



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

**EVALUACIÓN DE CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTO
MEZCLADO (CEMENTO PÓRTLAND Y ESCORIA)**

Mauro Ortega Calderón

Asesorado por el Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus

Guatemala, agosto de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTO
MEZCLADO (CEMENTO PÓRTLAND Y ESCORIA)**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MAURO ORTEGA CALDERÓN

ASESORADO POR EL ING. SERGIO VINICIO CASTAÑEDA LEMUS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I:	Inga. Glenda Patricia Garcia Soria
VOCAL II:	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III:	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV:	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V:	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA:	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR:	Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus
EXAMINADOR:	Ing. Francisco Guillermo Melini Salguero
EXAMINADOR:	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
SECRETARIO:	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

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 de concretos elaborados con cemento mezclado (cemento Pórtland y escoria),

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil el 26 de julio de 2005.



Mauro Ortega Calderon



Guatemala 6 de abril de 2006

Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
Coordinador del área de materiales
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Quiñónez de la Cruz:

Me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado **“Evaluación de concretos elaborados con cemento mezclado (cemento Pórtland y escoria)”**, elaborado por el estudiante universitario **Mauro Ortega Calderón**, quien contó con mi asesoría.

Considero que el trabajo desarrollado por el estudiante **Ortega Calderón**, satisface los requisitos exigidos, por lo cual recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención a la presente.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus
Asesor Trabajo de Graduación

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 18 de abril de 2006

Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Escobar Álvarez.

Me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado **EVALUACIÓN DE CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTO MEZCLADO (CEMENTO PORTLAND Y ESCORIA)**, elaborado por el estudiante universitario **Mauro Ortega Calderón**, quien contó con la asesoría del Ingeniero Sergio Vinicio Castañeda Lemus.

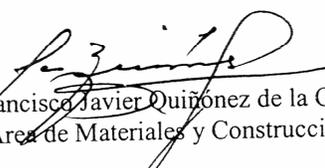
Considero que el trabajo desarrollado por el estudiante **Ortega Calderón**, satisface los requisitos exigidos, por lo cual recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención a la presente.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”




Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñón de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Mauro Ortega Calderón, titulado EVALUACIÓN DE CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTO MEZCLADO (CEMENTO PORTLAND Y ESCORIA), da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez



Guatemala, julio 2006.

/bbdeb.

"TODO POR TI CAROLINGA MÍA"
Dr. Carlos Martínez Durán, 2006 centenario de su nacimiento

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG. 259-2006.

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTO MEZCLADO (CEMENTO PORTLAND Y ESCORIA)**, presentado por el estudiante universitario **Mauro Ortega Calderón**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, agosto 1 de 2,006

/gdech



Tudo por ti, Carolingia Mía
Dr. Carlos Martínez Durán
2006: Centenario de su Nacimiento

DEDICATORIA

A mi esfuerzo personal

Por el logro alcanzado

Al pueblo guatemalteco

Por la inversión social
en mí confiada

AGRADECIMIENTOS AL

Ingeniero Sergio Vinicio Castañeda Lemus	por su guía, asesoría y apoyo moral para llevar a término el presente trabajo de graduación.
“Siderúrgica de Guatemala, S.A.”	por haberme facilitado la realización de este proyecto.
Ingeniero Estuardo Caballeros	por el apoyo brindado.
Centro Tecnológico de “Cementos Progreso, S.A.”	por haberme permitido llevar a cabo ensayos de laboratorio.
Ingeniero Emilio Beltranena Matéu	gerente del Centro Tecnológico, por su gran ayuda.
Señor Mario de Jesús Sierra López	coordinador de calidad del Centro Tecnológico, por su colaboración.

Ingeniero Francisco Ecuté Bantes

del Centro de
Investigaciones de
Ingeniería, por su
asesoría y ayuda para
efectuar ensayos de
laboratorio.

Ingeniero Juan Miguel Rubio

por su asesoría.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. CONCRETO	1
1.1. Definición	1
1.2. Clasificación	2
1.3. Composición	3
2. METODOLOGÍA UTILIZADA	9
2.1. Trabajo de campo	9
2.2. Trabajo de laboratorio	10
3. ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETOS	13
3.1. Proporciones (para 1 m ³)	13
3.2. Elaboración de concretos	13
3.3. Evaluación de concreto	15
4. RESULTADOS	19
4.1. Concretos	26
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	37

5.1.	Cementos	37
5.2.	Agregados	39
5.3.	Concretos	39
CONCLUSIONES		47
RECOMENDACIONES		49
REFERENCIAS		51
BIBLIOGRAFÍA		53
ANEXOS		55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Concreto fresco	15
2	Equipo para control de calidad concreto fresco	15
3	Control de calidad del concreto fresco en medición del asentamiento	17
4	Control de calidad del concreto fresco contenido de aire	17
5	Resultados del peso específico.	23
6	Resultados de la superficie específica de Blaine	23
7	Resultados de la consistencia normal	24
8	Resultados de la resistencia a compresión del cemento Pórtland tipo I	24
9	Resultados de la resistencia a compresión del cemento mezclado 70-30	25
10	Resultados de la compresión del cemento mezclado 30-70	25

11	Control de calidad del concreto endurecido en una probeta típica de ensayo a compresión	31
12	Control de calidad del concreto endurecido en ensayo a compresión	31
13	Masa unitaria en concretos	32
14	Contenido de aire en concretos	32
15	Asentamiento en concretos	33
16	Resistencia a compresión del concreto en la mezcla de control	33
17	Resistencia a compresión del concreto 70-30	34
18	Resistencia a compresión del concreto 30-70	34
19	Resistencia a la penetración del concreto en la mezcla de control	35
20	Resistencia a la penetración del concreto 70-30	35
21	Resistencia a la penetración del concreto 30-70	36

TABLAS

I	Caracterización de los agregados utilizados	19
II	Resultados del análisis físico-mecánico del cemento Pórtland tipo I	20
III	Resultados de la caracterización química del cemento mezclado	20
IV	Resultados de la caracterización física-mecánica del cemento mezclado 70-30	21
V	Resultados de la caracterización química del cemento mezclado 30-70	21
VI	Resultados de la caracterización física-mecánica del cemento mezclado 30-70	22
VII	Caracterización del concreto en estado fresco en la mezcla de control	26
VIII	Resultados de la resistencia a compresión del concreto en estado endurecido	27
IX	Resultados del modo de ruptura del ensayo por flexión en la mezcla control	27

X	Resistencia a la penetración (velocidad de endurecimiento) en la mezcla de control	27
XI	Características del concreto 70-30 en estado fresco	28
XII	Resultado de la resistencia a la compresión del concreto 70-30	28
XIII	Resultados del módulo de ruptura del concreto 70-30 en el ensayo por flexión	29
XIV	Resultados de la resistencia a la penetración del concreto 70-30	29
XV	Características del concreto mezclado 30-70	29
XVI	Resistencia a la compresión del concreto 30-70 en estado endurecido	30
XVII	Resultados del módulo de ruptura en el ensayo por flexión del concreto mezclado 30-70	30
XVIII	Resistencia a la penetración (velocidad de endurecimiento) del concreto mezclado 30-70	25

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AGREGUA	“Agregados de Guatemala, S.A.”
ASTM	American Society for Testing and Materials
CII	Centro de Investigaciones de Ingeniería
(CM 30-70)	Cemento mezclado 30% y 70% en peso de cemento Pórtland tipo I Súper Tolteca 5800 psi y escoria de la planta SIDEGUA, respectivamente.
(CM 70-30)	Cemento mezclado 70 % y 30 % en peso de cemento Pórtland tipo I Súper Tolteca 5800 psi y escoria de la planta SIDEGUA, respectivamente.
IS	Cemento hidráulico mezclado y clasificado como escoria de alto horno, para uso general en construcción.

IP	Cemento hidráulico mezclado y clasificado como puzolánico, para uso general en construcción.
I (PM)	Cemento hidráulico mezclado y clasificado como cemento con puzolana y cemento Pórtland, modificado para concreto de uso general en construcción.
I (SM)	Cemento hidráulico mezclado y clasificado como cemento con escoria y cemento Pórtland, modificado para concreto de uso general en construcción.
I	Uno de los ocho tipos de cemento Pórtland para ser utilizado cuando no se requiere ninguna especificación de especiales propiedades de los restantes tipos.
P	Cemento hidráulico mezclado con puzolana para concretos, de los cuales se requiere el desarrollo de altas resistencias a cortas edades.
“	pulgada (s)

(1), (2), ... , (20)

Identificación de referencias.

SIDEGUA

“Siderúrgica de Guatemala, S.A.”

S

Cemento hidráulico mezclado y clasificado como escoria para ser usado en combinación con cemento Pórtland, para hacer concreto y en combinación con cal hidratada para hacer mortero.

f'_c

Resistencia especificada a la compresión del concreto, a los 28 días.

GLOSARIO

Aglomerantes	Materiales que fraguan y endurecen sumergidos en agua.
Asentamiento	Prueba para establecer qué tan plástico y cohesivo es un concreto de acuerdo con su diseño.
Agregado fino	Componente del concreto. Su origen es de roca triturada mecánica o naturalmente. Su diámetro varía entre 0.074 y 4.76 mm.
Agregado grueso	Componente del concreto. Su origen es de roca triturada mecánica o naturalmente. Su diámetro varía entre 4.76 y 19.1 mm.
Aditivo	Cualesquiera materiales que no sean propiamente agua agregados al concreto y que cumplan con las funciones de reductores de agua, reguladores, retardantes y acelerantes de fraguado.
Consistencia	En el caso del concreto, es la calidad deseable en el mismo, de ser transportado, colocado y acabado con relativa facilidad y sin segregación de agua. Se asocia este término con lo trabajable del mismo concreto.

Concreto	Mezcla diseñada, cuantitativa y cualitativamente, con agregados inertes (agregados grueso y fino), cemento, agua y aditivos. La inclusión de este último componente es de acuerdo con el diseño.
Escoria	Aditivo o admixtura de origen mineral subproducto del proceso de fundición siderúrgico. Puzolana artificial para uso cementante.
Fraguado	Cambio del estado plástico al estado endurecido de una pasta de cemento al transcurrir el tiempo.
Puzolana	Material natural o artificial, sílico, silicoaluminoso. En su estado natural posee pocas o ninguna propiedad cementante; sin embargo, al ser finamente pulverizado y con adición de agua, reacciona químicamente formando compuestos con propiedades conglomerantes.

RESUMEN

El presente trabajo muestra los resultados obtenidos en la evaluación de concretos elaborados, basado en cementos mezclados (cemento Pórtland y escoria) y su comparación con una mezcla control. En el primer capítulo se presenta la teoría sobre cementos, concreto y sus componentes, de tal forma que permita conocer el tema.

El segundo capítulo muestra la metodología empleada para el desarrollo del estudio, indicando cada una de las fases que se siguieron, tanto en el trabajo de campo como en el de laboratorio, así como las normas utilizadas para el mismo.

En el capítulo tercero se presentan las consideraciones tomadas para la elaboración y evaluación de los concretos estudiados, además de algunas fotografías que muestran el equipo utilizado.

En el cuarto capítulo se presentan los resultados obtenidos, en los agregados, cementos y concretos evaluados, incluyendo tablas y gráficas. El análisis de los resultados se incluye en el quinto capítulo, presentando por último las conclusiones y recomendaciones obtenidas de los ensayos realizados.

OBJETIVOS

- **General**

1. Evaluación física-mecánica de concretos (en estado fresco y endurecido) basado en cementos mezclados, comparándolos con una mezcla control.

- **Específicos**

1. Evaluación de las opciones de reutilización de un subproducto, del proceso de fundición siderúrgica, en la industria de la construcción.
2. Utilización de un desecho de la industria de fundición del acero.
3. Elaboración de cementos mezclados en proporciones definidas.
4. Caracterización de los cementos mezclados según la norma ASTM C-595.
5. Elaboración de concretos con cementos mezclados y mezcla control.
6. Caracterización de concretos con cementos mezclados basándose en normas ASTM aplicables.
7. Comparar los resultados de la mezcla control contra los concretos obtenidos mediante cementos mezclados.

INTRODUCCIÓN

El Centro de Investigaciones de Ingeniería ha contribuido de manera significativa al desarrollo de la ingeniería nacional, por medio del apoyo a investigaciones, entre éstas los trabajos de graduación de estudiantes de la Facultad de Ingeniería.

