

T
624.1833
JIM



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“Obtención de Concreto de Alta Resistencia mediante adición en el diseño de un Superplastificante y Ceniza de Cascarilla de Arroz”

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL



D-22781

Presentada por:

Héctor Fabrizio Jiménez Montero

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO

2001

AGRADECIMIENTO

A Dios en los cielos
porque solo él es
quien hace todo
posible. "Salva a tu
pueblo, y bendice a
tu heredad; Y
pastoréales y
susténtales para
siempre"

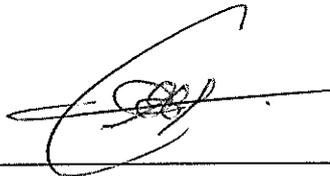
Salmo 28:9

DEDICATORIA

A mis padres, a mis
hermanas, a mis tíos,
a todos ellos por su
apoyo incondicional.

A mis sobrinos por la
alegría renovada que
nos brindan.

TRIBUNAL DE GRADUACION

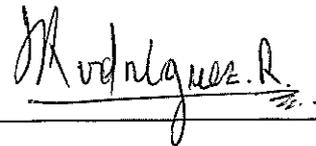


Ing. Edison Navarrete Cuesta
DECANO DE LA FICT



Ing. Hugo Egúez Alava
DIRECTOR DE TESIS

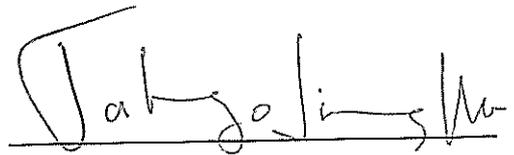
Ing. José Camposano Luque
VOCAL



Ing. Julio Rodríguez Ríos
VOCAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”



Héctor Fabrizio Jiménez Montero



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

RESUMEN

Se implementaron mejoras a un concreto convencional disminuyendo la relación a/c con la adición de la puzolana artificial conocida como ceniza de cascarilla de arroz, un producto de desechos agrícolas que abunda en nuestros campos, la que trabaja llenando los capilares existentes y fortaleciendo los enlaces químicos de las partículas que participan en el diseño del concreto.

Además se utilizó un reductor de agua de alto rango ó superplastificante que tiene como objetivo aumentar la carga aniónica de la partícula de cemento, lo que permite disminuir considerablemente la cantidad de agua en la mezcla, produciendo pastas cementicias de baja relación a/c que producen un concreto de alta fluidéz y resistencia.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VII
INDICE DE FIGURAS	X
INDICE DE TABLAS	XI
I. CEMENTO PORTLAND	12
1.1 Introducción General	13
1.2 Generalidades	14
1.3 Hidratación de los minerales del Clinker	15
1.3.1 Silicato Tricalcico	15
1.3.2 Silicato Dicalcico	16
1.3.3 Aluminato Tricalcico	17
1.3.4 Aluminoferrito de Calcio	17
1.4 Hidratación del cemento Portland	17
1.5 Cinética y mecanismo del proceso de hidratación	18
II. AGREGADOS PARA EL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA	22
2.1 Clasificación de los agregados	24
III. PUZOLANAS PARA EL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA	28
3.1 Generalidades	29
3.2 Ceniza de la Cascarilla de Arroz	30

3.3	Determinación de la Finura (Blaine) de la Ceniza de la Cascarilla de Arroz a partir de la Superficie Especifica de una muestra patrón, según ASTM C204-96a	32
3.3.1	Calculo de la Finura	32
3.4	Determinación de la constante b para la Ceniza de Cascarilla de Arroz, según ASTM C 204-96a	35
3.5	Determinación de la Densidad de la Ceniza de la Cascarilla de Arroz, según ASTM C188-95	40
IV.	ADITIVOS PARA EL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA	42
4.1	Introducción	43
4.2	Tipos de Aditivos	44
4.3	Aditivo Superplastificante	44
V.	CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA	47
5.1	Materiales utilizados	49
5.1.1	Agregados gruesos y finos	49
5.1.2	Cemento Portland	50
5.1.3	Puzolanas (Adiciones)	51
5.1.4	Aditivo	51
5.2	Mezclas de laboratorio	52
5.3	Resultados	55
5.3.1	Resistencias	55
5.3.2	Variación del Revenimiento	55

5.4 Análisis de Resultados	64
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
6.1 Conclusiones	66
6.2 Recomendaciones	67
BIBLIOGRAFIA	68

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de fabricación de cemento.....	21
Figura 2. Clasificación de las Puzolanas	31
Figura 3. Determinación de la constante b para la Ceniza de la Cascarilla de Arroz	39
Figura 4. (a) Representación de una molécula de superplastificante y (b) la forma de esta de absorber a la partícula de cemento	46
Figura 5. Resistencias a la Compresión de los Diseños de 500 Kg de cemento: a) Diseño Patrón; b) Diseño Patrón con Superplastificante (Diseño 1); c) Diseño Patrón con Superplastificante y Ceniza de Cascarilla de Arroz (Diseño 3)	58
Figura 6. Resistencias a la Compresión de los Diseños de 400 Kg de cemento: a) Diseño Patrón; b) Diseño Patrón con Superplastificante (Diseño 1)	59
Figura 7. Variación del Revenimiento versus el Tiempo del Diseño 1 de 500 Kg de cemento	60
Figura 8. Variación del Revenimiento versus el Tiempo del Diseño 2 de 500 Kg de cemento	61
Figura 9. Variación del Revenimiento versus el Tiempo del Diseño 3 de 500 Kg de cemento	62
Figura 10. Variación del Revenimiento versus el Tiempo del Diseño 1 de 400 Kg de cemento.....	63

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Gravedad Específica Aparente para diferentes rocas en el Ecuador	25
Tabla 2. Composición química de la Cascarilla y la Ceniza de la Cascarilla de Arroz	33
Tabla 3. Datos leídos del Aparato de Aire Permeable "Blaine" para obtener lecturas de Porosidad	37
Tabla 4. Distintos valores de Porosidad ϵ , y Tiempo T, de paso de aire en la celda	38
Tabla 5. Cantidad de material usado en el Diseño de 500 Kg de cemento	53
Tabla 6. Cantidad de material usado en el Diseño de 400 Kg de cemento	54
Tabla 7. Resultados de los ensayos de Resistencias a la Compresión de los Diseños de 500 Kg de cemento	56
Tabla 8. Resultados de los ensayos de Resistencias a la Compresión de los Diseños de 400 Kg de cemento	57

CAPITULO 1.

CEMENTO PORTLAND

CAPITULO 1. CEMENTO PORTLAND

1.1 INTRODUCCION GENERAL

Este trabajo presenta una nueva alternativa para obtener concreto de alta resistencia en el país, mejorando los procedimientos tradicionales de diseño de este tipo de concreto.

A esto se suma la incorporación de una puzolana que tiene como característica el aumento del tiempo de hidratación durante el mezclado de la pasta. Esta puzolana es la Ceniza de la Cascarilla de Arroz (CCA), que tiene como principal componente químico la Sílice que combinada con el Hidróxido de Calcio del cemento reacciona generando un nuevo componente llamado Silicato de Calcio.

La presencia de un aditivo Reductor de Agua de Alto Rango aportará de mejor manera con el aumento de la resistencia inicial debido a que es una molécula con carga eléctrica negativa que tiene la propiedad de absorberse en la partícula de cemento sin impedirle de ninguna manera que esta partícula se hidrate de forma normal, adicionalmente le confiere propiedades autonivelantes al concreto.

1.2 GENERALIDADES

El cemento Portland es un sistema multicomponente que tiene un sistema de hidratación muy complejo, la hidratación es la reacción de uno de sus constituyentes con el agua, formando lo que se conoce como pasta. La relación agua/cemento cuyo valor oscila entre 0.3 y 0.6, afecta la plasticidad de la pasta, su hidratación y las propiedades del material hidratado.

La pasta de cemento fresco, fragua y gana resistencia posteriormente. El término "fraguado" significa un nivel de pérdida repentina de plasticidad de la pasta original y una conversión a un material sólido con una escasa resistencia. El término "endurecimiento" significa el desarrollo de la resistencia que siguen al fraguado de la pasta.

A los procesos obtenidos con la hidratación se les asocia con liberación de calor ó calor de hidratación que en este cemento tiene un valor de hasta 5000 Joules por gramo (120 cal/g.), este valor se obtiene por la diferencia del valor del calor de hidratación de la solución del cemento no hidratado con ácido nítrico con el valor del calor de hidratación obtenido de la solución del cemento hidratado con ácido fluorhídrico. (4)

El proceso de hidratación está influenciado por varios factores:

- Composición del cemento y del clinker
- Finura del cemento
- Relación agua/cemento
- Temperatura de curado
- Aditivos químicos

1.3 HIDRATACION DE LOS MINERALES DEL CLINKER

Debido a la complejidad de la hidratación del cemento Portland es importante conocer primero la forma en que se hidratan los minerales del clinker que lo componen. Por esta razón es que debemos tener siempre presente que la reactividad de estos minerales dependerá de:

- La manera en que han sido preparados
- La presencia de otros iones en sus redes cristalinas
- Las condiciones experimentales empleadas

1.3.1 SILICATO TRICALCICO

El Silicato Tricalcico ($3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$, abreviado a C_3S) es el principal y más importante constituyente del cemento Portland, y actúa como un regulador del progreso de la hidratación, extendiéndose este control hasta los procesos de fraguado y endurecimiento.

