



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

**DISEÑO Y COMPARACIÓN DE MEZCLAS ARTESANALES DE CONCRETO  
A BASE DE CEMENTO PÓRTLAND TIPO I, MODIFICADO CON PUZOLANA  
[TIPO I (PM) -ASTM C-595 /C595M-09-] EQUIVALENTES A LAS  
ELABORADAS A BASE DE CEMENTO PÓRTLAND [TIPO I -ASTM C  
150/M150-09-]**

**Josué Antonio Fernández Véliz**

Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, mayo de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y COMPARACIÓN DE MEZCLAS ARTESANALES DE CONCRETO  
A BASE DE CEMENTO PÓRTLAND TIPO I, MODIFICADO CON PUZOLANA  
[TIPO I (PM) -ASTM C-595 /C595M-09-] EQUIVALENTES A LAS  
ELABORADAS A BASE DE CEMENTO PÓRTLAND [TIPO I -ASTM C  
150/M150-09-]**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**JOSUÉ ANTONIO FERNÁNDEZ VÉLIZ**  
ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA  
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, MAYO DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE 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. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	Br. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Sherry Ordóñez Castro
EXAMINADOR	Ing. Fernando Amílcar Boiton
EXAMINADOR	Ing. Diego Velásquez Jofre
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:

**DISEÑO Y COMPARACIÓN DE MEZCLAS ARTESANALES DE CONCRETO  
A BASE DE CEMENTO PÓRTLAND TIPO I, MODIFICADO CON PUZOLANA  
[TIPO I (PM) -ASTM C-595 /C595M-09-] EQUIVALENTES A LAS  
ELABORADAS A BASE DE CEMENTO PÓRTLAND [TIPO I -ASTM C  
150/M150-09-],**

tema que me fue asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el día 22 de octubre del 2009

  
José Antonio Fernández Véliz



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



Guatemala, 5 de Abril del 2010

Ing. José Gabriel Ordóñez Morales  
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ing. Ordóñez:

Por este medio me es grato informarle que en mi calidad de asesor del trabajo de graduación bajo el título: **DISEÑO Y COMPARACIÓN DE MEZCLAS ARTESANALES DE CONCRETO A BASE DE CEMENTO PORTLAND TIPO I MODIFICADO CON PUZOLANA [TIPO I (PM) -ASTM C-595 /C595M-09-] EQUIVALENTES A LAS ELABORADAS A BASE DE CEMENTO PORTLAND [TIPO I -ASTM C 150/M150-09-];** que fue elaborado por parte del estudiante Josué Antonio Fernández Véliz, previo a optar el título de Ingeniero Civil en el grado académico de Licenciatura, de la carrera de Ingeniería Civil; y habiendo realizado ya todas las correcciones indicadas, lo doy por aprobado, por lo que solicito se continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato despedirme de usted,

Atentamente,

Mario Rodolfo Corzo  
INGENIERO CIVIL  
Colegiado No. 2089

Mario Rodolfo Corzo Ávila

Ingeniero Civil Colegiado No. 2089

Asesor



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,  
8 de abril de 2010

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos  
Guatemala

Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DISEÑO Y COMPARACIÓN DE MEZCLAS ARTESANALES DE CONCRETO A BASE DE CEMENTO PORTLAND TIPO I MODIFICADO CON PUZOLANA [TIPO I (PM) -ASTM C-595/C595M-09] EQUIVALENTES A LAS ELABORADAS A BASE DE CEMENTO PORTLAND [TIPO I -ASTM C150/M150-09-],** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil **Josué Antonio Fernández Véliz**, quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

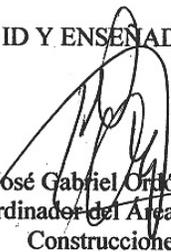
Considero que el trabajo realizado por el estudiante Fernández Véliz, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

  
José Gabriel Ordóñez Morales  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles

/bbdeb.

Más de 130 Años de Trabajo Académico y Mejora Continua





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Josué Antonio Fernández Véliz, titulado DISEÑO Y COMPARACIÓN DE MEZCLAS ARTESANALES DE CONCRETO A BASE DE CEMENTO PÓRTLAND TIPO I, MODIFICADO CON PUZOLANA [TIPO I (PM) -ASTM C-595 /C595M-09-] EQUIVALENTES A LAS ELABORADAS A BASE DE CEMENTO PÓRTLAND [TIPO I -ASTM C 150/M150-09-], da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

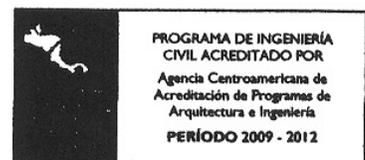
  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco

  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
DIRECTOR  
FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, mayo de 2010

/bbdeb.

Más de 130<sup>Años</sup> de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.174.2010

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: **DISEÑO Y COMPARACIÓN DE MEZCLAS ARTESANALES DE CONCRETO A BASE DE CEMENTO PÓRTLAND TIPO I, MODIFICADO CON PUZOLANA [TIPO I (PM)-ASTM C-595/C-595M-09-] EQUIVALENTES A LAS ELABORADAS A BASE DE CEMENTO PÓRTLAND [TIPO I-ASTM C 150/M150-09-]**, presentado por el estudiante universitario **Josué Antonio Fernández Véliz**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, mayo de 2010

/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

Dios	Ser Supremo, por darme la oportunidad, la sabiduría y la capacidad para llevar a cabo mis estudios.
Mis tíos	Mauricio Eudomilio Monroy Morán y Ana Gloria Orantes de Monroy, quienes son más que mis padres, por encargarse de mi educación y mi vida, por todo el amor y el apoyo brindado.
Mi tía	Ingrid Judith Cael Orantes, quien es como una hermana mayor para mí, a quien admiro y respeto profundamente, por su apoyo incondicional y por ser un ejemplo profesional y de vida a seguir.
Mis hermanos	Erick Elías y Alma Jeanett, quienes han estado conmigo toda la vida, por todo el apoyo brindado a lo largo de todos estos años.
Mis primos	Quienes son como mis hermanos, Manuel Eduardo Eudomilio, Judith Sara Jimena y especialmente a Mauricio Estuardo, amigo y hermano, por todo su valioso apoyo en esta lucha, por su compañía y por ser un gran ejemplo y persona a seguir para mí.
Mi abuelita	María Josefina Orantes Hernández, por el cariño brindado y por su compañía.

Mis amigos

Oscar, Fredy, Julio, Esli Saúl, Luis Miguel, Alex, Diana y Tania por su cariño, compañía y apoyo desinteresado en alguna etapa de mis estudios, especialmente a Gabriel Andrés, quien más que mi amigo, parte de mi familia, por su apoyo en todo momento.

Mi país

Guatemala, bendita tierra que me vio nacer.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

Profundamente al Ingeniero Mario Rodolfo Corzo Ávila, por todo su apoyo desinteresado, por compartir sus grandes conocimientos y por asesorarme en la realización de este trabajo.

Sami López, por su valioso aporte técnico y académico, pilar importante para la realización de este trabajo.

El área de Prefabricados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

La Universidad de San Carlos de Guatemala, específicamente a la gloriosa Facultad de Ingeniería y la Escuela de Ingeniería Civil, bendita casa de estudios, por formarme profesionalmente y permitirme realizar mis estudios.

Mis profesores, por todos los conocimientos y preparación brindados, especialmente a los Ingenieros Mario de León, Casta Zeceña, Pedro Aguilar, Gabriel Ordóñez, Julio Corado, Hugo Montenegro, Carmen Mérida, Marco Díaz, Rodolfo Samayoa y el Lic. Amahán Sánchez.

El Ingeniero Javier Quiñonez de la Cruz, por sus valiosos aportes a este estudio.

Mis compañeros de estudio, especialmente a Esli Saúl Pu, por todo el apoyo incondicional brindado. Vicky Carrillo, Manuel Arango, Roberto Secaida y Fernando Chinchilla.

El Ingeniero Sergio López, por su apoyo en la realización de este trabajo.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	III
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	V
<b>GLOSARIO</b>	VII
<b>RESUMEN</b>	IX
<b>OBJETIVOS</b>	XI
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XIII
<b>1. CEMENTO</b>	1
1.1 Definición	1
1.2 Reseña histórica	2
1.3 Clasificación	3
1.4 Composición	10
<b>2. CEMENTO PÓRTLAND TIPO I</b>	13
2.1 Definición	13
2.2 Características Físicas	14
2.3 Características Químicas	16
<b>3. CEMENTO PÓRTLAND MODIFICADO CON PUZOLANA TIPO I (PM)</b>	17
3.1 Definición	17
3.2 Composición	18
3.3 Características Físicas	19
3.4 Características Químicas	21
3.5 Ventajas	22

<b>4. DISEÑO DE MEZCLAS</b>	25
4.1 Diseño de Mezclas de Concreto u Hormigón	25
4.2 Diseño de Mezclas a base de Cemento Pórtland Tipo I (puro)	26
4.3 Diseño de Mezclas a base de Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM)	27
<b>5. METODOLOGÍA</b>	29
5.1 Mezcla A: Cemento Pórtland Tipo I (puro)	30
5.2 Mezcla B: Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM)	34
5.3 Mezcla C: Cemento Pórtland modificado con Puzolana Tipo I (PM) utilizando más cemento en la proporción (Propuesta)	38
<b>6. RESULTADOS</b>	41
6.1 Tabulación de resultados	42
6.2 Gráficas de resistencia a la compresión	45
<b>7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b>	47
7.1 Comparación entre mezclas realizadas	47
7.2 Comparación entre resistencias teóricas y experimentales	48
7.3 Mezclas equivalentes	49
<b>CONCLUSIONES</b>	51
<b>RECOMENDACIONES</b>	53
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	55
<b>APÉNDICE</b>	57

