



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL USO DE CEMENTO MEZCLADO
(70% CEMENTO PORTLAND + 30% ESCORIA DE HORNO) EN LA
ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ORNAMENTALES DE CONCRETO.**

Enrique De León Escobar

Asesorado por el Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus

Guatemala, julio de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL USO DE CEMENTO MEZCLADO
(70% CEMENTO PORTLAND + 30% ESCORIA DE HORNO) EN LA
ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ORNAMENTALES DE CONCRETO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

ENRIQUE DE LEÓN ESCOBAR

ASESORADO POR EL ING. SERGIO VINICIO CASTAÑEDA LEMUS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jeovany Miranda Castañon
EXAMINADORA	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL USO DE CEMENTO MEZCLADO (70% CEMENTO PORTLAND + 30% ESCORIA DE HORNO) EN LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ORNAMENTALES DE CONCRETO,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el 31 de octubre de 2006.

Enrique De León Escobar

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por darme la vida y la sabiduría para llegar hasta aquí.
- Mi abuelita** Cleotilde Barrientos de Escobar.
Por brindarme en todo momento su cariño y amor, dejando en mi mente y corazón recuerdos que por siempre me harán sonreír.
- Mi madre** Patricia Escobar.
Por enseñarme en la vida el camino a seguir para alcanzar mis sueños, me inspiraste con tu esfuerzo, amor y sacrificio, con el cual me impulsaste cuando me encontraba detenido.
- Mis padres** Hugo Hernández.
Irma de Hernández.
Emhamad Sálomon.
Por su cariño y apoyo incondicional, sus consejos y regaños me convirtieron en la persona que hoy soy.
- Mis hermanos** Maria José, Hugo Armando, Irma Irene, Maria Alejandra, Maria Cristina.
Por inspirarme a luchar y ser en mi vida una razón para seguir y crecer.

**Mis tíos y primos,
en especial a**

Mario Meza y Familia.

Emilio Menéndez y Familia.

Alma Hernández.

Por su apoyo y cariño, por formar parte de mi vida.

Mi asesor

Ing. Sergio Castañeda Lemus.

Por compartir sus conocimientos y experiencia en la elaboración de este proyecto.

**Mis amigos
y compañeros**

Por los momentos que hemos compartido, en los que me han brindado su amistad y apoyo.

Las empresas

Sidegua y Arquitectónica.

La Universidad de San Carlos de Guatemala

La Facultad de Ingeniería

ACTO QUE DEDICO A:

Mis abuelitos

Cleotilde Barrientos de Escobar.
Eduardo Escobar De La Roca (D.E.P.)

Mi madre

Patricia Escobar.

Mis padres

Hugo Hernández.
Irma de Hernández.
Emhamad Sálomon.

Mis hermanos

Maria José, Hugo Armando, Irma Irene, Maria
Alejandra, Maria Cristina.

Mis tíos y primos, en especial a

Alfredo Escobar
Eduardo Escobar y Familia.
Mario Meza y Familia.
Emilio Menéndez y Familia.

Mi asesor

Ing. Sergio Castañeda Lemus.

A los señores

Abilio Duarte y Familia.
Julio Hernández y Familia.

Mis amigos

Felipe Duarte, Guillermo Estrada, Diego Mendoza y
Familia, Rodolfo Rosales Y Familia, Sergio Irungaray,
Amilcar Ordóñez, Gustavo Figueroa, Mario Barillas y
Familia, Juan Francisco Salvatierra y Familia, Ana Elisa

Pérez, Maria Andrea Ríos, Deify Mansilla, Roberto Calderón, Sandra Orantes, Laura Orantes, Fabiola Zúñiga, Jennifer Santizo, Diego Guillen, Julio Sosa, Alejandro Fonseca, Rodolfo Ruano y a todos los que no pude mencionar pero siempre los tendré presentes.

Mi Patria

Guatemala.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Mi gloriosa y tricentenaria, en especial a la Facultad de Ingeniería.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII

1. CEMENTOS MEZCLADOS

1.1	Definición	01
1.2	Tipos	01
1.2.1	Cementos de mampostería	01
1.2.2	Cementos mezclados	02
1.2.2.1	Cemento Pórtland de escoria de alto horno	02
1.2.2.2	Cemento Pórtland puzolánico	02
1.2.2.3	Cemento de escoria	03
1.2.2.4	Cemento Pórtland puzolánico modificado	03
1.2.2.5	Cemento Pórtland de escoria modificado	04
1.3	Usos	04
1.4	Especificaciones cementos mezclados	06
1.4.1	Normas	06
1.4.1.1	Internacional	06
1.4.1.2	Regional	07
1.4.1.3	Nacional	08
1.4.2	Ensayos	08
1.4.2.1	Ensayos químicos	09
1.4.2.2	Ensayos físico-mecánicos	09

1.4.2.2.1	Resistencia a la compresión_____	10
1.4.2.2.2	Expansión en autoclave_____	10
1.4.2.2.3	Contracción de secado_____	10
1.4.2.2.4	Contenido de aire en mortero_____	10
1.4.2.2.5	Consistencia normal_____	10
1.4.2.2.6	Densidad del cemento_____	10
1.4.2.2.7	Tiempos de fraguado_____	10
1.4.2.2.8	Superficie específica_____	10
1.4.2.2.9	Porcentaje de fineza en tamiz No. 325_____	11
1.5	Adiciones_____	11
1.5.1	Definición_____	11
1.5.2	Generalidades_____	11
1.5.3	Tipos_____	12
1.5.3.1	Materiales cementantes_____	12
1.5.3.1.1	Cal hidráulica hidratada_____	13
1.5.3.1.2	Escoria de altos hornos_____	13
1.5.3.2	Materiales puzolánicos _____	14
1.5.3.2.1	Puzolanas naturales_____	14
1.5.3.2.2	Puzolanas artificiales_____	15
1.5.3.3	Materiales nominalmente inertes_____	16

2. ESCORIA

2.1	Definición_____	17
2.2	Tipos_____	17
2.2.1	Escoria de Altos Hornos_____	17
2.2.2	Escoria de Siderurgia_____	18
2.2.2.1	Usos de escoria de Siderurgia_____	18

2.3	Siderurgica de Guatemala (SIDEGUA)	18
2.3.1	Generalidades	18
2.3.2	Procesos	19
2.4	Escoria de Sidegua	20
2.4.1	Volumen generado	20
2.4.2	Características	20

3 PRODUCTOS ORNAMENTALES DE CONCRETO

3.1	Definición	23
3.2	Usos	23
3.3	Empresa Arquitectónica	23
3.3.1	Generalidades	23
3.3.2	Ubicación	24
3.3.3	Productos elaborados	24
3.3.4	Producción	24
3.3.4.1	Materia prima	24
3.3.4.2	Equipo	25
3.3.4.3	Mano de obra	25
3.3.4.4	Procesos	25
	3.3.4.4.1 Preparación materiales y equipo	25
	3.3.4.4.2 Elaboración de concretos	26
	3.3.4.4.3 Manejo de productos	26
	3.3.4.4.4 Control de calidad	27

4 DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1	Muestreo	29
-----	----------	----

4.2 Preparación de cemento mezclado (70% cemento Pórtland + 30% escoria)	29
4.3 Resultados	29
4.3.1 Caracterización de agregados	29
4.3.1.1 Peso unitario y vacíos en los agregados (ASTM C-29)	30
4.3.1.2 Materia orgánica en los agregados finos (ASTM C-40)	30
4.3.1.3 % pasa tamiz 200 (ASTM C-117)	30
4.3.1.4 Peso específico y absorción en agregados finos y gruesos. (ASTM C-127,C-128)	30
4.3.1.5 Resistencia a la abrasión del agregado grueso de tamaño pequeño mediante el uso de la máquina de Los Ángeles. (ASTM C-131)	31
4.3.1.6 Análisis granulométrico de los agregados finos y gruesos. (ASTM C-136)	31
4.3.2 Caracterización de cementos	31
4.3.3 Elaboración y evaluación de concretos	35
4.3.3.1 Concreto mezcla control (CMC)	35
4.3.3.2 Concreto cemento mezclado (CCM)	35
4.3.3.3 Control de calidad	37
4.3.4 Productos ornamentales	39
4.3.4.1 Evaluación técnica	39
4.3.4.1.1 Contracción	41
4.3.4.1.2 Pérdida de peso	41
4.3.4.1.3 Permeabilidad	42
4.3.4.2 Evaluación económica	44

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Materiales	47
5.1.1 Agregados	47
5.1.2 Cementos	47
5.1.3 Concretos	47
5.1.3.1 Estado fresco	47
5.1.3.1.1 Asentamiento	47
5.1.3.1.2 Peso unitario	48
5.1.3.1.3 Contenido de aire	48
5.1.3.1.4 Temperatura	48
5.1.3.1.5 Velocidad de endurecimiento	49
5.1.3.2 Estado Endurecido	49
5.1.3.2.1 Resistencia a compresión	49
5.1.3.2.2 Prueba adherencia concreto-acero	50
5.2 Productos Ornamentales	50
5.2.1 Evaluación técnica	50
5.2.2 Evaluación económica	51

6 PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ORNAMENTALES.

6.1 Materia prima	53
6.2 Equipo	53
6.3 Mano de obra	54
6.4 Producción	54
6.5 Manejo de productos	55
6.6 Almacenaje de productos terminados	56

CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
APÉNDICE I. Informe de la sección de agregados y concretos del CII	63
APÉNDICE II. Informe de la sección de aglomerantes y morteros del CII	66

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Moldes de productos ornamentales_____	27
2. Gráfica concreto mezcla control_____	35
3. Gráfica concreto cemento mezclado (70% cemento Pórtland + 30% Escoria)_____	36
4. Gráfica resistencia a compresión concretos_____	38
5. Gráfica velocidad de endurecimiento concretos_____	38
6. Tipos de celosías evaluadas_____	39
7. Balaustres evaluados_____	40
8. Tipos de estatuas ornamentales evaluadas_____	40
9. Evaluación de contracción_____	41
10. Evaluación de pérdida de peso_____	42
11. Prueba de permeabilidad volumen controlado_____	43
12. Prueba de permeabilidad con producto sumergido_____	43
13. Almacenaje de producto terminado_____	56

TABLAS

I. Principales aplicaciones de los cementos hidráulicos mezclados_____	05
II. Propiedades de la escoria de hornos de SIDEGUA_____	20
III. Propiedades de la escoria de hornos de SIDEGUA_____	20
IV. Comparación de la composición química entre la escoria de SIDEGUA y la escoria de altos hornos de EE.UU._____	21

V. Ensayos aplicables para la caracterización de cementos_____	32
VI. Tabla VI. Resultados Cementos Mezclados_____	33
VII. Resultados Cemento Pórtland tipo I_____	34
VIII. Cantidad de materiales_____	36
IX. Ensayos Realizados a concretos_____	37
X. Resultados a productos ornamentales_____	44
XI. Costos de materiales para cada mezcla_____	45

LISTA DE SÍMBOLOS

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
Al₂O₃	óxido de aluminio
CaO	óxido de calcio
CO₂	dióxido de Carbono
CCM	Concreto cemento mezclado
CMC	Concreto mezcla control
°C	grados Celsius
Fe₂O₃	óxido férrico
kg	kilogramo
MgO	óxido de magnesio
Na₂O	óxido de sodio
SO₃	trióxido de azufre
SiO₂	dióxido de silicio

GLOSARIO

Adición	Material mineral que es incorporado al cemento o al concreto en diferentes proporciones, a fin de mejorar o transformar algunas de sus propiedades.
Alto horno	Horno en forma de torre que se usa para refinar mineral, sobre todo en la siderurgia.
ASTM	Siglas en inglés de la Sociedad Americana para el ensayo e inspección de los materiales (American Society for Testing and Materials).
Cemento mezclado	Mezcla íntima y uniforme de cemento Pórtland con distintos tipos de adiciones que desarrollan propiedades para usos especiales en la construcción.
Cemento Pórtland	Es un conglomerante hidráulico, obtenido por la pulverización del clinker y sin más adición que la piedra de yeso natural en un porcentaje no superior al 5%, para retrasar el fraguado de los silicatos y aluminatos anhidros, que forman el clinker. Su color es gris, más o menos oscuro según la cantidad de óxido férrico.
Clinker	Componente principal del cemento, constituido por silicatos de calcio obtenido por medio de la cocción hasta fusión parcial de una mezcla convenientemente

proporcionada y homogenizada de materiales debidamente seleccionados.

COGUANOR

Siglas de la Comisión Guatemalteca de Normas.

Escoria

Producto no metálico consistente, esencialmente, de silicatos y alúmino-silicatos de calcio, y otras bases, que se desarrolla durante la fabricación de acero y hierro.

Permeabilidad

Cantidad de migración de agua a través del concreto cuando el agua se encuentra a presión, o bien, la capacidad del concreto de resistir la penetración de agua u otras sustancias.

Puzolana

Material con alto contenido de silicio o silicio-aluminio de origen natural o industrial, que una vez pulverizado, en presencia de agua, reacciona con el hidróxido de calcio del cemento, formando a temperatura ambiente, compuestos con propiedades hidráulicas permanentemente insolubles y estables.