El Silicato Tricalcico que se encuentra en el clinker del cemento Portland se llama "alita" y su hidratación es muy compleja. Como productos de la hidratación de este mineral a temperatura ambiente, tenemos:

- Una fase de Silicato de Calcio llamada "fase C-S-H", e
- Hidroxido de Calcio [$\text{Ca}(\text{OH})_2$, abreviado CH] que precipita en forma de cristales de Portlandita

1.3.2 SILICATO DICALCICO

El Silicato Dicalcico, conocido como "belita", es un componente normal del cemento Portland. Su hidratación se puede acelerar mediante el aumento de:

- La finura del molido del clinker
- La temperatura de hidratación
- La relación agua/cemento

La hidratación del Silicato Dicalcico produce Hidróxido de Calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, en cantidades menores que las producidas por el Silicato Tricalcico y una fase de C-S-H.

1.3.3 ALUMINATO TRICALCICO

En la hidratación del cemento Portland, el Aluminato Tricalcico (C_3A), reacciona con el Sulfato de Calcio ($CaSO_4$) presente y se forma "Etringita (Trisulfato)" como el principal producto de la hidratación.

1.3.4 ALUMINOFERRITO DE CALCIO

El Aluminoferrito de Calcio, se lo conoce también como "fase Ferrito". Bajo condiciones comparables los productos de la hidratación formados en la hidratación de la fase Ferrito son similares en muchos aspectos a aquellos formados desde en la hidratación del C_3A .

1.4 HIDRATACION DEL CEMENTO PORTLAND

Químicamente la hidratación del cemento Portland consiste de una serie de reacciones entre los minerales del clinker, el sulfato de calcio y el agua. Los participantes del proceso de hidratación del cemento Portland son:

- Alita, formada a partir del Silicato Tricalcico
- Belita, formada a partir del Silicato Dicalcico
- Aluminato Tricalcico
- Ferrito Aluminato Tricalcico (tres fases de ferrito)

- Oxido de Calcio
- Sulfatos de Sodio ó Potasio (Sulfatos de álcali)
- Sulfatos de Calcio en la forma de anhídrido, molido con clinker
- Agua de mezcla

El proceso de hidratación del cemento Portland es controlado mediante tres niveles:

- Nivel de Disolución de las fases del clinker y del Sulfato de Calcio
- Nivel de Nucleación y Cristalización de los hidratos en formación más las reacciones
- Nivel de Difusión del agua y de los iones disueltos del material hidratado

1.5 CINÉTICA Y MECÁNICA DEL PROCESO DE HIDRATACION

Los siguientes factores determinan la cinética de los procesos de hidratación:

- La fase de composición del clinker
- El procesamiento del clinker, incluyendo el nivel de calor, la temperatura máxima de quemado y el nivel de enfriamiento
- La finura del cemento
- La tecnología empleada para la pulverización del cemento
- La relación agua/cemento de la mezcla

- Las condiciones de curado (curado con aire ó agua)
- La temperatura de hidratación
- La presencia de aditivos químicos en la mezcla

La mecánica de la formación y desaparición de las fases hidratadas se puede resumir así:

- Lo primero es la formación de la alita y belita durante los primeros minutos de hidratación con la posterior formación de la fase C-S-H. A esta fase de hidratación se la conoce como "Período de Pre-inducción".
- Como segunda fase de hidratación esta el "Período de Inducción ó Dormiente" que lo constituyen las primeras horas de hidratación en donde la formación de Ca(OH)_2 es producto de la hidratación de las fases de C_3S y C_2S , la Etringita es producto de hidratación de el C_3A y finalmente se asocian estos dos productos de la hidratación.
- La tercera fase de hidratación es el "Estado Acelerado" como se conoce al período de 3 a 12 horas después de la mezcla, la hidratación se acelera nuevamente y todo el sulfato de calcio útil es consumido, finalizando también la formación de la etringita dentro de las primeras 24 horas.
- La cuarta y última fase de hidratación es el "Período post-acelerado" que es donde la hidratación disminuye gradual y lentamente,

convirtiéndose en una difusión controlada y el proceso de hidratación se completa. La figura 1, muestra el proceso de fabricación.(2)

Proceso de fabricación de cemento

21

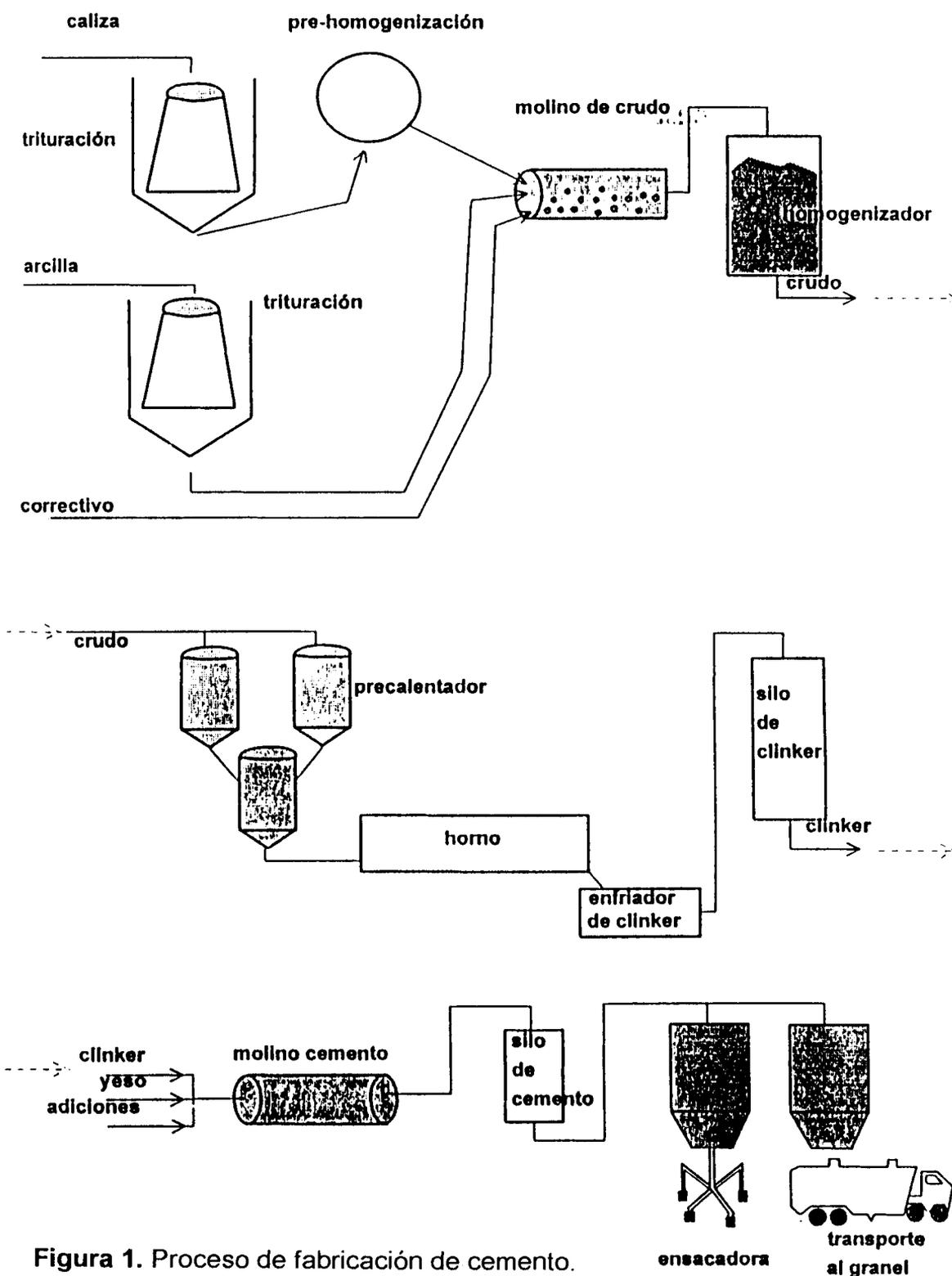


Figura 1. Proceso de fabricación de cemento.

Fuente: CTH, Monografía del cemento Portland, n. 007; Ing. Leonardo Carrión B; Agosto 1996.

CAPITULO 2.

AGREGADOS PARA EL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

CAPITULO 2. AGREGADOS PARA EL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

Al menos $\frac{3}{4}$ del volumen del concreto esta formado por agregados que inciden en la resistencia, la durabilidad y el desempeño estructural del concreto.

Antiguamente los agregados se consideraban como un material inerte disperso en la pasta de cemento y utilizados únicamente por razones económicas. Sin embargo, el agregado no es totalmente inerte y sus propiedades físicas, térmicas y algunas también químicas influyen en la eficiencia del concreto. El agregado es más barato que el cemento, pero la economía no es la única razón para utilizar agregados sino su ventaja técnica de brindar estabilidad de volumen y mejor durabilidad al concreto.