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1. Materiales utilizados A	32
2. Mezcla A	32
3. Control de la calidad del concreto fresco	33
4. Ensayos A	33
5. Materiales utilizados B	35
6. Mezcla B	36
7. Control de la calidad del concreto fresco B	36
8. Ensayos B	37
9. Mezcla C	39
10. Control de la calidad del concreto fresco C	40
11. Ensayos C	40
12. Gráfica comparativa de resistencias	46

## TABLAS

I. Características físicas del Cemento Pórtland Tipo I (Puro) C-150	15
II. Características químicas del Cemento Pórtland Tipo I (Puro) C-150	16
III. Características físicas de los Cementos Pórtland adicionados con puzolana natural C-595	20
IV. Características químicas de los Cementos Pórtland adicionados con puzolana natural. C-595	21
V. Resultados Mezcla A	42
VI. Resultados Mezcla B	43
VII. Resultados Mezcla C	44

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$f_c$	Resistencia a la compresión del concreto.
PM	Pórtland Modificado
Mg	Magnesio
S	Azufre
Fe	Hierro
O	Oxígeno
Al	Aluminio



## GLOSARIO

<b>Aglomerante</b>	Material capaz de pegar o unir otros materiales o partículas.
<b>Asentamiento</b>	Prueba para establecer qué tan plástico y cohesivo es un concreto de acuerdo a su diseño.
<b>Agregados</b>	Materiales pétreos o inertes que sirven para elaborar mezclas de concretos o morteros de albañilería.
<b>Agregado fino</b>	Agregado que tiene un diámetro que varía entre 0.074 y 4.76 mm. (Arena)
<b>Agregado grueso</b>	Agregado que tiene un diámetro que varía entre 4.77 y 19.10 mm. (Piedrín)
<b>Aditivo</b>	Cualquier material que no sea propiamente agua o agregado del concreto que se incluye en la mezcla con funciones de reductor de agua, regulador, retardante y/o acelerante,
<b>Consistencia</b>	Son las características de trabajabilidad y moldeabilidad del concreto.
<b>Concreto</b>	Es una mezcla dosificada de materiales inertes, aglomerantes y agua.

<b>Concreto artesanal</b>	Concreto hecho en el campo en función de la experiencia del técnico y operario de la construcción el cual se hace en relación del volumen de cemento, arena y grava o pedrín. Tiene como base o referencia que una carretilla concretera es igual a una bolsa de cemento (en volumen) y a un bote para pintura de 5 galones.
<b>Curar</b>	Dar condiciones adecuadas de humedad y temperatura durante el proceso de fraguado para obtener el concreto endurecido con las características deseadas.
<b>Fraguar</b>	Cambio de un estado plástico a un estado sólido (endurecimiento del concreto).
<b>Mecánica</b>	Es la parte de la Física que estudia todo lo relacionado con las fuerzas aplicadas sobre los cuerpos.
<b>Puzolana</b>	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 aglomerantes.

## RESUMEN

Sustancialmente, en este estudio se evalúa si se pueden alcanzar las mismas resistencias iniciales del concreto que se alcanzaban con Cemento Pórtland Tipo I, utilizando Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM), agregando más cantidad de este tipo de cemento, teniendo los dos cementos la misma resistencia a la compresión a los 28 días con base a ensayos de morteros normalizados (ASTM C-109). Además se determina cual de los dos cementos presenta mayores resistencias a distintas edades. Si bien, existen estudios que consideran adición de puzolanas naturales a Cemento Pórtland Tipo I (Barillas 1987) y escoria (Ortega 2006), estas son adiciones hechas manualmente y para determinar las incidencias de las puzolanas en diferentes porcentajes sobre el Cemento Pórtland Tipo I, no tomando en cuenta los cementos tal y como se fabrican hoy en día. Se evalúan cementos tal como son fabricados, sin adiciones manuales de ningún tipo.

Se comparan los cementos en sus resistencias iniciales. Para tal efecto se utilizan cementos que, comercialmente, aún es posible encontrarlos en el mercado (Cemento de uso general en La Construcción Modificado con Puzolana Tipo I y Cemento Pórtland Tipo I) sin adiciones manuales, a excepción de los materiales pétreos y el agua que forman parte del Concreto.

*La realización de este trabajo* propone un buen estudio, objetivo, que presente, entre otras cosas, una comparación pertinente entre realizar mezclas con Cemento Pórtland Tipo I y mezclas con Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM) C-595, y con esto determinar si es necesario agregar más Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM) que Pórtland Tipo I C-150 para obtener una mezcla con similares propiedades mecánicas (Principalmente resistencia inicial).

Con los resultados, es posible conocer las diferencias entre realizar mezclas con cemento modificado con puzolana Tipo I (PM) C-595 en comparación a las realizadas con Cemento Pórtland Tipo I C-150 y así hacer un buen uso del Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM).

La exactitud de los resultados, es sometida a la práctica común de los técnicos y operarios de la construcción, de ahí que esa exactitud pueda resultar mermada, pero los resultados comparativos entre las mezclas realizadas resultan valiosos.

## OBJETIVOS

- **General**

Comparar las resistencias iniciales previstas de mezclas de concreto a base de Cemento Pórtland Tipo I con las mezclas a base de Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM), que es el más comercializado en la actualidad, especialmente en sus resistencias iniciales y comprobar si agregando más cemento a las proporciones se alcanza la igualdad mecánica.

- **Específicos:**

1. Incentivar en el nuevo profesional de Ingeniería Civil y en el Operario y Técnico de construcción la consideración de las diferencias de realizar mezclas con Cemento Pórtland Tipo I y con Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM).
2. Que el albañil o el trabajador de Ingeniería que necesite un concreto realizado de forma artesanal tenga un soporte técnico que justifique sus proporciones de cemento para cada metro cúbico de concreto.
3. Que al Ingeniero con poca experiencia de campo le sirva para valorar la calidad del concreto utilizado en obra artesanal.
4. Que el nuevo profesional se comprometa y entienda la jerga del técnico y operario de la construcción.



## **HIPÓTESIS**

A diferentes edades iniciales (hasta los 56 días) el concreto realizado a base de Cemento Pórtland Tipo I, presenta mayores resistencias que el concreto realizado a base de Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM), dando origen a la necesidad de utilizar más Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM) en las mezclas artesanales de concreto, siendo posible alcanzar las mismas resistencias iniciales a las mezclas elaboradas a base de Cemento Pórtland Tipo I.



## INTRODUCCIÓN

A continuación se encuentra el informe del estudio acerca de mezclas artesanales de concreto (mezclas hechas en el campo por el técnico y operario de la construcción) a base de Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM) en comparación con las hechas a base de Cemento Pórtland Tipo I, buscando entre otra cosas, comparar sus resistencias iniciales y de ser posible encontrar el diseño de mezclas a base de Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM) con el cual se alcanzan las mismas resistencias iniciales que se alcanzaban con el Cemento Pórtland Tipo I.

Con base a las deficiencias de información técnica acerca del tema y del descuido en la consideración de los cambios que tiene trabajar con Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM) y con Cemento Pórtland Tipo I, que es el que las tablas de diseño de mezclas, hasta la fecha toman como base, a pesar de su uso discontinuado, se desarrollarán los temas con base a una profunda investigación bibliográfica, presentándose el encuadre teórico del tema, cemento en general y los tipos de cemento bajo estudio (Tipo I (PM) y TIPO I).

El problema que da origen a este estudio se plantea basado en la entrevista directa realizada a operarios de la construcción y su experiencia, pues el no contar con un material adecuado de consulta técnica ha inducido al método de “ensayo y error” para obtener las mezclas con las características deseadas, tomando en cuenta, principalmente, los acortados tiempos de desencofrado y las resistencias iniciales.

En la parte final del estudio, encontramos la validación o refutación según el caso de la hipótesis en base a las conjeturas obtenidas de la experiencia y que se hacen evidentes. La metodología, es decir, el número y tipo de ensayos, la forma de proceder en el diseño y realización de mezclas, la recolección, tabulación e interpretación de datos y la forma en que se obtuvieron las conclusiones y dictamen final, son presentadas de forma ordenada. Por último, se presentan las recomendaciones en base a todo el estudio realizado.

# 1. CEMENTO

## 1.1 Definición

El cemento es un aglomerante hidráulico, esto quiere decir que reacciona y fragua en presencia de agua. Al mezclársele con pedrín, arena y agua, crea una mezcla que se denomina concreto u hormigón. Se usa principalmente en Ingeniería Civil y en construcción en general, siendo su principal función la de pegar los materiales que componen el concreto (aglutinante). En términos generales, es un polvo muy fino que puede ser grisáceo o blanco dependiendo del tipo de cemento. Es uno de los elementos más importantes de la construcción a través de la historia, pues su uso ha permitido fabricar piedras artificiales a las cuales el hombre les ha podido dar la forma que desea para sus construcciones, dando como resultado las edificaciones que conocemos hoy en día.

Desde el punto de vista químico y en términos generales, se trata de una mezcla de silicatos y aluminatos de calcio, obtenidos a través del cocido de calcáreo, arcilla y arena. El material obtenido molido muy finamente, una vez que se mezcla con agua se hidrata y se solidifica progresivamente.