Trabajabilidad

Característica de una mezcla o mortero en cuanto a la facilidad que presenta para ser colocado.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación, se evaluó el uso de cemento mezclado (70% cemento Pórtland + 30% escoria) en la elaboración de productos ornamentales de concreto, respecto a la mezcla utilizada tradicionalmente por la empresa ARQUITECTÓNICA, (mezcla control 100% cemento UGC). Ésto permitió conocer el comportamiento del cemento mezclado en el concreto y productos elaborados, así como los costos de los mismos.

Por medio de ensayos normalizados por la ASTM se determinaron las propiedades de cada concreto, obteniendo resultados técnicos y económicos que indican que el uso del cemento mezclado es más eficiente.

Además, se propone una metodología, para la fabricación de productos ornamentales ha utilizar en la planta de la empresa ARQUITECTÓNICA. Con dicha metodología se implementa el uso de la escoria porque se pueden generar fuentes de ingresos para comunidades cercanas a la planta de Siderurgica de Guatemala (SIDEGUA).

Para el desarrollo de la investigación se contó con el apoyo del Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, las empresas Siderúrgica de Guatemala, S.A. (SIDEGUA) y ARQUITECTÓNICA.

Con este trabajo de graduación se da seguimiento a la línea de investigación del Centro de Investigaciones de Ingeniería, sobre la reutilización de la escoria generada en la planta SIDEQUA.

OBJETIVOS

GENERAL

Evaluar técnica y económicamente el uso de cemento mezclado (70% cemento Pórtland + 30% escoria) en la elaboración de productos ornamentales de concreto.

ESPECÍFICOS

1. Continuar la línea de investigación sobre cementos mezclados desarrollada en el Centro de Investigaciones de Ingeniería.
2. Evaluar alternativas de reutilización de la escoria generada dentro de los procesos de producción en la empresa Siderurgica de Guatemala (SIDEGUA).
3. Evaluar el desempeño del cemento mezclado (70% cemento Pórtland + 30% escoria) en la elaboración de productos ornamentales de concreto.
4. Elaborar y evaluar concretos (mezcla control 100% cemento UGC) y cemento mezclado (70% cemento Pórtland + 30% escoria) por medio de ensayos normalizados por la ASTM. (American Society for Testing and Materials)

5. Proponer una metodología para la elaboración de productos ornamentales que pueda ser empleada por ARQUITECTÓNICA.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de cementos mezclados en actividades industriales promueve el uso de adiciones naturales y artificiales, con lo que se busca disminuir el costo del concreto. Igualmente, se propone su uso en la fabricación de productos ornamentales de concreto, ya que el cemento mezclado (70% cemento Pórtland + 30% escoria) al ser usado y comparado con la mezcla control (100% cemento UGC), presenta resultados favorables que se deben considerar para su incorporación en esta actividad.

Se realizó una evaluación técnica y económica de su uso en la elaboración de elementos de concreto. Esta sirvió para generar una metodología que optimiza recursos e impulsa el uso de este cemento mezclado, colaborando a mitigar el impacto ambiental generado al acumularse este material (300 tonelada/mes). Presentando alternativas de fuentes de ingreso para comunidades cercanas a la planta de Siderurgica de Guatemala (SIDEGUA).

Después de realizada la evaluación sobre la aplicación del cemento mezclado con escoria en esta actividad industrial, se puede decir que se obtuvo un comportamiento favorable del concreto de cemento mezclado, ya que se logró disminuir costos y tiempos en la producción, se obtienen productos con aspecto más resistente y con mejores características que los tradicionales.

Estudios anteriores recomiendan evaluar alternativas para el uso del cemento mezclado. Con el apoyo del Centro de Investigaciones de Ingeniería y

el de las empresas SIDEGUA y ARQUITECTÓNICA se atiende a esta recomendación.

1. CEMENTOS MEZCLADOS

1.1 Definición

Material que consiste de dos o mas constituyentes inorgánicos, que separados o en combinación contribuyen a las propiedades del cemento de ganar dureza.¹

Material que se obtiene por molturación conjunta, en proporciones variables de clinker, reguladores de fraguado, escorias siderúrgicas, puzolanas inertes.²

Producto de la mezcla íntima de cemento Pórtland y otro material fino (material puzolánico) usado en la fabricación de concreto y en combinación con cal hidratada puede usarse en la fabricación de morteros de mampostería.³

1.2 Tipos

1.2.1 Cementos de mampostería

El cemento de mampostería se emplea en la elaboración de morteros para aplanados, junta de bloques y otros trabajos similares, por tal motivo también se le denomina cemento de albañilería. Dos características importantes de este cemento son su plasticidad y su capacidad para retener el agua de mezclado. Tomando en cuenta que sus requisitos de resistencia son comparativamente menores que los del Pórtland, esas características suelen fomentarse con el uso de materiales inertes tales como caliza y arcilla, que pueden molerse conjuntamente con el clinker o molerse por separado y mezclarse con el

cemento Pórtland ya elaborado. La Especificación ASTM C-91 considera tres tipos de cemento de mampostería (N, S y M) con tres diferentes niveles de resistencia.

1.2.2 Cementos mezclados

1.2.2.1 Cemento Pórtland de escoria de alto horno

Es empleado para uso general en la construcción. Al producir este particular tipo de cemento, la escoria de alto horno granulada de calidad seleccionada es molida junto con el clinker de cemento Pórtland, o bien en forma separada para luego realizar la mezcla con el cemento Pórtland, pudiéndose de igual manera hacer una combinación de molienda y mezclado. El contenido de escoria de alto horno puede variar entre el 25 y el 70% en masa.

1.2.2.2 Cemento Pórtland puzolánico

En este caso, la puzolana forma generalmente del 15 al 40 % de la masa de la mezcla total, aprovechándose así la propiedad que presenta de combinarse con la cal que se libera durante la hidratación del cemento Pórtland, a fin de obtener una mayor estabilización física y química de los concretos. Para este caso se reconocen dos diferentes tipos de cementos:

Tipo IP: cemento puzolánico empleado para uso general en la construcción. Los ensayos de laboratorio indican que el comportamiento de un concreto hecho con cemento tipo IP es similar al de un concreto de cemento Pórtland, aunque en los primeros 28 días los resultados son ligeramente inferiores para el cemento tipo IP que para el cemento Pórtland.

Tipo P: cemento Pórtland puzolánico destinado a construcciones donde no ha de ser requerida una alta resistencia inicial, sobretodo en estructuras masivas como estribos, presas y pilas de cimentación. La fabricación del mismo conlleva la molienda de clinker de cemento Pórtland con una puzolana adecuada, mezclando cemento Pórtland o cemento Pórtland de escoria de alto horno con una puzolana; o bien, por medio de la combinación de uno de los dos procesos.

1.2.2.3 Cemento de escoria

Este cemento puede ser empleado en combinación con cemento Pórtland, para la elaboración de concreto, y de igual forma puede ser utilizado en combinación con cal hidratada, para la obtención de morteros. Se fabrica mezclando escoria molida de alto horno y cemento Pórtland, escoria molida de alto horno y cal hidratada, o bien la combinación de escoria molida de alto horno, cemento Pórtland y cal hidratada. El contenido mínimo de escoria para este caso es del 70% de la masa del cemento.

1.2.2.4 Cemento Pórtland puzolánico modificado

Se fabrica combinando cemento Pórtland o cemento Pórtland de escoria de alto horno con una puzolana fina, logrando ésto por medio de una mezcla de cemento Pórtland con la puzolana, mezclando el cemento Pórtland de escoria de alto horno con la puzolana, moliendo conjuntamente el clinker del cemento Pórtland con la puzolana o por medio de una combinación de molienda conjunta. El contenido de la puzolana para este caso es menor que el 15% en masa del cemento terminado.

1.2.2.5 Cemento Pórtland de escoria modificado

Se produce combinando durante la molienda el clinker de cemento Pórtland y alguna escoria granular de alto horno, mezclando cemento Pórtland con alguna escoria granular de alto horno finamente molida o por la combinación de molienda y mezclado. El contenido de escoria es inferior al 25% de la masa del cemento terminado.

1.3 Usos

La aplicación de un determinado tipo de cemento mezclado estará siempre en función de la obra para la cual se desea emplear, ya que el tipo de adición contempla una variabilidad de propiedades que afectan en forma directa el desempeño de la estructura final.

Los cementos mezclados con un contenido de más del 20% de puzolanas no graduadas pueden ser empleados en obras tales como:

- Presas y obras masivas, especialmente de concreto seco compactado con Rodillo.
- Caminos de concreto seco compactado o de suelo - cemento compactado.
- Construcciones varias de suelo-cemento, muros monolíticos, pisos, bloques y ladrillos prensados, suelo cemento ensacado.
- Cementos de mampostería.

Tabla I. Principales aplicaciones de los cementos mezclados hidráulicos

TIPO DE CEMENTO	APLICACIONES	REQUERIMIENTO DE OBRA
Cemento con ceniza volante Cemento con humo de sílice	<ul style="list-style-type: none"> • Obras marítimas • Obras en contacto con suelos y aguas ácidas • Canalizaciones y drenajes • Cimentaciones • Muros de contención • Obras subterráneas 	Resistencia al ataque químico
Cemento con ceniza volante Cemento con escoria Cemento con humo de sílice	<ul style="list-style-type: none"> • Presas • Canales y puentes • Concretos masivos 	Bajo calor de hidratación
Cemento con ceniza volante Cemento con escoria Cemento con materiales inertes	<ul style="list-style-type: none"> • Concretos inyectados • Morteros de albañilería • Acabados 	Trabajabilidad
Cemento con ceniza volante Cemento con escoria Cemento con humo de sílice	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos prefabricados • Concretos con agregados Reactivos 	Reactividad álcali – sílice

Fuente: CETEC (Centro Tecnológico de Cementos Progreso)

1.4 Especificaciones cementos mezclados

1.4.1 Normas

1.4.1.1 Internacional

La mayoría de países europeos aplican las normas Españolas UNE sobre cementos, apegándose con ello a todo lo referente a terminología, requisitos, métodos de ensayo y generalidades contenidas dentro de éstas, de las cuales pueden ser mencionadas:

- Norma UNE-EN 197-4:2005 Cemento. Parte 4: composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos con escoria de horno alto y baja resistencia inicial.
- Norma UNE 80303-1,2,3:2001 Cementos con características adicionales.

Otros países han establecido especificaciones especiales, como el caso de la Norma India IS 1727-1967. En este mismo sentido, en Japón se establece la Norma JIS R 5210 para cemento Pórtland ordinario y Pórtland con un máximo de adición del 5%.

1.4.1.2 Regional

En Estados Unidos las normas establecidas por la *American Society for Testing and Materials* (ASTM), constituyen sin duda alguna los principales parámetros en cuanto a ensayos y materiales se refiere, encontrándose dentro de éstas la Norma ASTM C-595 (Standard Specification for Blended Hydraulic Cements), en la cual se contemplan especificaciones básicas para cinco tipos de cementos mezclados y la Norma ASTM C-91 (Standard Specification for Masonry Cement), en la que se definen tres tipos de cementos de mampostería.

En México se tiene la Norma NMX - C – 414 – ONNCCE – 1999, (*Industria de la construcción – cementos hidráulicos – especificaciones y métodos de prueba*), establecida por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y edificación. De igual forma se encuentra vigente la Norma NMX-C-273-ONNCCE, Determinación de la actividad hidráulica de las adiciones con cemento Pórtland. Para el cemento de mampostería se tiene la norma NOM C-21(9) cuyos requisitos son equiparables a los del cemento de nivel inferior de resistencia (tipo N) reglamentado por la ASTM.

En Sudamérica en el año 1935, es fundado por un grupo de instituciones públicas y privadas el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), constituyendo el Primer Instituto de Normas de Latinoamérica. En 1999, se realiza una revisión de las de las Normas IRAM establecidas con el propósito de simplificar la aplicación del conjunto de normas relacionadas con las características y requisitos de los distintos tipos y clases de cementos.

En Centro América existen normas sobre este tema, dentro de las que se pueden mencionar; la Norma Obligatoria NSO 91.13.01.03 de El Salvador, la

Norma NCR 40:1990 de Costa Rica, la norma NTON 12 006 – 03 de Nicaragua. La mayoría se basan en las normas técnicas mexicanas y americanas (ASTM), en las que se dictan especificaciones para el cemento Pórtland.

1.4.1.3 Nacional

La Comisión Guatemalteca de Normas(COGUANOR) en su norma 41-001, (Cementos definiciones y nomenclatura), tiene por objeto establecer la nomenclatura y definiciones de los distintos tipos de cementos, encontrándose dentro de la misma el cemento Pórtland de escoria de alto horno, cemento Pórtland puzolánico, cemento Pórtland adicionado.

Cabe destacar también la propuesta de norma del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la USAC (CII) en 1984, para la determinación de la resistencia a la compresión de morteros hechos a base de cal, puzolana y arena.

