

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**EVALUACIÓN DE CONCRETOS PUZOLÁNICOS
ELABORADOS CON CONTENIDO CENIZA DE HOJA DE
MAÍZ PARA USO ESTRUCTURAL**

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al Título
de Ingeniero Civil
Por el Br. Fernández R. Simón E.

Caracas, Octubre de 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DE CONCRETOS PUZOLÁNICOS ELABORADOS CON CONTENIDO CENIZA DE HOJA DE MAÍZ PARA USO ESTRUCTURAL

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Trino Baloa

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al Título
de Ingeniero Civil
Por el Br. Fernández R. Simón E.

Caracas, Octubre de 2009

ACTA

El día 10 de Noviembre se reunió el jurado formado por los profesores:

Tino Balboa
Idalberto Aguilá
María E. Kaddy

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: **“EVALUACIÓN DE CONCRETOS PUZOLÁNICOS ELABORADOS CON CONTENIDO CENIZA DE HOJA DE MAÍZ PARA USO ESTRUCTURAL”**. Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**.

Una vez oída la defensa oral que el (la, las, los) bachiller(es) hicieron de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Br. Simón E, Fernández R.	20	VEINTE

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO

Tino Balboa
Idalberto Aguilá
María E. Kaddy

Caracas, 10 de 11 de 2009

a mis padres

AGRADECIMIENTOS

Mi núcleo familiar ha sido la base de mis éxitos, mi papá súper comprensivo, mi mamá levantándose cuando me caía, mis hermanas Adriana e Irene con su apoyo incondicional y Anais que trajo más alegría a la familia. A ustedes les debo todo lo que soy, GRACIAS!

A mi tutor Trino, con tu Actitud Mental Positiva, me recibiste desde el principio, juntos planteamos una idea que hoy es una realidad, superamos obstáculos, rompimos barreras, lo logramos mi pana.

A un grupo de personas que conocí durante la realización de este TEG, sin ellos esto no hubiese sido posible: Al Sr. Edgar, quien nos abrió las puertas de su hacienda; Al Prof. Marcial, la Prof. Katterine Silva y Felix, por su apoyo logístico y técnico durante la molienda de la ceniza; Al Prof. Sorrentino y Diana por su aporte en tamaño de partículas; Al Personal del IMME, Profesores y técnicos que con todo sus conocimientos me facilitaron la tarea, en especial a Lee, siempre pendiente y atento, gracias amigo!

A todas las personas que me apoyaron durante mis estudios, amigos, no tan amigos y conocidos, me brindaron conocimientos, me han hecho ver que la vida no es fácil y con cada vivencia (buena o mala), me regalaron un aprendizaje. Quería decir “amigos en general “para no dejar a nadie por fuera, son muchos: los que iniciaron conmigo en el núcleo de Cagua, compañeros de Caracas, los de la residencia, profesores, al DPUCV, a los Contranaturales, entre otros, estoy agradecido con todos. Pero ni modo tengo preferencia: Nahírobith, Adriana, María, Melissa, Roselys, Sonia, Julietica Enrique, Rafael, Edward y Kent. Los tengo presente, aunque a veces no lo parezca. En fin como dijo Ceratti “GRACIAS TOTALES”

Simón

Fernández R. Simón.

**EVALUACIÓN DE CONCRETOS PUZOLÁNICOS
ELABORADOS CON CONTENIDO CENIZA DE HOJA DE MAÍZ
PARA USO ESTRUCTURAL**

Tutor Académico: Prof. Trino Baloa.

**Trabajo Especial de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.
Escuela de Ingeniería Civil. 2009, n° de pág. 84.**

RESUMEN

Palabras Claves: Puzolana, ceniza, hoja de maíz, concreto estructural, resistencia, compresión.

El presente Trabajo Especial de Grado evalúa el uso de mezclas de concreto con contenido de cenizas de hojas de maíz como sustituto parcial del cemento Portland en 10, 15 y 20% de su proporción, diseñadas en base a una mezcla patrón con una resistencia de 250Kg/cm². El método empleado se dividió en dos fases: la primera fue la obtención de la ceniza, lo cual implicó la extracción de hojas en una plantación de maíz, proceso de incineración, moliendas, análisis físico y granulométrico de la ceniza; la segunda fase comprendió: diseño, elaboración de mezclas, peso unitario, asentamiento en el cono de Abrams, curado de probetas, densidad y ensayos de resistencia a compresión de probetas normalizadas de 15 cm de diámetro a los 14 y 28 días según la Norma COVENIN 338:2002. Los resultados de la evaluación indican que si es posible el uso de cenizas de hojas de maíz con las características físicas mostradas en este trabajo, como sustituto parcial del cemento Portland en mezclas de concreto para uso estructural.

ÍNDICE GENERAL

	Página
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1. OBJETIVOS	3
1.2. APORTES	4
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	5
2.1. Cemento	5
2.2. Cemento Portland	5
2.3. Concreto	8
2.4. Características del concreto fresco	8
2.5. Medición de asentamiento con el Cono de Abrams	12
2.6. Peso por unidad de volumen.....	13
2.7. Concreto estructural.....	14
2.8. Resistencias mecánicas.....	14
2.9. Puzolanas	17
2.10. Combustión de residuos agrícolas.	18
2.11. Combinación de cemento Portland con puzolana.....	19
2.12. Principios del análisis de tamaño de partículas.....	22
2.13. La agricultura	25
CAPÍTULO III:	
MARCO METODOLÓGICO	28
3.1. Obtención de las hojas de maíz.....	28
3.2. Secado de las hojas de maíz	29
3.3. Incineración de las hojas de maíz	30
3.4. Molienda de la ceniza	35

3.5. Medición de tamaño de partículas de la ceniza de hoja de maíz molida.	38
3.6. Diseño de mezclas.....	42
3.7. Preparación de las mezclas.....	46
3.8. Ensayos de resistencia a compresión (Según Norma Venezolana COVENIN 338):	50
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS	53
CAPÍTULO V.....	
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	69
5.1. Incineración de las hojas de maíz.....	69
5.2. Molienda de la ceniza	69
5.3. Análisis de tamaño de partículas en las muestras de ceniza y de cemento Portland.....	70
5.4. Peso unitario suelto y compactado en las mezclas en estado fresco.....	73
5.5. Ensayo de medición del asentamiento con el cono de Abrams	73
5.6. Densidad promedio de las mezclas en estado endurecido	74
5.7. Ensayos de resistencia a compresión.....	74
CONCLUSIONES.....	78
RECOMENDACIONES	82
BIBLIOGRAFÍA.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1. Requisitos físicos.....	7
Tabla: 2.2. Producción de Maíz en Venezuela de 1992 al 2007.....	26
Tabla 3.1: Peso específico y tipos de agregado.....	42
Tabla 3.2: Correcciones a relación agua cemento.....	43
Tabla 3.3: Correcciones del cemento.....	44
Tabla 3.4: Diseño resultante para 1m ³ de mezcla.....	45
Tabla 3.5: Dosificación usada en cada mezcla.....	46
Tabla. 3.6: Compactación.....	49
Tabla 4.1: Diseño de mezcla patrón (M1).....	53
Tabla 4.2: Dosis de cada componente usado en la mezcla sustituyendo 10% de cemento Portland por ceniza de hoja de maíz (M2).....	53
Tabla 4.3: Dosis de cada componente usado en la mezcla sustituyendo 15% de cemento Portland por ceniza de hoja de maíz (M3).....	53
Tabla 4.4: Dosis de cada componente usado en la mezcla sustituyendo 20% de cemento Portland por ceniza de hoja de maíz (M4).....	54
Tabla 4.5: Asentamiento obtenido en las mezclas, mediante el ensayo del cono de Abrams.....	54

Tabla 4.6: Comparación de resultados del análisis físico de las muestras de cemento Portland y ceniza de hoja de maíz molida durante 1 y 1,5 hora.....	57
Tabla 4.7: Peso unitario suelto y compactado.....	58
Tabla 4.8: Densidad en probetas producto de la mezcla patrón M1.....	58
Tabla 4.9: Densidad en probetas producto de la mezcla M2.....	59
Tabla 4.10: Densidad en probetas producto de la mezcla M3.....	60
Tabla 4.11: Densidad en probetas producto de la mezcla M4.....	61
Tabla 4.12: Esfuerzo resultante en probetas producto de la mezcla M1.....	62
Tabla 4.13: Esfuerzo resultante en probetas producto de la mezcla M2.....	63
Tabla 4.14: Esfuerzo resultante en probetas producto de la mezcla M3.....	64
Tabla 4.15: Esfuerzo resultante de probetas producto de la mezcla M4.....	65
Tabla 4.16: Resistencia a compresión media, obtenida en los ensayos a los 14 y a los 28 días.....	66
Tabla 4.17: Índice de actividad puzolánica.....	67
Tabla 4.18: Porcentaje de resistencia a compresión alcanzado en los ensayos a los 14 días, respecto a Fcr y a la resistencia alcanzada por los ensayo a los 28días.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1: Cono de Abrams.....	12
Fig. 2.2: Tipos de falla en probetas cilíndricas normalizadas.....	16
Figura 2.3: Forma característica de la partícula.....	23
Figura 2.4: Esquema de técnica de dispersión laser.....	24
Figura 2.5: Producción de maíz en Venezuela entre 1992 y 2007.....	27
Figura 3.1: Hacienda “Los Naranjos”, lugar en el cual se realizó la extracción de las hojas de maíz.....	29
Figura 3.2: Extracción de Hojas de maíz de la plantación.....	29
Figura 3.3: Plantas de maíz secas, material cosechado (residuo agrícola)..	30
Figura 3.4: Secado de las hojas de maíz mediante extensión y exposición al sol.....	30
Figura 3.5: Horno para incineración de las hojas de maíz, gaveta extraíble para acumulación de ceniza y tapa de protección.....	32
Figura 3.6: Parte interior del horno para la incineración de hojas de maíz, base contenedora, y orificios para ventilación.....	32
Figura 3.7: Paquete de hojas de maíz a incinerar, entre 3 Kg y 4 Kg.....	32
Figura 3.8: Alcohol isopropílico, usado como único combustible en el proceso de incineración.....	32

Figura 3.9: Introducción del paquete de hojas de maíz secas en el contenedor de horno.....	33
Figura 3.10: Proceso de combustión tiempo aproximado de duración 10 minutos.....	33
Figura 3.11: Extracción de la gaveta contenedora colmada de ceniza para ser vaciada en bandejas.....	34
Figura 3.12: Enfriamiento y oxigenación de la ceniza en bandejas metálicas.....	34
Figura 3.13: Balanza de 2 Kgf.....	37
Figura 3.14: Molino de bolas.....	37
Fig. 3.15: Carga moledora, esferas de acero.....	37
Fig. 3.16: Bancada giratoria.....	37
Fig. 3.17: Trozos de vidrio, material corrosivo para el curado del barril y esferas.....	38
Fig. 3.18: Introducción en el barril de la carga moledora y el vidrio.....	38
Fig. 3.19. Extracción del vidrio del barril luego de su proceso de curado corrosivo.....	39
Fig. 3.20: Cierre del barril conteniendo la ceniza y la carga moledora respectiva.....	39
Fig. 3.21: Analizador de partículas MASTERSIZER 2000 de MALVERN-INSTRUMENTS.....	40
Fig. 3.22: HYDRO 2000 S, de MALVERN-INSTRUMENTS.....	40

Fig. 3.23: Muestras de cemento Portland Tipo I, Ceniza seca y ceniza a temperatura ambiente.....	42
Fig. 3.24: Introducción de la muestra en la unidad de dispersión.....	42
Fig. 3.25. Programa informático controlador del MASTERSIZER 2000, en proceso de operación.....	42
Figura 3.26: Colocación de cilindros en la máquina de ensayo.....	52
Figura 3.27: Probeta cilíndrica ensayada.....	53
Figura 4.1: Análisis físico del cemento Portland en el Mastersizer 2000.....	56
Figura 4.2: Análisis físico de la ceniza de hoja de maíz en el Mastersizer 2000.....	57
Figura 4.3: Falla a compresión.....	69
Figura 4.4: Falla por corte.....	69
Figura 4.5: Falla a compresión.....	69
Figura 4.6: Falla por corte.....	69

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 4.1: Resistencia a compresión Vs. Edad de ensayo para la mezcla M1.....	62
Gráfico 4.2: Resistencia a compresión Vs. Edad de ensayo para la mezcla M2.....	63
Gráfico 4.3: Resistencia a compresión Vs. Edad de ensayo para la mezcla M3.....	64
Gráfico 4.4: Resistencia a compresión Vs. Edad de ensayo para la mezcla M4.....	65
Gráfico 4.5: Contraste de tendencia de resistencia media a compresión en función de la edad de ensayo en cada una de las mezcla.....	66

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El concreto es la tecnología más utilizada en obras de construcción civil a nivel mundial, esto debido a su versatilidad de aplicación y a los niveles de resistencia que con él se pueden obtener. El cemento Portland es el material que más se emplea en la preparación y diseño de mezclas de concreto, con la particularidad de ser uno de los materiales que representa mayor costo en las partidas de construcción; razón por la cual surge la constante búsqueda del equilibrio entre resistencia obtenida y su viabilidad económica.

Una alternativa es el uso de materiales silíceos o alumino-silíceos denominados puzolanas, por su capacidad de desarrollar propiedades cementantes al reaccionar con hidróxido de calcio en presencia de agua. Las puzolanas pueden ser de origen natural tales como rocas volcánicas y suelos, o de origen artificial, provenientes de cenizas volcánicas, arcillas calcinadas artificialmente, escorias de fundición y cenizas de residuos agrícolas: cascarilla de arroz, ceniza de caña de azúcar.

En la antigüedad, los chinos 4.000 años A.C, los hindúes 2.500 A.C., fabricaban cementos con cenizas de estos residuos agrícolas mezclados con cal y los romanos, hace 2000 años, fabricaron parte de sus grandes obras con cenizas volcánicas. Sin embargo, esta práctica dejó de ser usada y en los años setenta (70) es abordada nuevamente, ante la necesidad de disminuir los costos que implica el uso de mezclas de concreto en obras de construcción.

En el año 2001, desde el Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC), el Profesor Idalberto Águila emprende una investigación que, además de explorar el uso de ceniza de la cascarilla de arroz y caña de azúcar en la producción de cementos puzolánicos, presenta la innovación de usar la ceniza de hoja de maíz con la misma finalidad, concluyendo que ésta posee características físicas y químicas que le confieren propiedades puzolánicas, lo cual indica que probablemente la ceniza de la hoja de maíz podría ser empleada como sustituto parcial del cemento Portland en concretos a ser usados con fines estructurales.

Con la finalidad de evaluar el uso de la ceniza de la hoja de maíz en concretos estructurales, cumpliendo con la Norma Venezolana COVENIN 338:2002, se realizarán ensayos de resistencia a compresión usando probetas cilíndricas de concretos elaborados con diseños de mezclas en los que se sustituya 10% 15% y 20% respectivamente, de la proporción de cemento Portland por ceniza de hoja de maíz; de este modo es posible comparar los resultados obtenidos con los ensayos en probetas sin contenido de ceniza.

Como resultado se espera obtener valores de resistencia a compresión para cilindros con contenido de ceniza de hoja de maíz cercanos a la resistencia de las muestras patrón de 250kg/cm^2 , lo cual permitirá seleccionar el diseño de mezcla óptimo y proponer su uso estructural.

En consecuencia, se busca responder en el marco de este trabajo especial de grado las siguientes interrogantes: ¿Es posible dar uso estructural a concretos con contenido de ceniza de hojas de maíz?, de ser así, ¿Qué porcentaje de cemento es posible sustituir por ceniza de hoja de maíz?, ¿Existe una variación significativa de la resistencia a compresión para los diferentes diseños respecto a una muestra patrón?

