



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

Revisión y en su caso replanteamiento de la Curva de Abrams, para obtener la resistencia a compresión del concreto hidráulico, mediante la relación A/C en algunos de los nuevos tipos de cemento establecidos en la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE-1999.

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL-TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

P R E S E N T A :

OSCAR ISIDRO MONTER ESPINOSA

TUTOR:

ING. JUAN LUIS COTTIER CAVIEDES



2007

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M.I. Fernando Favela Losoya

Secretario: Ing. Juan Lu3s Cottier Caviedes

Vocal: M.I. Salvador D3az D3az

1er. Suplente: Ing. Carlos Su3rez Salazar

2do. Suplente: Dr. Jes3s Hugo Meza Puesto

Lugar donde se realiz3 la tesis:

Universidad Aut3noma Metropolitana-Azcapotzalco

TUTOR DE TESIS:

Ing. Juan Lu3s Cottier Caviedes

FIRMA

AGRADECIMIENTOS

A Dios por todo, sin él no hay nada.

A mi padre, quien en su loca idea de sentirse libre rompió una familia.

A mi madre, que en nuevo papel me da los ánimos para seguir adelante.

A mis hermanos, por lo que fueron, son y serán por siempre.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo.

A mi país, esperando algún día valore nuestra verdadera fuerza como profesionistas.

A todos mis profesores y amigos, en breves palabras quiero decirles gracias por darme la oportunidad de compartir experiencias y conocimientos.

ÍNDICE

Sinopsis	iii
Introducción	iv
Objetivos	iv
Objetivo general	
Objetivo particular	
Objetivo específico	
Justificación de la investigación	iv
Utilidad de la investigación	iv
Utilidad académica	
Utilidad práctica	
Hipótesis	iv
Alcances	v
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES	
Introducción	1
1.1 Concreto hidráulico	1
1.2 Cemento hidráulico portland	1
1.2.1 Hidratación del cemento	2
1.2.2 Relación A/C <i>versus</i> resistencia a compresión	3
1.2.3 Química básica del cemento	3
1.2.4 Clasificación de los cementos hidráulicos según la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE-1999	5
1.3 Agregados pétreos	6
1.4 Agua de mezclado	7
Resumen	8
CAPÍTULO 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	
Introducción	9
2.1 Elección de los tres tipos de cemento a verificar	9
2.2 Diseño del experimento	9
2.3 Pruebas físicas a los agregados pétreos	10
2.3.1 Preliminares	10
2.3.2 Muestreo del agregado	11
2.3.3 Reducción de las muestras	11
2.3.4 Análisis granulométrico	11
2.3.5 Masa volumétrica suelta y compacta	12
2.3.6 Absorción, masa específica seca y saturada superficie seca	12
2.4 Diseño y fabricación de mezclas de ajuste	13

2.5	Diseño de las mezclas de prueba	17
2.5.1	Cemento CPP 30R	17
2.5.2	Cemento CPC 30R	17
2.5.3	Cemento CPO 40R/ B	17
2.6	Fabricación, curado y cabeceo de especímenes	18
2.7	Ensaye a compresión de los especímenes de prueba	20
2.7.1	Corrección de la resistencia a compresión simple por temperatura de curado	22
	Resumen	23

CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

	Introducción	24
3.1	Interpretación de resultados	24
3.2	Validación de la hipótesis	31

CONCLUSIONES 32

ANEXOS

Anexo A	Pruebas físicas a los agregados pétreos	I
Anexo B	Diseño de mezclas de concreto	VI
Anexo C	Diseño de mezclas de concreto definitivas para cada relación A/C y tipo de cemento evaluado	XIII
Anexo D	Diseño de mortero azufre-arena para el cabeceo de los especímenes de prueba	XVII
Anexo E	Ensaye a compresión de los especímenes de concreto.	XLIV
Anexo F	Calibración del equipo de ensaye (prensa hidráulica).	LIV
Anexo G	Corrección por temperatura de curados	LVI

BIBLIOGRAFÍA

SINOPSIS

La resistencia mecánica a compresión simple y la relación agua-cemento (A/C), son algunos de los factores que generalmente se utilizan para diseñar una mezcla de concreto hidráulico.

Existen diversos métodos para el diseño de estas mezclas, entre los cuales destacan el de volumen absoluto, el de mínimos vacíos y el de relación A/C, algunos de éstos propuestos por el American Concrete Institute (ACI) y el Portland Cement Association (PCA). En este sentido, ambos manifiestan que la resistencia a compresión está en función de la relación agua-cemento.

La mayoría de los laboratorios particulares que diseñan mezclas de concreto hidráulico, así como en algunas Instituciones de Educación Superior, utilizan relaciones A/C propuestas por bibliografía extranjera o bien atrasada, en el sentido de no estar actualizada a las nuevas especificaciones del cemento mexicano.

El presente trabajo de investigación, tiene como propósito evaluar la resistencia a compresión del concreto hidráulico en función de su correspondiente relación A/C para tres tipos de cemento evaluados: CPP 30R, CPC 30R y CPO 40R, todos ellos fabricados en México y que cumplen con la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE-1999.

El trabajo de investigación consistió en determinar las propiedades físicas de los agregados pétreos utilizados y en base a ellos, diseñar las mezclas de concreto necesarias para obtener la dosificación base real consistente, en la cual se mantuvo constante la cantidad de agregados y agua, variando únicamente la cantidad de cemento. El método de dosificación utilizado fue el propuesto por el ACI a través de su comité 211.1.

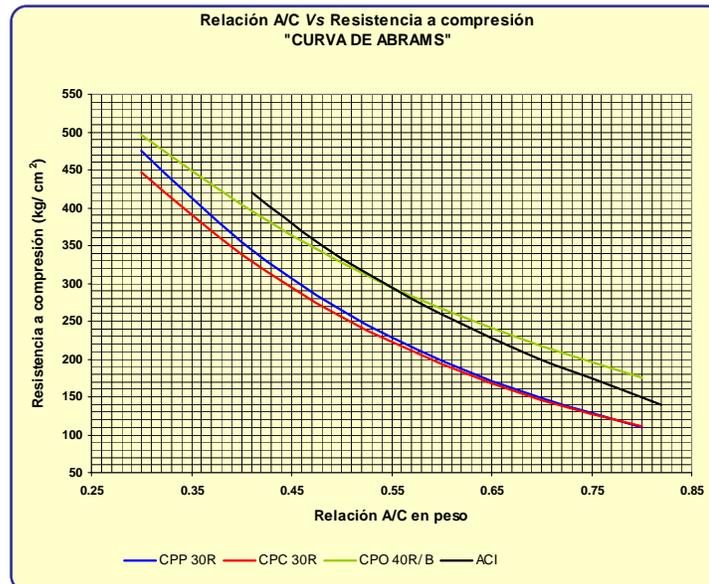
Las relaciones A/C consideradas en este trabajo fueron 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 y 0,8 para cada uno de los tres tipos de cemento portland evaluados.

Para evitar en lo posible cualquier variabilidad en los resultados, todas las pruebas realizadas tanto a los agregados como al concreto en estado fresco y endurecido se realizaron conforme a lo indicado en las normas oficiales mexicanas (NOM) y normas mexicanas (NMX).

De cada relación A/C se obtuvieron 10 especímenes cilíndricos de 15x30 cm que fueron ensayados a compresión simple a la edad de 28 días. Para obtener la **Curva de Abrams** representativa para cada tipo de cemento. Se utilizó para su ajuste la regresión exponencial a través de métodos numéricos.

De esta manera se puede confirmar que la relación propuesta por el comité 211.1 del ACI no es representativa de los cementos portland evaluados, ya que su uso puede implicar diferencias en decremento de su resistencia de hasta 90 kg/cm².

De manera práctica, se resume el resultado de esta investigación con la siguiente gráfica:



INTRODUCCIÓN

La resistencia mecánica a compresión simple es el factor que se utiliza generalmente para diseñar una mezcla de concreto hidráulico, la cual está en función de la relación agua-cemento (A/C). El American Concrete Institute (ACI), el Portland Cement Association (PCA) entre otros, sugieren métodos de dosificación basados en este parámetro; sin embargo, en la mayoría de pequeños laboratorios de materiales de construcción e incluso en la enseñanza e investigación a nivel superior y posgrado, ésta relación no ha sido adecuada a los tipos de cemento que se producen en México y cuya normalización, incluso ha cambiado, utilizando en su lugar las relaciones propuestas por las fuentes antes citadas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar mediante experimentación, si la Curva de Abrams propuesta por el método de dosificación del ACI corresponde a alguno de los tres tipos de cemento hidráulico propuestos, enunciados en la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE-1999 "Cementos hidráulicos-especificaciones y métodos de prueba".

OBJETIVO PARTICULAR

En caso de que la Curva o Curvas de Abrams obtenidas, no correspondan a la sugerida por el ACI para el diseño de mezclas de concreto hidráulico normal, formular la actual, capaz de correlacionar la resistencia mecánica a compresión del concreto hidráulico y su correspondiente relación A/C, para cada uno de los tres tipos de cemento evaluados.

OBJETIVO ESPECÍFICO

En caso de que se realice un ajuste a la curva de Abrams propuesta por el comité 211.1 del ACI, evaluar si existe algún beneficio técnico o económico.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El cambio propuesto en la normalización del cemento se propone en la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE-1999, misma que establece una amplia variedad en función de su tipo, características especiales y clase resistente, por lo que resulta imperativo corroborar y en su caso obtener, la relación entre la resistencia mecánica a compresión y la proporción A/C, para al menos los tres tipos de cemento más comercializados en el Distrito Federal.

UTILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

UTILIDAD ACADÉMICA.

Su principal utilidad es actualizar las tablas o gráficas correspondientes a la relación agua-cemento "versus" resistencia a compresión simple, la cual, hoy en día a pesar de no estar actualizada, es ampliamente utilizada en la enseñanza del diseño de mezclas de concreto, así como en las investigaciones realizadas a partir de la aprobación de la norma mexicana anteriormente citada.

UTILIDAD PRÁCTICA.

Tener la certidumbre de que las relaciones obtenidas sirven para actualizar los métodos utilizados para la dosificación de concreto hidráulico, siendo aplicable para los tres tipos de cemento comúnmente comercializados en el Distrito Federal.

HIPÓTESIS

La relación entre la resistencia a compresión simple y la proporción A/C sugerida por el American Concrete Institute a través de su comité 211.1, no corresponde a los tres tipos de cemento hidráulico comúnmente ofertados en el Distrito Federal, consecuentemente, el empleo de dichas relaciones conllevan una variación que puede resultar significativa, en el diseño de una mezcla de concreto, tanto a nivel de investigación, como de uso práctico en la fabricación de un elemento estructural, lo que implica una variación en costo y por tanto en precio.

Para comprobar la validez de la hipótesis, se realizó una investigación de carácter comparativo-propositivo.

ALCANCES

En cuanto a la forma y tipo de investigación, se considera lo siguiente:

- Se busca actualizar los datos requeridos para diseñar una mezcla de concreto hidráulico en función de su resistencia mecánica a compresión simple.
- Realizar las pruebas necesarias y pertinentes en laboratorio conforme a las normas aplicables, con la intención de normalizar los resultados.
- Hacer un análisis completo de los resultados obtenidos e inferir las conclusiones del proyecto de investigación, para en su caso, validar la hipótesis.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se menciona de manera breve lo que es el concreto hidráulico, sus componentes básicos y como éstos interactúan en sus propiedades. Asimismo, se trata de manera general la clasificación y especificaciones de los cementos hidráulicos conforme a la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE-1999.

1.1 CONCRETO HIDRÁULICO

El concreto hidráulico convencional se constituye de tres componentes esenciales: cemento portland, agregados pétreos (grava y arena) y agua, que al mezclarlos introducen de manera simultánea lo que se conoce como aire atrapado, el cual es indeseable y difiere del aire incluido.

Como resultado de esta mezcla, se obtiene una masa plástica que en pocas horas cambia a un estado rígido, cuyo comportamiento mecánico y durabilidad dependen de tres aspectos básicos:

- a) Características, composición y propiedades de la pasta de cemento (cemento y agua). En este sentido es importante una correcta elección del cemento a utilizar y el empleo de una relación A/C conveniente.
- b) Calidad de los agregados. La cual está en función del uso e importancia de la estructura.
- c) Afinidad de la matriz cementante con los agregados. Depende de las características físicas y químicas del cemento utilizado y la composición mineralógica y petrográfica de las rocas que constituyen a los agregados y de éstos, su forma, tamaño máximo y textura superficial.

1.2 CEMENTO HIDRÁULICO PORTLAND

Los cementantes hidráulicos fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua, aún estando inmersos en ella, siendo principalmente: cales, cementos hidráulicos, algunas escorias y ciertos materiales con propiedades puzolánicas.

El cemento hidráulico es un material finamente pulverizado que una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad; puede clasificarse en:

- Cemento portland
- Cemento aluminoso
- Cemento sobresulfatado
- Cemento expansivo
- Cemento natural.

A partir del clinker Pórtland es posible fabricar tres clases principales de cementos hidráulicos para la elaboración de concreto.

- Los **cementos portland**, que se obtiene moliendo el clinker y yeso.
- Los **cementos portland compuestos**, en ellos se combina el clinker, el yeso y otro cementante que puede ser escoria o puzolana.
- Los **cementos expansivos**, en ellos se añade al clinker otros componentes especiales de carácter sulfatado, cálcico y aluminoso. Se utilizan en concretos de contracción compensada, donde los cambios de volumen pueden ser motivados por variaciones de humedad, temperatura, reacciones químicas entre el cemento y los agregados y la pérdida de agua por evaporación.
- **Cemento blanco**. En este caso, el clinker portland se produce seleccionando materias primas con bajas concentraciones de hierro y manganeso. Su uso se destina principalmente a trabajos arquitectónicos y decorativos, en donde no se requieren grandes consumos de cemento, ya que su precio es alto (actualmente se precio es el doble del cemento gris).

La influencia que el cemento portland ejerce en el concreto, está en función de la composición química del clinker, de su finura de molienda y en caso de contener puzolana de las características físicas, químicas y contenido de ésta.

Por ejemplo, al aumentar la finura el cemento éste se hidrata más rápido, propiciando que el concreto adquiera resistencia con mayor rapidez y que sus partículas puedan mantenerse en suspensión en la mezcla, lo que mejora su cohesión, manejabilidad y capacidad de retención de agua. En contrapartida, una mayor finura representa incremento en la generación de calor y mayor demanda de agua de mezclado en el concreto, lo que se traduce en mayores cambios volumétricos de éste y posibles agrietamientos en las estructuras. Para evitar este efecto, se recomienda utilizar mezclas de concreto con menor contenido de agua.

El empleo de cementos portland con puzolana puede acelerar la pérdida de revenimiento, al producirse un resecamiento prematuro provocado por la avidéz de agua de la puzolana.

El tiempo de fraguado depende entre otros factores del contenido de cemento, su tipo y su finura; tienden a fraguar un poco más rápido las mezclas de alto consumo de cemento que las de bajo consumo.

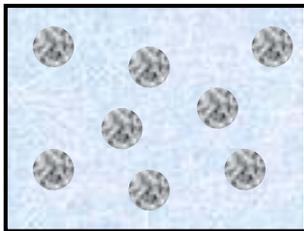
En cuanto a la resistencia del concreto al ataque de sulfatos, es necesario seleccionar un cemento cuya composición química sea apropiada.

La elección del tipo adecuado de cemento depende de la aplicación particular del concreto y es recomendado en la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE-1999, la cual se trata más adelante.

1.2.1 Hidratación del cemento

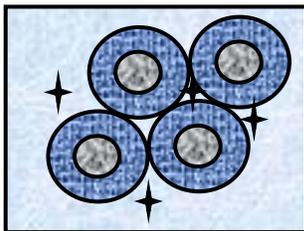
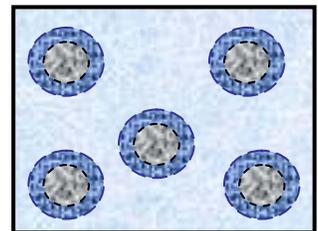
Al mezclar el cemento portland con el agua, se generan reacciones químicas que se manifiestan inicialmente en desprendimiento de calor. En la mezcla de concreto se observa una gradual rigidización, que culmina con su endurecimiento; proceso que puede durar incluso años, según la cantidad de cemento remanente no hidratado.

De manera esquemática, el proceso de hidratación de los granos de cemento es el siguiente:



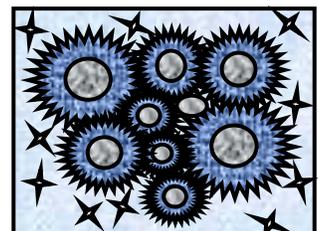
- a) Los granos de cemento están inmersos en agua, lo que propicia su disolución, misma que produce una intensa reacción exotérmica.

- b) Al cabo de algunos minutos comienza a formarse alrededor de los granos de cemento una película gelatinosa que inhibe temporalmente su hidratación, hecho que permite transportar, colocar y moldear la mezcla de concreto antes que comience su etapa de fraguado.



- c) Al continuar la hidratación de los granos de cemento, aumenta el espesor de la película, creando puntos de contacto e inmovilizando los granos, iniciándose su rigidización. También aparecen cristales de hidróxido de calcio.

- d) Se desarrollan filamentos tubulares en la película gelatinosa que forman una trama que aglutina los granos en proceso de hidratación, induciendo su endurecimiento y obteniendo resistencia mecánica.



1.2.2 RELACIÓN A/C VERSUS RESISTENCIA A COMPRESIÓN

El diseño de una estructura de concreto se realiza con base en una determinada resistencia mecánica y a una edad específica, siendo ésta usualmente a 28 días, considerando que en este lapso el concreto normalmente adquiere el 80% de su resistencia potencial.

La falla del concreto se produce por el crecimiento progresivo de microfisuras y otras discontinuidades que existen en él y que se originan desde el momento de su colocación y compactación, de modo que, cuando es sometido a esfuerzos, dichas discontinuidades crecen en número y extensión hasta provocar la falla.

La resistencia mecánica del concreto depende de la resistencia de los agregados, la pasta de cemento y la adherencia entre ambos, por lo que será la que resulte más débil de las tres.

Respecto a la adherencia de la pasta de cemento y el agregado, ésta progresa con la hidratación del cemento, sin embargo, hay otros aspectos específicos que la modifican, tales como la forma, textura superficial y tamaño de las partículas de los agregados.

La resistencia el concreto convencional depende principalmente de la resistencia de la pasta, misma que es consecuencia del proceso de hidratación de los granos de cemento. Este proceso se realiza con relativa rapidez durante las primeras semanas a partir de la elaboración de la mezcla, disminuyendo posteriormente su velocidad; no obstante, si las condiciones de humedad y temperatura continúan siendo favorables, el proceso de hidratación del cemento y de adquisición de resistencia mecánica de la pasta puede prolongarse durante meses e incluso años.

Asimismo, la resistencia mecánica de la pasta de cemento endurecida, es gobernada por la influencia de dos variables: la cantidad de productos de hidratación generados y la proporción del espacio disponible que ha sido ocupado por dichos productos de hidratación.

La cantidad de productos de hidratación depende básicamente de las características físicas y químicas del cemento, el grado de humedad y temperatura de curado y de su edad; sin embargo, si se normalizan la humedad y temperatura de curado, el desarrollo de la hidratación va a depender esencialmente del tiempo.

En cuanto al grado de ocupación del espacio disponible para los productos de hidratación, no solo depende de la cantidad de gel, sino del tamaño del espacio originalmente disponible para su acomodo, que a su vez es determinado por la cantidad proporcional de agua de mezcla; es decir, por la proporción que representa el volumen original de agua con respecto al volumen total de la pasta al ser mezclada. Por consiguiente, a medida que se incrementa la proporción de agua en la pasta, mayor es el espacio disponible y menor el grado de ocupación de este espacio por el gel de cemento, con lo cual permanece libre una mayor proporción de éste espacio en la pasta de cemento hidratada, esto es, aumenta su porosidad.

En términos generales, la resistencia mecánica de la pasta de cemento hidratada depende de la cuantía de su porosidad total debida a los poros intrínsecos del gel y los poros capilares de la pasta hidratada.

Para fines prácticos, ha sido costumbre considerar a la relación A/C como medio de enlace entre la porosidad y la resistencia mecánica de la pasta de cemento hidratada. De tal modo que, si la resistencia de los agregados y la adherencia pasta-agregado son satisfactorios, la resistencia mecánica del concreto endurecido pasa a depender sustancialmente de la resistencia de la pasta y esta a su vez está regulada mediante el ajuste de su relación agua/ cemento.

1.2.3 Química básica del cemento.

Durante la calcinación del clinker para fabricar cemento portland, el óxido de calcio se combina con los demás componentes de la materia prima para formar cuatro compuestos fundamentales que constituyen el 90% de la masa del cemento, los cuales de presentan a continuación junto a sus fórmulas químicas y abreviaturas:

- Silicato tricálcico = $3\text{CaO SiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$
- Silicato dicálcico = $2\text{CaO SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$

- Aluminato tricálcico = $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$
- Alúminoferrito tetracálcico = $4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AF}$

Como se observa, el cemento está constituido por silicatos de calcio que son responsables de la resistencia mecánica a compresión.

El **silicato tricálcico (C₃S)** se hidrata y endurece rápidamente, aportando al concreto resistencia mecánica a corto y mediano plazo, la cual se incrementa mientras mayor sea su concentración. Este compuesto en gran medida es responsable del fraguado inicial.

El **silicato dicálcico (C₂S)**, se hidrata y endurece lentamente y contribuye en gran parte al incremento de resistencia a edades mayores de una semana.

El **aluminato tricálcico (C₃A)**, propicia mayor velocidad en el fraguado y libera gran cantidad de calor durante los primeros días de hidratación y endurecimiento. También contribuye levemente al desarrollo de la resistencia temprana. Su presencia hace al concreto más susceptible de sufrir daño, ya que puede reaccionar con sulfatos externos para dar sulfoaluminato de calcio hidratado, cuya formación gradual se acompaña de expansiones que lo desintegran paulatinamente. El yeso, que se agrega al cemento durante la molienda final, retrasa la velocidad de hidratación del C₃A.

El **alúminoferrito tetracálcico (C₄AF)**, contribuye poco a la resistencia del concreto, sin embargo sirve como fundente durante la calcinación del clinker y favorece la hidratación de los otros compuestos.

El cemento también contiene óxidos de sodio y de potasio, cuyo contenido suele limitarse para evitar reacciones dañinas del cemento.

La influencia del cemento en las características del concreto son de manera general las siguientes:

La finura es la única característica del cemento que puede aportar beneficio a la cohesión y la manejabilidad de las mezclas de concreto; sin embargo, existen otros factores con efectos más decisivos para evitar que las mezclas se segreguen durante su manejo y colocación como son, la distribución granulométrica y el tamaño máximo del agregado, el consumo unitario de cemento, la adición de aditivos inclusores de aire y el diseño de la mezcla de concreto.

Respecto a la estabilidad volumétrica, el primer cambio importante de volumen que se manifiesta en el concreto, es la llamada contracción plástica, la cual ocurre en la etapa de fraguado y es responsable de agrietamientos tempranos en estructuras con gran superficie expuesta como son los pavimentos. Suele relacionarse principalmente con el exceso de agua en la mezcla de concreto y su rápida pérdida por evaporación.

El segundo cambio volumétrico de importancia es la contracción térmica, la cual se origina por el enfriamiento gradual del concreto después de haberse sobre calentado por efecto del calor de hidratación acumulado, ya sea porque éste fue excesivo o por no haber tenido facilidad para su disipación. En cualquier caso, la influencia del cemento puede ser significativa, por lo que debe elegirse el cemento adecuado en función de su calor de hidratación.

Algunos concretos son propensos a sufrir daños debido a la contracción por secado, principalmente los que contienen puzolana natural como parte del material cementante, ya que ésta al estar finamente molida incrementa la demanda de agua mezclado, trasladando sus efectos al concreto endurecido, aumentando su contracción.

También la estabilidad química del cemento y de los agregados juega un papel importante en el desempeño del concreto. Ningún agregado es completamente inerte al permanecer en contacto con la pasta de cemento, debido a los diversos procesos y reacciones químicas que en distinto grado suelen producirse entre ambos. Algunas de estas reacciones son benéficas porque contribuyen a la adhesión del agregado con la pasta, pero otras son perjudiciales porque generan expansiones internas que causan daño y pueden terminar por destruir al concreto y que están representadas por los álcalis, óxidos de sodio y de potasio, que normalmente proceden del cemento. Estas reacciones se designan genéricamente como reacciones álcali-agregado, pudiendo presentarse en tres modalidades: álcali-sílice, álcali-silicato y álcali-carbonato.

1.2.4 Clasificación de los cementos hidráulicos según la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE-1999

Esta norma mexicana trata sobre las especificaciones y métodos de prueba de los cementos hidráulicos, haciendo énfasis en los aspectos de resistencia mecánica y durabilidad. Para tal fin, establece los rangos de los componentes que forman los diversos tipos de cemento, indicando las exigencias mecánicas, físicas y químicas que deben satisfacer.