Existen dos clases de gravedades específicas:

- Gravedad Específica Absoluta
- Gravedad Específica Aparente

El agregado presenta una condición saturada y superficialmente seca cuando su masa tiene gravedad específica aparente debido a que el agua contenida en todos los poros del agregado no tiene parte en la reacción química del cemento y puede, de esta manera, ser considerada como parte del

agregado. Los cálculos para diseñar el concreto se basan en esta condición de la gravedad específica aparente. La mayoría de los agregados naturales tienen una gravedad específica entre 2.6 y 2.7. La tabla 1, enseña gravedades específicas aparentes de diferentes agregados en el Ecuador.

La Gravedad Específica Absoluta se refiere al peso del volumen del material sólido excluyendo todos los poros, y pueden, por esta razón, ser definidos como la relación del peso del sólido, respecto al vacío, para el peso de un volumen igual de agua destilada libre de gas, ambos obtenidos a temperatura estable.

2.1 CLASIFICACION DE LOS AGREGADOS

Las rocas según el tipo de su formación, se clasifican de tres maneras generales:

- Roca Sedimentaria
- Roca Ignea
- Roca Metamórfica

Rocas Sedimentarias, se forman por la acumulación de sedimentos (partículas finas) en el fondo de lagos o mares antiguos, a manera de capas (estratos) dentro de la corteza terrestre. El sedimento puede consistir de partículas minerales, residuos de productos animales, de

Tabla 1. Gravedad Específica Aparente para diferentes rocas en el Ecuador.

MATERIAL	PROCEDENCIA	Gravedad Específica
Basalto 5-12	Chivería	2.90
Chert (Lutita Silíceea)	Cantera San Luis	2.46
Grava Aluvial	Río Chimbo	2.70
Ripio Triturado	Río Toachi, St. Domingo	2.67
Ripio 12-25	Río Pagua	2.70
Piedra Triturada (Caliza) ASTM#8	C. Huayco	2.60
Arena Homogenizada (Caliza)	C. Huayco	2.55
Basalto (Ripio 1/2")	Picoazá, Manabí	2.62

Fuente: Centro Técnico del Hormigón. Monografía de agregados para hormigón, n. 008; Ing. Hugo Egüez A; Agosto 1995.

plantas, de los productos finales de una evaporación ó de la combinación de cualquiera de estos tipos de minerales. Se clasifican en:

- Roca Sedimentaria Silíceas, aquellas que contienen un alto porcentaje de Sílice
- Roca Sedimentaria Calcárea, aquellas que contienen un alto porcentaje de carbonato de calcio (calizas)

Roca Ignea, es aquella formada de material fundido (magma) enfriado y solidificado. Existen dos tipos:

- Roca Ignea Extrusiva
- Roca Ignea Intrusiva

Roca Ignea Extrusiva, son formadas del material fundido vertido, sobre la superficie terrestre, durante una erupción volcánica ó actividad geológica similar. Su estructura es vidriosa, debido al rápido enfriamiento en la atmósfera, siendo la riolita, la andesita y el basalto ejemplos de este tipo de roca.

Rocas Igneas Intrusivas, se forman a partir del magma atrapado en la corteza terrestre, enfriándose y endureciéndose lentamente debido a que esta dentro de la corteza terrestre consiguiendo una estructura cristalina. Son ejemplos el granito, la diorita y el gabro. Los movimientos terrestres y la erosión traen rocas intrusivas a la superficie terrestre, donde son explotadas en canteras y usadas posteriormente.

Rocas Metamórficas, son generalmente rocas sedimentarias ó igneas transformadas por procesos de intensa presión y calor dentro de la tierra y también por reacciones químicas. Determinar su origen es muy complicado, pero muchos tipos de rocas metamórficas presentan un rasgo característico: los minerales están alineados en capas ó planos paralelos. Las rocas metamórficas que tienen este tipo de estructura se llaman "foliadas". Ejemplos de rocas foliadas son los gneises, los esquistos (formados de rocas ígneas) y la pizarra (formada de arcilla esquistosa; una roca sedimentaria). No todas las rocas metamórficas son foliadas. El mármol (formado de las calizas) y la cuarcita (formada de las areniscas) son rocas metamórficas que no presentan foliación.

CAPITULO 3.

PUZOLANAS PARA EL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

CAPITULO 3. PUZOLANAS PARA EL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

3.1 GENERALIDADES

El término “puzolana” tiene dos significados distintos. El primero indica la roca piroclástica de estructura vitrea y algunas veces zeolítica. El segundo significado incluye todos los materiales inorgánicos, naturales ó artificiales, los cuales se endurecen en agua cuando se mezclan con hidróxido de calcio (cal) ó con materiales que pueden liberar hidróxido de calcio (como el clinker del cemento Portland). El término “puzolana” esta más ampliamente definido en el segundo significado.

En países como el Ecuador el interés en estos materiales tiene relativamente poco tiempo y surge de la necesidad de reutilizar algunos materiales que se desperdician, tales como la cascarilla de arroz. La historia da cuenta del uso milenario de morteros de cal-puzolana y de casi 100 años de experiencia en cementos puzolanicos que confirman que se puede producir concreto de grandes resistencias y durabilidad ante el ataque de agentes agresivos.

Establecer una clasificación precisa de puzolanas resulta difícil y es por esto que son descritas solamente por la propiedad general de reaccionar y endurecer cuando se mezclan con cal y agua. La clasificación más comúnmente aceptada es la de material natural ó artificial.

Los materiales naturales no requieren ningún tratamiento adicional aparte de la molienda, las puzolanas artificiales se obtienen de modificaciones químicas y/o estructurales de materiales que originalmente no han tenido ó solamente tienen propiedades puzolanicas débiles. Los últimos pueden ser residuos de ciertos métodos de producción ó productos manufacturados seleccionados de materiales crudos. La clasificación se presenta en la figura 2.

3.2 CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ

La cascarilla de arroz quemada en un rango de temperatura entre 600 a 800 °C, presenta un marcado carácter puzolánico. La ceniza de la cascarilla de arroz contiene sobre el 90 por ciento de Sílice y tiene un área superficial específica (Blaine) promedio de 2006 m²/kg., según ASTM C204-96a.

La actividad puzolanica de la ceniza de la cascarilla de arroz depende de la temperatura de quemado y del período de retención en el horno. La variabilidad de las condiciones de quemado es la primera razón que evita

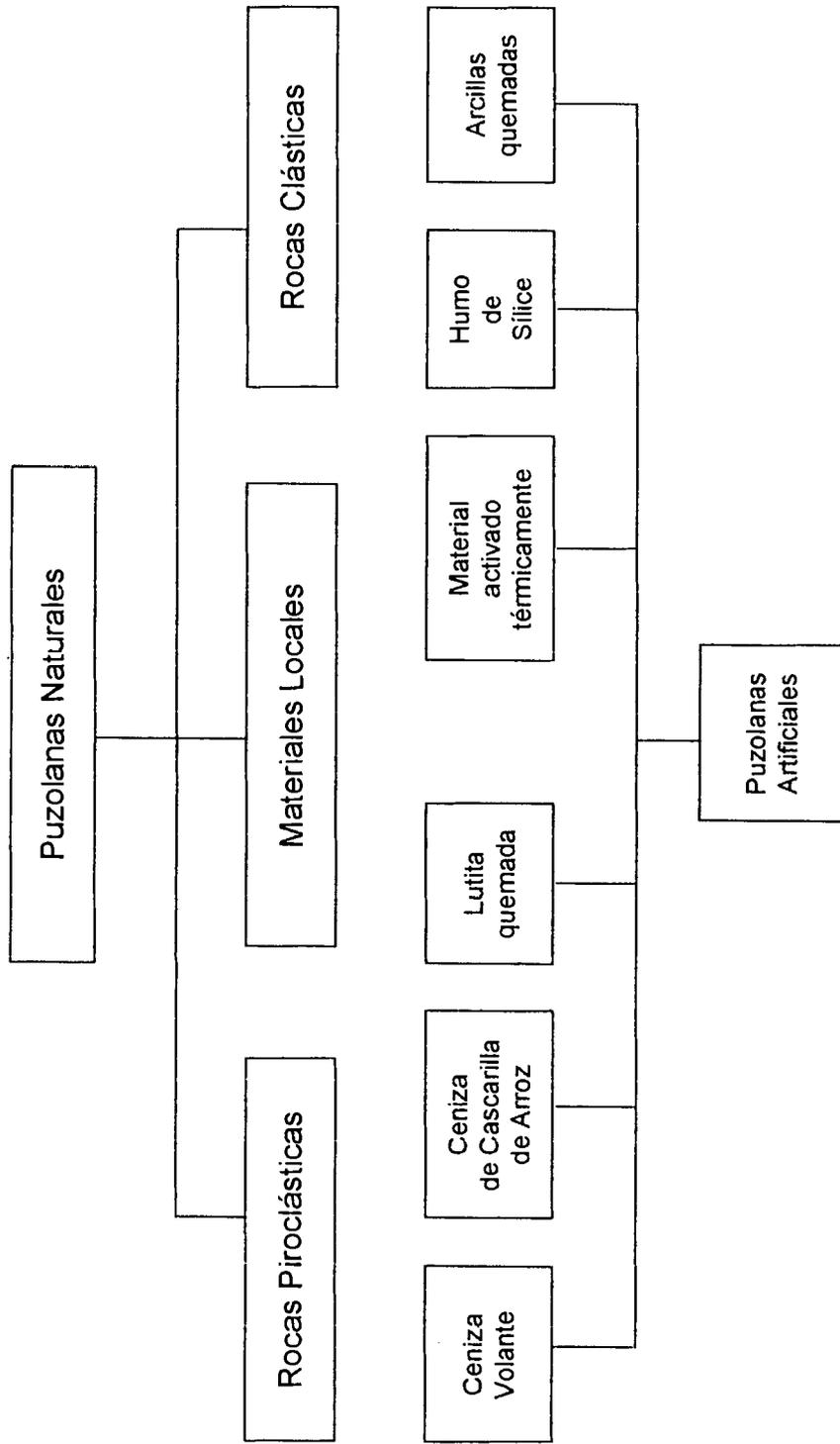


Figura 2. Clasificación de las Pozzolanas

Fuente: Massazza F. Química de adiciones y mezclas puzolanicas con cementos. El Cemento 1976; no. 1:3-38.

