>		

Probeta	Edad de ensayo (días)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro 3 (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Área promedio (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% Resistencia alcanzado	Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio
1	7	14,94	14,95	14,97	30,07	12,341	175,62	27400	156,02	62,41	153,92
2	7	14,83	14,93	14,88	29,97	12,287	173,90	26400	151,81	60,73	
3	14	14,96	14,94	14,84	30,07	12,466	174,68	33400	191,21	76,48	196,01
4	14	14,87	14,92	14,90	29,9	12,243	174,29	35000	200,82	80,33	
5	21	15,05	15,06	14,96	30,14	12,424	177,26	35600	200,83	80,33	206,66
6	21	14,83	14,87	14,97	30,1	12,362	174,13	37000	212,48	84,99	
7	28	14,84	14,91	14,96	30,05	12,342	174,44	37200	213,25	85,30	211,94
8	28	14,85	14,87	14,87	30,03	12,33	173,51	37800	217,86	87,14	
9	28	14,86	14,93	14,93	30,15	12,362	174,52	37600	215,45	86,18	
10	28	14,73	14,84	14,87	30,13	12,308	172,34	35400	205,40	82,16	
11	28	14,92	14,95	14,94	30,08	12,328	175,23	36400	207,73	83,09	
12	28	14,90	14,90	14,87	30,14	12,375	174,13	32600	187,21	74,89	

Tabla IV.5.8.2. Medidas de los cilindros utilizados para módulo de elasticidad de la muestra CV-6

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)
A	12,330	14,850	30,030
		14,870	
		14,870	
B	12,362	14,860	30,150
		14,930	
		14,930	

Tabla IV.5.8.3. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta A para la muestra CV-6

Carga	Esfuerzos	Deformación Flexímetro 1	Deformación Flexímetro 2	Deformación unitaria 1	Deformación unitaria 2	Deformación unitaria Promedio
0	0,00	4111	936	0	0	0
1400	8,07	4118	943	0,000035	0,000035	0,000035
2800	16,14	4125	953	0,00007	0,000085	0,0000775
4200	24,21	4134	960	0,000115	0,00012	0,0001175
5600	32,27	4142	968	0,000155	0,00016	0,0001575
7000	40,34	4150	979	0,000195	0,000215	0,000205
8400	48,41	4158	984	0,000235	0,00024	0,0002375
9800	56,48	4165	991	0,00027	0,000275	0,0002725
11200	64,55	4172	1001	0,000305	0,000325	0,000315
12600	72,62	4180	1007	0,000345	0,000355	0,00035
14000	80,69	4186	1014	0,000375	0,00039	0,0003825

Tabla IV.5.8.4. Resultados y cálculo del módulo de elasticidad de la probeta B para la muestra CV-6

Carga	Esfuerzos	Deformación Flexímetro 1	Deformación Flexímetro 2	Deformación unitaria 1	Deformación unitaria 2	Deformación unitaria Promedio
0	0,00	4271	750	0	0	0
1400	8,02	4274	753	0,000015	0,000015	0,000015
2800	16,04	4283	763	0,00006	0,000065	0,0000625

CAPITULO IV. RESULTADOS

4200	24,07	4291	772	0,0001	0,00011	0,000105
5600	32,09	4301	779	0,00015	0,000145	0,0001475
7000	40,11	4310	788	0,000195	0,00019	0,0001925
8400	48,13	4317	796	0,00023	0,00023	0,00023
9800	56,15	4325	805	0,00027	0,000275	0,0002725
11200	64,18	4333	809	0,00031	0,000295	0,0003025
12600	72,20	4340	817	0,000345	0,000335	0,00034
14000	80,22	4347	825	0,00038	0,000375	0,0003775

Tabla IV.5.8.5. Resultados del módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-6

deformación unitaria promedio	Esfuerzo promedio
0,00000	0,00
0,00003	8,05
0,00007	16,09
0,00011	24,14
0,00015	32,18
0,00020	40,23
0,00023	48,27
0,00027	56,32
0,00031	64,36
0,00035	72,41
0,00038	80,45