La actual clasificación de los cementos sustituye a la anterior norma oficial mexicana NOM-C-1-1980, cuya comparativa es la siguiente:

NOM-C-1-1980		NMX-C-414-ONNCCE-1999	
Tipo	Denominación	Tipo	Denominación
I	Normal	CPO	Cemento Portland Ordinario
II	Modificado	CPP	Cemento Portland Puzolánico
III	Resistencia rápida	CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de alto horno
IV	Bajo calor de hidratación	CPC	Cemento Portland Compuesto
V	Resistente a los sulfatos	CPS	Cemento Portland con humo de sílice
		CEG	Cemento con Escoria Granulada de alto horno

Los cementos clasificados conforme a la norma mexicana arriba citada, pueden presentar adicionalmente una o mas características especiales, mismas que se clasifican en:

Nomenclatura	Características especiales de los cementos
RS	Resistente a los Sulfatos
BRA	Baja Reactividad Alkali agregado
BCH	Bajo Calor de Hidratación
B	Blanco

Por otra parte, la resistencia normal de un cemento es la resistencia mecánica a la compresión a los 28 días y se indica por las clases resistentes 20, 30 ó 40.

La resistencia inicial de un cemento, es la resistencia mecánica a la compresión a los tres días. Para indicar que un tipo de cemento debe cumplir con una resistencia inicial especificada, se le agrega la letra R después de la clase. Sólo se definen valores de resistencia inicial a 30R y 40R.

En cuanto a su resistencia mecánica a compresión, esta norma los clasifica como sigue:

Clase Resistente	Resistencia a compresión (Mpa)		
	3 días	28 días	
	mínimo	mínimo	máximo
20	- -	20	40
30	- -	30	50
30 R	20	30	50
40	- -	40	- -
40 R	30	40	- -

Es importante señalar, que la única especificación química que se hace a los tipos de cemento, es la cantidad máxima permitida de trióxido de azufre (SO₃), limitándose a indicar que será aquella que no cause expansiones mayores a 0,020% a los catorce días de inmersión en agua. No indica la cantidad de

los cuatro principales compuestos que los constituyen (C_3S , C_2S , C_3A y C_4AF) para cada uno de los seis tipos de cemento clasificados.

En cuanto a la designación de los cementos, ésta se ha normalizado, por lo que éstos se identifican por el tipo, clase resistente, resistencia inicial especificada (en su caso) y la o las características especiales que posea.

Por último, esta norma en su apéndice informativo da una serie de recomendaciones generales para el uso de los cementos que pueden resumirse en:

- a) Es necesario distinguir los cementos de uso general y los idóneos para usos específicos. La distinción debe hacerse en términos de la resistencia mecánica y la durabilidad del concreto.
- b) Es aconsejable utilizar siempre que se pueda un cemento de uso general, de producción uniforme y empleo local, bien conocido y acreditado. En este caso cementos tipo CPO y CPP.

1.3 AGREGADOS PÉTREOS

La influencia de los agregados pétreos en el concreto es importante, ya que por ejemplo, la masa unitaria del concreto depende de la masa específica de los mismos.

Los agregados de masa normal proceden de rocas con masa específica entre 2.4 y 2.8, que al utilizarlos producen concretos con masa volumétrica en estado fresco entre 2 200 a 2 550 kg/ m³.

Los agregados pueden clasificarse según la roca que los origina en ígneos, sedimentarios y metamórficos. Por el modo de fragmentación en naturales, manufacturados y mixtos y por el tamaño de sus partículas en agregado grueso (gravas) y agregado fino (arena).

El empleo de agregados con granulometría continua para la fabricación de mezclas de concreto, es conveniente por economía y manejabilidad.

Los efectos que la granulometría de la grava produce sobre la manejabilidad de las mezclas de concreto no son tan notables como los que produce la arena.

Arenas con módulo de finura inferior a 2,3, son consideradas demasiado finas e inconvenientes, debido a que requieren mayor consumo de pasta de cemento, lo que repercute en cambios volumétricos; por otro lado, si el módulo de finura es mayor a 3,1 resultan demasiado gruesas, produciendo mezclas ásperas, segregables y proclives al sangrado.

Los materiales contaminantes más comunes en los agregados son limos, arcilla, materia orgánica, carbón, lignito, partículas ligeras y terrones.

Respecto al limo y la arcilla, ambos materiales son indeseables por el tamaño de sus partículas, ya que incrementan el requerimiento de agua de mezclado y los cambios volumétricos del concreto. La arcilla se considera más perjudicial por su carácter plástico. Las pruebas para cuantificar el contenido de ellos, es a través del tamizado por lavado por la malla No.200. Para finos de carácter arcilloso, se realiza la prueba del equivalente de arena.

La materia orgánica que contamina los agregados suele hallarse en forma de humus, fragmentos de raíces, plantas y trozos de madera. La contaminación excesiva de estos materiales interfiere con el proceso normal de hidratación del cemento, afectando la resistencia y durabilidad del concreto. Para establecer el límite máximo permisible de contaminación con materia orgánica en la arena, se aplica la llamada prueba colorimétrica.

La determinación del contenido de partículas ligeras en los agregados se realiza por medio de flotación en un líquido pesado con densidad cercana a dos.

Las sales inorgánicas que ocasionalmente pueden encontrarse como contaminación en los agregados de origen natural son los sulfatos y los cloruros. Los sulfatos reaccionan con el aluminato tricálcico (C_3A) del cemento, produciendo en altas concentraciones expansiones capaces de destruir paulatinamente el concreto; sin embargo, las cantidades que eventualmente contienen los agregados no producen concentraciones riesgosas; los cloruros originan un medio favorable para que se produzca corrosión en el acero de refuerzo.

Entre las características físicas que contribuyen a definir la calidad intrínseca de las rocas destacan su masa específica, sanidad, porosidad, absorción, resistencia mecánica, resistencia a la abrasión, módulo de elasticidad y propiedades térmicas.

La masa específica de una roca puede ser un buen índice de su porosidad. Cuando el agregado manifiesta una masa específica menor a 2.4, puede ser motivo para dudar de su capacidad de producir concreto de masa normal y por consecuencia dudar de su calidad. Una excesiva porosidad puede tener efectos indeseables en el concreto, como limitada resistencia mecánica, alta deformabilidad y alta capacidad de absorber agua. La absorción no solo depende de la porosidad de la roca, sino también de otros aspectos tales como la distribución granulométrica, el contenido de finos, el tamaño máximo del agregado, la forma y textura superficial de las partículas.

La sanidad de los agregados se define como la condición de que se halle libre de grietas, defectos y fisuras. Es un buen índice para predecir su desempeño en el concreto y tiene relación con la durabilidad del concreto.

La resistencia mecánica del concreto endurecido, especialmente a compresión depende más de la resistencia de la pasta de cemento y de su adherencia con los agregados, que la resistencia de éstos; sin embargo, cuando se trata de concretos con valores de resistencia superiores a los 500 kg/ cm² o bien de concretos compactados con rodillo, la resistencia mecánica de los agregados adquiere mayor influencia. El ensaye que se considera más representativo de la resistencia mecánica de los agregados es la resistencia al aplastamiento.

La resistencia a la abrasión, es la resistencia que los agregados gruesos oponen a sufrir desgaste, rotura o desintegración de sus partículas. La prueba con que se califica de ordinario esta resistencia se lleva a cabo en la "Máquina de los Ángeles". Esta prueba también se aplica para detectar la presencia de partículas menos duras y resistentes dentro del conjunto del agregado grueso.

La forma y textura de los agregados tiene influencia en la manejabilidad del concreto en estado fresco y en la adherencia de las partículas con la pasta de cemento en el concreto endurecido. En igualdad de condiciones, son preferibles los agregados de formas redondeadas para los concretos convencionales con resistencias que no excedan de 250 kg/ cm². Para los concretos de alta resistencia, el agregado ideal debe ser limpio, cúbico, anguloso, ser producto de trituración, con un mínimo de partículas planas y alargadas, ya que reducen su manejabilidad, dificultan su acomodo y compactación, afectando la resistencia mecánica del concreto endurecido.

1.4 AGUA DE MEZCLADO

En relación al concreto, el agua tiene dos diferentes aplicaciones: como ingrediente en la elaboración de las mezclas y como medio de curado de las estructuras recién construidas.

Como componente del concreto, el agua suele representar aproximadamente entre un 10 y 25 por ciento del volumen de la mezcla, dependiendo del tamaño máximo del agregado que se utilice y del revenimiento que se requiera. Lo anterior confiere a la calidad del agua, una influencia importante en el comportamiento y las propiedades del concreto, pues cualquier sustancia dañina que contenga, aún en proporciones reducidas, puede tener efectos adversos en él.

La práctica común consiste en utilizar agua cuyo contenido de sales inorgánicas, sólidos en suspensión, materia orgánica, dióxido de carbono disuelto, etcétera, sean empíricamente bajas.

El agua de mezclado definitivamente debe carecer de grasas, aceites, azúcares y ácidos, los cuales deben eliminarse antes de considerar su empleo. De manera general se considera que si el agua es clara e insípida, puede utilizarse en la fabricación del concreto y su curado, siempre que la estructura por colar no sea importante.

Los efectos indeseables que el agua de mezclado de calidad inadecuada puede producir en el concreto son a corto, mediano y largo plazo. Los efectos a corto plazo normalmente se relacionan con el tiempo de fraguado y las resistencias iniciales. Los de mediano plazo con las resistencias posteriores a 28 días y los de largo plazo pueden consistir en el ataque de sulfatos, la reacción álcali-agregado y la corrosión del acero de refuerzo.

La prevención de los efectos a largo plazo se consigue por medio del análisis químico del agua antes de emplearla, verificando que no contenga cantidades excedidas de sulfatos, álcalis, cloruros y dióxido de carbono disuelto.

Para prevenir los efectos a corto y mediano plazo, se acostumbra precalificar el agua mediante pruebas comparativas de tiempo de fraguado y de resistencia a compresión a 7 y 28 días. En estas pruebas se comparan especímenes elaborados con mezclas idénticas, en las que solo cambia la procedencia del agua de mezclado, agua destilada para la mezcla testigo y agua en estudio para la mezcla de prueba.

RESUMEN

El concreto hidráulico convencional es originalmente una masa plástica que puede adoptar la forma del recipiente que lo contiene y que de manera gradual se rigidiza y endurece. Y es el resultado de mezclar cemento portland, agregados pétreos (grava y arena), agua y aire atrapado.

La resistencia mecánica del concreto esta dado por tres factores principales que a su vez dependen de otros:

- La pasta de cemento (agua y cemento). Está en función de la proporción A/C, de la finura del cemento y su tipo.
- La calidad de los agregados pétreos. Depende de su origen, manera de obtención, tamaño y distribución de sus partículas, masa específica, sanidad, porosidad, absorción, resistencia a la abrasión y resistencia mecánica.
- La afinidad y adherencia entre los agregados y la pasta. Principalmente depende de la forma, textura, tamaño y composición química del agregado.

El agua de mezclado juega también un papel importante en la fabricación y curado del concreto; sin embargo, a la fecha no se han homologado los criterios de calidad mínima, aspecto fundamental, por la carencia cada vez mayor de agua potable.

Respecto a la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE-1999, en mi opinión da mayor importancia a garantizar una resistencia mecánica que otros aspectos fundamentales como lo es su propia composición química.

CAPÍTULO 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

INTRODUCCIÓN

Este capítulo trata sobre la elección de los tres tipos de cementos a evaluar, el diseño y desarrollo de la experimentación, incluyendo lo relativo al muestreo y las pruebas físicas realizadas a los agregados, el diseño de cada una de las mezclas de ajuste para llegar a las mezclas de prueba para cada uno de los tipos de cemento por verificar para cada relación A/C, con la intención de obtener la resistencia a compresión simple a la edad de 28 días.

2.1 ELECCIÓN DE LOS TRES TIPOS DE CEMENTO A VERIFICAR.

De lo señalado en el capítulo anterior, los cementos portland que se verificarán son:

- CPP 30R (Cemento Portland Puzolánico), marca Apasco.
- CPC 30R (Cemento Portland Compuesto), marca Tolteca.
- CPO 40R/ B (Cemento Portland Ordinario Blanco), marca Cruz Azul.

Lo anterior obedece a que son cementos hidráulicos de uso común en el Distrito Federal, ya que son los que se ofertan comúnmente en las casas de materiales. Debido a que cada cemento evaluado debe cumplir con lo establecido en la norma NMX-C-414-ONNCCE-1999 “Cementos hidráulicos-especificaciones y métodos de prueba”, la idea de mencionar la marca, es de carácter meramente informativo.

El cemento utilizado en la realización de este proyecto se adquirió a través de distintas casas de materiales y en diferente marca por cada tipo, intentando con ello un muestreo aleatorio, adquiriéndolo envasado en bultos de 50 kg, los cuales se compraron un día antes de su utilización para evitar accidentalmente su hidratación. La forma de verificar que el cemento estuviera “fresco” cuando se adquiría fue oprimiendo los bultos de papel con el dedo pulgar en varios sitios, si se deformaba se consideraba adecuado para utilizarlo.

El volumen de cemento que se compró para realizar las mezclas para cada Curva de Abrams fue de seis bultos de 50 kg cada uno. Para la fabricación de las primeras mezclas de prueba y ajuste, se compraron cuatro bultos de 50 kg tipo CPC-30R.

2.2 DISEÑO DEL EXPERIMENTO.

Distinguidos los tipos de cemento portland por verificar, se procedió a establecer el tipo de agregado pétreo, al cual se le realizaron algunas pruebas físicas, cuyos resultados son necesarios para el diseño de las mezclas de concreto. Las pruebas fueron realizadas conforme a lo indicado en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y Normas Mexicanas (NMX) correspondientes, siendo:

PRUEBA DE LABORATORIO	NORMA CORRESPONDIENTE
Muestreo	NMX-C-030-1997-ONNCCE
Reducción de muestras	NMX-C-170-1997-ONNCCE
Análisis granulométrico	NMX-C-077-1997-ONNCCE
Masa volumétrica suelta	NOM-C-073-1983
Masa volumétrica compacta	NOM-C-073-1983
Masa específica seca (agregado grueso)	NMX-C-164-ONNCCE-2002
Masa específica seca (agregado fino)	NOM-C-165-1984
Masa específica saturada superficie seca (agregado grueso)	NMX-C-164-ONNCCE-2002
Masa específica saturada superficie seca (agregado fino)	NOM-C-165-1984
Absorción (agregado grueso)	NMX-C-164-ONNCCE-2002
Absorción (agregado fino)	NOM-C-165-1984

Obtenidas las propiedades físicas de los agregados, se diseñó conforme al método propuesto por el American Concrete Institute (ACI) a través de su comité 211.1 el proyecto de mezcla inicial (PMI), misma que fue fabricada y corregida por revenimiento, obteniendo así la mezcla de ajuste uno (MA-1); de ésta mezcla se obtuvo el volumen real de aire atrapado, su masa volumétrica en estado fresco y nuevamente su revenimiento, con la intención de calcular la dosificación base real, con la cual se fabricó la mezcla de prueba uno (MP-1).

A partir de la dosificación base real y con la finalidad de comprobar que no hubiera variación en el volumen de aire atrapado, en la masa volumétrica del concreto fresco y su revenimiento, se fabricó la mezcla de prueba dos (MP-2). Corroborado lo anterior, se procedió a fabricar una tercera mezcla de prueba (MP-3), cuya relación A/C fue 0,28, a efecto de constatar la trabajabilidad del concreto para esta relación.

Es importante señalar que previo a determinar la dosificación momentánea de cualquiera de las mezclas de concreto hidráulico, fue necesario conocer la dosificación base real y la humedad de los agregados al momento de fabricar el concreto.

Una vez definida y corroborada la dosificación base real, se elaboraron distintas mezclas por cada tipo de cemento a verificar, cuyo diseño se ajustó para cada una de las siguientes relaciones A/C: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 y 0,8. De cada mezcla se elaboraron 10 especímenes cilíndricos de 15 x 30 cm, siguiendo el procedimiento señalado en la norma NOM-C-160-1986.

Los especímenes fueron desmoldados 24 horas después de su fabricación, procediendo a curarlos para posteriormente ensayarlos a compresión simple a la edad de 28 días, conforme a la norma NMX-C-083-ONNCCE-2002, cabeceándolos previamente con un mortero de azufre y arena, según la resistencia mecánica esperada.

Terminado el ensaye, se procedió al cálculo de resultados y su interpretación, utilizando la regresión exponencial como herramienta estadística para obtener la curva representativa entre la relación A/C y su correspondiente resistencia a compresión simple, obteniendo así la Curva de Abrams respectiva.

2.3 PRUEBAS FÍSICAS A LOS AGREGADOS PÉTREOS.

Para la realización de este trabajo, se consideró utilizar agregados normales, surtidos por cualquier casa de materiales, en el entendido de que éstos no satisfacen características especiales, por ejemplo, alta densidad, ser producto de algún proceso específico de obtención o trituración, entre otros, con la intención de suponer un concreto convencional elaborado con agregados comunes. Para evitar agregar una variable mas a la experimentación, se adquirió en una sola entrega la cantidad suficiente de los mismos para garantizar la terminación del experimento.

El diseño de concreto hidráulico conforme al método propuesto se basa en conocer las propiedades físicas de los agregados utilizados, mismas que se indicaron en el numeral anterior y se tratan a continuación:

2.3.1 Preliminares. Los agregados pétreos provienen de un banco ubicado en el Municipio de Huixquilucan, Estado de México y se trata de material basáltico. Con la intención de reducir incertidumbres, se adquirieron 3 m³ de cada uno (grava y arena), garantizando así su existencia para todo el proyecto. Para evitar la contaminación y disgregación de los materiales, se procedió a almacenarlos en un lugar cubierto.



Fig.01 (izquierda). Grava adquirida para el desarrollo de la experimentación.

Fig.02 (derecha). Arena adquirida para el desarrollo de la experimentación.



2.3.2 Muestreo del agregado. El muestreo del material almacenado se hizo como lo indica la norma mexicana NMX-C-030-1997-ONNCCE “Agregados-Muestreo” en su inciso 6.3.8. La cantidad en peso de la muestra compuesta fue suficiente para realizar las pruebas de laboratorio consideradas.



Fig.03 Almacén temporal de agregados



Fig.04 Muestra de agregado grueso

2.3.3 Reducción de las muestras. La reducción de cada una de las muestras compuestas obtenidas, se realizó conforme a la norma mexicana NMX-C-170-1997-ONNCCE “Reducción de las muestras de agregados obtenidas en el campo al tamaño requerido para las pruebas”.

En el caso de la grava, su reducción se hizo conforme al método B inciso 4.2 de la norma (cuarteo manual). El tamaño de la muestra reducida fue el requerido por la prueba de laboratorio respectiva, que a su vez, fue el resultado de reducir toda la muestra compuesta obtenida del almacén.

Para la arena se utilizó el método A inciso 4.1 de la norma respectiva (cuarteo mecánico). El tamaño de la muestra reducida se obtuvo de igual manera que la grava.



Fig.05 Reducción de la grava método B



Fig.06 Reducción de la arena método A

2.3.4 Análisis granulométrico. La realización de esta prueba se hizo como se indica en la norma mexicana NMX-C-077-1997-ONNCCE “Método de prueba análisis granulométrico”.

En el caso de la arena, el tamaño de la muestra reducida fue superior a 500 gramos, cumpliendo con el inciso 4.2 de la norma. En el caso de la grava, el tamaño de la muestra reducida cumplió con el mínimo establecido en el inciso 4.3 de la misma norma.



Fig.07 Cribado de arena



Fig.08 Pesado del retenido parcial de grava

En cualquier caso, la prueba de granulometría se hizo con el material completamente seco y a temperatura ambiente. El proceso de tamizado fue manual en el caso de las gravas, mientras que en las arenas se utilizó un cribador eléctrico. El tamaño de las mallas o tamices fue de 20 cm de diámetro para el agregado fino y de 40 cm para el grueso.

Los datos y resultados de las pruebas realizadas se muestran en el anexo A (Pruebas físicas a los agregados pétreos).

2.3.5 Masa volumétrica suelta y compacta. Esta prueba se realizó conforme lo marca la norma oficial mexicana NOM-C-073-1983 “Agregados para concreto” por no disponer de una actualizada. Los recipientes utilizados en la prueba en gravas y arenas cumplen con lo estipulado en el inciso 4.3. Su volumen se obtuvo como lo marca el inciso 6.1, el factor considerado fue 0,99862.



Figuras 09, 10 y 11 Determinación de la masa suelta y compacta del agregado fino (arena)

Para determinar la masa compacta y suelta, se siguió el procedimiento marcado en el inciso 6.1.2. y 6.3. respectivamente.



Figuras 12, 13 y 14 Determinación de la masa suelta y compacta del agregado grueso (grava)

Las pruebas se realizaron con el material (grava y arena) en estado seco.

2.3.6 Absorción, masa específica seca y saturada superficie seca.

Grava. La prueba se hizo conforme lo estipula la norma mexicana NMX-C-164-ONNCCE-2002 “Determinación de la masa específica y absorción de agua del agregado grueso”, reduciendo primero la muestra combinada obtenida en el almacén, procediendo enseguida a secarla y posteriormente limpiarla con aire comprimido, cuidando de no perder material grueso (material retenido por la criba No.4), lo anterior debido a la carencia de agua que hubo en las instalaciones donde se realizaron las pruebas. Una vez limpio el material, se puso a saturar en agua limpia durante el tiempo requerido en el mismo inciso.

Para obtener la masa específica se utilizó el método del picnómetro de sifón señalado en el inciso 7.1.3. La masa del agregado requerida se obtuvo por la reducción de la muestra combinada.

Se utilizó una probeta graduada con aproximación de 10 mililitros para medir el volumen del líquido desplazado en el picnómetro de sifón.



Fig.15 (izquierda) Cribado de la grava por la malla No.4 después de saturarse para llevarla a su estado saturado superficie seca.



Fig.16. (Derecha) Recolección del volumen desalojado por la masa de la muestra llevada previamente a su estado saturado superficie seca.

Para determinar su absorción, se utilizó el método propuesto en el inciso 7.1.4.2 de la misma norma. El cálculo se llevó a cabo conforme el inciso 8.

Arena. Para este material se utilizó como referencia la norma oficial mexicana NOM-C-165-1984 “Masa específica y absorción de agua del agregado fino”.

Se utilizó un frasco de Chapman con capacidad de 450 ml, graduado con aproximación de 1 ml, equipo que no menciona la norma, teniendo cuidado de expulsar el aire atrapado antes de medir el volumen desplazado de agua.

El molde y pisón utilizados cumplen con las especificaciones del inciso 4.3 y 4.4.

Para llevar el material a su estado saturado superficie seca se siguió el procedimiento descrito en el inciso 5 de la norma citada; en ningún momento se llegó a secar el material más allá de su condición saturada superficie seca.



Figuras 17, 18 y 19 Determinación de la masa específica en estado saturado superficie seca

Los resultados de las pruebas se presentan en el mismo formato de la prueba de pesos volumétricos, **anexo A** (Pruebas físicas a los agregados pétreos).

Resultado de las pruebas físicas a los agregados pétreos:

	T.N.	M.F.	Abs (%)	PVS (kg/m ³)	PVC (kg/m ³)	Pesss (kg/dm ³)	Pes (kg/dm ³)	H (%)
Grava	38 mm	- -	4,26	1 367	1 424	2,38	2,28	0,90
Arena	- -	2,92	8,70	1 422	1 503	2,34	2,15	5,00

2.4 DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MEZCLAS DE AJUSTE.

Como se ha mencionado, el método utilizado para el diseño de todas las mezclas de concreto hidráulico realizadas en este trabajo es el propuesto por el comité 211.1 del American Concrete Institute “Proporcionamiento de mezclas de concreto normal, pesado y masivo”.

Para obtener la relación agua-cemento y su correspondiente resistencia a compresión simple para cada tipo de cemento evaluado, se diseñó un proyecto de mezcla inicial con resistencia a 28 días de 250

kg/cm² y revenimiento de 10 cm. La resistencia se fijó arbitrariamente, considerando que es la generalmente utilizada en estructuras de concreto, asimismo, su relación A/C la hace ser una mezcla manejable al estar comprendida entre 0,28 y 0,8. El revenimiento se especificó para obtener un concreto manejable en estado fresco.

Una vez elaborado el proyecto de mezcla inicial (PMI), se le realizó la prueba de revenimiento conforme a lo señalado en la norma NMX-C-156-1997-ONNCCE; el revenimiento obtenido en esta mezcla resultó de 7 cm, procediendo enseguida a su corrección¹, obteniéndose así la **mezcla de ajuste uno (MA-1)**, de la cual se obtuvo su revenimiento, masa volumétrica fresca y volumen de aire atrapado, elaborando dos especímenes cilíndricos de 15x30 cm para su ensaye a 7 días y predecir su resistencia a 28 días.