El uso del concreto ha permitido la ejecución de obras y proyectos cada vez más ambiciosos, aunque el déficit de vivienda en el país todavía tiene niveles muy altos, lo que no permite que un fuerte sector de la población tenga acceso a este satisfactor. En Guatemala, actualmente se encuentran en el mercado cementos mezclados, los cuales presentan algunas características favorables para su uso en la construcción, así mismo, en el país se cuenta con industrias que generan subproductos, los cuales pueden ser utilizados como adiciones para la elaboración de estos cementos mezclados, siendo una de ellas “Siderúrgica de Guatemala, S.A.” (SIDEGUA), que actualmente apoya la investigación sobre cementos mezclados.

En el presente trabajo de graduación se evaluó las características de cementos mezclados (cemento Pórtland y escoria de hornos) en la elaboración de concretos, comparándolos con una mezcla control (100% cemento Pórtland), buscando alternativas de utilización a la escoria mencionada en el campo de la construcción, así como mitigar el impacto ambiental ocasionado por la generación de la escoria en dicha industria.

Por último, se presenta las conclusiones y recomendaciones, producto de los ensayos y resultados obtenidos, los cuales se esperan sean de utilidad para las comunidades cercanas a la planta de SIDEGUA, ubicada en el km. 65 carretera antigua al Puerto de San José

La crisis de los energéticos en la década de 1970 y la contribución que hizo la industria cementera en la generación de productos de efecto invernadero, motivó a buscar otras alternativas en la producción de cemento, impulsándose el uso de los cementos mezclados en los países industrializados y muy recientemente hizo lo propio la industria cementera guatemalteca.

1. CONCRETO

1.1. Definición

Existen varias definiciones sobre el concreto, éstas dependen de la bibliografía consultada, a continuación se presentan algunas:

El concreto u hormigón se define como la mezcla de un material aglutinante (cemento hidráulico), un material de relleno (agregado fino y grueso), agua y, eventualmente, aditivos, que al endurecerse forman un todo compacto (piedra artificial) y, después de cierto tiempo, es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión. (1)

El concreto es un material semejante a la piedra que se obtiene mediante una mezcla cuidadosamente proporcionada de cemento, arena y grava u otro agregado y agua; después, esta mezcla se endurece en formaletas con la forma y dimensiones deseadas. (5)

El concreto (hormigón) es una mezcla de pasta de cemento (cemento, agua y espacios vacíos), agregados y, ocasionalmente, productos adicionales (aditivos). (4)

1.2. Clasificación

Se deberá considerar las propiedades y características de los ingredientes usados, las especificaciones y condiciones de servicio del concreto solicitado y las condiciones particulares según las cuales el concreto será producido y colocado. (2), (6) Se clasifican según su:

- Tamaño máximo del agregado.
- Consistencia: muy seca, seca, semi-seca, media, húmeda y muy húmeda.
- Tiempos de fraguado: aditivo retardante, aditivo reductor de agua y aditivo acelerante.
- Resistencia a la compresión: normal, alta resistencia y ultra alta resistencia.
- Durabilidad: permeabilidad normal, concretos impermeables, concretos y resistentes al congelamiento y deshielo.
- Peso unitario: ligero, normal y pesado.
- Apariencia: coloreados, agregado expuesto, estampados y abusardados.
- Especialidad: agregado precolocado, lanzado, pavimentos, bombeo, vaciado por tubo-embudo, fluido, ligero, aireado, reforzado con fibras, alta resistencia y compactado con rodillo.

1.3. Composición

Para conocer el desempeño del concreto, se deberán conocer las características más relevantes de sus componentes. (3), (7)

1.3.1. Agua

Es el elemento que hidrata las partículas de cemento y hace que estas desarrollen sus propiedades aglutinantes.

Parte del agua queda fija en la estructura de la pasta, y el resto como agua evaporada. El agua suele representar entre el 10 y 25% del volumen del concreto, se le debe conceder vital importancia a la calidad del agua de mezclado, ya que cualquier sustancia dañina que contenga puede tener efectos adversos en el concreto.

1.3.2. Agregados

En el concreto hidráulico convencional los agregados suelen representar entre el 60 y 75 % del volumen absoluto de todos los componentes. Se pueden clasificar por el origen de las rocas, por el modo de fragmentación y por el tamaño de las partículas.

1.3.3. Aire

Cuando el concreto se encuentra en proceso de mezclado, es normal que quede aire incluido dentro de la masa, el cual, posteriormente, es liberado por los procesos de compactación a que es sometido el concreto una vez ha sido colocado; sin embargo, siempre queda un pequeño porcentaje de aire residual dentro de la masa endurecida. También se pueden incluir burbujas de aire por medio de aditivos.

1.3.4. Aditivos

Cualquier otro ingrediente que se incluya en la elaboración del concreto que sea diferente al agua, cemento y agregados se considera como un aditivo. Son utilizados para modificar las propiedades del concreto de manera que lo hagan más adecuado para las condiciones de trabajo, o también por razones económicas, pues permiten reducir los costos de fabricación del concreto en algunos casos. Se añaden a la mezcla inmediatamente, antes o durante mezclado. Pueden actuar como reductores de agua, retardantes o acelerantes, inclusores de aire, minerales finamente divididos, plastificantes, misceláneos.

1.3.5. Cemento

Un material cementante es aquel que tiene las propiedades adhesivas y cohesivas, que le dan la capacidad de aglutinar los áridos para conformar el concreto, esta categoría incluye no sólo al cemento sino también limos, asfaltos y alquitranes, tal como se usan en la construcción de carreteras y otros. (8)

Estas propiedades dependen de su composición química, el grado de hidratación, la finura de las partículas, la velocidad de fraguado, el calor de hidratación, y la resistencia mecánica que es capaz de desarrollar. Para la fabricación del concreto estructural se utilizan, exclusivamente, los llamados cementos hidráulicos.

1.3.5.1. Cemento Pórtland

Su invención se atribuye generalmente a Joseph Aspdin quien, en 1824, obtuvo la patente por su producto en Inglaterra, aun y cuando los cementos calcáreos habían sido utilizados desde hace muchos siglos. (9) Las especificaciones sobre este cemento, se encuentra en la norma ASTM C-150, y en ella se definen ocho tipos de cementos Pórtland, siendo el de mayor uso en el medio guatemalteco es el cemento Pórtland Tipo I. Entre éstos también se encuentra el cemento Pórtland blanco.

1.3.5.2. Cementos de albañilería

Son cementos hidráulicos diseñados para utilizarse en morteros para construcciones de mampostería, contienen alguno o varios de los siguientes compuestos: cemento Pórtland, cementos Pórtland-puzolana, cemento Pórtland de escoria de alto horno, cemento de escoria, cal hidráulica, y cemento natural; además, contiene normalmente materiales como cal hidratada, caliza, creta, conchas calcáreas, talco, escoria o arcilla. (10) Las especificaciones sobre estos cementos están en la norma ASTM C-91, y en ella se definen los tipos N, Tipo M y tipo S con tres niveles de resistencia. Dos características importantes de

estos cementos son: su plasticidad y su capacidad para retener el agua de mezclado.

1.3.5.3. Cementos especiales

Estos pueden ser para pozos petroleros, Pórtland impermeabilizados, plásticos, con adiciones funcionales y de fraguado controlado.

1.3.5.4. Cementos hidráulicos mezclados

El reciente interés en la conservación de energía ha impulsado el uso de materiales secundarios (subproductos de la industria), en el concreto de cemento Pórtland. Los principales materiales de mezclado son el cemento Pórtland, escorias de alto horno molidas, escorias de horno de arco eléctrico, cenizas volantes, y otras puzolanas, cal hidratada, y combinaciones previamente mezcladas de cemento con estos materiales. (11) Los cementos mezclados se pueden usar en construcciones de concreto cuando no sean necesarias las propiedades específicas de otros tipos de cemento. Los cementos hidráulicos mezclados deben satisfacer los requisitos de la norma ASTM C-595, que reconoce la existencia de cinco tipos de cementos mezclados.

- Cemento Pórtland de escoria de alto horno (Tipo IS): se puede utilizar en las construcciones de concreto en general. El contenido de escoria de este cemento varía entre el 25 y el 70 % en peso.
- Cemento Pórtland-puzolana (Tipo IP y Tipo P): son cementos con adiciones de puzolana. El tipo IP puede ser empleado en

construcciones en general. El tipo P se utiliza en construcciones donde no sean necesarias resistencias altas a edades tempranas, normalmente se utiliza en estructuras masivas, como estribos, presas y pilas de cimentación.

- Cemento de escoria (Tipo S): se pueden emplear en donde se requieran resistencias inferiores. Este cemento se fabrica por medio de alguno de los siguientes procesos: mezclando escoria molida de alto horno y cal hidratada, y mezclando escoria.
- Cemento Pórtland modificado con puzolana (Tipo I (PM)): se emplea en todo tipo de construcciones de concreto, el contenido de puzolana es menor del 15 % en peso del cemento terminado.
- Cemento Pórtland modificado con escoria (Tipo I (SM)): se puede emplear en todo tipo de construcciones de concreto. El contenido de la escoria es inferior al 25 % del peso del cemento terminado.

2. METODOLOGÍA UTILIZADA

En el presente trabajo se evaluaron concretos en estado fresco y endurecido elaborados con cementos mezclados (escoria más cemento Portland) y concreto tradicional (sólo cemento Portland), por medio de ensayos normalizados en la ASTM, resultados que luego fueron comparados entre sí. Se aplicó la siguiente metodología:

2.1. Trabajo de campo

El trabajo de campo se dividió en las fases siguientes:

- a) Toma de muestras en la planta de Siderúrgica de Guatemala S.A. (SIDEGUA): en vista de que la escoria ya había sido evaluada en el trabajo de graduación del Ingeniero Edgar Solórzano, (12) se visitó la planta de SIDEGUA ubicada en el km 65 carretera antigua al puerto San José, departamento de Escuintla, donde se contó con el apoyo del personal de esta empresa, teniendo cuidado de no contaminar las muestras con otros materiales al momento de tomarlas, luego fueron trasladadas al Centro de Investigaciones de Ingeniería para la elaboración de los cementos mezclados.
- b) Elaboración de los cementos mezclados: a la escoria se le retiraron los gruesos que podían afectar la preparación de los cementos, utilizando para la mezcla de los materiales un molino de bolas, dando un tiempo de mezclado de 30 minutos, cuidando de no colocar demasiado

material dentro del molino a efecto de lograr una mejor combinación de éstos.

- Cemento mezclado 70-30 (CM 70-30): cemento Pórtland tipo I Súper Tolteca 5800 psi 70 % en peso, y escoria de la planta SIDEGUA 30 % en peso.
- Cemento mezclado 30-70 (CM 30-70): cemento Pórtland tipo I Súper Tolteca 5800 psi 30 % en peso, y escoria de la planta SIDEGUA 70 % en peso

2.2. Trabajo de laboratorio

Consistió en la caracterización de los agregados, cementos mezclados y concretos en estado fresco, así como su resistencia a compresión y flexión. A continuación se amplía cada una de las fases realizadas.

2.2.1. Caracterización de los agregados

Se contó con el apoyo de los laboratorios del Centro de Investigaciones de Ingeniería así como del “Centro Tecnológico de Cementos Progreso”, los agregados utilizados fueron facilitados por la empresa “Agregados de Guatemala, S.A.”. A continuación se presentan los parámetros evaluados según el tipo de agregado, y de acuerdo con procedimientos y especificaciones de las normas ASTM aplicables.

- Agregado grueso (13): granulometría, densidad relativa, porcentaje de absorción, tamiz número 200, módulo de finura, módulo de Hudson, masa unitaria compactada y masa unitaria suelta.

- Agregado Fino (16): granulometría, densidad relativa, porcentaje de absorción, materia orgánica, tamiz número 200, módulo de finura, módulo de Hudson, masa unitaria compactada, masa unitaria suelta y humedad.