## 1.2 Reseña histórica

El uso del Cemento ha tenido lugar desde tiempos remotos, civilizaciones antiguas como la egipcia, la cretense antigua, y otras, usaron mucho bloques o pedazos de piedra unidos para sus construcciones en los que algunas veces utilizaban material cementante, arena y agua para pegarlos, dando origen a los primeros morteros. Estos morteros evolucionaron hasta llegar a ser concretos toscos. La primera contribución a la industria del cemento la hicieron los egipcios al utilizar cemento que se fabricaba por un proceso de calcinación. Los primeros morteros constituían en cal ordinaria o cal hidráulica y materiales de relleno, pero estos no resistían mucho a pesar de estar en climas muy poco severos, sin embargo, los romanos mezclaron cal y una ceniza volcánica especial para producir un cemento durable. Muchas construcciones hechas con este material aun están presentes y evidencian la gran calidad de este tipo de construcciones.

La invención del primer Cemento Pórtland, que es algo lejano al que conocemos ahora, se le atribuye con frecuencia a Joseph Aspdin. En 1887 se descubrió que el silicato tricálcico era el mineral sintérico más importante en la escoria de cemento. Antes de 1930 tan sólo existía un cemento de uso común, desde entonces, los que lo han utilizado han pedido cemento que fragüe rápidamente, que resista a los sulfatos, que desarrolle menos calor de hidratación o que satisfaga a otros requisitos especiales dando origen a los diferentes tipos de cemento. Estos requerimientos especiales, fueron los que también dieron origen a los cementos adicionados (como los clasifica la norma ASTM C-595) que son miembros también de la familia de los cementos hidráulicos y que en Guatemala son muy importantes pues el Cemento Pórtland Modificado con Puzolana es prácticamente el único que se utiliza para uso general en la construcción.

### 1.3 Clasificación

Este es un punto de suma importancia en nuestro estudio, pues para el técnico y operario de la construcción así como para el nuevo profesional de Ingeniería Civil la clasificación de los cementos *según las normas* no es clara, esto surge en Guatemala, a partir de que ya no se produce Cemento Pórtland puro o normal (ASTM C-150) y solamente se produce Cemento Pórtland Modificado con Puzolana (ASTM C-595). Conocer la clasificación del Cemento según las normas, ayuda a elegir criterios de diseños de mezclas, pues las tablas, procedimientos, relaciones agua-cemento y dosificaciones en general del concreto, dependen mucho del tipo de cemento, ya que presentan características diferentes, principalmente en la resistencia inicial.

Hay que mencionar que el cemento tiene varias clasificaciones, que pueden ser por su composición, por su uso, por la categoría de resistencias, etc., pero para nuestro estudio la más importante es como lo clasifican las normas ASTM pues esa clasificación permite tener un mejor criterio para elegir el diseño de mezclas.

En general se pueden establecer dos tipos básicos de cemento:

- De origen arcilloso: obtenidos a partir de arcilla y piedra caliza en proporción 1 a 4 aproximadamente.
- De origen Puzolanico: puzolana que puede ser de origen volcánico u orgánico.

Por lo anterior, es importante conocer, en términos generales, las normas que rigen a los cementos;

Las normas que se aplican a los cementos que se comercializan en Guatemala son:

- ASTM C-91 Especificación estándar para Cementos de Albañilería
- ASTM C-150 Especificación estándar para Cemento de Pórtland (Puro o Normal)
- ASTM C-595 Especificación estándar para Cementos Hidráulicos Adicionados (Con puzolanas o escoria de alto horno, por ejemplo)
- ASTM C-1157 Especificación estándar para Cementos Hidráulicos (En general)

La norma ASTM C-1157 trata especificaciones para los cementos hidráulicos en general, es decir que se incluyen los cementos pórtland puros o normales y los cementos pórtland modificados o adicionados, así como los de albañilería, pues para esta norma no importa la composición, categoría de resistencia, tipo, ni nada adicional a su uso y que el cemento fragüe en presencia de agua.

Los cementos según las normas ASTM se clasifican así:

1. Cementos Pórtland (Puros o normales)

Son los Cementos Pórtland de la Norma ASTM C-150 que no tienen ningún tipo de adición más allá del clinker pórtland y yeso, estos a su vez se clasifican en:

1.1 Cemento Pórtland TIPO I: Para uso general en la construcción, cuando propiedades especiales de cualquier otro tipo no son requeridas.

1.2 Cemento Pórtland TIPO IA: Cemento con aire incluido, similar al tipo I, donde la condición de aire incluido es deseada.

1.3 Cemento Pórtland TIPO II: Para uso general cuando se requiera una moderada resistencia a los sulfatos y un moderado calor de hidratación.

1.4 Cemento Pórtland TIPO IIA: Cemento con aire incluido, similar al tipo II, donde la condición de aire incluido es deseada.

1.5 Cemento Pórtland TIPO III: Utilizado cuando se requiere una alta resistencia inicial.

1.6 Cemento Pórtland TIPO IA: Cemento con aire incluido, similar al tipo III, donde la condición de aire incluido es deseada.

1.7 Cemento Pórtland TIPO IV: Para usos donde se requiere un bajo calor de hidratación.

1.8 Cemento Pórtland TIPO V: Utilizado cuando se requiere una alta resistencia a los sulfatos.

2 Cementos Hidráulicos Adicionados (Estos incluyen a los cementos Pórtland con adiciones de escoria o puzolana, donde están incluidos los cementos utilizados para el presente estudio)

Los cementos hidráulicos adicionados son los de la norma ASTM C-595 que contienen adiciones aparte del clinker pórtland y el yeso como lo son la escoria, escoria de alto horno y puzolana. Éstos se clasifican en:

2.1 Cemento Pórtland con escoria de alto horno (Tipo IS): Para uso general en la construcción. Pueden considerarse las opciones moderada resistencia a los sulfatos, aire incluido o moderado calor de hidratación o cualquiera de la combinación de ellos, adicionando los sufijos (MS), (A), o (MH) respectivamente. En este tipo de cemento, el contribuyente de escoria podrá oscilar entre el 25 y 70% de la masa total del cemento pórtland de escoria de alto horno.

2.2 Cemento Pórtland Puzolanico: Se definen dos tipos, para cada uno de los cuales pueden considerarse las opciones moderada resistencia a los sulfatos, aire incluido o moderado calor de hidratación o cualquiera de la combinación de ellos, adicionando los sufijos (MS), (A), o (MH) respectivamente. El contenido de puzolana debe oscilar entre 15 y 40% de la masa total del cemento Pórtland puzolánico.

- Tipo IP: Cemento Pórtland Puzolánico para uso general en la construcción
- Tipo P: Cemento Pórtland Puzolánico para uso general en construcciones donde no se requiere altas resistencias a tempranas edades.

2.3 Cemento de Escoria: Se define un tipo como sigue:

- Tipo S: Cemento de escoria para utilizarse en combinación con Cemento Pórtland para la fabricación de concreto y en combinación con cal hidratada para la fabricación de mortero para mampostería. Puede considerarse la opción aire incluido adicionando el sufijo (A).

El contenido de escoria para este tipo de cemento puede ser mayor al 70% de la masa total del cemento de escoria.

2.4 Cemento Pórtland Modificado con puzolana: Se define un tipo como sigue:

- Tipo I (PM): Cemento Pórtland modificado con puzolana para uso general en la construcción: Pueden considerarse las opciones moderada resistencia a los sulfatos, aire incluido o moderado calor de hidratación o cualquiera de la combinación de ellos, adicionando los sufijos (MS), (A), o (MH) respectivamente.

El constituyente de puzolana deberá ser menor al 15% de la masa total del Cemento Pórtland modificado con puzolana.

2.5 Cemento Pórtland Modificado con escoria: Se define un tipo como sigue:

- Tipo I (SM): Cemento Pórtland modificado con Escoria para uso general en la construcción: Pueden considerarse las opciones moderada resistencia a los sulfatos, aire incluido o moderado calor de hidratación o cualquiera de la combinación de ellos, adicionando los sufijos (MS), (A), o (MH) respectivamente.

El contenido de escoria para este tipo de cemento es menor del 25% de la masa total del Cemento Pórtland modificado con escoria.

3 Cementos Hidráulicos: Es importante recalcar que esta norma ya no clasifica los cementos específicamente, si no los trata en general a aquellos que fraguan con agua. Sí hace una distinción entre cementos por su uso pero es para tratar temas relacionados a ellas, esta no es una norma para clasificar cementos pero sí distingue los siguientes tipos:

3.1 Tipo GU: de uso general en la construcción: Se emplean cuando no se requieren condiciones especiales.

3.2 Tipo HE: de alta resistencia inicial o temprana.

3.3 Tipo MS: de moderada resistencia a los sulfatos.

- 3.4 Tipo HS: de alta resistencia a los sulfatos.
- 3.5 Tipo MH: de moderado calor de hidratación.
- 3.6 Tipo LH: de bajo calor de hidratación.

4 Cemento para albañilería: El cemento para albañilería es un cemento hidráulico elaborado para uso en morteros para construcción de albañilería o recubrimientos, el cual contiene un material plastificante y posiblemente otras adiciones reguladoras de desempeño. Este cemento es el de la norma ASTM C-91 y se clasifica de acuerdo a lo siguiente:

- 4.1 Tipo N: Para uso en la preparación de morteros Tipo N de la especificación ASTM C-270, sin mayor adición de cementos o cal hidratada, y para uso en la preparación de morteros tipo S o M de la especificación ASTM C-270 cuando el cemento es adicionado de acuerdo a los requerimientos de ASTM C-270.
- 4.2 Tipo S: Para uso en la preparación de morteros Tipo S de la especificación ASTM C-270, sin mayor adición de cementos o cal hidratada.
- 4.3 Tipo M: Para uso en la preparación de morteros Tipo M de la especificación ASTM C-270, sin mayor adición de cementos o cal hidratada.