expandir el uso de este material como puzolana. La tabla 2, nos muestra la composición química de la cascarilla de arroz y de su ceniza quemada al aire libre.

3.3 DETERMINACION DE LA FINURA (BLAINE) DE LA CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ A PARTIR DE LA SUPERFICIE ESPECIFICA DE UNA MUESTRA PATRON, SEGÚN ASTM C204-96a

La finura establece el área de la superficie específica del cemento, utilizando el equipo de permeabilidad llamado Blaine, que expresa la superficie específica en términos del área de la superficie en centímetros cuadrados por gramos, ó en metros cuadrados por kilogramo, del cemento. Las lecturas obtenidas del equipo de permeabilidad se encuentran en la tabla 3.

Aunque el ensayo del método puede ser, y ha sido, utilizado para determinar la finura de cementos, su aplicación funciona para otros materiales como la ceniza de la cascarilla de arroz.

3.3.1 CALCULO DE LA FINURA

El cálculo de la superficie específica de la ceniza de la cascarilla de arroz se realiza de acuerdo con la ecuación 7 correspondiente a la norma ASTM C204-96a, debido a que responde a las exigencias del literal 6.1.3 de esta norma.

Tabla 2. Composición química de la Cascarilla y la Ceniza de la Cascarilla de Arroz

Componente Químico	Composición Química (%)	
	Cascarilla de Arroz	Ceniza de Cascarilla Arroz
Si O ₂	83.2	94.1
Al ₂ O ₃	0.95	0.12
Fe ₂ O ₃	1.05	0.3
Ca O	1.02	0.55
Mg O	1.03	0.95
K ₂ O	1.29	2.10
Na ₂ O	0.15	0.11
P ₂ O ₅	0.4	0.41
S O ₃	0.13	0.06
Ti O ₂	0.08	0.05
Cl	0.07	0.05
Pérdida	10.6	1.1
Total	99.97	99.9

Fuente: Centro Técnico del Hormigón

“6.1.3 Esta ecuación se utilizó en el cálculo de la finura del material porque es un material diferente del cemento. Esta ecuación puede utilizarse cuando la temperatura del ensayo de la muestra está dentro de un rango de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ de la temperatura de calibración del ensayo”. (1)

$$S = \frac{S_s \rho_s (b_s - \epsilon_s) \sqrt{\epsilon^3} \sqrt{T}}{\rho (b - \epsilon) \sqrt{\epsilon_s^3} \sqrt{T_s}} \quad (7)$$

donde:

S = superficie específica de la muestra ensayada, $2006 \text{ m}^2/\text{Kg}$,

S_s = superficie específica de la muestra estándar utilizada en la calibración del aparato, $393 \text{ m}^2/\text{kg}$.

T = medida del intervalo de tiempo, s, de la caída manométrica para la muestra ensayada,

T_s = medida del intervalo, s, de la caída manométrica para la muestra estándar utilizada en la calibración del aparato,

ϵ = porosidad de la cama de la muestra preparada para el ensayo,

ϵ_s = porosidad de la cama de la muestra estándar utilizada en la calibración del aparato,

ρ = densidad de la muestra ensayada (para ceniza de cascarilla de arroz es un valor de 2.265 Mg/m^3 ó de 2.265 g/cm^3 el que se utilizará),

b = una constante específicamente apropiada para la muestra ensayada (para ceniza de cascarilla de arroz tiene un valor determinado de 0.7743),

$b_s = 0.9$, la constante apropiada para la muestra estandar.

3.4 DETERMINACION DE LA CONSTANTE b PARA LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, SEGÚN ASTM C204-96a

La norma ASTM C204-96a, en su literal 6.1.4 se refiere a la constante típica de cada material b , de la siguiente manera: "6.1.4 Es recomendado que el valor de b sea determinado en no menos de tres muestras del material cuestionado. Cada muestra ensayada debe tener un mínimo de cuatro porosidades diferentes además de un rango de porosidad de al menos 0.06. Los coeficientes de correlación tienen que exceder de 0.9970 para la correlación de $\sqrt{\epsilon^3} * \sqrt{T}$ versus ϵ en cada muestra ensayada". (1)

Lo indicado en este literal nos conduce a establecer un conjunto de puntos a los mismos que se les debe establecer el tipo de relación de regresión que les corresponde y seguidamente obtener la correlación respectiva a su regresión.

En el caso particular de la ceniza de la cascarilla de arroz, el modelo de regresión correspondiente es el lineal. La figura 3, muestra la recta de regresión con que se determinó el valor b , constante obtenida según la metodología citada para la ceniza de cascarilla de arroz, cuyo valor fue de 0.7743. En la tabla 4 se encuentran los pares ordenados de los puntos utilizados, para la determinación de la referencia.

El coeficiente de correlación obtenido de la muestra fue de 0.9922. Adicionalmente, se utilizó el aparato de aire permeable, Blaine, con el propósito de obtener lecturas de los tiempos que registran cada muestra de ceniza de cascarilla de arroz en la celda de este aparato. A cada muestra colocada en la celda se le llama "cama".

De la ecuación (2) de la norma ASTM C204-96a, se despejó la variable de la porosidad, ϵ , que define el par de valores para cada punto de la relación lineal que se establece:

$$W = \rho V(1 - \epsilon) \quad (2)$$

donde:

W = gramos requeridos de muestra,

ρ = densidad de la muestra ensayada (igual a 2265 kg/m^3),

V = volúmen de la cama de ceniza de cascarilla de arroz, cm^3 , conforme a lo indicado en el literal 4.2.2, y

ϵ = porosidad deseada de la cama de ceniza de cascarilla de arroz.

Tabla 3. Datos leídos del Aparato de Aire Permeable "Blaine" para obtener lecturas de Porosidad.

Ensayo Número	Peso de CCA (g.)	Tiempo (s.)	Peso de Hg, en celda (g.)	Temperatura (C)
1	1.3	17.8	85.975	27
		17.8	85.971	25
2	1.4	36.1	85.833	26.5
		36.1	85.745	
3	1.5	53.6	85.621	26.5
		53.2	85.621	
4	1.6	78.4	85.522	26.5
		76.4	85.525	
5	1.7	106.6	85.372	27
		107.5	85.370	

Fuente: Centro Técnico del Hormigón

Tabla 4. Distintos valores de Porosidad ϵ , y tiempo T, de paso de aire en la celda.

$\sqrt{\epsilon^3 \cdot T}$	Porosidad ϵ
2,3579	0,6785
2,3577	0,6784
3,1901	0,6557
3,2121	0,6569
3,6849	0,6343
3,6987	0,6343
4,1793	0,6114
4,2341	0,6115
4,6761	0,5897
4,6961	0,5898