Sc	80,45
Ec	0,00038
sd	11,3175
E1	209502,07

E1 promedio teórico 221368,92

Grafica IV.5.8.1. Módulo de elasticidad promedio para la muestra CV-6

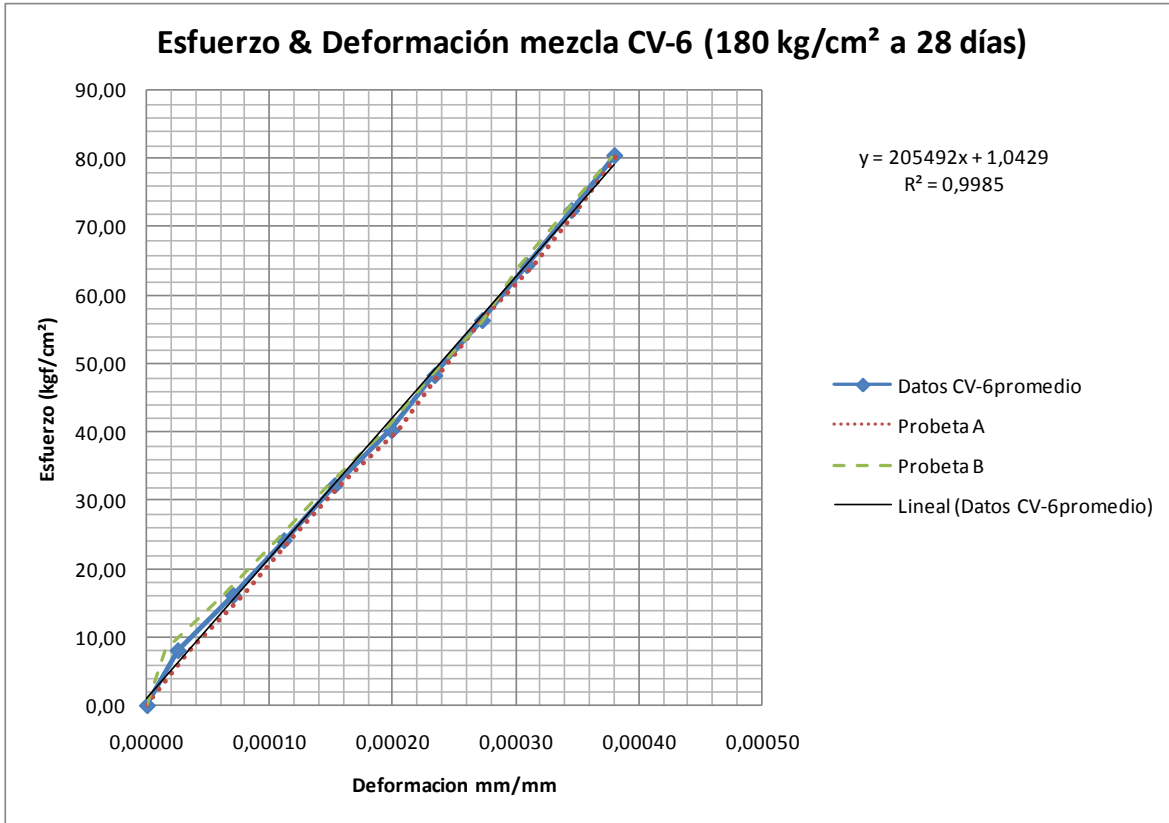


Tabla IV.5.8.6. Resultados de la velocidad de propagación de ondas en la muestra CV-6

Velocidad de la propagación de onda para la mezcla CV-6				
cilindro	t (µs)	t (s)	L (m)	V (m/s)
2	75,5	0,0000755	0,300	3977,48
4	77,6	0,0000776	0,301	3882,73
5	76,2	0,0000762	0,301	3947,51
6	77,5	0,0000775	0,301	3889,03
V (m/s) promedio				3924,19

Tabla IV.5.8.7. Resultados de la densidad en la muestra CV-6

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Densidad (Kg/m ³)
1	12,341	14,940	30,070	0,018	0,005	2336,96
		14,950				
		14,970				
2	12,287	14,830	29,970	0,017	0,005	2357,56
		14,930				
		14,880				
3	12,466	14,960	30,070	0,017	0,005	2373,31
		14,940				
		14,840				
4	12,243	14,870	29,970	0,017	0,005	2343,87
		14,920				
		14,900				
5	12,424	15,050	30,140	0,018	0,005	2325,39
		15,060				
		14,960				
6	12,362	14,830	30,100	0,017	0,005	2358,54
		14,870				
		14,970				
7	12,342	14,840	30,050	0,017	0,005	2354,42
		14,910				
		14,960				
8	12,330	14,850	30,030	0,017	0,005	2366,39
		14,870				
		14,870				
9	12,362	14,860	30,150	0,017	0,005	2349,36
		14,930				
		14,930				
10	12,308	14,730	30,130	0,017	0,005	2370,24
		14,840				
		14,870				
11	12,328	14,920	30,080	0,018	0,005	2338,93
		14,950				
		14,940				
12	12,375	14,900	30,140	0,017	0,005	2357,89
		14,900				
		14,870				
Densidad Promedio(Kg/m ³)						2352,74

IV.6 Comparación con las mezclas patrones

IV.6.1 Mezclas de 180 kg/cm²

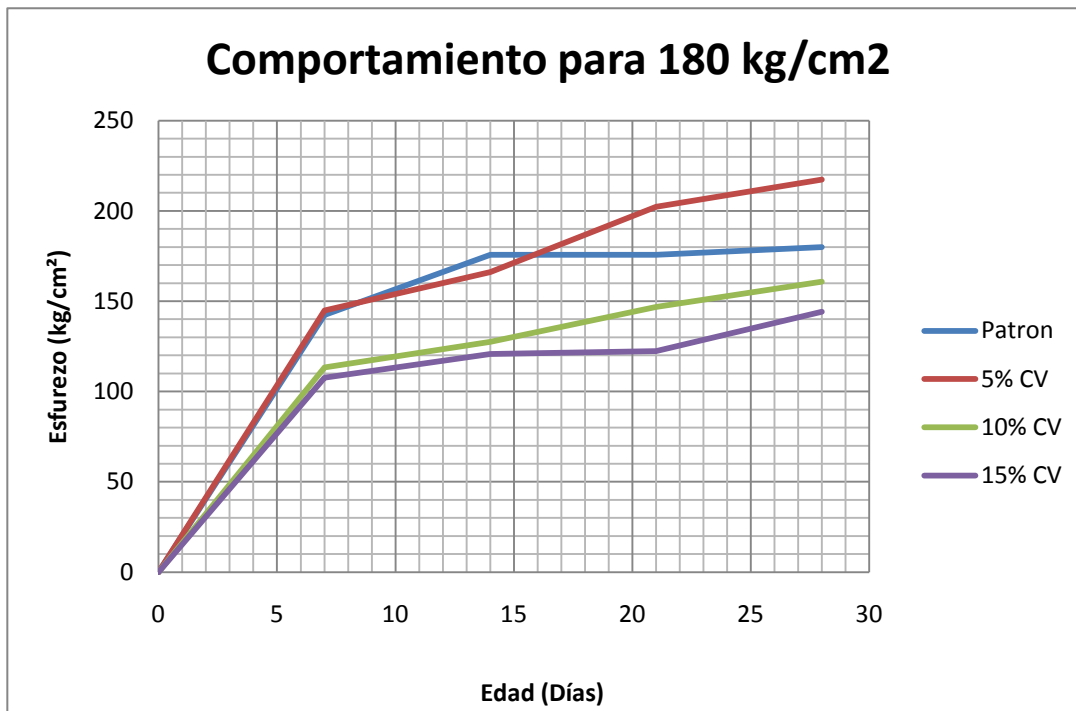
Tabla IV.6.1.1. Resumen de resultados para las mezclas de 180 kg/cm²

Edad de ensayo (días)	Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio			
	MP-3	CV-1	CV-3	CV-5
7	142,37	144,92	113,40	107,69
14	175,62	166,14	130,27	120,83
21	175,78	202,21	146,75	122,35
28	180,00	206,01	160,81	144,24
Asentamiento (cm)				
	3,00	1,00	2,00	3,50
Modulo (kg/cm²)	207.653,55	218.928,69	184.843,99	176.910,16
Velocidad (m/s)	4.110,42	3.932,03	3.915,13	3813,51
Densidad (kg/m³)	2360,24	2387,91	2352,95	2347,79