2.2.2. Caracterización de los cementos

- Cemento Pórtland tipo I Súper Tolteca 5800 psi (19): se trabajó de acuerdo a los procedimientos y especificaciones indicados en la norma ASTM C-150, evaluándose los siguientes parámetros: peso específico, consistencia normal, finura Blaine, fraguado Vicat, resistencia a la compresión, expansión en autoclave y fineza tamiz número 325.
- Cementos mezclados (20): se trabajó de acuerdo con los procedimientos indicados en la norma ASTM C-595, evaluándose los siguientes parámetros:
 - Químicos: óxido de magnesio, sulfato de calcio, residuo insoluble y oérdida por ignición.
 - Físicos: peso específico, finura Blaine, fraguado Vicat, resistencia a la compresión, expansión en autoclave , fineza tamiz número 325, contenido de aire y contracción de secado

2.2.3. Caracterización de concretos (14)

Se evaluaron los siguientes parámetros de acuerdo a lo indicado en las normas aplicables:

- Estado fresco: temperatura ambiente, temperatura del concreto, asentamiento (también conocido como revenimiento así como con el anglicismo slump), contenido de aire, peso unitario, velocidad de endurecimiento y toma de muestras.
- Estado endurecido: resistencia a la compresión y resistencia a la flexión

3. ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCRETOS

Los concretos que se evaluaron fueron hechos en concreteira mecánica, con un $f'c$ de diseño de 210 kg/cm^2 tratando de mantener un valor de asentamiento en un rango constante (más o menos 2 cm), respecto de la mezcla control.

3.1. Proporciones (1 m^3) para todos los concretos elaborados

3.1.1. Materiales

- Cemento 318.8 kg
- Agregado fino 945.3 kg
- Agregado grueso 908.5 kg
- Agua 191.3 L

3.2. Elaboración de concretos

3.2.1. Mezcla control (Cemento Pórtland tipo I Súper Tolteca 5800 psi)

- Temperatura ambiente 29.0 °C

- Temperatura concreto 31 .0°C
- Asentamiento (revenimiento) 7 cm
- Masa unitaria 2216.6 kg /m³
- Contenido de aire 4.6 %
- Agua total 39.8 L

3.2.2. Mezcla concreto (CM 70-30)

- Temperatura ambiente 25.5 °C
- Temperatura del concreto 27.5 °C
- Asentamiento (revenimiento) 7 cm
- Masa unitaria 2236.6 kg /m³
- Contenido de aire 2.8 %
- Agua total 42.8 L

3.2.3. Mezcla concreto (CM 30-70)

- Temperatura ambiente 28.0 °C
- Temperatura concreto 28.5 °C
- Asentamiento (revenimiento) 9 cm
- Masa unitaria 2209.5 kg /m³
- Contenido de aire 2.35 %
- Agua total 48.0 L

Figura 1. Concreto fresco.



Figura 2. Equipo para control de calidad del concreto fresco.



3.3. Evaluación del concreto

Las normas que se aplican para la evaluación del concreto son las siguientes:

- ASTM C-39 método de ensayo para esfuerzos por compresión
- ASTM C-78 método de ensayo para esfuerzos por flexión
- ASTM C-138 ensayo para determinar el peso unitario del concreto
- ASTM C-143 método de ensayo para el asentamiento del concreto
- ASTM C-172 práctica estándar para el muestreo del concreto recién mezclado
- ASTM C-231 contenido de aire en el concreto por el método de presión
- ASTM C-1064 temperatura de la mezcla fresca de concreto
- ASTM C-403 método estándar de prueba para el tiempo en que la mezcla de concreto desarrolla su resistencia a la penetración

Figura 3. Control de calidad del concreto fresco en medición del asentamiento.



Figura 4. Control de calidad del concreto fresco en contenido de aire.



4. RESULTADOS

Tabla I. **Caracterización de los agregados utilizados.**

Parámetro	Tipo de agregado	Densidad relativa (g/cm ³)	Absorción (%)	Pasa tamiz No. 200 (%)	Módulo de finura	Módulo de Hudson	Masa unitaria compactada (Kg/m ³)	Masa Unitaria (Kg/m ³)		Humedad (%)	Granulometría
								Masa Unitaria suelta	Masa unitaria suelta húmeda		
	Agregado fino (arena del Río "Las Vacas", Chinita, api-lada en planta AGREGUA zona 06)	2.35	3.52	1.9	2.34	6.68	1432.0	1306.0	1088.0	8.6	Ver informe de laboratorio
	Agregado grueso (pedrín calizo triturado 1" AGREGUA zona 06)	2.68	0.62	0.8	7.12	1.88	1508.0		1398.0	5.3	Ver informe de laboratorio

Tabla II. **Resultados del análisis físico-mecánico del cemento Pórtland tipo I. (18)**

Parámetro	Resultado	Especificación	
Superficie específica Blaine	3,425.0 cm ² /g	No especifica	
Consistencia normal	0.27 %	No especifica	
Fraguado Vicat	Inicial: 197 min	Inicial: no menos de 45 min	
	Final: 387 min	Final: no mas de 7 horas	
Peso específico	3.10 (g/cm ³)	No especifica	
Contenido de aire	-	Máximo 12.0	
Contracción por secado	-	No especifica	
Resistencia a la compresión MPa (psi)	3 días	30.9 (4479.3)	Mínimo 13.0 (1,890.0)
	7 días	35.9(5204.5)	Mínimo 20.0 (2,900)
	28 días	40.41(5858.6)	Mínimo 25.0 (3620)

Tabla III. **Resultados de la caracterización química del cemento mezclado (CM 70-30).**

Parámetro	Resultado	Especificación
Oxido de magnesio	1.66	No especifica
Sulfato de calcio	1.94	Máximo 3.0
Azufre	--	Máximo 2.0
Residuo insoluble	4.6	Máximo 1.0
Pérdida por ignición	6.65	Máximo 3.0

Tabla IV. **Resultados de la caracterización física-mecánica del cemento mezclado 70-30.**

Parámetro		Resultado	Especificación
Superficie específica Blaine		3,245.0 cm ² /g	No especifica
Consistencia normal		0.28 %	No especifica
Fraguado Vicat		Inicial: 188 min	Inicial: no menos de 45 min
		Final: 382 min	Final: no mas de 7 horas
Peso específico		3.08 (g/cm ³)	No especifica
Contenido de aire		7.09 %	Máximo 12.0
Contracción por secado		57 %	No especifica
Resistencia a la compresión MPa (psi)	3 días	8.07 (1,171.0)	Mínimo 13.0 (1,890.0)
	7 días	18.44 (2,675.0)	Mínimo 20.0 (2,900)
	28 días	21.47 (3,114)	Mínimo 25.0 (3620)

Tabla V. **Resultados de la caracterización química del cemento mezclado 30-70**

Parámetro	Resultado	Especificación
Oxido de magnesio	5.17	No especifica
Sulfato de calcio	1.18	Máximo 3.0
Azufre	--	Máximo 2.0
Residuo insoluble	3.35	Máximo 1.0
Pérdida por ignición	7.75	Máximo 3.0

Tabla VI. **Resultados de la caracterización física-mecánica del cemento mezclado 30-70.**

Parámetro	Resultado	Especificación	
Superficie específica Blaine	3,102.0 cm ² /g	No especifica	
Consistencia normal	0.31 %	No especifica	
Fraguado Vicat	Inicial: 25 min	Inicial: no menos de 45 min	
	Final: 46 min	Final: no mas de 7 horas	
Peso específico	3.00 (g/cm ³)	No especifica	
Contenido de aire	7.09 %	Máximo 12.0	
Contracción por secado	No se realizó %	No especifica	
Resistencia a la compresión MPa (psi)	3 días	1.90 (275.0)	Mínimo 13.0 (1,890.0)
	7 días	2.87 (416.0)	Mínimo 20.0 (2,900)
	28 días	4.31 (625.0)	Mínimo 25.0 (3620)

Figura 5. Resultados del peso específico.

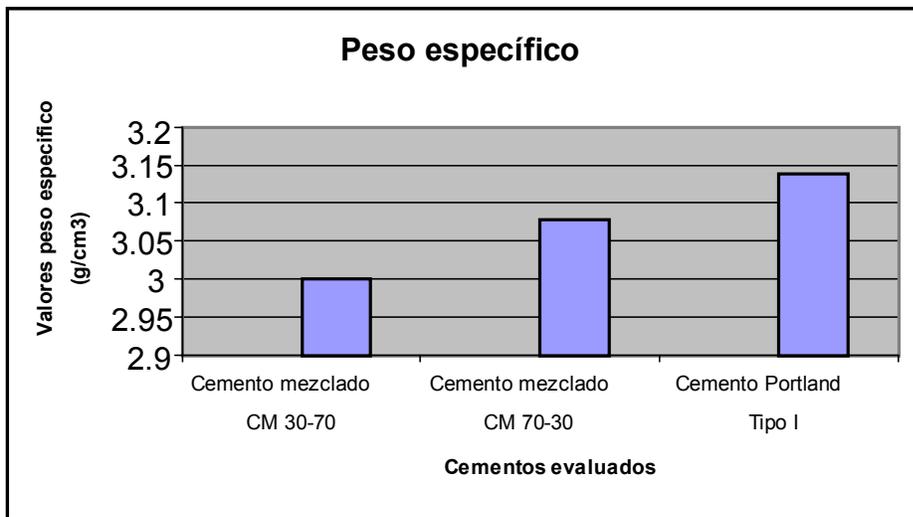


Figura 6. Resultados de la superficie específica de Blaine

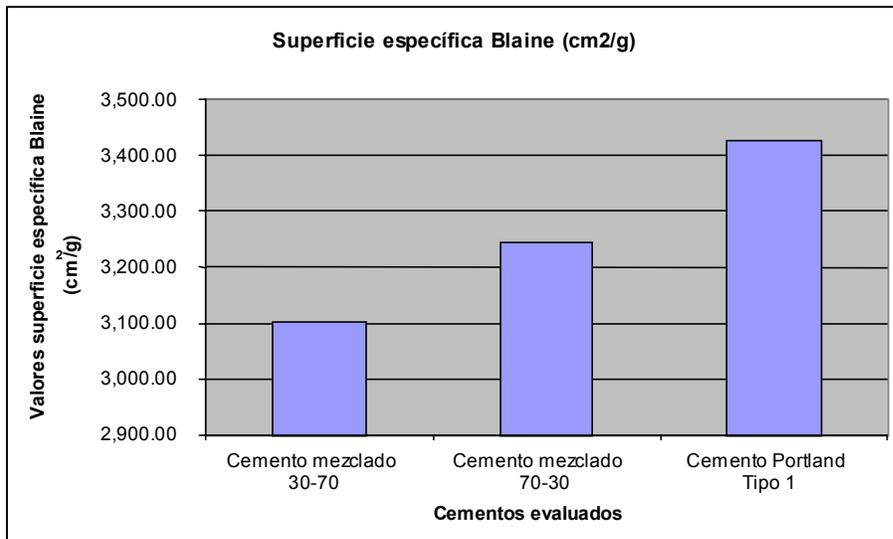


Figura 7. Resultados de la consistencia normal

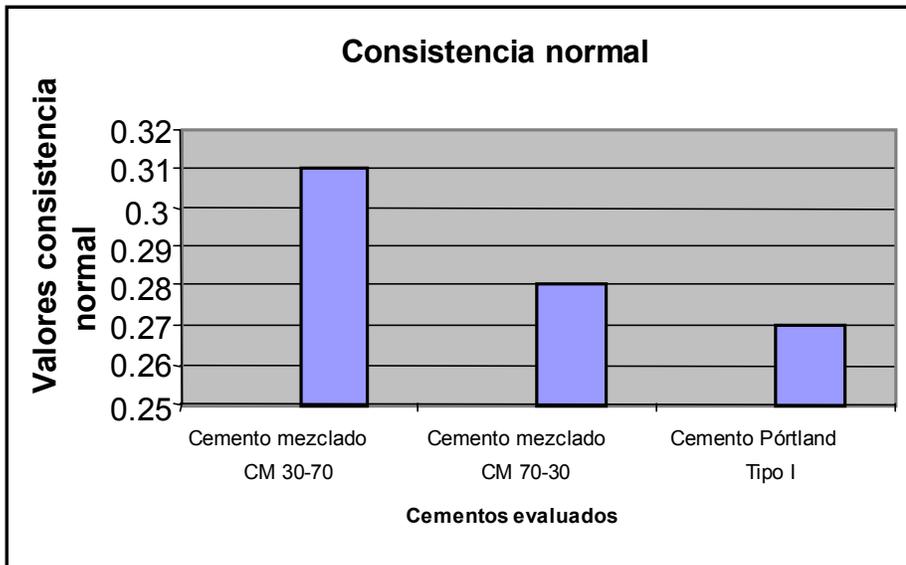


Figura 8. Resultados de la resistencia a compresión del cemento Pórtland tipo I.