Con los datos anteriores, excepto de resistencia a compresión a 7 días, se procedió a corregir el diseño de la mezcla de ajuste uno (MA-1) a través del cálculo de su dosificación base real, añadiendo mayor cantidad de arena para mejorar la relación grava-arena, ya que el proyecto de mezcla inicial (PMI) presentó exceso de agregado grueso. La mezcla obtenida se nombró como mezcla de prueba uno (**MP-1**), de la cual se obtuvieron nuevamente el revenimiento, masa volumétrica y volumen de aire atrapado, mismos que no variaron sustancialmente con los obtenidos en la MA-1. De esta mezcla se elaboraron dos especímenes para su ensaye a 7 días.

Para corroborar que con esta mezcla se obtenía el revenimiento solicitado y que la masa volumétrica del concreto fresco y su volumen de aire atrapado fueran cercanos a los obtenidos en la MP-1, sin importar la humedad relativa de los agregados, a partir de su dosificación momentánea se procedió a fabricar la mezcla de prueba dos (MP-2), cuyos resultados fueron semejantes a los obtenidos anteriormente. De ésta también se hicieron 2 especímenes cilíndricos para su ensaye a la misma edad.

Finalmente se realizó una mezcla de concreto hidráulico con relación A/C de 0,282 (**MP-3**); dejando fija la cantidad de agregados². Esta mezcla se hizo únicamente para verificar su manejabilidad y saber la factibilidad de su fabricación y compactación.

A continuación se presenta el resumen de las dosificaciones de las mezclas obtenidas, tanto consistente (considerando los agregados en estado saturado superficie seca) como momentánea (considerando al momento de su fabricación la humedad de los agregados). El cálculo pormenorizado de las dosificaciones, su resistencia a compresión simple a 7 días y su proyección a 28 días se muestran en el **anexo B**.

Proyecto de mezcla inicial (PMI)

PMI	P'h (kg)	P's (kg)	P'sss (kg)
Cemento	7,370	7,370	7,370
Grava	25,103	24,879	25,939
Arena	15,776	15,025	16,332
Agua	5,917	6,892	4,525
25 dm³	54,166	54,166	54,166



Fig.20. Mezclado del concreto

¹ De manera empírica se ha establecido la siguiente regla para la corrección del revenimiento: "considerar 2 kg de agua y la correspondiente cantidad de cemento para no alterar la relación A/C, por cm faltante de revenimiento por metro cúbico de concreto". León Fernández Orozco†. Laboratorio de Materiales de Construcción y Control de Calidad. 3ª edición año 2000, Universidad Autónoma Metropolitana, pág. 62.

² Esta cantidad corresponde a su condición saturada superficie seca, la cual cambia si se considera en estado húmedo (dosificación momentánea).

CARACTERÍSTICAS:**Revenimiento:** 7 cm.**PVc** = no se obtuvo sino después de realizar la corrección por revenimiento.**Vol. de aire** = no se obtuvo sino después de realizar la corrección por revenimiento.**Relación A/C** = 0,614**Relación Grava-arena:** se notó con exceso de grava, ya que al enrasar la mezcla con una cuchara de albañil, no se alcanza a cubrir con facilidad la grava, por lo que en el cálculo de la dosificación base real, se considerará agregar más arena que grava.**Mezcla de Ajuste uno (MA-1) una vez corregida por revenimiento el PMI**

MA-1	P'h (kg)	P's (kg)	P'sss (kg)
Cemento	7,614	7,614	7,614
Grava	25,103	24,879	25,939
Arena	15,776	15,025	16,332
Agua	6,067	7,042	4,675
25 dm³	54,560	54,560	54,560



Fig. 21. Prueba de revenimiento

CARACTERÍSTICAS:**Revenimiento:** 9,0 cm**PVc** = 2 186,656 kg/m³**Vol. de aire** = 2%**Relación A/C** = 0,525**Relación grava-arena:** aún con el incremento de lechada en la mezcla, se notó ligeramente excedida de grava, por lo que en el cálculo de la dosificación base real, se considerará agregar más arena que grava.

Consideramos que el revenimiento no varió mucho debido al tiempo que tardó en realizarse la corrección y la prueba. De esta mezcla se elaboraron dos cilindros de 15x30 cm para su ensayo a compresión a la edad de 7 días.

Mezcla de prueba uno (MP-1) dosificación base real

MP-1	P'h (kg)	P's (kg)	P'sss (kg)
Cemento	7,629	7,629	7,629
Grava	25,150	24,926	26,023
Arena	15,805	15,052	16,858
Agua	6,083	7,060	4,157
25 dm³	54,667	54,667	54,667



Fig.22. Verificación práctica del sangrado de la mezcla

CARACTERÍSTICAS:**Revenimiento:** 9,5 cm**PVc** = 2 171,822 kg/ m³**Relación A/C** = 0,545**Vol. de Aire** = 2,0%

Relación grava-arena: la considero buena, ya que al enrasar la mezcla con una cuchara de albañil, se cubre la grava con facilidad. De la mezcla se elaboraron dos especímenes cilíndricos de 15x30 cm para su ensaye a compresión simple a la edad de 7 días y predecir su resistencia a 28 días.

Mezcla de prueba dos (MP-2) para comprobar la MP-1

MP-2	P'h (kg)	P's (kg)	P'sss (kg)
Cemento	7,629	7,629	7,629
Grava	25,185	24,925	26,022
Arena	15,960	15,053	16,858
Agua	5,893	7,060	4,158
25 dm³	54,667	54,667	54,667



Fig.23. Determinación de la masa volumétrica del concreto fresco

CARACTERÍSTICAS:

Revenimiento: 10,5cm (variación de +1,0 cm respecto al revenimiento anterior).

PVc = 2 184,323 kg/ m³ (variación menor al 1% respecto al peso anterior).

Vol. de Aire = 2,0%

Relación A/C = 0,545

Relación grava-arena: buena, ya que al enrasar la mezcla con una cuchara de albañil, se cubrió la grava con facilidad. Con esta mezcla se elaboraron dos especímenes cilíndricos de 15x30 cm para ensayarlos a compresión a la edad de 7 días y comparar los resultados con la mezcla de prueba uno (MP-1).

Al dar muy parecidos los resultados de estas mezclas de concreto (MP-1 y MP-2), se procedió a diseñar una mezcla de prueba tres (MP-3) para una relación agua-cemento de 0,28, con la intención de verificar su manejabilidad. Para ello únicamente se varió la cantidad de agua y cemento de la MP-2 dejando fijas las cantidades de grava y arena, resultando:

Mezcla de prueba tres (MP-3) para verificar manejabilidad para relación A/C = 0,28

MP-3	P'h (kg)	P's (kg)	P'sss (kg)
Cemento	14,745	14,745	14,745
Grava	25,185	24,925	26,022
Arena	15,959	15,052	16,858
Agua	5,894	7,061	4,158
25 dm³	61,783	61,783	61,783



Fig.24. Determinación del volumen de aire atrapado en el concreto fresco.

CARACTERÍSTICAS:

Revenimiento: cero

PVc: no se pudo obtener por el alto volumen de huecos que presenta la mezcla, imposible de reducir mediante la compactación mecánica a través de una mesa de vibrado.

Vol. de Aire = No se pudo obtener por las mismas razones.

Relación A/C = 0,282

Relación grava-arena: regular (apenas se alcanza a cubrir la grava al pasar la cuchara sobre la mezcla con muchas pasadas). De esta mezcla se elaboraron dos especímenes cilíndricos de 15x30 cm para su

ensaye a compresión a la edad de 7 días y predecir su resistencia a 28 días. La compactación de dichos especímenes fue con ayuda de una mesa vibratoria.

El desarrollo de cálculo de cada dosificación, así como los resultados del ensaye a compresión a 7 días y su predicción a 28 días, se incluyen en el **anexo B**.

2.5 DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE PRUEBA.

Obtenida la dosificación base real, se procedió a calcular las dosificaciones necesarias para obtener la relación agua-cemento y su correspondiente resistencia a compresión simple. Para ello se dejaron fijas las cantidades de grava, arena y agua, cambiando únicamente la cantidad de cemento, respecto a la dosificación consistente (considerando el material en estado saturado superficie seca).

Las dosificaciones como podrá observarse, varían según la humedad relativa de los agregados (dosificación momentánea). Es importante recordar que la cantidad de agua considerada en la relación A/C, obedece al agua útil, es decir, aquella cantidad de agua que forma parte de la lechada y no toma en cuenta la que está dentro de los agregados.

El hecho de variar la cantidad de cemento en lugar del agua, obedece a que el método recomendado por el ACI, está en función del revenimiento y el tamaño nominal del agregado grueso, mismos que determinan la cantidad de agua a utilizar y en función de ésta, se determina la cantidad de cemento a través de la relación A/C.

2.5.1 Cemento CPP 30 R.

El primer cemento evaluado fue el **CPP 30 R (Cemento Portland Puzolánico de clase resistente 30, con alta resistencia inicial)**, cuyas relaciones A/C propuestas fueron 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 y 0,8. De cada una de ellas se fabricaron 10 especímenes cilíndricos de 15 x 30 cm, los cuales fueron ensayados a compresión simple a la edad de 28 días.

2.5.2 Cemento CPC 30 R.

El segundo tipo de cemento utilizado fue el **CPC 30 R (Cemento Portland Compuesto de clase resistente 30, con alta resistencia inicial)**. Para este cemento solo se consideraron las siguientes relaciones A/C: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 y 0,7, ya que la mezcla con relación A/C = 0,8 resulta muy fluida debido a la dispersión de sus partículas.

De igual forma, se fabricaron 10 especímenes cilíndricos de 15 x 30 cm por cada relación A/C, mismos que fueron ensayados a compresión simple a la edad de 28 días.

2.5.3 Cemento CPO 40 R/B.

Por último, se utilizó cemento **CPO 40 R (Cemento Portland Ordinario de clase resistente 40, con alta resistencia inicial)** con las variaciones A/C siguientes: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 y 0,7, fabricándose 10 especímenes cilíndricos de 15 x 30 cm, los cuales fueron ensayados a compresión simple a la edad de 28 días.

A continuación se resumen las dosificaciones base para cada relación agua-cemento utilizada y para cada cemento evaluado. El análisis detallado de cada una se muestra en el **anexo C**.

El factor F, indica la cantidad de dm^3 fabricado por $1\ 000dm^3$ de concreto.

A/C = 0.300	Dosificación Base			Cemento CPP 30R			Cemento CPC 30R			Cemento CPO 40 R/B		
	P's (kg)	P's (kg)	P'sss (kg)	H	F	P'h (kg)	H	F	P'h (kg)	H	F	P'h (kg)
Cemento	554.341	33.260	33.260	- - -	0.060	33.260	- - -	0.060	33.260	- - -	0.063	34.923
Grava	997.012	59.821	62.453	0.010		60.419	0.016		60.778	0.015		63.754
Arena	602.077	36.125	40.460	0.039		37.533	0.053		38.039	0.052		39.903
Agua	282.413	16.945	9.978	- - -		14.938	- - -		14.073	- - -		14.877
Masa (kg)	2435.843	146.151	146.151			146.150			146.150			153.457

A/C = 0,400	Dosificación Base			Cemento CPP 30R			Cemento CPC 30R			Cemento CPO 40 R/ B		
	P's (kg)	P's (kg)	P'sss (kg)	H	F	P'h (kg)	H	F	P'h (kg)	H	F	P'h (kg)
Cemento	415.730	27.022	27.022	- - -	0.065	27.022	- - -	0.065	27.022	- - -	0.065	27.022
Grava	997.012	64.806	67.657	0.013		65.648	0.014		65.713	0.013		65.648
Arena	602.077	39.135	43.831	0.041		40.740	0.044		40.857	0.045		40.896
Agua	282.413	18.357	10.809	- - -		15.910	- - -		15.728	- - -		15.753
Masa (kg)	2297.232	149.320	149.319			149.320			149.320			149.319

A/C = 0,500	Dosificación Base			Cemento CPP 30R			Cemento CPC 30R			Cemento CPO 40 R/ B		
	P's (kg)	P's (kg)	P'sss (kg)	H	F	P'h (kg)	H	F	P'h (kg)	H	F	P'h (kg)
Cemento	332.592	21.618	21.618	- - -	0.065	21.618	- - -	0.065	21.618	- - -	0.065	21.618
Grava	997.012	64.806	67.657	0.011		65.519	0.016		65.843	0.013		65.648
Arena	602.077	39.135	43.831	0.041		40.740	0.048		41.014	0.045		40.896
Agua	282.413	18.357	10.809	- - -		16.039	- - -		15.441	- - -		15.753
Masa (kg)	2214.094	143.916	143.915			143.916			143.916			143.915

A/C = 0,600	Dosificación Base			Cemento CPP 30R			Cemento CPC 30R			Cemento CPO 40 R/ B		
	P's (kg)	P's (kg)	P'sss (kg)	H	F	P'h (kg)	H	F	P'h (kg)	H	F	P'h (kg)
Cemento	277.161	18.015	18.015	- - -	0.065	18.015	- - -	0.065	18.015	- - -	0.065	18.015
Grava	997.012	64.806	67.657	0.017		65.907	0.009		65.389	0.012		65.583
Arena	602.077	39.135	43.831	0.059		41.444	0.042		40.779	0.047		40.974
Agua	282.413	18.357	10.809	- - -		14.946	- - -		16.130	- - -		15.740
Masa (kg)	2158.663	140.313	140.312			140.312			140.313			140.312

A/C = 0,700	Dosificación Base			Cemento CPP 30R			Cemento CPC 30R			Cemento CPO 40 R/ B		
	P's (kg)	P's (kg)	P'sss (kg)	H	F	P'h (kg)	H	F	P'h (kg)	H	F	P'h (kg)
Cemento	237.561	15.441	15.441	- - -	0.065	15.441	- - -	0.065	15.441	- - -	0.065	15.441
Grava	997.012	64.806	67.657	0.012		65.583	0.009		65.389	0.012		65.583
Arena	602.077	39.135	43.831	0.046		40.935	0.042		40.779	0.050		41.092
Agua	282.413	18.357	10.809	- - -		15.779	- - -		16.130	- - -		15.622
Masa (kg)	2119.063	137.739	137.738			137.738			137.739			137.738

A/C = 0,800	Dosificación Base			Cemento CPP 30R			Cemento CPC 30R			Cemento CPO 40 R/ B		
	P's (kg)	P's (kg)	P'sss (kg)	H	F	P'h (kg)	H	F	P'h (kg)	H	F	P'h (kg)
Cemento	207.869	14.551	14.551	- - -	0.070	14.551	- - -	Mezcla demasiado fluida	- - -	- - -	Mezcla demasiado fluida	- - -
Grava	997.012	69.791	72.862	0.009		70.419	- - -		- - -	- - -		- - -
Arena	602.077	42.145	47.203	0.040		43.831	- - -		- - -	- - -		- - -
Agua	282.413	19.769	11.641	- - -		17.455	- - -		- - -	- - -		- - -
Masa (kg)	2089.371	146.256	146.256			146.256			- - -			- - -

2.6 Fabricación, curado y cabeceo de especímenes.

Para la fabricación de los especímenes no fue necesario realizar un muestreo del concreto fresco, ya que el volumen fabricado fue el suficiente para realizar la prueba de revenimiento y por aparte, el llenado de los 10 especímenes de 15x30 cm.



Fig.25. (Izquierda). Artesa con parte de la mezcla de concreto fabricado.



Fig.26. (Derecha). Prueba de revenimiento.

La prueba de revenimiento se hizo conforme a la norma mexicana NMX-C-156-1997-ONNCCE "Determinación del revenimiento en el concreto fresco"; el equipo utilizado cumplió con lo especificado en dicha norma.

La fabricación de los especímenes se hizo conforme a la norma NOM-C-160-1986 “Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto”.

Respecto al curado de los especímenes, éste se hizo mediante inmersión, tal como lo señala la norma mexicana NMX-C-148-ONNCCE-2002 “Gabinetes y cuartos húmedos y tanques de almacenamiento para el curado de especímenes de mortero y concreto de cementantes hidráulico”, en su numeral 3.4, salvo el mantener la temperatura del agua en un rango de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. En nuestro caso, la temperatura del agua de curado fue en promedio de 18°C . Para poder detectar alguna diferencia en la resistencia del concreto curado a esta temperatura y la indicada en la norma señalada, se elaboraron seis especímenes con una misma mezcla de concreto, los cuales fueron curados por inmersión, tres de ellos a una temperatura de 24°C y los otros tres a 18°C ver **anexo G**.



Fig.27. (Izquierda). Llenado de los moldes cilíndricos de 15x30 cm.



Fig.28. (Derecha). Espécimen de concreto terminado y enrasado.

Una vez que los especímenes cumplieron la edad de 28 días, se procedió a sacarlos del tanque de almacenamiento con agua para su cabeceo y ensaye. El cabeceo se realizó conforme lo indicado en la norma mexicana NMX-C-109-1997-ONNCCE “Cabeceo de especímenes cilíndricos”. Al azufre utilizado para el cabeceo se le hizo una prueba de resistencia mecánica a compresión, resultando en promedio de 170 kg/cm^2 , por lo que se tuvo que mejorar mediante la adición de arena. La proporción en peso utilizada fue 60% azufre y 40% arena basáltica del #100. Con esto, la resistencia promedio obtenida de tres especímenes cúbicos de 5x5 cm fue en promedio de 520 kg/cm^2 . Esta elección de mortero de cabeceo se hizo en función del trabajo de investigación desarrollado en la Universidad Autónoma Metropolitana por el Área de Construcción³, el cual se presenta en el **anexo D**.



Fig.29. (Izquierda). Cabeceador de acero con respaldo y guía para asegurar la perpendicularidad entre el eje longitudinal y las caras de aplicación de carga. Mazo de neopreno para desmolde del espécimen una vez endurecido el mortero de cabeceo.



Fig.30. (Derecha). Espécimen con mortero azufre-arena del No.100 en proporción 60-40 en peso. La fotografía corresponde al espécimen No. 10, relación A/C = 0,4 y cemento CPO 40R/ B.

³ Estudio de morteros compuestos para cabeceo de especímenes cilíndricos de concreto. Ing. Francisco González Díaz. Universidad Autónoma Metropolitana, 2003.

2.7 ENSAYE A COMPRESIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE PRUEBA

El ensaye a compresión de los especímenes se realizó en una prensa hidráulica de doble manómetro, con capacidad de 120 toneladas. La calibración del equipo se verificó antes de realizar las pruebas, la cual se detalla en el **anexo F**, cumpliendo con lo señalado en el numeral 4.3 de la norma mexicana NMX-C-083-ONNCCE-2002. La prensa tiene un motor eléctrico que permite regular la velocidad de carga, misma que se fijó en 2,4 kN/s, considerando que el diámetro promedio de los especímenes es de 15 cm. El ensaye se hizo conforme la norma mexicana antes citada. El tiempo de maduración del mortero de cabeceo fue de 2 horas.



Fig.31. (Izquierda). Prensa hidráulica con capacidad de 120 toneladas, doble manómetro, motor eléctrico con regulador de velocidad de carga. El equipo cumple con lo especificado en la norma mexicana NMX-C-083-ONNCCE-2002.



Fig.32. (Derecha). Residuos de un espécimen ensayado a compresión simple. Como puede observarse, la preparación del espécimen y la aplicación de la carga fueron adecuados.

Una vez obtenida la carga de falla de los especímenes, se procedió a calcular su resistencia a compresión mediante la expresión:
$$\sigma = \frac{P \text{ (kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}} \times 9.81 \frac{\text{(m)}}{\text{(seg}^2\text{)}}$$

En el **Anexo E** se presentan los datos correspondientes al ensaye de los especímenes, incluyendo la carga de falla. En principio se consideró la relación A/C y el promedio aritmético del conjunto de 10 valores de resistencia, para obtener la Curva de Abrams para cada tipo de cemento evaluado; sin embargo, este criterio no considera la distribución real de los datos obtenidos, por lo que en su lugar, se propuso obtener una función que pudiera ajustarse a los puntos obtenidos (abscisas: relación A/C, ordenadas: resistencia a compresión).

A continuación se muestra el resumen de resultados a compresión para cada relación A/C para los tres tipos de cemento portland evaluados.

RESULTADOS DE PRUEBAS A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO

Fecha de fabricación: Sábado, 15 de Octubre de 2005 **Tipo de cemento:** Cemento CPC 30R
Fecha de ensaye: Sábado, 12 de Noviembre de 2005 **Relaciones A/C utilizadas:** 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 y 0,8
No. total de especímenes elaborados: 60 **Número de especímenes por relación A/C:** 10
No. total de especímenes ensayados: 60

No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	Resistencia (Kg/cm ²)	Promedio aritmético	No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	Resistencia (Kg/cm ²)	Promedio aritmético
1	0.3	M-1	402	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²)	31	0.6	M-1	210	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²)
2		M-2	407		32		M-2	207	
3		M-3	434		33		M-3	204	
4		M-4	420		34		M-4	245	
5		M-5	443	35	M-5		221	218	
6		M-6	420	36	M-6		226		
7		M-7	387	37	M-7		223	Peso volumétrico (Kg/ m ³)	
8		M-8	386	38	M-8		217		
9		M-9	439	39	M-9		223		
10		M-10	417	40	M-10		204		
11	0.4	M-1	329	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²)	41	0.7	M-1	154	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²)
12		M-2	338		42		M-2	155	
13		M-3	337		43		M-3	154	
14		M-4	348		44		M-4	144	
15		M-5	343	45	M-5		156	155	
16		M-6	345	46	M-6		155		
17		M-7	335	47	M-7		165	Peso volumétrico (Kg/ m ³)	
18		M-8	364	48	M-8		153		
19		M-9	350	49	M-9		155		
20		M-10	327	50	M-10		156		
21	0.5	M-1	251	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²)	51	0.8	M-1	87	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²)
22		M-2	265		52		M-2	115	
23		M-3	269		53		M-3	110	
24		M-4	269		54		M-4	94	
25		M-5	250	55	M-5		114	99	
26		M-6	259	56	M-6		91		
27		M-7	260	57	M-7		111	Peso volumétrico (Kg/ m ³)	
28		M-8	257	58	M-8		83		
29		M-9	259	59	M-9		109		
30		M-10	246	60	M-10		76		

RESULTADOS DE PRUEBAS A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO

Fecha de fabricación: Sábado, 22 de Octubre de 2005 **Tipo de cemento:** Cemento CPP 30R
Fecha de ensaye: Sábado, 19 de Noviembre de 2005 **Relaciones A/C utilizadas:** 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 y 0,7
No. total de especímenes elaborados: 50 **Número de especímenes por relación A/C:** 10
No. total de especímenes ensayados: 50

No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	Resistencia (Kg/cm ²)	Promedio aritmético	No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	Resistencia (Kg/cm ²)	Promedio aritmético
1	0.3	M-1	446	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²)	31	0.6	M-1	234	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²)
2		M-2	457		32		M-2	240	
3		M-3	456		33		M-3	218	
4		M-4	467		34		M-4	226	
5		M-5	451	35	M-5		215	223	
6		M-6	468	36	M-6		231		
7		M-7	462	37	M-7		214	Peso volumétrico (Kg/ m ³)	
8		M-8	465	38	M-8		217		
9		M-9	466	39	M-9		215		
10		M-10	468	40	M-10		206		
11	0.4	M-1	352	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²)	41	0.7	M-1	141	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²)
12		M-2	347		42		M-2	140	
13		M-3	371		43		M-3	136	
14		M-4	358		44		M-4	142	
15		M-5	368	45	M-5		137	137	
16		M-6	374	46	M-6		135		
17		M-7	343	47	M-7		123	Peso volumétrico (Kg/ m ³)	
18		M-8	364	48	M-8		136		
19		M-9	343	49	M-9		134		
20		M-10	360	50	M-10		134		
21	0.5	M-1	269	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²)					
22		M-2	258						
23		M-3	246						
24		M-4	262						
25		M-5	260	266					
26		M-6	291	Peso volumétrico (Kg/ m ³)					
27		M-7	282						
28		M-8	259						
29		M-9	261						
30		M-10	267	2158					

RESULTADOS DE PRUEBAS A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO

Fecha de fabricación: Sábado, 29 de Octubre de 2005 **Tipo de cemento:** Cemento CPO 40R
Fecha de ensaye: Sábado, 26 de Noviembre de 2005 **Relaciones A/C utilizadas:** 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7.
No. total de especímenes elaborados: 50 **Número de especímenes por relación A/C:** 10
No. total de especímenes ensayados: 50

No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	Resistencia (Kg/cm ²)	Promedio aritmético	No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	Resistencia (Kg/cm ²)	Promedio aritmético
1	0.3	M-1	474	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²) 479	31	0.6	M-1	263	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²) 265
2		M-2	472		32		M-2	291	
3		M-3	496		33		M-3	268	
4		M-4	465		34		M-4	282	
5		M-5	488		35		M-5	265	
6		M-6	452	Peso volumétrico (Kg/ m ³) 2177	36		M-6	237	Peso volumétrico (Kg/ m ³) 2125
7		M-7	496		37		M-7	257	
8		M-8	475		38		M-8	251	
9		M-9	479		39		M-9	271	
10		M-10	488		40		M-10	263	
11	0.4	M-1	419	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²) 413	41	0.7	M-1	217	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²) 212
12		M-2	408		42		M-2	210	
13		M-3	439		43		M-3	208	
14		M-4	403		44		M-4	229	
15		M-5	411		45		M-5	212	
16		M-6	389	Peso volumétrico (Kg/ m ³) 2164	46		M-6	207	Peso volumétrico (Kg/ m ³) 2139
17		M-7	416		47		M-7	212	
18		M-8	415		48		M-8	205	
19		M-9	407		49		M-9	213	
20		M-10	418		50		M-10	207	
21	0.5	M-1	321	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²) 344					
22		M-2	342						
23		M-3	332						
24		M-4	356						
25		M-5	371						
26		M-6	342	Peso volumétrico (Kg/ m ³) 2143					
27		M-7	340						
28		M-8	352						
29		M-9	337						
30		M-10	350						

2.7.1 Corrección de la resistencia a compresión simple por temperatura de curado.

El curado de todos los especímenes de concreto fue mediante inmersión en agua saturada con cal para evitar el fenómeno de lixiviación. Se llevó un registro de la temperatura del agua, la cual en promedio estuvo a 17° centígrados. Al estar fuera del rango establecido en la norma mexicana correspondiente, se procedió a fabricar seis especímenes de concreto para corroborar si existe un cambio sustancial en su resistencia por variación de temperatura, procediendo a curar tres de ellos por inmersión a una temperatura de 23° C y los otros tres a una temperatura de 18° C.