*valores estimados a partir los resultados hasta los 21 días

*valores a 21 días

Grafica IV.6.1.1. Resumen comparativo de las mezclas de 180 kg/cm²

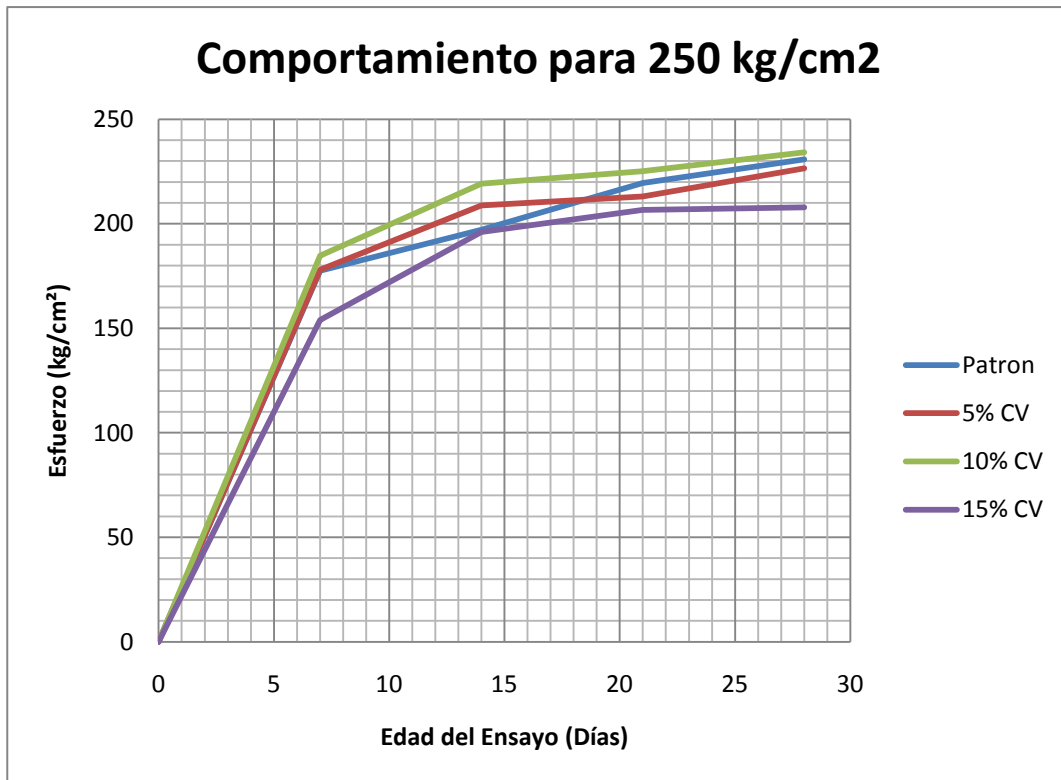


IV.6.2 Mezclas de 250 kg/cm²

Tabla IV.6.2.1. Resumen de resultados para las mezclas de 250 kg/cm²

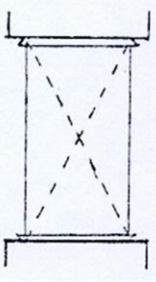

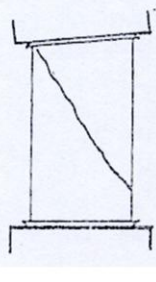

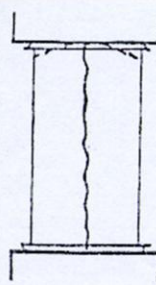

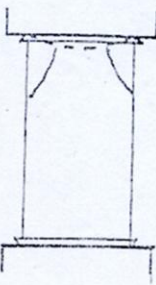

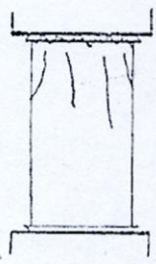

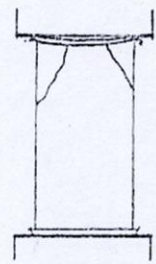
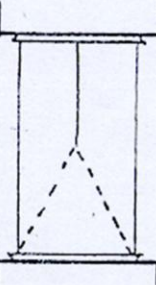

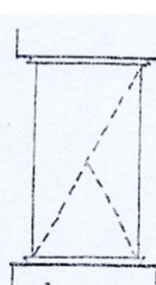
Edad de ensayo (días)	Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio			
	MP-1	CV-2	CV-4	CV-6
7	177,14	177,94	184,66	153,92
14	197,11	208,78	219,21	196,01
21	219,44	213,07	225,20	206,66
28	230,74	226,52	234,17	207,82
Asentamiento (cm)				
	5,00	5,00	4,50	5,00
Modulo (kg/cm²)				
	257.896,22	225.705,10	219.214,67	209.502,07
Velocidad (m/s)				
	3923,89	4.057,39	3967,52	3924,19
Densidad (kg/m³)				
	2357,55	2361,41	2348,97	2352,74

Grafica IV.6.2.1. Resumen comparativo de las mezclas de 250 kg/cm²



IV.7 Tipos de fallas obtenidas

Tabla IV.7.1 Tipos De fallas obtenidos para las mezclas

<p>1</p> <p>Falla Deseable En compresión</p>			<p>2</p> <p>Falla por inclinación en una de caras de carga</p>		
<p>3</p> <p>Falla por deficiencia de enrase</p>			<p>4</p> <p>Falla por deficiencia de enrase</p>		
<p>5</p> <p>Falla por deficiencia de enrase</p>			<p>6</p> <p>Falla por deformación del plato de cabeceo</p>		<p>No se obtuvo</p>
<p>7</p> <p>Combinación De 1 y 3</p>			<p>8</p> <p>Combinación De 1 y 2</p>		<p>No se obtuvo</p>

CAPITULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

V.1 Ensayo de Aguja de Vicat

Las cantidades de agua y cemento obtenidas en las mezclas para dar cumplimiento a la condición de consistencia normal, evidencian una absorción de agua por parte de las cenizas volantes producto a la comparación con la cantidad de agua utilizada en la mezcla patrón. En resultados plasmados en la Gráfica IV.1 se observó un tiempo de fraguado similar para las mezclas patrón, 5% de cenizas y 10% de cenizas sin embargo la mezcla con 15% de cenizas volantes tuvo un tiempo de fraguado mayor a las otras mezclas.

El tiempo de fraguado de la mezcla patrón y las mezclas con sustitución de ceniza fue calculado mediante un interpolación de la cual se pudo observar que para la mezcla patrón, la de 5% de ceniza y la de 10% de ceniza se encontraban entre 82 y 83 minutos; y la mezcla de 15% de ceniza presentó un aumento considerable del tiempo de fraguado siendo este de 107 minutos, con lo que se induce que a partir de porcentajes mayores o iguales al 15% de sustitución de cemento por ceniza se producen significativas alteraciones del proceso de hidratación en el material cementante retrasando el proceso de fraguado y manteniendo las características plásticas de la mezcla por tiempos mayores.