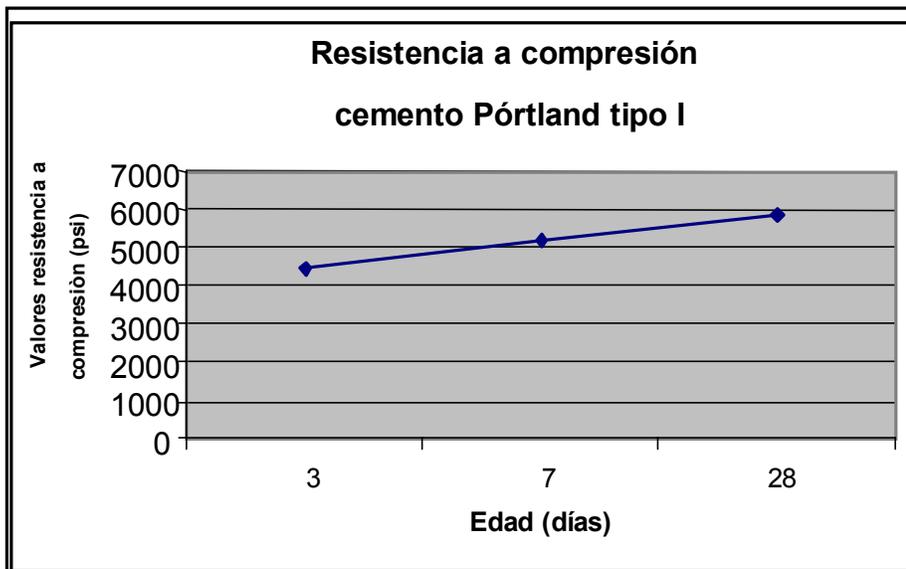


Figura 9. **Resultados de la resistencia a compresión del cemento mezclado 70-30.**

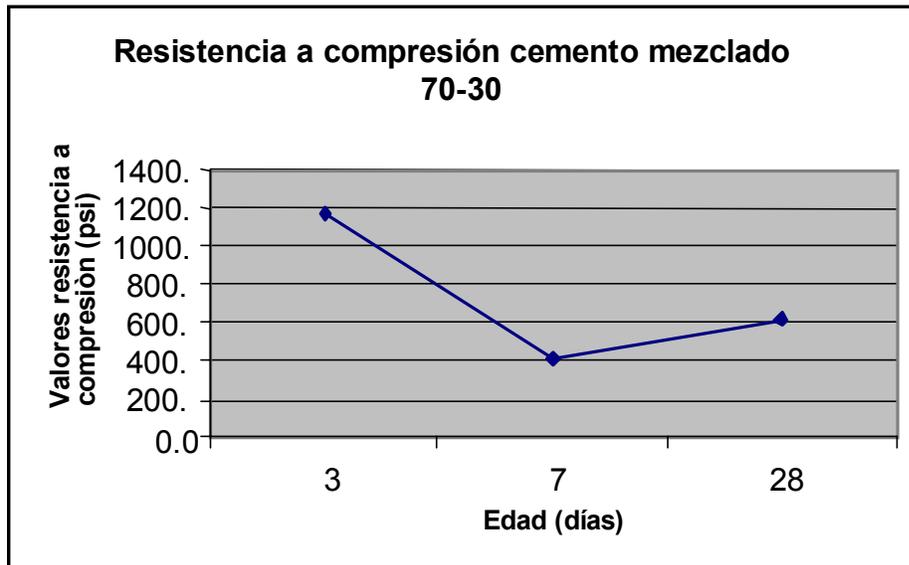
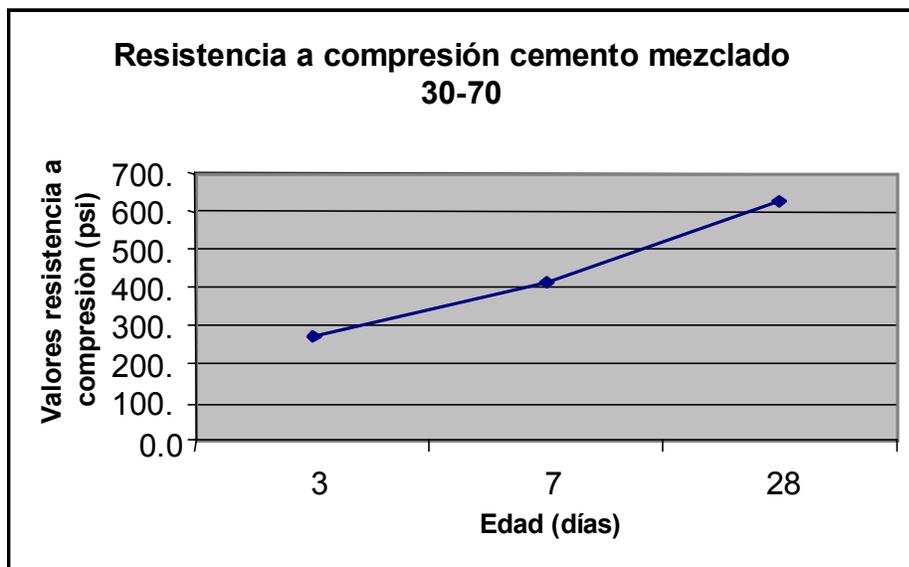


Figura 10. **Resultados de la compresión del cemento mezclado 30-70.**



4.1. Concretos (19)

Los concretos evaluados fueron hechos con las mismas cantidades de materiales, para lo cual los cementos mezclados fueron almacenados en bolsas de 42.5 kg a efecto de no tener que realizar ajustes en las proporciones de las mezclas.

Las cantidades de materiales utilizados en cada mezcla fueron los siguientes: cemento: 318.8 kg; arena: 945.3 kg; pedrín: 908.2 kg, y agua: 191.3 l.

Los ensayos se realizaron en concreto fresco y endurecido, iguales para todas las mezclas evaluadas.

Tabla VII. **Características del concreto en estado fresco en la mezcla de control.**

Parámetro	Resultado
Temperatura ambiente	29.0 ° C
Temperatura concreto	31.0 ° C
Asentamiento	7 cm
Masa unitaria	2216.56 kg /m ³
Contenido de aire	4.6 %
Agua total	39.8 l
Humedad de los agregados	0.0 %

Tabla VIII. **Resultados de la resistencia a compresión del concreto en estado endurecido.**

Edad (días)	Peso (kg)	Resistencia (kg/cm²)
1	12.2	119.3
3	12.3	185.0
7	12.3	228.0
28	12.2	278.7
56	12.3	287.4

Tabla IX. **Resultados del modo de ruptura del ensayo por flexión en la mezcla control.**

Edad (días)	Peso (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm²)
7	28.9	39.6
28	28.6	43.4
56	29.2	71.9

Tabla X. **Resistencia a la penetración (velocidad de endurecimiento) en la mezcla de control.**

Resistencia a la penetración			
Lectura (psi)	Tiempo transcurrido (min)	log₁₀ (lectura)	log₁₀ (tiempo)
38	180	1.579	2.255
204	240	2.309	2.380
1140	300	3.056	0.619
1700	330	3.230	0.666

Tabla XI. **Características del concreto 70-30 en estado fresco.**

Parámetro	Resultado
Temperatura ambiente	25.5 ° C
Temperatura concreto	27.5 ° C
Asentamiento	7 cm
Masa unitaria	2223.6 kg /m ³
Contenido de aire	2.8 %
Agua total	42.8 l
Humedad de los agregados	0.0 %

Tabla XII. **Resultados de la resistencia a la compresión del concreto 70-30.**

Edad (días)	Peso (kg)	Resistencia (kg/cm²)
1	12.4	43.2
3	12.6	102.3
7	12.5	128.1
28	12.4	211.2
56	12.3	221.6

Tabla XIII. **Resultados del módulo de ruptura del concreto 70-30 en el ensayo por flexión.**

Edad (días)	Peso (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm²)
7	28.9	29.0
28	28.6	43.3
56	29.6	51.1

Tabla XIV. **Resultados de la resistencia a la penetración del concreto 70-30.**

Resistencia a la penetración			
Lectura (psi)	Tiempo transcurrido (min)	log₁₀ (lectura)	log₁₀ (tiempo)
78	240	1.892	2.380
232	300	2.365	2.477
870	360	2.939	2.556
1640	390	3.214	2.591

Tabla XV. **Características del concreto mezclado 30-70.**

Parámetro	Resultado
Temperatura ambiente	28.0 ° C
Temperatura concreto	28.0 ° C
Asentamiento	9 cm
Masa unitaria	2209.52 kg /m ³
Contenido de aire	2.4 %
Agua total	48.0 l
Humedad de los agregados	0.0 %

Tabla XVI. **Resistencia a la compresión del concreto 30-70 en estado endurecido.**

Edad (días)	Peso (kg)	Resistencia (kg/cm²)
1	12.3	6.9
3	12.4	13.2
7	12.5	9.2
28	12.5	8.6
56	12.3	9.2

Tabla XVII. **Resultados del módulo de ruptura en el ensayo por flexión del concreto mezclado 30-70.**

Fecha de hechura	Edad (días)	Peso (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm²)
25-04-05	7	29.5	No se pudo evaluar
25-04-05	28	29.5	No se pudo evaluar
25-04-05	56	29.5	4.9

Tabla XVIII. **Resistencia a la penetración (velocidad de endurecimiento) del concreto mezclado 30-70.**

Resistencia a la penetración			
Lectura (psi)	Tiempo transcurrido (min)	log₁₀ (lectura)	log₁₀ (tiempo)
55	300	1.740	2.477
208	360	2.318	2.556
432	420	2.635	2.623
790	450	2.897	2.653
1380	480	3.139	2.681

Figura 11. Control de calidad del concreto endurecido en una probeta típica de ensayo a compresión.



Figura 12. Control de calidad del concreto endurecido en ensayo a compresión. (Tipo de falla: Cónica)



Figura 13. Masa unitaria en concretos.

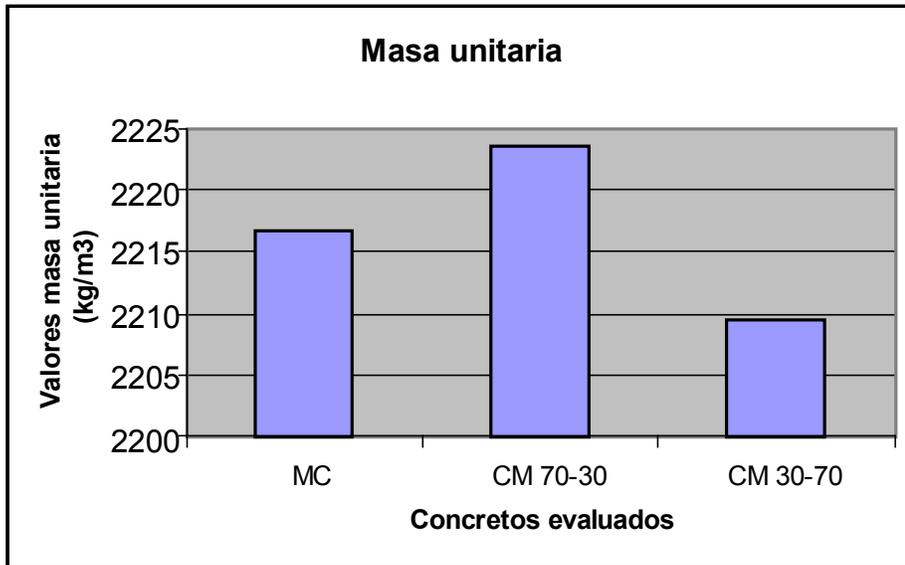


Figura 14. Contenido de aire en concretos.