La variación encontrada fue de -1,56%, lo cual no consideramos representativo, ya que existen factores de variación que pueden involucrar una variación más significativa; no obstante, se proporciona la información necesaria para poder ser considerada en caso de que así se requiera. La realización de esta comparativa entre las temperaturas de curado por inmersión y su resistencia a compresión simple se detallan en el **anexo G**.

RESUMEN

El experimento consistió en obtener una muestra de diez especímenes cilíndricos de 15x30cm para las relaciones A/C = 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 y 0,7 y para cada uno de los tres tipos de cemento portland verificados (CPP 30R, CPC 30R y CPO 40R/ B), totalizando 160 especímenes.

Previo al diseño de las mezclas, se realizaron en los agregados las pruebas físicas de granulometría, masa volumétrica suelta y compacta, masa específica seca y en estado saturado superficie seca y su absorción.

Para cada mezcla de prueba se realizaron en el concreto fresco las pruebas de revenimiento, sangrado y consistencia, además de obtener su masa volumétrica y contenido de aire atrapado.

Una vez obtenido el diseño definitivo del concreto y para dosificar la mezcla para cada relación A/C, se procedió a variar únicamente la cantidad de cemento, considerando a los agregados en estado saturado superficie seca, es decir, considerando el agua útil de la mezcla.

Tanto las pruebas realizadas a los agregados pétreos como al concreto en estado fresco y endurecido se hicieron conforme a lo indicado en las normas oficiales mexicanas y normas mexicanas.

Todos los especímenes fueron ensayados a compresión simple a la edad de 28 días. Previo al ensaye, cada espécimen fue cabeceado con mortero azufre-arena.

La tabla siguiente sintetiza los resultados obtenidos de laboratorio:

Relación A/C	Resistencia a compresión (kg/ cm ²)**			
	CPO 40R/ B	CPC 30R	CPP 30R	ACI*
0.3	497	447	476	- -
0.4	404	338	355	430
0.5	328	256	265	334
0.6	267	193	198	260
0.7	217	146	148	200
0.8	176	111	110	150

* Valores correspondientes a la tabla 6.3.4 (a) propuesta por el comité 211.1 del American Concrete Institute

** Los valores corresponden al resultado de haber ajustado una función exponencial al conjunto de datos.

CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

INTRODUCCIÓN

En este último capítulo, se hace la interpretación de los resultados relativos a las pruebas de laboratorio, la validación de la hipótesis y la conclusión particular sobre la misma. Posteriormente, se comenta la aplicación del presente trabajo y la conclusión general del mismo.

3.1 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La interpretación de resultados está en función de los objetivos establecidos en este trabajo.

Para cumplir con el objetivo general y particular de la presente investigación, es necesario determinar la resistencia a compresión que corresponde a cada relación A/C, mismas que fueron establecidas en el desarrollo experimental.

En el caso del objetivo general, es necesario comparar la curva característica propuesta por el ACI a través de su comité 211.1, contra la obtenida específicamente de los cementos considerados: CPP 30R, CPC 30R y CPO 40R.

Como resultado del trabajo de laboratorio, se obtuvo para cada relación A/C una serie de 10 valores de resistencia a compresión simple a la edad de 28 días, el conjunto de estas series con su respectiva relación A/C integran el universo de datos con los que se evaluó cada cemento.

Interpretando los resultados que se muestran a continuación, tenemos un solo valor como abscisa (relación A/C) al cual corresponden 10 valores como ordenadas (resistencia a compresión obtenida).

Es importante señalar que los valores considerados, corresponden a los corregidos por temperatura, debido a que la variación de resistencia entre especímenes curados por inmersión en agua saturada con cal para evitar el fenómeno de lixiviación a una temperatura de 23°C y especímenes curados a temperatura de 18°C bajo las mismas condiciones, representa una variación promedio de 1,56%, variación inferior a la que presentan entre si los mismos especímenes que constituyen cada serie de datos.

RESULTADOS DE PRUEBAS A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO

Fecha de fabricación: Sábado, 15 de Octubre de 2005

Tipo de cemento: Cemento CPC 30R

Fecha de ensaye: Sábado, 12 de Noviembre de 2005

Relaciones A/C utilizadas: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 y 0,8

No. total de especímenes elaborados: 60

Número de especímenes por relación A/C: 10

No. total de especímenes ensayados: 60

No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	Resistencia (Kg/cm ²)	No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	Resistencia (Kg/cm ²)	No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	Resistencia (Kg/cm ²)
1	0,3	M-1	402	21	0,5	M-1	251	41	0,7	M-1	154
2		M-2	407	22		M-2	265	42		M-2	155
3		M-3	434	23		M-3	269	43		M-3	154
4		M-4	420	24		M-4	269	44		M-4	144
5		M-5	443	25		M-5	250	45		M-5	156
6		M-6	420	26		M-6	259	46		M-6	155
7		M-7	387	27		M-7	260	47		M-7	165
8		M-8	386	28		M-8	257	48		M-8	153
9		M-9	439	29		M-9	259	49		M-9	155
10		M-10	417	30		M-10	246	50		M-10	156
11	0,4	M-1	329	31	0,6	M-1	210	51	0,8	M-1	87
12		M-2	338	32		M-2	207	52		M-2	115
13		M-3	337	33		M-3	204	53		M-3	110
14		M-4	348	34		M-4	245	54		M-4	94
15		M-5	343	35		M-5	221	55		M-5	114
16		M-6	345	36		M-6	226	56		M-6	91
17		M-7	335	37		M-7	223	57		M-7	111
18		M-8	364	38		M-8	217	58		M-8	83
19		M-9	350	39		M-9	223	59		M-9	109
20		M-10	327	40		M-10	204	60		M-10	76

RESULTADOS DE PRUEBAS A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO

Fecha de fabricación: Sábado, 22 de Octubre de 2005
 Fecha de ensaye: Sábado, 19 de Noviembre de 2005

Tipo de cemento: Cemento CPP 30R
 Relaciones A/C utilizadas: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 y 0,7.

No. total de especímenes elaborados: 50
 No. total de especímenes ensayados: 50

Número de especímenes por relación A/C: 10

No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	Resistencia (Kg/cm ²)	No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	Resistencia (Kg/cm ²)	No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	Resistencia (Kg/cm ²)
1	0.3	M-1	446	21	0.5	M-1	269	41	0.7	M-1	141
2		M-2	457	22		M-2	258	42		M-2	140
3		M-3	456	23		M-3	246	43		M-3	136
4		M-4	467	24		M-4	262	44		M-4	142
5		M-5	451	25		M-5	260	45		M-5	137
6		M-6	468	26		M-6	291	46		M-6	135
7		M-7	462	27		M-7	282	47		M-7	123
8		M-8	465	28		M-8	259	48		M-8	136
9		M-9	466	29		M-9	261	49		M-9	134
10		M-10	468	30		M-10	267	50		M-10	134
11	0.4	M-1	352	31	0.6	M-1	234				
12		M-2	347	32		M-2	240				
13		M-3	371	33		M-3	218				
14		M-4	358	34		M-4	226				
15		M-5	368	35		M-5	215				
16		M-6	374	36		M-6	231				
17		M-7	343	37		M-7	214				
18		M-8	364	38		M-8	217				
19		M-9	343	39		M-9	215				
20		M-10	360	40		M-10	206				

RESULTADOS DE PRUEBAS A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO

Fecha de fabricación: Sábado, 29 de Octubre de 2005
 Fecha de ensaye: Sábado, 26 de Noviembre de 2005

Tipo de cemento: Cemento CPO 40R
 Relaciones A/C utilizadas: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 y 0,7.

No. total de especímenes elaborados: 50
 No. total de especímenes ensayados: 50

Número de especímenes por relación A/C: 10

No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	Resistencia (Kg/cm ²)	No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	Resistencia (Kg/cm ²)	No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	Resistencia (Kg/cm ²)
1	0,3	M-1	474	21	0,5	M-1	321	41	0,7	M-1	217
2		M-2	472	22		M-2	342	42		M-2	210
3		M-3	496	23		M-3	332	43		M-3	208
4		M-4	465	24		M-4	356	44		M-4	229
5		M-5	488	25		M-5	371	45		M-5	212
6		M-6	452	26		M-6	342	46		M-6	207
7		M-7	496	27		M-7	340	47		M-7	212
8		M-8	475	28		M-8	352	48		M-8	205
9		M-9	479	29		M-9	337	49		M-9	213
10		M-10	488	30		M-10	350	50		M-10	207
11	0,4	M-1	419	31	0,6	M-1	263				
12		M-2	408	32		M-2	291				
13		M-3	439	33		M-3	268				
14		M-4	403	34		M-4	282				
15		M-5	411	35		M-5	265				
16		M-6	389	36		M-6	237				
17		M-7	416	37		M-7	257				
18		M-8	415	38		M-8	251				
19		M-9	407	39		M-9	271				
20		M-10	418	40		M-10	263				

De la información anterior, procederemos a comparar la Curva de Abrams propuesta por el ACI, calculando a través de métodos numéricos y con ayuda de herramientas estadísticas, la función matemática aproximada a partir de los resultados, en este caso una regresión o "ajuste de curva".

De inicio podemos descartar se trate de una regresión lineal por obvios motivos, por lo que la regresión tendría que ser polinomial, exponencial o potencial. Para determinar el tipo de regresión que permite un mejor ajuste de la función a los puntos dados, es necesario proponer una tolerancia o margen de error, mismo que se compara con el error estándar evaluado en la función (obtenido a través de mínimos cuadrados). La primera función considerada sería un polinomio de segundo grado, en seguida una de tercer grado y así sucesivamente. No hay que perder de vista que la mejor aproximación de un polinomio no está en función de su grado, sino de comparar su correspondiente error contra la tolerancia que se ha fijado, sin descuidar que entre mayor es el grado del polinomio, más inestable puede volverse el sistema de ecuaciones lineales que utilizamos para resolverlo.

Una manera práctica de proponer la función de ajuste, es el de graficar por tabulación los puntos obtenidos y con ello darnos idea de ella; en tal sentido, hay que recordar que el Ing. Duff A. Abrams¹ realizó investigaciones sobre los efectos de la cantidad de agua de mezclado en la resistencia del concreto, y que de manera práctica se resume en la siguiente gráfica, estableciendo la ecuación de la

curva como $S = \frac{A}{B^X}$; donde:

S= resistencia del concreto a compresión

A y B= son constantes que dependen de la calidad del cemento utilizado, edad del concreto, condiciones de curado, etc.

X= relación A/C en volumen

Nota: Es pertinente señalar que está fuera del alcance de este trabajo una revisión de las teorías de diseño de concreto.

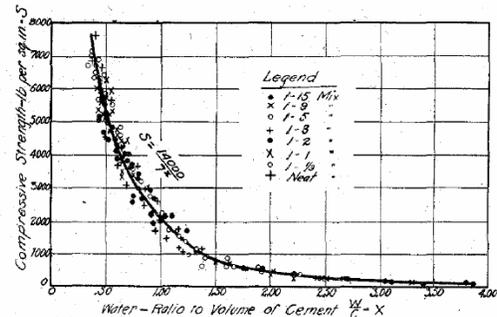


FIG. 1. RELATION BETWEEN STRENGTH OF CONCRETE AND WATER CONTENT
Twenty-eight-day compression tests of 6 by 12-inch cylinders. (Series 83.)

De lo anterior, se concluye que la función que debe considerarse para ajustar los resultados obtenidos es la regresión exponencial, cuyo procedimiento de manera sucinta, se desarrolla a continuación:

La función exponencial, de manera general está dada por la expresión $y = Ae^{BX}$, misma que es posible transformar utilizando logaritmos:

$$\ln y = \ln A + \ln e^{BX}$$

$$\ln y = \ln A + BX \dots \dots 1)$$

si $a_0 = \ln A$ y $a_1 = B$, podemos escribir la ecuación 1) como:

$$\ln y = a_0 + a_1X \dots \dots 2)$$

Por otra parte, al utilizar métodos numéricos para ajustar una función exponencial a los resultados obtenidos, se obtiene el siguiente sistema matricial:

$$\begin{bmatrix} M & \Sigma X \\ \Sigma X & \Sigma X^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma \ln y \\ \Sigma X \ln y \end{bmatrix}$$

donde: M = número de datos del sistema
X = relación A/C
y = resistencia a compresión simple

realizando las operaciones queda:

$$\begin{aligned} Ma_0 + \Sigma Xa_1 &= \Sigma \ln y \\ \Sigma Xa_0 + \Sigma X^2a_1 &= \Sigma X \ln y \end{aligned}$$

3.1.1 Cemento CPC 30R.

Resolviendo el sistema con los resultados específicos del cemento tipo CPC 30R queda:

¹ Design of Concrete Mixtures. Duff A. Abrams, Lewis Institute, 1924.

	X	Y	X2	ln Y	x ln Y
1	0.3	402	0.09	5.996452	1.798936
2	0.3	407	0.09	6.008813	1.802644
3	0.3	434	0.09	6.073045	1.821914
4	0.3	420	0.09	6.040255	1.812077
5	0.3	443	0.09	6.09357	1.828071
6	0.3	420	0.09	6.040255	1.812077
7	0.3	387	0.09	5.958425	1.787528
8	0.3	386	0.09	5.955837	1.786751
9	0.3	439	0.09	6.084499	1.82535
10	0.3	417	0.09	6.033086	1.809926
11	0.4	329	0.16	5.796058	2.318423
12	0.4	338	0.16	5.823046	2.329218
13	0.4	337	0.16	5.820083	2.328033
14	0.4	348	0.16	5.852202	2.340881
15	0.4	343	0.16	5.83773	2.335092
16	0.4	345	0.16	5.843544	2.337418
17	0.4	335	0.16	5.814131	2.325652
18	0.4	364	0.16	5.897154	2.358862
19	0.4	350	0.16	5.857933	2.343173
20	0.4	327	0.16	5.78996	2.315984
21	0.5	251	0.25	5.525453	2.762727
22	0.5	265	0.25	5.57973	2.789865
23	0.5	269	0.25	5.594711	2.797356
24	0.5	269	0.25	5.594711	2.797356
25	0.5	250	0.25	5.521461	2.760731
26	0.5	259	0.25	5.556828	2.778414
27	0.5	260	0.25	5.560682	2.780341
28	0.5	257	0.25	5.549076	2.774538
29	0.5	259	0.25	5.556828	2.778414
30	0.5	246	0.25	5.505332	2.752666
31	0.6	210	0.36	5.347108	3.208265
32	0.6	207	0.36	5.332719	3.199631
33	0.6	204	0.36	5.31812	3.190872
34	0.6	245	0.36	5.501258	3.300755
35	0.6	221	0.36	5.398163	3.238898
36	0.6	226	0.36	5.420535	3.252321
37	0.6	223	0.36	5.407172	3.244303
38	0.6	217	0.36	5.379897	3.227938
39	0.6	223	0.36	5.407172	3.244303
40	0.6	204	0.36	5.31812	3.190872
41	0.7	154	0.49	5.036953	3.525867
42	0.7	155	0.49	5.043425	3.530398
43	0.7	154	0.49	5.036953	3.525867
44	0.7	144	0.49	4.969813	3.478869
45	0.7	156	0.49	5.049856	3.534899
46	0.7	155	0.49	5.043425	3.530398
47	0.7	165	0.49	5.105945	3.574162
48	0.7	153	0.49	5.030438	3.521307
49	0.7	155	0.49	5.043425	3.530398
50	0.7	156	0.49	5.049856	3.534899
51	0.8	87	0.64	4.465908	3.572726
52	0.8	115	0.64	4.744932	3.795946
53	0.8	110	0.64	4.70048	3.760384
54	0.8	94	0.64	4.543295	3.634636
55	0.8	114	0.64	4.736198	3.788958
56	0.8	91	0.64	4.51086	3.608688
57	0.8	111	0.64	4.70953	3.767624
58	0.8	83	0.64	4.418841	3.535073
59	0.8	109	0.64	4.691348	3.753078
60	0.8	76	0.64	4.330733	3.464586
M	ΣX	ΣY	ΣX^2	$\Sigma \ln y$	$\Sigma X \ln y$
60	33	14873	19.9	324.253368	173.457339

60 $a_0 + 33,0 a_1 = 324,253368$ multiplicando por -33
33 $a_0 + 19,9 a_1 = 173,457339$ multiplicando por 60

-1 980 $a_0 - 1 089 a_1 = -10 700,361144$
1 980 $a_0 + 1 194 a_1 = 10 407,440340$

$$105 a_1 = -292,920804$$

$$a_1 = -2,789722$$

por lo tanto: $a_0 = 6,938570$

recordando que:

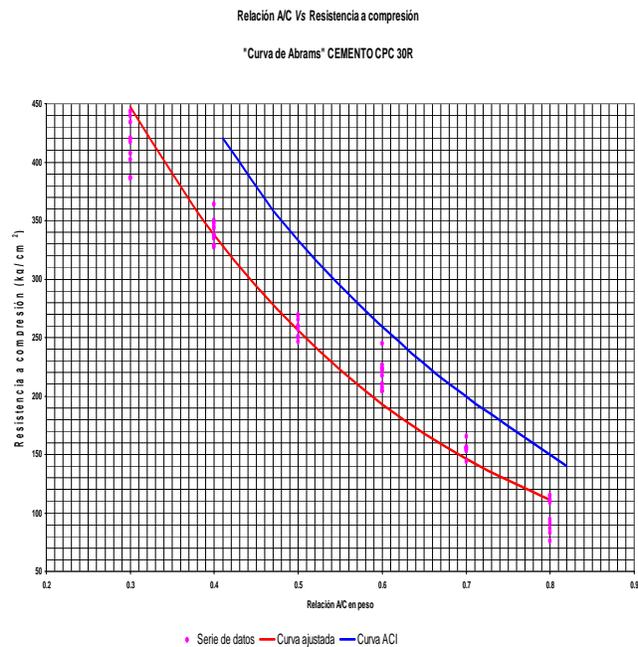
$$A = e^{a_0} = e^{6,938570} = 1 031,294409$$

$$B = a_1 = -2,789722$$

considerando que $y = A e^{Bx}$, podemos obtener la función representativa de la curva de Abrams para cemento tipo CPC 30R:

$$y = 1 031,294409 e^{-2,789722 X}$$

y cuya comparativa con la curva propuesta por el ACI puede observarse en la gráfica siguiente:



CEMENTO TIPO CPP 30R

	X	Y	X2	ln Y	x ln Y
1	0.3	446	0.09	6.100319	1.830096
2	0.3	457	0.09	6.124683	1.837405
3	0.3	456	0.09	6.122493	1.836748
4	0.3	467	0.09	6.146329	1.843899
5	0.3	451	0.09	6.111467	1.83344
6	0.3	468	0.09	6.148468	1.84454
7	0.3	462	0.09	6.135565	1.84067
8	0.3	465	0.09	6.142037	1.842611
9	0.3	466	0.09	6.144186	1.843256
10	0.3	468	0.09	6.148468	1.84454
11	0.4	352	0.16	5.863631	2.345452
12	0.4	347	0.16	5.849325	2.33973
13	0.4	371	0.16	5.916202	2.366481
14	0.4	358	0.16	5.880533	2.352213
15	0.4	368	0.16	5.908083	2.363233
16	0.4	374	0.16	5.924256	2.369702
17	0.4	343	0.16	5.83773	2.335092
18	0.4	364	0.16	5.897154	2.358862
19	0.4	343	0.16	5.83773	2.335092
20	0.4	360	0.16	5.886104	2.354442
21	0.5	269	0.25	5.594711	2.797356
22	0.5	258	0.25	5.55296	2.77648
23	0.5	246	0.25	5.505332	2.752666
24	0.5	262	0.25	5.568345	2.784173
25	0.5	260	0.25	5.560682	2.780341
26	0.5	291	0.25	5.673323	2.836662
27	0.5	282	0.25	5.641907	2.820954
28	0.5	259	0.25	5.556828	2.778414
29	0.5	261	0.25	5.56452	2.78226
30	0.5	267	0.25	5.587249	2.793625
31	0.6	234	0.36	5.455321	3.273193
32	0.6	240	0.36	5.480639	3.288383
33	0.6	218	0.36	5.384495	3.230697
34	0.6	226	0.36	5.420535	3.252321
35	0.6	215	0.36	5.370638	3.222383
36	0.6	231	0.36	5.442418	3.265451
37	0.6	214	0.36	5.365976	3.219586
38	0.6	217	0.36	5.379897	3.227938
39	0.6	215	0.36	5.370638	3.222383
40	0.6	206	0.36	5.327876	3.196726
41	0.7	141	0.49	4.94876	3.464132
42	0.7	140	0.49	4.941642	3.459149
43	0.7	136	0.49	4.912655	3.438859
44	0.7	142	0.49	4.955827	3.469079
45	0.7	137	0.49	4.919981	3.443987
46	0.7	135	0.49	4.905275	3.433693
47	0.7	123	0.49	4.812184	3.368529
48	0.7	136	0.49	4.912655	3.438859
49	0.7	134	0.49	4.89784	3.428488
50	0.7	134	0.49	4.89784	3.428488
M	Σ X	Σ Y	Σ X2	Σ ln y	Σ X ln y
50	25	14415	13.5	279.033712	136.592759

3.1.2 Cemento CPP 30R

Resolviendo el sistema con los resultados específicos del cemento tipo CPP 30R queda:

$$M a_0 + \sum X a_1 = \sum \ln y$$

$$\sum X a_0 + \sum X^2 a_1 = \sum X \ln y$$

$$50 a_0 + 25,0 a_1 = 279,033712$$

$$25 a_0 + 13,5 a_1 = 136,592759 \text{ multiplicando por } -2$$

$$50 a_0 + 25 a_1 = 279,033712$$

$$-50 a_0 - 27 a_1 = -273,185518$$

$$-2 a_1 = 5,848194$$

$$a_1 = -2,924097$$

por lo tanto:

$$a_0 = 7,042723$$

recordando que:

$$A = e^{a_0} = e^{7,042723} = 1\,144,499840$$

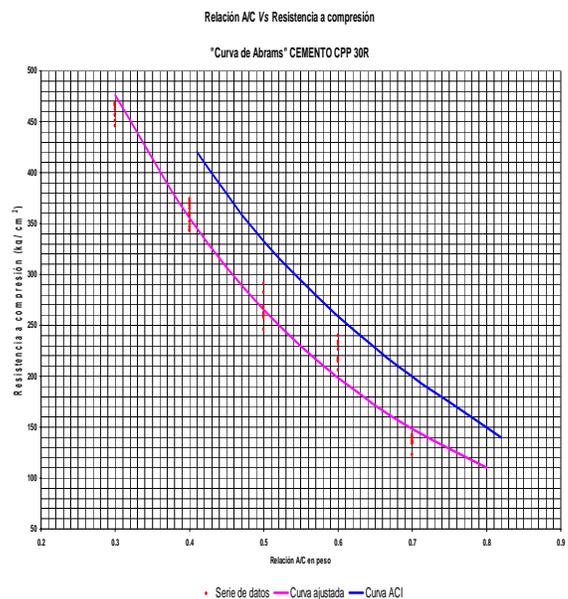
$$B = a_1 = -2,924097$$

Por lo tanto, la función representativa de la Curva de Abrams para cemento tipo CPP 30R resulta:

$$y = A e^{Bx}; \text{ entonces:}$$

$$y = 1\,144,499840 e^{-2,924097 X}$$

y cuya comparativa con la curva propuesta por el ACI puede observarse en la siguiente gráfica:



CEMENTO TIPO CPO 40R/ B

	X	Y	X2	ln Y	x ln Y
1	0.3	474	0.09	6.161207	1.848362
2	0.3	472	0.09	6.156979	1.847094
3	0.3	496	0.09	6.206576	1.861973
4	0.3	465	0.09	6.142037	1.842611
5	0.3	488	0.09	6.190315	1.857095
6	0.3	452	0.09	6.113682	1.834105
7	0.3	496	0.09	6.206576	1.861973
8	0.3	475	0.09	6.163315	1.848995
9	0.3	479	0.09	6.171701	1.851510
10	0.3	488	0.09	6.190315	1.857095
11	0.4	419	0.16	6.037871	2.415148
12	0.4	408	0.16	6.011267	2.404507
13	0.4	439	0.16	6.084499	2.433800
14	0.4	403	0.16	5.998937	2.399575
15	0.4	411	0.16	6.018593	2.407437
16	0.4	389	0.16	5.963579	2.385432
17	0.4	416	0.16	6.030685	2.412274
18	0.4	415	0.16	6.028279	2.411312
19	0.4	407	0.16	6.008813	2.403525
20	0.4	418	0.16	6.035481	2.414192
21	0.5	321	0.25	5.771441	2.885721
22	0.5	342	0.25	5.834811	2.917406
23	0.5	332	0.25	5.805135	2.902568
24	0.5	356	0.25	5.874931	2.937466
25	0.5	371	0.25	5.916202	2.958101
26	0.5	342	0.25	5.834811	2.917406
27	0.5	340	0.25	5.828946	2.914473
28	0.5	352	0.25	5.863631	2.931816
29	0.5	337	0.25	5.820083	2.910042
30	0.5	350	0.25	5.857933	2.928967
31	0.6	263	0.36	5.572154	3.343292
32	0.6	291	0.36	5.673323	3.403994
33	0.6	268	0.36	5.590987	3.354592
34	0.6	282	0.36	5.641907	3.385144
35	0.6	265	0.36	5.579730	3.347838
36	0.6	237	0.36	5.468060	3.280836
37	0.6	257	0.36	5.549076	3.329446
38	0.6	251	0.36	5.525453	3.315272
39	0.6	271	0.36	5.602119	3.361271
40	0.6	263	0.36	5.572154	3.343292
41	0.7	217	0.49	5.379897	3.765928
42	0.7	210	0.49	5.347108	3.742976
43	0.7	208	0.49	5.337538	3.736277
44	0.7	229	0.49	5.433722	3.803605
45	0.7	212	0.49	5.356586	3.749610
46	0.7	207	0.49	5.332719	3.732903
47	0.7	212	0.49	5.356586	3.749610
48	0.7	205	0.49	5.323010	3.726107
49	0.7	213	0.49	5.361292	3.752904
50	0.7	207	0.49	5.332719	3.732903
M	Σ X	Σ Y	Σ X2	Σ ln y	Σ X ln y
50	25	17121	13.5	289.664771	142.759781

3.1.3 Cemento CPO 40R/ B

Resolviendo el sistema con los resultados específicos del cemento tipo CPO 40R/ B queda:

$$Ma_0 + \sum Xa_1 = \sum \ln y$$

$$\sum Xa_0 + \sum X^2 a_1 = \sum X \ln y$$

$$50 a_0 + 25,0 a_1 = 289,664771$$

$$25 a_0 + 13,5 a_1 = 142,759781 \text{ multiplicando por } -2$$

$$50 a_0 + 25,0 a_1 = 289,664771$$

$$-50 a_0 - 27,0 a_1 = -285,519562$$

$$-2 a_1 = 4,145209$$

$$a_1 = -2,072604$$

por lo tanto: $a_0 = 6,829597$

Recordando que:

$$A = e^{a_0} = e^{6,836439954} = 924,818036$$

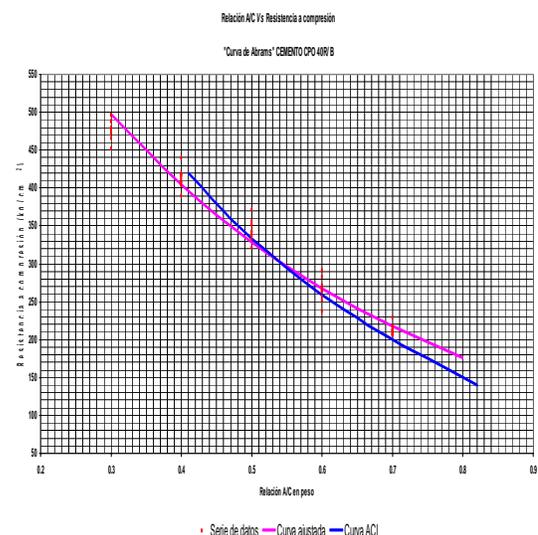
$$B = a_1 = -2,072604$$

Por lo tanto, la función representativa de la Curva de Abrams para cemento tipo CPO 40R/ B resulta:

$$y = A e^{Bx}; \text{ entonces:}$$

$$y = 924,818036 e^{-2,072604 X}$$

y cuya comparativa con la curva propuesta por el ACI puede observarse en la presente gráfica:

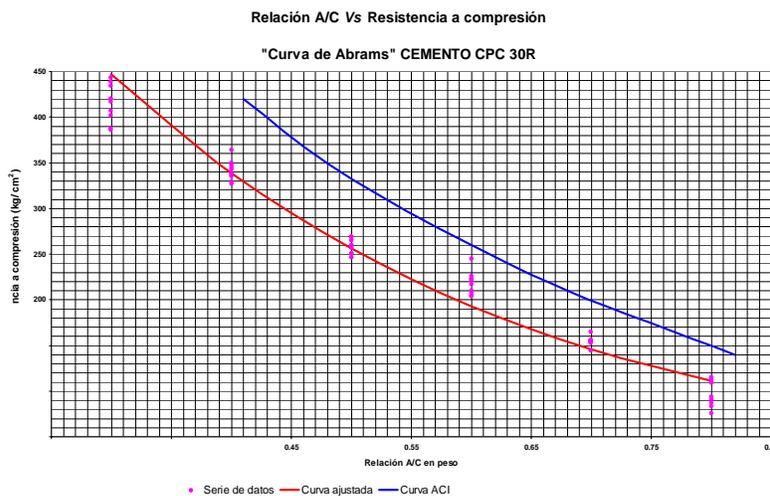


De lo anterior se puede concluir lo siguiente:

- La curva obtenida para cada tipo de cemento evaluado es única.
- Las curvas obtenidas son distintas a la propuesta por el ACI.

Respecto al objetivo particular del presente trabajo, con la interpretación que se hizo de los resultados obtenidos de laboratorio y el ajuste de curvas realizado, fue posible obtener una función aproximada que permite relacionar la resistencia mecánica a compresión del concreto hidráulico y su correspondiente relación A/C, para cada uno de los tres tipos de cemento evaluados, mismas que se presentan a continuación:

Cemento Portland Puzolánico (CPC 30R)



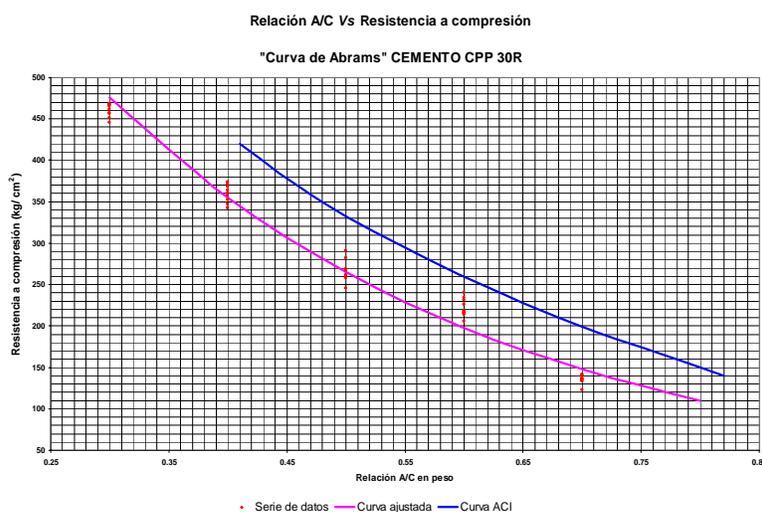
Función aproximada:

$$y = 1\,031,294409 e^{-2,789722 X}$$

Valores tabulados:

A/C	f'c (kg/cm ²)
0.3	447
0.4	338
0.5	256
0.6	193
0.7	146
0.8	111

Cemento Portland Compuesto (CPP 30R)



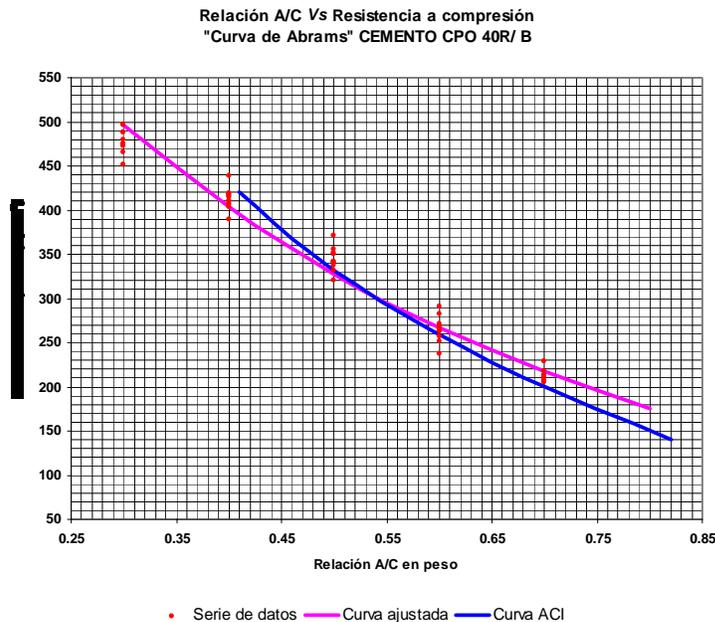
Función aproximada:

$$y = 1\,144,499840 e^{-2,924097 X}$$

Valores tabulados:

A/C	f'c (kg/cm ²)
0.3	476
0.4	355
0.5	265
0.6	198
0.7	148
0.8	110

Cemento Portland Compuesto (CPO 40R/ B)



Función aproximada:

$$y = 931,1682252 e^{-2,072918025 X}$$

Valores tabulados:

A/C	f'c (kg/ cm ²)
0.3	497
0.4	404
0.5	328
0.6	267
0.7	217
0.8	176

Derivado de lo anterior, es posible llevar a cabo la validación de la hipótesis.

3.2 VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Hipótesis.

La relación entre la resistencia a compresión simple y la proporción A/C sugerida por el American Concrete Institute a través de su comité 211.1, no corresponde a los tres tipos de cemento hidráulico comúnmente ofertados en el Distrito Federal, consecuentemente, el empleo de dichas relaciones conllevan una variación que puede resultar significativa, en el diseño de una mezcla de concreto, tanto a nivel de investigación, como de uso práctico en la fabricación de un elemento estructural, lo que implica una variación en costo y por tanto en precio.

Validación.

Como resultado de este trabajo de investigación, podemos confirmar que para una determinada resistencia a compresión del concreto, la correspondiente relación A/C difiere del propuesto por el ACI, resultando ser ésta, distinta para cada tipo de cemento portland evaluado. Ahora bien, considerando que en su mayoría los proyectos de diseño y dosificación en pequeña escala están basados en la curva propuesta por el ACI, sin importar el tipo de cemento utilizado, observamos que la resistencia (sin considerar variaciones estadísticas de calidad en la fabricación del concreto), resulta por debajo de la esperada, lo que invariablemente (sin el uso de aditivos) implica un aumento en la cantidad de cemento necesaria para obtener la resistencia a compresión simple requerida.

Por lo tanto, se cumple la hipótesis.

CONCLUSIONES.

La relación *A/C* versus su correspondiente resistencia a compresión simple que propone el American Concrete Institute a través de su comité 211.1, difiere de las obtenidas para cada uno de los tres tipos de cemento portland evaluados en el presente trabajo: CPC 30R, CPP 30R y CPO 40R/ B y que están considerados en la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE-1999, por lo que la relación entre la proporción *A/C* y su correspondiente resistencia a compresión simple está en función del tipo de cemento portland utilizado.

Para cualquier relación *A/C*, los cementos mexicanos tipo CPP 30R y CPC 30R presentan una resistencia menor a compresión que la considerada por el ACI.

En el caso del cemento mexicano tipo CPO 40R/ Blanco, su resistencia a compresión es mayor respecto a la expresada por el ACI para relaciones *A/C* por arriba de 0,53; sin embargo, esta tendencia se invierte para relaciones *A/C* por debajo de ésta. Para el menor valor tabulado de *A/C* en la curva propuesta por el ACI, la diferencia entre ambas curvas es de 20 kg/cm².

Se puede concluir que para relaciones *A/C* mayores a 0,45, el cemento CPO 40R/ Blanco tiene una mayor resistencia mecánica a compresión respecto a los otros dos cementos, cercana a los 70 kg/cm².

La diferencia en la resistencia a compresión obtenida para una misma relación *A/C* para los tres tipos de cemento evaluados, tiende a reducirse conforme disminuye la relación *A/C*.

Respecto a la corrección por temperatura de curado, partiendo del hecho que distintos especímenes de una misma mezcla de concreto fueron curados por inmersión en agua saturada con la misma concentración de cal para evitar el fenómeno de lixiviación, a temperatura de 18 y 24°C, la variación en la resistencia a compresión del concreto no resulta significativa al ser menor de 1,56%, ya que existentes otras variantes que hacen que la resistencia entre especímenes fabricados con la misma mezcla de concreto varíen hasta en un 10%, por ejemplo: naturaleza heterogénea del concreto, grado de compactación, etc.

De observaciones hechas a distintas fotografías tomadas a especímenes de prueba ya fallados, se puede inferir que algunas partículas de agregado grueso, no tuvieron la resistencia adecuada para soportar los esfuerzos inducidos al concreto, ya que en ellas se observa rotura de los mismos y no una falla de adherencia entre estos y la pasta de cemento. Lo anterior se verificó en concretos con resistencia mayor a los 400 kg/ cm².

De la bibliografía consultada, se observa que algunas curvas de ajuste obtenidas para relacionar la Curva de Abrams son incorrectas, al considerarlas polinomiales y no exponenciales. El error se debe al ajustar la curva utilizando el programa de Excel, buscando que la curva arroje el menor error cuadrado (R^2), lo cual, desde el punto de vista de ingeniería es incorrecto, ya que la función tiene una distribución exponencial y en segunda, desde el punto de vista matemático, el ajuste polinomial para este caso en específico, es un sistema más inestable.

Por otra parte, podemos considerar que el uso de cemento CPO 40R para fabricar mezclas de concreto de baja resistencia mecánica a compresión, ofrece menor consumo de cemento, lo que implica un ahorro de cemento de casi un 20% en volumen, respecto a usar los tipos CPP o CPC para relaciones *A/C* mayores a 0,60; sin embargo, conforme decrece la relación *A/C*, la resistencia obtenida a compresión con los diferentes cementos evaluados tiende a ser menor, lo que propicia que el costo por utilizar cemento tipo CPO 40R/ Blanco se incremente.

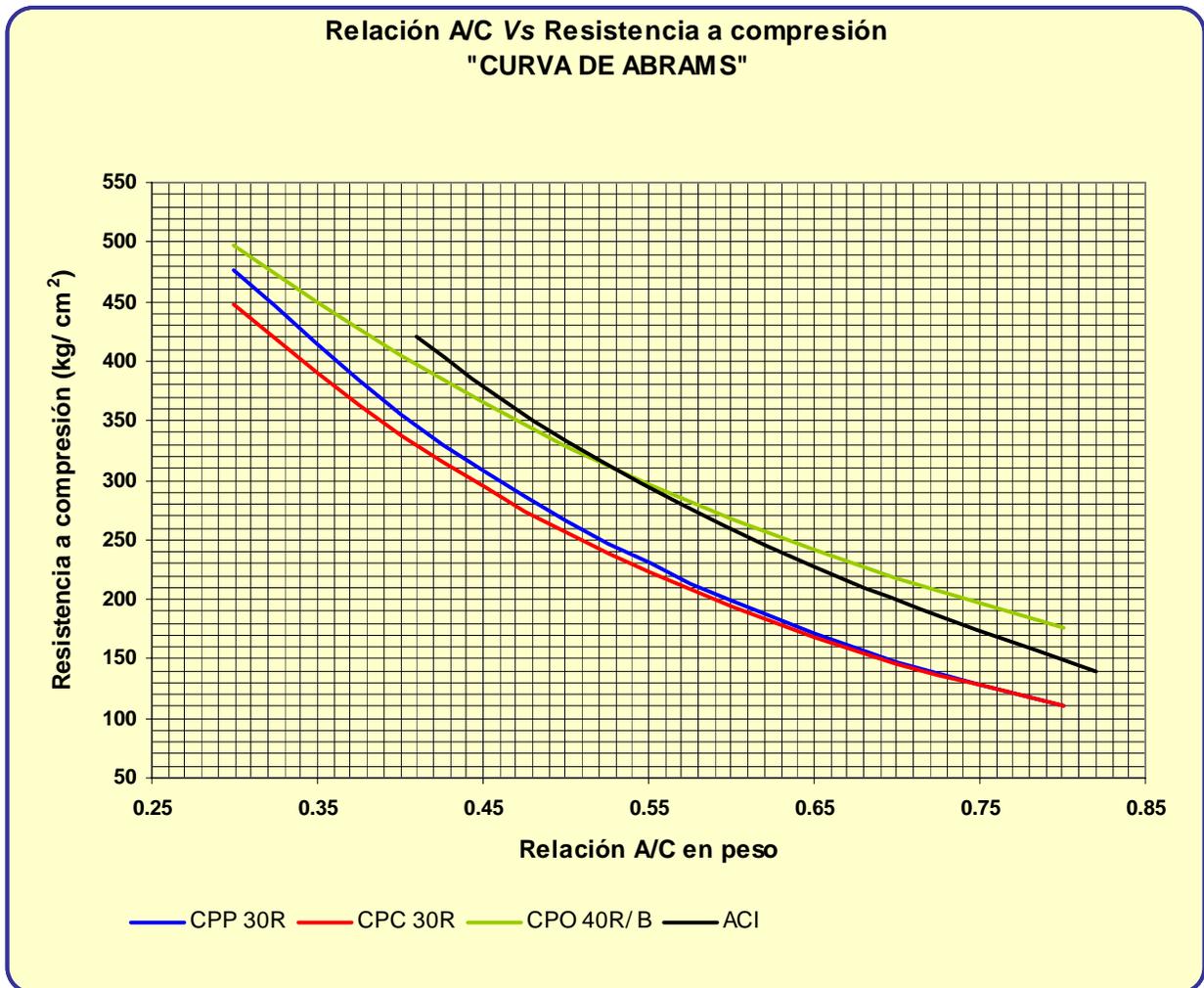
La elección de un determinado tipo de cemento no debe estar en función de la resistencia a compresión que se quiere obtener. Como se observa en la gráfica, la diferencia de resistencia entre ellos es relativamente pequeña, por lo que su elección debe hacerse en función de otras propiedades del cemento, tales como calor de hidratación, resistencia al ataque de sulfatos, etc.

Es de utilidad el divulgar los resultados obtenidos en el presente trabajo por lo siguiente:

- Es posible optimizar el consumo de cemento de manera racional y no de manera empírica.

- El costo de fabricación para concretos diseñados con estos nuevos parámetros sin considerar el uso de aditivos se incrementa, debido a que se requiere una mayor cantidad de cemento para obtener la resistencia a compresión deseada.

Por último, el resultado del presente trabajo de investigación se puede expresar en la siguiente gráfica:



ANEXO A

**PRUEBAS FÍSICAS A
LOS AGREGADOS
PÉTREOS**



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA MAESTRÍA EN CONSTRUCCIÓN

Análisis Granulométrico de Agregados Pétreos

Proyecto: Revisión y en su caso replanteamiento de la
Curva de Abrams en algunos de los tipos de cemento
establecidos en la NMX-C-414-ONCCE-1999.

Material: Grava

Tipo muestra: combinada

reducida; muestreo en almacén

Prueba No. definitiva

Fecha: 10 de Septiembre 2005

Banco: Municipio de Huixquilucan, Estado de México

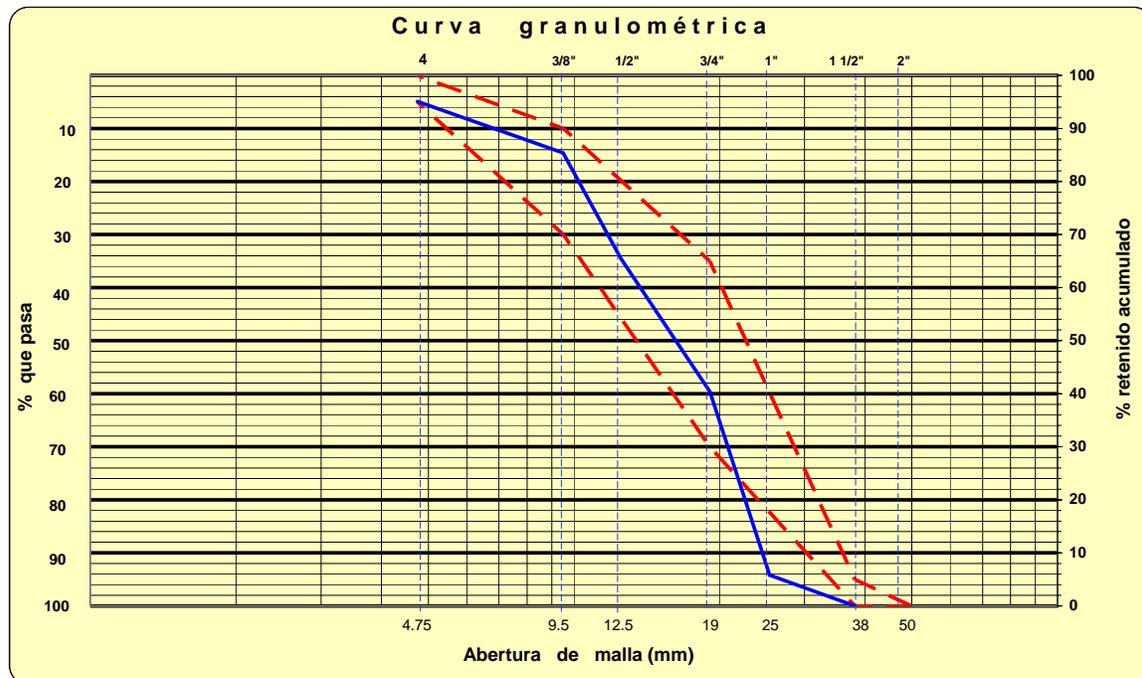
Peso inicial: 16080.0 gramos

Abertura de la malla		Peso retenido (gramos)	Retenido parcial %	Retenido acumulado %
ASTM	NOM			
1 1/2"	G 38	0.0	0.0	0.0
1"	G 25	936.0	5.8	5.8
3/4"	G 19	5562.0	34.6	40.4
1/2"	G 12.5	4036.0	25.1	65.5
3/8"	G 9.5	3206.0	19.9	85.4
No. 4	G 4.75	1560.0	9.7	95.1
Charola		774.0	4.8	99.9
Material perdido (g)		6.0	Tamaño nominal: <u>38.00</u> mm	

El muestreo del agregado se hizo conforme a la norma mexicana NMX-C-30.

Su reducción se hizo conforme a la norma mexicana NMX-C-170.

La prueba de granulometría se realizó conforme a la norma mexicana NMX-C-077.



Observaciones: Parte del material retenido en la malla de 1" y 3/4" es pedacería de concreto hidráulico

De la curva granulométrica se determina que el material no posee en cantidad suficiente partículas de 1".



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA MAESTRÍA EN CONSTRUCCIÓN

Análisis Granulométrico de Agregados Pétreos

Proyecto: "Revisión y en su caso replanteamiento de la Curva de Abrams en algunos de los tipos de cemento establecidos en la NMX-C-414-ONCCE-1999.