Fuente: Centro Técnico del Hormigón

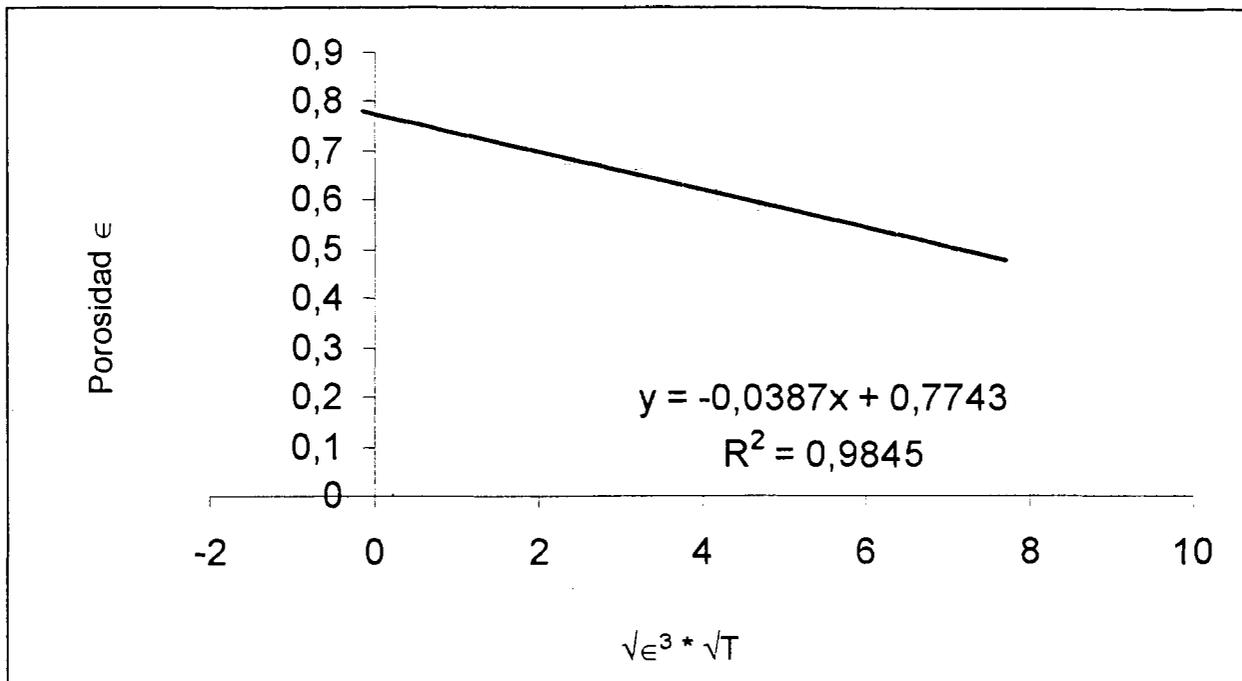


Figura 3. Determinación de la constante b para la Ceniza de Cascarilla de Arroz.
Fuente: Centro Técnico del Hormigón

“4.2.2 El cálculo del volúmen de la cama ocupada por la ceniza de la cascarilla de arroz es el siguiente:

$$V = (W_A - W_B)/D \quad (1)$$

donde:

V = volúmen de la cama de ceniza de cascarilla de arroz, cm^3 ,

W_A = gramos de mercurio requeridos para llenar la celda, cuando la celda no contiene ceniza de cascarilla de arroz,

W_B = gramos de mercurio requeridos para llenar la porción de la celda no ocupada por la cama preparada de ceniza de cascarilla de arroz en la celda, y

D = densidad del mercurio a temperatura de ensayo, 13.53 Mg/m^3 ó 13.53 gr/cm^3 . (1)

3.5 DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE LA CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ SEGÚN ASTM C188-95

La densidad de la ceniza de la cascarilla de arroz es útil en el diseño y control del concreto. Se establece mediante ensayo ASTM C188-95 y utiliza el frasco de Le Chatelier en el que el material ensayado debe atravesar una sección circular antes de llegar al fondo. El fluido utilizado en el ensayo es agua.

El cálculo de la densidad se realiza tomando la diferencia entre la primera lectura y la final, que representa el volumen de agua desplazado por la masa de la ceniza de la cascarilla de arroz utilizada en el ensayo. La densidad encontrada fue de 2265 kg/m^3 y calculada según la relación:

$$\rho = \frac{\text{Masa deCCA, g}}{\text{volumen desplazado, cm}^3}$$

CAPITULO 4.

ADITIVOS PARA EL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

CAPITULO 4. ADITIVOS PARA EL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

4.1 INTRODUCCION

El origen de los aditivos químicos es la presencia de la materia orgánica que se encontró en las arenas que se extraían para elaborar mezclas empíricas en la antigüedad. Por ejemplo, el uso de la sangre como incorporador de aire, así como la leche de cabra y la grasa de cerdo para mejorar la trabajabilidad del concreto fresco y la orina para variar los niveles de fraguado y endurecimiento, se llevaron a cabo sin todos los conocimientos de la alquimia.

El desarrollo de la ingeniería en concreto y la importancia de este en la durabilidad y la presentación visual ha sido el motivo de buscar mejoras en los aditivos durante los últimos años, siendo estas mejoras las que han dado como resultado gran confianza en la ingeniería de los aditivos químicos. Algunas ocasiones cierto tipo de aditivo resulta ser predominante debido a la condición particular del clima ó también por el resultado de la aplicación en la estructura que tendrá el concreto.

4.2 TIPOS DE ADITIVOS

Por el efecto que produce en el concreto el aditivo, se lo clasifica. Según la norma ASTM C494-92 es la siguiente:

Tipo A Reductor de agua

Tipo B Retardante

Tipo C Acelerante

Tipo D Reductor de agua y Retardante

Tipo E Reductor de agua y Acelerante

Tipo F Reductor de agua de alto rango ó Superplastificante

Tipo G Reductor de agua de alto rango y retardante ó Superplastificante y Retardante

Los aditivos se pueden usar en estado sólido ó líquido. Este último es el mas usual porque un líquido se puede dispersar mas rápidamente y de manera uniforme durante el mezclado del concreto. Los aditivos, hablando generalmente, no se les debe permitir que estén en contacto con la piel ó los ojos.

4.3 ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

Los superplastificantes también conocidos como aditivos reductores de agua de alto rango son un grupo de aditivos relativamente nuevos que se utilizan en dosificaciones grandes mayores que las usadas en aditivos

reductores de agua normales produciendo una reducción de agua de aproximadamente 30 por ciento con trabajabilidad normal en el concreto.

Si se lo emplea como Superplastificante se puede obtener un concreto muy fluido sin excesiva agua en el diseño. Todos los Superplastificantes son fuertes absorbentes ubicados en la superficie de la partícula de cemento que producen un alto grado de dispersión entre estas partículas para finalmente dar una mayor finura y uniformidad al material disperso, que resulta de la carga negativa que posee la molécula del Superplastificante, como se muestra en la figura 4.

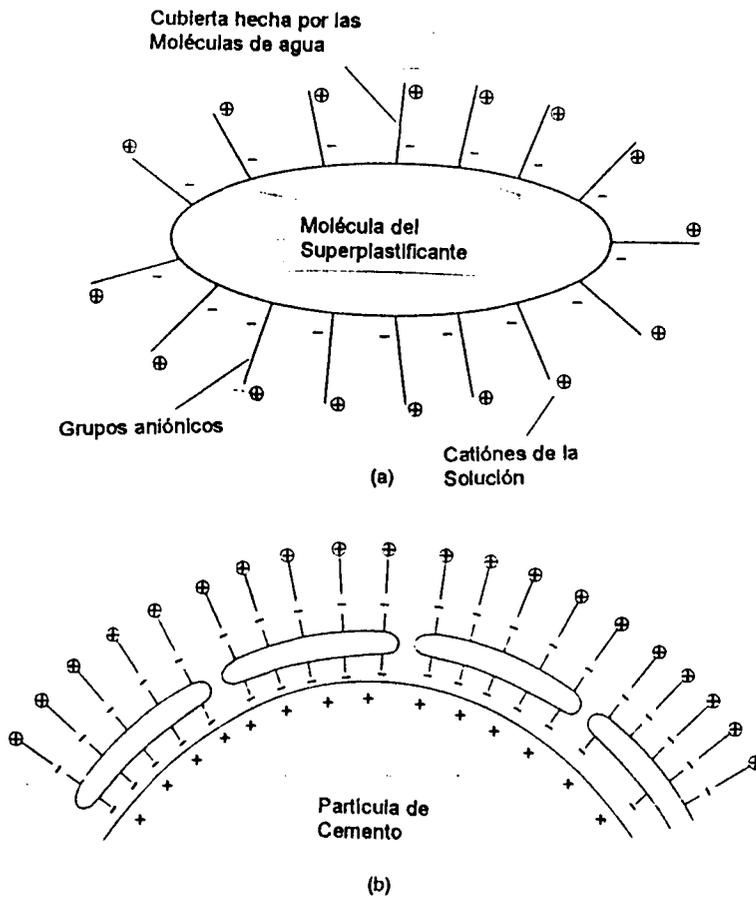


Figura 4. (a) Representación de una molécula de superplastificante y (b) la forma de esta de absorber a la partícula de cemento.

Fuente: Kreijger PC. Aditivos Plastificantes y Dispersantes. Rapidés en la Construcción: C180 Congreso de Aditivos, Londres, 1980. 1 – 16.

CAPITULO 5

CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

CAPITULO 5. CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

El Concreto de Alta Resistencia es una forma de concreto diferente del concreto normal debido a su especial diseño, ~~no se~~ lo llama también como Concreto de Alto Desempeño siendo este último nombre de poco uso porque puede indicar una situación diferente a su objetivo.

Su definición de alta resistencia ha cambiado con los años, la primera vez 40 MPa fueron considerados altos, luego a 60 MPa se les llamó concreto de alta resistencia. Aquí un Concreto de Alta Resistencia será tomado como aquel concreto cuya resistencia a la compresión exceda los 70 MPa.