1.4.2 Ensayos

Los métodos de prueba de los cementos mezclados, independientemente del uso al que estén destinados, deberán garantizar no sólo la resistencia requerida a las edades normales luego de 28 días, sino también el hecho de que la puzolana empleada sea la adecuada para desarrollar propiedades que contribuyan en forma sustancial a la resistencia tardía.

Generalmente, las pruebas físicas y químicas de los cementos se realizan en búsqueda del cumplimiento de las normas de calidad, estableciéndose para ello las Normas ASTM C-595, (*Standard Specification for Blended Hydraulic*

Cements) y ASTM C-91, (*Standard Specification for Masonry Cement*) con los respectivos métodos de ensayos.

1.4.2.1 Ensayos químicos

La norma ASTM C-114, (*Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement*) presenta los requerimientos químicos de los cementos, estos ensayos se realizan con la finalidad de establecer:

- Contenidos porcentuales de SO₃ (trióxido de azufre), parámetro que regula el tiempo de fraguado.
- CaO (Oxido de Calcio) libre y MgO (Oxido de Magnesio); elementos que en excesivas cantidades pueden llegar a aumentar la expansión provocando agrietamientos y reduciendo la resistencia.
- Pérdida al fuego por medio de la determinación de la cantidad de humedad y CO₂ (Dioxido de Carbono).
- Residuo insoluble, o bien la cantidad de materia no soluble en ácido de acuerdo al contenido de adiciones.

1.4.2.2 Ensayos físico mecánicos

Por su parte, las pruebas físicas y mecánicas realizadas a los cementos mezclados hidráulicos, permiten establecer:

- 1.4.2.2.1** Resistencia a la compresion ASTM C-109, (*Standard Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars*).
- 1.4.2.2.2** Expansión en autoclave ASTM C-151, (*Standard Test Method for Autoclave Expansion of Hydraulic Cement*) con la finalidad de conocer el índice de la expansión potencial causada por la hidratación.
- 1.4.2.2.3** Contracción de secado ASTM C-157
- 1.4.2.2.4** Contenido de aire en mortero ASTM C-185 (*Standard Test Method for Air Content of Hydraulic Cement Mortar*).
- 1.4.2.2.5** Consistencia normal ASTM C-187, (*Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement*).
- 1.4.2.2.6** Densidad del cemento ASTM C-188, (*Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement*) a fin de optimizar las proporciones de la mezcla.
- 1.4.2.2.7** Tiempos de fraguado ASTM C-191, (*Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle*) inicial y final.
- 1.4.2.2.8** Superficie específica ASTM C-204, (*Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air*

Permeability Apparatus) que influye en la trabajabilidad, demanda de agua, tiempo de fraguado y resistencia a la compresión.

- 1.4.2.2.9** Porcentaje de fineza en tamiz de 45 micrones ASTM C-430, *Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by the 45- μ m*), cantidad que influye en forma directa en la resistencia a la compresión, tiempo de fraguado y demanda de agua.

1.5 Adiciones

1.5.1 Definición

Material que se mezcla en cantidades limitadas dentro del cemento hidráulico durante su manufactura.⁴

Material mineral que es incorporado al cemento o al concreto en diferentes proporciones a fin de mejorar o transformar algunas de las propiedades.

1.5.2 Generalidades

Comúnmente, las adiciones constituyen materiales naturales o subproductos derivados de otros procesos industriales, que una vez mezclados con clinker permiten obtener cementos con características especiales. El conjunto de adiciones empleadas para la elaboración de cementos mezclados, está conformado por minerales originados en erupciones volcánicas, cenizas formadas en plantas generadoras que emplean el carbón como combustible y por subproductos de hornos metalúrgicos, entre otros. En este sentido, de

acuerdo al origen de cada una de las adiciones, suelen ser estas clasificadas en puzolanas naturales y artificiales, pudiendo ser considerado un grupo mixto o intermedio de puzolanas naturales sometidas a tratamientos térmicos de activación que buscan incrementar sus cualidades hidráulicas.⁵

1.5.3 Tipos

La aplicación de los diversos tipos de puzolanas, conlleva la búsqueda y optimización de las propiedades hidráulicas de las mismas, ya sea por una reacción directa al combinarse con cal hidratada, o bien, al ser mezcladas con Cemento Pórtland, donde la reacción se desarrolla entre la puzolana y la cal liberada durante la hidrólisis del cemento. Las adiciones minerales finamente molidas pueden ser clasificadas de acuerdo con sus propiedades físicas y químicas como:⁶

- Materiales cementantes
- Materiales puzolánicos
- Materiales nominalmente inertes

1.5.3.1 Materiales cementantes

Término que comprende las adiciones minerales que por sí solas presentan propiedades hidráulicas cementantes, es decir que fraguan y endurecen en presencia del agua incorporándose especialmente a los cementos Pórtland en las centrales de mezcla de concreto. El término se introduce en 1992 por el American Concrete Institute (ACI) en el Código de Diseño de Concreto Armado.

1.5.3.1.1 Cal Hidráulica Hidratada

Producto de la calcinación de calizas con contenidos de sílice y alúmina, con suficiente óxido de calcio libre y silicatos de calcio sin hidratar, para permitir el desarrollo de las propiedades hidráulicas del material. En este sentido, la cal encierra a todo producto procedente de la calcinación de las piedras calizas compuestas por carbonato de calcio mezclado generalmente con alúmina, sílice, magnesio, óxido de hierro y de manganeso. De acuerdo con la norma ASTM C-602 (*Standard Specification for agricultural Living Materials*), el término cal abarca varias formas físicas y químicas tales son: la cal viva, hidratada e hidráulica empleada para diversos propósitos.

1.5.3.1.2 Escoria de altos hornos

Es el subproducto del tratamiento de minerales de hierro en el alto horno, que para ser empleado en la fabricación de cementos deberá presentar una conveniente composición química además de ser obtenido en forma granular por enfriamiento brusco, tal y como lo especifica la Comisión Guatemalteca de normas (COGUANOR) en su norma NGO 41-001 (*Cementos hidráulicos mezclados. Terminología y especificaciones.*)

La escoria granulada de alto horno molida fabricada a partir de la escoria de alto horno de hierro, es un subproducto no metálico que consiste principalmente de silicatos y aluminosilicatos de calcio, así como de otras bases que se desarrollan en la fundición simultáneamente con el hierro en altos hornos.

1.5.3.2 Materiales puzolánicos

Son materiales naturales o productos artificiales que contienen minerales silíceos y aluminosos con escaso valor cementante, pero que una vez molidos finamente reaccionan en presencia de agua a temperatura ambiente con el hidróxido de calcio liberado por la hidratación del cemento Pórtland, formando compuestos de silicatos de calcio y aluminato de calcio capaces de desarrollar resistencia.

Las puzolanas contienen normalmente una gran cantidad de material amorfo y de minerales (olivino, piroxenas, hornablendas, feldespatos), desarrollando la mayoría de ellas su actividad hidráulica como consecuencia del material amorfo, materiales activos (zeolitas) y la superficie específica que les caracteriza, cualidades y compuestos que favorecen la reacción con el hidróxido de calcio.

1.5.3.2.1 Puzolanas naturales

Se componen por materiales de origen volcánico o de características similares, pudiendo ser rocas volcánicas de naturaleza diversa: traquítica alcalina, pumicita, tobácea, etc., o también rocas de origen orgánico, tierras de diatomeas (algas) o de infusorios (protozoos rodolarios) de carácter fósil con naturaleza y composición a base de sílice activa.

En su gran mayoría, las puzolanas naturales requieren de molienda para alcanzar un grado de finura que las haga adecuadas para su uso, además de hacer notar que no toda roca volcánica constituye por ende una puzolana natural.

Se clasifican según su origen, de la siguiente manera:

- **Volcánico**
 - Cenizas Volcánicas
 - Tobas Volcánicas

- **Orgánico**
 - Tierras de Diatomeas
 - Esquistos Opalinos

- **Sedimentario**
 - Arcillas
 - Zeolitas

1.5.3.2.2 Puzolanas artificiales

Son desechos y subproductos silícicos vítreos determinados, como el caso de las cenizas volantes y el humo de sílice, además de las arcillas naturales aptas para ser activadas por medio de tratamientos térmicos.

Cabe distinguir dos grupos básicos, uno de ellos el formado por materiales naturales silicatados de naturaleza arcillosa y esquistosa que adquieren el carácter puzolánico por sometimiento a procesos térmicos y otro constituido por subproductos de determinadas operaciones industriales que en virtud de las transformaciones sufridas, adquieren propiedades puzolánicas.

Se clasifican según su origen, de la siguiente manera:

- **Térmico**
 - Arcillas Calcinadas

- **Residual**
 - Ceniza volante
 - Humo de sílice

1.5.3.3 Materiales nominalmente inertes

Si bien estos materiales presentan pocas, o bien, nulas propiedades cementantes, suelen ser empleados como adición al cemento y como sustitución parcial de arena en el concreto, con la finalidad de mejorar la escasa trabajabilidad de mezclas pobres en agregados finos. Entre estos se encuentran el cuarzo en bruto finamente dividido, las dolomitas, mármol, granito, y calizas pulverizadas que reducen la reactividad álcali- sílice.

2 ESCORIA

2.1 Definición

Según la ASTM, la escoria es un agregado rugoso de origen mineral que se compone de silicatos de calcio y ferritas, combinados con óxidos fundidos de hierro, aluminio, calcio y magnesio.⁷

La escoria es un residuo impuro, no metálico, formado fundamentalmente por calcio, hierro, aluminio y silicato de magnesio, que aparece en el proceso de producción de arrabio y acero y en la fundición de metales como el cobre, el plomo o el níquel.

2.2 Tipos

Según los procesos de transformación y producción con los que se cuenta, se conocen dos tipos de escorias:

2.2.1 Escoria de altos hornos

Se genera al reducirse los óxidos de hierro al convertirse en arrabio líquido, de rápido enfriamiento, su utilidad comúnmente es en fabricación de cemento.

2.2.2 Escoria de siderurgia

Se genera en hornos de arco eléctrico, este material cuando esta en estado sólido es un excelente agregado para la construcción de carreteras y vías férreas, puede presentar marcadas diferencias entre si, debido a la naturaleza del proceso, tipo de carga, inclusive el tipo de acero producido. Sus componentes principales son el óxido de calcio y el dióxido de sílice.

2.2.2.1 Usos de escoria de siderurgia

- Puzolana artificial para fabricar cementos mezclados.
- Agregado para concreto
- Como balasto para vías de ferrocarril.
- Construcción de viviendas económicas.
- Agregados en bases granulares.
- Mezclas asfálticas.
- Recubrimiento de taludes.
- Material de relleno.

2.3 Siderúrgica de Guatemala (SIDEGUA)

2.3.1 Generalidades

Siderúrgica de Guatemala, S.A. (SIDEGUA); uno de los proyectos más importantes en la historia de la industria del acero en Centroamérica. Inició operaciones en 1994 llevando a cabo el proceso de fabricación de lingote, empleando los métodos más avanzados en tecnología y cuidado del medio ambiente.

Se ubica en el kilómetro 65.5 de la antigua carretera al puerto San José, municipio de Masagua, Departamento de Escuintla.

Se cuenta con una planta de energía eléctrica cuya materia prima es el bunker C número 6, está formada por 10 grupos consistentes por motor-generador, aportando cada uno una potencia de 3,800 kW para conformar una capacidad instalada de 38 MVA.

2.3.2 Procesos

La fabricación del lingote comienza a partir de la clasificación de chatarra ferrosa de acuerdo a su densidad y composición química. La misma es posteriormente cargada en cestas en donde se le agrega cal, coque y escorias sintéticas.

Estas cestas son vaciadas en el horno EAF (Electric Arc Furnace), el cual funde la chatarra y le eleva la temperatura utilizando tres quemadores de diesel, una lanza supersónica que inyecta oxígeno y tres electrodos de grafito que transmiten electricidad.

Al alcanzar 1,600°C se traslada el acero líquido al horno LF (Ladle Furnace) donde se da el proceso de refinamiento, ajustando todos los elementos químicos acorde a la composición requerida.

Posteriormente, el acero líquido es procesado en la máquina de colada continua, convirtiéndose en lingotes de acero sólido, los cuales se enderezan y cortan a la medida requerida para el proceso de laminación.

Finalmente los lingotes son enviados a patios abiertos para su enfriamiento y posterior traslado a las plantas de laminación.

2.4 Escoria de Sidegua

2.4.1 Volumen generado

En los patios de la planta se almacenan aproximadamente 300 toneladas al mes de escoria de siderurgia.

2.4.2 Características

La escoria muestra un color grisáceo, más oscuro que el cemento, es un material fino suelto que presenta algunas partículas gruesas.

Tabla II. Propiedades de la escoria de hornos de SIDEGUA

Fineza tamiz #200 (% Retenido)	36.8
Peso específico (g/cm ³)	3.14
Fineza tamiz # 325 (% Pasa)	49.1
Superficie específica Blaine cm ² /g	2480
% SO ₃	0.06

Fuente: David Alvarez, **Evaluación de bloques huecos de mampostería fabricados con cementos mezclados con escoria de hornos.** Pág. 6.