Banco: _____

Peso inicial: 999.0 gramos

Material: Arena

Tipo muestra: combinada
reducida; muestreo en almacén

Prueba No. definitiva

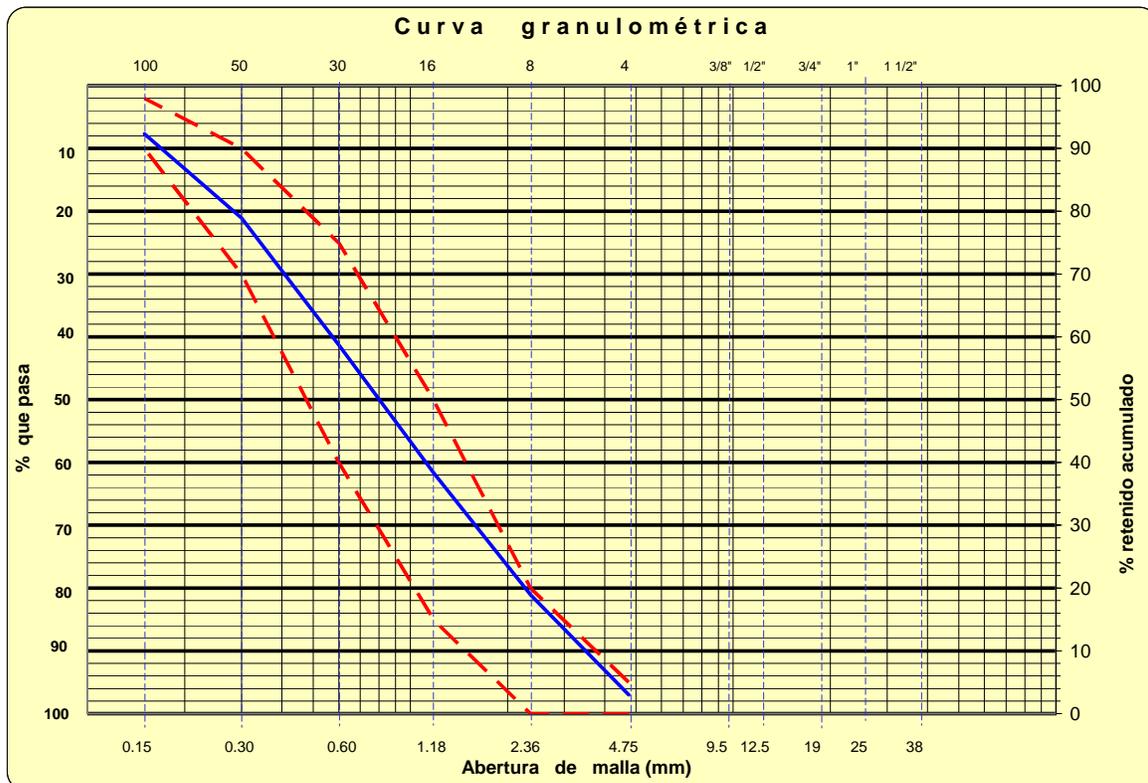
Fecha: 12 de Julio 2005

Abertura de la malla		Peso retenido (gramos)	Retenido parcial %	Retenido acumulado %
ASTM	NOM			
No. 4	G 4.75	28.0	2.8	2.8
No. 8	G 2.36	163.0	16.3	19.1
No. 16	G 1.18	198.0	19.8	38.9
No. 30	G 0.60	204.0	20.4	59.3
No. 50	G 0.30	200.0	20.0	79.3
No. 100	G 0.15	131.0	13.1	92.4
Charola		74.0	7.4	99.8
Material perdido (g)		1.0	Modulo de finura: 2.92	

El muestreo del agregado se hizo conforme a la norma mexicana NMX-C-30.

Su reducción se hizo conforme a la norma mexicana NMX-C-170.

La prueba de granulometría se realizó conforme a la norma mexicana NMX-C-077.



Observaciones: El muestreo del agregado se hizo conforme a la norma mexicana NMX-C-30. Su reducción se hizo conforme a la norma mexicana NMX-C-170. La prueba de granulometría se realizó conforme a la norma mexicana NMX-C-077.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA MAESTRÍA EN CONSTRUCCIÓN

Masas Volumétricas, específicas y absorción de agregados pétreos

Proyecto: "Revisión y en su caso replanteamiento de la Curva de Abrams en algunos de los tipos de cemento establecidos en la NMX-C-414-ONCCE-1999.

Banco: Municipio de Huixquilucan, Estado de México.

Material: Arena

Tipo muestra: Combinada reducida; muestreo en almacén

Prueba No. DEFINITIVA

Fecha: 10 de Septiembre 2005

MASAS VOLUMÉTRICAS:

Mr = Masa del recipiente: 1882 g.
Vr = Volumen del recipiente (dm³): 2.7699
Mm = masa de la muestra de agregado (g)

Masa volumétrica suelta:	
Mr + Mm (1):	5828 g.
Mr + Mm (2):	5820 g.
Mr + Mm (3):	5814 g.
promedio:	5821 g.
Mm_{prom.} =	$\frac{3939}{g}$
P.V.S. =	$\frac{1422}{kg/m^3}$

Masa volumétrica compacta:	
Mr + Mm (1):	6036 g.
Mr + Mm (2):	6058 g.
Mr + Mm (3):	6044 g.
promedio:	6046 g.
Mm_{prom.} =	$\frac{4164}{g}$
P.V.C. =	$\frac{1503}{kg/m^3}$

Nota: La masas volumétrica compacta y suelta se obtuvieron con el material en estado seco.

MASAS ESPECÍFICAS:

Masa específica saturada superficie seca (Pe_{sss}):

$P_{sss} = \frac{500}{214} g/cm^3$ $P_{esss} = 2.34 kg/dm^3$

Masa específica seca (Pe_s):

$Pes = \frac{P_{esss}}{1 + Abs}$; $Pes = \frac{2.340}{1.0870} = 2.15 kg/dm^3$

ABSORCIÓN:

$P_{sss} = \frac{275}{253} g$ **Abs (%) = 8.70**

Nota:
 El uso que se le dará a los resultados de esta prueba es para la dosificación de concreto hidráulico; sin embargo, se procedió a secar el material antes de ponerlo a saturar, debido a que al estar protegido dentro del almacén temporal, cuando se fabriquen las mezclas de prueba, la arena presentará un estado parcialmente seco.

ANEXO B

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO

B. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO UTILIZANDO EL MÉTODO SUGERIDO POR EL AMERICAN CONCRETE INSTITUTE A TRAVÉS DE SU COMITÉ 211.1 “Proporcionamiento de mezclas concreto normal, pesado y masivo”.

B.1 PROYECTO DE MEZCLA INICIAL (PMI)

a) Datos concreto a fabricar:

$$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2; \text{ revenimiento: } 10\text{cm}$$

b) Datos de los agregados:

	T.N.	M.F.	Abs (%)	PVS (kg/m ³)	PVC (kg/m ³)	Pesss (kg/dm ³)	Pes (kg/dm ³)	H (%)
Grava	38 mm	- -	4,26	1367	1424	2,38	2,28	0,90
Arena	- -	2,92	8,70	1422	1503	2,34	2,15	5,00

c) Obtención de la cantidad de agua y volumen de aire atrapado por metro cúbico de concreto:

En función del Tamaño Nominal de 38 mm del agregado grueso y considerando el fabricar un concreto sin aire incluido, para obtener un revenimiento de 10cm la tabla 6.3.3 del método multicitado sugiere:

$$\text{Agua} = 181 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3};$$

Tabla 6.3.3 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado						
Revenimiento, cm	9.5*	12.5*	19*	25*	38*	50*
Concreto sin aire incluido						
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154
7.5 a 10	228	216	205	193	181	169
15.0 a 17.5	243	228	216	202	190	178
Cantidad aproximada de aire en concreto sin aire incluido, porciento	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5

Tabla resumida considerando TN = 38 mm, rev. = 10 cm y concreto sin aire incluido.

mientras que el volumen de aire atrapado será:

$$\text{Aire} = \frac{1\%}{\text{m}^3}$$

d) Obtención de la cantidad de cemento:

La correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a compresión del concreto propuesta por el ACI en la tabla 6.3.4 (a) indica que, para obtener una $f'c = 250 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ se requiere una

relación $\frac{A}{C} = 0,614$. Despejando de ésta la cantidad de cemento, tendremos:

$$C = \frac{A}{0,614} = \frac{181 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0,614} = 294,788 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \text{ considerando que el cemento utilizado tiene un peso específico}$$

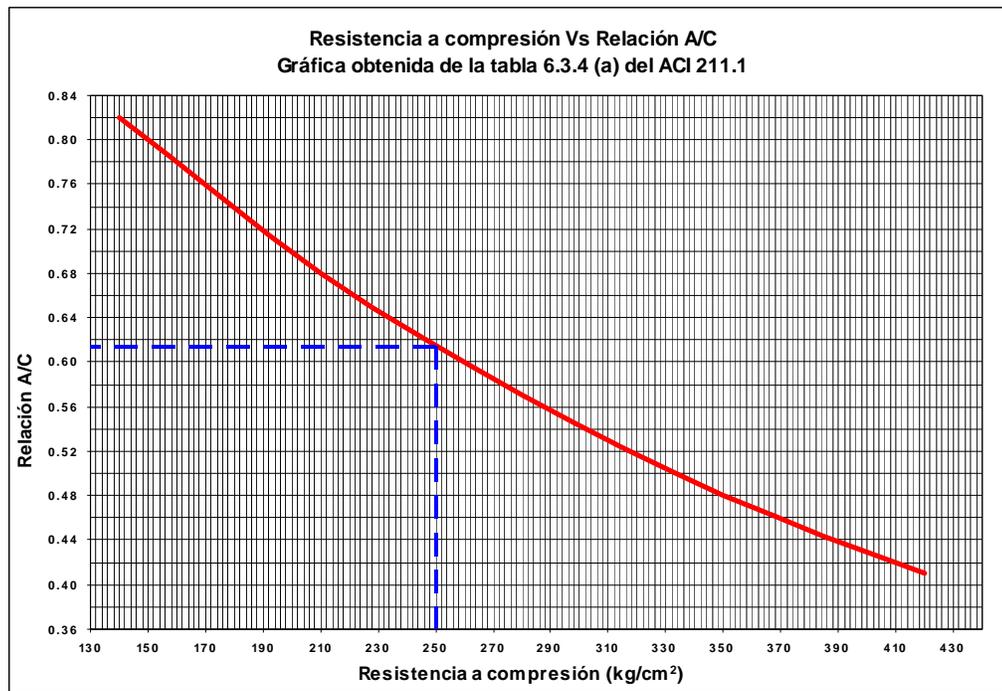
$Pe=3,14 \text{ kg/dm}^3$, podemos calcular el volumen de cemento por m^3 de concreto:

$$\text{Vol} = \frac{P}{P_e} = \frac{294,788 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{3,14 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}} = 93,882 \frac{\text{dm}^3}{\text{m}^3}$$

Tabla 6.3.4 (a) Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a compresión del concreto (tabla resumida).

Resistencia a la compresión a los 28 días kg/ cm ² *	Relación agua/cemento por peso	
	Concreto sin aire incluido*	Concreto con aire incluido
420	0.41	-
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

* Los valores son estimados para resistencias promedio de concreto que contenga no mas de 2 porciento de aire atrapado.



e) Obtención de la cantidad de agregado pétreo:

De la tabla 6.3.6 del método propuesto por el ACI, se puede determinar que la cantidad de grava esta dada por la expresión: $G = g' \text{ PVC}$, donde el factor g' está en función del T.N. de la grava y el modulo de finura de la arena.

Para el T.N. y modulo de finura que presentan nuestros agregados tendremos un factor:

$$g' = 0,698.$$

por lo tanto, la cantidad de grava será:

$$G = g' \text{ PVC} = 0,698 \times 1424 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 993,952 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \text{ en volumen tendremos:}$$

$$\text{Vol} = \frac{p}{\text{pes}} = \frac{993,952 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2,28 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}} = 435,944 \frac{\text{dm}^3}{\text{m}^3}$$

Tabla 6.3.6 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto				
Tamaño máximo nominal del agregado en mm	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de arena			
	2.4	2.6	2.8	3.0
9.5 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

(Tabla resumida).

Con los datos anteriores es posible de manera teórica dosificar un metro cúbico de concreto (Ph).

PMI	Vol (dm3)	Abs	Psss (kg)	H	Ph (kg)	F	P'h (kg)
Cemento	93,882	- - -	294,789	- - -	294,789	25/1000	7,370
Grava	435,944	0,0426	1037,547	0,009	1 004,109		25,103
Arena	279,174	0,0870	653,267	0,050	631,031		15,776
Aire	10,000	- - -	- - -	- - -	- - -		- - -
Agua	181,000	- - -	181,000	- - -	236,674		5,917
Masa vol. teórica	1 000,000		2 166,603		2 166,603		54,166

Con la dosificación momentánea se elaboró el proyecto de mezcla inicial (PMI) para un volumen de 25 dm³ (P'h), con la finalidad de tener dos especímenes cilíndricos de 15 x 30cm para ensayar a 7 días de edad y predecir su resistencia mecánica a compresión simple, así como para obtener el volumen real de aire atrapado, masa volumétrica del concreto fresco y otras propiedades cualitativas como revenimiento, sangrado, consistencia y relación grava-arena.

Proyecto de mezcla inicial (PMI)

PMI	P'h (kg)	P's (kg)	P'sss (kg)
Cemento	7,370	7,370	7,370
Grava	25,103	24,879	25,939
Arena	15,776	15,025	16,332
Agua	5,917	6,892	4,525
Masa Volumétrica	54,166	54,166	54,166

Elaborada la mezcla PMI, se realizó la prueba de revenimiento, obteniendo 7cm. Utilizando la recomendación empírica para corregir el revenimiento, misma que propone: "considerar 2 kg de agua y su correspondiente cantidad de cemento para no alterar la relación A/C, por cada cm faltante de revenimiento por metro cúbico de concreto"¹. Se procedió a corregir el revenimiento de la siguiente manera:

Cantidad de agua por corrección:

$$\frac{A}{C} = 0,614 \Rightarrow \frac{2 \text{ kg}}{\text{cm} \cdot \text{m}^3} \times 3 \text{ cm} \times 0,025 \text{ m}^3 = 0,150 \text{ kg};$$

¹ León Fernández Orozco†. Laboratorio de Materiales de Construcción y Control de Calidad. 3ª edición año 2000, Universidad Autónoma Metropolitana, pág. 62.

Cantidad de cemento por corrección:

$C = \frac{A}{0,614} = \frac{0,150 \text{ kg}}{0,614} = 0,244 \text{ kg}$; es decir, al diseño anterior se le añadió 150ml de agua y 244 g de cemento, quedando la dosificación ajustada como sigue:

B.2 MEZCLA DE AJUSTE UNO (MA-1). Proyecto de mezcla inicial corregida por revenimiento.

MA-1	P'h (kg)	P's (kg)	P'sss (kg)
Cemento	7,614	7,614	7,614
Grava	25,103	24,879	25,939
Arena	15,776	15,025	16,332
Agua	6,067	7,042	4,675
25 dm ³	54,560	54,560	54,560

Características:

Revenimiento: 9,0 cm

PVc = 2 186,657 kg/m³

Vol. de aire = 2%

Relación A/C = 0,614

Relación grava-arena: la considero buena, ya que al enrasar la mezcla con una cuchara de albañil, se cubrió la grava con facilidad.

Consideramos que el revenimiento no varió mucho debido al tiempo que tardó en realizarse la corrección de la mezcla y la prueba. De esta mezcla se elaboraron dos cilindros de 15x30 cm para su ensaye a compresión a la edad de 7 días. Hecha la mezcla, se procedió al cálculo de su dosificación base real.

B.3 DOSIFICACIÓN BASE REAL

	P'h (kg)	Correcciones (kg)	P'h (kg)	Factor	Ph (kg)	Ps (kg)	P'sss (kg)
Cemento	7,370	+ 0,244	7,614	$\frac{2\ 186,656}{54,560}$	305,154	305,154	305,154
Grava	25,103	- - -	25,103		1 006,078	997.104	1 039,581
Arena	15,776	- - -	15,776		632.271	602,163	654,551
Agua	5,917	+0,150	6,067		243,153	282,235	187,370
	54,166		54,560		2 186,656	2 186,656	2 186,656

	Vol (dm ³)	P'sss (kg/ dm ³)	Correcciones (kg)	P'sscc (kg)	P'sscc (kg)	Vol (dm ³)
Cemento	97,183	- - -	- - -	305,154	- - -	97,183
Grava	436,799	2,38	1,300	1 040,881	2,383	436,799
Arena	279,723	2,34	19,775	674,326	2,411	279.723
Aire	20,000	- - -	- - -	- - -	- - -	20,000
Agua	187,370	- - -	- 21,075	166,295	- - -	166,295
	1021,075			2 186,656		1000,000

	Absc	Ps (kg)	Ph (kg)	P'h (kg)
Cemento	- - -	305,154	305,154	7,629
Grava	0,044	997,012	1 005,935	25,150
Arena	0,120	602,077	632,181	15,805
Agua	- - -	282,413	243,336	6,083
		2 186,656	2 186,656	54,666

B.4 MEZCLA DE PRUEBA UNO (MP-1)

MP-1	P'h (kg)	P's (kg)	P'sss (kg)
Cemento	7,629	7,629	7,629
Grava	25,150	24,926	26,023
Arena	15,805	15,052	16,858
Agua	6,083	7,060	4,157
Vol = 25 dm ³	54,667	54,667	54,667

Características:

Revenimiento: 9,5 cm

PVc = 2 171,822 kg/ m³

Relación A/C = 0,545

Vol. de Aire = 2,0%

Relación grava-arena: la considero buena, ya que al enrasar la mezcla con una cuchara de albañil, se cubrió la grava con facilidad. De esta mezcla se elaboraron dos especímenes cilíndricos de 15x30 cm para su ensaye a compresión simple a la edad de 7 días y predecir su resistencia a 28 días.

B.5 MEZCLA DE PRUEBA DOS (MP-2)

Posteriormente se procedió a reproducir la misma mezcla de prueba 1, llamándola **Mezcla de Prueba 2 (MP-2)**, con la intención de corroborar los resultados obtenidos con la anterior. Debido al cambio de humedad en los agregados, la dosificación resultante fue:

	Ps (kg)	H	Ph (kg)	P'h (kg)	P's (kg)	P'sss (kg)
Cemento	305,154	- - -	305,154	7,629	7,629	7,629
Grava	997,012	0,0104	1 007,381	25,185	24,925	26,022
Arena	602,077	0,0603	638,382	15,960	15,053	16,858
Agua	282,413	- - -	235,739	5,893	7,060	4,158
	2 186,656		2 186,656	54,667	54,667	54,667

Características:

Revenimiento: 10,5cm (variación de +1,0 cm respecto al revenimiento anterior).

PVc = 2 184,323 kg/ m³ (variación menor al 1% respecto al peso anterior).

Vol. de Aire = 2,0%

Relación A/C = 0,545

Relación grava-arena: la considero buena, ya que al enrasar la mezcla con una cuchara de albañil, se cubrió la grava con facilidad. Con esta mezcla se elaboraron dos especímenes cilíndricos de 15x30 cm para ensayarlos a compresión simple a la edad de 7 días y comparar los resultados con la mezcla de prueba anterior (MP-1).

Al ser muy parecidos los resultados de estas mezclas de concreto (MP-1 y MP-2), se procedió a diseñar la mezcla de prueba tres (MP-3) para una relación agua-cemento de 0,28. Para ello, únicamente se varió la cantidad de agua y cemento de la MP-2, dejando fijas las cantidades de grava y arena. De lo anterior resultó:

B.6 MEZCLA DE PRUEBA TRES (MP-3) RELACIÓN A/C = 0,28

MP-3	P'h (kg)	P's (kg)	P'sss (kg)
Cemento	14,745	14,745	14,745
Grava	25,185	24,925	26,022
Arena	15,959	15,052	16,858
Agua	5,894	7,061	4,158
25 dm ³	61,783	61,783	61,783

Revenimiento: cero

PVc: no se pudo obtener por el alto volumen de huecos que presenta la mezcla, imposible de reducir mediante la compactación manual.

Vol. de Aire = No se pudo obtener por las mismas razones.

Relación A/C = 0,282

Relación G/A: regular, se alcanza a cubrir apenas la grava al pasar la cuchara sobre la mezcla con muchas pasadas. De esta mezcla también se elaboraron dos especímenes cilíndricos de 15x30 cm para su ensaye a compresión a la edad de 7 días y predecir su resistencia a 28 días. La compactación de dichos especímenes fue con ayuda de una mesa vibratoria.

Los resultados a compresión de los especímenes se muestran a continuación:

	MA-1		MP-1		MP-2		MP-3	
	m-1	m-2	m-1	m-2	m-1	m-2	m-1	m-2
$\phi 1$	15,0	15,0	15,0	15,1	15,1	15,0	15,1	15,0
$\phi 2$	14,9	15,1	15,1	15,0	15,1	15,0	15,1	15,0
h	30,1	30,1	30,1	30,1	30,0	30,2	30,1	30,1
peso (g)	11 639	11 644	11 521	11 605	11 463	11 619	11 691	11 731
Carga (kg)	30 600	30 400	27 000	28 000	28 200	27 000	59200	59 800
$f'c_7$ (kg/cm ²)	174	171	152	157	157	153	331	338
$f'c_{28}$ (kg/cm ²)	259	256	232	238	238	233	406	411

De la tabla anterior podemos observar que la resistencia a compresión de las mezclas de prueba 1 y 2 son aproximadas y que aunado a la semejanza de su masa volumétrica en estado fresco y contenido de aire, podemos decir que son homogéneas.

De manera teórica la relación A/C para la mezcla MA-1 corresponde a 0,614; sin embargo, su resistencia a compresión simple resulta mayor que la obtenida de las mezclas de prueba 1 y 2, correspondiendo a ambas una relación A/C de 0.545. Si consideramos la absorción de los agregados obtenida de la dosificación base real, en lugar de la obtenida en primer instancia de las pruebas de laboratorio de los agregados, encontramos que la relación A/C corresponde a 0,542 en lugar de 0,614, por lo que su resistencia debe ser ligeramente mayor que la obtenida con 0,545, resultado que se comprueba en la tabla.

Para la predicción de resistencia a compresión simple a 28 días a partir de la de 7 días se utilizó la expresión matemática:

$$f_{28} = 1,78f_7 - 0,00167f_7^2 ; \text{ donde:}$$

f_{28} = resistencia esperada a compresión simple a 28 días en kg/cm²

f_7 = resistencia obtenida por ensaye a compresión simple a 7 días en kg/cm²

La expresión se obtuvo de una investigación² realizada con una muestra de 296 especímenes cilíndricos de 15x30 cm, considerando cemento tipo I, agregado andesítico y curado normal; factores en nada parecidos a los utilizados: cemento tipo CPC-30R, agregado basáltico y curado por inmersión a una temperatura promedio de 17° centígrados. No obstante, esta predicción solo se consideró como un parámetro, sin importar su precisión.

² León Fernández Orozco†, Laboratorio de Materiales de Construcción, Tomo 1 pág.94 y 95. UAM-Azcapotzalco, México, D.F. año 2000.