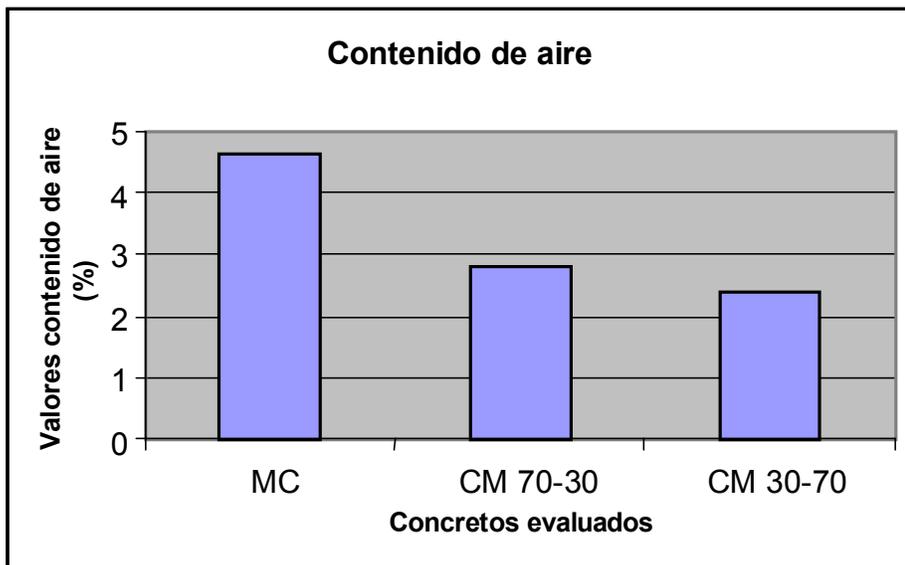


Figura 15. **Asentamiento en concretos.**

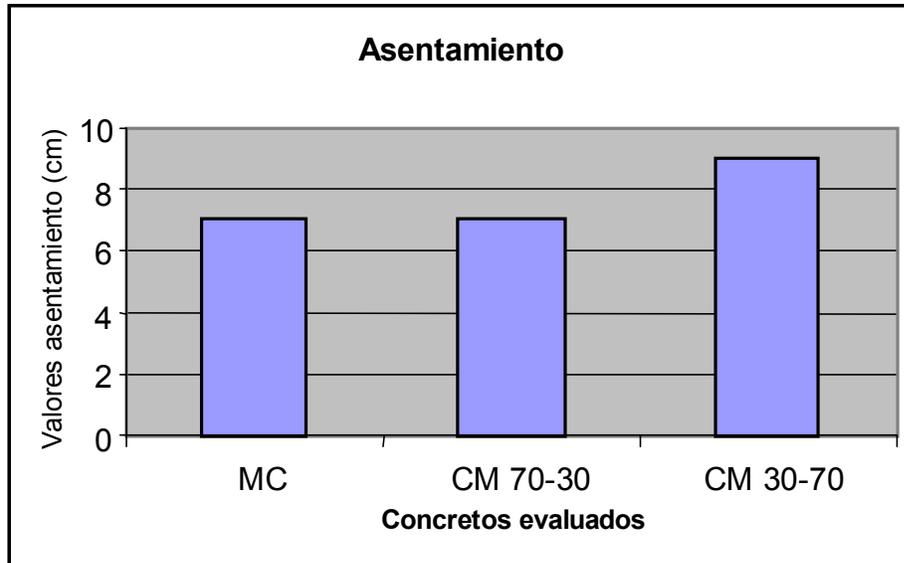


Figura 16. **Resistencia a compresión del concreto en la mezcla de control.**

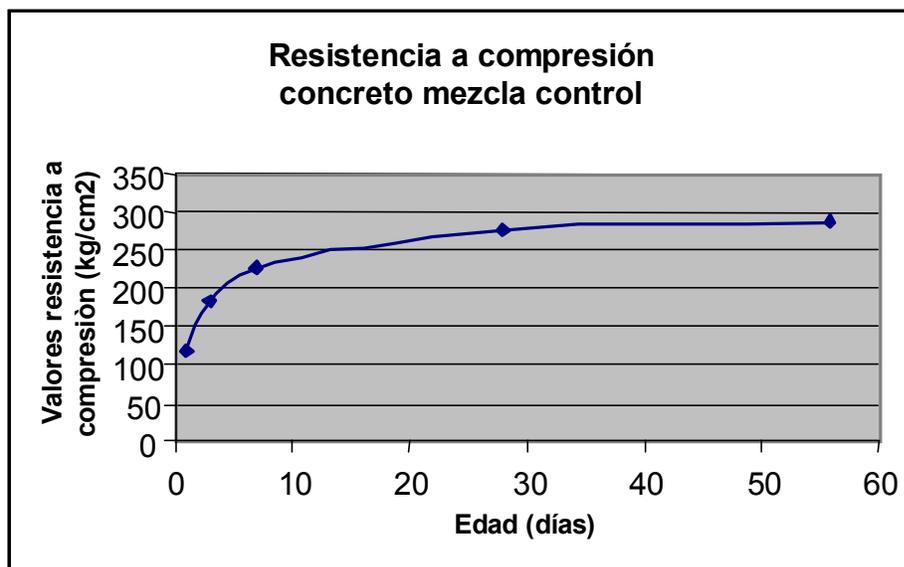


Figura 17. Resistencia a compresión del concreto 70-30.

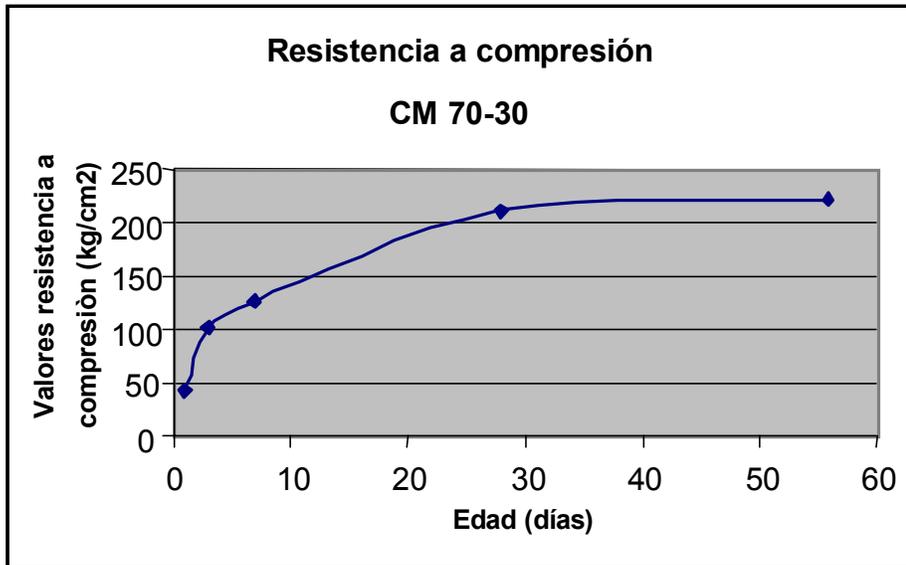


Figura 18. Resistencia a compresión del concreto 30-70.

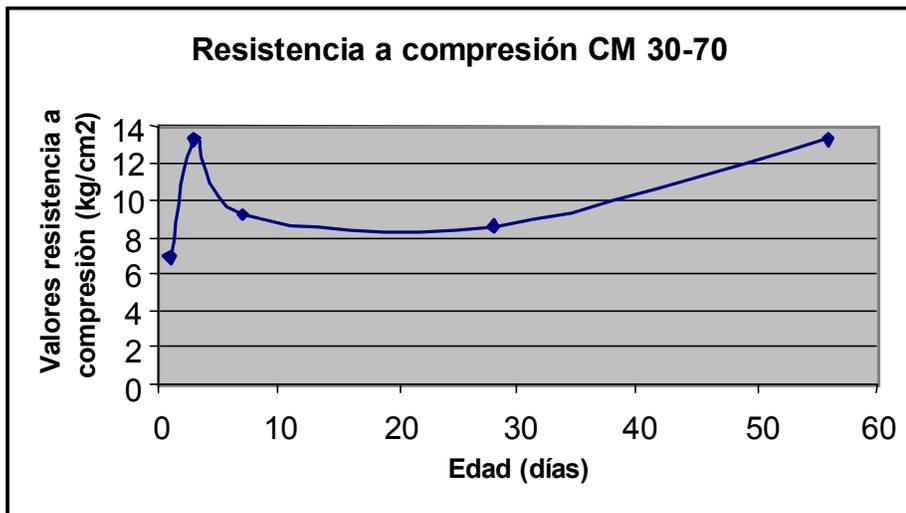


Figura 19. Resistencia a la penetración del concreto en la mezcla de control.

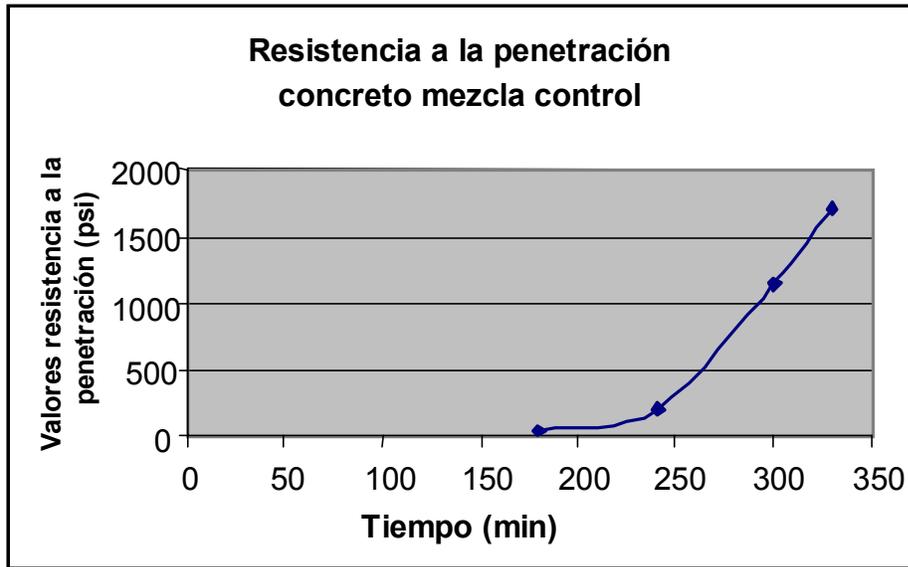


Figura 20. Resistencia a la penetración del concreto 70-30.

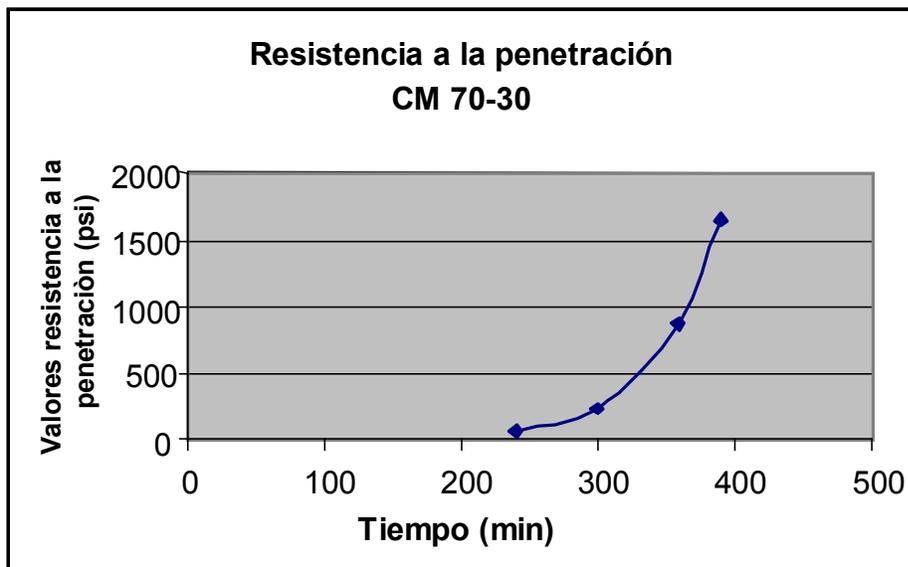
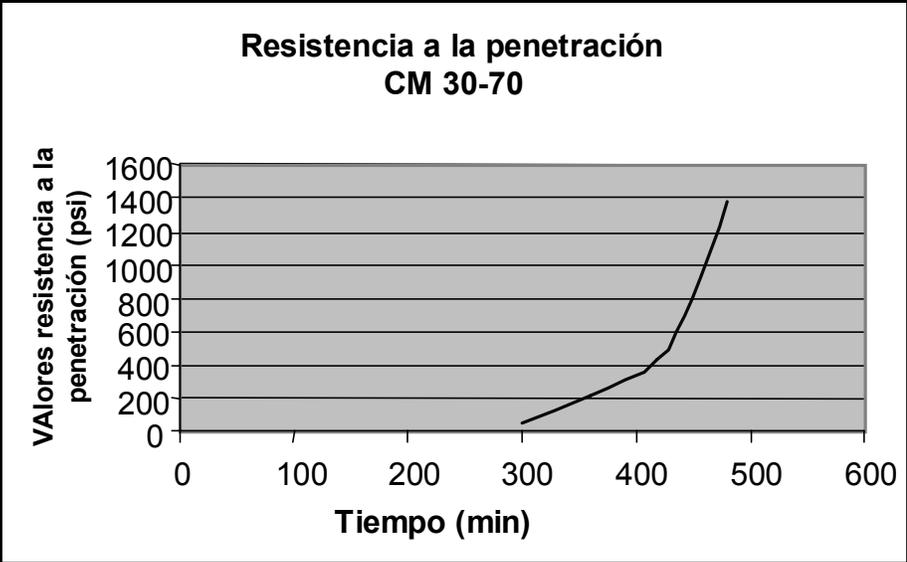


Figura 21. Resistencia a la penetración en el concreto 30-70.