V.2. Granulometría

V.2.1 Agregado Grueso

La muestra de agregado grueso evaluada presenta mayor cantidad de finos de los que especifica en la Norma para la piedra N°1, por lo cual incumple algunos de los límites

granulométricos establecidos en la Norma COVENIN 277-2000. La muestra presenta un exceso de material pasante para los tamices $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ " y $\frac{1}{4}$ ". Sin embargo el exceso de material fino no es significativo en comparación con los valores del límite superior establecidos en la Norma, por lo que el material es aceptado para este Trabajo Especial de Grado.

V.2.2 Agregado Fino

La muestra de agregado fino evaluada no cumple con los requisitos de calidad establecidos debido a que incumple el criterio 3.1.1.2 de la Norma COVENIN 277-2000, donde el agregado fino no debe tener más de 25% retenido entre dos tamices consecutivos. Además se observó una deficiencia de material pasante en los tamices #4, #8 y #16. El material presenta una cantidad mayor de gruesos de los especificados en la Norma para arena. Como los valores de déficit de material pasante en los tamices antes mencionados no se alejan significativamente del límite inferior establecido en la Norma, entonces el material es aceptado para este Trabajo Especial de Grado.

Aunque el módulo de finura obtenido de 4.04 indica es una arena muy gruesa, la cual no es considerada adecuada para elaborar concretos normalizados.

V.3 Densidad, Absorción y Contenido de Humedad

Los valores obtenidos de densidad para la muestra de agregado grueso y agregado fino son similares a los valores esperados usuales que indica el "Manual del Concreto Estructural" de J. Porrero.

Para el agregado grueso los valores de absorción y contenido de humedad son bajos, lo cual es lo usual para el material grueso de igual manera valores de absorción y contenido

de humedad para el agregado fino son moderados ya que la arena posee mayor superficie específica y gracias a esta una mayor humedad.

La humedad presente en los agregados en forma de agua externa puede afectar de forma más significativa el agua de mezclado en el caso del agregado fino. Igualmente la absorción inherente al material si es muy elevada puede retirar parte del agua de mezclado.

V.4 Ensayo de Cono de Abrams

En las mezclas patrones de 180 (MP-3) Kg/cm² y 250(MP-1) Kg/cm² se obtuvo una fluidez media de 3 cm y 5 cm respectivamente, proporcionalmente con el incremento en el porcentaje de cenizas volantes, la fluidez fue disminuyendo de media a baja. En la primera mezcla con sustitución de 5% (CV-1) se obtuvo un asentamiento de 1 cm lo que dificultó el proceso de compactado y enraizado de los cilindros. A partir de esta mezcla se permitió incrementar la cantidad de agua de manera controlada para elevar los asentamientos y así mejorar la trabajabilidad. En la segunda mezcla con sustitución de 5% (CV-2) se obtuvo un asentamiento de 5 cm. En las mezclas con sustitución de 10% se obtuvieron asentamientos de 2 y 4 cm para las dos resistencias evaluadas y para la mezcla con sustitución del 15% de cenizas se obtuvieron asentamientos de 3.5 y 5 cm para las dos resistencias evaluadas.

El comportamiento en las mezclas refleja una clara pérdida de fluidez y trabajabilidad en las mismas, producto de la alta capacidad de absorción de las cenizas volantes, además también se puede apreciar que en las mezclas de 250 Kg/cm² se obtuvieron mezclas más fluidas que las de 180 Kg/cm².

V.5 Ensayos de Resistencia a Compresión

Las resistencias promedio obtenidas de las mezclas patrones MP-3 (180) y MP-1 (250), fueron 176.63 Kg/cm² a la edad de 21 días por lo que se espera una resistencia final

de $180 \pm 2 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días y 230.74 Kg/cm^2 a los 28 días respectivamente. Dichos resultados se encuentran dentro de los valores de desviación estándar esperados en el diseño de mezcla y cumplen con el criterio del “Manual del Concreto Estructural” de J. Porrero, donde la resistencia obtenida a la edad normativa de 28 días, debe ser igual o mayor que la resistencia de diseño $f'c$ disminuida en 35 Kg/cm^2 , por lo que se considera que los diseños de mezcla se realizaron de forma correcta.

La mezcla CV-1 (180) alcanzó una resistencia de 206.01 Kg/cm^2 , con un aumento del 14.45 % con respecto a la resistencia obtenida a los 28 días en MP-3 (180). La mezcla CV-2 (250) alcanzó una resistencia de 226.5 Kg/cm^2 , con una disminución del 1.84 % con respecto a la resistencia obtenida a los 28 días en MP-1 (250). Considerando los 3 litros de agua que se le agregaron a la mezcla CV-2 la cual pudo reducirle la resistencia en un 5.6 %, el resultado se ajusta como que no tuviese el adicionado de agua.

Las mezclas con 10% de sustitución de cenizas volantes CV-3 (180), presentó una resistencia de 158.40 Kg/cm^2 , menor en un 12 % a la alcanzada en la mezcla patrón a la edad de 28 días. Considerando los 3 litros de agua que se le agregaron a la mezcla CV-2 la cual pudo reducirle la resistencia en un 7.77 %, el resultado también se ajusta como que no tuviese el adicionado de agua manteniéndose dentro de la desviación 35 Kg/cm^2 “Manual del Concreto Estructural” de J. Porrero. Por otro lado la mezcla CV-4 (250), presentó una resistencia de 233.69 Kg/cm^2 , mayor en un 1.28 % a la alcanzada en la mezcla patrón a la edad de 28 días Considerando los 2.5 litros de agua que se le agregaron a la mezcla CV-4 la cual pudo reducirle la resistencia en un 2 %, en el resultado obtenido la mezcla se comporto de forma idónea.