El Concreto de Alta Resistencia contiene los siguientes materiales: Agregados, Cemento Portland Normal (Tipo IP) en cantidades que varían entre 400 y 500 Kg/m³, ceniza de cascarilla de arroz en porcentajes de entre 5 y 15 de la masa total del cemento cuando el diseño es por adición, arena y agua. La dosis del superplastificante es alta, de 2.5 por ciento en adición del peso del cemento total, permitiendo esto una reducción de agua en el concreto de entre el 30 y 40 por ciento. Esto nos permite tener una relación agua/cemento muy baja, siempre abajo de 0.35. El superplastificante tiene que ser efectivo con el Cemento Portland, es decir, los dos materiales deben ser compatibles.

Al Concreto de Alta Resistencia generalmente se le denomina Concreto de Baja Permeabilidad, debido a que estas dos propiedades no necesariamente acompañadas, se unen porque las altas resistencias requieren un bajo volumen de porosidad. La única manera de tener un bajo volumen de porosidad es que la mezcla contenga partículas bien gradadas en los finos, esto lo realiza la ceniza de la cascarilla de arroz que es el material que llena los espacios vacíos en la pasta de cemento. La baja relación a/c no impide que el concreto sea trabajable debido a las grandes dosis de superplastificante que se utilizan, la densidad del concreto de alta resistencia que se obtiene puede estar en el mismo rango que la densidad del concreto normal; el reemplazo de cierta cantidad de ceniza de cascarilla de arroz por cemento produce un concreto de densidad ligeramente inferior.

5.1 MATERIALES UTILIZADOS

5.1.1 AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

Para que el concreto cumpla con su función, el agregado que se utilice debe tener propiedades como la de ser compatible con el cemento, ser resistente al deterioro causado por cargas aplicadas, ser resistente al deterioro provocado por el clima y agentes químicos, ser permanente en sus propiedades durante el proceso de construcción para sostener las otras funciones del concreto,

tener resistencia interna adecuada y estabilidad para asimilar presiones superficiales con pocas deformaciones y ser resistente a los efectos de fuerzas internas, como expansión y contracción. La caliza triturada #8 ASTM C33, que se utilizó en esta tesis, es un material con absorción del 3%, densidad saturada superficialmente seca de 2600 kg/m^3 y módulo de finura 5.9.

La arena que se utilizó es una arena homogenizada (caliza) con módulo de finura 3.1, densidad saturada superficialmente seca de 2550 kg/m^3 y absorción de 2.99%. (5)

5.1.2 CEMENTO PORTLAND

A continuación se resume la composición química del cemento Portland IP utilizado: 27.9% de Dióxido de Silicio (SiO_2), 5.8% de Oxido de Aluminio (Al_2O_3), 53.7% de Oxido de Calcio (CaO), y 2.9% de Oxido de Hierro (Fe_2O_3).

De la misma manera se presentan las resistencias a la compresión promedio obtenidas en cubos de mortero de 50 mm según norma ASTM C 109, a 3 días de 21 Mpa, a 7 días de 28 Mpa, a 28 días de 35 Mpa; el Blaine es de $420 \text{ m}^2/\text{kg}$; el Fraguado Inicial es a 190 minutos y el Fraguado Final a los 270 minutos.

5.1.3 PUZOLANAS (ADICIONES)

La Ceniza de la Cascarilla de Arroz, se obtiene de la quema al aire libre del tamo que es un producto de desecho de las piladoras de arroz. Otras definiciones se pueden obtener refiriéndonos al capítulo 3 de esta tesis.

5.1.4 ADITIVO

El aditivo que se utilizó fue el Megamix, que es un aditivo líquido, reductor de agua de alto rango que cumple con la norma ASTM C494 Tipo F y tiene como materia prima base el poly-carboxil-naftaleno.

La forma en que las moléculas de este superplastificante trabajan con las partículas de cemento es por absorción a su superficie y consecuentemente deben producirse cargas electrostáticas negativas, que genera una repulsión electrostática entre ellas. Así, se produce un concreto que supera los 150 Mpa de resistencia a la compresión. Reduce el requerimiento de agua hasta un 40% si se lo aplica sólo. (7)

En nuestro trabajo con la ceniza de cascarilla de arroz se encontraron reducciones de agua entre el 42 y 46%.

5.2 MEZCLAS DE LABORATORIO

Las mezclas se realizaron inicialmente con la hidratación de los agregados durante 1½ minutos, seguido de la mezcla con el cemento del diseño hasta completar 3 minutos de mezcla y la adición final del aditivo. El aditivo fue dosificado de dos maneras; primero se lo diluyó en un volumen igual de agua para dosificarlo al final de la mezcla del concreto, este procedimiento se aplicó solamente en el diseño 2 de la tabla 5; la segunda forma de dosificación del Megamix fue pura, sin diluir, también colocada al final de la mezcla de concreto. De las dos maneras de aplicar el aditivo, la segunda fue la que produjo los mejores resultados de reducción de agua y plastificación del concreto.

Tabla 6. Cantidad de material usado en el Diseño de 400 Kg de cemento.Diseño Patrón ($a/c = 0.6894$)

Reducción de agua = 0%

PP(3/8)	799 Kg/m ³
C(IP)	402 Kg/m ³
Agua	277 Kg/m ³
Arena	742 Kg/m ³

Diseño 1 ($a/c = 0.5240$)

Reducción de agua = 24%

PP(3/8)	799 Kg/m ³
C(IP)	402 Kg/m ³
Agua	211 Kg/m ³
Arena	742 Kg/m ³
Aditivo	10 Kg/m ³

Diseño 2 ($a/c = 0.3507$)

Reducción de agua = 49%

PP(3/8)	799 Kg/m ³
C(IP)	402 Kg/m ³
Agua	141 Kg/m ³
Arena	742 Kg/m ³
Aditivo	10 Kg/m ³

Fuente: Centro Técnico del Hormigón

5.3 RESULTADOS

5.3.1 RESISTENCIAS

Para los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión, que se muestran en la tabla 7 y su gráfico en la figura 5 que corresponden al diseño de 500 kg de cemento Portland y para los resultados mostrados en la tabla 8 con su gráfico en la figura 6 que son del diseño de 400 kg de cemento Portland, se puede observar la amplia variación de resistencias entre el diseño patrón y los otros diseños que contienen los materiales nuevos. Se utilizó para los ensayos cilindros de 10*20 cm, logrando las lecturas esperadas.

5.3.2 VARIACION DEL REVENIMIENTO

La metodología utilizada para la obtención de este concreto fue de que inicialmente los agregados mezclados fueron hidratados con el 60% del agua de diseño durante 1½ minutos, seguidamente se añadió cemento a la mezcla con el agua restante del diseño para ser mezclado por un tiempo total de 3 minutos y por último se añadió a la mezcla el aditivo con la posterior medición del revenimiento de la mezcla. Las figuras 7 y 8, muestran los resultados de este ensayo en los diseños.

Tabla 7. Resultados de los ensayos de Resistencia a la Compresión de los Diseños de 500 Kg de cemento.

Resistencias (Mpa)				
Edad (días)	a) Diseño Patrón a/c = 0.5485	b) Diseño 1 a/c = 0.3250	c) Diseño 2 a/(c+p) = 0.3185	d) Diseño 3 a/(c+p) = 0.2965
0	0	0	0	0
3	20,5	41,5	47,4	45,2
7	23,6	45,1	48,1	50
14	26,8	46	48,1	51,4
28	28,8	52,1	54,5	54,2
90	34	61,4	54,8	80

Revenimiento de Diseño Patrón = 16 cm.

a/c = relación agua vs. cemento.

a/(c+p) = relación agua vs. cemento + ceniza de cascarilla de arroz.

Fuente: Centro Técnico del Hormigón

Tabla 8. Resultados de los ensayos de Resistencia a la Compresión de los Diseños de 400 Kg de cemento.

Edad (días)	Resistencias (Mpa)		
	a) Diseño Patrón a/c = 0.6894	b) Diseño 1 a/c = 0.5240	c) Diseño 2 a/c = 0.3507
0	0	0	0
3	10,2	27,3	35,7
7	13,7	27,5	41,8
14	16,3	30,6	46,7
28	20	33,9	50,4
90	21,3	40,9	58,8

Revenimiento de Diseño Patrón = 14 cm.

Revenimiento del Diseño 2 = 16 cm.