5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Cementos

Se consideran los parámetros más importantes para el control de calidad de los cementos, aunque se registraron otros. A continuación, se presenta el análisis de los resultados obtenidos.

5.1.1. Peso específico

De acuerdo con los resultados obtenidos, se ve que el valor del peso específico disminuye conforme se agrega más escoria, variando en un rango entre 3.00 a 3.14 g/cm³ (ver figura 5).

5.1.2. Finura Blaine

Los valores obtenidos muestran que, a mayor cantidad de escoria adicionada, menor es el valor de la superficie Blaine, varía en un rango entre 3102.0 a 3850.0 cm²/g (ver figura 6).

5.1.3. Resistencia a la compresión

El cemento Pórtland tipo I es el que presenta valores de resistencia a compresión más altos, que era lo esperado, esto indica que la adición de escoria reduce el valor de este parámetro, para todas las edades evaluadas (ver figura 8).

5.1.4. Fraguado Vicat

Los valores de tiempo de fraguado tuvieron una variación sensible, éstos se reducen de manera significativa con el aumento de la escoria, el cemento mezclado (CM 70-30) cumple con las especificaciones de la Norma ASTM C-191 , no así el cemento mezclado (CM 30-70), cuyo tiempos de fraguado inicial de 25 minutos y final de 46 minutos, están fuera de especificaciones de norma.

5.1.5. Consistencia normal

De acuerdo con los resultados obtenidos se infiere que, a mayor adición de escoria, mayor requerimiento de agua para obtener una consistencia normal, la razón radica en que al incluir la escoria, aumenta la superficie de contacto (ver figura 7).

5.2. Agregados (15), (17)

Los resultados obtenidos en los ensayos de agregados para concreto, muestran que éstos cumplen con las especificaciones de la ASTM, así como que presentan características favorables para su uso en la elaboración de concreto, se consideran que éstos no afectan el comportamiento de los concretos evaluados.

5.3. Concretos (20)

5.3.1. Estado fresco

5.3.1.1. Temperatura del concreto

Se refiere al valor de la temperatura del concreto al momento de realizar la mezcla de los materiales (la temperatura del agua es la que más influye), puede ser causa importante de cambios en la consistencia de la mezcla y un obstáculo para lograr una adecuada uniformidad en la calidad del concreto. Este parámetro no tuvo variaciones sensibles en los concretos evaluados, varió en un rango entre 27.5 y 31.0 °C.

5.3.1.2. Asentamiento

El asentamiento es una medida de la trabajabilidad del concreto, influye también en aspectos de traslado y colocación, de ahí la importancia de mantenerlo en condiciones controladas. Para el presente estudio se trabajó en

un rango entre 7 y 9 cm, se garantizó con ello un concreto de calidad suficientemente plástico y cohesivo; así se tiene que a mayor cantidad de escoria adicionada, la mezcla requiere mayor cantidad de agua para tener el valor del asentamiento deseado (ver figura 15).

5.3.1.3. Masa unitaria

Valor que representa la masa del concreto fresco por unidad de volumen, se deberá tener en cuenta para la selección de las formaletas que se va a utilizar durante la colocación del concreto. La variación de los resultados en los concretos evaluados fue mínima en relación con la mezcla de control, considerando la cantidad de agua total utilizada en las mezclas, por lo que la adición de escoria en los porcentajes utilizados no tiene mayor incidencia en este parámetro (ver figura 13).

5.3.1.4. Porcentaje de contenido de aire

En todo concreto existe aire atrapado que forma parte del volumen de este (al momento de mezclar los materiales), aparte del que podemos agregar al concreto por medio de aditivos. Los resultados obtenidos muestran que a mayor cantidad de escoria adicionada, tenemos menos contenido de aire en el concreto evaluado (ver gráfica número 14).

5.3.1.5. Cantidad total de agua requerida

La relación agua/cemento tiene que ver con la mayoría de las propiedades del concreto (en estado fresco y endurecido), de ahí la importancia que tiene este parámetro, si se tiene en cuenta que la relación agua/cemento es el factor más importante en el desarrollo de la resistencia del concreto, con un grado adecuado de compactación, en otras palabras, a mayor cantidad de agua, menor resistencia del concreto. Debido a la condición de mantener el asentamiento dentro de un rango controlado, la cantidad de agua utilizada varió entre 38.0-48.0 l, siendo el concreto con mayor cantidad de escoria el que requirió más agua, se puede ver la influencia de la relación agua/cemento en los resultados de resistencia a compresión obtenidos (ver figuras 16, 17 y 18).

5.3.2. Estado endurecido

5.3.2.1. Resistencia a compresión

5.3.2.1.1. Mezcla control

Para la mezcla control se obtuvieron los resultados esperados de acuerdo al diseño ($f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$), esto confirma los resultados de la caracterización de los materiales utilizados.

El desarrollo de la resistencia a compresión con respecto al tiempo, es el esperado para una mezcla normal de concreto con cemento Pórtland en las

proporciones utilizadas, teniendo un valor a los 56 días de 287.4 kg /cm². (Ver gráfica número 16)

5.3.2.1.2. Concretos cementos mezclados

El valor de la resistencia a compresión disminuye conforme aumenta la adición de escoria, lo cual refleja que deberá de establecerse la proporción óptima para el cemento, de acuerdo a las condiciones de trabajo del concreto.

5.3.2.1.2.1. Concreto (CM 70-30)

- 1 día 36 % (con respecto a la mezcla control)
- 3 días 55 %
- 7 días 56 %
- 28 días 76 %
- 56 días 77 %

La mayor diferencia se da a los 56 días, notándose un incremento de esta con respecto a todas las edades de ensayo. Los valores obtenidos a las edades de 28 y 56 días, sugieren que el concreto puede ser utilizado en varias aplicaciones (ver figura 17).

5.3.2.1.2.2. Concreto (CM 30-70)

- 1 día 5.8 % (con respecto a la mezcla control)
- 3 días 7.1 %
- 7 días 4.0 %
- 28 días 3.1 %
- 56 días 4.6 %

La mayor diferencia se da a los 3 días, notándose un comportamiento irregular en los valores de resistencia con respecto a la edad. Los valores obtenidos en todas las edades muestran que este concreto en las proporciones utilizadas, no puede tener un desempeño adecuado (ver figura 18).

5.3.2.1.3. Ensayo a flexión (módulo de ruptura)

5.3.2.1.3.1. Mezcla control

Los resultados muestran un comportamiento de un concreto típico, lo que evidencia la calidad del concreto de la mezcla control.

5.3.2.1.3.2. Concreto (CM 70-30)

Los resultados tienen un desarrollo de resistencia a flexión proporcional a la edad, siendo menores que los de la mezcla control, teniéndose a los 56 días un 71 % del valor de la mezcla control.

5.3.2.1.3.3. Concreto (CM 30-70)

Se tuvieron dificultades para poder evaluar las vigas a las edades tempranas (7 y 28 días), teniéndose un valor sensiblemente mas bajo que el de la mezcla control a los 56 días.

5.3.2.1.4. Resistencia a la penetración (velocidad de endurecimiento)

5.3.2.1.4.1. Mezcla control

Debido a algunas limitaciones, el ensayo no produjo los resultados esperados, sin embargo el comportamiento de la mezcla control y la grafica generada muestra una tendencia normal en su velocidad de endurecimiento, no se pudieron determinar los tiempos de fraguado, de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM C-403 (ver figura 19).

5.3.2.1.4.2. Concreto (CM 70-30)

Se pudo observar que el uso del cemento mezclado (CM 70-30) en el concreto retardó el desarrollo de resistencia a la penetración, lo cual era de esperarse después de ver los resultados de los tiempos de fraguado del cemento mezclado (CM 70-30), no se pudieron definir los tiempos de fraguado inicial y final en el concreto evaluado, no cumpliendo con las especificaciones de la norma ASTM C-403 (ver figura 20).

5.3.2.1.4.3. Concreto (CM 30-70)

Los resultados obtenidos muestran el efecto del cemento mezclado en cuanto a retardar de manera significativa el proceso de desarrollo de la resistencia a la penetración, esto impidió obtener los valores de los tiempos de fraguado del concreto de acuerdo a lo que la norma ASTM C-403 especifica (ver figura 21).

CONCLUSIONES

1. Los agregados utilizados para la elaboración de los concretos evaluados son adecuados de acuerdo a su caracterización.
2. La escoria de hornos de SIDEGUA puede ser utilizada como adición para preparar cementos mezclados, pero si se mejora la fineza de la misma, se tendrían mejores resultados.
3. Los cementos mezclados evaluados pueden ser utilizados en la elaboración de concreto no estructural, siempre que se lleve un adecuado control de calidad en su proporcionamiento, mezclado, manejo y colocación.
4. El cemento con mayor adición de escoria (CM 30-70), presenta tiempos de fraguado más bajos, lo que es una desventaja en los procesos de transporte y colocación del concreto.
5. Es significativa la cantidad de cemento Pórtland que puede ser sustituida por adición de escoria, utilizando el cemento mezclado con un 30 % de adición.
6. El concreto elaborado con cemento mezclado (CM 30-70), requirió más agua para obtener un valor de asentamiento dentro del rango establecido, lo que significa que a mayor adición de escoria se tiene mayor requerimiento de agua en él.
7. Es necesario evaluar otras propiedades de los concretos, sobre todo en estado endurecido.

8. La adición de escoria es inversamente proporcional al desarrollo de resistencia a compresión en los concretos evaluados.
9. El concreto elaborado con cemento mezclado (CM 70-30), fue el que obtuvo valores de resistencia a compresión y módulo de ruptura más altos, esto significa que puede tener un desempeño adecuado en diferentes situaciones de trabajo.
10. El contenido de aire es menor en los concretos hechos con cementos mezclados con escoria, siendo el de mayor porcentaje de adición el que presenta el menor valor.
11. La adición de escoria actúa como un acelerante del tiempo de fraguado en los cementos mezclados utilizados.
12. A mayor cantidad de escoria presente en el cemento mezclado, menor es el desarrollo de resistencia a la penetración del concreto.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar concretos hechos con cementos mezclados en un rango del 20 al 50 % de adición, a efecto de lograr una mayor disminución en la cantidad de cemento Pórtland utilizado.
2. Evaluar otras características de los concretos en estado endurecido, como son la porosidad, durabilidad, adherencia, resistencia al desgaste, resistencia al clima imperante, resistencia a reacciones químicas perjudiciales al concreto, etc.
3. Promocionar el uso de los cementos mezclados en las comunidades cercanas a la planta SIDEGUA.
4. Los concretos evaluados, no se recomiendan para uso estructural.
5. Evaluar otras aplicaciones de los cementos mezclados, como puede ser la elaboración de tubería de concreto, adoquines, pilas, obras de arte (cajas rompe- presión, cajas derivadoras de caudal, cajas para válvulas), postes para cercas, caminamientos y otros usos.
6. Evaluar otras adiciones que permitan obtener diferentes tipos de cementos mezclados.
7. Evaluar el uso de aditivos comerciales en los concretos evaluados con cementos mezclados.
8. Realizar nuevos trabajos de graduación, utilizando las proporciones recomendadas.