## 1.4 Composición

La composición química y física de los cementos depende del tipo de cemento. En los capítulos 2 y 3, entraremos en detalle de la composición de los dos tipos de cemento bajo estudio, Pórtland Modificado con Puzolana (Tipo I PM) y Pórtland Tipo I (Puro), sin embargo, en términos generales la composición química y física de los cementos se regirá de acuerdo a lo siguiente:

1. Cemento Pórtland: Norma ASTM C-150. Deben cumplir con los requisitos especificados en la sección 6, *Chemical Composition* y la sección 7, *Physical Properties* ASTM C-150, según el Volumen 04-01 de la Sección 4 del Manual de Estándares de ASTM, en su versión más reciente.

2. Cementos Hidráulicos Adicionados: Norma ASTM C-595. Deben cumplir con los requisitos especificados en la sección 7, *Chemical Composition* y la sección 8, *Physical Properties* ASTM C-595, según el Volumen 04-01 de la Sección 4 del Manual de Estándares de ASTM, en su versión más reciente.

3. Cementos Hidráulicos: Norma ASTM C-1157. Su composición química no está especificada, porque esta norma considera los cementos que fraguan en presencia de agua independientemente de su composición (Por ejemplo, no importa si es Cemento Pórtland puro o Cemento Pórtland modificado con puzolana), sin embargo el cemento y sus contribuyentes individuales, molidos conjuntamente o mezclados, deben ser analizados y reportados.

Para la composición física deben cumplir con los requisitos especificados en la Sección 9, *Physical Properties* ASTM C-1157 según el Volumen 04-01 de la Sección 4 del Manual de Estándares de ASTM, en su versión más reciente.

4. Cementos para albañilería: Norma ASTM C-91, Su posición química no está especificada. Para la composición física deben cumplir con los requisitos especificados en la Sección 5, *Physical Properties* ASTM C-1157 según el Volumen 04-01 de la Sección 4 del Manual de Estándares de ASTM, en su versión más reciente.



## 2. CEMENTO PÓRTLAND TIPO I

### 2.1 Definición

El Cemento Pórtland Tipo I, es un aglomerante hidráulico (fragua en presencia de agua) para uso general en la construcción (UGC) esto es para cuando no se requieren propiedades especiales. Es un polvo grisáceo muy fino, que fue nombrado así por su color parecido a las piedras de un lugar en Inglaterra llamado Pórtland.

Técnicamente, el Cemento Pórtland Tipo I es denominado así por la norma ASTM C-150, que es para Cementos Pórtland *puros*, es decir que este cemento no tiene adición alguna más que el clinker Pórtland en un 96 al 98% y yeso en un 2 al 4%. Esta condición, de carecer de adiciones, es quizá su principal característica, pues esto lo diferencia de todos los cementos que hoy en día se comercializan en Guatemala, que contienen adiciones, principalmente de puzolanas naturales. A pesar de lo anterior, es el tipo de cemento más utilizado para preparar concreto a nivel mundial y a través de la historia.

Este cemento pertenece a la familia de los cementos Pórtland puros en la cual también están incluidos, en términos generales, el Cemento Pórtland Tipo II que es de moderada resistencia a los sulfatos, el Cemento Pórtland Tipo III que es un cemento de alta resistencia inicial, Cemento Pórtland Tipo IV que es de bajo calor de hidratación y el Cemento Pórtland Tipo II que es de alta resistencia a los sulfatos.

Es importante mencionar que el desuso de, estrictamente este tipo de cemento (Pórtland puro, sin adiciones C-150), es más bien reciente. Este cemento también es conocido como Cemento Pórtland Normal u Ordinario.

## **2.2 Características físicas**

Las características mecánicas del Cemento Pórtland se determinan mediante ensayos realizados en el cemento puro, en la pasta o en el mortero. Siendo una pasta la mezcla del cemento únicamente con agua y el mortero incluye una pasta con agregado fino. Entre características físicas básicas tenemos el peso específico o densidad que se define como la relación entre el peso o la masa y el volumen de espacio ocupado. El peso específico no indica la calidad del cemento, pero se emplea en el control mezclas de concreto, sin embargo, un peso específico bajo indican que el cemento tiene adiciones, por ejemplo. Una de las propiedades físicas más importantes del cemento es la finura puesto que está relacionada directamente con la hidratación del mismo. Cuando el cemento es muy fino, endurece más rápido y por lo tanto desarrolla alta resistencia en menor tiempo.

En el caso del concreto artesanal, es decir el concreto que hacen los operarios de la construcción en el campo, se ha llegado a utilizar cemento que ha endurecido por las condiciones del clima o el mal almacenamiento del mismo, esto afecta severamente la finura.

Los ensayos muestran la calidad del cemento cuando se compara con las especificaciones de la norma ASTM C-150. Se detalla lo más importante de estas características en la Tabla I. A simple vista este cemento es un polvo gris muy fino y simple, pero debe cumplir con diversas condiciones para ser un cemento de calidad.

Tabla I. Características físicas del Cemento Pórtland Tipo I (Puro)

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	VALOR
Finura	A
Expansión en autoclave, %, máx.	0,8
Contracción en autoclave, %, máx.	0,2
Tiempo de fraguado, Método Vicat:	
Fraguado en minutos, no menor de	45
Fraguado en horas, no mayor que	10
Contenido de aire del mortero, %, Vol. máx.	12
Resistencia a la compresión, PSI - kg/cm <sup>2</sup> , mín.	
3 días F`c	1,200 – 85
7 días	2,100 – 150
28 días	3,500 - 250
Calor de hidratación, kJ/kg(cal/g), máx.	
7 días	---
28 días	----
Requerimiento de agua, % peso máx. de cemento	---
Expansión del mortero	---

Adoptado de: Larson, Thomas D., **Concretos de Cemento Pórtland y Asfálticos**. Págs. 33 y 34.

## 2.3 Características químicas

En lo que respecta a las características químicas del Cemento Pórtland Tipo I, es importante mencionar que en general, los cementos están compuestos principalmente de tres óxidos: sílice ( $\text{SiO}_2$ ), cal ( $\text{CaO}$ ), y alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), con pequeñas cantidades de  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  también presentes. Los cementos no son simples combinaciones de óxidos básicos. Se reconocen cuatro principales en el Cemento Pórtland que son el Silicato tricálcico, Silicato dicálcico, Aluminato tricálcico y Aluminoferrita tricálcica. De todo esto lo más relevante es que el Silicato tricálcico tiene un valor cementante bueno, el Silicato dicálcico un valor regular al igual que el Aluminato tricálcico y un valor malo cementante malo la Aluminoferrita tricálcica. A continuación, se presenta en la Tabla II las especificaciones de la ASTM C-150 para las características químicas del Cemento Pórtland.

Tabla II. Características químicas del Cemento Pórtland Tipo I (Puro)

CARACTERÍSTICA QUÍMICA	VALOR
Óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ ), %, máx.	5
Anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_3$ ) Cuando $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$ es 8% o menos, máx,	2.5
Anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_3$ ) Cuando $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$ es más del 8%, máx,	3
Residuo insoluble, %, máx.	0.75
Pérdida por ignición, %, máx.	3,0

Adoptado de: Larson, Thomas D., **Concretos de Cemento Pórtland y Asfálticos**. Pág. 32.

### **3. CEMENTO PÓRTLAND MODIFICADO CON PUZOLANA TIPO I (PM)**

#### **3.1 Definición**

El Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM) es un Cemento Pórtland adicionado, eso quiere decir que resulta de mezclar Cemento Pórtland Tipo I (puro) y una Puzolana finamente molida durante *el proceso de fabricación*, pues este no es un cemento de mezclas manuales. En su calidad de Cemento hidráulico adicionado, este cemento es regido por la especificación ASTM C-595, como todos los cementos adicionados, ya sea con escoria de alto horno o puzolana, como en el caso de este cemento. La norma lo clasifica como un cemento adicionado con 0 -15 % de puzolana y para uso general en la construcción, pudiendo considerarse las opciones de moderada resistencia a los sulfatos, de aire incluido o de moderado calor de hidratación.

En la actualidad, los cementos adicionados con puzolana son prácticamente los únicos que se comercializan en Guatemala. Esto debido a que estos cementos han presentado ventajas que no se obtenían con el Cemento Portal Tipo I (Puro) y que serán descritas en la sección 3.5.

En lo que respecta a la razón del uso generalizado de este cemento podemos mencionar la acción de la puzolana, en los cementos Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM) o Pórtland Puzolánico Tipo IP. Le Chatelier (1987) notó que cuando el Cemento Pórtland puro se hidrata libera una cantidad de cal hidratada (óxido de calcio) que daña la resistencia y puede ser removida por el agua. Los materiales silíceos, como es el caso de la puzolana, al ser finamente pulverizado reacciona con el oxido de calcio formado silicato de calcio hidratado, esto brinda algunas de las propiedades hidráulicas de los cementos adicionados con puzolanas.

### **3.2 Composición**

La composición del Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM) es de la siguiente manera:

- ✓ 81 - 97% de Clinker Pórtland
- ✓ 1 – 15% de Puzolana
- ✓ 2 – 4% de Yeso

En el caso de la composición del Cemento Pórtland Puzolánico Tipo IP, tenemos lo siguiente:

- ✓ 56 - 83% de Clinker Pórtland
- ✓ 15 – 40% de Puzolana
- ✓ 2 – 4% de Yeso

### **3.3 Características físicas**

Las características físicas (que incluyen a las propiedades mecánicas, específicamente la resistencia a la compresión) del Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM) se determinan, al igual que el Cemento Pórtland puro, mediante ensayos realizados en el polvo gris, en la pasta o en el mortero. Ya se explicó anteriormente que una pasta es la mezcla del cemento únicamente con agua y el mortero incluye una pasta con agregado fino. Al igual que en el Cemento Pórtland son características físicas básicas el peso específico o densidad que se define como la relación entre el peso o la masa y el volumen de espacio ocupado. Recordemos que peso específico no indica la calidad del cemento, pero se emplea en el control mezclas de concreto, sin embargo, un peso específico bajo indica que el cemento tiene adiciones. Una de las propiedades físicas más importantes del cemento es la finura puesto que está relacionada directamente con la hidratación del mismo. Cuando el cemento es muy fino, endurece más rápido y por lo tanto desarrolla alta resistencia en menor tiempo.