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar concretos puzolánicos elaborados con contenido de ceniza de hoja de maíz, para su uso estructural.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Calcular la resistencia a compresión en cilindros de concreto, elaborados con mezclas donde se sustituye 10% 15% y 20% del cemento Portland por ceniza de hoja de maíz.
2. Contrastar los resultados de resistencia a compresión de un concreto estructural de 250kgf/cm² y un concreto puzolánico elaborado con 10% 15% y 20% de ceniza de hoja de maíz.
3. Generar gráficos de tendencia usando como variables la dosis de ceniza y la resistencia a compresión.

1.2. APORTES

Al finalizar este trabajo de investigación, enfocado en la evaluación del uso de concreto con contenido de hoja de maíz en elementos estructurales se generan importantes aportes para diversas áreas, entre estas encontramos:

- 1.2.1. Para la sociedad: La posibilidad de emplear concretos con contenido de hojas de maíz como sustituto del cemento Portland en elementos estructurales es una opción a considerar para la construcción de viviendas de interés social.
- 1.2.2. Relevancia para la ciencia e ingeniería: La expansión y el desarrollo de nuevos conocimientos en materiales de construcción, a partir de residuos de la industria agrícola.
- 1.2.3. A la institución: La evaluación de concretos con contenido de ceniza de hoja de maíz en elementos estructurales permitirá enriquecer la línea de investigación de nuevos materiales de construcción del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME). Adicionalmente será un documento informativo para el Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC), como complemento de sus estudios basados en el empleo de residuos de la industria agrícola como material puzolánico.
- 1.2.4. Al estudiante: fomentará el desarrollo de trabajos de investigación con base a nuevos materiales de construcción.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Una forma de ubicar la investigación dentro de un compendio de teorías ya existente y precisar su carácter de complementariedad o innovación, es la presentación de un marco teórico, esto nos permitirá obtener información detallada de cada uno de los elementos teóricos usados en el desarrollo de la investigación y la relación entre los mismos.

2.1. Cemento

Se define como, un conglomerante hidráulico que, mezclado con agregados pétreos y agua, crea una mezcla uniforme, capaz de fraguar y endurecer al reaccionar con el agua, adquiriendo por ello consistencia pétreo, concreto. Se presenta en forma de polvo que se obtiene de la pulverización de rocas (caliza) y arcilla, luego quemarlas en un horno rotatorio, agregar yeso. Posteriormente se somete a un nuevo proceso de molienda

2.2. Cemento Portland

En relación al cemento Portland, Martínez (2004) Señala: es un polvo químico finamente molido, compuesto principalmente por silicatos de calcio y en menor proporción de aluminatos de calcio, que mezclados con agua se combina, fragua y endurece a temperatura ambiente, tanto en el aire como en agua.

Según la Norma Venezolana 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 requieren 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 resultados expresados en la Tabla 2.1 al ser sometido a los ensayos establecidos en la misma.

Tabla 2.1. Requisitos físicos

Requisitos	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V	Método de ensayo COVENIN*
Finura						
Superficie específica. m ² /kg						
Ensayo de permeabilidad al aire (Blaine):						
Valor promedio, mínimo	280	280		280	280	487
Valor mínimo, cualquier muestra	260	260		260	260	
Estabilidad del volumen: (%) Máx.	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	491
Tiempo de fraguado ensayo de vicat:						
Tiempo inicial (min)	>45	>45	>45	>45	>45	493
Tiempo final (min)	<480	<480	<480	<480	<480	
Calor de hidratación:						
Valor máximo a los 7 días, (Kj/Kg)	---	290	---	250	---	495
Valor máximo a los 25 días, (kj/Kg)	---	---	---	290	---	
Contenido de aire en morteros. (Opcional): % Máx.	12	12	12	12	12	496
Resistencia a la compresión:						
Mpa(kg/cm²)						
1 día	---	---	>12,4 (126)	---	---	484
3 días	>10,0 (100)	>8,3 (85)	>24,1(246)	---	>8,3 (85)	
7 días	>17,0 (170)	>14,7 (150)		>6,9 (70)	>15,2 (155)	
28 días	>27,4 (280)	>24,5 (250)		>17,2 (175)	>20,7 (212)	
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 Venezolana COVENIN 28-2003, pág. 5

2.3. Concreto

La Norma Venezolana COVENIN1753 (2003), define al concreto como: “mezcla de cemento Portland o de cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos, que cumpla con los requisitos de los capítulos 4 y 5”.

Según Porrero et al. (2004), “el concreto u hormigón 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, la otra son trozos pétreos que quedan englobados en esa pasta. A su vez, la pasta está constituida por agua, y un producto aglomerante o conglomerante, que es el cemento. El agua cumple la doble misión de dar fluidez a la mezcla y de reaccionar químicamente con el cemento dando lugar, con ello, a su endurecimiento”.

2.4. Características del concreto fresco

Se denomina concreto fresco a la mezcla de cemento hidráulico, agregado grueso fino, agregado grueso y agua en estado fluido, es decir desde el momento cuando todos los componentes son mezclados hasta que se inicia el atiesamiento de la masa (periodo plástico). En ese lapso el concreto es transportado, colocado en moldes o encofrados y luego compactado manualmente o por vibración.

Ese estado de plasticidad tiene una duración diferente dependiendo de la localidad, también entre una y otra época del año, ya que las condiciones del clima tienen gran influencia. En lugares cálidos y fresco el estado plástico dura menos tiempo que en localidades húmedas y frías.

Son muchas las propiedades del concreto fresco que interesan y pueden llegar a ser críticas, no sólo por su relación con el manejo del concreto en ese estado, sino por que 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 del mezclado, de su diseño, del medio ambiente circundante y de las condiciones del trabajo.

2.4.1. Reología

Bajo el término “reología del concreto” se agrupa el conjunto de características de la mezcla fresca 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 la reología del concreto con base en tres características: fluidez, compactibilidad y estabilidad a la segregación.

2.4.1.1. Fluidez

La fluidez describe la calidad del fluido o la 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.

2.4.1.2. Compactibilidad

Cuando la mezcla es vibrada se hace más fluida y puede así distribuirse más uniformemente, envolviendo bien las armaduras y ocupando todas las sinuosidades del encofrado, Ésta es la propiedad que se conoce como tixotropía: atiesamiento en reposo y fluidificación en movimiento; y es la característica que permite la compactación de la mezcla y su adaptación al molde.

2.4.1.3. Estabilidad a la segregación

Los componentes del concreto son físicamente heterogéneos: líquido (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 de 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 del mortero, lo que se conoce como segregación, 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 de alizar; lo indebido es que, para obtenerlos, no diseñan mezclas especiales o solicitan concretos premezclados con aditivos sino que, simplemente, añaden agua a las mezcla, indiscriminadamente. Eso produce un daño directo a la resistencia mecánica, favorece la aparición de grietas por retracción y le quita defensa al concreto para lograr durabilidad, aparte de que hace a la mezcla propensa a la segregación.

2.4.2. Trabajabilidad

En la tecnología del concreto la palabra “trabajabilidad se emplea con dos acepciones distintas. Una, general, con la cual se designa al conjunto de propiedades del concreto que permiten manejarlo sin que se produzca segregación, colocarlo en los moldes y compactarlo adecuadamente. La otra acepción es específica para designar el asentamiento medido por el procedimiento normalizado del cono de Abrams. Esta segunda acepción es discutible porque, en realidad, el ensayo es sólo parcialmente representativo del conjunto de propiedades referidas.

Desde hace algún tiempo, estudiosos de la materia señalan la conveniencia de diferenciar con mayor claridad los conceptos relativos a: i) la plasticidad en sí de la mezcla (docilidad, consistencia) y, ii) la facilidad de usarla (trabajabilidad, colocabilidad). Se requieren métodos de ensayos que permita medir, respectivamente, dichas características pero, hasta el momento no se han logrado con suficiente éxito. Tales son, por ejemplo, entre otros, el Plasticímetro LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées), y el Medidor CES (Centre d’Essais des Structures). Ante estas opciones, el método del Cono de Abrams sigue teniendo basta aplicación pues, aún cuando no revela específicamente ciertas propiedades reológicas de la mezcla, el uso de la información que ofrece ha permitido la toma de decisiones acertadas.

2.5. Medición de asentamiento con el Cono de Abrams

La norma venezolana COVENIN 339 (2003) CONCRETO. METODO DE ENSAYO PARA LA MEDISIÓN DEL ASENTAMIENTO CON EL CONO DE ABRMS, contempla el método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto fresco (en las obras y en el laboratorio), mediante el uso del cono de Abrams. El rango de asentamiento adecuado para aplicar el método va desde $\frac{1}{2}$ " (15mm) a 8" (203mm), No es aplicable para mezclas donde existan cantidades considerables de agregados mayores de $1\frac{1}{2}$ " (3.75cm).

2.5.1. Cono de Abrams

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 de (300 ± 3) mm de altura. Las bases deben ser abiertas, paralelas entre si 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.

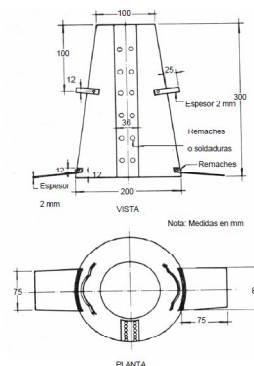


Fig.2.1: Cono de Abrams

2.5.2. La barra compactadora

Ésta debe ser de acero, recta, cilíndrica y lisa, de 16mm de diámetro, 600 mm de longitud aproximada, con el extremo semiesférico de 8 mm de radio.

2.6. Peso por unidad de volumen

Mediante la relación de peso por unidad de volumen de una sustancia se obtienen algunas de sus características físicas y en cierta forma su calidad. Entre los ensayos que vinculan estas variables encontramos:

2.6.1. Peso unitario suelto

Se determina llenando un recipiente de volumen conocido y estable con la sustancia, dejándola caer libremente desde cierta altura después se pesa y se establece la relación de peso/volumen. La regularidad del peso unitario, en una obra, sirve también para descubrir posibles cambios bruscos en la granulometría o en la forma del agregado.

2.6.2. Peso unitario compactado

Se realiza mediante un proceso parecido al anterior, pero compactando el material dentro del molde.

2.6.3. Peso específico

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/m^3). En el Sistema Internacional de Unidades, en newton por metro cúbico (N/m^3). Se calcula mediante la siguiente ecuación.

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

Donde:

P_e : Peso específico de la sustancia

P : Peso de la sustancia

V : Volumen que la sustancia ocupa

ρ : densidad de la sustancia

g : aceleración de la gravedad

En mezclas de concreto el ensayo de peso unitario se realiza mediante la aplicación de la Norma Venezolana COVENIN 349 “Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico y contenido de aire en el concreto”.

2.7. Concreto estructural

Según la Norma Venezolana COVENIN 1753 (2003), concreto estructural: “son aquellos concretos usados para propósitos estructurales, incluyendo aquellos concretos simples o reforzados”.

2.8. Resistencias mecánicas

En una estructura el concreto se encuentra sometido a sollicitaciones muy variadas (compresión, corte, tracción, flexotracción, agentes agresivos y otras). No es práctico llevar a cabo ensayos de control que analicen todos esos estados tensionales, pero se ha establecido la costumbre de realizar ensayos destructivos a compresión simple, sobre probetas normalizadas e inferir, a partir de sus resultados, los valores de otras características mecánicas tales como resistencia a la tracción o al corte.

2.8.1. Ley fundamental

Establece que la resistencia del concreto depende fundamentalmente de la proporción entre el peso del agua de mezclado y el peso del cemento presente, relación que se suele simbolizar con la variable α

Para determinados componentes de la mezcla, manteniendo el tamaño máximo y las mismas condiciones de preparación, de ensayo y de edad, se establece una relación algebraica, suficientemente exacta a los efectos prácticos, que vincula el valor de la resistencia con el valor α en la siguiente forma:

$$= \text{---}$$

Donde :

:Resistencia promedio

M y N: Constantes

A: Relación agua/cemento en peso

En general los valores de M y N dependerán de todos los parámetros que condicionan esa relación fundamental, principalmente de : (i) la edad del concreto; (ii) del tipo y calidad del cemento; (iii) de las características de los agregados, y; (iv) de los aditivos presentes.

2.8.1. Ensayos de resistencia a compresión

La resistencia de un concreto se determina al conocer el promedio de los resultados de los ensayos validos, sobre un conjunto de probetas normalizadas, en una fecha determinada y siguiendo un procedimiento establecido y su valor es tomado como referencia de calidad.

En Venezuela las probetas normalizadas son de forma cilíndrica, con 15 cm de diámetro y 30 cm de altura. El ensayo normalizado es a compresión y queda detalladamente descrito en la Norma COVENIN 338, Método para elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto.

2.8.1.1. Tipo de falla

La rotura del concreto presenta patrones semejantes para cualquier tipo de sollicitación, cuando son sometidas a ensayos de resistencia a compresión principalmente presentan dos tipos de fallas, la primera es la falla deseable en compresión y la segunda es la falla por corte. Adicionalmente la falla también puede ser causada por deficiencias en la preparación de la probeta en procedimientos como el enrase, inclinación de una de las caras ó deformación del plato de cabeceo en el ensayo.

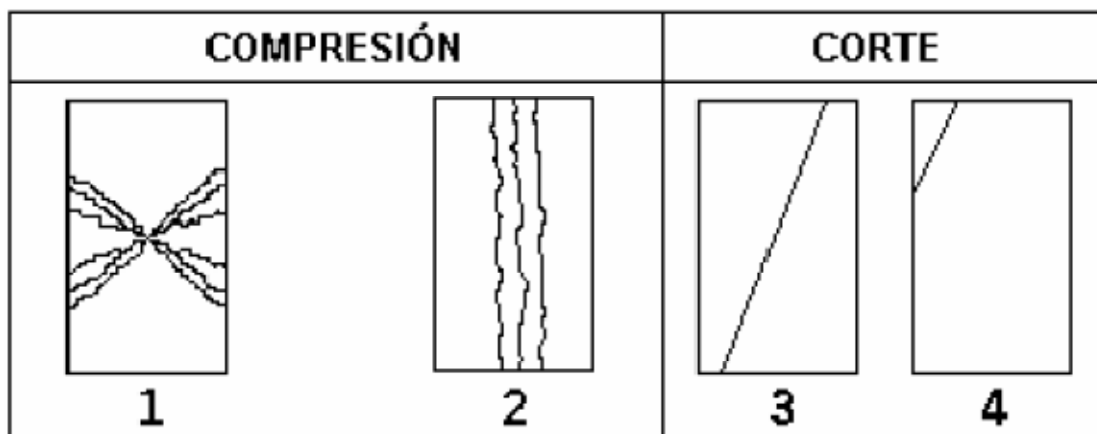


Fig.2.2: Tipos de falla en probetas cilíndricas normalizadas

2.9. Puzolanas

En la Norma Venezolana COVENIN 3135 (1994), se define puzolana, “al 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 termino puzolana se aplica también a otros productos naturales o artificiales que tiene propiedades análogas, tales como la tierra de diatomeas, las arcillas activas, las cenizas volantes u otras”.

Para el código ASTM (1992), 618-78, las puzolanas son "materiales silíceos o aluminio-silíceos los cuales por sí solos poseen poco o ningún valor cementante, pero cuando se han dividido finamente y están en presencia de agua reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes".

2.9.1. Clasificación de las puzolanas según su origen

2.9.1.1. Puzolanas naturales.

Entre las puzolanas de origen natural encontramos rocas de origen volcánico: cenizas volcánicas, piedra pómez, tobas, entre otras. Algunas arcillas calcinadas por vía natural a partir de calor o de un flujo de lava. Y otras rocas sedimentarias tales como; Diatomita, Tripoli y Opoca.

2.9.1.2. Puzolanas artificiales.

Las puzolanas artificiales son productos derivados y desechos, por una parte, de la industria como: la escoria de fundición, el humo de sílice y las cenizas volantes de las siderúrgicas. Por otra parte, le ceniza de residuos agrícolas como: cascarilla de arroz, hoja de maíz, bagazo y la paja de la caña de azúcar, la concha del café y trigo.