REFERENCIAS

1. Sánchez de Guzmán, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Colombia: Bhandar editores, 2001, p. 19.
2. Loc. cit.
3. Ibid., pp. 57 - 65
4. “Holderbank” Management & Consulting Ltd. Seminario del cemento, Introducción a la tecnología de los materiales. Switzerland: copyright © , p. 40-63.
5. Instituto de ingeniería, Comisión federal de electricidad. Manual de tecnología del concreto. Volumen 1, México: Limusa, Noriega editores, 1994, p. 2.
6. Loc. cit.
7. Ibid., pp. 70, 176 y 186
8. Nilson, Arthur H. Diseño de estructuras de concreto. (Duodécima edición, Colombia: editorial McGraw Hill, 1995, p. 28.
9. Loc. cit.
10. Asociación colombiana de productores de concreto, “Asocreto”. Tecnología y propiedades. Quinta impresión, Colombia: s.e., 2002, pp. 187 – 205.
11. Ibid., p. 204

12. Solórzano Jiménez, Edgar Francisco. Caracterización de la escoria de hornos de la planta SIDEGUA como puzolana artificial. Tesis, ingeniero civil, Guatemala: 2003, pp. 17 – 18.
13. American society for testing and materials. Standard specification for concrete aggregates. Book of standards, volume 04.02.2002, USA, 2002.
14. Laboratorio central, Centro tecnológico. Informe correspondiente a la orden de trabajo número 5983-2. Guatemala: Centro tecnológico, “Cementos Progreso”, la Pedrera, zona 6, 2005, p. 1.
15. Loc. cit.
16. Laboratorio central, Centro tecnológico. Informe correspondiente a la orden de trabajo número 6625. Guatemala: Centro tecnológico, “Cementos Progreso”, la Pedrera, zona 6, 2005, p. 1.
17. Loc. cit.
18. Sección de aglomerantes y morteros, Centro de investigaciones de ingeniería. Informe S.AM. número 16/2005. Guatemala: Centro de investigaciones de ingeniería, 2005, p. 1.
19. Sección de concretos, Centro de investigaciones de ingeniería. Informe SC número 319. Guatemala: Centro de investigaciones de ingeniería, 2005, pp. 1 – 8.
20. Ibid.

BIBLIOGRAFÍA

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard specification for concrete aggregates. Estados Unidos: s.e. 2002.
2. ECUTE BANTES, Francisco Javier. “Evaluación y variabilidad de las propiedades de los agregados de dos plantas, una en Escuintla y la otra en Tecún Umán”. Universidad de San Carlos. Tesis Ing. Civil. Guatemala: 2003.
3. INSTITUTO DE INGENIERÍA, COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD. Manual de tecnología del concreto. México: Limusa, Noriega editores, 1994.
4. NILSON, Arthur H. Diseño de estructuras de concreto. Colombia: editorial McGraw Hill, 1995.
5. ORTIZ DE LEÓN, Evelyn E. “Calidad de los agregados producidos en Guatemala”. Universidad de San Carlos. Tesis Ing. Civil. Guatemala: 2004.
6. SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Colombia: Bhandar editores, 2001.

7. SOLÓRZANO Jiménez, Edgar Francisco. “Caracterización de la escoria de hornos de la planta SIDEGUA como puzolana artificial”. Universidad de San Carlos. Tesis Ing. Civil. Guatemala: 2003.

8. HOLDERBANK MANAGEMENT & CONSULTING LTD. Seminario del cemento, Introducción a la tecnología de los materiales. Suiza: s.i.

ANEXOS

1. Laboratorio central, Centro tecnológico. Informe correspondiente a la orden de trabajo número 5983-2. Ensayo agregado grueso.
2. Laboratorio central, Centro tecnológico. Informe correspondiente a la orden de trabajo número 6625. Ensayo agregado fino.
3. Sección de aglomerantes y morteros, Centro de investigaciones de ingeniería. Informe S.AM número 16/2005. Caracterización cemento Pórtland, cementos mezclados y evaluación de la resistencia a la penetración del concreto.
4. Sección de concretos, Centro de investigaciones de ingeniería. Informe SC número 319. Ensayos para concreto estado fresco y endurecido.



**Laboratorio Central
Centro Tecnológico**
15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 22864178 Fax: 22864181



AGREGADO FINO NATURAL
Granulometría ASTM C-33

CLIENTE: ING. FRANCISCO ECUTE.
CONTACTO: ING. FRANCISCO ECUTE.
MUESTRA: ARENA DE RIO.
PROCEDENCIA: RIO LAS VACAS CHINAUTLA, APILADA EN PLANTA AGREGUA ZONA 06.

ING. Emilio Beltranena M.
Gerente de CETEC

OT: 6625
Fecha: 26.07.05
Laboratorio: AGREGADOS RG
Analista: MS
Fecha Ensayo: 02.08.05
Supervisor: MS
Aprobado Fecha: 02.08.05

INFORME



ENSAYO COMPLETO DEL AGREGADO

Densidad Relativa (ss)	2.35
Absorción (%)	3.52
Materia Orgánica (color)	1.5
Pasa Tamiz 0.075mm (%)	1.9
Módulo de Finura (MF)	2.34
Módulo de Hudson (A)	6.68
Masa Unitaria Compactada (kg/m³)	1,432
Masa Unitaria Suelta (kg/m³)	1,306
Masa Unitaria Suelta Humeda (kg/m³)	1,088
Pérdida Sulfato Sodio (%)	-
Humedad (%)	8.6

OBSERVACIONES: Muestra con mucha pomez.

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC. Tecnología y Ensayos de Cementos y Concretos.



Orden de Trabajo No.19390

Informe S. AM 16/2005

Interesado: Mauro Ortega
Proyecto: Tesis "Evaluación de Concretos elaborados con cemento mezclado (cemento Pórtland y escoria)"
Asunto: Caracterización de Cemento Pórtland, Cementos Mezclados y evaluación de la Resistencia a la penetración a Concreto
Fecha: 19 de octubre de 2005

- 1. Generalidades:** el interesado proporcionó los materiales necesarios, siendo estos los siguientes:
 - Cemento Pórtland Tipo I Super Tolteca 5800 psi
 - Cemento Mezclado 70-30
 - Cemento Mezclado 30-70
- 2. Procedimiento:** se trabajó de acuerdo a lo indicado en las normas ASTM C-595 y C-403.
- 3. Resultados:**
 - 3.1.1. Caracterización Cementos**
 - 3.1.1.1. Cemento Pórtland Tipo I Super Tolteca 5800 psi**

Parámetro		Resultado	Especificación
Superficie Especifica Blaine		3,425.0 cm ² /gr.	No especifica
Consistencia Normal		0.27 %	No especifica
Fraguado Vicat		Inicial: 197 min.	Inicial: no menos de 45 min.
		Final: 387 min.	Final: no mas de 7 horas
Peso Especifico		3.10 (gr./cm ³)	No especifica
Contenido de aire		-	Máximo 12.0
Contracción por Secado		-	No especifica
Resistencia a la Compresión MPa (psi)	3 días	30.9 Mpa(4479.3 psi)	Mínimo 13.0 Mpa (1,890.0 psi)
	7 días	35.9(5204.5)	Mínimo 20.0 (2,900)
	28 días	5888.6(5858.6)	Mínimo 25.0 (3620)



3.1.2. Cemento Mezclado 70-30

Parámetro	Resultado	Especificación	
Superficie Especifica Blaine	3,245.0 cm ² /gr.	No especifica	
Consistencia Normal	0.28 %	No especifica	
Fraguado Vicat	Inicial: 188 min.	Inicial: no menos de 45 min.	
	Final: 382 min.	Final: no mas de 7 horas	
Peso Especifico	3.08 (gr./cm ³)	No especifica	
Contenido de aire	7.09 %	Máximo 12.0	
Contracción por Secado	57 %	No especifica	
Resistencia a la Compresión MPa (psi)	3 días	8.07 Mpa (1,171.0 psi)	Mínimo 13.0 Mpa (1,890.0 psi)
	7 días	18.44 (2,675.0)	Mínimo 20.0 (2,900)
	28 días	21.47 (3,114)	Mínimo 25.0 (3620)

3.1.3. Cemento Mezclado 30-70

Parámetro	Resultado	Especificación	
Superficie Especifica Blaine	3,102.0 cm ² /gr.	No especifica	
Consistencia Normal	0.31 %	No especifica	
Fraguado Vicat	Inicial: 25 min.	Inicial: no menos de 45 min.	
	Final: 46 min.	Final: no mas de 7 horas	
Peso Especifico	3.00 (gr./cm ³)	No especifica	
Contenido de aire	7.09 %	Máximo 12.0	
Contracción por Secado	No se realizó %	No especifica	
Resistencia a la Compresión MPa (psi)	3 días	1.90 Mpa (275.0 psi)	Mínimo 13.0 Mpa (1,890.0 psi)
	7 días	2.87 (416.0)	Mínimo 20.0 (2,900)
	28 días	4.31 (625.0)	Mínimo 25.0 (3620)

3.1.4. Resistencia a la Penetración

3.1.4 Cemento Pórtland Tipo I Super Tolteca 5800 psi

Resistencia a la Penetración			
Lectura (psi)	Tiempo Transcurrido (min.)	Log ₁₀ (lectura)	Log ₁₀ (tiempo)
38	180	1.579	2.255
204	240	2.309	2.380
1140	300	3.056	0.619
1700	330	3.230	0.666



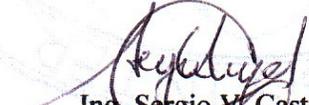
3.1.5 Cemento Mezclado 70-30

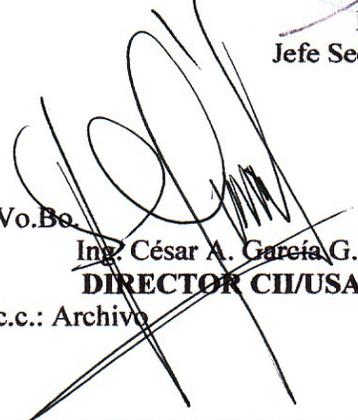
Resistencia a la Penetración			
Lectura (psi)	Tiempo Transcurrido (min.)	Log ₁₀ (lectura)	Log ₁₀ (tiempo)
55	300	1.740	2.477
208	360	2.318	2.556
432	420	2.635	2.623
790	450	2.897	2.653
1380	480	3.139	2.681

3.1.6 Cemento Mezclado 30-70

Resistencia a la Penetración			
Lectura (psi)	Tiempo Transcurrido (min.)	Log ₁₀ (lectura)	Log ₁₀ (tiempo)
55	300	1.740	2.477
208	360	2.318	2.556
432	420	2.635	2.623
790	450	2.897	2.653
1380	480	3.139	2.681

Atentamente


Ing. Sergio V. Castañeda L.
Jefe Sección de Aglomerantes y Morteros


Vo.Bo. Ing. César A. García G.
DIRECTOR CII/USAC
c.c.: Archivo





INFORME No. SC- 319
HOJA 1/8

O.T. No.18695

INTERESADO: Mauro Ortega Calderón
DIRECCION: _____
PROYECTO: Informe de Graduación
ASUNTO: MEZCLA DE CONCRETO CON ESCORIA
FECHA: Guatemala, 5 de Septiembre de 2005.



I. GENERALIDADES

A solicitud del interesado se realizó diseño teórico de mezcla de concreto y diseños prácticos de mezclas de concreto con escoria y cemento Tolteca. Las condiciones del estudio fueron proporcionados por el estudiante las cuales fueron consideradas en el diseño teórico de mezcla, las características físicas de los agregados los realizó el mismo estudiante en el laboratorio de concreto de Cemento Progreso (CETEC) en la cual dichos datos también fueron utilizados en el cálculo del diseño teórico de mezclas de concreto.

II. PROCEDIMIENTO

Los ensayos realizados en el laboratorio de concreto del CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA se efectuaron en base a normas ASTM siendo los siguientes:

- ASTM C-172 (Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete) Práctica estándar para el muestreo del concreto recién mezclado.
- ASTM C-39 (Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens) Metodo de ensayo para esfuerzos a compresión de cilindros de concreto.
- ASTM C-143 (Test Method for slump of Hydraulic-Cement Concrete) método de ensayo para el asentamiento del concreto.
- ASTM C-231 (Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method) Contenido de aire en el concreto por el método de presión.
- ASTM C-138 (Test Method for Unit Weight, Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete) ensayo para determinar el peso unitario del concreto.



INFORME No. SC- 319
HOJA 2/8

O.T. No.18695

INTERESADO: Mauro Ortega Calderón
DIRECCION: _____
PROYECTO: Informe de Graduación
ASUNTO: MEZCLA DE CONCRETO CON ESCORIA
FECHA: Guatemala, 5 de Septiembre de 2005.

Handwritten signature



III.- RESULTADOS

3.1.- Bachada típica o de control.