Tabla III. Composición química de escoria de alto horno en otros Países.

	Clinker	EE.UU	UK	España	Japon
SiO ₂ %	22.3	37.5	35.1	38.6	32.4
Al ₂ O ₃ %	5.8	8.3	13.6	8.4	16.5
Fe ₂ O ₃ %	2.5	0.4	0.3	0.5	0.4
CaO %	65.8	40	38	41.9	41.8
MgO %	1.3	10.1	8.9	9.3	5.9
K ₂ O %	0.3	0.4	0.7	0.5	-
Na ₂ O %	0.5	-	0.3	0.3	-

Fuente: Edgar Solórzano, **Caracterización de la escoria de hornos de la planta SIDEGUA como puzolana artificial.** Pág. 14

Tabla IV. Comparación de la composición química entre la escoria de SIDEGUA y la escoria de altos hornos de EE.UU.

	SIDEGUA	EE.UU	CLINKER
SiO ₂ %	21.71	37.5	22.3
Al ₂ O ₃ %	6.33	8.3	5.8
Fe ₂ O ₃ %	6.49	0.4	2.5
CaO %	46.02	40	65.8
MgO %	18.1	10.1	1.3
K ₂ O %	0.37	0.4	0.3
Na ₂ O %	0.01	-	0.5

Fuente: Adaptada por Enrique de León.

3. PRODUCTOS ORNAMENTALES DE CONCRETO

3.1 Definición

Producto elaborado de concreto, utilizando moldes que dan forma a la figura, que tiene la finalidad de embellecer el área o ambiente en el cual es instalado. Puede cumplir funciones estructurales y generalmente es utilizado con fin decorativo.⁸

3.2 Usos

Los productos ornamentales se usan para decorar espacios y pueden ser instalados en jardines, fachadas y balcones. En algunos casos son utilizados como muros de mampostería o para dar ventilación a los mismos.

3.3 Empresa Arquitectónica

3.3.1 Generalidades

Arquitectónica es una empresa que se dedica al diseño y elaboración de todo tipo de elementos ornamentales y decorativos en concreto, para jardines, parques, casas, edificios y urbanizaciones. Cuenta con una experiencia de 34 años en el mercado, elaborando productos de calidad con buena presentación, resistentes y durables.

3.3.2 Ubicación

La empresa arquitectónica cuenta con dos instalaciones; una sala de ventas ubicada en el Km. 33.5 de la autopista que conecta Palín – Escuintla y la planta de producción ubicada en la 8va avenida de la zona 12 Colonia La Reformita de la ciudad capital.

3.3.3 Productos elaborados

En Arquitectónica se elabora una amplia gama de productos decorativos, dentro de los que cabe mencionar: fuentes, macetas, pedestales, celosías, columnas, adoquines, balaustres y estatuas, entre otros. El volumen de producción promedio que maneja en la actualidad la empresa es de 600 productos mensuales.

3.3.4 Producción

3.3.4.1 Materia prima

Actualmente en la elaboración de productos ornamentales de concreto, se utilizan los siguientes materiales:

- Cemento de uso general en la construcción
- Agregado fino - arena de río
- Agregado grueso - pedrín de 3/8"
- Cal hidratada
- Desencofrante
- Acero No. 2 grado 40
- Acero No. 3 grado 40
- Agua

3.3.4.2 Equipo

Para la elaboración de los productos se utilizan moldes de aluminio y fibra de vidrio, los cuales son debidamente preparados para su manejo.

3.3.4.3 Mano de Obra

Es necesario personal capacitado en el manejo y colocación de concreto, uso de moldes y del producto terminado para que se le brinde un curado y acabado adecuados. La empresa cuenta con tres personas encargadas de la elaboración, transporte y colocación de los productos, un encargado de planta de distribución quien se encarga de revisar el producto terminado, así como del acabado de las piezas ornamentales.

3.3.4.4 Procesos

3.3.4.4.1 Preparación materiales y equipo.

Se preparan el cemento y los agregados en las cantidades que lo requiera la mezcla de concreto a realizar y se transportan al lugar donde se hace la misma. En este momento los moldes deben estar listos, con su respectiva capa de desencofrante (aceite quemado de motor de gasolina), para evitar que el concreto se adhiera al molde y que al momento de retirar la pieza, se pueda hacer con facilidad.

3.3.4.4.2 Elaboración de concretos

Se realiza la mezcla de concreto en las proporciones establecidas según el tipo y cantidad de producto que se desea elaborar. Con una bachada de concreto en proporciones 1:2:2 en volumen, en la que se tendrían 42.5 Kg. de cemento, 85 Kg. de agregado fino y 85 Kg. de agregado grueso, con esta cantidad de materiales se pueden elaborar 13 celosías, o 10 balaustres, o 7 diferentes estatuas ornamentales.

Se coloca el concreto dentro de los moldes, compactando y vibrando el mismo, según el tipo de producto ornamental que se este produciendo.

3.3.4.4.3 Manejo de productos

Después de llenados los moldes, se colocan sobre planchas de acero (a la sombra), a temperatura ambiente donde comienza a fraguar el concreto.

Luego de fundidos los moldes, se desencofran veinticuatro horas después los productos que son retirados sin impacto y los que son desencofrados con impacto, 48 horas después.

Las piezas se colocan en patios al ambiente, después de ser retirados de los moldes. Permanecerán ahí hasta ser trasladados a la sala de ventas. Los productos ornamentales deberán permanecer en la planta como mínimo tres días antes de poder ser trasladados a la sala de ventas. (Ver figura 1. Moldes de Productos Ornamentales.)

Figura 1. Moldes de productos ornamentales.



Desencofrado sin impacto.

Desencofrado con impacto.

3.3.4.4 Control de calidad.

Se tiene un control en los materiales que se utilizan para la elaboración del concreto, se usan agregados procurando que estén libres de impurezas y cemento que tenga fecha de fabricación reciente.

Los moldes son revisados para que en su superficie no exista ningún elemento que pueda perjudicar la textura de la pieza ornamental. También se controla que el molde este aceitado en su totalidad.

En la planta de producción se controla el diseño de la mezcla en base a la experiencia, procurando que la misma no exceda de la relación agua/cemento necesaria para tener una mezcla fluida, que presente las características de trabajabilidad que se requieren para su manejo y colocación dentro de los moldes. Esto permite controlar tiempos de fraguado y el volumen de producción.

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

4.1 Muestreo

Se realizó un muestreo en la planta de Sidegua, se tomó una muestra de 91 kg (200 lb.) de escoria fina (pasa 100% por el tamiz de 3/8"), esta fue trasladada al Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

4.2 Elaboración de cemento mezclado (70% cemento Pórtland + 30% escoria.)

En el laboratorio se pasó la escoria en el tamiz No. 100 para eliminar gruesos. El cemento Pórtland tipo I y la escoria se prepararon en las proporciones que presenta la investigación. Se mezclaron por un tiempo de 30 minutos en un molino de bolas. Cada molienda fue de 23 kg (50 lb.) de material. Se obtuvo un cemento mezclado (70% de cemento Pórtland y 30% de escoria).

4.3 Resultados

4.3.1 Caracterización de agregados

Se realizaron ensayos de laboratorio para conocer las propiedades de los agregados utilizados, estos fueron los siguientes: (Ver Anexo I. Informe de la Sección de Agregados y Concretos del CII.)

4.3.1.1 Peso unitario y vacío en los agregados ASTM C-29

Se determina el peso unitario en una condición suelta o compactada y se calcula el porcentaje de vacíos entre las partículas de agregados finos, gruesos o mixtos.

4.3.1.2 Materia orgánica en los agregados finos ASTM C-40

Se determina la materia orgánica que se presenta en los agregados, especialmente en los finos. Esta consiste en tejidos animales y vegetales que están formados principalmente por carbono, nitrógeno y agua.

4.3.1.3 Porcentaje pasa tamiz No. 200 ASTM C-117

Se determina el porcentaje de material fino que pasa el tamiz No. 200, tales como: arcilla, agregados finos materiales solubles al agua. Estos materiales recubren los granos de los agregados formando una película que desmejora la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento, afectando la resistencia mecánica del concreto.

4.3.1.4 Peso específico y absorción en agregados finos y gruesos. ASTM C-127, C-128

El peso específico se define como la relación entre el peso del material y el volumen ocupado por las partículas del material incluyendo los poros.

La determinación de absorción en agregados es para poder controlar el contenido neto de agua del concreto y corregir los pesos acumulados de la mezcla.

4.3.1.5 Resistencia a la abrasión del agregado grueso de tamaño pequeño mediante el uso de la maquina de Los Ángeles. ASTM C-131

Se determina el desgaste de un agregado mineral, que resulta de la combinación de acciones de abrasión, impacto y pulverizado en un tambor de metal rotacional que gira a una velocidad comprendida entre 30 - 33 rpm (500 vueltas) y con un numero especifico de esferas de acero, el cual de depende del tipo de graduación de la muestra. Para determinar el desgaste en los agregados se utiliza la prueba de la maquina de los Ángeles.

4.3.1.6 Análisis granulométrico de los agregados finos y gruesos. ASTM C-136

Se define como la distribución del tamaño de sus partículas. Se determinan haciendo pasar la muestra de agregados por una serie de tamices ordenados de mayor a menor abertura.

4.3.2 Caracterización de cementos

Se realizaron los ensayos que requieren las normas ASTM C-91 (Standard Specification for Masonry Cement), ASTM C-150 (Standard Specification for Portland Cement) y la ASTM C-595 (Standard Specification for Blended Hydraulic Cements) de acuerdo a cada tipo de cemento (Ver tabla VI. Ensayos aplicables para la caracterización de cementos)

Tabla V. Ensayos aplicables para la caracterización de cementos

ENSAYO	NORMA		
	ASTM C91	ASTM C150	ASTM C595
EXPANSION EN AUTOCLAVE ASTM C-51	X	X	X
RESISTENCIA A COMPRESION ASTM C-109	X	X	X
CONTRACCION DE SECADO ASTM C-157			X
CONTENIDO DE AIRE EN MORTERO ASTM C-185	X	X	X
CALOR DE HIDRATACION ASTM C-186		X	X
CONSISTENCIA NORMAL ASTM C-187	X		X
DENSIDAD DEL CEMENTO ASTM C-188	X	X	X
TIEMPOS DE FRAGUADO ASTM C-191			
FRAGUADO VICAT C-191		X	X
FRAGUADO GILMORE ASTM C-266	X	X	
SUPERFICIE ESPECIFICA ASTM C-204			
PORCENTAJE DE FINURA TAMIZ 45	X	X	X
RETENCION DE AGUA	X		
RESISTENCIA A SULFATOS ASTM C 1012		X	X

El cemento mezclado (70% cemento Pórtland + 30% escoria) y el cemento de uso general en la construcción (UGC) fueron evaluados técnica y económicamente para determinar la factibilidad de la aplicación del cemento mezclado en la elaboración de productos ornamentales. (Ver tabla VI. Resultados de Cementos Mezclados).