Los ensayos muestran la calidad del cemento cuando se compara con las especificaciones de la norma ASTM C-595. Se detalla lo más importante de estas características en la Tabla III, en ésta también se incluyen las características físicas de otros tipos de cemento adicionados, por ejemplo el Cemento Portland Puzolánico Tipo IP, esto para permitir una comparación pertinente entre estos cementos. A simple vista este cemento se puede describir como un polvo gris muy fino y simple, pero debe cumplir con diversas condiciones para ser un cemento de calidad.

Tabla III. Características físicas de los Cementos Pórtland adicionados con puzolana natural.

REQUISITOS FÍSICOS	TIPOS DE CEMENTO			
	I(SM), IS	IS(MS)	IS(MH)	
	I(PM), IP	IP(MS)	IP(MH)	P
	IC <sub>0</sub>			
Finura	A	A	A	A
Expansión en Autoclave, %, máx.	0,8	0,8	0,8	0,8
Contracción en Autoclave, %, máx.	0,2	0,2	0,2	0,2
Tiempo de fraguado, Método Vicat:				
Fraguado en minutos, no menor de	45	45	45	45
Fraguado en horas, no mayor que	7	7	7	7
Contenido de aire del mortero, %, Vol. máx.	12	12	12	12
Resistencia a la compresión, MPa – kg/cm <sup>2</sup> , mín.				
3 días	13,0 -135	11,0 – 115	10,4 - 105	---
7 días	20,0 - 205	18,0 – 185	16,0 – 165	11,0 – 120
28 días	25,0 – 255	25,0 - 255	20,0 – 205	21,0 - 225
Calor de hidratación, kJ/kg(cal/g), máx.				
7 días	290 (70)	290 (70)	290 (70)	250 (60)
28 días	330 (80)	330 (80)	330 (80)	290(70)
Requerimiento de agua, % peso máx. de cemento	---	---	---	64
Expansión del mortero <sup>E</sup>	---	---	---	0,15
8 semanas, % máx.	0,020	0,020	0,020	0,020
Resistencia al sulfato, expansión a los 180 días, % máx.	0,060	0,060	0,060	0,060

Adoptado de: Larson, Thomas D., **Concretos de Cemento Pórtland y Asfálticos.**

Pág. 35.

### 3.4 Características químicas

Aunque ya se mencionó es importante recalcar que, independientemente de si el cemento contiene o no puzolanas, en general, los cementos están compuestos principalmente de tres óxidos: sílice ( $\text{SiO}_2$ ), cal ( $\text{CaO}$ ), y alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), con pequeñas cantidades de  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  también presentes. Los cementos no son simples combinaciones de óxidos básicos. Se reconocen cuatro principales en el Cemento Pórtland que son el Silicato tricálcico, Silicato dicálcico, Aluminato tricálcico y Aluminoferrita tricálcica. De todo esto lo más relevante es que el Silicato tricálcico tiene un valor cementante bueno, el Silicato dicálcico un valor regula al igual que el Aluminato tricálcico y un valor malo cementante malo la Aluminoferrita tricálcica. Se presenta en la Tabla IV las especificaciones de la ASTM C-595 para las características químicas de los Cementos Pórtland adicionados, donde se incluyen los cementos modificados con puzolana Tipo I (PM) y los cementos Puzolánicos tipo (IP).

Tabla IV. Características químicas de los Cementos Pórtland adicionados con puzolana natural.

COMPOSICIÓN QUÍMICA	TIPOS DE CEMENTO		
	I(SM), IS	I(PM), IP, P	IC <sub>0</sub>
Oxido de magnesio (MgO), %, máx.	---	6,0	6,0
Azufre como trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ), %, máx.	3,0	4,0	4,0
Azufre(S), %, máx.	2,0	---	---
Residuo insoluble, %, máx.	1,0	---	---
Pérdida por ignición, %, máx.	3,0	5,0	8,0

Adoptado de: Larson, Thomas D., **Concretos de Cemento Pórtland y Asfálticos**. Pág. 36.

### 3.5 Ventajas

Tratándose este de un estudio objetivo, es importante mencionar que existen ventajas innegables del Cemento Portland modificado con puzolana Tipo I (PM) sobre el Cemento Portland Tipo I (Puro). Estas ventajas, ayudadas un poco por asuntos comerciales, son las que han llevado a la producción de cemento en Guatemala a reducirse a cemento Portland adicionado con puzolana natural. Más adelante se detalla una lista de ventajas técnicas de los cementos adicionados sobre los cementos puros. Por ahora es importante exponer un tema importantísimo por el cual el cemento Portland adicionado con puzolana natural resulta más factible y que fuera tratado por el Ing. Edgar Quiñonez en su *Evaluación de la Resistencia en Compresión de Morteros de Cemento Puzolánico para uso en Mampostería*.

Entre otras cosas, Quiñonez (1991) menciona que el Cemento Portland Puro tiene un papel importante como aglomerante y que llena los requisitos en aplicaciones donde se requiere *alta resistencia*, sin embargo, era común en la práctica de la construcción utilizar este cemento de forma imprescindible, como resultado de un error en la aplicación. El Cemento puro era comúnmente utilizado en aplicaciones de baja resistencia, por ejemplo en estucos (repellos), morteros (mezcla sólo con agregado fino) y estabilización de suelos. La aplicación errada del cemento de esta forma no es solamente el incurrir en costos innecesarios si no, lo que es más importante, el defecto técnico de su aplicación. Para mencionar algo, el cemento Portland utilizado en la preparación de morteros resultaba en mezclas frágiles y ásperas, de baja trabajabilidad, y algunas veces mucho más resistentes que las unidades de mampostería (Blocks por ejemplo) que se utilizaban con él, siendo esto una debilidad técnica de la construcción.

Según estudios, el grado en el que el Cemento Pórtland tiene aplicaciones erradas en la construcción había alcanzado proporciones alarmantes y se estimaba que sólo el 20% del cemento utilizado en todo el mundo requería la resistencia inicial que el Cemento Pórtland brinda. En algunos países, esto se daba con más frecuencia debido a que no se contaba con aglomerantes alternativos, como fue el caso de Guatemala, pero posteriormente se contó con cementos alternativos de baja resistencia inicial, dando paso a la popularización de los cementos adicionados con puzolanas naturales que pueden ser adquiridos a un costo menor y presentan un buen comportamiento.

En la mayoría de países en desarrollo existen oportunidades, basadas en conocimientos y procesos tecnológicos, para producir aglomerantes, que aunque no pueden ser sustitutos del Cemento Pórtland Puro, pueden servir para la misma función que lo venía haciendo éste en la construcción y lo mejor de todo es que pueden ser producidos con materia prima y factores de producción nativos del lugar de fabricación

Guatemala, no es la excepción a lo anterior, ya que cuenta con material de origen volcánico (puzolanas naturales) abundantes, que en combinación con la cal hidratada puede formar cemento de albañilería con énfasis en la elaboración de morteros para unir elementos de mampostería (levantado).

A continuación se listan las ventajas de los cementos adicionados con puzolana natural, que incluyen al Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM), que es el cemento que tenemos bajo estudio:

- ✓ Aumento en la resistencia a la compresión del concreto con el paso del tiempo.
- ✓ Mejora en la resistencia frente al agua de mar.
- ✓ Mejor defensa ante los sulfatos y cloruros.
- ✓ Mayor durabilidad del concreto.
- ✓ Incremento de la impermeabilidad por la reducción de grietas en el fraguado.
- ✓ Disminución del calor de hidratación.
- ✓ Mejora en la resistencia a la abrasión.
- ✓ Aumento la resistencia del acero a la corrosión en el caso de concreto armado.
- ✓ Menor necesidad de agua en la preparación de la mezcla.
  
- ✓ Disminuye la posibilidad de agrietamiento cuando el concreto ha fraguado totalmente.

## 4. DISEÑO DE MEZCLAS

### 4.1 Diseño de mezclas de concreto u hormigón

Ya se sabe que el concreto es una masa maleable, producto de una mezcla dosificada de material aglomerante, materiales pétreos (sin reacción química) y agua, ellos forman los agregados. El concreto también puede contener aditivos, que se utilizan para dar características especiales a la mezcla, para este estudio, consideramos únicamente mezclas sin el uso de aditivos. Los materiales pétreos, han sido clasificados convenientemente como agregados finos y gruesos. A la dosificación de los agregados, es decir al procedimiento o método para calcular la cantidad de materiales a utilizar para que la mezcla, fresca o endurecida, tenga las características deseadas, es a lo que le llamamos *diseño de mezclas*.

Existen diversos métodos para diseñar una mezcla, los más aceptados en Guatemala son adoptados del Código ACI-318 y requieren conocimiento del método y un cálculo matemático adecuado para su buena aplicación. En el caso de las mezclas artesanales, mezclas de campo realizadas por el técnico y operario de la construcción, la realidad es diferente. Las mezclas están basadas en la experiencia y “buen cálculo” de los constructores.