2.9.2. Índice de actividad puzolánica

La Norma Venezolana COVENIN 3135 (1994), define al índice de actividad puzolánica de morteros en los siguientes términos: es un índice que mide la actividad de las puzolanas en base a la resistencia a compresión de las mezclas conteniendo cemento hidráulico y arena normalizada, con y sin puzolana.

En este trabajo especial de grado el índice de actividad puzolánica estará definido como la relación de resistencia a compresión del material puzolánico y la de un concreto a base de cemento Portland. En general se especifica que dicho índice no debe ser menor a 0,75.

2.10. Combustión de residuos agrícolas.

Algunos autores han desarrollado tecnologías para la incineración de residuos agrícolas las más conocidas están dirigidas a la incineración de cascarilla de arroz, entre sus propuestas esta una combustión incontrolada, la cual se realiza generalmente al aire libre, lo cual resulta económico, pero la ceniza obtenida es poco activa, con alto contenido de carbón. También han planteados tecnologías de combustión controlada, proceso llevado a cabo con un control sobre la temperatura, el tiempo de combustión y las condiciones del ambiente obteniendo una ceniza altamente activa, con bajo contenido de carbón, ésta tiene la limitante de generar un alto costo en la fabricación de un horno con características especiales que faciliten el control de las variantes antes mencionadas.

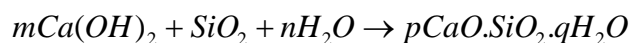
Entre las tecnologías antes mencionadas existe una con la cual se pueden obtener ceniza con buena actividad puzolánica a un bajo costo, se trata de la incineración semicontrolada, adaptando el concepto definido por Águila (1999), a la combustión de la hoja de maíz, Se establece:

2.10.1. Combustión semicontrolada de hojas de maíz.

Se basa en desarrollar un proceso de combustión a partir de un horno sencillo donde se logren, con cierta aproximación, las principales condiciones que requiere la hoja de maíz para transformarse en ceniza con buena actividad puzolánica, pero sin que se requiera un control preciso de dichas condiciones, esto combina calidad y economía.

2.11. Combinación de cemento Portland con puzolana

En Águila (1999), interpreta esta combinación de la siguiente manera “Durante el proceso de hidratación del cemento Portland se genera una cantidad importante de hidróxido de calcio, producto de la reacción del silicato tricalcico y silicato bicalcico con el agua, para formar hidrosilicato de calcio, a demás desde su fabricación el cemento trae una pequeña cantidad de cal libre (CaO) que al mezclarse con agua se transforma en hidróxido de calcio”.



Donde:

$Ca(OH)_2$: Hidróxido de calcio

H_2O : Agua

SiO_2 : Sílice

$CaO.SiO_2.qH_2O$: Hidrosilicato de calcio

El hidróxido de calcio reacciona con el sílice en presencia de agua para formar hidrosilicato de calcio, el cual aporta a la mezcla de concreto dureza y resistencia

En Venezuela se han desarrollado investigaciones donde se demuestra que la combinación de cemento Portland con puzolana puede ser usada como una alternativa constructiva:

Águila (1999), desarrolla una tecnología para producir puzolana artificial y utilizarla como sustituto parcial del cemento Portland, para lo cual se emplea como materia prima, la cascarilla de arroz. Se ofrecen detalles de la actividades que componen el proceso productivo definiendo la forma en que se deben realizar, los equipos y herramientas necesarios, así como la fuerza de trabajo requerida para la puesta en funcionamiento de una pequeña planta de producción. Se especifican las instalaciones con las que debe contar la planta y sus características físicas y funcionales, se incluye una valoración de los costos estimados para la producción. Complementariamente realiza una serie de ensayos de laboratorio para evaluar el comportamiento y algunas propiedades del material, lo cual se combina con un estudio de teoría de fraguado y endurecimiento de los cementos con adición de puzolanas. Como resultado logra una propuesta tecnológica que permite producir el material puzolánico de una manera sencilla a unos costos de alrededor del 60 % de los del cemento Portland. Además el producto obtenido permite sustituciones de hasta 30 % del cemento sin afectar la resistencia del mismo e incluso incrementos de 20 % de ésta para valores de sustitución de 20 %

Águila y Sosa (2005). Realizan una caracterización de la ceniza de hoja de maíz con miras a su utilización, como material puzolánico, en sustitución parcial del cemento Portland a emplear en las obras, para la elaboración de morteros y concretos. Se evalúan 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.

De la investigación realizada se desprende que, en efecto, estamos en presencia de un material con la potencialidad de ser usado como sustituto parcial del cemento en las obras, al menos, en proporciones que no superen el 20%. Para estos valores vemos que se pueden lograr morteros de propiedades similares al cemento puro. La resistencia a compresión y la estabilidad química se comportan muy bien, en tanto que se logran morteros más ligeros, lo cual comúnmente es deseable. En contraposición se experimenta una disminución en el flujo de de la mezcla. En la caracterización del material se aprecia un importante contenido de sílice (47,6%) en la ceniza, Se presentó un 4,5% de humedad y un alto 17,7% de pérdidas por fuego.

Águila y Sosa (2008). Realizan una caracterización de algunos residuos de producciones agrícolas venezolanas y se evalúa sus potencialidades para ser utilizados como posibles fuentes de material puzolánicos. Se incluyen para su estudio las cenizas de cascarilla de arroz, hoja de maíz y bagazo de caña, todas ellas con importante cantidad de sílice amorfa en su composición química, mediante ensayos de laboratorio, se realiza la primera caracterización física y química de cada uno de los materiales, con el fin de determinar si poseen la composición necesaria para ser considerados como posibles materiales puzolánicos. Ésta caracterización se complementa con ensayos de resistencia a compresión y durabilidad de muestras de mortero, realizadas con diferentes combinaciones de cada material con cemento portland. Los resultados obtenidos demuestran la factibilidad técnica de la utilización de la ceniza de cascarilla de arroz y de la hoja de maíz como material puzolánico, no así del bagazo de caña que queda momentáneamente descartado de ser utilizado

2.12. Principios del análisis de tamaño de partículas

RAWLE Alan, en su artículo **PRINCIPIOS BÁSICOS DEL ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS**. Consultado el 13 de abril 2008 en: <http://www2.iesmat.com/Productos-MI-ATP-Laboratorio-Accesorios1.htm>. en relación a la partícula y los principio básicos para su análisis físico, plantea:

2.12.1. Partícula

Una partícula se define como un elemento o material de dimensiones muy pequeñas. El mundo de las partículas pequeñas es fascinante y complejo, y su comportamiento esta frecuentemente relacionada con el estado de subdivisión, la superficie expuesta y la estructura de sus poros, éstas características pueden ser causa de profundos cambios en los productos finales de distintos procesos.

2.12.2. Tamaño de partícula

Es frecuente expresar el tamaño de una partícula por medio de una dimensión lineal, por ejemplo: $d = 60$ micras. Pero una sola dimensión resulta insuficiente para describir objetos irregulares. Esferas, cubos y otras formas regulares se describen mediante una sola dimensión, siempre que se especifique la forma. Las partículas de polvo raramente exhiben una forma uniforme, por lo cual su tamaño se puede establecer de una manera mas practica midiendo una de sus propiedades características y que pueda ser relacionada con las de una partícula con forma regular.

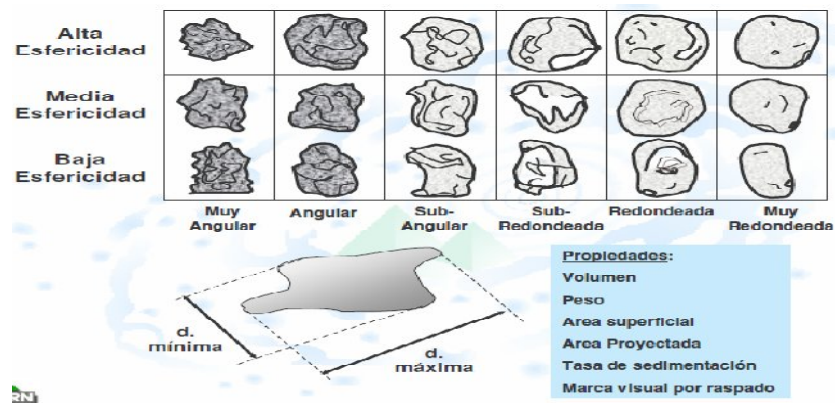


Fig. 2.3: Forma característica de la partícula

2.12.3. Teoría de la esfera equivalente

Se mide alguna propiedad de nuestra partícula y asumimos que se refiere a una esfera, por tanto estamos derivando un único número correspondiente a esa esfera. Entonces, los tamaños de partículas tanto de forma regulares como irregulares pueden ser descritos como “equivalentes a una esfera de diámetro d ”. Combinando de ésta manera las variaciones de tamaño y forma e incorporándolo las variaciones de tamaño aparente.

2.12.4. Método de difracción laser

La técnica de difracción laser esta basada en el siguiente fenómeno: las partículas dispersan luz en todas sus direcciones con un patrón de intensidad, que es dependiente del tamaño de la partícula.

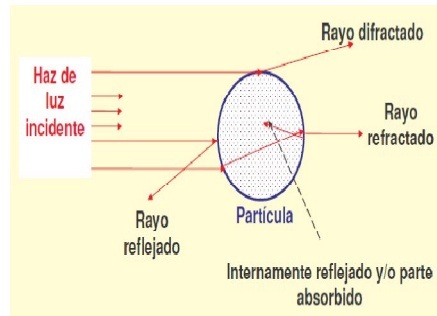


Fig. 2.4: Esquema de técnica de dispersión láser.

La Norma ISO 13320-1 (1999) recomienda el uso de la Teoría “MIE” en la cual se asume que: 1) La partícula es una esfera uniforme homogéneamente óptica cuyos índices de refracción real e imaginario (absorción) son conocidos. 2) La partícula esférica es iluminada por una onda plana de extensión infinita y de longitud de onda conocida. 3) Los índices de refracción real e imaginario del medio que la rodea también son conocidos.

2.12.5. Analizador de partículas MASTERSIZER 2000

El artículo en línea PRESENTANDO EL ANALIZADOR DE PARTÍCULAS MASTERSIZER 2000. Editado por la compañía CAS-INSTRUMENTAL, Consultado 13 de abril 2008. Disponible en: <http://www.cas-instrumental.com.ar/ms2000.htm>.

El analizador de Partículas MASTERSIZER 2000 de MALVERN-INSTRUMENTS. Es un equipo que utiliza la tecnología de difracción de luz para obtener tamaños de partícula en un rango de medida entre 20 nanómetros y 2 milímetros. El Mastersizer ha sido diseñado para medir el tamaño de estas partículas, o de una forma más específica, para determinar la distribución de los diferentes tamaños dentro de una muestra. Las características técnicas de este equipo se presentan a continuación:

Rango de medida: 0.02 a 2000 micras.

Tecnología de Difracción de luz Láser y compensación por teoría MIE según Norma ISO13320-1 de noviembre 1999.

2.13. La agricultura

El diccionario Lexis22 define la palabra agricultura como: “cultivo de tierra. Arte de cultivar, beneficiar y hacer producir las tierras”. La agricultura a demás de ser el impulso del desarrollo de muchos países, gracias a su dinámica económica, fundamentalmente debe ser vista desde el punto de vista social, actividad generadora de empleos, desarrollo rural como medio de ocupación ordenada del territorio.

2.13.1. El Maíz

Planta monoica anual, de tallos altos, rectos y hojas largas puntiagudas.

Ésta planta tiene origen en Sur América, América Central y México, y es el que más se cultiva a pesar de ser el que tiene un mayor déficit, el maíz se utiliza la mayor parte en el consumo en forma directa e indirecta como harina procesada y como consumo animal indirectamente.

2.13.1.1. Morfología de la planta de maíz.

La estructura de la planta está constituida por una raíz fibrosa y un tallo recto de diversos tamaños de acuerdo al cultivo, con hojas puntiagudas dispuestas y encajadas en el tallo, formando un ramo que contiene la flor masculina, ya que la femenina se encuentra a un nivel inferior y es la que da origen a la mazorca. La planta puede alcanzar una altura de 2,50- 3 mts, según el cultivo y las condiciones de explotación.

2.13.1.2. La hoja de maíz

Está dispuesta en posición alterna en el tallo en números de 20-30 hojas, conformadas por una vaina, de estructura flexible y fuerte. La superficie es áspera, la vaina es una estructura de forma cilíndrica abierta hasta el terminal que recubre el tallo, el largo de la hoja a nivel intermedio que son de mayor longitud puede alcanzar 0,8-1,10 mts.

2.13.2. Producción de maíz en Venezuela dividido en tres zonas

Estados Centrales: Aragua, Carabobo, algunas partes de Guárico.

Estados Orientales: Monagas, Bolívar.

Estados Occidentales: Yaracuy, Portuguesa, Barinas y Cojedes.

La producción de maíz en Venezuela a tenido un crecimiento de más del 200% durante los últimos años, a finales del año 2007 según estadísticas de FEDEAGRO la producción fue de 2.570.869 toneladas.

Tabla: 2.2 Producción de Maíz en Venezuela de 1992 al 2007

Producción de Maíz en Venezuela de 1992 a 2007	
Año	Producción (Ton)
1992	844.301
1993	987.784
1994	1.094.495
1995	1.166.732
1996	1.033.292
1997	1.199.219
1998	983.121
1999	1.149.452
2000	1.689.551
2001	1.801.061
2002	1.392.029
2003	1.823.237
2004	2.126.256
2005	2.193.460
2006	2.336.534
2007	2.570.869

Fuente: E:\maiz\Estadísticas Agropecuarias_ Producción Agrícola.htm

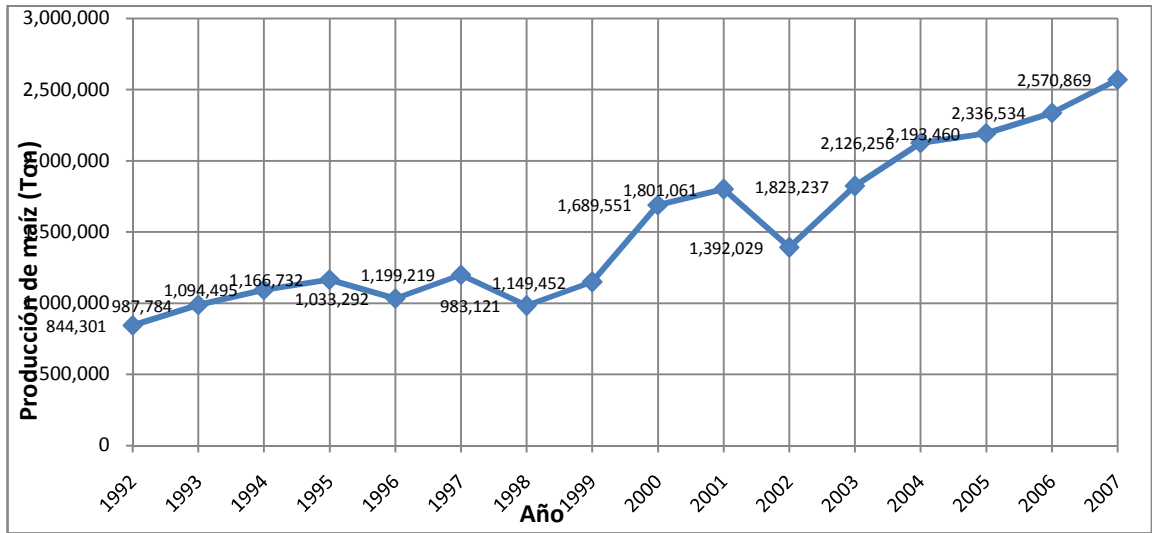


Fig. 2.5: Producción de maíz en Venezuela entre 1992 y 2007

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III:

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Obtención de las hojas de maíz

Las hojas de maíz fueron la materia prima base del proyecto, la incineración de éste material permitió obtener la ceniza necesaria para usar en las mezclas de concreto puzolánicos, diseñadas con dosis de ceniza de 10%, 15% y 20% como sustitución parcial de la dosis de cemento Portland total establecida.