Tabla VI. Resultados de cementos mezclados

Parámetro	Uso general en la construcción (UGC)	Cemento mezclado(70% cemento Pórtland + 30% escoria	Especificaciones ASTM C-595
Fineza por Tamiz No. 325 (% retenido)	6.1	15.3	No especifica
Expansión en Autoclave (%)	0.1	No se pudo realizar	No especifica
Superficie Específica Blaine (cm ² /g)	3900	3245	No especifica
Consistencia Normal (%)	26.6	29.0	10 ± 1 mm de penetración
Fraguado Vicat (min.)	212 324	188 382	Inicial: No menos de 45 min. Final: No más de 7 horas
Peso Específico (g/cm ³)	2.86	2.71	No especifica
Contenido de Aire en mortero (%)	No se realizó	7.1	Máximo 12.0
Resistencia a la compresión kg/cm ²	3 días	191.3	Mínimo 133 Kg/cm ²
	7 días	245.2	Mínimo 204 Kg/cm ²
	28 días	325.9	Mínimo 255 Kg/cm ²
Contracción de secado (%)	No se realizó	-3.68	No especifica

Ver apéndice II. Informe de la sección de Aglomerantes y Morteros del CII

Tabla VII. Resultados de Cemento Pórtland tipo I

Parámetro	Cemento Pórtland tipo I	Especificaciones ASTM C-150	
Fineza por Tamiz No. 325 (% retenido)	6.0	No especifica	
Expansión en Autoclave (%)	0.05	Máximo 0.8	
Superficie Específica Blaine (cm ² /g)	4120.0	No especifica	
Consistencia Normal (%)	26.2	No especifica	
Fraguado Vicat (min.)	120 230	Inicial: No menos de 45 min. Final: No más de 6 horas 15 min.	
Peso Específico (g/cm ³)	3.1	No especifica	
Contenido de Aire en mortero (%)	No se realizó	No especifica	
Resistencia a la compresión kg/cm ²	3 días	301.0	Mínimo 122 Kg/cm ²
	7 días	302.0	Mínimo 194 Kg/cm ²
	28 días	405.0	No especifica

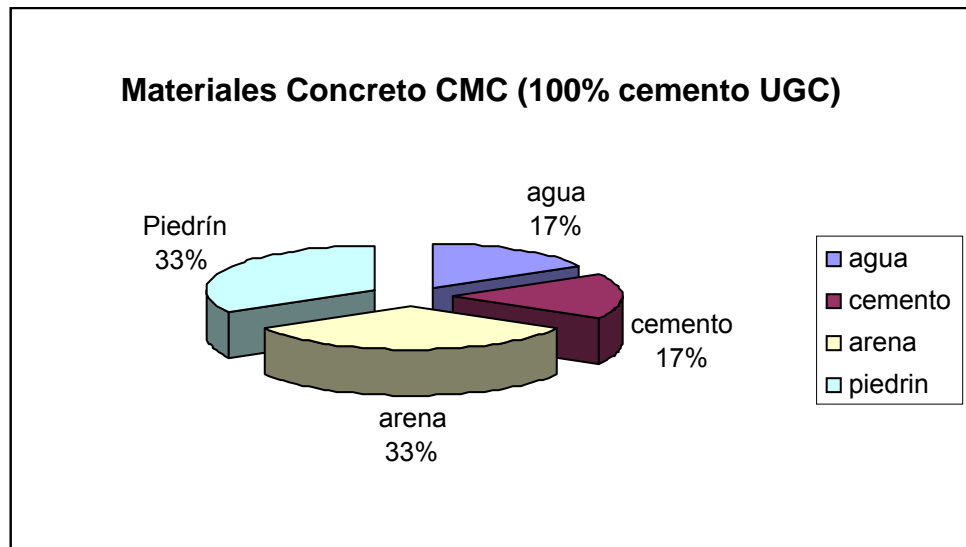
Ver apéndice II. Informe de la Sección de Aglomerantes y Morteros del CII

4.3.3 Elaboración y Evaluación de Concretos

4.3.3.1 Concreto Mezcla Control CMC (100% cemento UGC + 0% escoria)

Se trabajó de la forma tradicional en la planta (manualmente) y en una proporción 1:2:2 en volumen, cemento, arena y Piedrín respectivamente. Se utilizó cemento de uso general en la construcción marca Tolteca, arena de río y Piedrín 3/8". La relación agua/cemento de la mezcla fue del 100%. Después de realizada la mezcla control se evaluó en estado fresco y endurecido. (Ver Figura 2. Gráfica concreto mezcla control).

Figura 2. Gráfica concreto mezcla control



4.3.3.2 Concreto Cemento Mezclado CCM (70% Cemento Pórtland + 30% escoria)

Para el CCM se utilizó el cemento elaborado con 70% Cemento Pórtland y 30% escoria, Arena de río y Piedrín 3/8", en la misma proporciones que la mezcla control, 1:2:2 en volumen. La relación agua/cemento requerida por este concreto fue la misma que el CMC, igual al 100%, la cual se calculó según la trabajabilidad que mostraba la mezcla para poder ser transportada y colocada en los respectivos moldes. (Ver Figura 3. Gráfica proporciones del cemento mezclado). (Ver Tabla VIII. Cantidad de materiales Concretos).

Figura 3. Gráfica concreto cemento mezclado (70% cemento Pórtland + 30% Escoria)

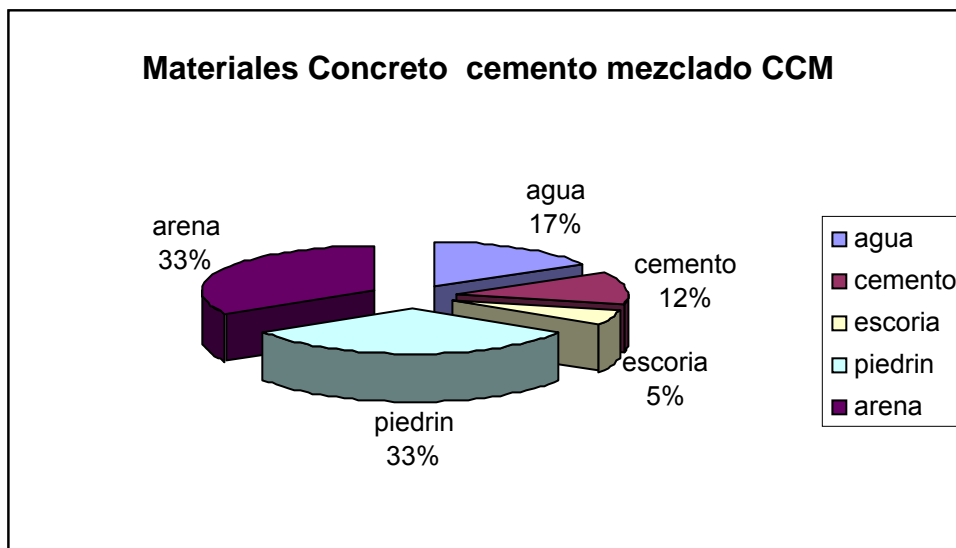


Tabla VIII. Cantidad de materiales

MATERIAL	CANTIDAD	
	CMC	CCM
Cemento	42.5 kg	29.75 kg
Escoria	0.0 kg	12.75 kg
Arena	85 kg	85 kg
Piedrín	85 kg	85 kg
Agua	42.5 lts	42.5 lts

4.3.3.3 Control de calidad de concretos

Para evaluar el cemento mezclado en la elaboración de productos ornamentales de concreto, se realizó una serie de ensayos normalizados, tanto al concreto de mezcla control (CMC) como al concreto de cemento mezclado (CCM). Los resultados permitieron comparar las características de los concretos y determinar la factibilidad de su uso. (Ver tabla IX. Ensayos realizados a concretos).

Tabla IX. Ensayos realizados a concretos

ENSAYO		CMC	CCM
Peso Unitario C-138 (kg/m ³)		2045.9	2059.9
Asentamiento de Abrams C-143 (centímetros)		23.7	22.5
Contenido de aire C-231 (%)		5	5.3
Velocidad de endurecimiento C-403 (min.)		Inicial: no se alcanzó Final: no se alcanzó	Inicial: no se alcanzó Final: no se alcanzó
Resistencia a compresión (kg/cm ²)	1 día	16.0	31.4
	3 días	73.8	121.4
	7 días	133.7	203.6
	28 días	179.2	272.2
	56 días	268.8	273.0
Adherencia concreto-acero C-234 (kg)		Ø ¼": 405.0 Ø ⅜": 1040.0	Ø ¼": 770.0 Ø ⅜": 2178.0
Temperatura (°C)		23	22

Ver Apéndice II. Informe de la Sección de Aglomerantes y Morteros del CII

Figura 4. Gráfica resistencia a compresión concretos

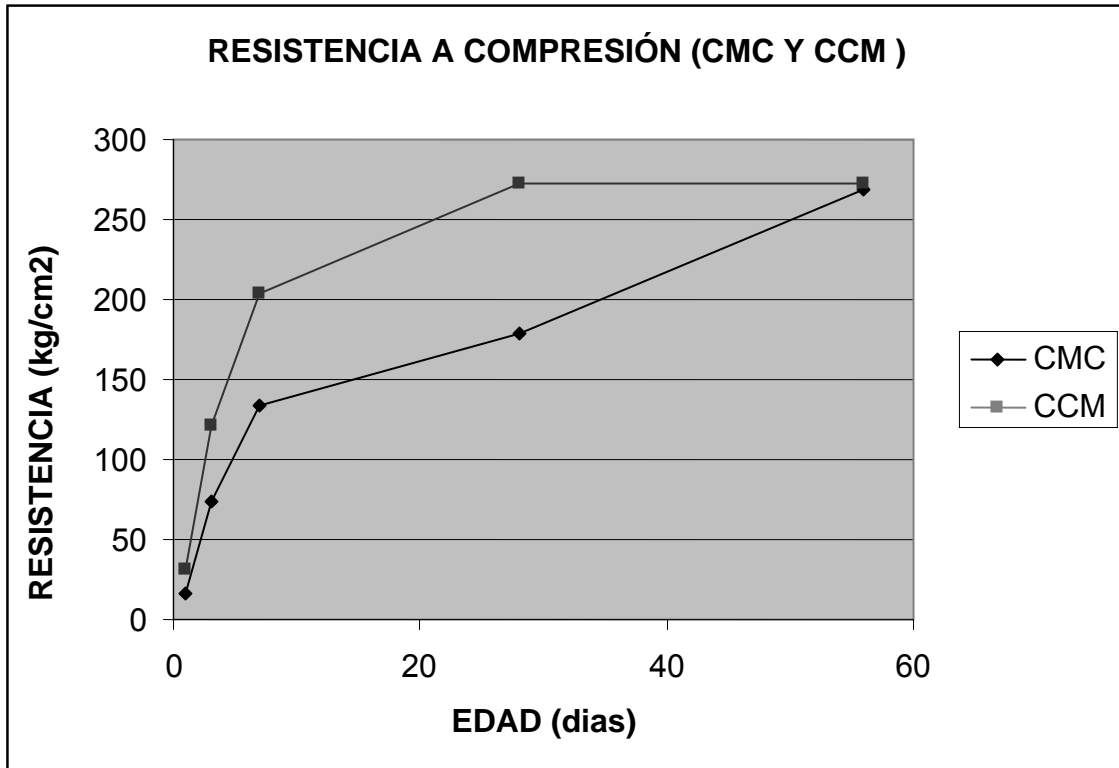
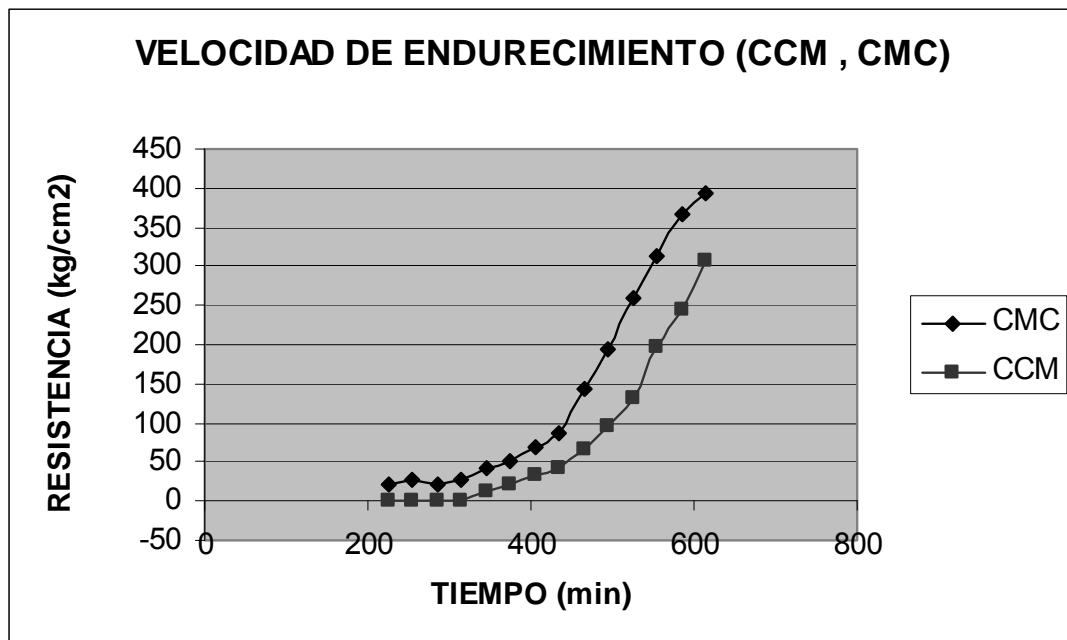


Figura 5. Gráfica Velocidad de endurecimiento concretos



4.3.4 Productos ornamentales

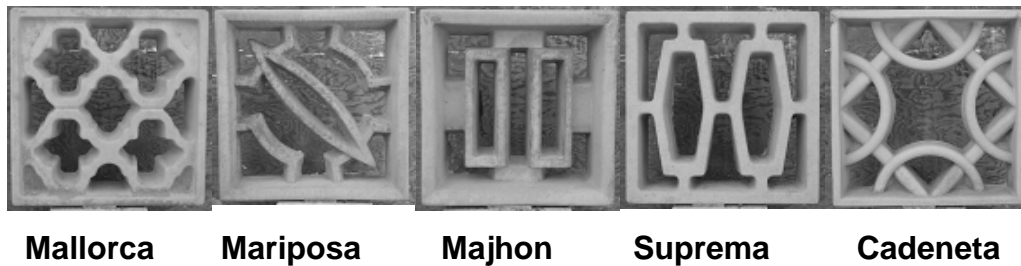
4.3.4.1 Evaluación técnica

Con los dos tipos de concretos se elaboraron diferentes ornamentales, que fueron evaluados por medio de ensayos que permitieron conocer algunas características de estos. (Ver tabla IX. Ensayos realizados a productos ornamentales).