Fuente: Centro Técnico del Hormigón

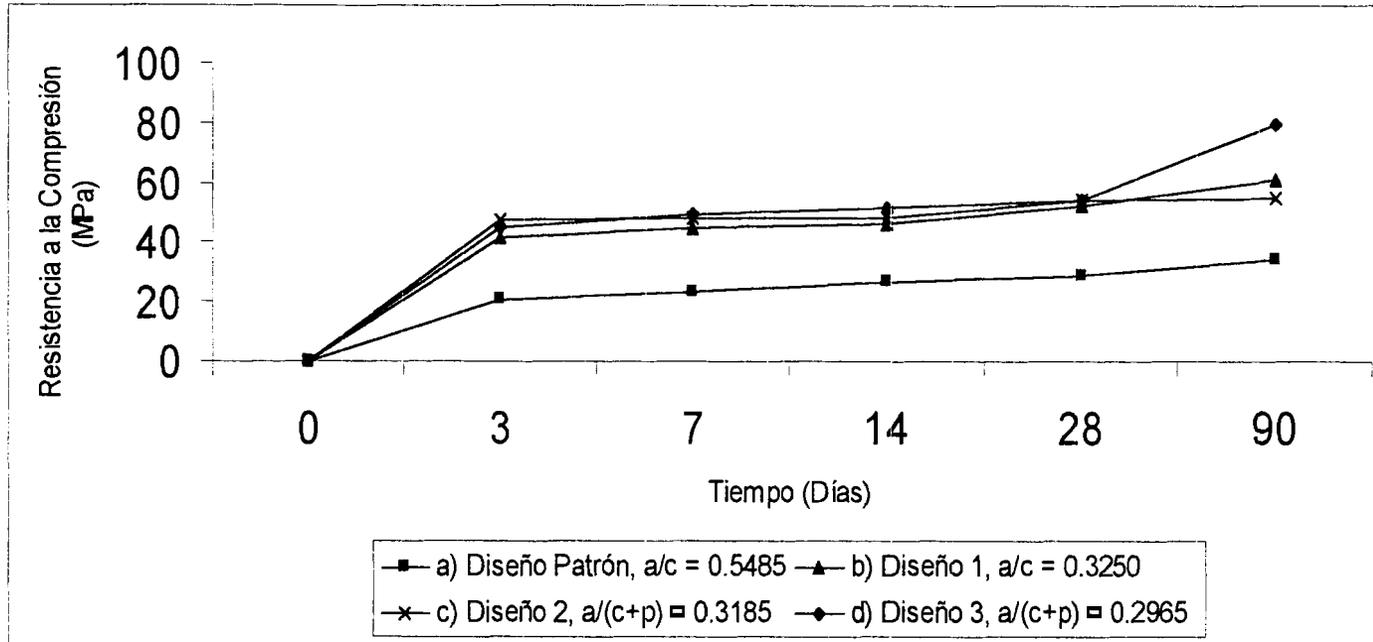


Figura 5. Resistencias a la Compresión de los Diseños: a) Diseño Patrón de 500 Kg de cemento; b) Diseño Patrón con Superplastificante (Diseño 1); c) Diseño Patrón con Superplastificante y Ceniza de Cascarilla de Arroz (Diseño 2); d) Diseño Patrón con Superplastificante y Ceniza de Cascarilla de Arroz (Diseño 3).

Fuente: Centro Técnico del Hormigón.

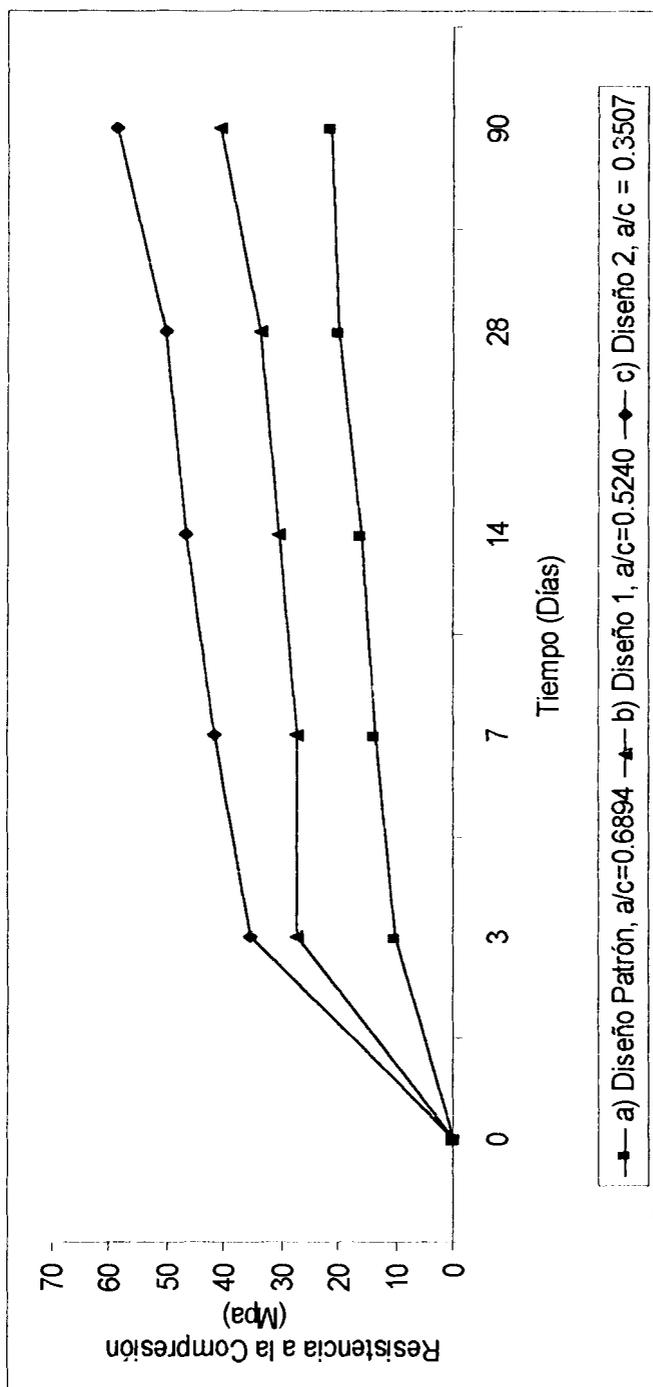
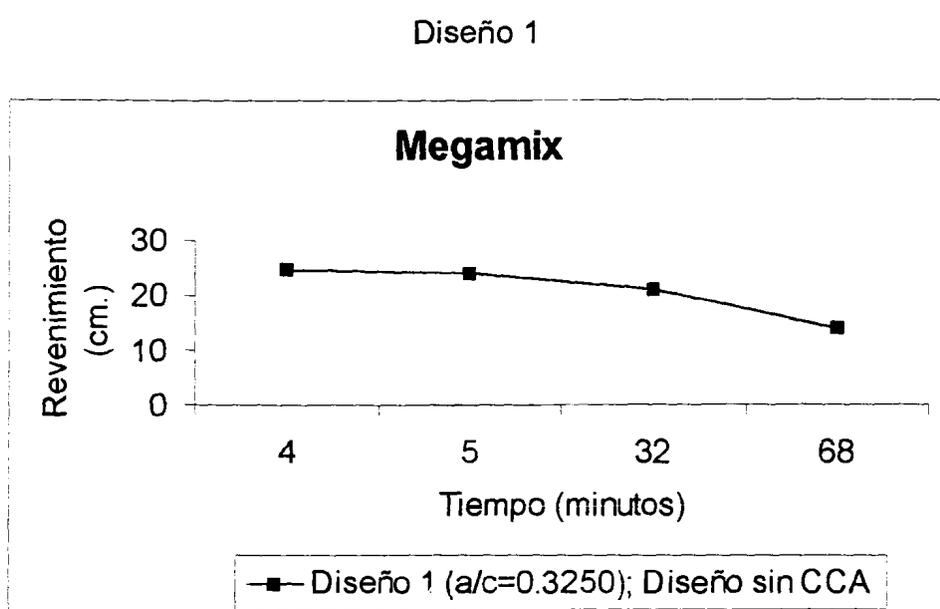


Figura 6. Resistencias a la Compresión de los Diseños: a) Diseño Patrón de 400 Kg de cemento; b) Diseño Patrón con Superplastificante (Diseño 1); Diseño Patrón con Superplastificante (Diseño 2).

Fuente: Centro Técnico del Hormigón.

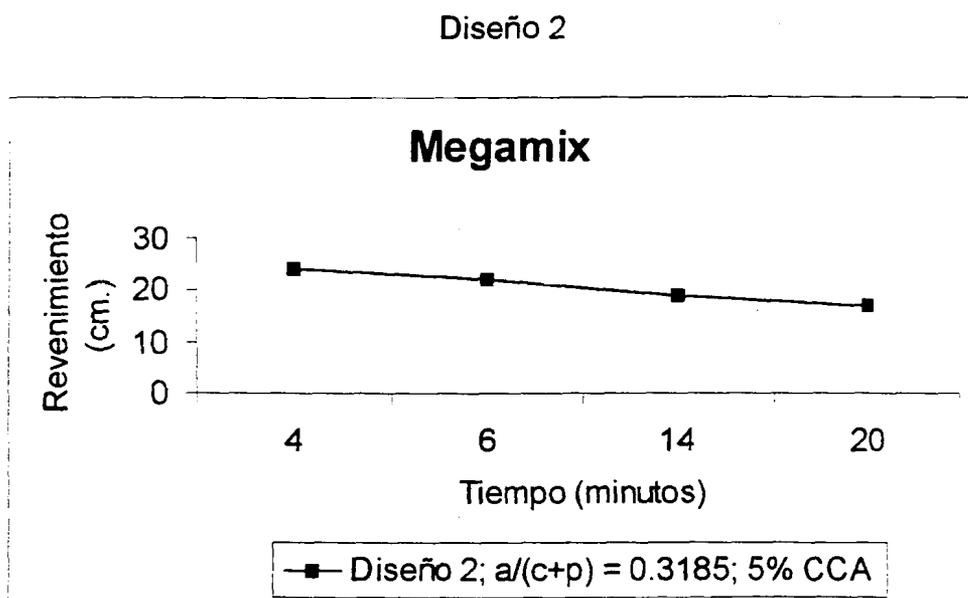
Figura 7. Variación del Revenimiento versus el Tiempo del Diseño 1 de 500 Kg de cemento.