Este estudio no pretende, ni mucho menos, exponer los procedimientos para diseñar una mezcla como nos lo dictan las normas y códigos y como científicamente se deben hacer, pues existe amplia bibliografía acerca de ello. La metodología utilizada, pretende poner a prueba los métodos artesanales utilizados en la obra por el técnico y operario de construcción aquí en Guatemala, y validarlos o refutarlos según sea el caso el caso.

#### **4.2 Diseño de mezclas a base de Cemento Pórtland Tipo I (Puro)**

Las tablas de diseño de mezclas, como la Tabla VI de la página 636 B. del Manual de Laboratorio del Curso de Materiales de Construcción (Ordóñez, Mejicanos y Alvarado 2002), son especificaciones que los códigos internacionales han establecido desde hace muchos años, y tomando en cuenta que el uso del cemento con adiciones de puzolana (de fábrica, no de mezclas) es más bien reciente, no es difícil deducir que éstas están basadas en cementos Pórtland puros, es decir sin adiciones de puzolana en el proceso de fabricación.

Por lo anterior, el diseño de mezclas a base de este tipo de cementos, va a cumplir con las características deseadas, especialmente mecánicas, en las que están basadas estas tablas. El inconveniente consiste en que este cemento ya no se comercializa en Guatemala, lo cual ha inducido en el error, principalmente para estructuras que requieren gran resistencia, de utilizar cemento adicionado con puzolanas con los valores proporcionados para estas tablas.

Es importante recalcar que la desventaja se presenta donde se requiere gran resistencia, pues como se expuso en la sección 3.5, en las obras de construcción comunes no se necesita la gran resistencia del cemento Pórtland puro comparado con los cementos adicionados, que si bien no funcionan a cabalidad para ellos, las tablas de diseño, hacen de su condición de ser más económico algo ventajoso el uso de los mismos.

#### **4.3 Diseño de mezclas a base de Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM)**

En el caso del diseño de mezclas de concreto a base de cementos adicionados, como es el caso del cemento pórtland modificado con puzolana, específicamente el Tipo I (PM), debe considerarse que las tablas no están elaboradas para este tipo de cemento en su mayoría. A pesar que en la norma ASTM 1157 se han establecido parámetros mínimos de calidad para los cementos hidráulicos es importante estar consciente de las diferencias de las mezclas, principalmente las diferencias mecánicas a diversas edades.

Intuitivamente, se tiene la idea que agregando más cemento a las dosificaciones, se obtienen mayores resistencias, especialmente a tempranas edades, esto muestra dos complicaciones, la primera es que induce en un gasto, el cual su necesidad es cuestionable y la segunda, que posteriormente, a edades más grandes, se alcanzan mayores resistencias que podrían resultar innecesarias.



## 5. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para este estudio, es la siguiente; se realizaron 3 tipos de mezclas: Una a base de Cemento Pórtland Tipo I (puro), otra a base de Cemento Pórtland Modificado con puzolana y una última con el mismo cemento modificado con puzolana, pero con menor contenido de agregados pétreos o lo que es lo mismo, más contenido relativo de cemento.

El diseño de mezclas se hizo con base a una profunda investigación acerca de las proporciones que utilizaban los técnicos y operarios de la construcción en el campo, es decir empíricamente se eligieron las proporciones para el cemento, el agregado fino y el agregado grueso como lo hacen los albañiles en el campo. En el caso del agua, se fue agregando progresivamente conforme se alcanzaba la trabajabilidad adecuada, emulando el trabajo de los operarios de la construcción en el campo, todo esto para obtener mezclas realmente artesanales, además se utilizaron medidas comunes, como carretillas y botes de 5 galones.

Es importante mencionar que como lo que se busca es comparar la influencia del tipo de cemento, exclusivamente si es pórtland puro o adicionado con puzolanas en la fabricación, se buscó que las mezclas tuvieran los mismos agregados, las mismas condiciones de trabajabilidad, el mismo asentamiento, las mismas proporciones (no incluye la propuesta con más cemento adicionado con puzolana Tipo I (PM)), las mismas condiciones de curado y fraguado, las mismas edades y los mismos ensayos, en términos generales las mismas condiciones.

Los ensayos se realizaron para las tres mezclas a 1, 7, 14, 21 y 28 días pues lo que principalmente se busca comparar son las resistencias iniciales. En cada mezcla se hicieron 2 cilindros o 3 en algunos casos para cada edad, de manera que se calculó un promedio de las resistencias que represente la carga soportada del concreto a dicha edad, tal como lo establece el código ACI-318 en su sección 5.6.3.2 para la toma de muestras, así también se tomó en cuenta para la toma de estas muestras la norma ASTM C-31. Los ensayos se hicieron en base a la norma ASTM C-39 para la evaluación de especímenes de concreto con altura igual al doble del diámetro. Se tomó en cuenta que para que el espécimen fuera de 6 pulgadas de diámetro por 12 pulgadas de alto el agregado grueso no podía rebasar las 2 pulgadas en su tamaño.

A continuación, en las secciones 5.1, 5.2 y 5.3 se presentan todos los detalles de las tres mezclas que se llevaron a cabo.

### **5.1 Mezcla A: Cemento Pórtland Tipo I (puro)**

Cemento Pórtland Tipo I ASTM C-150

Proporción empírica: 1:2:2 (cemento: arena: pedrín)

Relación usada de la Proporción: 0.5 de bolsa, 1 carreta arena, 1 carreta pedrín.

Primer asentamiento con un bote de agua (9.5 lts.)= 2.5 Pulg.

Segundo asentamiento trabajabilidad parecida a la utilizada por albañiles con 1 bote + ½ cubeta (12 litros) = 6 ¾ pulg.

#### Características materiales usados:

- Los materiales se tomaron con características similares a las del material utilizado por los albañiles en obra.
- La arena no se cernió ni se consideró el porcentaje de materia orgánica que podría contener, en el piedrín no se realizó el estudio de granulometría para conocer mejor la distribución de las partículas que lo componen, ni la prueba de desgaste para conocer la calidad del mismo.
- Visualmente el agua contaba con las características necesarias para concreto según código ACI-318.

#### Conclusiones visuales concreto fresco:

- Buena trabajabilidad y consistencia a  $6 \frac{3}{4}$  pulgadas de asentamiento en la prueba de slump.
- 
- Los moldes utilizados son empíricos.
- 
- Tanto la elaboración de los cilindros como la prueba de revenimiento son según normas ASTM.

A continuación se muestran imágenes acerca de la mezcla y sus respectivos ensayos.

Figura 1. Materiales utilizados A



Figura 2. Mezcla A



Figura 3. Control de la calidad del concreto fresco



Figura 4. Ensayos A



## **5.2 Mezcla B: Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM)**

Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM) Norma ASTM C-595  
COGUANOR NGO 41001

Proporción empírica: 1:2:2

Relación usada de la Proporción: 0.5 de bolsa, 1 carreta arena, 1 carreta  
pedrín.

Primer asentamiento con un bote de agua (9.5 lts.)= 1 Pulg.

Segundo asentamiento trabajabilidad parecida a la utilizada por albañiles con 1  
bote + ½ cubeta (12 litros) = 6 ½ pulg.

Características de los materiales usados:

- Los materiales se tomaron con características similares a las del material utilizado por los albañiles en obra, así también las mismas características y proceso de elaboración que en la mezcla A.
- La arena no se cernió ni se consideró el porcentaje de materia orgánica que podría contener, en el pedrín no se realizó el estudio de granulometría para conocer mejor la distribución de las partículas que lo componen, ni la prueba de desgaste para conocer la calidad del mismo.
- Visualmente el agua contaba con las características necesarias para concreto según normas ACI 318.

Conclusiones visuales concreto fresco:

- Buena trabajabilidad pero una consistencia algo disgregada a 6 ½ pulgadas.
- Los moldes utilizados son empíricos.
- Tanto la elaboración de los cilindros como la prueba de revenimiento son según normas ASTM.

A continuación se muestran imágenes acerca de la mezcla y sus respectivos ensayos.

Figura 5. Materiales utilizados B.



Figura 6. Mezcla B.



Figura 7. Control de la calidad de concreto fresco B.



Figura 8. Ensayos B.



**5.3 Mezcla C: Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM)  
Utilizando más cemento en la proporción (Propuesta).**

Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM) Norma ASTM C-595  
COGUANOR NGO 41001

Proporción empírica: 1.5:2:2

Relación usada de la proporción: 0.5 de bolsa, 2/3 carreta arena, 2/3 carreta  
pedrín.

Primer asentamiento con un bote de agua (9.5 lts.) = 8 Pulgadas

Características de los materiales usados:

- Los materiales se tomaron con características similares a las del material utilizado por los albañiles en obra, el *agregado grueso utilizado fue diferente al utilizado en las mezclas A y B.*
- La arena no se cernió ni se consideró el porcentaje de materia orgánica que podría contener, en el pedrín no se realizó el estudio de granulometría para conocer mejor la distribución de las partículas que lo componen, ni la prueba de desgaste para conocer la calidad del mismo.
- Visualmente el agua contaba con las características necesarias para concreto según código ACI-318

Conclusiones visuales concreto fresco:

- Buena trabajabilidad y consistencia a 8 pulg.
- Los moldes utilizados son empíricos.
- Tanto la elaboración de los cilindros como la prueba de revenimiento son según normas ASTM.
- El agregado grueso no poseía una granulometría adecuada contaba mas con partículas grandes y pocas pequeñas.

A continuación se muestran imágenes acerca de la mezcla y sus respectivos ensayos.

Figura 9. Mezcla C.



Figura 10. Control de calidad del concreto fresco C.



Figura 11. Ensayos C.