Celosías

Se elaboraron cinco tipos de celosías y fueron seleccionadas las más comercializadas por la empresa arquitectónica. (Ver Figura 6. Tipos de celosías evaluadas).

Figura 6. Tipos de celosías evaluadas



Balaustres

Se elaboraron muestras de un tipo de balaustre, fueron retocadas con una capa compuesta con cal – cemento y luego evaluados. (Ver Figura 7. Balaustres evaluados).

Figura 7. Balaustres evaluados



Estatuas ornamentales

Se elaboraron cinco tipos de estatuas, estas fueron utilizadas para analizar color, textura y comportamiento ante el retocado final de la pieza ornamental. Siendo estas: dos tipos de vírgenes, un ángel, un cisne y una base de fuente. (Ver Figura 8. Tipos de Estatuas Ornamentales evaluadas.)

Figura 8. Tipos de estatuas ornamentales evaluadas



4.3.4.1.1 Contracción

Se marcaron distintos puntos en la pieza a efecto de evaluar cambios en las dimensiones, tomando lectura diaria a seis celosías (3 CCM y 3 CMC) por un periodo de veintiocho días, tiempo que permitió determinar la contracción que se dio en cada uno de los concretos. Para cada medición se utilizó un calibrador Vernier con una sensibilidad de 0.01 mm. (Ver tabla IX. Ensayos realizados a productos ornamentales.) (Ver Figura 9. Evaluación de contracción.)

Figura 9. Evaluación de contracción



4.3.4.1.2 Pérdida de peso

Se evaluaron cambios en la masa de seis celosías (3 CCM y 3 CMC) tomando lectura diaria por un período de 28 días. Para la realización de este ensayo el equipo que se utilizó fue una balanza con una sensibilidad de 0.01 kg. (Ver Tabla IX. Ensayos realizados a productos ornamentales.) (Ver Figura 10. Evaluación de pérdida de peso.)

Figura 10. Evaluación de pérdida de peso

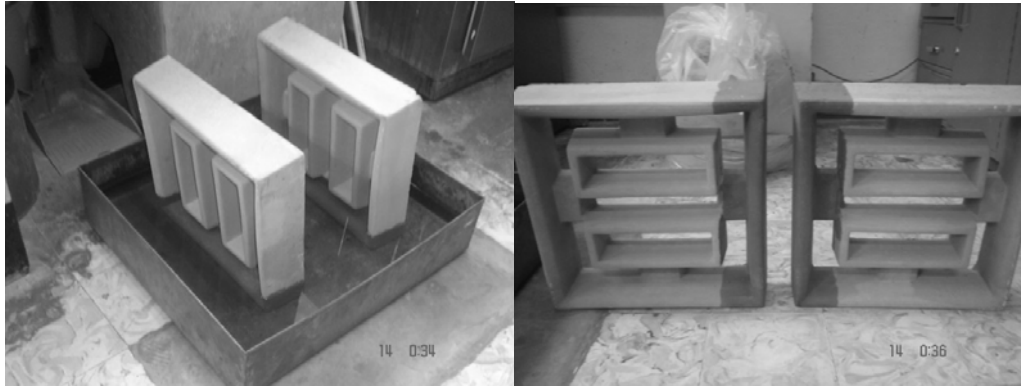


4.3.4.1.3 Permeabilidad

En este ensayo se tomaron cuatro productos ornamentales, elaborados con los diferentes concretos. A los elementos se les midió su masa en estado seco, y se realizaron dos pruebas.

- **Prueba 1:** en un recipiente con volumen de agua controlado se sumergieron hasta una altura deseada los dos elementos (1 CCM y 1 CMC). Por un período de doce horas. Después de ser retirados del agua se procedió a medir su masa, para determinar el cambio en la misma. (Ver Figura 11. Prueba de permeabilidad volumen de controlado.)

Figura 11. Prueba de permeabilidad volumen controlado



- **Prueba 2:** se tomaron dos elementos (1 CCM y 1 CMC), se llenó el recipiente de agua a una altura controlada, se sumergieron las piezas en su totalidad en un periodo de doce horas y se determinó el cambio en su masa. (Ver Tabla IX. Ensayos realizados a Productos Ornamentales). (Ver Figura 12. Prueba de permeabilidad con producto sumergido.)

Figura 12. Prueba de permeabilidad con producto sumergido

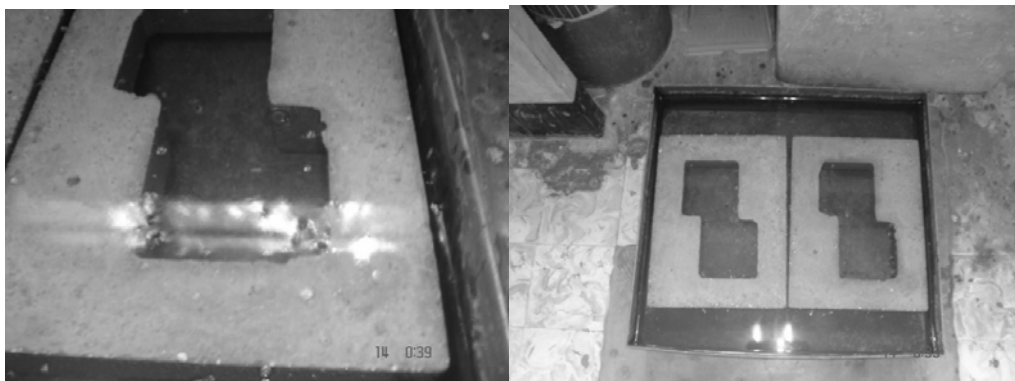


Tabla X. Resultados a productos ornamentales

ENSAYO	CMC	CCM
Contracción volumétrica (%)	-0.54	-0.5
Pérdida de peso (Kg.)	0.31	0.25
Permeabilidad prueba 2 (% de absorción)	14.37	12.78
Color	Gris claro	Gris oscuro
Textura	Lisa con poco poro	Lisa con poco poro

Ver Anexo II. Informe de Aglomerantes y Morteros

4.3.4.2 Evaluación económica

Para la elaboración de la mezcla control se utilizó un cemento tipo UGC marca Tolteca. Con un costo de Q42.70. Agregado grueso y fino. El rendimiento de la mezcla control fue de 13 productos ornamentales. Los cuales fueron retirados de sus respectivos moldes 48 horas después de haber sido fundidos.

Para la elaboración de la mezcla de cemento mezclado se utilizó un cemento Pórtland tipo I marca Tolteca. Con un costo de Q46.95. Con el uso del 70% de este cemento el costo real de cemento para este concreto fue de Q32.87. El costo de la escoria se fue de Q0.16 por libra, se utilizaron 30 libras para la elaboración de la mezcla. Se debe mencionar que el costo que tiene la escoria para esta investigación es solo el del transporte, ya que es una muestra donada por la empresa SIDEGUA. Agregado grueso y fino. El rendimiento de la mezcla control fue de 13 productos ornamentales por bachada. Los cuales fueron retirados de sus respectivos moldes 24 horas después de haber sido fundidos. (Ver Tabla X. Costos de materiales para cada mezcla).

Tabla XI. Costos de materiales para cada mezcla

COSTO DE MATERIALES PARA CADA MEZCLA					
	CEMENTO	ESCORIA	ARENA	PIEDRIN	TOTAL
CMC	Q.42.70	Q0.00	Q6.64	Q5.31	Q.54.75
CCM	Q.32.87	Q4.80	Q6.64	Q5.31	Q49.72

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Materiales

5.1.1 Agregados

De acuerdo a los ensayos realizados a los agregados, estos cumplen con las especificaciones para poder ser utilizados en la elaboración de productos ornamentales de concreto. (Ver apéndice I).

5.1.2 Cementos

Después de realizados los ensayos normalizados a los tres tipos de cementos, cemento UGC, cemento Pórtland tipo I y cemento mezclado (70% cemento Pórtland tipo I + 30% escoria), estos cumplen con las especificaciones que requieren las normas, por lo que pueden ser utilizados en la elaboración de productos ornamentales de concreto. (Ver apéndice II).

5.1.3 Concretos

5.1.3.1 Estado fresco

5.1.3.1.1 Asentamiento

Para el CCM se obtuvo un asentamiento de 1.3 centímetros (0.5") menor que el del CMC. Esta variación es mínima y no marcó diferencia en la fluidez de

la mezcla, por lo que es aceptable para el tipo de concreto que se necesita para la elaboración de productos ornamentales.

5.1.3.1.2 Peso Unitario

El peso unitario del CCM fue de 14 kg/m^3 mayor que el CMC, esta diferencia es mínima, pero su incremento tiene como resultado el aumento en el peso de las piezas ornamentales. Este resultado puede traer diferentes connotaciones. Para el manejo de las piezas será una desventaja ya que los productos mas pesados requerirán de un esfuerzo mayor para su traslado. Por otra parte el incremento en el peso, le da a la pieza la apariencia de ser un producto de mejor calidad.

5.1.3.1.3 Contenido de aire

En el resultado del ensayo de contenido de aire se obtuvo un aumento de 0.3% en el CCM. Este valor es perjudicial para el concreto que se desea obtener, pues la porosidad que se presenta en la superficie de la pieza ornamental afecta la presentación de la misma. Esta diferencia no tendrá mayor trascendencia en los productos, pero para futuras aplicaciones es una propiedad del concreto que se debe controlar.

5.1.3.1.4 Temperatura

La temperatura en estado fresco del CCM disminuyó 0.5°C en comparación con la temperatura ambiente, caso contrario a la del CMC que aumento 0.5°C comparado con la temperatura ambiente. La disminución del calor de hidratación en el CMC es de beneficio, ya que reduce los tiempos de fraguado.

5.1.3.1.5 Velocidad de endurecimiento

Se observó que en el CCM el tiempo de fraguado disminuyó en comparación con la del CMC. Resultado que era de esperarse, ya que según resultados de estudios anteriores, el comportamiento de cementos mezclados es tener una reducción en la velocidad de endurecimiento. Para ninguno de los concretos se alcanzaron las resistencias inicial y final en el tiempo que establece la norma, este dato se debe a la relación agua-cemento usada en cada concreto que fue del 100% (Ver Figura 5 Gráfica Velocidad de endurecimiento concretos). Pero aunque el CCM haya tardado más tiempo para llegar a su fraguado final, mostró resistencias mayores que las del CMC a la edad de un día. Este resultado es bueno, pues se tendría un concreto que soporte el impacto que se le da al molde para poder desencofrar los productos 24 horas después de su llenado, no 48 horas después como se acostumbra.

5.1.3.2 Estado endurecido

5.1.3.2.1 Resistencia a compresión

Para la prueba de compresión a edades tempranas, el CCM superó la resistencia del CMC, a 24 horas (en un 96%), a los 3 días (64.5%), a los 7 días (50%) y a los 28 días (50%). Este valor es de gran beneficio para el concreto que se busca utilizar en la elaboración de productos ornamentales, pues se podrá desencofrar antes y estar a la venta antes del tiempo actual.

Para la edad de 56 días se obtuvo un aumento considerable en la resistencia del concreto de mezcla control, lo que permitió que ambos concretos

alcanzaran una resistencia similar. La resistencia del concreto de cemento mezclado no aumentó para esta edad ya que el concreto Pórtland con el que fue mezclado llegó a su mayor resistencia a la edad de 28 días. (Ver Grafica III. Resistencia a compresión de concretos).

5.1.3.2.2 Prueba adherencia acero – concreto

Para la prueba de adherencia acero-concreto con la varilla lisa de $\frac{1}{4}$ " en el CCM se obtuvo una resistencia 90% mayor sobre el CMC. Y para la varilla corrugada de $\frac{3}{8}$ ", la resistencia del CCM superó en un 110% la resistencia del CMC. Este resultado es bueno ya que se obtiene una mayor adherencia acero – concreto a edades más tempranas con la aplicación de CCM en la elaboración de ornamentales donde se requiere el uso del acero como refuerzo.

5.2 Productos ornamentales

5.2.1 Evaluación técnica

En los resultados de contracción volumétrica se pudo observar un comportamiento similar entre ambos concretos. Obteniendo una máxima variación del 0.21% en el volumen de ambos. Este resultado no es beneficioso, ya que con la aplicación de cemento mezclado en el concreto utilizado en la elaboración de ornamentales se podrán presentar cambios volumétricos que serán perjudiciales cuando se instalen de manera conjunta los mismos.

En el ensayo para determinar pérdida de peso se obtuvo una lectura mayor en los elementos del CMC en un 0.52% comparados con los de CCM. Este dato es bueno para la investigación, ya que se busca fabricar productos

que tengan una apariencia sólida y consistente para la aceptación de los clientes.

En el ensayo de permeabilidad para el primer método se obtuvieron resultados similares. En el segundo método se pudo determinar un aumento en la permeabilidad del CMC, siendo este un 1.6% mas permeable que el CCM, este dato favorece al CCM ya que con el uso del mismo se estarían elaborando productos mas durables y sólidos.