ANEXO C

DISEÑO DE MEZCLAS DE
CONCRETO DEFINITIVAS
PARA CADA RELACIÓN
A/C Y TIPO DE CEMENTO
EVALUADO

**ANEXO C. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DEFINITIVAS
PARA CADA RELACIÓN A/C Y TIPO DE CEMENTO EVALUADO**

CPP 30 R	Ps (kg)	H	Ph (kg)	Abs	Psss (kg)	F	P's (kg)	P'h (kg)	P'sss (kg)
Cemento	554.341	- - -	554.341	- - -	554.341	0.060	33.260	33.260	33.260
Grava	997.012	0.010	1006.982	0.044	1040.881		59.821	60.419	62.453
Arena	602.077	0.039	625.558	0.12	674.326		36.125	37.533	40.460
Agua	282.413	- - -	248.962	- - -	166.295		16.945	14.938	9.978
Masa (kg)	2435.843		2435.843		2435.843		146.151	146.150	146.151

A/C = 0.300

Revenimiento = cero

CPP 30 R	Ps (kg)	H	Ph (kg)	Abs	Psss (kg)	F	P's (kg)	P'h (kg)	P'sss (kg)
Cemento	415.730	- - -	415.73	- - -	415.73	0.065	27.022	27.022	27.022
Grava	997.012	0.013	1009.973	0.044	1040.881		64.806	65.648	67.657
Arena	602.077	0.041	626.762	0.12	674.326		39.135	40.740	43.831
Agua	282.413	- - -	244.767	- - -	166.295		18.357	15.910	10.809
Masa (kg)	2297.232		2297.232		2297.232		149.320	149.320	149.319

A/C = 0.400

Revenimiento = 6 cm

CPP 30 R	Ps (kg)	H	Ph (kg)	Abs	Psss (kg)	F	P's (kg)	P'h (kg)	P'sss (kg)
Cemento	332.592	- - -	332.592	- - -	332.592	0.065	21.618	21.618	21.618
Grava	997.012	0.011	1007.979	0.044	1040.881		64.806	65.519	67.657
Arena	602.077	0.041	626.762	0.12	674.326		39.135	40.740	43.831
Agua	282.413	- - -	246.761	- - -	166.295		18.357	16.039	10.809
Masa (kg)	2214.094		2214.094		2214.094		143.916	143.916	143.915

A/C = 0.500

Revenimiento = 9 cm

CPP 30 R	Ps (kg)	H	Ph (kg)	Abs	Psss (kg)	F	P's (kg)	P'h (kg)	P'sss (kg)
Cemento	277.161	- - -	277.161	- - -	277.161	0.065	18.015	18.015	18.015
Grava	997.012	0.017	1013.961	0.044	1040.881		64.806	65.907	67.657
Arena	602.077	0.059	637.6	0.12	674.326		39.135	41.444	43.831
Agua	282.413	- - -	229.941	- - -	166.295		18.357	14.946	10.809
Masa (kg)	2158.663		2158.663		2158.663		140.313	140.312	140.312

A/C = 0.600

Revenimiento = 10 cm

CPP 30 R	Ps (kg)	H	Ph (kg)	Abs	Psss (kg)	F	P's (kg)	P'h (kg)	P'sss (kg)
Cemento	237.561	- - -	237.561	- - -	237.561	0.065	15.441	15.441	15.441
Grava	997.012	0.012	1008.976	0.044	1040.881		64.806	65.583	67.657
Arena	602.077	0.046	629.773	0.12	674.326		39.135	40.935	43.831
Agua	282.413	- - -	242.753	- - -	166.295		18.357	15.779	10.809
Masa (kg)	2119.063		2119.063		2119.063		137.739	137.738	137.738

A/C = 0.700

Revenimiento = 16 cm

CPP 30 R	Ps (kg)	H	Ph (kg)	Abs	Psss (kg)	F	P's (kg)	P'h (kg)	P'sss (kg)
Cemento	207.869	- - -	207.869	- - -	207.869	0.070	14.551	14.551	14.551
Grava	997.012	0.009	1005.985	0.044	1040.881		69.791	70.419	72.862
Arena	602.077	0.040	626.16	0.12	674.326		42.145	43.831	47.203
Agua	282.413	- - -	249.357	- - -	166.295		19.769	17.455	11.641
Masa (kg)	2089.371		2089.371		2089.371		146.256	146.256	146.256

A/C = 0.800

Revenimiento = no se pudo obtener (demasiado fluido)

**ANEXO C. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DEFINITIVAS
PARA CADA RELACIÓN A/C Y TIPO DE CEMENTO A EVALUAR**

CPC 30 R	Ps (kg)	H	Ph (kg)	Abs	Psss (kg)	F	P's (kg)	P'h (kg)	P'sss (kg)
Cemento	554.341	- - -	554.341	- - -	554.341	0.060	33.260	33.260	33.260
Grava	997.012	0.016	1012.964	0.044	1040.881		59.821	60.778	62.453
Arena	602.077	0.053	633.987	0.12	674.326		36.125	38.039	40.460
Agua	282.413	- - -	234.551	- - -	166.295		16.945	14.073	9.978
Masa (kg)	2435.843		2435.843		2435.843		146.151	146.150	146.151

A/C = 0.300

Revenimiento = cero

CPC 30 R	Ps (kg)	H	Ph (kg)	Abs	Psss (kg)	F	P's (kg)	P'h (kg)	P'sss (kg)
Cemento	415.730	- - -	415.73	- - -	415.73	0.065	27.022	27.022	27.022
Grava	997.012	0.014	1010.97	0.044	1040.881		64.806	65.713	67.657
Arena	602.077	0.044	628.568	0.12	674.326		39.135	40.857	43.831
Agua	282.413	- - -	241.964	- - -	166.295		18.357	15.728	10.809
	2297.232		2297.232		2297.232		149.320	149.320	149.319

A/C = 0.400

Revenimiento = 4 cm

CPC 30 R	Ps (kg)	H	Ph (kg)	Abs	Psss (kg)	F	P's (kg)	P'h (kg)	P'sss (kg)
Cemento	332.592	- - -	332.592	- - -	332.592	0.065	21.618	21.618	21.618
Grava	997.012	0.016	1012.964	0.044	1040.881		64.806	65.843	67.657
Arena	602.077	0.048	630.977	0.12	674.326		39.135	41.014	43.831
Agua	282.413	- - -	237.561	- - -	166.295		18.357	15.441	10.809
	2214.094		2214.094		2214.094		143.916	143.916	143.915

A/C = 0.500

Revenimiento = 9 cm

CPC 30 R	Ps (kg)	H	Ph (kg)	Abs	Psss (kg)	F	P's (kg)	P'h (kg)	P'sss (kg)
Cemento	277.161	- - -	277.161	- - -	277.161	0.065	18.015	18.015	18.015
Grava	997.012	0.009	1005.985	0.044	1040.881		64.806	65.389	67.657
Arena	602.077	0.042	627.364	0.12	674.326		39.135	40.779	43.831
Agua	282.413	- - -	248.153	- - -	166.295		18.357	16.130	10.809
	2158.663		2158.663		2158.663		140.313	140.313	140.312

A/C = 0.600

Revenimiento = 10 cm

CPC 30 R	Ps (kg)	H	Ph (kg)	Abs	Psss (kg)	F	P's (kg)	P'h (kg)	P'sss (kg)
Cemento	237.561	- - -	237.561	- - -	237.561	0.065	15.441	15.441	15.441
Grava	997.012	0.009	1005.985	0.044	1040.881		64.806	65.389	67.657
Arena	602.077	0.042	627.364	0.12	674.326		39.135	40.779	43.831
Agua	282.413	- - -	248.153	- - -	166.295		18.357	16.130	10.809
	2119.063		2119.063		2119.063		137.739	137.739	137.738

A/C = 0.700

Revenimiento = 18 cm

**ANEXO C. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DEFINITIVAS
PARA CADA RELACIÓN A/C Y TIPO DE CEMENTO A EVALUAR**

CPO 40 R/ B	Ps (kg)	H	Ph (kg)	Abs	Psss (kg)	F	P's (kg)	P'h (kg)	P'sss (kg)
Cemento	554.341	- - -	554.341	- - -	554.341	0.063	34.923	34.923	34.923
Grava	997.012	0.015	1011.967	0.044	1040.881		62.812	63.754	65.576
Arena	602.077	0.052	633.385	0.12	674.326		37.931	39.903	42.483
Agua	282.413	- - -	236.15	- - -	166.295		17.792	14.877	10.477
Masa (kg)	2435.843		2435.843		2435.843		153.458	153.457	153.459

A/C = 0.300

Revenimiento = cero

CPO 40 R/ B	Ps (kg)	H	Ph (kg)	Abs	Psss (kg)	F	P's (kg)	P'h (kg)	P'sss (kg)
Cemento	415.730	- - -	415.73	- - -	415.73	0.065	27.022	27.022	27.022
Grava	997.012	0.013	1009.973	0.044	1040.881		64.806	65.648	67.657
Arena	602.077	0.045	629.17	0.12	674.326		39.135	40.896	43.831
Agua	282.413	- - -	242.359	- - -	166.295		18.357	15.753	10.809
	2297.232		2297.232		2297.232		149.320	149.319	149.319

A/C = 0.400

Revenimiento = 4 cm

CPO 40 R/ B	Ps (kg)	H	Ph (kg)	Abs	Psss (kg)	F	P's (kg)	P'h (kg)	P'sss (kg)
Cemento	332.592	- - -	332.592	- - -	332.592	0.065	21.618	21.618	21.618
Grava	997.012	0.013	1009.973	0.044	1040.881		64.806	65.648	67.657
Arena	602.077	0.045	629.17	0.12	674.326		39.135	40.896	43.831
Agua	282.413	- - -	242.359	- - -	166.295		18.357	15.753	10.809
	2214.094		2214.094		2214.094		143.916	143.915	143.915

A/C = 0.500

Revenimiento = 10 cm

CPO 40 R/ B	Ps (kg)	H	Ph (kg)	Abs	Psss (kg)	F	P's (kg)	P'h (kg)	P'sss (kg)
Cemento	277.161	- - -	277.161	- - -	277.161	0.065	18.015	18.015	18.015
Grava	997.012	0.012	1008.976	0.044	1040.881		64.806	65.583	67.657
Arena	602.077	0.047	630.375	0.12	674.326		39.135	40.974	43.831
Agua	282.413	- - -	242.151	- - -	166.295		18.357	15.740	10.809
	2158.663		2158.663		2158.663		140.313	140.312	140.312

A/C = 0.600

Revenimiento = 14 cm

CPO 40 R/ B	Ps (kg)	H	Ph (kg)	Abs	Psss (kg)	F	P's (kg)	P'h (kg)	P'sss (kg)
Cemento	237.561	- - -	237.561	- - -	237.561	0.065	15.441	15.441	15.441
Grava	997.012	0.012	1008.976	0.044	1040.881		64.806	65.583	67.657
Arena	602.077	0.050	632.181	0.12	674.326		39.135	41.092	43.831
Agua	282.413	- - -	240.345	- - -	166.295		18.357	15.622	10.809
	2119.063		2119.063		2119.063		137.739	137.738	137.738

A/C = 0.700

Revenimiento = mezcla demasiado fluida

ANEXO D

DISEÑO DE MORTERO
AZUFRE-ARENA PARA EL
CABECEO DE LOS
ESPECÍMENES DE
PRUEBA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD AZCAPTZALCO
CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
ÁREA DE CONSTRUCCIÓN

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**“ESTUDIO DE MORTEROS COMPUESTOS PARA CABECEO DE
ESPECIMENES CILINDRICOS DE CONCRETO”**



ELABORÓ:

M. EN C. FRANCISCO GONZÁLEZ DÍAZ
M. EN I. J. ANTONIO FLORES BUSTAMANTE
M. EN I. LUIS ROCHA CHIU
M. EN I. N. ADÁN VÁZQUEZ ROJAS

JULIO DE 2003

INTRODUCCIÓN

Para determinar la resistencia a compresión del concreto hidráulico, se han utilizado especímenes cilíndricos, en los cuales los extremos de ellos o las caras de aplicación de carga no deben apartarse de la perpendicularidad al eje en más de 0.5° , aproximadamente 3mm en 300mm, y no se permiten irregularidades respecto de un plano que exceda de 0.05mm en las bases del cilindro endurecido, en relación con este último requisito por la propia naturaleza de elaboración de él, al menos una de sus caras de aplicación de la carga presenta irregularidades, mismas que tienen que ser corregidas por alguna de las siguientes técnicas: refrentado con mortero de azufre, placas de neopreno, pulido, etc. De estas alternativas, el cabeceo con mortero de azufre es la técnica más empleada por los laboratorios de pruebas.

En función de lo anterior, el presente trabajo tiene la finalidad abordar algunas de las variables que influyen en el comportamiento mecánico de las capas de mortero utilizadas, además de su ingerencia en la determinación real de la resistencia a compresión del concreto hidráulico.

El planteamiento inicial de este trabajo partió de la idea de probar diversos materiales (arena andesítica, arena de basalto, etc.) que al combinarlos con el azufre se obtuvieran diversos morteros, mismos que serían probados a compresión de acuerdo a la norma **NMX- C-109 “CABECEO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO”**, como se señala en el inciso 5.4.2 “Determinación de la Resistencia a la Compresión”.

Por otra parte, con el fin de revisar la influencia del tamaño de partícula del material “inerte” (sólo en arena) se elaboraron variados morteros en los cuales se utilizó el retenido de las principales mallas que son utilizadas en la granulometría de la arena.

También se tuvo la oportunidad de verificar algunas proporciones (en peso) de azufre con arena, esto con el objetivo de tratar de conocer la dificultad de su manejo en el vaciado y su posterior influencia en el esfuerzo obtenido en las probetas cúbicas.

En una última instancia se fabricaron diferentes probetas de mortero de azufre a las cuales se les variaron los espesores y se midieron sus deformaciones al aplicarles los incrementos de carga.

El presente trabajo, también está complementado con una parte donde se presentan las fallas o problemas que se tuvieron al elaborar los especímenes cúbicos de mortero de azufre.

GENERALIDADES

Para cabecear los cilindros de concreto hidráulico con azufre, según señala la norma NMX-C-109, depende de la resistencia del cilindro y se indica en la siguiente tabla:

Resistencia a la compresión del cilindro de concreto	Resistencia mínima del material de cabeceo	Máximo espesor promedio de la cabeza	Máximo espesor en cualquier lugar
Menores de 500 kg/cm ²	350 kg/cm ² ó la resistencia del cilindro, la que sea mayor	6mm (1/4 pulg.)	8mm (5/16 pulg.)
Mayores de 500 kg/cm ²	Resistencia a la compresión no menor que la resistencia del cilindro	3mm (1/8 pulg.)	5mm (3/16 pulg.)

Por estas restricciones un mortero de azufre debe cumplir con el requisito de tener una resistencia mínima a la compresión de 350 kg/cm^2 al término de dos horas. Para determinar la resistencia a compresión del mortero de azufre es necesario fundirlo a una temperatura entre los 130 y $150 \text{ }^\circ \text{C}$, hasta obtenerlo totalmente líquido. Después se procede a vaciarlo en los cubos, previamente calentados a una temperatura de $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ y recubiertos con una capa delgada de aceite mineral, así son llenados por la parte alta del agujero de la placa; se debe tomar en cuenta que habrá una contracción debido al enfriado y solidificación, por lo que después de quince minutos se tendrá que rellenar el hueco producto de la contracción. El proceso de rellenado es necesario para evitar la formación de grandes huecos en el cuerpo del cubo, aunque a pesar de los cuidados que se tengan, estos defectos pueden ocurrir, por lo tanto es necesario revisar los restos del ensaye cuando se obtengan resistencias bajas.

- Se recomienda en la norma que el mortero de azufre sea fundido a la misma temperatura que se utiliza para ensayar los especímenes cilíndricos de concreto, además de que el azufre empleado sea nuevo y estar seco al introducirse a la jarra para evitar la generación de espuma. Por otra parte al proceder al cabeceo de los cilindros se tendrá el cuidado de secarlos totalmente en sus bases, para evitar la formación de burbujas o bolsas de espuma. Y también que en cada prueba de cilindros deberá de verificarse plenamente la resistencia del mortero, ya que con los subsecuentes usos se irá volatilizand el azufre del mortero, lo cual se manifiesta en un principio con una pérdida de trabajabilidad del mismo, así como la falla prematura de la probeta.
- Se recomienda también que para disminuir la velocidad de enfriamiento del espécimen de mortero de azufre se coloque una tapa plana de fenol formaldehído (baquelita) de 3 mm de espesor, provista de tres agujeros coincidentes con la placa metálica que cubre a los cubos.

HIPÓTESIS

- El azufre es un material que por si solo es resistente a la compresión, por lo tanto, si es empleado como un aglomerante deberá de tener una mayor resistencia mecánica debido a la cantidad del material que le fue adicionado.
- La resistencia de los morteros tendrá una variación de acuerdo a la calidad del material que se le adiciona, así como a la cantidad del mismo. Teniendo en cuenta que el material que sea empleado debe proporcionar una superficie lisa y tersa.

OBJETIVOS:

- 1º Revisar la resistencia mecánica a compresión de diversos morteros de azufre.
- 2º Estudiar la influencia del tamaño de partícula del material inerte en los morteros de azufre.
- 3º Determinar la influencia de la proporción azufre – material inerte.
- 4º Estudiar el comportamiento del espesor de capas de mortero.

METODOLOGÍA

- La metodología que se empleará en la elaboración de morteros, para encontrar resistencias adecuadas, y poderlo utilizar como el material de cabeceo en los cilindros. Es emplear la forma en que se elaboran los morteros puros de azufre, verificando que combinaciones proporcionan resistencias mayores para su posible empleo.
- Para valorar la mejor combinación en resistencia de mortero de azufre se proponen los siguientes materiales inertes que le continuaran dando al mortero la condición tersa y lisa propuesta:

AGLOMERANTE	MATERIAL INERTE	NOMENCLATURA
AZUFRE	ARENA ANDESÍTICA	a-a.and
AZUFRE	ARCILLA RECOCIDA	a-ar
AZUFRE	MICROSÍLICA	a- micro
AZUFRE	CEMENTO	a-ce
AZUFRE	CALHIDRA	a-ca!
AZUFRE	CEROFINO	a-cero
AZUFRE	ARENA DE CALIZA	a- a.cali

COMBINACIONES PROPUESTAS EN LA ELABORACIÓN DE MORTEROS

PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS:

El orden de finura utilizada para **a-a.and**, **a-ar**, **a-cero** y **a-a-cali**, fue el retenido de la malla # 200 (figura 1). En todos los demás materiales se tomaron tal como venían en su empaque. Las proporciones utilizadas estuvieron entre el orden del 60 al 100 % de azufre y del 20 al 40 % de material inerte.



Figura 1

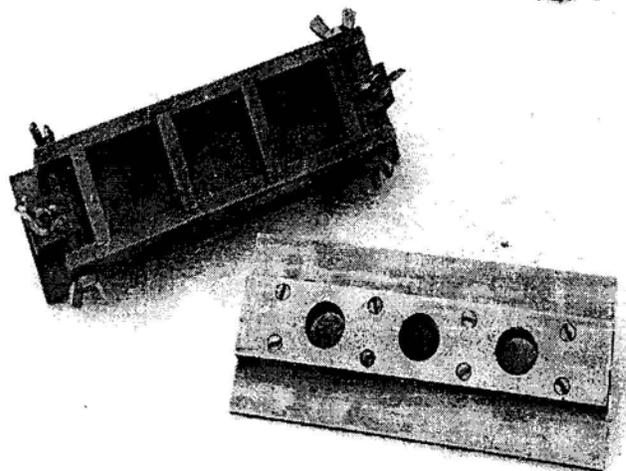


Figura 2

El tamaño de la muestra de cada uno de los morteros fue de nueve cubos, los cuales se fabricaron en moldes de tres compartimientos (figura 2) con su respectiva tapa. El fundido se llevo a cabo en una jarra (figura 3 y 4) provista de mango de madera para evitar quemaduras.

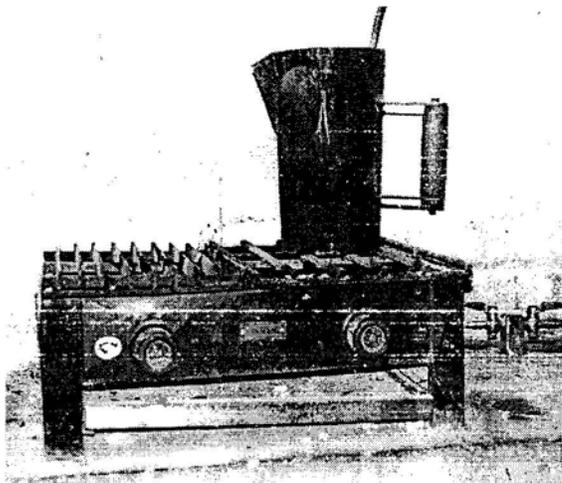


Figura 3

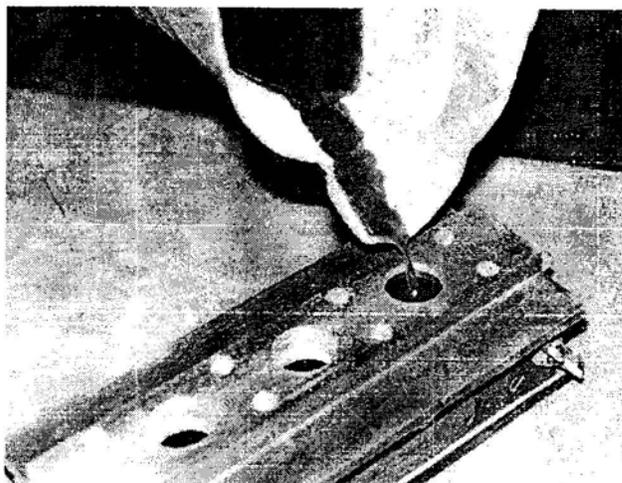


Figura 4

Para la aplicación de la carga se utilizó una prensa hidráulica (figura 5 y 6) de doble manómetro con una capacidad de 120 toneladas.

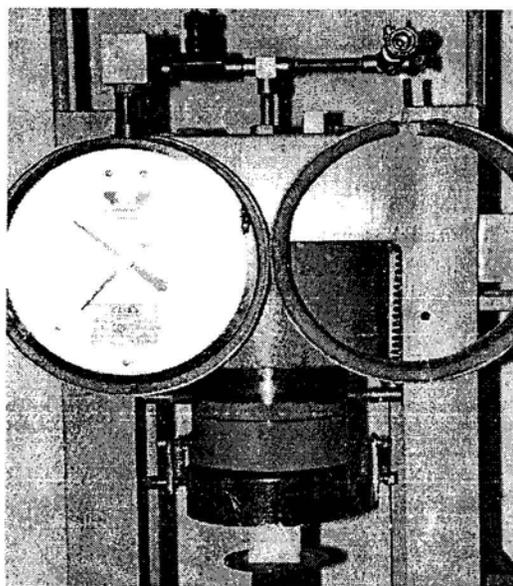


Figura 5

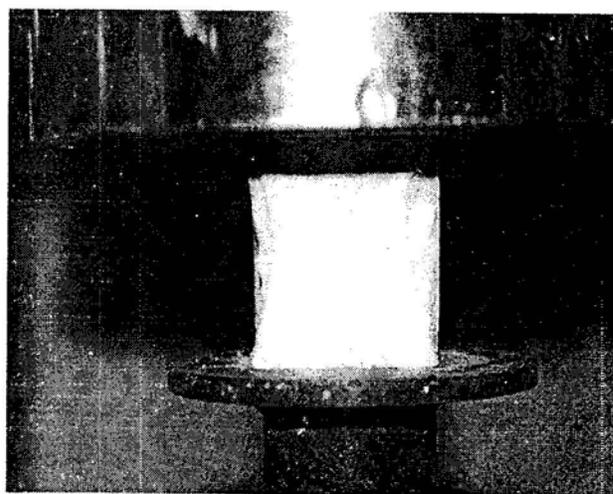


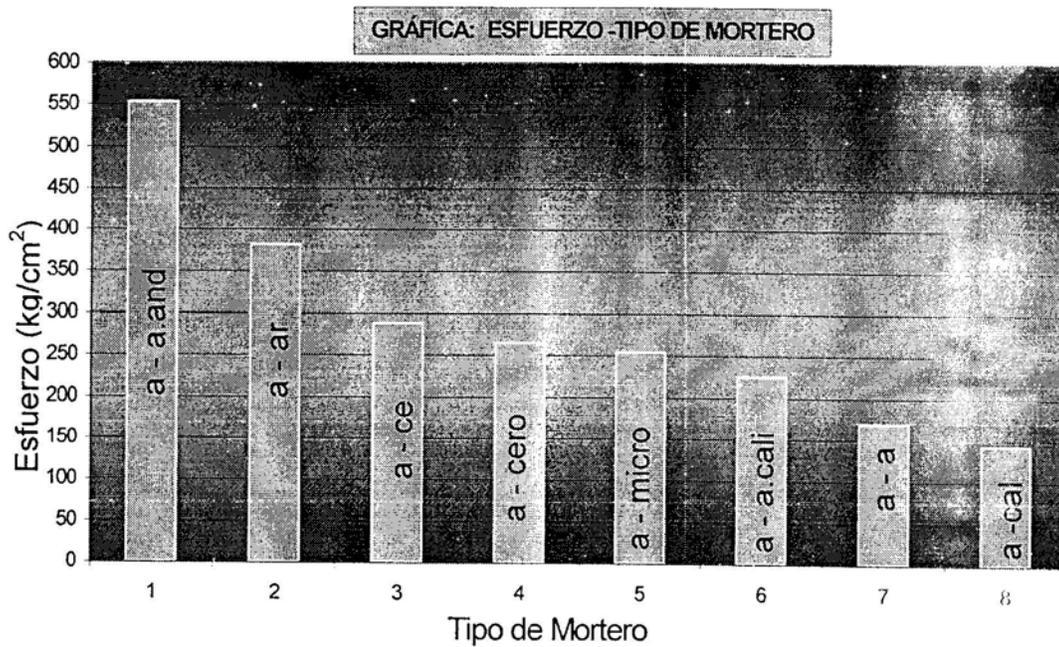
Figura 6

Los resultados de las cargas aplicadas (promedio de nueve especímenes) obtenidas hasta la falla se muestran en la tabla 1 y para su mejor visualización de éstos se obtuvo la gráfica 1.

TIPO DE MORTERO	ESFUERZO (KG/CM ²)
AZUFRE-ARENA ANDESÍTICA (60-40%)	553
AZUFRE-ARCILLA COCIDA (74-26%)	382
AZUFRE-CEMENTO (60-40%)	288
AZUFRE-CEROFINO (63-37 %)	265
AZUFRE-MICROSÍLICA (60-40%)	254
AZUFRE-ARENA DE CALIZA (70-30%)	226
AZUFRE-AZUFRE (100%)	167
AZUFRE-CALIDRA (80-20%)	143

TABLA 1

GRÁFICA 1



Como se observó el mortero elaborado con arena andesítica presento la más alta resistencia a compresión, por tanto lo hace ideal para la corrección de las superficies irregulares para el ensayo a compresión axial, pero hay que verificar su factibilidad para resistencias altas. Por lo tanto, más adelante se hará un planteamiento a este respecto. Ahora sólo nos limitamos a la identificación del mortero de mayor resistencia.

El siguiente objetivo que se abordará en este trabajo es el que respecta a la influencia del tamaño de las partículas del material inerte.

En el objetivo anterior, se observó que el mortero de mayor resistencia resultó ser el elaborado con una arena de origen andesítica, por lo tanto partimos de esta premisa para tratar de identificar el comportamiento de la siguiente variable importante que para nuestro juicio es, el efecto del tamaño de partícula en este caso el de la arena andesítica en el mortero de azufre.

PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS:

Para el cumplimiento de este segundo objetivo se propuso separar la arena en sus diferentes tamaños de acuerdo a las mallas utilizadas para el análisis granulométrico (se añadió la malla # 200); dichos retenidos fueron combinados respectivamente en una proporción en peso del orden de 60% de azufre con un 40% de arena, haremos mención que no fue utilizado el retenido de la charola.