## 6. RESULTADOS

En el caso de los resultados, se tomó cuidadosamente cada uno de ellos directamente de los ensayos que se realizaron. Primeramente, se presentan las tablas de tabulación de datos y posteriormente se muestra la gráfica resultante de los valores de resistencia. La resistencia se calculó en  $\text{kg/cm}^2$ , pues tomando en cuenta que este es un estudio comparativo, es decir que los resultados que nos interesan son los valores relativos, no es necesaria la resistencia en  $\text{lb/pulg}^2$ . Estos resultados son una de las partes más importantes del estudio, pues con base a ellos obtendremos las conclusiones en busca de cumplir los objetivos planteados

En esta parte, es importante mencionar que la calidad del ensayo y de los resultados depende de muchos factores, pues los mismos se pueden ver afectados por errores humanos en la aplicación y en la apreciación. En el caso de nuestro estudio, y de existir, el error de este tipo se podría ver reducido por tratarse, como ya se ha expuesto con anterioridad, de un estudio de propiedades relativas y no absolutas.

## 6.1 Tabulación de Resultados

Tabla V. Tabulación de Resultados Mezcla "A"

MEZCLA A CEMENTO PORTLAND TIPO I ASTM C-150										
CILINDRO	EDAD (días)	PESO (Kg)	ALTURA (cms)	DIÁMETRO (cms)	ÁREA (cms <sup>2</sup> )	CARGA DESMORONAMIENTO (Kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA FALLA ÚLTIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA SOPORTADA (Kgs)	RESISTENCIA DEL CILINDRO (Kg/cm <sup>2</sup> )	
1	2	5	21.6	10.8	91.609	160	360	5,202.72	56.793	
2	2	5	22	11	95.033	140	310	4,480.12	47.143	
3	2	5	22	11	95.033	120	400	5,780.80	60.829	
1	5	4.8	22	11.2	98.520	50	210	6,990.90	70.959	
2	5	4.6	22.2	11	95.033	25	210	6,990.90	73.563	
3	5	4.8	22.5	11.1	96.769	50	200	6,658.00	68.803	
1	7	4.9	22.4	11	95.033	63.409	257.16	8,560.86	90.083	
2	7	4.9	21.9	11.1	96.769	105.682	204.319	6,801.78	70.289	
3	7	4.3	20.9	10.9	93.313	63.409	211.364	7,036.31	75.405	
1	14	4.9	21.9	11	95.033	84.546	105.682	7,527.73	79.212	
2	14	4.9	21.9	11.2	98.520	109.205	119.773	8,531.43	86.596	
1	21	4.9	22	11	95.033	59.8864	119.773	8,531.43	89.773	
2	21	4.65	22	11.1	96.769	60.8224	119.773	9,938.63	102.705	
3	21	4.65	22.3	11.3	100.287	61.8994	119.773	8,213.63	81.901	
1	28	4.6	20.7	11	95.033	105.682	169.091	12,044.35	126.738	
2	28	4.7	21.85	11.05	95.899	84.546	144.432	10,287.89	107.278	

Tabla V. Tabulación de Resultados Mezcla "B"

MEZCLA B CEMENTO PORTLAND MODIFICADO CON PUZOLANA TIPO I (PM) ASTM C-595									
CILINDRO	EDAD (días)	PESO (kg)	ALTURA (cms)	DIÁMETRO (cms)	ÁREA (cms <sup>2</sup> )	CARGA DESMORONAMIENTO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA FALLA ÚLTIMA (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA SOPORTADA (Kgs)	RESISTENCIA DEL CILINDRO (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1	4.6	22.2	11	95.033	320 (gato 5 ton.)	320	4,624.64	48.663
2	1	4.6	22.2	11	95.033	160	530	3,385.11	35.620
1	2	5	22	10.9	93.313	77.5 (gato 10 ton.)	169.091	5,629.04	60.324
2	2	5	22.2	10.9	93.313	42.27	169.091	5,629.04	60.324
1	3	4.9	22	11	95.033	81.023	190.227	6,332.66	66.636
2	3	4.9	22	11	95.033	84.546	246.591	8,209.01	86.381
1	4	4.9	21.9	11	95.033	98.637	267.728	8,912.67	93.785
2	4	4.9	21.6	11	95.033	77.5	211.364	7,036.31	74.041
1	7	4.9	22.1	11	95.033	77.5	155	11,040.65	116.177
2	7	4.9	22.1	11	95.033	98.637	119.77	8,531.22	89.771
1	14	4.9	21.7	10.9	93.313	70.455	150.3	10,705.87	114.731
2	14	4.9	22.4	10.75	90.763	105.682	162.046	11,542.54	127.173
1	21	4.8	22.5	11	95.033	31.704	186.182	13,261.74	139.549
2	21	4.6	20.7	11.4	102.070	45.795	165.046	11,756.23	115.178
1	28	4.8	21.5	11.15	97.643	49.318	180.182	12,834.36	131.442
2	28	4.8	21.9	11	95.033	77.5	182.954	13,031.81	137.129

Tabla V. Tabulación de Resultados Mezcla "C"

<b>MEZCLA C CEMENTO PORTLAND MODIFICADO CON PUZOLANA TIPO I (PM) ASTM C-595 MÁS CEMENTO EN PROPORCIÓN</b>									
CILINDRO	EDAD (días)	PESO (kg)	ALTURA (cms)	DIÁMETRO (cms)	ÁREA (cms <sup>2</sup> )	CARGA DESMORONAMIENTO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA FALLA ÚLTIMA (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA SOPORTADA (kgs)	RESISTENCIA DEL CILINDRO (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1	5	22	11	95.033	126.818	225.455	3,258.28	34.286
2	1	4.8	21.8	11	95.033	176.137	225.455	3,258.28	34.286
1	3	4.8	21.9	11	95.033	81.023	176.137	5,863.60	61.701
2	3	4.8	22.1	10.8	91.609	84.546	218.41	7,270.87	79.369
1	7	4.8	21.9	10.85	92.459	31.705	123.296	8,782.37	94.987
2	7	4.8	21.9	10.9	93.313	38.75	109.205	7,778.67	83.361
1	7	4.8	21.9	10.9	93.313	38.75	109.205	7,778.67	83.361
2	7	4.8	21.9	10.9	93.313	38.75	109.205	7,778.67	83.361
1	14	4.8	21.5	11.05	95.899	98.637	139.773	9,956.03	103.818
2	14	4.8	22.25	10.85	92.459	52.841	135.43	9,646.68	104.335
3	14	4.8	21.9	10.9	93.313	49.318	153.864	10,959.73	117.451
1	21	4.5	20.7	10.9	93.313	77.5	159.23	11,341.95	121.547
2	21	4.8	21.85	10.9	93.313	49.318	148.864	10,603.58	113.634
3	21	4.8	21.9	10.8	91.609	98.637	158.523	11,291.59	123.259
1	28	4.8	22	10.95	94.171	84.546	169.091	12,044.35	127.898
2	28	4.8	22	10.9	93.313	133.864	169.091	12,044.35	129.075

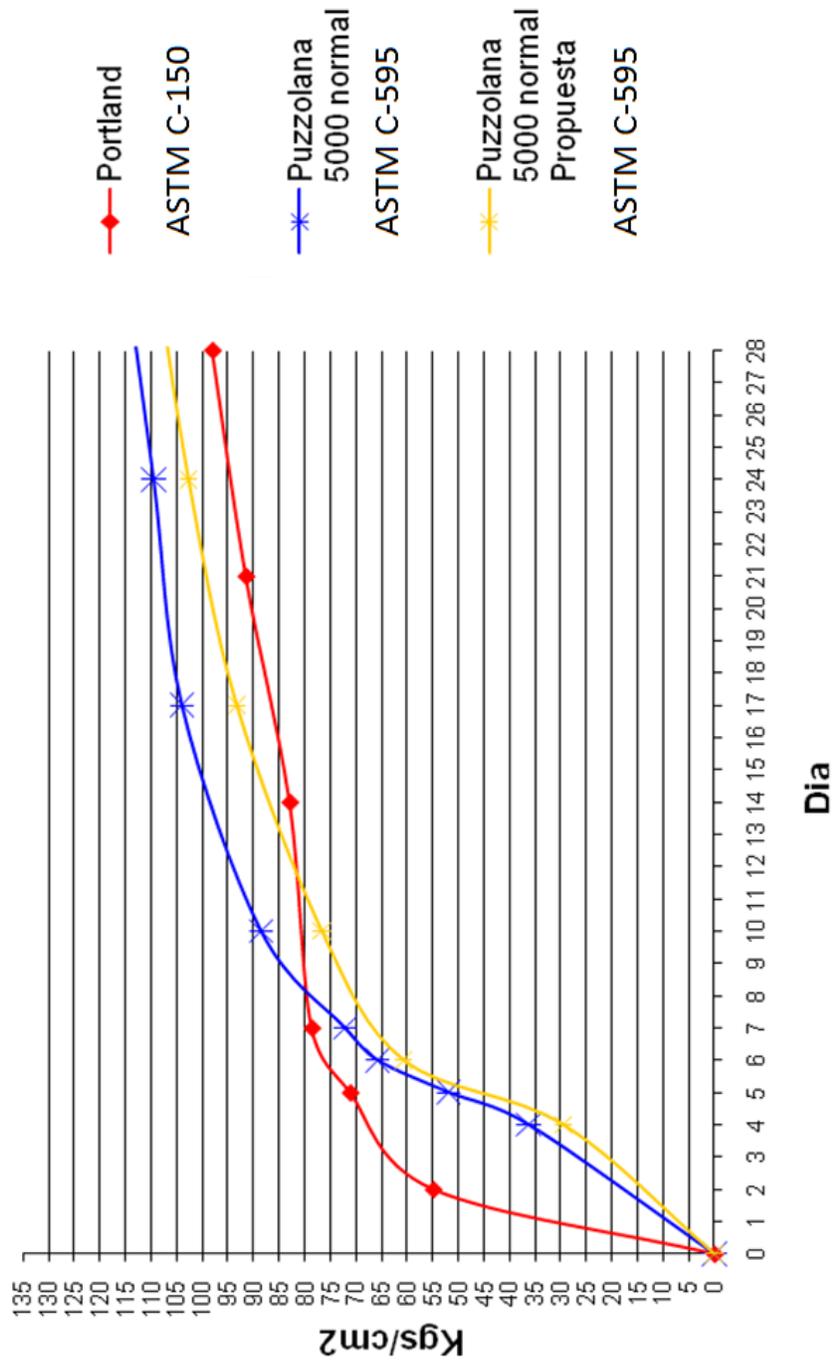
## 6.2 Gráfica comparativa de resultados