Para estos ensayos se pudo observar que las variaciones son mínimas, por lo que a la edad que se ensayaron no tienen mayor trascendencia en las características de los productos ornamentales de concreto.

5.2.2 Evaluación económica

Después de realizado el estudio completo sobre la aplicación de cemento mezclado (70% cemento Pórtland + 30% escoria) en la elaboración del concreto para productos ornamentales, se logró hacer una evaluación favorable para el uso del CCM comparado con el CMC.

Con el uso de cemento mezclado se logró disminuir en un 25% el costo del cemento usado en la elaboración de productos ornamentales. Los costos de agregados no son relevantes ya que para ambos concretos las proporciones fueron las mismas, por lo que estos no se ven alterados.

Se reducen los costos de producción con la adición que se le hace al cemento, la escoria muestra características favorables al concreto que se usa en esta actividad. Y se debe cuantificar el costo de traslado y preparación de la

misma, para ser mezclada con el cemento que se usa para elaborar productos ornamentales.

6. PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ORNAMENTALES

6.1 Materia prima

Para fabricar productos de buena calidad es necesario tener un control regular de los materiales utilizados.

Para el cemento es necesario conocer su fecha de fabricación y utilizarlo dentro del periodo recomendado (uno a dos meses). Se deberá utilizar siempre el mismo tipo ya que de éste se tendrá la experiencia en cuanto a tiempos de fraguado, requerimientos de agua, proporciones necesarias de la mezcla y rendimiento.

Con el agregado fino se debe tener un control para evitar el uso de arena contaminada que sea perjudicial al concreto. Para el agregado grueso se deberán conocer el tipo, la granulometría y peso específico para evitar problemas en la producción.

6.2 Equipo

El equipo básico utilizado por los operarios consiste en herramienta liviana de albañilería dentro de los que se pueden mencionar:

- Palas
- Cucharas
- Llaves
- Martillos de hule

- Sierras, entre otros.

Los moldes a utilizar en la elaboración de productos ornamentales podrán ser de aluminio o fibra de vidrio según lo que se este fabricando, estos deberán ser resistentes sin sufrir deformaciones. Se deberán revisar periódicamente, por lo que será necesario un mantenimiento y uso adecuado de los mismos.

Para la elaboración del concreto se debe contar con bandejas, vibradores y medidores de volumen para tener las proporciones adecuadas en la mezcla de concreto.

6.3 Mano de obra

El personal encargado deberá tener conocimientos de diseño de mezclas de concreto para obtener un material que cumpla las propiedades para poder ser transportado y vaciado dentro de los moldes de cada pieza ornamental. Se recomienda una capacitación constante en temas de elaboración de concreto y sus aplicaciones.

Para la elaboración de los productos se requiere de por lo menos tres personas con experiencia en el manejo de los moldes y de mezclas de concreto, en el llenado y su colocación. Para los moldes de mayor peso será necesario que los manejen dos personas.

6.4 Producción

Para la fabricación de ornamentales se deben seguir una serie de pasos que permitan obtener productos con las mejores características.

La preparación de los moldes es uno de los pasos mas importantes, aquí se lubrican procurando abarcar toda la superficie con el objetivo de poder desencofrar con facilidad las piezas. Se debe seleccionar un desencofrante que no se impregne en el concreto para evitar manchas en la pieza final, se sugiere el uso de aceite quemado de motor de gasolina. (El aceite quemado de motor diesel se impregna en la pieza ornamental, produciendo manchas negras.)

La mezcla se deberá realizar con las proporciones y materiales adecuados para obtener un concreto que tenga las propiedades que se buscan en el diseño.

El concreto fresco será transportado y colocado dentro de los moldes, y será controlado hasta obtener el fraguado deseado, en este momento los moldes podrán ser transportados al lugar donde son desencofrados.

6.5 Manejo de productos ornamentales

Los moldes con concreto en estado fresco serán colocados sobre planchas de acero después de su llenado, y permanecerán sobre las mismas hasta que el concreto este endurecido (entre 16 y 20 horas). Según las características del concreto utilizado en la elaboración, los productos ornamentales podrán ser desencofrados 24 horas después de su llenado en los moldes.

Después de desencofrados, los ornamentales deberán ser introducidos en pilas con agua, y deberán permanecer ahí por lo menos 72 horas para luego ser trasladados a los patios de la empresa.

6.6 Almacenaje de producto terminado

Las piezas ornamentales serán estibadas en los patios de la empresa y estarán expuestas a la intemperie. Ver ilustración (Almacenaje de producto terminado).

Las celosías no podrán estar estibadas en pilas mayores de dos y su colocación tendrá cierto grado de inclinación para que el peso de la misma no descansa directamente sobre la de abajo. Los balaustres estarán estibados en columnas no mayores de seis y las filas dependerán de la cantidad elaborada y almacenada. Las estatuas ornamentales estarán bajo sombra ya que serán preparadas para ser retocadas. (Ver Figura 12. Almacenaje de producto terminado)

Figura 12. Almacenaje de producto terminado



CONCLUSIONES

1. El cemento mezclado (70% cemento Pórtland + 30% escoria), después de haber sido evaluado técnica y económicamente, muestra propiedades químicas y mecánicas importantes para su aplicación en la elaboración de productos ornamentales de concreto.
2. El cemento mezclado (70% cemento Pórtland + 30% escoria de SIDEGUA), al ser aplicado en la elaboración de productos ornamentales disminuye los costos de producción de cada elemento.
3. Para el volumen actual de producción de la planta Arquitectónica y el tipo de concreto utilizado en la elaboración de productos ornamentales, se reutilizaría medio m³ de escoria mensual si se utiliza cemento mezclado (70% cemento Pórtland + 30% escoria).
4. Con la aplicación del cemento mezclado (70% cemento Pórtland + 30% escoria), se puede optimizar el uso de los moldes, ya que con su aplicación se pueden desencofrar los elementos en menor tiempo.
5. Con el uso de cemento mezclado, se obtuvieron piezas ornamentales con un color más oscuro, lo cual da un aspecto de ser un producto más resistente al tradicional, dándole mayor aceptación con el cliente.
6. Usando cemento mezclado en la elaboración de productos ornamentales, se obtienen piezas más pesadas, lo que vuelve más sólido el producto y le da mayor aceptación con el cliente.

7. Con el uso de cemento mezclado (70% cemento Pórtland + 30% escoria), se logra una mayor resistencia a compresión a edades tempranas en el concreto, lo que permite desencofrar las piezas ornamentales en un menor tiempo, resultado que permite reutilizar los moldes más eficientemente.
8. Si se utiliza cemento mezclado (70% cemento Pórtland + 30% escoria), en la elaboración de ornamentales, se tendrá mayor adherencia entre el acero y el concreto.
9. Con la introducción de la escoria como adición en cementos, se podrá mitigar el impacto ambiental generado por la acumulación de este subproducto en los patios de la empresa SIDEGUA.
10. La reutilización de la escoria puede ser de grandes beneficios para las comunidades cercanas, ya que se podrían generar fuentes de ingresos.
11. Para la empresa ARQUITECTÓNICA sería de beneficio la aplicación del cemento mezclado (70% cemento Pórtland + 30% escoria) tanto técnica como económicamente.

RECOMENDACIONES

1. Motivar a la industria guatemalteca a promover en sus actividades la reutilización de residuos y la protección al ambiente.
2. Continuar la línea de investigaciones sobre cementos mezclados que busquen su aplicación en el medio de la construcción.
3. A la empresa SIDEGUA considerar que con la reutilización de la escoria, se podrían generar nuevas fuentes de trabajo a comunidades cercanas a la planta. Ya que esta tiene potencial para que pueda ser utilizada en la elaboración de cementos mezclados y como agregados en pavimentos.
4. A la empresa ARQUITECTÓNICA estudiar y analizar los resultados de la presente investigación, para considerar introducir el uso de cemento mezclado (70% cemento Pórtland + 30% escoria de SIDEGUA), en la elaboración de ornamentales de concreto. Así como implementar dentro de sus procesos la propuesta de metodología que se presenta.
5. Se debe evaluar el costo de preparación de la escoria para poder ser mezclada con cemento Pórtland, se debe considerar el costo de traslado de este subproducto, preparación y molienda. Ya que este puede ser un dato perjudicial en el costo de su aplicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Norma **ASTM C 219 – 03** Standard Terminology Relating to Hydraulic Cement (Blended Hydraulic Cement).
2. Solórzano Jiménez, Edgar Francisco. Caracterización de la escoria de hornos de la planta SIDEGUA como puzolana artificial. Trabajo de graduación de ingeniería civil. (Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Noviembre de 2003) p. 5.
3. Álvarez Cruz, David Estuardo. Evaluación de bloques huecos de mampostería fabricados con cementos mezclados con escoria de hornos. Trabajo de graduación de ingeniería civil. (Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Julio de 2006.)
4. Norma **ASTM C 219 – 03** Standard Terminology Relating to Hydraulic Cement (addition).
5. Aguilar Morán, Héctor Hugo. Estudio de Estabilización de Suelos con Tierra de Diatomeas y Cal Hidratada para uso en construcción de vivienda económica. Trabajo de graduación de ingeniería civil. (Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 1980) p. 5.
6. Kosmatka, Steven H. y William C. Panarese. **Diseño y Control de Mezclas de Concreto**. (México: Instituto Mexicano del cemento y del concreto, 1992) p. 72.

7. Larios, Tesón. **Escoria de acería “agregado siderúrgico** Multiserv, Guatemala. Promotor Agregado Siderúrgico.
8. Fuentes ornamentales de Mexico, página web: fuentesornamentales.com

APÉNDICE I. Informe de la sección de agregados y concretos del CII.



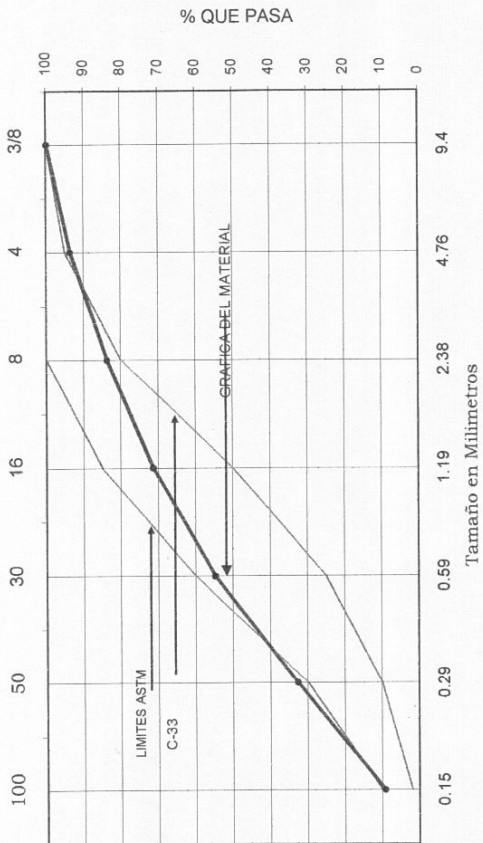
**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA**

AGREGADO FINO PARA CONCRETO

INTERESADO: Enrique De Leon		INFORME No. S.C. 298	PROYECTO: Informe de Graduación
Muestra: Arena de Río	Fecha: 04/06/2007	O.T. No. 20975	Lab. Concretos

CARACTERISTICAS FISICAS:

Peso Especifico	2.13
Peso Unitario (kg/ m ³)	1213.18
Peso Unitario Suelto (kg/ m ³)	1201.76
Porcentaje de Vacios	42.95
Porcentaje de Absorcion	4.00
Contenido de Materia Organica	3
% Retenido en Tamiz 6.35	-----
% que pasa Tamiz 200	1.36
% de Material Liviano	-----
% Desgaste por Sulfato de Sodio	-----
Modulo de Finura	2.55




Tamiz No.	9.40	4.76	2.38	1.19	0.59	0.29	0.15
% Que pasa	99.80	93.50	83.70	71.30	54.66	32.70	9.20

OBSERVACIONES:
a) Muestra proporcionada por el interesado.
b) Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3.