El material fue extraído de la Hacienda “Los Naranjos” (Fig. 3.1) ubicada en el Sector Santa María, Carretera Nacional Cagua-Villa de Cura, Estado Aragua. Comprende 10 Ha de terreno, donde la plantación de maíz es la principal actividad productiva de esas tierras con potencial agrícola.

Para éste proceso inicialmente se utilizaron herramientas de corte (Machetes), pero en el desarrollo de la actividad se decidió realizarlo de forma manual, halando la planta y a su vez dándole un pequeño giro en sentido horario hasta completar la extracción, en los casos necesarios se eliminó el contenido de tierra ubicado en la raíz de las plantas de maíz. De esta forma se agilizó y optimizó el procedimiento, obteniendo en total un volumen aproximado de 4 m³ de material.



Fig. 3.1: Hacienda “Los Naranjos”, lugar en el cual se realizó la extracción de las hojas de maíz.



Fig. 3.2: Extracción de Hojas de maíz de la plantación.

3.2. Secado de las hojas de maíz

Parte del material extraído se encontraba seco (Fig. 3.3), debido a que la plantación ya había sido cosechada en el mes de agosto de 2008, otra porción del material estaba verde y la cantidad de plantación no era de interés al productor.

Las hojas de maíz se extendieron en el terreno, formando una capa, en la cual se trató de dejar expuesto al sol el mayor volumen posible (Fig.3.4). El período de secado inicialmente planteado fue de 6 semanas, pero al realizar una revisión a los 15 días de exposición se percibió que el material se encontraba seco y que estaba siendo consumido por insectos, específicamente bachacos, lo que condujo a la preparación del proceso de incineración, el cual se inició 5 días más tarde, por tanto: el periodo de secado de las hojas de maíz fue de 20 días.



Fig. 3.3: Plantas de maíz secas, material cosechado (residuo agrícola).



Fig. 3.4: Secado de las hojas de maíz mediante extensión y exposición al sol.

3.3. Incineración de las hojas de maíz

Las hojas de maíz deben estar lo menos húmedo posible a fin de lograr una incineración en forma óptima, en la medida en que el material esta más seco más rápido culmina el proceso de incineración, lo cual genera una ceniza con mayor reactividad puzolánica. El único combustible usado para acelerar el proceso de incineración fue Alcohol isopropílico en una proporción establecida en base al volumen de material a incinerar, generalmente 200 mililitros para una cantidad de material con un peso entre 3Kgf y 4 Kgf.

Para lograr esta fase del proyecto se diseñó y construyó un horno rudimentario (Fig. 3.5), con las cualidades necesarias para llevar a cabo de forma semi controlada la combustión del material.

El horno se realizó en hierro y acero, conformado principalmente por una estructura cilíndrica, recuperada de un pipote normalizado de 200 litros, en su parte inferior posee una gaveta extraíble, en la cual se acumula la ceniza obtenida de la combustión, el material que llega a ésta gaveta pasa a través de una malla metálica reticular de 1 pulgada, que se encuentra en el interior del cilindro (Fig. 3.6), sostenida por barras de acero de 1/2" que a su vez sirven de base para colocar dentro las hojas de maíz a ser incineradas, conformando el contenedor del horno, con una capacidad máxima en un rango de 3 Kgf a 4 Kgf. Alrededor de toda la superficie del contenedor del horno se ubicaron 30 orificios de aproximadamente 2.5 cm, cuya función es permitir la entrada de oxígeno de forma natural al momento de la combustión, ya que el proceso se llevó a cabo en un espacio abierto. Adicionalmente, con la finalidad de oxigenar la combustión de manera asistida se emplea una barra de acero que se introduce por uno de los orificios del contenedor, para generar movimiento del material durante proceso de combustión. El horno también posee una tapa circular conformada por tres capas de una malla metálica reticular de 5 mm, ajustada a un borde metálico, que calza en la estructura del horno, con el propósito de evitar que las partículas volantes salgan el horno.



Fig. 3.5: Horno para incineración de las hojas de maíz, gaveta extraíble para acumulación de ceniza y tapa de protección.



Fig. 3.6: Parte interior del horno para la incineración de hojas de maíz, base contenedora, y orificios para ventilación.

Se agruparon paquetes de hojas secas (fig.3.7), los cuales al pesarlos estuvieron entre 3Kg a 4Kg, considerando la capacidad del horno.



Fig. 3.7: Paquete de hojas de maíz a incinerar, entre 3 Kg y 4 Kg.



Fig. 3.8: Alcohol isopropílico, usado como único combustible en el proceso de incineración.

Se realizó un proceso repetitivo y continuo de incineración, el cual consistió en introducir el paquete de hojas secas en el contenedor del horno (Fig. 3.9), rociarlo con 200ml de alcohol, tapan el horno y encender el paquete; desde ese instante comienza el proceso de combustión (Fig. 3.10), el cual se daba por concluido luego de 10 minutos, durante ésta etapa se realizaba la oxigenación asistida del material en combustión, lo cual se lograba de dos maneras, al introducir una barra de acero por un orificio del contenedor y oscilándola, también al sacudir hacia a delante y atrás el horno, de ambas formas se genera el movimiento del material y en consecuencia su oxigenación, esto permitió la aceleración del proceso de combustión, lo que garantizó una rápida eliminación de toda la materia orgánica y la activación de la capacidad de reacción con la cal hidratada para el momento de la mezcla.



Fig. 3.9: Introducción del paquete de hojas de maíz secas en el contenedor de horno.



Fig. 3.10: Proceso de combustión tiempo aproximado de duración 10 minutos.

La oxigenación también juega un papel importante tanto en el proceso de combustión del material, como en el de enfriamiento de la ceniza, debido a que su aplicación genera una ceniza más blanquecina, lo cual se toma como un índice de contenido de carbón, éste indicador será menor mientras la ceniza tienda al color blanco.

El proceso se repitió 20 veces, se incineró un total de 72 Kgf de hojas de maíz, cuando la gaveta contenedora se colmaba de ceniza, se vaciaba en bandejas metálicas para su enfriamiento y se removía constantemente para oxigenar, una vez fría se almacenó en una bolsa plástica.

Se peso la ceniza obtenida, la cantidad fue de 6.1 Kgf, siendo esta un 8.33% del peso total de las hojas de maíz recolectadas.



Fig. 3.11: Extracción de la gaveta contenedora colmada de ceniza para se vaciada en bandejas.



Fig. 3.12: Enfriamiento y oxigenación de la ceniza en bandejas metálicas.

3.4. Molienda de la ceniza

La ceniza de la hoja de Maíz es un sustituto parcial del cemento Portland en las mezclas de concretos puzolánicos diseñadas en esta investigación, considerando esto, se procuró que el tamaño de las partículas de ambos materiales fuesen bastante similares, por lo menos un 90% de partículas alcanzaran un diámetro menor 75 micrómetros, lo cual se logro mediante un proceso de molienda de las hojas de maíz.

La molienda fue realizada en el laboratorio conjunto de: Geología y Minas, Fundición y Taller Mecánico, ubicado en la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de los Materiales, de la facultad de Ingeniería, UCV.

Equipos y materiales empleados en la molienda:

Balanza de 2 kgf (Fig.3.13).

Molino de bolas de 30 cm de diámetro y 30 cm de altura (Fig. 3.14), con 18kg de carga moledora conformada por esferas de acero de diversos diámetros (Fig. 3.15).

Bancada giratoria, velocidad de rotación de 1725 R.P.M. (Fig.3.16)



Fig.3.13: Balanza de 2 Kgf.



Fig. 3.14: Molino de bolas.



Fig. 3.15: Carga moledora, esferas de acero.



Fig. 3.16: Bancada giratoria.

Procedimiento:

Se pesó una muestra de 18 Kgf de carga moledora, seleccionando esferas de acero de diferentes tamaños, considerando que la carga de ceniza usada sería $1/6$ de la carga moledora (3 Kgf).

Se procedió al curado del barril y la carga moledora, utilizando vidrio como material corrosivo (Fig. 3.17), esto con la finalidad de limpiar y eliminar residuos e impurezas que puedan contaminar la ceniza.

Se introdujo en el barril 2 Kgf de vidrio y los 18 kgf de carga moledora (Fig. 3.18), no se consideró la relación de carga debido a que es solo para la el curado del equipo.



Fig. 3.17: Trozos de vidrio, material corrosivo para el curado del barril y esferas.



Fig. 3.18: Introducción en el barril de la carga moledora y el vidrio.

Se colocó en la bancada giratoria durante un tiempo de 10 min.

Se extrajo el contenido de vidrio del barril, ahora curado (Fig. 3.19).

Se limpió con una brocha el interior del barril y cada una de las esferas que conforman la carga moledora.

Se tomo una muestra de 3 Kgf de ceniza (1/6 de la carga moledora).

Se introdujo en el barril los 3 Kgf de ceniza y los 18 kgf de carga moledora, fue cerrado firmemente (Fig. 3.20) y posteriormente colocado en la bancada giratoria durante 1 hora.



Fig. 3.19. Extracción del vidrio del barril luego de su proceso de curado corrosivo.



Fig. 3.20: Cierre del barril conteniendo la ceniza y la carga moledora respectiva.

Se repitió el proceso, pero en esta ocasión con 3.1 Kg de ceniza y una carga moledora de 18.6 Kgf.

3.5. Medición de tamaño de partículas de la ceniza de hoja de maíz molida.

El tamaño de las partículas es un factor elemental, a fin de aumentar la reactividad puzolánica, en la medida en que las partículas de ceniza sean más finas se incrementa su superficie específica y tendrá más área en contacto con el hidróxido de calcio en la reacción de hidratación, de esta manera el sílice presente en las partículas de ceniza tendrá mayor oportunidad de reaccionar.

El objetivo fundamental del análisis de las partículas es, establecer relación de tamaño de las partículas del cemento Portland tipo I y La ceniza de hoja de maíz, la cual lo sustituirá parcialmente en las mezclas de concreto a realizar en éste proyecto, conociendo el uso que se le dará a la ceniza, se espera que el 90 % de a muestra estudiada obtenga un tamaño promedio

menor a 75 micrómetros, lo cual sería equivalente a un material pasante del tamiz # 200, esto basado en que el procedimiento de molienda empleado tiene previsto que el 96 % del material fuese pasante de dicho tamiz. Como lo establece Águila (1999).

La Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Central de Venezuela y su Laboratorio de Separaciones Mecánicas concedieron el uso de sus instalaciones y equipos para llevar a cabo la medición. El Equipo empleado en la determinación del tamaño de las partículas de las muestras de ceniza y de cemento fue el MASTERSIZER 2000 de MALVERN-INSTRUMENTS (Fig. 3.21). Utiliza la tecnología de difracción de luz para obtener tamaños de partícula en un rango de medida entre 0.02 y 2000 micras. El equipo antes mencionado está conectado a una unidad de dispersión llamada HYDRO 2000 S (Fig. 3.22), también de MALVERN-INSTRUMENTS, El cual permite el control del procedimiento a través de un computador



Fig. 3.21: Analizador de partículas MASTERSIZER 2000 de MALVERN-INSTRUMENTS. .

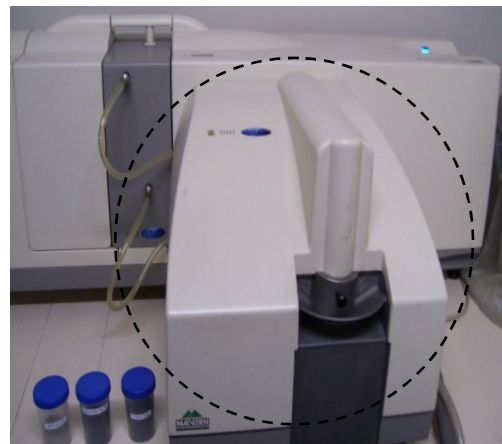


Fig. 3.22: HYDRO 2000 S, de MALVERN-INSTRUMENTS.

El uso de estos equipos es sencillo, ya que trabaja automáticamente, casi no requiere la asistencia del operador. Los equipos deben encenderse media hora antes de comenzar el análisis de las partículas.

La toma de las muestras analizadas se realizó directamente de los recipientes donde se encontraban almacenadas, no se considero método de cuarteo para su selección

El procedimiento es controlado por medio de un computador, mediante un programa informático llamado del mismo modo que el analizador de partículas MASTERSIZER 2000 (Fig. 3.25). Al ejecutar el programa, el mismo pide al operador que suministre el nombre de la muestra y algunas notas que considere conveniente en relación a la misma, pues esto se verá plasmado en la hoja de resultados que emite el programa.

La primera muestra estudiada fue de cemento Portland Tipo I, esto para establecer un patrón de comparación. Se procede generando mediante el computador una limpieza automática del equipo, adicionalmente el operador limpia la boquilla de introducción del material de la unidad de dispersión con agua destilada, a fin de eliminar cualquier residuo de partículas que pudiesen caer en la unidad de dispersión.

Se introduce la muestra en la unidad de dispersión, un volumen muy pequeño, pues así lo pide el sistema mediante el programa, el cual va generando una grafica de porcentaje en volumen de la muestra contra Tamaño de partículas, paralelamente un indicador de volumen al lado izquierdo de la pantalla indica la cantidad necesaria de muestra que se debe introducir. En la Fig. 3.25 Se observa dicho evento, en el indicador inicialmente se aprecian dos colores; Rojo y verde, al introducir la muestra en la unidad de difusión va apareciendo una franja azul, la cual ira en

incremento a medida que se va agregando material, esta franja debe sobrepasar por completo la franja roja y llegar hasta mediados de la franja verde, pues al lograrlo el programa indica que se puede proceder con el análisis de las partículas, al activarlo, genera los resultados automáticamente.



Fig. 3.23: Muestras de cemento Portland Tipo I, Ceniza seca y ceniza a temperatura ambiente.



Fig. 3.24: Introducción de la muestra en la unidad de dispersión.

El mismo procedimiento se repitió para la muestra de ceniza, se obtuvieron resultados y como no fueron los esperados se decidió realizar el proceso de molienda nuevamente a toda la ceniza, en esta ocasión durante media hora. Posteriormente, se realizó el análisis de partículas a la muestra nuevamente obteniendo resultados satisfactorios.

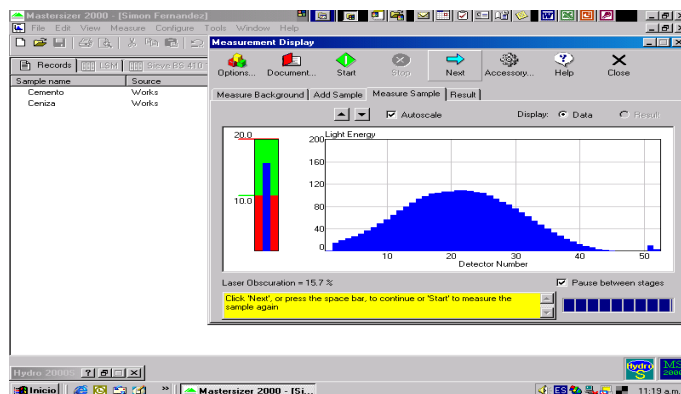


Fig. 3.25. Programa informático controlador del MASTERSIZER 2000, en proceso de operación.