A continuación se presenta la curva edad-resistencia de las tres mezclas que se realizaron. Con triángulos aparecen los valores para la mezcla a base de cemento pórtland Tipo I y con asteriscos aparecen los valores para las dos mezclas a base de cemento Pórtland modificado con puzolana Tipo I (PM). En este punto, es importante tomar en cuenta que lo único que se cambió en estas mezclas, fue la cantidad de cemento en las proporciones, las cuales fueron debidamente descritas en el capítulo 5, a excepción de la mezcla “C” en la cual se utilizó un tipo de agregado diferente.

Se incluyeron las tres curvas en una misma gráfica, a manera de comparar los valores de resistencias a diferentes edades. La interpretación de los resultados se facilita a través de la visualización de los mismos en este tipo de representaciones. Esta interpretación y el análisis respectivo de los resultados se presentan en el capítulo 7.

Figura 12. Gráfica comparativa de resistencias, Mezclas "A", "B" y "C".

### Comparativo de Resistencias



## 7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Con base a los objetivos planteados y a los resultados presentados en el capítulo anterior, se presenta el siguiente análisis de los resultados.

### 7.1 Comparación mecánica entre mezclas realizadas

Los datos de resistencias a diferentes edades son mejor interpretados a través de la gráfica de la sección 6.2 en la que se plotearon los puntos de las edades versus resistencia. En realidad, para este estudio, no es de gran relevancia las unidades de medida utilizadas, pues como ya se ha explicado, se trata de un estudio comparativo.

Esta gráfica nos deja ver claramente que a tempranas edades, entiéndase aproximadamente hasta los 7 días, la resistencia de la mezcla a base de cemento Portland Tipo I (puro) (Mezcla "A") es considerablemente mayor que la de la mezcla realizada a base de cemento p<sup>o</sup>rtland modificado con puzolana, Tipo I ( PM) (Mezcla "B"). Sin embargo, también es evidente que conforme pasa el tiempo, la resistencia de la mezcla "B" es considerablemente mayor que la resistencia de la Mezcla, dando mejores características mecánicas a avanzadas edades.

En el caso de la propuesta, con más contenido de cemento en su proporción (Mezcla "C") muestra resultados por demás interesantes, pues contrario a lo que esperaba, ésta presentó una resistencia a diferentes edades más baja que la mezcla con menor contenido de cemento. En este punto es importante mencionar que esto nos permite concluir que el control de calidad de los materiales en una mezcla es de suma importancia, pues este hecho de la menor resistencia relativa, se le atribuye a que se utilizó un agregado grueso distinto en estas mezclas.

## **7.2 Comparación entre resistencias teóricas y experimentales**

Este apartado, se refiere a la comparación entre la resistencia teórica del diseño de mezclas y la resistencia real o experimental presentada en los ensayos. En base a las proporciones y asentamientos, la resistencia especificada a los 28 días debería rondar los 3,000 PSI, pero las resistencias presentadas son del orden los los 1,500 PSI, presentado resistencias considerablemente menores. De lo anterior se puede intepretar que la falta de control de calidad en los agregados afecta considerablemente la resistencia del concreto y que estas condiciones utilizadas para este trabajo, son las que con frecuencia practican los técnicos y operarios de la construcción en sus mezclas artesanales en el campo. Este es un idicio importante de cuánto pueden verse disminuidas las propiedades mecánicas del concreto por falta de control de calidad como lo hacen los albañiles, para el caso de este estudio, un alarmante 50% como mínimo.

### **7.3 Mezclas equivalentes**

Una de las hipótesis de este estudio, planteaba la posibilidad que agregando más cemento a las mezclas realizadas a base de Cemento Pórtland modificado con puzolana se obtendrían las mismas resistencias iniciales que con el Cemento Pórtland Tipo I (puro) o por lo menos aumentaría. Como se muestra en la gráfica y en los resultados de los ensayos, esto no se cumplió y se interpreta como una negativa a ese postulado, a pesar de existir el indidente que se utilizó diferente tipo de agregado grueso, que es una de las razones a las que se le atribuye la disminución en la resistencia.

En general, es importante mencionar que los resultados se pudieron ver afectados por muchos factores como la variación en los climas los días que se realizaron las mezclas y los errores humanos inducidos, pero para la profundidad del estudio estos se consideran despreciables por el cuidado con el que se realizaron los trabajos.



## CONCLUSIONES

1. Los resultados relativos de las mezclas A y B se comportaron según lo esperado, pero no cumplieron con sus resistencias absolutas de diseño, confirmando la importancia del control de la calidad.
2. La mezcla C dio resultados bajos, respecto de mezcla B, esto posiblemente por la mala distribución de la granulometría en el agregado grueso, indicando lo importante del control de la calidad de los materiales a utilizar en las mezclas.
3. El Cemento Pórtland C-150 trabajó según gráficas ya existentes y con resistencia inicial alta.
4. El Cemento Pórtland modificado con puzolana C-595 dio resultados de resistencia a la compresión menores a edades cortas pero a edades avanzadas (7 días en adelante) los resultados igualan a los del Cemento Pórtland C-150 y los superan.
5. Si no se realizan los análisis de laboratorio correspondientes a cada material utilizado en la preparación de la mezcla de concreto, no tendrán ningún efecto positivo los cambios que se realicen en la dosificación, como el incremento de cemento.
6. Cuando se realizan mezclas en el campo, la falta de control de calidad por parte del técnico y operario de construcción disminuye sustancialmente las propiedades mecánicas de la mezcla endurecida.

7. El cambio de uno sólo de los agregados puede disminuir considerablemente la resistencia a la compresión del concreto endurecido
8. El desencofrado en mezclas hechas a base de Cemento Pórtland modificado con puzolana Tipo I (PM) C-595 puede realizarse sin afectar la calidad de la construcción a los 7 días, pues a esta edad alcanzan resistencias superiores a las de las mezclas realizadas a base de Cemento Pórtland Tipo I (puro) C-150
9. A edades avanzadas, el cemento modificado con puzolana C-595 presenta mayor resistencia que el cemento sin adiciones de puzolanas C-150.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar el control de calidad de todos los materiales que se utilizarán en la mezcla de concreto.
2. Para no afectar la calidad de la construcción, en mezclas a base de cemento modificado con puzolana C-595, realizar el desencofrado después de los 7 días de haberse colocado la mezcla en las formaletas.
3. Utilizar cemento p<sup>o</sup>rtland C-150 en construcciones donde se necesite una alta resistencia a tempranas edades.
4. Para reducir costos, utilizar cemento modificado con puzolana C-595 en construcciones donde no se necesite alta resistencia inicial, y tomar en cuenta en el dise<sup>o</sup>, que <sup>este</sup> alcanzará resistencias altas a avanzadas edades.
5. Para alcanzar resistencia altas a tempranas edades utilizando cemento p<sup>o</sup>rtland modificado con puzolana C-595, aumentar la cantidad de cemento no es una soluci<sup>o</sup>n; podr<sup>ia</sup> optarse por utilizar un cemento modificado con puzolana C595 de alta resistencia inicial (HE) o utilizar aditivos seg<sup>u</sup>n las condiciones.



## BIBLIOGRAFÍA

1. MANUAL del laboratorio del curso de materiales de construcción. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. 2002. 150 págs.
2. CEMENTO [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre. 14 de septiembre 2009. <<http://es.wikipedia.org/wiki/Cemento>> [Consulta 16 de septiembre 2009]
3. *Cemento Pórtland Modificado con Puzolana Tipo I (PM)* [en línea]. Construmática, Arquitectura, Ingeniería y Construcción, Portal, Buscador y Comunidad. 6 de Septiembre 2009 <[http://www.construmatica.com/construpedia/Cemento\\_Puzol%C3%A1nico](http://www.construmatica.com/construpedia/Cemento_Puzol%C3%A1nico)> [Consulta 16 de septiembre 2009]
4. REQUISITOS de reglamento para concreto estructural (aci 318s-05) y comentario (aci 318sr-05). Informado por el comité ACI 318. Estados Unidos de América: Editorial International Publications series, 2005.495 págs.
5. NILSON, Arthur. Diseño de Estructuras de Concreto. 12 Ed. Colombia: McGraw-Hill Interamericana, S. A. 772 págs.
6. LARSON, Thomas D. Concretos de Cemento Pórtland y Asfálticos. México: Continental, S. A. 960 págs.
7. MANUAL del técnico, técnico para pruebas al concreto en obra grado 1. México: Instituto mexicano del concreto y cemento. 2007. 149 págs.

8. QUIÑONEZ de la Cruz, Edgar Vinicio. Evaluación de la Resistencia en Compresión de Morteros de Cemento Puzolánico para uso en Mampostería. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 47 págs.