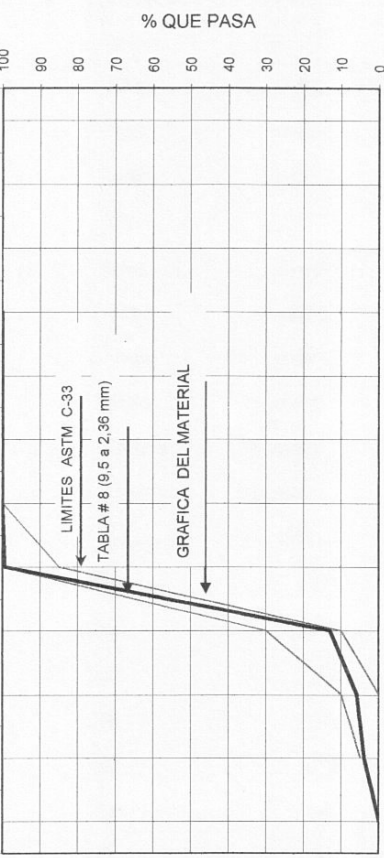
Vo.Bo.
Ing. Oswaldo Romo Escobar Bantes
DIRECTOR CII/USAC

[Signature]
Ing. Francisco Javier Ecuté Bantes
Jefe Sección de Agregados y Concretos



AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO		 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA	
INTERESADO:		PROYECTO:	
Enrique De Leon		S.C.-299	
Muestra:		Fecha:	
Agregado Grueso de 3/8"		04/06/2007	
		O.T. No.	
		20975	
		Informe de Graduación	
		Lab.	
		Concretos	

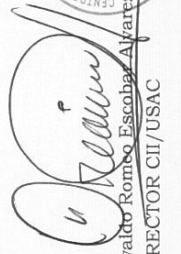

No.50	No.16	No.8	No.4	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
-------	-------	------	------	------	------	------	----	--------	----	--------	----



Peso Especifico	2.36
Peso Unitario (kg/ m ³)	1,241.29
Peso Unitario Suelto (kg/ m ³)	1156.14
Porcentaje de Vacios	47.31
Porcentaje de Absorcion	0.93
% Desgaste por Sulfato de Sodio	-----
% Desgaste por Abrasion	-----
% Particulas Planas y alargadas	-----
% Particulas Livianas	-----

Tamiz No.	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No.16
% Que pasa	100.00	100.00	99.48	13.03	5.88	3.96	0.00

OBSERVACIONES:
*Muestra proporcionada por el interesado.

 Vo.Bo. Ing. Oswaldo Romo Escobar Alvarez DIRECTOR CII/USAC		 SECCION CONCRETOS CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA GUATEMALA.	
---	--	--	--



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. S.C. 297 O.T. No. 21640

INTERESADO: Enrique De Leon
 ASUNTO: ENSAYO DE DESGASTE POR ABRASION EN MAQUINA DE LOS ANGELES PARA AGREGADO GRUESO.
 PROYECTO: Trabajo de Graduacion.
 PROCEDENCIA: *****
 FECHA: 4 de junio de 2007

REFERENCIAS	MUESTRAS			
	1	2	3	4
1. Norma de Ensayo	ASTM C-131	*****	*****	*****
2. Graduación	"C"	*****	*****	*****
3. % Desgaste	27.64	*****	*****	*****

OBSERVACIONES: a) Muestra proporcionada por el interesado.

ATENTAMENTE,



[Handwritten Signature]

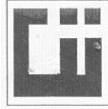
Ing. Francisco Javier Ecuté Bantes
 Jefe Sección de Concretos

Vo.Bo.

Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez
 DIRECTOR CII/USAC



APÉNDICE II. Informe de la sección de aglomerantes y morteros del CII.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

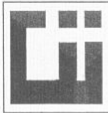


Orden de Trabajo No. 21638

Informe No. 06/2007 S. AM

Interesado: Enrique De León
Proyecto: Trabajo de graduación "Evaluación técnica y económica del uso de cemento mezclado (70% cemento portland + 30% escoria de horno) en la elaboración de productos ornamentales de concreto.
Asunto: Caracterización de Cemento Mezclado Tipo GU 4000 y Cemento Portland Tipo I, Control de calidad de concreto y Evaluación de piezas Ornamentales de concreto.
Fecha: 14 de Junio de 2007

- 1. Generalidades:** el interesado proporcionó los materiales necesarios, siendo estos los siguientes:
 - 2 sacos de Cemento Mezclado tipo GU 4000, de 42.5 kg.
 - 2 sacos de Cemento Portland Compuesto 5800, de 42.5 kg.
 - 1 saco de Cemento Mezclado (70% cemento portland + 30% escoria)
 - 5 bolsas de arena de río.
 - 5 bolsas de pedrín de 3/8"
 - 2 metros de varilla de 3/8"
 - 2 metros de varilla de 1/4"
 - 5 celosías elaboradas con concreto mezcla control (100% Cemento Mezclado tipo GU 4000)
 - 5 celosías elaboradas con concreto cemento mezclado (70% Cemento Portland Compuesto 5800 + 30% escoria)
- 2. Procedimiento:** se trabajó de acuerdo a lo indicado en normas ASTM aplicables.



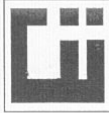
3. Resultados:

3.1. Caracterización de Cemento Mezclado Tipo GU 4000 y Cemento Portland Tipo I.

ENSAYO	CEMENTO MEZCLADO TIPO GU 4000			CEMENTO PORTLAND COMPUESTO 5800			CEMENTO MEZCLADO (70% CEMENTO PORTLAND + 30% ESCORIA)		
	Peso Especifico (g/cm ³) (ASTM C-188)	2.9			3.1			2.7	
Consistencia Normal (%) (ASTM C-187)	26.6			26.2			29.0		
Finura Blaine (cm ² /g) (ASTM C-204)	3900.0			4120.0			3245.0		
Expansión al autoclave (%) (ASTM C-151)	0.10			0.05			No se pudo realizar		
Fineza tamiz No. 325 (% retenido) (ASTM C-430)	6.1			6.0			15.3		
Fraguado Vicat (min) (ASTM C-266)	Inicial	212		Inicial	120		Inicial	188	
	Final	324		Final	230		Final	382	
Contenido de Aire (%) (ASTM C-231)	No se realizó			No se realizó			7.1		
Resistencia a la compresión (kg/cm ²) (Mpa) (ASTM C-109)	3 días	191.3	18.8	3 días	301.0	29.5	3 días	82.3	8.1
	7 días	245.2	24.0	7 días	302.0	29.6	7 días	188.1	18.4
	28 días	325.9	31.9	28 días	405.0	39.7	28 días	212.7	20.9

3.2. Control de calidad de concreto.

MATERIAL	CONCRETO MEZCLA CONTROL	CONCRETO MEZCLADO (70% CEMENTO PORTLAND + 30% ESCORIA)
Cemento	42.5 kg	42.5 kg
Arena	85 kg	85 kg
Piedrín	85 kg	85 kg
agua	42.5 litros	42.5 litros
Rel. A/C	1	1



ENSAYO	CONCRETO MEZCLA CONTROL		CEMENTO MEZCLADO (70% CEMENTO PORTLAND + 30% ESCORIA)	
	Velocidad de endurecimiento (min) (ASTM C-403)	Fundición	212	Fundición
Inicial		324	Inicial	382
Final			Final	
Peso Unitario (kg/m ³) (ASTM C-138)	2045.9		2059.9	
Asentamiento de abrams (plg) (cm) (ASTM C-143)	9.5	24.1	9.0	22.9

RESISTENCIA A LA COMPRESION (ASTM C-39)									
CONCRETO MEZCLA CONTROL									
1 DIA									
No.	PESO (kg)	Ø ₁	Ø ₂	Ø ₃	Ø _{medio}	ÁREA (plg ²)	CARGA (lb)	RESISTENCIA (PSI)	RESISTENCIA (kg/cm ²)
1	1.81	3.32	3.33	3.32	3.33	8.68	1950.00	224.6	15.8
2	1.81	3.34	3.35	3.31	3.33	8.71	2100.00	240.9	16.9
3	1.81	3.33	3.30	3.31	3.31	8.62	1900.00	220.3	15.5
3 DIAS									
1	1.84	3.33	3.32	3.32	3.33	8.68	7500.00	863.8	60.7
2	1.84	3.33	3.31	3.31	3.31	8.61	7500.00	871.6	61.3
3	1.82	3.29	3.29	3.28	3.29	8.48	12000.0	1415.9	99.6
7 DIAS									
1	1.82	3.29	3.28	3.28	3.29	8.49	17500.0	2062.2	145.0
2	1.82	3.33	3.33	3.33	3.33	8.71	16100.0	1847.6	129.9
3	1.84	3.32	3.32	3.33	3.32	8.68	15600.0	1797.6	126.4
28 DIAS									
1	1.81	3.29	3.29	3.30	3.30	8.53	22500.0	2638.7	185.5
2	1.81	3.32	3.32	3.34	3.33	8.68	22700.0	2614.3	183.8
3	1.81	3.33	3.33	3.33	3.33	8.71	20100.0	2397.9	168.6
56 DIAS									
1	1.72	3.30	3.29	3.29	3.29	8.51	30500.0	3585.7	252.1
2	1.75	3.34	3.33	3.32	3.33	8.72	34500.0	3956.4	278.2
3	1.75	3.31	3.32	3.33	3.32	8.65	34000.0	3932.4	276.5



RESISTENCIA A LA COMPRESION (ASTM C-39)									
CONCRETO MEZCLADO									
1 DIA									
No.	PESO (kg)	Ø ₁	Ø ₂	Ø ₃	Ø _{medio}	ÁREA (plg ²)	CARGA (lb)	RESISTENCIA (PSI)	RESISTENCIA (kg/cm ²)
1	1.82	3.30	3.27	3.27	3.28	8.47	3850.00	454.8	32
2	1.81	3.33	3.29	3.28	3.30	8.55	3950.00	462.1	32.5
3	1.84	3.30	3.33	3.29	3.31	8.58	3650.00	425.2	29.9
3 DIAS									
1	1.84	3.34	3.32	3.31	3.32	8.67	13000.0	1498.9	105.4
2	1.84	3.33	3.32	3.31	3.32	8.66	15900.0	1836.7	129.1
3	1.86	3.30	3.33	3.33	3.32	8.66	16000.0	1848.2	129.9
7 DIAS									
1	1.85	3.33	3.32	3.33	3.32	8.68	24800.0	2857.8	200.9
2	1.86	3.31	3.33	3.34	3.33	8.69	25200.0	2898.5	203.8
3	1.88	3.33	3.33	3.33	3.33	8.72	25600.0	2935.8	206.4
28 DIAS									
1	1.84	3.30	3.29	3.26	3.28	8.46	33700.0	3983.9	280.1
2	1.84	3.29	3.29	3.29	3.29	8.50	33600.0	3952.5	277.9
3	1.85	3.34	3.33	3.31	3.33	8.69	32000.0	3683.2	259.0
56 DIAS									
1	1.73	3.33	3.32	3.29	3.31	8.62	32500.0	3770.3	265.1
2	1.76	3.34	3.32	3.31	3.32	8.68	33500.0	3860.3	271.4
3	1.72	3.34	3.33	3.32	3.33	8.70	35000.0	4023.4	282.9

ENSAYO	CONCRETO MEZCLA CONTROL		CONCRETO MEZCLADO (70% CEMENTO PORTLAND + 30% ESCORIA)	
	DIAMETRO DE VARILLA	CARGA (kg)	DIAMETRO DE VARILLA	CARGA (kg)
Adherencia concreto-acero de refuerzo (ASTM C-234, ACI-315)	1/4"	210	1/4"	800
	1/4"	600	1/4"	740
	3/8"	1100	3/8"	2230
	3/8"	980	3/8"	2126



3.3. Evaluación de piezas Ornamentales de concreto.

3.3.1. Permeabilidad

ENSAYO	CONCRETO MEZCLA CONTROL		CONCRETO MEZCLADO (70% CEMENTO PORTLAND + 30% ESCORIA)	
PRUEBA 1. PIEZA A ALTURA CONTROLADA				
Permeabilidad	Peso Inicial (kg)	10.8	Peso Inicial (kg)	11.1
	Peso Final (kg)	11.3	Peso Final (kg)	11.6
	Permeabilidad (%)	4.6	Permeabilidad (%)	4.5
PRUEBA 2. PIEZA SUMERGIDA				
Permeabilidad	Peso Inicial (kg)	12.2	Peso Inicial (kg)	12.6
	Peso Final (kg)	14.0	Peso Final (kg)	14.2
	Permeabilidad (%)	14.4	Permeabilidad (%)	12.8

3.3.2. Perdida de peso

ELEMENTO	CONCRETO MEZCLA CONTROL		CONCRETO MEZCLADO (70% CEMENTO PORTLAND + 30% ESCORIA)	
FLORIDA	Peso Inicial (kg)	13.2	Peso Inicial (kg)	13.5
	Peso Final (kg)	12.9	Peso Final (kg)	13.2
MORISCA	Peso Inicial (kg)	14.2		
	Peso Final (kg)	14.1		
MARIPOSA			Peso Inicial (kg)	10.1
			Peso Final (kg)	9.9
MAJHON	Peso Inicial (kg)	11.4	Peso Inicial (kg)	11.6
	Peso Final (kg)	11.2	Peso Final (kg)	11.5



3.3.3. Contracción

ELEMENTO	CONCRETO MEZCLA CONTROL		CONCRETO MEZCLADO (70% CEMENTO PORTLAND + 30% ESCORIA)	
	Medida inicial (mm)	Medida final (mm)	Medida inicial (mm)	Medida final (mm)
FLORIDA	600.5	598.8	596.5	594.7
	0.3		0.3	
MORISCA	371.8	369.4		
	0.6			
MARIPOSA			458.1	454.7
			0.7	
MAJHON	753.8	748.8	751.1	747.6
	0.7		0.5	

Atentamente:


Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus
Jefe Sección Aglomerantes y Morteros


Vo. Bo. Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez
Director Centro de Investigaciones de Ingeniería