3.6. Diseño de mezclas

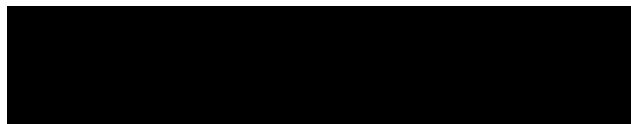
El diseño de mezclas es elemental para obtener una dosificación específica de cada uno de los componentes de mezcla. Los datos de entrada afectan y limitan los valores de algunas de las variables establecidas en él. Algunas de las condiciones de entrada son: 1. Condiciones ambientales y, particularmente, del lugar de la obra. 2. Tipo de obra, o parte de la estructura y sus dimensiones. 3. Tipo de agregados y tipo de Cemento. 4. Resistencia del diseño de mezcla o de algún dato relacionado. Estableciendo las condiciones de entrada para el diseño, se utilizó un método sencillo basado en el establecido por Porrero et al. (2004).

3.6.1. Parámetros de entrada

3.6.1.1. Tipo de agregados finos y gruesos

El agregado fino empleado fue arena natural y como grueso grava 1 ½", se realizó un control visual de agregados, no se hicieron ensayos de absorción, ni análisis granulométrico.

Tabla 3.1: Peso específico y tipos de agregados



donde: γ : Peso específico del agregado fino y grueso

3.6.1.2. Resistencia de diseño o de cálculo del concreto a compresión (f'_c ó R_{28}).

$$F'_c = 250\text{kgf/cm}^2$$

3.6.1.3. Asentamiento esperado (T).

$T = 8\text{cm}$ (usual en diseño para uso estructural)

3.6.1.4. Factor β , relación denota el contenido de arena en relación al agregado total. $A/(A+G)$.

$\beta = 0.4$ (usual cuando no se conoce granulometría de los agregados)

3.6.2. Resistencia promedio requerida (Fcr).

La Norma COVENIN 1753 establece valores promedios de resistencia requerida Fcr cuando no se dispone de datos para establecer la desviación estándar, mediante un incremento que considera el valor de la resistencia de diseño y el control de calidad.

Para valores de $f'c$ entre 210 Kgf/cm^2 y 350 Kgf/cm^2 , $Fcr = f'c + 95$

$$Fcr = 250 \text{ Kgf/cm}^2 + 95 \text{ Kgf/cm}^2 = 345 \text{ Kgf/cm}^2$$

3.6.3. Relación agua/cemento (α).

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

$$\alpha = 0,444$$

3.6.3.1. Correcciones a relación agua/cemento α

Tabla 3.2: correcciones a relación agua cemento



$$\alpha_c = \alpha \cdot Kr \cdot Ka$$

$$\alpha_c = 0,376$$

3.6.4. Dosis de Cemento (C)

El enunciado de la relación triangular propone para cemento Portland Tipo I se obtiene buenos ajustes con la ecuación:

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

$$C = 583 \text{ Kg/m}^3$$

3.6.4.1. Correcciones del cemento

Tabla 3.3: correcciones del cemento

$$C_c = C \cdot C_1 \cdot C_2$$

$$C_c = 521 \text{ Kg/m}^3$$

3.6.5. Cantidad de agua en la mezcla

$$a = \alpha_c \cdot C_c$$

$$a = 231 \text{ l/m}^3$$

3.6.6. Cantidad de agregados

Para la estimación de la cantidad de agregados se emplearon las siguientes formulas, donde se diseña en función de 1000 litros de mezcla:

Peso específico de la combinación de agregados:

$$= \dots \cdot (1 - \dots) + \dots$$

Cantidad total de agregados

$$+ = .1000 - 0.3 - -$$

Cantidad de agregado fino y grueso

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

$$A = 639 \text{ Kg/m}^3$$

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

$$G = 958 \text{ Kg/m}^3$$

3.6.7. Diseño de mezcla resultante

Los resultados del diseño para 1m³ de mezcla se resumen en la tabla 3.4

Tabla 3.4: Diseño resultante para 1m³ de mezcla

Componente	Peso (Kg/m ³)
Cemento	521
Agua	231
Agregado fino	639
Agregado grueso	958

Teniendo como limitante la cantidad de ceniza de hojas de maíz y los porcentajes de cemento a sustituir por la misma se obtuvo la siguiente dosificación para la mezcla patrón (M1).

Se realizaron 3 mezclas en las cuales se sustituyo 10 15 y 20 % de la dosis de cemento por ceniza de hoja de maíz, obteniendo:

Tabla 3.5: Dosificación usada en cada mezcla.

Mezcla	Cemento (Kg)	Ceniza (Kg)	a (lts)	Pf ^{SSS}	Pg ^{SSS}
M1 (Patrón)	13	0	4,9	16,0	23,9
M2 (10% ceniza)	11,7	1,3	4,9	16,0	23,9
M3 (15% ceniza)	11,1	1,95	4,9	16,0	23,9
M4 (20% ceniza)	10,4	2,60	4,9	16,0	23,9

3.7. Preparación de las mezclas

La preparación de las mezclas se realizó cumpliendo con la Norma Venezolana COVENIN 338 (2002) CONCRETO. MÉTODO PARA LA ELABORACIÓN, CURADO Y ENSAYO DE CILINDROS DE CONCRETO. En la misma se muestra el siguiente procedimiento:

3.7.1. Preparación del molde

- 3.7.1.1. 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.
- 3.7.1.2. Se deben evitar las pérdidas de agua. Las zonas de contacto entre molde y base se deben sellar con una mezcla de parafina y cera virgen, que trabaje a temperatura ambiente, o algún otro material que no afecta la resistencia del concreto.

3.7.2. Preparación del cilindro

3.7.3. Sitio de moldeo

Las probetas deben moldearse en el lugar donde se almacenarán durante las primeras 20 horas.

3.7.4. Método para la medición de asentamiento con el cono de Abrams

- 3.7.4.1. 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. Estos volúmenes corresponden respectivamente a las alturas de 6.5 cm y 15 cm a partir de la base.
- 3.7.4.2. Cada capa se compacta con 25 golpes de la barra compactadora, distribuidos uniformemente en toda la sección transversal. Para la capa interior es necesario inclina 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 un espesor respectivo de modo que la barra penetre ligeramente en la capa intermedia inferior.
- 3.7.4.3. El molde se llena por exceso antes de compactar la última capa. Si después de compactar, el concreto se asienta por debajo de 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 aproximada de 5 a 10 segundos.
- 3.7.4.4. La operación completa desde que se comienza a llenar el molde hasta que se retira, debe hacerse sin interrupción y en un tiempo máximo de 1 min 30 s.

- 3.7.4.5. 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.
- 3.7.4.6. 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.
- 3.7.4.7. Si dos ensayos consecutivos sobre la misma mezcla de concreto arrojan el resultado descrito en 3.7.4.6. el concreto probablemente carece de plasticidad y cohesión necesaria para la validez del ensayo.

3.7.5. Vaciado

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.

3.7.6. Compactación con barra

El concreto se coloca en el molde en tres capas de igual volumen aproximadamente. Cada capa debe compactarse con el número de golpes que se indica en la tabla 3.6, para lo cual se utiliza la barra compactadora. Los golpes deben distribuirse uniformemente en toda la sección transversal del molde. La capa del fondo debe compactarse en toda su profundidad.

Cuando se compacta la parte intermedia superior, la barra debe penetrar aproximadamente de 20 a 30 mm en la capa intermedia inferior. Si al retirar la barra quedan huecos en el cilindro, éstos se deben cerrar golpeando suavemente las paredes del molde.

Tabla. 3.6: Compactación

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

3.7.7. Enrase

Después de compactar el concreto, por el método de la barra o mediante en vibrador, debe enrasarse la probeta con la barra o con la cuchara de albañilería, de manera que la superficie quede perfectamente lisa y al ras con el borde del molde. Aún cuando las superficies vayan a ser posteriormente rematadas no deben hacerse marcas grabadas sobre ella.

3.7.8. Curado de los cilindros

3.7.8.1. Una vez elaboradas las probetas deben protegerse de la pérdida de agua por evaporación cubriéndolas adecuadamente con un material impermeable y a menos que se especifiquen otras condiciones debe almacenarse a una temperatura ambiente a la sombra. Los moldes deben mantenerse en una superficie horizontal rígida libre de vibraciones y otras perturbaciones.

3.7.8.2. Las probetas deben retirarse de los moldes en un lapso de tiempo comprendido entre 20 y 48 horas, después de su elaboración y se almacenaran hasta el momento de ensayo en cualquiera de los siguientes ambientes:

- a) Directamente bajo agua saturada de cal.

- b) Arena limpia y saturada constantemente de agua.
- c) Cámara húmeda, con una humedad relativa entre 90 y 100%.

3.8. Ensayos de resistencia a compresión (Según Norma Venezolana COVENIN 338):

3.8.1. Preparación de la muestra

- 3.8.1.1. 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.
- 3.8.1.2. 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.
- 3.8.1.3. Los cilindros se deben ensayar a la edad prevista, con una tolerancia de $\pm t/14$.

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

- 3.8.1.4. 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.
- 3.8.1.5. La altura del cilindro se determina después de ser rematadas sus caras. La altura se aproxima al milímetro más cercano.

3.8.2. Procedimiento

- 3.8.2.1. Los cilindros se colocan en la máquina de ensayo, se centran cuidadosamente y se comprimen. Tanto las superficies rematadas de los cilindros, como los platos de la máquina

deben estar exentos de polvo, grasa y de cualquier otro material extraño.

- 3.8.2.2. 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 a una tasa constante dentro del rango de 1,4 kgf/cm²/seg. a 3,5 kgf/cm²/seg. Durante la aplicación de la primera mitad de la presión, se permite incrementar dicha tasa.



Fig. 3.26: Colocación de cilindros en la máquina de ensayo.

3.8.3. Expresión de resultados.

- 3.8.3.1. La resistencia a compresión de cada cilindro se calcula por la siguiente formula:

$$R_c = P/A$$

Donde:

R_c = Resistencia a compresión, kgf

P = Carga máxima aplicada, kgf

$A = \text{Área de la sección transversal del cilindro cm}^2$

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



Fig. 3.27: Probeta cilíndrica ensayada

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Tabla 4.1: Diseño de mezcla patrón (M1)

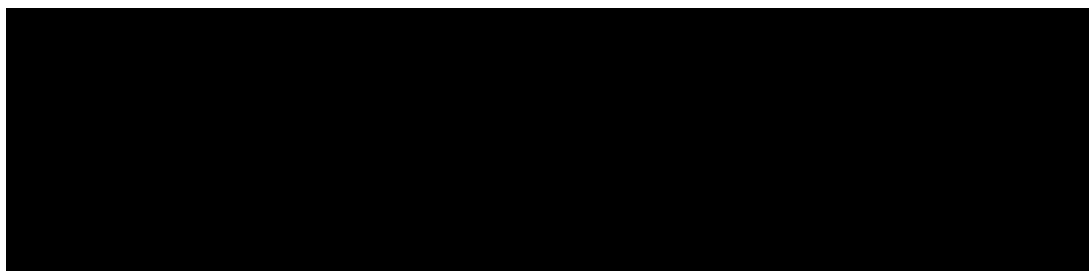


Tabla 4.2: Dosis de cada componente usado en la mezcla sustituyendo 10% de cemento Portland por ceniza de hoja de maíz (M2)

Componente	Dosis usada en la mezcla
Cemento	11,70 kg
Ceniza de hoja de maíz	1,30 kg
Agua	4,90 lts
Arena	16 kg
Piedra picada	23,90 kg

Tabla 4.3: Dosis de cada componente usado en la mezcla sustituyendo 15% de cemento Portland por ceniza de hoja de maíz (M3)

Componente	Dosis usada en la mezcla
Cemento	11,05 kg
Ceniza de hoja de maíz	1,95 kg
Agua	4,90 lts
Arena	16 kg
Piedra picada	23,90 kg

Tabla 4.4: Dosis de cada componente usado en la mezcla sustituyendo 20% de cemento Portland por ceniza de hoja de maíz (M4)

Componente	Dosis usada en la mezcla
Cemento	10,40 kg
Ceniza de hoja de maíz	2,60 kg
Agua	4,90 lts
Arena	16 kg
Piedra picada	23,90 kg

Tabla 4.5: Asentamiento obtenido en las mezclas, mediante el ensayo del cono de Abrams.

Mezcla	Asentamiento (cm)
M1 (Patrón)	9
M2 (10% ceniza)	7,5
M3 (15% ceniza)	4
M4 (20% ceniza)	3

LABORATORIO DE SEPARACIONES MECÁNICAS
 ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
 UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA



Reporte de Resultados

Nombre de Muestra: Cemento SOP Usado: Fecha y Hora: 24 Mar 2009 10:04:06

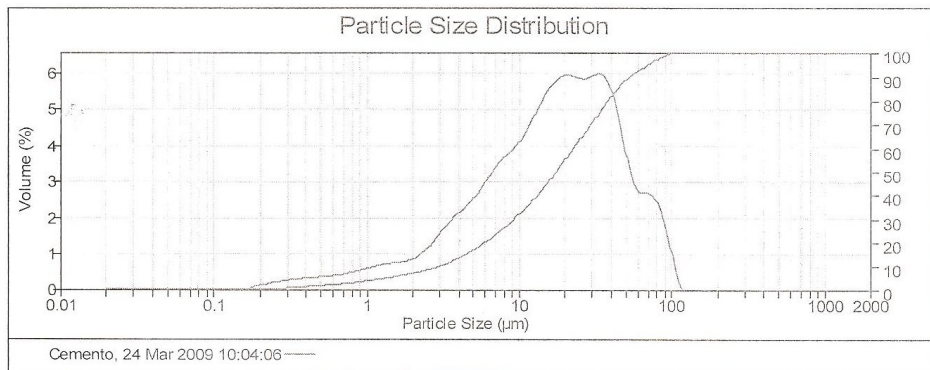
Medidas realizada: 1 Realizada por: Diana

Nombre de la Partícula: Fraunhofer Oscuración: 11.71 %
 Partícula RI: 0.000 Absorción: 0 Modelo de Analisis: Single narrow mode Desviación: 0.324 %
 Nombre del Dispersante: Water Rango de medida: 0.020 a 2000.000 um
 Dispersante RI: 1.330

Concentración: 0.0099 %Vol Diámetro Medio de Volumen Proyectado D[4,3]: 24.148 um
 Area Superficial Especifica: 1.07713 m²/g Diámetro Medio de Superficie Proyectada D[3,2]: 5.570 um

Unidades del Resultado: Volume

d(0.1): 3.105 um d(0.5): 17.781 um d(0.9): 54.485 um

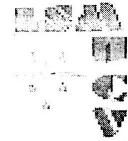


Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.45	7.095	2.64	50.238	2.51	355.656	0.00
0.022	0.00	0.158	0.02	1.125	0.49	7.992	2.80	56.368	2.08	399.053	0.00
0.025	0.00	0.178	0.06	1.262	0.52	8.934	2.95	63.246	1.99	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.10	1.416	0.55	10.024	3.16	70.933	1.97	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.13	1.589	0.57	11.247	3.44	79.621	1.69	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.17	1.783	0.60	12.619	3.76	89.337	1.15	632.456	0.00
0.040	0.00	0.282	0.19	2.000	0.68	14.159	4.04	100.237	0.45	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.21	2.244	0.77	15.887	4.28	112.468	0.00	796.214	0.00
0.050	0.00	0.358	0.23	2.518	0.93	17.825	4.40	126.192	0.00	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.24	2.825	1.12	20.000	4.44	141.589	0.00	1002.375	0.00
0.063	0.00	0.448	0.25	3.170	1.32	22.440	4.41	158.686	0.00	1124.693	0.00
0.071	0.00	0.502	0.26	3.557	1.49	25.179	4.37	179.250	0.00	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.28	3.990	1.64	28.251	4.41	200.000	0.00	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.30	4.477	1.78	31.698	4.47	224.404	0.00	1588.657	0.00
0.100	0.00	0.710	0.33	5.024	1.97	35.566	4.37	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.113	0.00	0.796	0.37	5.637	2.19	39.905	3.95	282.507	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.41	6.325	2.44	44.774	3.25	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.41	7.095	2.44	50.238	3.25	355.656	0.00		

Notas del Operador: Muestra patron

Fig. 4.1: Análisis físico del cemento Portland en el Mastersizer 2000.