Las mezclas con 15% de sustitución de cenizas volantes CV-5 (180) y CV-6 (250), alcanzaron resistencias menores que sus respectivas mezclas patrones, en la mezcla C-15 (180) se alcanzó una resistencia de 144.24 Kg/cm^2 , con una disminución del 17.87 % con respecto a la resistencia obtenida a los 28 días en MP-3 (180), en la mezcla CV-6 (250) se alcanzó una resistencia de 211.94 Kg/cm^2 , con una disminución del 8.15 % con respecto a la resistencia obtenida a los 28 días en MP-1 (250). Este comportamiento se esperaba por la

adición de agua en el mezclado como en la otras mezclas solo que en este caso las resistencias exceden la desviación 35 Kg/cm^2 “Manual del Concreto Estructural” de J. Porrero, apreciándose una afectación significativa la relación agua- cemento del diseño de mezcla.

En las todas la mezclas se obtuvieron valores de resistencia a una edad de 28 días que entraban en la población estadística, razón por la cual todos los valores fueron aceptados. La desviación estándar calculada para cada mezcla a la edad de 28 días se estableció un poco mayor a la establecida en la Tabla VI.5 del “Manual del concreto estructural” de J. Porrero, porque los ensayos serian realizados en un laboratorio y según la experiencia del tutor.

La capacidad de absorción de las cenizas volantes produce que las mezclas tengan un asentamiento menor medido con el Cono de Abrams, esto produce un aumento de resistencia debido a la reducción de agua en la relación agua-cemento, sin embargo este comportamiento trato de corregirse para mejorar la trabajabilidad de las mezclas, sin embargo tiene sus limitaciones en cuanto a resistencias de diseño y proporción de cenizas a ser sustituidas.

V.6 Ensayos de Ultrasonido

El promedio de velocidades de pulso ultrasónico obtenido en la mezcla patrón (MP-3) de resistencia de diseño 180 Kg/cm^2 es mayor que en la mezcla con sustitución de 5% de ceniza volante; este resultado no corresponde con la resistencia obtenida del ensayo de compresión simple. Este resultado puede ser atribuido a la baja trabajabilidad obtenida en la mezcla CV-1 (180), la cual aumenta las probabilidades de aparición de defectos internos en las probetas, como volúmenes de aire o cangrejas. Además se debe considerar el grado de humedad de las probetas en el momento del ensayo debido a que favorece la velocidad de transmisión. El comportamiento en la mezcla patrón MP-1 (250), cuyo promedio de velocidades de pulso ultrasónico es menor que el de la mezcla con sustitución de 5% (CV-

2) de ceniza volante y el promedio de resistencias obtenido del ensayo de resistencia a compresión es mayor por lo no tienen una correspondencia.

La velocidad del pulso ultrasónico en la mezcla patrón MP-3 (180), es mayor que en la mezcla con sustitución del 10% de cenizas volantes CV-3 (180), este resultado sí corresponde con el promedio de resistencias obtenido del ensayo de compresión. De igual manera en la mezcla MP-1 (250) la velocidad del pulso ultrasónico es mayor que la obtenida en la mezcla CV-4 (250) con sustitución del 10% de cenizas volantes.

La velocidad del pulso ultrasónico en la mezcla patrón MP-3 (180), es mayor que en la mezcla CV-5 (180) con sustitución del 15% de cenizas volantes, este resultado corresponde con las resistencias obtenidas del ensayo de compresión. De igual forma, en la mezcla MP-3 (250) la velocidad del pulso ultrasónico es mayor que la obtenida en la mezcla CV-6 (250) con sustitución del 15% de cenizas volantes, correspondiendo con el resultado de la resistencia obtenida del ensayo de compresión simple.

Los valores de las mediciones de propagación de ondas en las mezclas difieren entre sí alrededor del 1%, el cual indica una gran homogeneidad en las muestras.

V.7 Ensayos de Módulo de Elasticidad

El promedio del módulo de elasticidad teórico para las dos probetas de la mezcla patrón MP-3 (180), fue $1,99E+05 \text{ Kg/cm}^2$ y el promedio del módulo teórico para la mezcla CV-1 (180), CV-3 (180) y CV-5 (180) fue $2,20E+05 \text{ Kg/cm}^2$, $1,92E+05 \text{ Kg/cm}^2$ y $1,86E+05 \text{ Kg/cm}^2$, respectivamente. Se observa que en las mezclas con sustitución de cenizas volantes el módulo de elasticidad teórico disminuye debido a la disminución del peso unitario del concreto.

El promedio del módulo de elasticidad calculado para las probetas de la mezcla patrón MP-3 (180), fue $2,07E+05 \text{ Kg/cm}^2$ y el promedio del módulo de elasticidad calculado para la mezcla CV-1 (180), CV-3 (180) y CV-5 (180) fue $2,18E+05 \text{ Kg/cm}^2$, $1,84E+05 \text{ Kg/cm}^2$, $1,76E+05 \text{ Kg/cm}^2$, respectivamente. Se observa que al igual que el

módulo elástico teórico, éste disminuye en las mezclas con sustitución de cenizas volantes, en este caso por el aumento de deformación que existe en las probetas.

El promedio del módulo de elasticidad teórico para las dos probetas de la mezcla patrón MP-1 (250), fue $2.30E+05 \text{ Kg/cm}^2$ y el promedio del módulo teórico para la mezcla CV-2 (250), CV-4 (250) y CV-6 (250) fue $2,30E+05 \text{ Kg/cm}^2$, $2,26E+05 \text{ Kg/cm}^2$ y $2,21E+05 \text{ Kg/cm}^2$, respectivamente. Este comportamiento es similar al de las mezclas de resistencia de diseño de 180 Kg/cm^2 , sin embargo no que se produce una disminución del peso unitario consistente con la proporción de cenizas adicionado.

El promedio del módulo de elasticidad calculado para las dos probetas de la mezcla patrón MP-1 (250), fue $2,57E+05 \text{ Kg/cm}^2$ y el promedio del módulo de elasticidad calculado para la mezcla CV-2 (250), CV-4 (250) y CV-6 (250) fue $2,25E+05 \text{ Kg/cm}^2$, $2,19E+05 \text{ Kg/cm}^2$, $2,09E+05 \text{ Kg/cm}^2$, respectivamente. Se observa un aumento de las deformaciones en las probetas de concreto con sustitución de cenizas volantes.

V.8 Peso Unitario

Los resultados de pesos unitarios para las mezclas patrones de resistencia de diseño 180 Kg/cm^2 y 250 Kg/cm^2 son $2360,24 \text{ Kg/m}^3$ y $2357,55 \text{ Kg/m}^3$, respectivamente Las dos resistencias de diseño presentan una disminución del peso unitario a medida que la proporción de ceniza aumenta, como se muestra en las tablas IV.6.1.1. y IV.6.2.1. Esta tendencia se debe a la proporción de cemento existente en cada una de las mezclas, por lo que a menor cantidad de cemento menor es el peso unitario en casi todas las muestras.