CCA = Ceniza de Cascarilla de Arroz

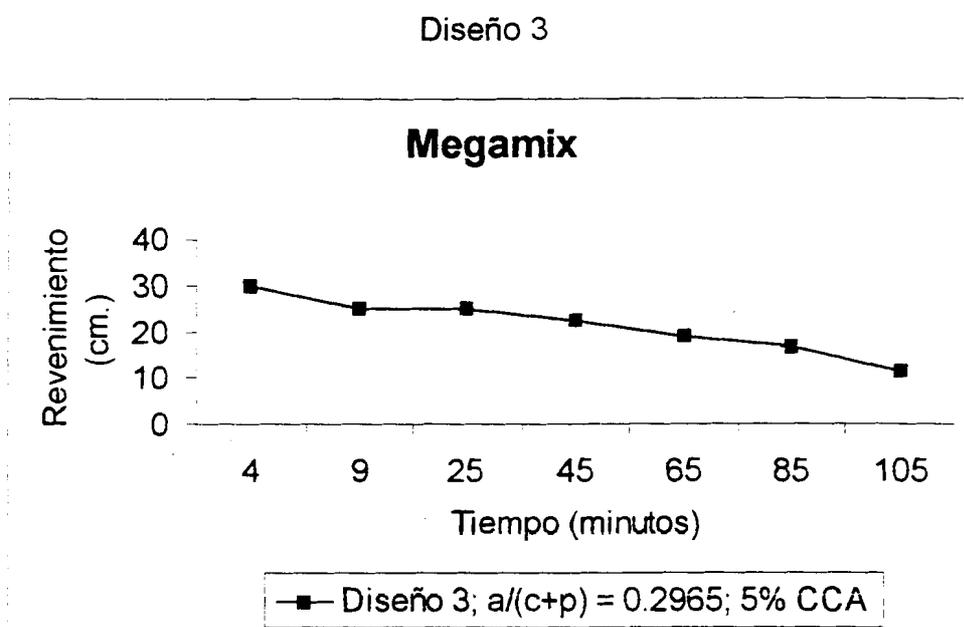
Tiempo (minutos)	Asentamiento (cm.)
4	25
5	24
32	21
68	14

Figura 8. Variación del Revenimiento versus el Tiempo del Diseño 2 de 500 Kg de cemento.



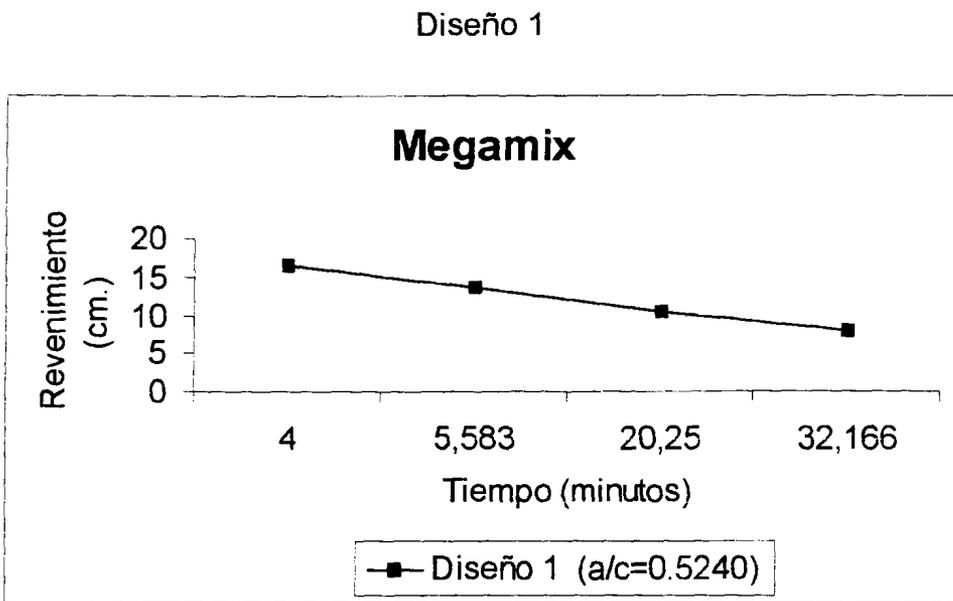
Tiempo (minutos)	Asentamiento (cm.)
4	24
6	22
14	19
20	17

Figura 9. Variación del Revenimiento versus el Tiempo del Diseño 3 de 500 Kg de cemento.



Tiempo (minutos)	Asentamiento (cm.)
4	30 (Asumido)
9	25
25	25
45	22,5
65	18,7
85	16,7
105	11,5

Figura 10. Variación del Revenimiento versus el Tiempo del Diseño 1 de 400 Kg de cemento.



Tiempo (mint.)	Asentamiento (cm.)
4	16,5
5,583	13,5
20,25	10,5
32,166	8

5.4 ANALISIS DE RESULTADOS

La resistencia del diseño de 500 kg/m^3 que posee los dos materiales nuevos, como la ceniza de la cascarilla de arroz y el superplastificante, es mayor en un 30% a 90 días, en relación al que solo tiene el superplastificante, seguramente porque la ceniza ya se encuentra rellenando los capilares en forma de Silicato de Calcio.

Antes de colocarse el aditivo en la mezcla ésta posee una consistencia seca, debido a la menor cantidad de agua de mezclado utilizada en éstas dosificaciones, por tal razón la difusión del aditivo hacia las partículas de cemento hace necesario aumentar ligeramente el tiempo de mezclado. Los diseños donde se utilizó Ceniza de Cascarilla de Arroz presentan una notoria mejoría del asentamiento y el efecto del aditivo sobre la reducción del revenimiento es notoria ya que los diseños que utilizaron Ceniza de Cascarilla de Arroz prolongaron la caída del asentamiento medido en el cono de Abrams.

CAPITULO 6.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

La aplicación de estos dos materiales aumenta la fuerza del enlace del concreto, disminuye la capilaridad ó porosidad produciendo finalmente un concreto más resistente.

De los ensayos realizados y sus resultados se pueden resumir las siguientes conclusiones:

1. La adición de un 5% de Ceniza de Cascarilla de Arroz a un diseño de concreto elaborado con cemento Portland IP, incrementa hasta un 30% de su resistencia a los 90 días de curado normalizado.
2. El aditivo Superplastificante elaborado en base a poli-carboxil-naftaleno, permite el incremento del tiempo de trabajabilidad del concreto en aproximadamente 45%, siempre y cuando se cumpla las siguientes condiciones (Diseños 1 y 3):
 - a) 5% de adición de Ceniza de Cascarilla de Arroz,
 - b) Colocación del aditivo Superplastificante en dosis del 2.5% del cemento, proporcionado sin diluir, luego de la hidratación de todos los materiales del concreto produciendo la consistencia seca.

6.2 RECOMENDACIONES

La Ceniza de la Cascarilla de Arroz es recomendable porque mejora las propiedades del cemento sin modificar su proceso de fabricación. No es recomendable reemplazar menos del 5 por ciento del peso del cemento de diseño porque no constituye ninguna economía, tampoco es recomendable el reemplazo de más del 15 por ciento porque produce un concreto que posiblemente no cumplirá con los objetivos de resistencia y durabilidad. Debido a que mejora la resistencia al ataque de agentes externos en medios agresivos se lo recomienda para la construcción de tuberías y sistemas de alcantarillado de aguas servidas, así también es aplicable en el concreto de cimentaciones para puentes que tienen sus columnas sumergidas en ríos.

El aditivo Superplastificante tiene dos aplicaciones, la primera es como un fluidificante y la segunda es como un reductor de agua de alto rango, por lo que es recomendable utilizarlo en trabajos que exijan gran calidad en su acabado final ó en concretos que necesiten adquirir grandes resistencias iniciales.

BIBLIOGRAFIA

1. Libro anual de los estandares ASTM, 1997; Sección 4, Construcción; página 160, página 173.
2. Química del cemento y del concreto de LEA; Cuarta Edición, editada por Peter C. Hewlett, 1988; Capitulo 6, página 241; Capitulo 10, página 471; Capitulo 15, página 837.
3. Propiedades del concreto; Cuarta y Final Edición, editada por A. M. Neville; Capitulo 3, página 125; Capitulo 5, página 243.
4. Monografía de cemento Portland, n.007; Ing. Leonardo Carrión B; Agosto 1996.
5. Monografía de agregados para Hormigón, n.008; Ing. Hugo Egüez A; Agosto 1995.
6. Colegio de Ingenieros Civiles del Guayas; Seminario: "El Asfalto en la construcción vial"; 22 al 26 de Noviembre de 1999.
7. Folleto de instrucciones del aditivo "Megamix".
8. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 490:99, Segunda revisión.
9. Centro Técnico del Hormigón.