LABORATORIO DE SEPARACIONES MECÁNICAS
 ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
 UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA



Reporte de Resultados

Nombre de Muestra: Ceniza 75 SOP Usado: Fecha y Hora: 26 Mar 2009 11:1

Medidas realizada: Realizada por: Diana Hidalgo

Nombre de la Partícula: Fraunhofer Oscuración: 15.70 %

Partícula RI: 0.000 Absorción: 0 Modelo de Analisis: Single narrow mode Desviación: 0.456 %

Nombre del Dispersante: Water Rango de medida: 0.020 a 2000.000 um

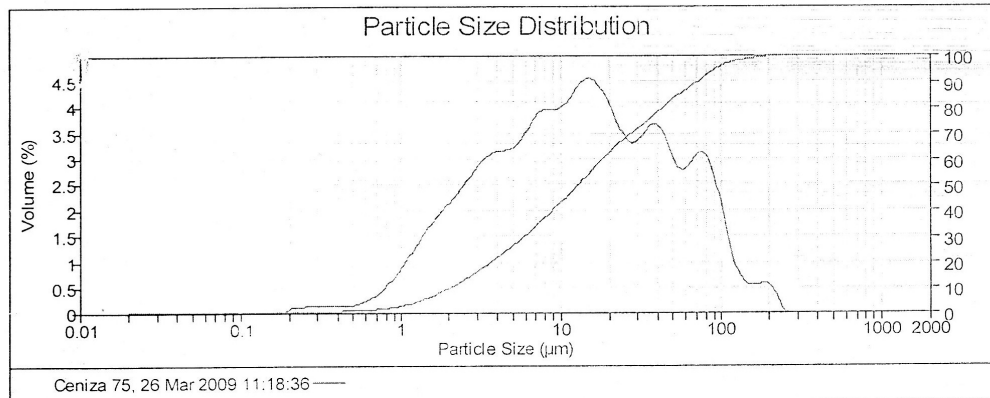
Dispersante RI: 1.330

Concentración: 0.0127 %Vol Diámetro Medio de Volumen Proyectado D[4,3]: 26.793 um

Area Superficial Especifica: 1.14826 m²/g Diámetro Medio de Superficie Proyectada D[3,2]: 5.225 um

Unidades del Resultado: Volume

d(0.1): 2.113 um d(0.5): 13.189 um d(0.9): 73.212 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.032	0.72	7.095	2.92	50.238	2.14	355.656	0.0
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.89	7.982	2.96	56.363	2.07	399.053	0.0
0.025	0.00	0.178	0.01	1.262	1.05	8.934	2.95	63.246	2.21	447.744	0.0
0.028	0.00	0.200	0.01	1.418	1.23	10.024	3.01	70.993	2.33	502.377	0.0
0.031	0.00	0.224	0.01	1.589	1.37	11.247	3.17	79.621	2.21	563.677	0.0
0.036	0.00	0.252	0.02	1.783	1.51	12.619	3.33	89.337	1.83	632.456	0.0
0.040	0.00	0.282	0.02	2.000	1.64	14.159	3.40	100.237	1.29	709.627	0.0
0.045	0.00	0.317	0.02	2.244	1.78	15.867	3.34	112.463	0.78	796.214	0.0
0.050	0.00	0.356	0.02	2.518	1.93	17.825	3.17	125.192	0.50	893.367	0.0
0.056	0.00	0.399	0.02	2.825	2.10	20.000	2.92	141.589	0.40	1002.375	0.0
0.063	0.00	0.446	0.02	3.170	2.24	22.440	2.65	156.865	0.40	1124.683	0.0
0.071	0.00	0.502	0.02	3.597	2.32	25.179	2.48	178.250	0.43	1261.915	0.0
0.080	0.00	0.564	0.02	3.992	2.35	28.251	2.48	200.000	0.38	1415.892	0.0
0.089	0.00	0.632	0.02	4.477	2.36	31.693	2.62	224.404	0.09	1598.657	0.0
0.100	0.00	0.710	0.02	5.024	2.43	35.536	2.74	251.785	0.00	1792.502	0.0
0.113	0.00	0.793	0.02	5.637	2.56	39.505	2.68	282.507	0.00	2000.000	0.0
0.126	0.00	0.883	0.02	6.328	2.78	44.774	2.41	313.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.02	7.233		50.238		355.656	0.00		

Notas del Operador: Ceniza seca molida nuevamente

Fig. 4.2: Análisis físico de la ceniza de hoja de maíz en el Mastersizer 2000.

Tabla 4.6: Comparación de resultados del análisis físico de las muestras de cemento Portland y ceniza de hoja de maíz molida durante 1 hora y 1,5 horas.

Análisis físico	Muestra		
	Cemento	Ceniza con 1 hora de molienda	Ceniza con 1,5 horas de molienda
Concentración (%Vol.)	0,0099	0,0128	0,0127
Área superficial específica (m ² /g)	1,07713	0,903044	1,14526
Diámetro medio del volumen proyectado (µm)	24,148	35,747	25,793
Diámetro medio de superficie proyectada (µm)	5,570	6,644	5,225
d(0,1): Diámetro medio del 10% de la muestra (µm)	3,105	2,733	2,113
d(0,5): Diámetro medio del 50% de la muestra (µm)	17,781	18,003	13,189
d(0,9): Diámetro medio del 90% de la muestra (µm)	54,485	93,303	73,212

Tabla 4.7: Peso unitario suelto y compactado

Dimensiones y capacidad del recipiente		Altura interior (cm)	Diámetro interior (cm)	Volumen (m ³)
		27,94	25,40	0,0142
Mezcla	Peso Suelto (Kgf)	Densidad (Kgf/m ³)	Peso compactado (Kgf)	Densidad (Kgf/m ³)
M1 (Patrón)	31,800	2246,174	32,650	2306,213
M2 (10% ceniza)	31,500	2224,984	32,900	2323,872
M3 (15% ceniza)	30,250	2136,691	32,950	2327,404
M4 (20% ceniza)	29,900	2111,969	33,150	2341,530

Tabla 4.8: Densidad en probetas producto de la mezcla patrón M1.

Cilindro	Peso promedio (Kg)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área Promedio (m ²)	Volumen (m ³)	Densidad (Kg/m ³)
M1-A	12,591	14,97	30,80	0,018	0,005	2323,643
M1-B	12,590	14,97	31,50	0,018	0,006	2269,804
M1-C	12,728	14,95	31,00	0,018	0,005	2338,978
M1-D	12,670	14,87	31,70	0,017	0,006	2302,503
M1-E	12,670	14,92	30,10	0,017	0,005	2406,515
Densidad promedio						2328,289

Tabla 4.9: Densidad en probetas producto de la mezcla M2.

Cilindro	Peso promedio (Kg)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área Promedio (m ²)	Volumen (m ³)	Densidad (Kg/m ³)
M2-A	12,529	14,85	30,50	0,017	0,005	2370,712
M2-B	12,622	14,90	30,40	0,017	0,005	2380,115
M2-C	12,459	14,96	31,00	0,018	0,005	2287,505
M2-D	12,602	15,02	31,06	0,018	0,006	2290,873
M2-E	12,575	14,93	30,05	0,018	0,005	2390,309
Densidad promedio						2343,903

Tabla 4.10: Densidad en probetas producto de la mezcla M3.

Cilindro	Peso promedio (Kg)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área Promedio (m ²)	Volumen (m ³)	Densidad (Kg/m ³)
M3-A	12,402	14,84	30,30	0,017	0,005	2365,355
M3-B	12,518	14,92	30,60	0,017	0,005	2338,794
M3-C	12,55	14,85	30,03	0,017	0,005	2412,935
M3-D	12,553	14,93	30,08	0,018	0,005	2382,683
M3-E	12,521	14,89	31,00	0,017	0,005	2318,481
Densidad promedio						2363,650

Tabla 4.11: Densidad en probetas producto de la mezcla M4.

Cilindro	Peso promedio (Kg)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área Promedio (m ²)	Volumen (m ³)	Densidad (Kg/m ³)
M4-A	12,434	14,80	31,00	0,017	0,005	2331,502
M4-B	12,52	14,92	30,06	0,017	0,005	2381,189
M4-C	12,394	14,93	30,04	0,018	0,005	2356,688
M4-D	12,577	14,94	31,40	0,018	0,006	2285,863
M4-E	12,436	14,88	29,98	0,017	0,005	2384,288
Densidad promedio						2347,906

Tabla 4.12: Tensión resultante en probetas producto de la patrón M1.

Cilindro	Fecha de elaboración	Peso promedio (Kgf)	Diámetro promedio (cm)	Área Promedio (cm ²)	Altura promedio (cm)	Carga máx. (Kgf)	Tensión (Kgf/cm ²)	Edad de ensayo (días)
M1-A	01/04/2009	12,591	14,97	175,93	30,80	58600	333	14
M1-B	01/04/2009	12,590	14,97	176,09	31,50	57400	326	14
M1-C	01/04/2009	12,728	14,95	175,54	31,00	63800	363	28
M1-D	01/04/2009	12,670	14,87	173,59	31,70	53600	309	28
M1-E	01/04/2009	12,670	14,92	174,91	30,10	65000	372	28

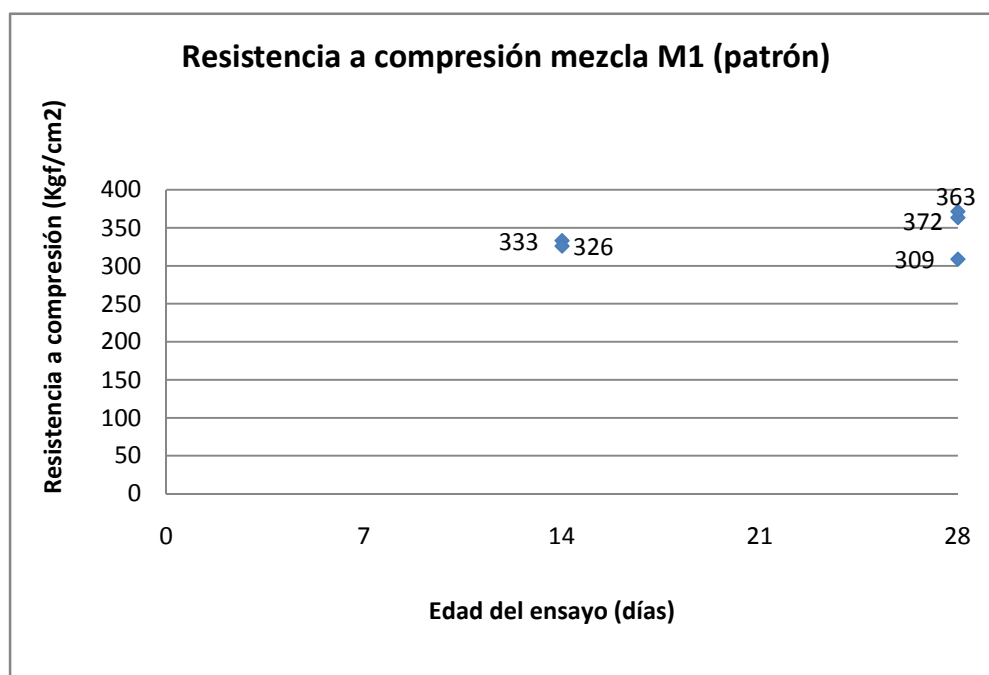


Gráfico 4.1: Resistencia a compresión Vs. Edad de ensayo para la mezcla M1

Tabla 4.13: Tensión resultante en probetas producto de la mezcla M2.

Cilindro	Fecha de elaboración	Peso promedio (Kgf)	Diámetro promedio (cm)	Área Promedio (cm ²)	Altura promedio (cm)	Carga máx. (Kgf)	Tensión (Kgf/cm ²)	Edad de ensayo (días)
M2-A	01/04/2009	12,529	14,85	173,28	30,50	53600	309	14
M2-B	01/04/2009	12,622	14,90	174,44	30,40	44400	255	14
M2-C	01/04/2009	12,459	14,96	175,70	31,00	62600	356	28
M2-D	01/04/2009	12,602	15,02	177,11	31,06	57800	326	28
M2-E	01/04/2009	12,575	14,93	175,07	30,05	65400	374	28

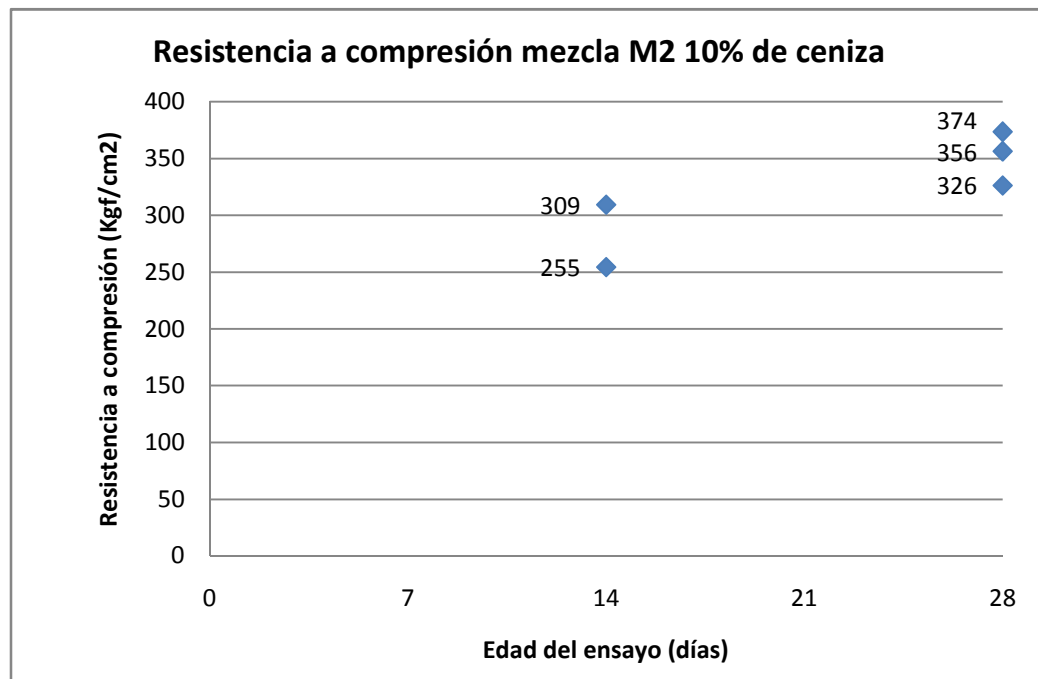


Gráfico 4.2: Resistencia a compresión Vs. Edad de ensayo para la mezcla M2

Tabla 4.14: Tensión resultante en probetas producto de la mezcla M3.