El peso unitario en la mezcla CV-1 (180), con 5% de sustitución de cenizas, presenta un aumento del 1,17% con respecto al peso unitario obtenido en la mezcla patrón. De igual forma en la mezcla CV-2 (250), con 5% de sustitución de cenizas, presenta una disminución de 0,16% con respecto al peso unitario obtenido en la mezcla patrón.

El peso unitario en la mezcla CV-3 (180), con 10% de sustitución de cenizas, presenta una disminución de 0,31% con respecto al peso unitario obtenido en la mezcla patrón. Así mismo en la mezcla CV-4 (250), con 10% de sustitución de cenizas, presenta una disminución de 0.36% con respecto al peso unitario obtenido en la mezcla patrón.

El peso unitario en la mezcla CV-5 (180), con 15% de sustitución de cenizas, presenta una disminución de 0,20% con respecto al peso unitario obtenido en la mezcla patrón, al igual que en la mezcla CV-6 (250), con 15% de sustitución de cenizas donde se presenta una disminución de 0,20%.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La utilización de cenizas volantes como sustitución parcial de cemento no afecta el tiempo de fraguado de la mezcla en proporciones menores al 10% pero en proporciones mayores e iguales al 15% se produce un aumento del tiempo de fraguado, esto puede ser utilizado para contrarrestar los efectos de climas cálidos como en Venezuela, ya que la mezcla mantiene por un periodo de tiempo más largo su plasticidad facilitando las operaciones de transporte, colocación y vibrado del concreto, en tiempos mayores a los habituales.

La calidad de los agregados que se encuentran en la actualidad en el mercado venezolano debe ser mucho más controlada ya que, no siempre se ajustan a los parámetros que establecidos en las Normas, por lo que se vuelve crítico hallar una relación de combinación óptima entre ellos para realizar los diseños de mezclas del concreto.

Las mezclas de concreto con sustitución parcial del cemento por cenizas volantes tuvieron una pronunciada disminución en el asentamiento, ya que este disminuye a medida aumenta de la proporción de cenizas y esto afecta significativamente la trabajabilidad por lo que se produce un requerimiento mayor de agua para lograr una consistencia normal, lo cual afecta su relación agua- cemento y en consiguiente su resistencia.

Las mezclas con sustitución parcial de cemento en 5% por cenizas en mezclas de concreto producen un incremento de la resistencia de diseño, atribuido a las características propias de las cenizas y a la disminución de la relación agua – cemento por parte de la absorción del material. El comportamiento de la resistencia cumple con los criterios de aceptación, por lo que puede ser utilizado en mezclas de resistencias medias a bajas.

Las mezclas con sustitución parcial de cemento 10% por cenizas reportaron resistencias ligeramente menores a las de 5%, esta disminución puede atribuirse a la adición de agua al mezclado la cual aumentó la relación agua – cemento pero de igual manera cumplen con la resistencia de diseño y con los criterios de aceptación, por lo que puede ser utilizado en mezclas de resistencias medias a bajas.

Las mezclas con sustitución parcial de cemento de 15% por cenizas en mezclas de concreto producen resistencias menores a los 35 Kg/cm² establecido por el criterio del “Manual del Concreto Estructural” de J. Porrero. Sin embargo estas son aceptadas debido a la disminución de la resistencia de diseño atribuida a la adición de agua al mezclado la cual aumentó la relación agua – cemento, lo que las coloca muy cerca del límite de aceptación. El comportamiento de la resistencia sin un correcto control de la absorción del material no cumple con los criterios de aceptación y en consecuencia su utilización es condicionada al mejoramiento del diseño de mezcla.

El peso unitario del concreto con sustitución de cenizas volantes se ve levemente disminuido a medida que las proporciones de ceniza aumentan en casi todas las mezclas de manera consistente, lo cual garantiza un comportamiento equivalente al concreto normal.

Las mezclas de concreto con sustitución parcial de cenizas presentan en su estado húmedo de curado una coloración más oscura que las mezclas patrones. A medida que el fraguado avanza y culmina el proceso de curado, el concreto seco presenta una coloración gris claro, similar a las mezclas patrones.

El módulo de elasticidad para muestras con un 5% de adición de cenizas volantes presenta valores similares a los obtenidos por la formulación teórica aunque aproximadamente un 1,2% menor que los valores de los mismos, y consistentes con las resistencias a compresión obtenidas. Para el caso de adiciones de 10% y 15% se disminuye el módulo de manera sistemática. Las disminuciones con respecto a la muestra patrón hacen evidencian que el material con adición de cenizas volantes mejora sus características mecánicas en el tiempo, por lo cual se requiere una evaluación de módulo a los 60 días.

Observando la reacción en el módulo de elasticidad es posible inducir que mezclas con más contenido de cenizas volantes pueden tener un comportamiento idóneo para concretos compactados con rodillos, los cuales pueden ser utilizados en presas o grandes terraplenes. El bajo módulo de elasticidad que se podría lograr y la disminución sensible del calor de hidratación permitirían reacomodos por deformación y mejores rendimientos en construcción.

Como factor importante la utilización de las cenizas volantes como componente de mezclas de concreto permite disponer material que tradicionalmente queda como desecho de procesos industriales, esta característica ecológica de este proceso permitirá el mejor uso y disposición de rellenos sanitarios y disminución de costos de construcción en mezclas de medias a bajas resistencias las cuales son muy importantes ya que pueden ser empleadas en la construcción de fundaciones, aceras, brocales elementos urbanísticos en rehabilitación de ciudades y centros poblados y urbanizaciones de interés social.

Como recomendación para futuros trabajos que empleen la ceniza del bagazo de caña realizar una caracterización profunda del material con la finalidad de determinar de manera precisa su capacidad de absorción y otras características físicas y químicas, las cuales no eran relevantes para el desarrollo de este trabajo de grado en vista de que el mismo busca utilizar la ceniza en estado natural.

También se podrían realizar trabajos incorporando moliendas de las cenizas y/o secando las cenizas diferentes temperaturas, inclusive temperaturas de 300°C ya que posible realizar ese secado en la planta de producción de las cenizas.

Se recomienda para futuros trabajos de grados incluir la utilización de plastificantes de manera que se controle la trabajabilidad de la mezcla de manera más precisa y sin afectar la relación agua cemento de la mezcla.