Datos Teóricos				Dat. Prácticos		
Volumen	1	m3	0.1705	m3	0.17046	m3
Cemento	318.75	kg	54.33	kg	54.33	kg
Agua	191.25	kg	32.60	kg	39.78	kg
Agregado fino	945.25	kg	161.13	kg	159.80	kg
Agregado Grueso	908.20	kg	154.81	kg	153.54	kg

Fecha de hechura: 22/04/05
Temperatura ambiente: 29°C
Temperatura concreto: 31°C
Asentamiento: 7 cm.
Masa unitaria: 2216.56 kg/m3
% Contenido de aire: 4.6
% de humedad de los agregados: 0

3.2.- Bachada con 30% de cemento Tolteca y 70% de Escoria del total del cemento calculado de la bachada típica o de control.

Datos Teóricos				Dat. Prácticos		
Volumen	1	m3	0.1705	m3	0.17046	m3
Cemento	318.75	kg	16.30	kg	16.3	kg
Escoria	—	—	38.03	kg	38.03	kg
Agua	191.25	kg	32.60	kg	48.00	kg
Agregado fino	945.25	kg	161.13	kg	159.80	kg
Agregado Grueso	908.20	kg	154.81	kg	153.54	kg

Fecha de hechura: 25/04/05
Temperatura ambiente: 28°C
Temperatura concreto: 28.5°C
Asentamiento: 9 cm.
Masa unitaria: 2209.52 kg/m3
% Contenido de aire: 2.35



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



INFORME No. SC- 319

HOJA 3/8

O.T. No.18695

INTERESADO: Mauro Ortega Calderón
DIRECCION: _____
PROYECTO: Informe de Graduación
ASUNTO: MEZCLA DE CONCRETO CON ESCORIA
FECHA: Guatemala, 5 de Septiembre de 2005.



CONTINUACIÓN DE RESULTADOS

3.3.- Bachada con 70% de Cemento Tolteca y 30% de Escoria del total del cemento calculado de la bachada típica o de control.

Datos Teóricos				Dat. Prácticos		
Volumen	1	m3	0.1705	m3	0.17046	m3
Cemento	318.75	kg	38.03	kg	38.03	kg
Escoria.	—		16.30	kg	16.3	kg
Agua	191.25	kg	32.60	kg	42.80	kg
Agregado fino	945.25	kg	161.13	kg	159.80	kg
Agregado Grueso	908.20	kg	154.81	kg	153.54	kg

Fecha de hechura: 26/04/05
Temperatura ambiente: 25.5°C
Temperatura concreto: 27.5°C
Asentamiento: 7 cm.
Masa unitaria: 2223.60 kg/m3
% Contenido de aire: 2.80

3.4.-Resistencia a compresión de cilindros de concreto de bachada típica o de control.

IDENTIFICACIÓN DE CILINDRO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg.	DIAMETRO en cm.	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA psi
1	22-4-05	1	3000 PSI (control de calidad)	12.20	15.24	117.37	1669.35
2	22-4-05	1	3000 PSI (control de calidad)	12.20	15.20	119.24	1695.93
3	22-4-05	1	3000 PSI (control de calidad)	12.30	15.22	121.17	1723.39
4	22-4-05	3	3000 PSI (control de calidad)	12.35	15.10	182.37	2593.91
5	22-4-05	3	3000 PSI (control de calidad)	12.35	15.05	186.14	2647.44
6	22-4-05	3	3000 PSI (control de calidad)	12.30	15.05	186.14	2647.44
7	22-4-05	7	3000 PSI (control de calidad)	12.40	15.10	225.43	3206.36
8	22-4-05	7	3000 PSI (control de calidad)	12.35	15.05	229.48	3263.97
9	22-4-05	7	3000 PSI (control de calidad)	12.35	15.15	228.98	3256.81



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



INFORME No. SC- 319
HOJA 4/8

O.T. No.18695

INTERESADO: Mauro Ortega Calderón
DIRECCION: _____
PROYECTO: Informe de Graduación.
ASUNTO: MEZCLA DE CONCRETO CON ESCORIA
FECHA: Guatemala, 5 de Septiembre de 2005.



III. CONTINUACIÓN DE RESULTADOS.

IDENTIFICACIÓN DE CILINDRO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg.	DIAMETRO en cm.	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA psi
10	20-4-05	28	3000 PSI (control de calidad)	12.30	15.25	278.14	3955.99
11	20-4-05	28	3000 PSI (control de calidad)	12.20	15.23	279.61	3977.01
12	20-4-05	28	3000 PSI (control de calidad)	12.25	15.28	278.28	3958.06
13	20-4-05	56	3000 PSI (control de calidad)	12.20	15.00	270.80	3851.65
14	20-4-05	56	3000 PSI (control de calidad)	12.35	15.10	189.97	2701.99
15	20-4-05	56	3000 PSI (control de calidad)	12.35	15.10	303.95	4323.19

3.5.-Resistencia a compresión de cilindros de concreto de bachada de 30% de Cemento Tolteca con 70% Escoria del total del cemento calculado de la bachada típica o de control.

IDENTIFICACIÓN DE CILINDRO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg.	DIAMETRO en cm.	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA psi
22	25-4-05	1	3000 PSI (control de calidad)	12.30	15.10	6.84	97.27
23	25-4-05	1	3000 PSI (control de calidad)	12.25	15.10	6.59	93.67
24	25-4-05	1	3000 PSI (control de calidad)	12.25	15.00	7.19	102.22
25	25-4-05	3	3000 PSI (control de calidad)	12.45	15.28	12.86	182.95
26	25-4-05	3	3000 PSI (control de calidad)	12.30	15.19	13.27	188.68
27	25-4-05	3	3000 PSI (control de calidad)	12.35	15.20	13.50	191.99
28	25-4-05	7	3000 PSI (control de calidad)	12.55	15.32	8.86	126.00
29	25-4-05	7	3000 PSI (control de calidad)	12.60	15.35	8.95	127.25
30	25-4-05	7	3000 PSI (control de calidad)	12.55	15.30	9.75	138.61



INFORME No. SC- 319
HOJA 5/8

O.T. No.18695

INTERESADO: Mauro Ortega Calderón
DIRECCION: _____
PROYECTO: Informe de Graduación.
ASUNTO: MEZCLA DE CONCRETO CON ESCORIA
FECHA: Guatemala, 5 de Septiembre de 2005.



III. CONTINUACIÓN DE RESULTADOS

IDENTIFICACIÓN DE CILINDRO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg.	DIAMETRO en cm.	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA psi
31	25-4-05	28	3000 PSI (control de calidad)	12.50	15.40	8.77	124.69
32	25-4-05	28	3000 PSI (control de calidad)	12.55	15.50	8.65	123.09
33	25-4-05	28	3000 PSI (control de calidad)	12.53	15.65	8.49	120.74
34	25-4-05	56	3000 PSI (control de calidad)	12.40	15.05	12.75	181.33
35	25-4-05	56	3000 PSI (control de calidad)	12.30	15.05	11.73	166.83
36	25-4-05	56	3000 PSI (control de calidad)	12.30	15.05	15.30	217.60

3.6.-Resistencia a compresión de cilindros de concreto de bachada de 70% de Cemento Tolteca con 30% Escoria del total del cemento calculado de la bachada típica o de control.

IDENTIFICACIÓN DE CILINDRO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg.	DIAMETRO en cm.	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA psi
43	26-4-05	1	3000 PSI (control de calidad)	12.45	15.15	41.52	590.52
44	26-4-05	1	3000 PSI (control de calidad)	12.35	15.05	42.33	602.02
45	26-4-05	1	3000 PSI (control de calidad)	12.40	15.05	41.82	594.77
46	26-4-05	3	3000 PSI (control de calidad)	12.90	15.15	113.23	1610.5
47	26-4-05	3	3000 PSI (control de calidad)	12.40	15.05	96.89	1378.1
48	26-4-05	3	3000 PSI (control de calidad)	12.40	15.15	96.88	1377.9
49	26-4-05	7	3000 PSI (control de calidad)	12.35	15.10	124.11	1765.3
50	26-4-05	7	3000 PSI (control de calidad)	12.50	15.00	133.48	1898.4
51	26-4-05	7	3000 PSI (control de calidad)	12.45	15.10	126.65	1801.3



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



INFORME No. SC- 319
HOJA 6/8

O.T. No.18695

INTERESADO: Mauro Ortega Calderón
DIRECCION: _____
PROYECTO: Informe de Graduación.
ASUNTO: MEZCLA DE CONCRETO CON ESCORIA
FECHA: Guatemala, 5 de Septiembre de 2005.



III. CONTINUACIÓN DE RESULTADOS

IDENTIFICACIÓN DE CILINDRO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg.	DIAMETRO en cm.	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA psi
52	26-4-05	28	3000 PSI (control de calidad)	12.40	15.10	212.77	3026.23
53	26-4-05	28	3000 PSI (control de calidad)	12.35	15.05	216.73	3082.64
54	26-4-05	28	3000 PSI (control de calidad)	12.40	15.05	203.98	2901.31
55	26-4-05	56	3000 PSI (control de calidad)	12.35	15.00	218.18	3103.22
56	26-4-05	56	3000 PSI (control de calidad)	12.30	15.05	215.46	3064.50
57	26-4-05	56	3000 PSI (control de calidad)	12.40	15.00	231.01	3285.77

3.7 Resistencia de vigas de concreto típica o de control

IDENTIFICACIÓN DE VIGA	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	VIGA REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg.	ALTO en cm.	ANCHO en cm.	LONGITUD en cm.	MODULO DE RUPTURA
								kg/cm ²
16	22-4-05	7	control de calidad	28.85	15.90	15.40	53.70	39.42
17	22-4-05	7	control de calidad	29.35	15.60	15.30	53.60	42.44
18	22-4-05	7	control de calidad	28.2	15.20	15.30	53.70	48.24
19	22-4-05	28	control de calidad	28.95	15.80	16.00	54.50	37.14
20	22-4-05	28	control de calidad	29.3	15.80	15.90	54.00	41.96
21	22-4-05	56	control de calidad	29.2	15.00	15.30	54.60	71.94



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



INFORME No. SC- 319
HOJA 7/8

O.T. No.18695

INTERESADO: Mauro Ortega Calderón
DIRECCION: _____
PROYECTO: Informe de Graduación.
ASUNTO: MEZCLA DE CONCRETO CON ESCORIA
FECHA: Guatemala, 5 de Septiembre de 2005.



III. CONTINUACIÓN DE RESULTADOS

3.8 Resistencia de vigas de concreto mezcla de 30% de Cemento Tolteca y 70% de Escoria del total del cemento calculado de la bachada típica o de control.

IDENTIFICACIÓN DE VIGA	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	VIGA REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	ALTO en cm.	ANCHO en cm.	LONGITUD en cm.	MODULO DE RUPTURA
								kg/cm ²
37	25-4-05	7	control de calidad	29.45	15.57	15.33	53.67	—
38	25-4-05	7	control de calidad	29.45	15.53	15.53	53.93	—
39	25-4-05	28	control de calidad	29.45	15.08	15.33	54.40	—
40	25-4-05	28	control de calidad	29.45	15.37	15.53	54.00	—
41	25-4-05	56	control de calidad	29.3	15.10	15.40	54.50	4.58
42	25-4-05	56	control de calidad	29.6	15.15	15.30	54.50	5.21



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



INFORME No. SC- 319
HOJA 8/8

O.T. No.18695

INTERESADO: Mauro Ortega Calderón
DIRECCION: _____
PROYECTO: Informe de Graduación.
ASUNTO: MEZCLA DE CONCRETO CON ESCORIA
FECHA: Guatemala, 5 de Septiembre de 2005.

III. CONTINUACIÓN DE RESULTADOS

3.9 Resistencia de vigas de concreto mezcla de 70% de cemento y 30% de Escoria del total del cemento calculado de la bachada típica o de control.

IDENTIFICACIÓN DE VIGA	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	VIGA REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg.	ALTO en cm.	ANCHO en cm.	LONGITUD en cm.	MODULO DE RUPTURA kg/cm ²
58	26-4-05	7	control de calidad	28.25	15.00	15.30	54.20	28.94
59	26-4-05	7	control de calidad	28.6	15.30	15.40	54.50	29.28
60	26-4-05	7	control de calidad	29.1	15.40	15.70	53.70	28.78
61	26-4-05	29	control de calidad	28.85	15.40	15.50	53.80	43.15
62	26-4-05	29	control de calidad	28.4	15.60	15.40	53.60	43.47
63	26-4-05	56	control de calidad	29.6	15.45	15.20	54.50	51.10

Atentamente,

Vo. Bo.

Ing. Cesar Alfonso Garcia Guerra
DIRECTOR CII / USAC



Ing. Francisco Javier Ecuté Bantes
Jefe Sección de Concretos