Cilindro	Fecha de elaboración	Peso promedio (Kgf)	Diámetro promedio (cm)	Área Promedio (cm ²)	Altura promedio (cm)	Carga máx. (Kgf)	Tensión (Kgf/cm ²)	Edad de ensayo (días)
M3-A	01/04/2009	12,402	14,84	173,04	30,30	54800	317	14
M3-B	01/04/2009	12,518	14,92	174,91	30,60	53800	308	14
M3-C	01/04/2009	12,55	14,85	173,20	30,03	59800	345	28
M3-D	01/04/2009	12,553	14,93	175,15	30,08	58400	333	28
M3-E	01/04/2009	12,521	14,89	174,21	31,00	60000	344	28

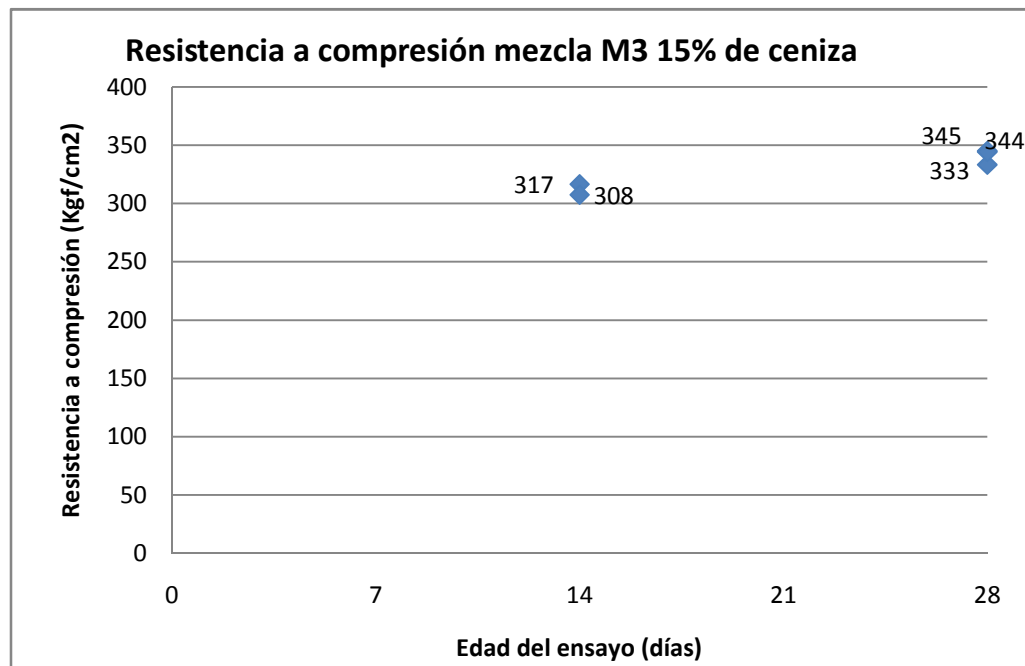


Gráfico 4.3: Resistencia a compresión Vs. Edad de ensayo para la mezcla M3.

Tabla 4.15: Tensión resultante de probetas producto de la mezcla M4.

Cilindro	Fecha de elaboración	Peso promedio (Kgf)	Diámetro promedio (cm)	Área Promedio (cm ²)	Altura promedio (cm)	Carga máx. (Kgf)	Tensión (Kgf/cm ²)	Edad de ensayo (días)
M4-A	16/04/2009	12,434	14,80	172,03	31,00	52000	302	14
M4-B	16/04/2009	12,52	14,92	174,91	30,06	51400	294	14
M4-C	16/04/2009	12,394	14,93	175,07	30,04	54000	308	28
M4-D	16/04/2009	12,577	14,94	175,23	31,40	55000	314	28
M4-E	16/04/2009	12,436	14,88	173,98	29,98	55200	317	28

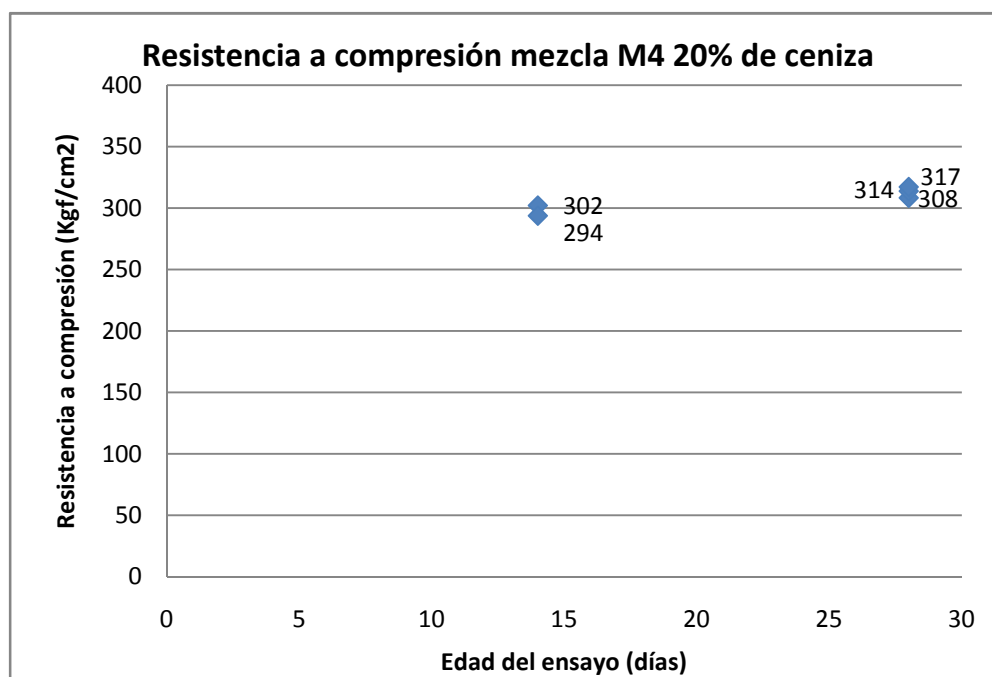


Gráfico 4.4: Resistencia a compresión Vs. Edad de ensayo para la mezcla M4

Tabla 4.16: Resistencia a compresión media, obtenida en los ensayos a los 14 y a los 28 días

Mezcla	Resistencia media a los	
	14 días	28 días
M1 (Patrón)	340	348
M2 (10% ceniza)	350	352
M3 (15% ceniza)	339	341
M4 (20% ceniza)	316	313

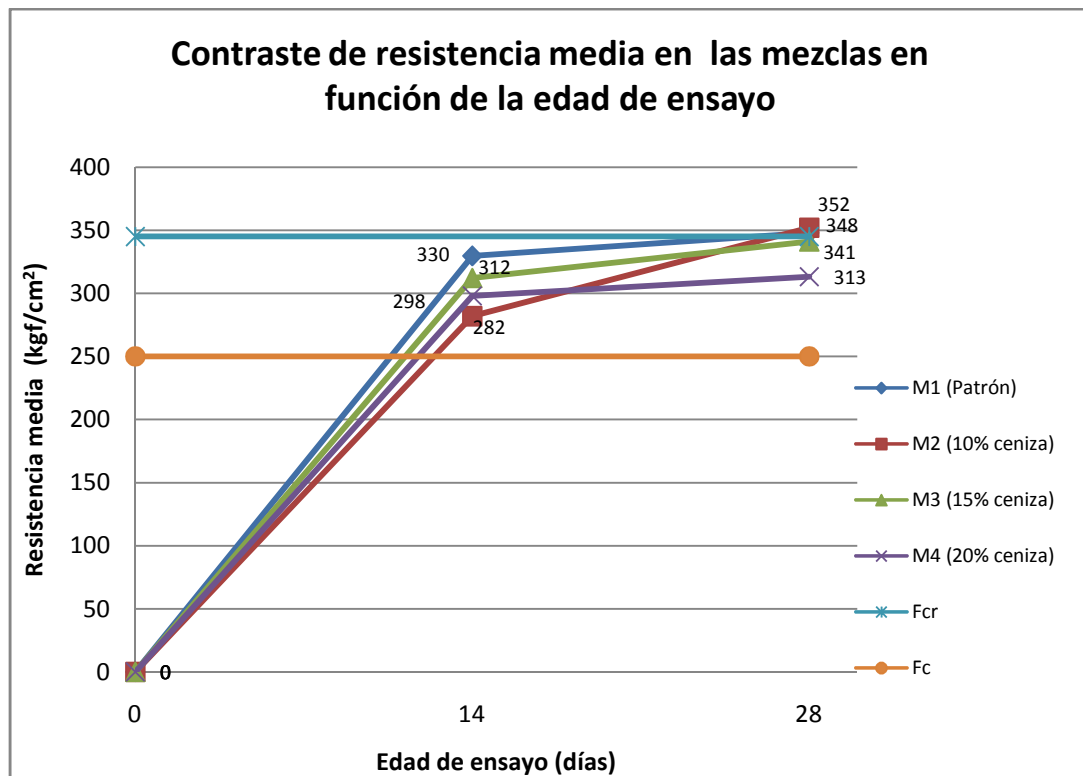


Gráfico 4.5: Contraste de tendencia de resistencia media a compresión en función de la edad de ensayo en cada una de las mezclas.

Tabla 4.17: Índice de actividad puzolánica

Mezcla	Resistencia media a los 28 días	Índice de actividad puzolánica
M1 (Patrón)	348	-
M2 (10% ceniza)	352	1,01
M3 (15% ceniza)	341	0,98
M4 (20% ceniza)	313	0,90

Tabla 4.18: Porcentaje de resistencia a compresión alcanzado en los ensayos a los 14 días, respecto a F_{cr} y a la resistencia alcanzada por los ensayo a los 28 días.

Cilindro	Esfuerzo 14 días (Kgf/cm ²)	$R_{(14)}$	% de Res. Respecto a F_{cr} 345Kgf/cm ²	$R_{(28)}$	% de Res. Respecto a $R_{(28)}$
M1-A	333	330	96	348	95
M1-B	326				
M2-A	309	282	82	352	80
M2-B	255				
M3-A	317	312	90	341	92
M3-B	308				
M4-A	302	298	86	313	95
M4-B	294				

Tipos de falla obtenidas



Fig. 4.3: Falla a compresión



Fig. 4.5: Falla por corte



Fig. 4.4: Falla a compresión



Fig. 4.6: Falla por corte

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Incineración de las hojas de maíz

Con la tecnología desarrollada para llevar a cabo una combustión semicontrolada de las hojas de maíz se obtuvo una buena aproximación a las condiciones que se requieren para transformar este residuo agrícola en ceniza. El diseño del horno de incineración fue el mecanismo principal que permitió lograr esta actividad exitosamente.

En el contenido de ceniza obtenida se observó el predominio de tres colores negro, gris y blanco; siendo más abundantes el gris y el blanco lo cual indica bajo contenido de carbón en la ceniza y buena actividad puzolánica.

5.2. Molienda de la ceniza

La realización de la molienda permitió obtener un polvillo con un aspecto semejante al del cemento Portland, tanto visualmente como al tacto, estos aspectos de caracterización de las partículas sólo fueron referenciales, ya que el parámetro decisivo para determinar si en la molienda se obtuvieron los resultados adecuados de tamaño de partículas se verificaría posteriormente con el analizador de partículas Mastersizer 2000, tal y como ocurrió; la ceniza sometida al proceso de molienda durante 1 hora no cumplió con los parámetros establecidos en el análisis físico, el cual estaba fundamentado principalmente en la obtención de una muestra de ceniza donde más del 90% de su contenido fuesen partículas con diámetro medio menor a 75 μ m.

Fue necesario realizar un segundo proceso de molienda del material, en el cual se considero un tiempo de duración de 30 min. En esta ocasión el análisis visual y de tacto fue comparado tanto con el cemento Portland como con la ceniza molida durante una hora en el proceso previo. El resultado fue una mayor semejanza entre la muestra de ceniza molida durante 1,5 horas y el cemento portland.

5.3. Análisis de tamaño de partículas en las muestras de ceniza y de cemento Portland

El analizador de partículas Mastersizer 2000 proporciona resultados del análisis físico de una muestra mediante el empleo de tecnología de difracción de luz (laser). Es importante destacar que los resultados obtenidos con la aplicación de esta tecnología no considera la absorción de agua por parte de la muestra estudiada, por lo cual se presume que los resultados del análisis pudieron verse afectados.

En los reportes emitidos por el analizador de partículas Mastersizer 2000 se observa una grafica de distribución de tamaño de partículas en relación al volumen de la muestra estudiada. En dichos gráficos son apreciables dos características importantes, una de ellas es el rango, el cual nos proporciona el intervalo de tamaño de partículas dentro del cual estuvo la muestra estudiada, en la medida en la que el rango sea más pequeño se aprecia en la muestra una mejor distribución en el tamaño de las partículas; la otra características es la presencia de picos, la presencia de un pico pronunciado en la grafica indica una mayor uniformidad en el tamaño de las muestra, así mismo, la presencia de 2, 3 o más picos pronunciados indican menor uniformidad en la muestra.

El rango de tamaño de partículas para el cemento estuvo entre 0,18 μm y 120,00 μm , así mismo, para la muestra de ceniza se apreció un rango entre 0,20 μm y 250,00 μm . El rango en la ceniza prácticamente duplica al de la muestra de cemento, sin embargo el volumen de la muestra de ceniza que estuvo en el intervalo de 150,00 μm a 250,00 μm es despreciable respecto el volumen total como se aprecia en la grafica, indicando que la parte representativa de la muestra de ceniza esta compuesta por partícula con un rango entre 0,20 μm y 150,00 μm , con lo cual refleja una estrecha similitud entre los resultados de este parámetro de medición.

En la grafica de distribución de partículas para el cemento es notable la tendencia a un solo pico, con lo cual se deduce que es un material muy uniforme en la distribución de tamaño de sus partículas, esto es perfectamente razonable debido a que la pulverización de este material se realiza por procedimientos industrializados. Para el caso de la ceniza se aprecia la formación de tres picos en la curva con lo cual indica que esta muestra es poco uniforme.

En relación al diámetro promedio de partículas vinculado al volumen de muestra estudiado, apreciada en las gráficas por una serie con doble curvatura, ver (fig: 4.1 y fig 4.2), se dieron resultados muy similares, el análisis muestra específicamente valores promedios para el 10, 50 y 90 % de las muestras con lo cual se deduce lo siguiente:

El 10 % de las partículas de cemento Portland presento un diámetro promedio de 3,105 μm mientras que para las partículas de ceniza este valor fue de 2,113 μm , valores muy cercanos para ambas muestras.

El 50 % de las partículas de cemento Portland presento un diámetro promedio de 17,781 μm , para la muestra de ceniza este valor fue de 13,189

μm , esto es muy favorable ya que a menor tamaño de partícula la ceniza presenta mayor reactividad puzolánica.

El 90 % de las partículas de cemento Portland presento un diámetro promedio de 54,485 μm mientras que para la ceniza este valor fue de 73,212 μm , en este parámetro fue mas notable la diferencia entre los valores de ambas muestras, sin embargo para la ceniza resulta un valor aceptable, debido a que para los efectos de este trabajo especial de grado se propuso obtener un diámetro promedio de tamaño de partículas menor a 75 μm . Buscando la mayor similitud posible con las partículas de cemento Portland y considerando que el proceso de molienda de la ceniza se realizó con el empleo de un molino de bolas de laboratorio y no de forma industrializada como en el caso del cemento Portland. Cabe destacar que este parámetro fue decisivo para considerar aceptable el ensayo, al realizar el análisis a una muestra de ceniza que fue sometida a un proceso de molienda con una hora de duración, el valor obtenido fue de 93,303 μm , lo que origino que se realizara un nuevo proceso de molienda de dicho material con el cual se logro un valor adecuado.

En relación al área superficial específica, parámetro que influye directamente en la capacidad de interacción química, la muestra de cemento presento un valor de 1,07713 m^2/g y la muestra de ceniza 1,14826 m^2/g . Los valores estuvieron muy cercanos, cuando las partículas son más pequeñas presentan mayor área y son mucho más reactivas, el resultado obtenido es favorable indican que para las muestras analizadas las partículas de ceniza tendrán una buena capacidad de reacción.

El diámetro medio del volumen proyectado y el diámetro medio de superficie proyectada son parámetros provenientes de la distribución del

volumen generada a través de los datos analizados. Para el análisis de la muestra de cemento el diámetro medio del volumen proyectado de la muestra fue de 24,148 μm mientras que para la muestra de ceniza fue de 26,793 μm , El diámetro medio de superficie proyectada para la muestra de cemento fue de 5,570 μm así mismo para muestra de ceniza fue de 5,225 μm . Estos parámetros son análogos, se vinculan directamente a la ubicación del centro de gravedad de las partículas. Ambas muestras obtuvieron diámetros medios similares.