BIBLIOGRAFÍA

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

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

Cemento Portland. Determinación de la finura por medio del cedazo n° 325 (45
micras) (3ra revisión) (1993, Agosto) Norma Venezolana COVENIN N° 489

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

Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado (1978, 09 de Agosto)
Norma Venezolana COVENIN N° 263.

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

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

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.

Tecnología del concreto. Manual de elementos de estadística y diseño de experimentos (1999, 14 de Diciembre) Norma Venezolana COVENIN N° 3549.

Porrero, J. y otros.(2004) Manual del Concreto Estructural. Sidetur. Caracas.

Jassit Neftali Alvarado Rodríguez (S/A) Características del concreto. Disponible: <http://www.construaprende.com/t/02/T2Pag2.php> [Consulta: 2009, Enero 05]

Sin Autor. Peso especifico. Wikipedia enciclopedia libre. Disponible; http://es.wikipedia.org/wiki/Peso_espec%C3%ADfico [Consulta: 2009, Enero 06]

Sin Autor. Evaluación de la hoja del maíz como posible fuente de material puzolánico. Scielo. Disponible; http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-96012005000300002&lng=es&nrm=iso [Consulta: 2009, Enero 10]

Apéndice 2. Formato para recolección de datos par ensayos a compresión

Mezcla _____	Dia de elaboracion _____	Resistencia nominal (kg/cm ²) _____
% de CV _____	Asentamiento (cm) _____	
	litros de agua agregada _____	

Probeta	Edad de ensayo (días)	Diametro 1 (cm)	Diametro 2 (cm)	Diametro 3 (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Area promedio (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% Resistencia alcanzado	Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio
1											
2											
3											
4											
5											
6											

Apéndice3. Formato para el cálculo de peso unitario

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Densidad (Kg/m ³)

Apéndice 6. Formato de recolección de datos para los agregados

Análisis Granulométrico

Procedencia:

Material:

Fecha:

Peso Lavado + Bandeja (grs)	
Peso Lavado (grs)	
Peso de la Bandeja	

Tamices (m.m)	Peso de Material + Bandeja	Peso del Material (g)
"3/4		
1/2"		
"3/8		
"1/4		
No 4		
No 8		
No 16		
No 30		
No 50		
No 100		
No 200		
Fondo		

ANEXOS

Anexo 1. Complejo azucarero El Palmar



Anexo 2. Bagazo de caña triturado.



Anexo 3. Calderas del complejo el palmar



Anexo 4. Transporte hidráulico de las cenizas



Anexo 5. Laguna de sedimentación



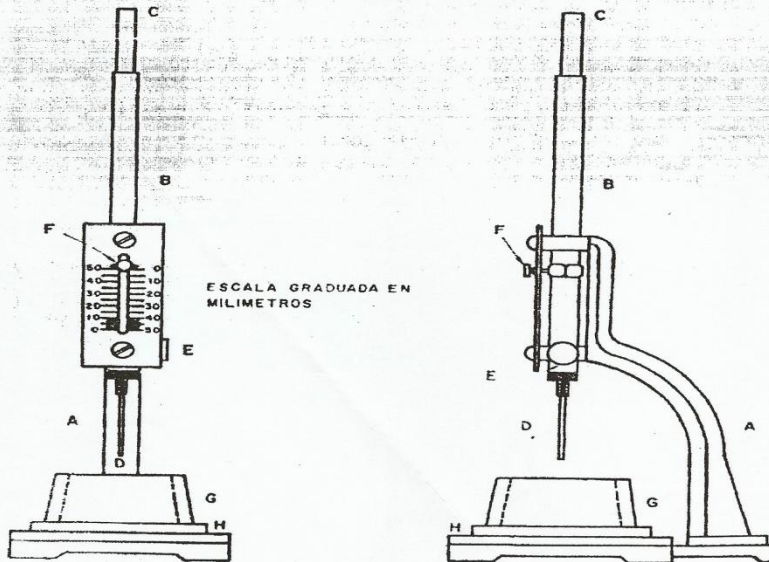
Anexo 6. Aparato de Vicat. Según CCCa:Ce12

CCCA: Ce 11

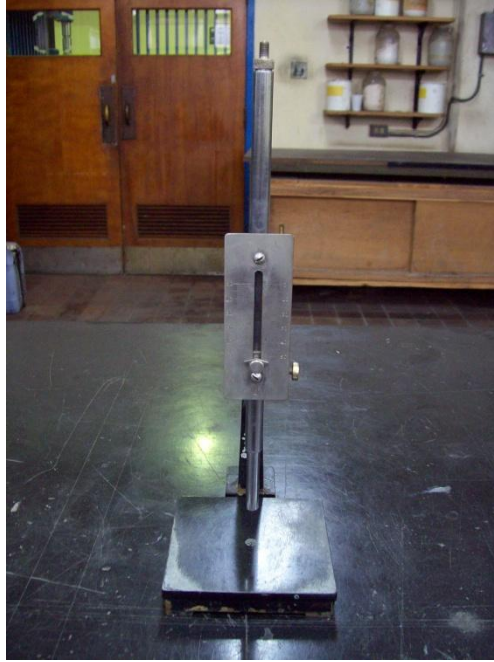
102

TABLA I.- VARIACIONES PERMISIBLES PARA LAS PESAS

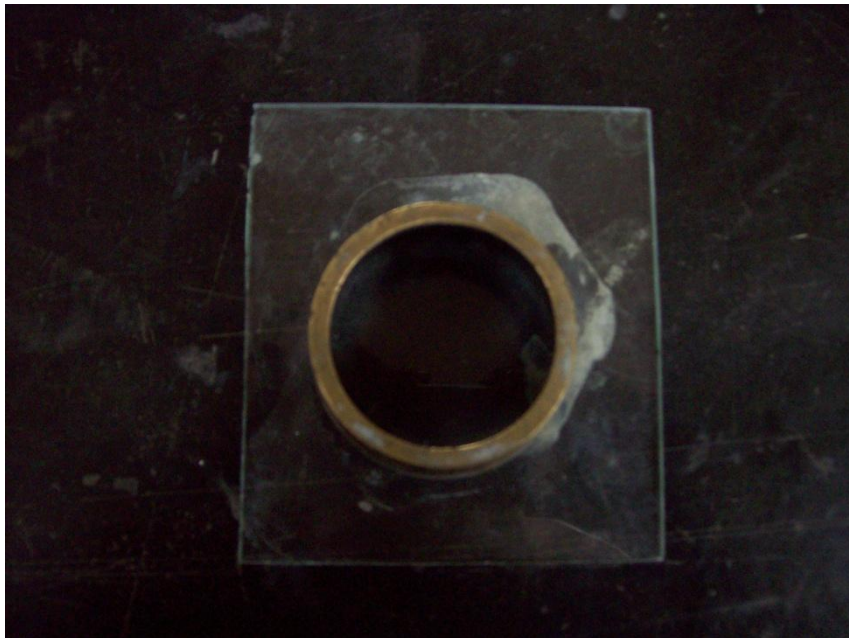
PESO (g)	VARIACIONES PERMISIBLES PARA LAS PESAS EN USO (± g)
500	0,35
300	0,30
250	0,25
200	0,20
100	0,15
50	0,10
25	0,05
10	0,04
5	0,03
2	0,02
1	0,01