5.4. Peso unitario suelto y compactado en las mezclas en estado fresco

El valor de peso unitario suelto para cada una de las mezclas se vio disminuido respecto al peso unitario suelto de la mezcla patrón, en la medida en que se incrementó el porcentaje de cemento a sustituir por ceniza portland. En este sentido, se percibió una disminución de la fluidez de las mezclas con lo adición de ceniza. Para el peso unitario compactado resulto igual, por tanto la compactación se realizo de forma correcta.

5.5. Ensayo de medición del asentamiento con el cono de Abrams

El diseño de la mezcla patrón M1 fue realizado esperando un asentamiento de 8 cm, en la práctica ésta mezcla presento un asentamiento de 9,0 cm, una mezcla fluida y con buena trabajabilidad, lo que facilito el proceso de colocación en los moldes y una adecuada compactación.

En la mezcla M2, donde se sustituyo un 10 % del cemento por ceniza se obtuvo un asentamiento de 7,5 cm, la disminución del asentamiento respecto al de la mezcla patrón se atribuye a que hubo mayor absorción de agua por parte de la ceniza añadida. La fluidez de esta mezcla a pesar de ser menor a la de M1 fue buena.

Para las mezclas M3 (15 % de sustitución) y M4 (20 % de sustitución) se obtuvieron valores de 4 cm y 3 cm de asentamiento respectivamente, lo que verifica la hipótesis de que la ceniza tiene una alta capacidad de absorción. En estas mezclas se percibió una disminución de la fluidez y la trabajabilidad, lo que dificultó su colocación en moldes, el proceso de compactación y enraizado.

5.6. Densidad promedio de las mezclas en estado endurecido

La densidad media de la mezcla patrón M1 en estado endurecido fue de 2328,289; las mezclas con contenido de ceniza presentaron un leve incremento en su densidad media, en la mezcla M2 la densidad fue de 2343,903 lo que significó un incremento de 0,67 % respecto a la mezcla M1. La mezcla M3 obtuvo una densidad media de 2363,650, 1,52% más alta que en la mezcla patrón. La mezcla M4 obtuvo una densidad media de 2347,906, 0.84% más alta que en la mezcla patrón. Estas variaciones no son significativas sus valores muestran que la densidad de las mezclas fue bastante similar, basado en esto se deduce que el proceso de compactación realizado fue bueno.

5.7. Ensayos de resistencia a compresión

La resistencia promedio obtenida en la mezcla patrón M1a los 28 días fue de 348 kgf/cm², resultado muy cercano al valor obtenido en el diseño de mezclas para la resistencia promedio requerida a esa edad el cual es de 345 kgf/cm². En cada uno de los ensayos realizados se da cumplimiento el criterio de aceptación y rechazo establecido en la Norma Venezolana COVENIN 1976:2003. Es decir, cada uno de los resultados de ensayos individuales es mayor a la resistencia de diseño disminuida en 35 kgf/cm².

Los ensayos realizados a la mezclas M2 alcanzaron una resistencia promedio de 352 kgf/cm² lo que representa un incremento de 1,10% respecto a la muestra patrón, los valores obtenidos para ambas mezclas fueron casi idénticos, lo cual indica que con un 10 % de sustitución de cemento por ceniza en una mezcla de concreto se genera una variación mínima de su resistencia media a compresión, cumpliendo de igual modo con los criterios de aceptación y rechazo.

Los ensayos realizados a la mezclas M3 alcanzaron una resistencia promedio de 341 kgf/cm² lo que representa una disminución de 2,01% respecto a la muestra patrón, este efecto se atribuye al 15 % de cemento que fue sustituido por ceniza. Los ensayos cumplen con los criterios de aceptación y rechazo.

Los ensayos realizados a la mezclas M4 alcanzaron una resistencia promedio de 313kgf/cm² lo que representa una disminución de 10,06 % respecto a la muestra patrón. En ésta mezcla se vio reflejada un mayor efecto de la sustitución de cemento por ceniza, pues en ella se realizó la mayor sustitución 20%. Sin embargo, a pesar ésta disminución en la resistencia media, cumple con los criterios de aceptación y rechazo la Norma Venezolana COVENIN 1976 (2006).

La tendencia de la resistencia media a compresión en las mezclas en base a ensayos a los 14 y 28 días, se aprecia en el gráfico 5. Allí se destaca que la resistencia media a los 14 días para cada una de las muestras fue alta, considerando que a esta edad de ensayo se debería alcanzar entre 70 y 80 % de la resistencia media a los 28 día, también se aprecia que la mezcla M2 a pesar de haber obtenido la menor resistencia media a compresión a los 14 días, su valor fue el más elevado a la edad de 28 días.

El incremento de la resistencia a compresión en la mezcla con sustitución parcial de 10 % cemento por ceniza de hoja de maíz se atribuye a que con dicha proporción otros componente de la ceniza principalmente el carbón, no afectan la combinación del sílice presente en ella con el hidróxido de calcio en la reacción de hidratación, En la medida en que se aumenta la sustitución la proporción de los componentes de la ceniza se hace mayor dando efecto a la disminución de la resistencia a compresión

Según la tabla 1 de la Norma Venezolana COVENIN 1976 (2006). Las principales variaciones de la resistencia a compresión de los ensayos en cada una de las mezclas pueden atribuirse a alteraciones de la relación agua/cemento. Entre las causas de estas alteraciones encontramos:

El control de agregados: alteraciones en la granulometría del agregado, especialmente con contenido de ultrafino, cambios en la humedad del agregado, y cambios en su calidad intrínseca tales como la forma de la partícula y capacidad de absorción. Todo debido a que se realizó un control visual, con rechazo de aquellos que aparentaron mala calidad o ser muy diferentes a los que se estaban utilizando.

Variaciones en la eficiencia de aditivos: la ceniza añadida resulto tener una capacidad de absorción mayor a la del cemento Portland.

El índice de actividad puzolánica calculado para cada una de las mezclas fue mayor a 0,75. Cumpliendo con lo establecido en la norma COVENIN 3135-94 respecto a este parámetro. Indicado buena actividad puzolánica en las mezclas al vincularlas con la mezcla patrón.

El índice de actividad puzolánica se vio disminuido en la medida en que se incremento el porcentaje de cemento a sustituir por ceniza de hoja de maíz, estos fueron los resultados calculados: para la mezcla M2 el valor fue de 1,01 indicando que con un 10 % de sustitución se obtiene un excelente actividad puzolánica, de modo que la resistencia media a compresión de esta mezcla supero a la resistencia patrón M1. Para las mezclas M3 y M4 se obtuvieron índices de 0.98 y 0,90 respectivamente, éste último a pesar de estar alejado del obtenido para las mezclas M2 y M3 es mayor que el mínimo establecido por norma 0,75.

CONCLUSIONES

La extracción manual y directa de las hojas de maíz en un sembradío no es favorable para la obtención de grandes cantidades de material, debido a lo arduo que puede llegar ser el proceso. Es necesario desarrollar un método de mayor eficiencia ó establecer convenios con productores de maíz partiendo de la idea de dar utilidad a un residuo agrícola.

En el proceso de secado de las hojas de forma natural, debe extenderse todo el volumen del material de manera que quede expuesta la mayor superficie posible a la incidencia del sol, logrando una aceleración en la culminación del proceso, el cual debe tener un tiempo de duración máximo de 15 días.

El horno de incineración diseñado para lograr la combustión de las hojas de maíz funciona eficientemente, generó las condiciones para obtener una ceniza con buena actividad puzolánica. La poca capacidad para el almacenamiento de material a incinerar (entre 3 y 4 Kgf) ocasionó que el proceso se repitiera en 20 oportunidades.

El tiempo en el cual se da la combustión completa de una cantidad de hojas de maíz entre 3 y 4 Kgf en un horno con las características del diseñado en este trabajo especial de grado es de 10 minutos.

La relación de peso de ceniza obtenida respecto al peso de hojas de maíz incineradas fue de 1:12, es decir, por cada 1 Kgf de ceniza obtenida fueron incinerados 12 Kgf de hoja de maíz. El tiempo estimado de molienda, para que en una muestra de ceniza de hoja de maíz sus partículas obtengan características físicas similares a la del cemento Portland, es de 1,5 horas.

La molienda de la ceniza en un molino de bola con una relación entre ceniza y carga moledora de 1:6, permite obtener mayor similitud entre las características físicas de sus partículas y las del cemento portland, logrando que el 90 % de la muestra analizada obtuviera un tamaño de partícula menor a 75 μm .

La tecnología del analizador de partículas Mastersizer 2000 es excelente, presenta resultados de las características físicas de las partículas de forma rápida y automatizada, si embargo sus resultados descartan la absorción agua por parte la muestra estudiada, por tanto los resultados deben ser considerados únicamente para comparar la muestra de ceniza con la de cemento Portland y no como una verdad absoluta.

Se pudo verificar por medios de ensayos de laboratorio realizados en esta investigación que la ceniza de hoja de maíz puede ser utilizada como sustituto parcial del cemento Portland en mezclas de concreto con fines estructurales. Sin embargo es apropiado realizar una mayor cantidad de ensayos para dar certificación a su aplicación.

El porcentaje óptimo de sustitución de cemento por ceniza de hoja de maíz es de 10 %, debido a que con el mismo se obtuvo un incremento en la resistencia compresión de 1,10 % en función de la mezcla patrón.

En segunda instancia la sustitución del 15 % de cemento por ceniza de hoja de maíz es aplicable, generó resultados de resistencia a compresión bastante cercanos a los de la mezcla patrón, sólo se vio disminuida en un 2,01 %.

La mezcla con sustitución 20 % de cemento por ceniza de hoja de maíz obtuvo los resultados menos favorables, con una disminución del 10 % de la resistencia a compresión respecto a la mezcla patón, razón por la cual no es recomendable.

Debido a la realización de una pequeña cantidad de ensayos (5 ensayos por mezclas), no se pudo establecer gráficos de tendencia usando como variables dosis de ceniza y la resistencia a compresión. Se realizaron gráficos de resistencia media obtenida para ensayos individuales por mezcla, así como un gráfico donde se contrasta la resistencia media obtenida para cada una de las muestras en relación a su edad de ensayo.

Con la sustitución parcial de cemento Portland por ceniza de hoja de maíz, obtenida mediante la metodología descrita en este trabajo especial de grado y con las proporciones aquí mencionadas, se obtienen mezclas de concreto con un índice de actividad puzolánica aceptable.

El peso unitario tanto suelto como compactado de las mezclas en estado fresco se vio disminuido en la medida en que se adiciona ceniza.

El asentamiento obtenido en el cono de Abrams se vio disminuido en la medida en que se adiciona ceniza.

El cumplimiento estricto con la dosificación de cada uno de los componentes de las mezclas en su preparación, genera una disminución de la fluidez y la trabajabilidad, en la medida que se incrementa la sustitución de cemento por ceniza de hoja de maíz.

La adición de ceniza de hoja de maíz a la mezcla de concreto provoca una mayor demanda de agua, la cual de ser añadida aumentaría la relación agua/cemento y en consecuencia disminuirá resistencia a compresión.

El peso unitario de las mezclas en estado endurecido permanece casi invariable, indiferentemente de la adición de ceniza, su valor es equivalente al obtenido en la mezcla patrón.

La adición de ceniza a la mezcla de concreto genera un color gris oscuro cuando se encuentra en estado fresco, disminuye un poco en estado endurecido, pero continua siendo poco estético, por esta razón no sería recomendable para obra limpia ni en lugares donde quede expuesto.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a futuras investigaciones, realizar granulometría de los agregados empleados en las mezclas y ensayos de absorción, este último parámetro afecta directamente la relación agua cemento y por consiguiente puede generar alteraciones en la resistencia a compresión obtenida en los ensayos.

La viabilidad de aplicación de esta tecnología se ve afectada por la dificultad de obtención de la ceniza, por tanto, hasta que se establezca un método que facilite este proceso no podría aplicarse en proyectos de gran envergadura, se recomienda únicamente su uso a pequeña escala en comunidades rurales asociadas a la producción de maíz.

Finalmente se destaca que esta investigación no agota el tema, sólo da una importante apertura al desarrollo de materiales alternativos de construcción, por lo que se invita a continuar profundizando en esta línea investigativa, para lograr mayores avances en esta tecnología.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILA ARBOLAEZ, Idalberto y SOSA GRIFFIN, Milena. **EVALUACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, BAGAZO DE CAÑA Y HOJA DE MAÍZ Y SU INFLUENCIA EN MEZCLAS DE MORTEROS, COMO MATERIALES PUZOLÁNICOS.** Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., vol, 23 N° 4, pp. 55-66, 2008.

AGUILA ARBOLAEZ, Idalberto. **TECNOLOGÍA ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN DE CEMENTO PUZOLÁNICO CON CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ.** Tesis de maestría en Desarrollo Tecnológico de la Construcción en la UCV, pp. 119, 1999

AGUILA ARBOLAEZ, Idalberto y SOSA GRIFFIN, Milena. **Evaluación de la hoja del maíz como posible fuente de material puzolánico.** *Tecnología y Construcción*. [online]. sep. 2005, vol.21, no.3 [citado 08 Julio 2008], p.9-17. Disponible en la World Wide Web:

<http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-96012005000300002&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0798-9601.

CÓDIGO ASTM C 618(2003). **ESPECIFICACIÓN ESTÁNDAR PARA CARBÓN Y CENIZAS VOLANTES EN BRUTO O CALCINADAS DE PUZOLANAS NATURAL PARA USO EN HORMIGÓN.**

MARTINEZ VICENTE, Arquitectura técnica: Materiales de construcción Modulo II.2004

NORMA VENEZOLANA COVENIN 338:2002, **CONCRETO. MÉTODO PARA ELABORACIÓN, CURADO Y ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO.** (2^{da} revisión)

NORMA VENEZOLANA COVENIN 339:2003, **CONCRETO. MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO CON EL CONNO DE ABRAMS.** (2^{da}. Revisión)

NORMA VENEZOLANA COVENIN 3135:94, **PUZOLANAS. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ACTIVIDAD PUZOLÁNICA.**

NORMA VENEZOLANA COVENIN 1753:2003, **PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS EN CONCRETO ESTRUCTURAL**. Articulado.

NORMA VENEZOLANA COVENIN 1976:2003, **CONCRETO. EVALUACIÓN Y MÉTODOS DE ENSAYO**. (3^{ra} Revisión)

NORMA VENEZOLANA COVENIN 3549:1999, **TECNOLOGÍA DEL CONCRETO. MANUAL DE ELEMENTOS DE ESTADÍSTICA Y DISEÑO DE EXPERIMENTO**.

NORMA VENEZOLANA COVENIN 28:2003, **CEMENTO PORTLAND. REQUISITOS**. (7^{ma}. Revisión)

NORMA VENEZOLANA COVENIN 349-79, **MÉTODO DE ENSAYO GRAVIMÉTRICO PARA DETERMINAR EL PESO POR METRO CÚBICO, RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO**.

Lexis22, DICCIONARIO ENCICLOPÉDICO. Tomo 1. Editado por Circulo de lectores 1991.

PORRERO JUAQUÍN et al, **Manual del Concreto Estructural**. Editado por SIDETUR. Primera Edición. Caracas, Enero. 2004.

Sin autor. **PRESENTANDO EL ANALIZADOR DE PARTÍCULAS MASTERSIZER 2000**. [Artículo online]. [citado 13 de abril 2008]. Disponible en: <http://www.cas-instrumental.com.ar/ms2000.htm>.

Sin autor. **LA AGRICULTURA Y SU DESARROLLO EN VENEZUELA**. [Artículo online]. [citado 13 de abril 2008]. Disponible en: E:\maiz\Estadísticas Agropecuarias_ Producción Agrícola.htm

RAWLE Alan, **PRINCIPIOS BÁSICOS DEL ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS**. [Artículo online]. [Citado 13 de abril 2008]. Disponible en: <http://www2.iesmat.com/Productos-MI-ATP-Laboratorio-Accesorios1.htm>