Anexo 7. Aparato de Vicat



Anexo 8. Molde cilíndrico con base para el aparato de Vicat



Anexo 9. Mezcladora de dos velocidades



Anexo 10. Preparación de la mezcla para los ensayo de consistencia y de la aguja de Vicat



Anexo 11. Ensayo con el aparato de Vicat



Anexo 12. Balanza para el pesaje de los materiales



Anexo 13. Pesaje de los materiales de mezcla



Anexo 14. Preparación de los molde para los cilindros



Anexo 15. Preparación de la mezcla



Anexo 16. Medición del asentamiento en el cono de Abrams



Anexo 17. Llenado y compactado de los cilindros



Anexo 18. Eliminación de aire y preparación para el enrazado de las probetas



Anexo 19. Enrazado de las probetas



Anexo 20. Alisado de la cara de la probeta



Anexo 21. Curado de las probetas



Anexo 22. Máquina para el ensayo a compresión y modulo



Anexo 23. Certificación de SENCAMER para la máquina de ensayos



Anexo 24. Ensayo a compresión de los cilindros



Anexo 25. Elaboración del Capping para las probetas del módulo de elasticidad



Anexo 26. Colocación de las pastillas de fijación de los Flexímetros



Anexo 27. Flexímetro



Anexo 28. Ensayo del modulo de elasticidad



Anexo 29. Máquina para medir la velocidad de onda



Anexo 30. Medición de la velocidad de onda



Anexo 30. Cilindros preparados para ensayos de compresión



Anexo 31. Cilindros preparados para ensayos de modulo de elasticidad



Anexo 32. Muestra de Agregado grueso



Anexo 33. Tamizado del agregado grueso



Anexo 34. Ensayo de absorción del agregado grueso



Anexo 35. Muestra de Agregado fino



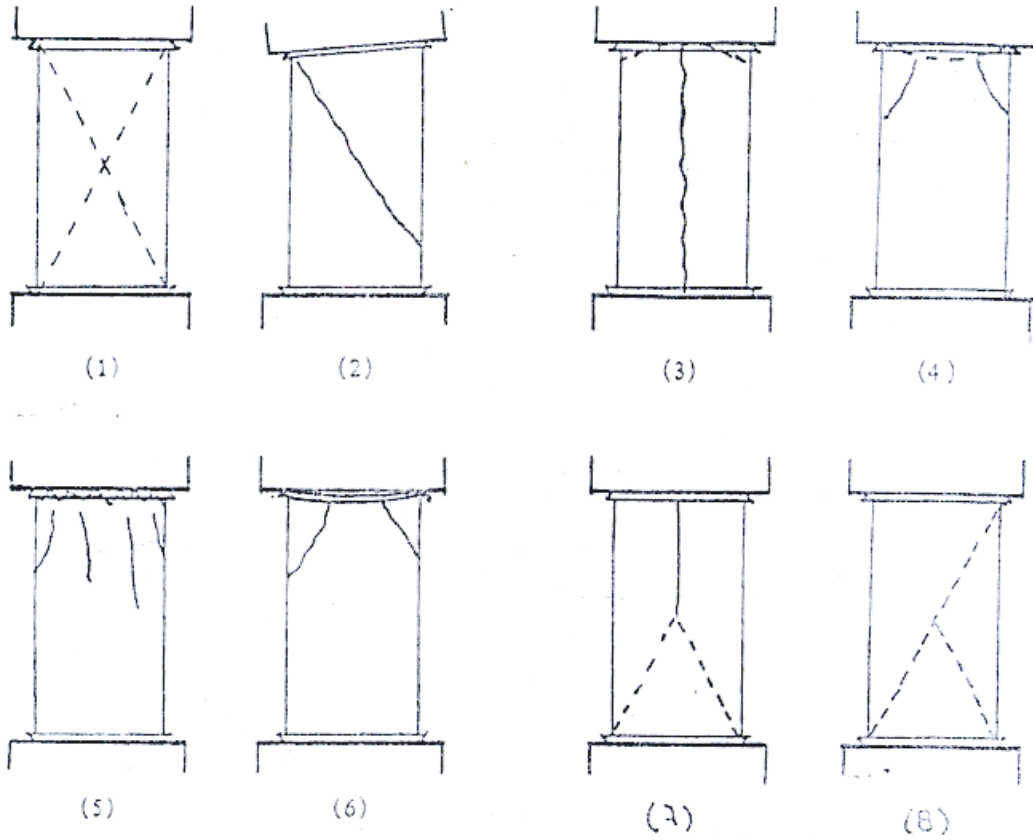
Anexo 36. Ensayo del cono para obtener la condición se superficie seca del agregado fino



Anexo 37. Ensayo de picnómetro con el agregado fino



Anexo 38. Tipos de fallas en probetas cilíndricas



Anexo 39. Resultados a 28 días de la muestra MP-3

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	P (Kg)	σ (Kg/cm ²)	Densidad (Kg/m ³)
1	12,481	14,950	30,010	31400	178,96	2370,31
		14,940				
		14,950				
2	12,530	14,910	30,050	30800	176,48	2389,22
		14,890				
		14,920				
promedio				31100	177,72	2379,76

Velocidad de la propagación de onda para la mezcla MP-2				
cilindro	t (μs)	t (s)	L (m)	V (m/s)
A	74,3	0,0000743	0,300	4039,03
B	73	0,000073	0,301	4116,44
V (m/s) promedio				4077,73