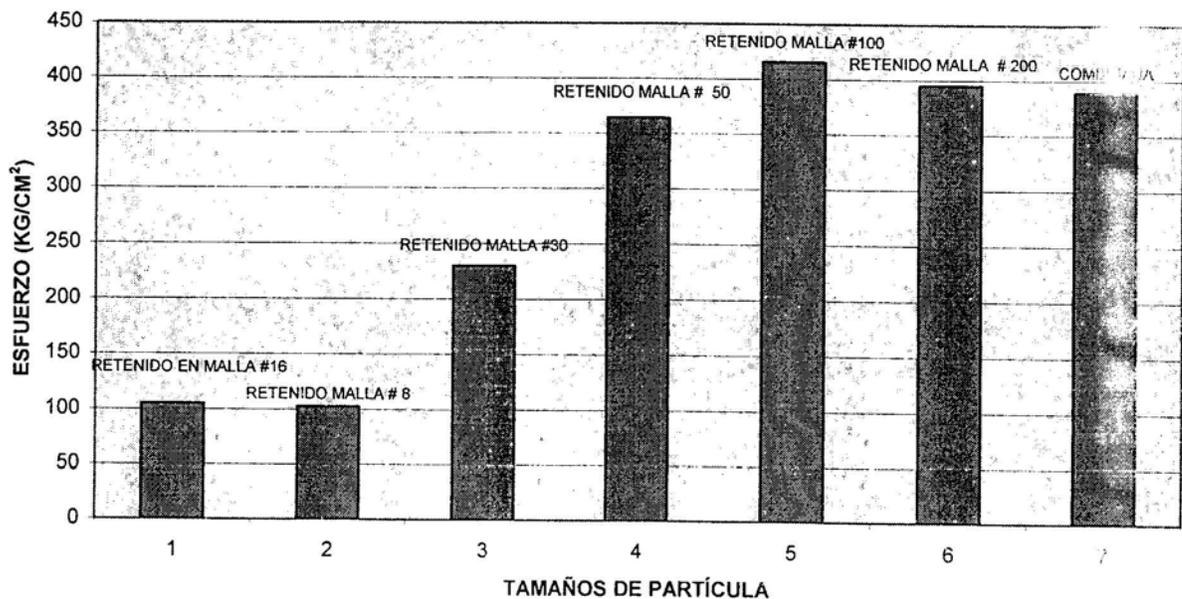
A continuación se muestran los resultados (tabla 2) de las pruebas a compresión de cada uno de los morteros. El esfuerzo obtenido es un promedio de seis probetas cúbicas las cuales fueron fabricadas y probadas de igual forma como lo señala la norma.

Por otra parte también se tienen los esfuerzos graficados (gráfica 2) en función de los diferentes tamaños de partícula, de los cuales podemos concluir que los morteros elaborados con arenas de retenido de las mallas # 100 y # 200 son los que presentaron las resistencias a compresión más altas.

MORTERO DE AZUFRE	ESFUERZO (KG/CM ²)
AZUFRE – ARENA (RETENIDO # 200)	395
AZUFRE – ARENA (RETENIDO # 100)	416
AZUFRE – ARENA (RETENIDO # 50)	364
AZUFRE – ARENA (RETENIDO # 30)	230
AZUFRE – ARENA (RETENIDO # 16)	102
AZUFRE – ARENA (RETENIDO # 8)	105
AZUFRE – ARENA (COMBINACIÓN DE TAMAÑOS)	390

TABLA 2

RESISTENCIA DE MORTEROS CON DIVERSOS TAMAÑOS DE PARTÍCULA



GRÁFICA 2

Recapitulando lo anterior, hasta el momento hemos estudiado el comportamiento de las variables, que tienen que ver en primer instancia, con la más adecuada combinación de azufre-material inerte y por otro lado el tamaño óptimo de arena que se necesita para tener una mayor resistencia mecánica a la compresión en el mortero de azufre.

El tercer punto u objetivo que nos propusimos revisar, es el que tiene que ver con la mayor o menor cantidad de azufre en el mortero, para esto se retomaron los resultados anteriores, los cuales nos señalan el mejor mortero de azufre y por otra parte el mejor tamaño de partícula necesario para obtener un más alto esfuerzo en el material de cabeceo.

El azufre es el componente que aglomera a las partículas de arena; entonces la cantidad de este debe tener una influencia directa en las propiedades físicas y mecánicas del mortero, y que en consecuencia afectará el esfuerzo real que deberá tener el espécimen de concreto hidráulico. Por esta razón, se plantea hacer una revisión referente al contenido óptimo de cada uno de los componentes del mortero, tal que nos indique cuales proporciones son factibles de utilizar en el refrentado.

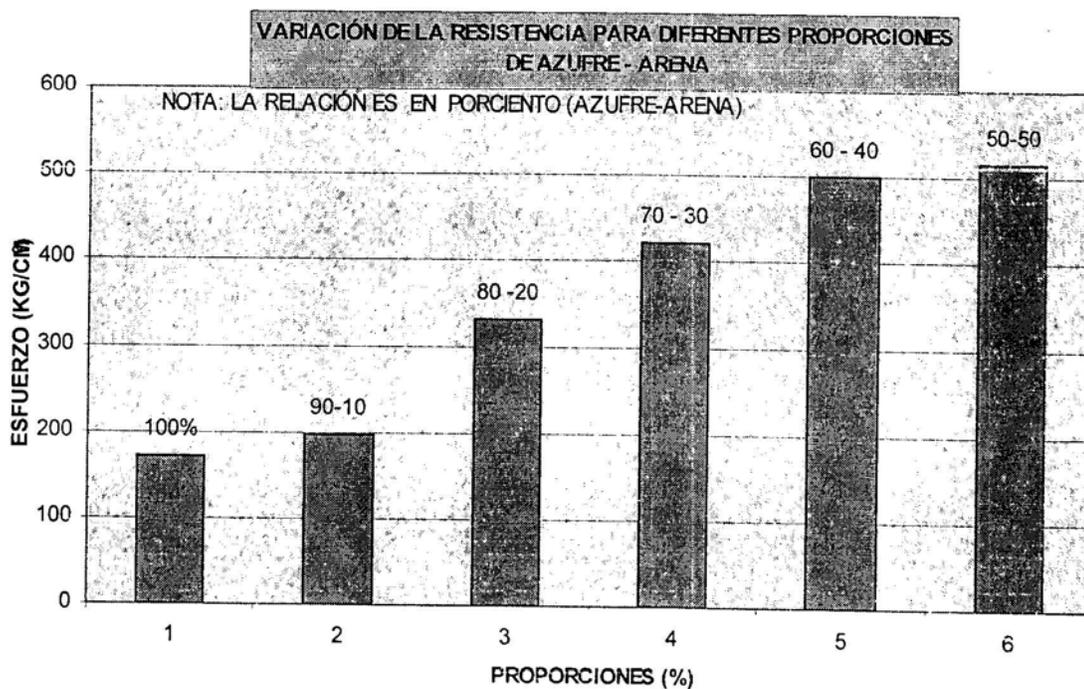
Para llevar a cabo lo anterior, se ha propuesto elaborar morteros de azufre en los cuales se varíen los contenidos de un 100 % hasta un 50 % de él con el objeto de tener como resultado un material que al suministro de calor se funda y tenga características adecuadas para efectuar el cabeceo del espécimen, completando lo que falta con el retenido de arena de la malla # 100. A continuación se muestra en la tabla 3 los resultados obtenidos y también su correspondiente gráfica (3).

Como se puede observar y de acuerdo a la norma **NMX-C-109**, que el contenido del material para el mortero es óptimo en el orden del 60 % de azufre con el 40 % de material inerte (arena) porque da cumplimiento con los requisitos

de la tabla de la norma, sin embargo, aun cuando se pueda obtener mayor resistencia con el mortero de relación 50 -50 %, este no es práctico, ya que en el momento de su elaboración no tiene la fluidez necesaria al momento de ser vaciado en el plato de refrentado.

RELACION AZUFRE - ARENA (%)	ESFUERZO* (KG/CM ²)
100% - 0 %	172
90% - 10%	197
80% - 20%	331
70% - 30%	422
60% - 40%	499
50% - 50%	516

TABLA 3



GRÁFICA 3

* NOTA: Los esfuerzos resultan de promedios de 6 cubos.

Como último objetivo de este trabajo, se decidió revisar la variación del espesor de las capas de algunos de los morteros. También se midieron deformaciones en ellos las cuales posiblemente podrían ser las responsables de la incertidumbre de los resultados obtenidos en las pruebas de compresión de dichos morteros y consecuentemente podrían tener el mismo efecto en los especímenes de concreto.

El planteamiento hecho para esta parte del trabajo, consistió en proponer primero diferentes morteros de azufre, los cuales fueron: azufre-azufre, azufre-microsilica, azufre-arena andesita, azufre-arena de basalto y azufre-arcilla cocida. De estos, se fabricaron las distintas probetas, de las cuales se partió de los cubos de 50 mm por lado, de estos se fueron obteniendo todos los demás espesores: 25, 10, 5 y 3 mm. Respectivamente para cada uno de los morteros propuestos (ver figura 7).

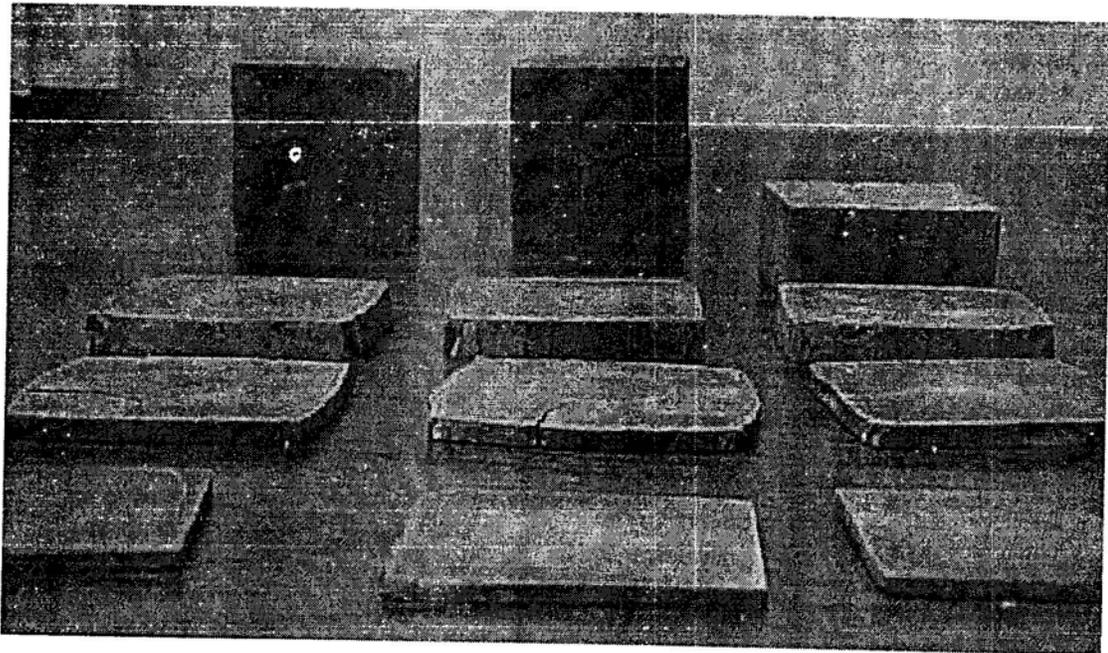
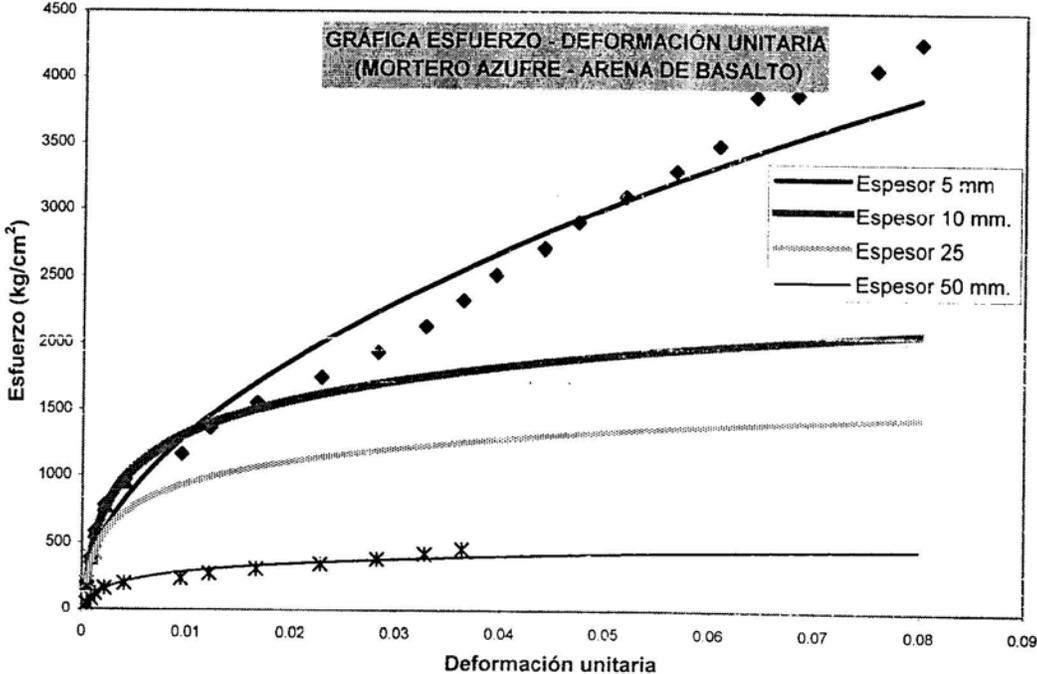
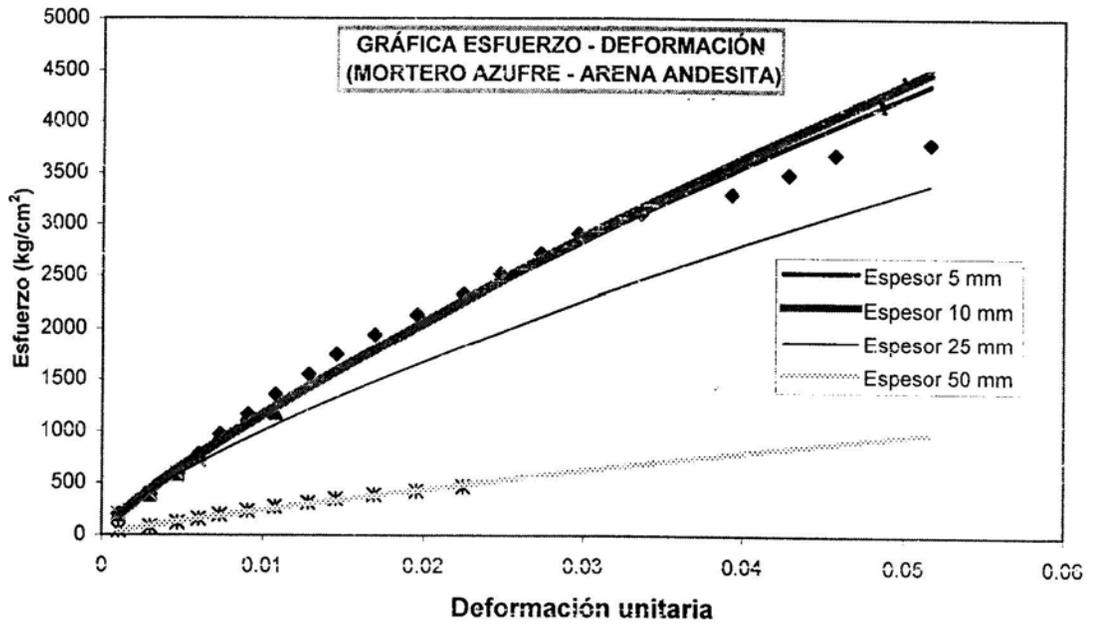


Figura 7

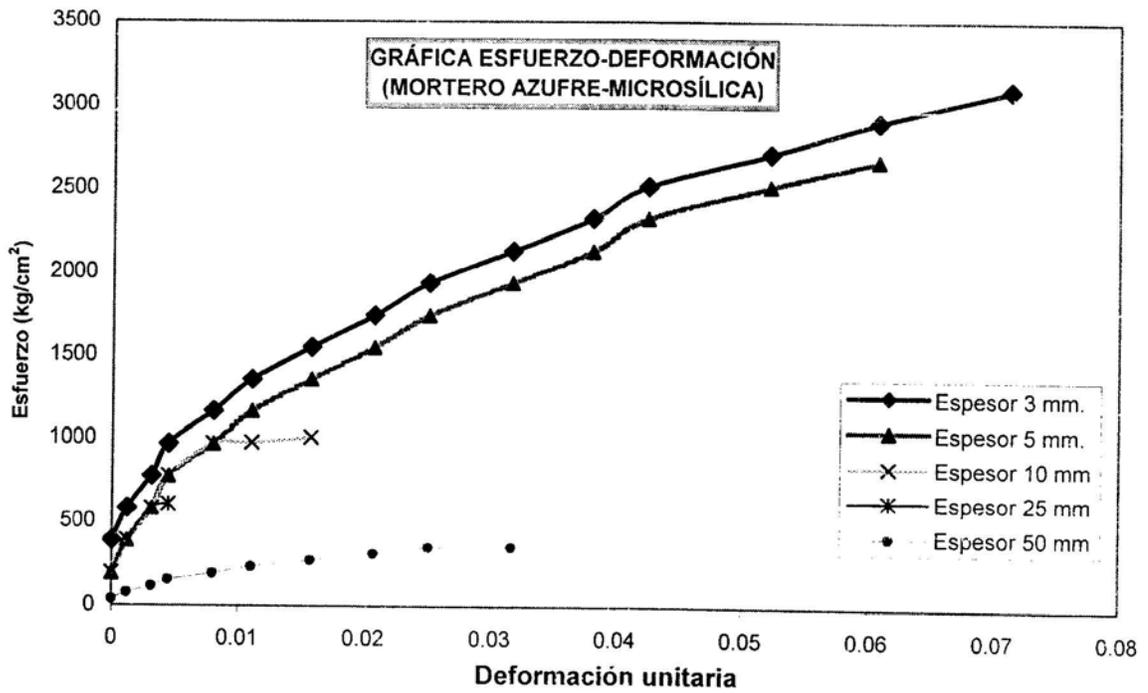
A continuación se presentan los datos obtenidos de esfuerzo y deformación unitaria de cada serie de morteros. Por facilidad, los valores obtenidos del ensaye se presentan en las gráficas (4, 5, 6, 7, y 8) para su mejor comprensión.



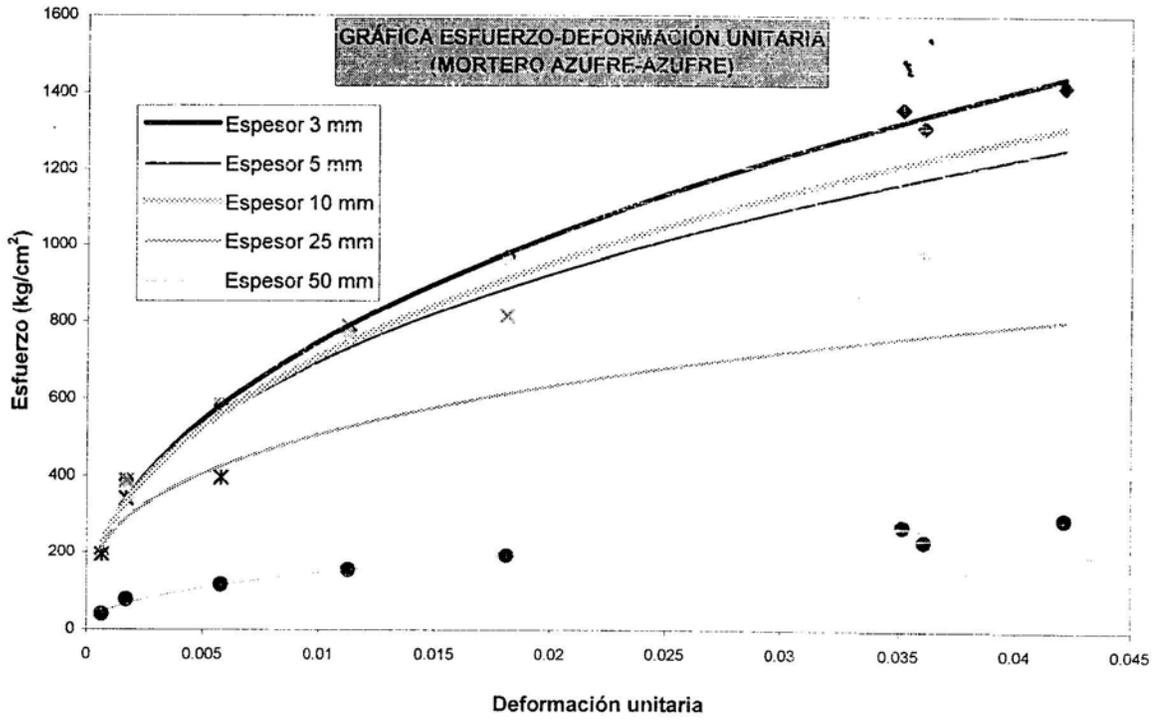
GRÁFICA 4



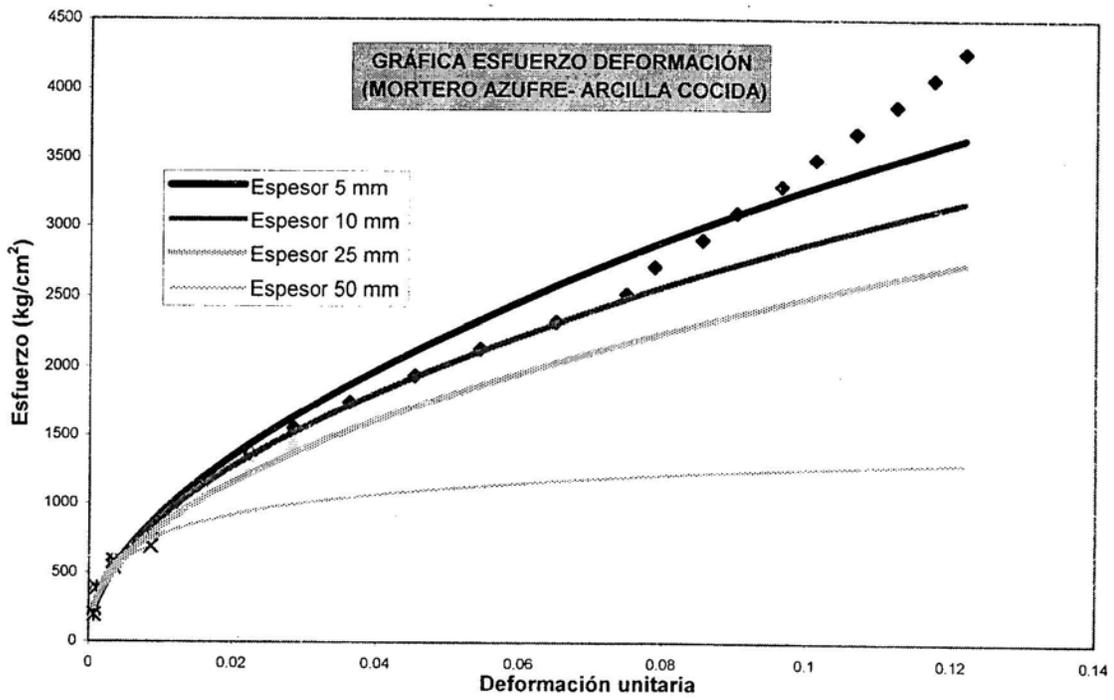
GRÁFICA 5



GRÁFICA 6



GRÁFICA 7



GRÁFICA 8

Cabe hacer mención que las curvas de tendencia obtenidas responden a un análisis de regresión, por lo tanto las ecuaciones (que no se escriben) encontradas son las que describen lo más cercano posible el comportamiento de los datos encontrados, esto se corroboró por medio del coeficiente de correlación (R^2) los cuales en su mayoría se encontraron mayores a 0.95

Por otra parte, para entender mejor el significado de las gráficas anteriores, es necesario recordar que, aproximadamente *el concreto hidráulico (normal) falla con una deformación unitaria del orden de 0.003 en compresión*. Si fijamos esta deformación unitaria, entonces podremos observar que los esfuerzos asociados son como los que se muestran en la siguiente tabla:

MORTERO	ϵ	ESFUERZOS ASOCIADOS (KG/CM ²)				
		ESPEORES CORRESPONDIENTES				
		3 MM	5 MM	10 MM	25 MM	50 MM
AZUFRE – ARENA ANDESITA	0.003	ⁿ	500	500	400	100
AZUFRE – AZUFRE	0.003	450	450	420	350	80
AZUFRE – ARCILLA COCIDA	0.003	ⁿ	580	550	500	480
AZUFRE – ARENA BASALTO	0.003	ⁿ	750	800	600	175
AZUFRE – MICROSÍLICA	0.003	750	600	600	600	125

De lo anterior, se observa que cuando el concreto falla, los esfuerzos que se alcanzan en el mortero son los que caen en el rango de 450 a 750 kg/cm², esto en la capa de mortero del orden de 5 mm. Cuando se prueban los cubos de 50 mm por lado, resulta que para la ϵ del concreto (de falla) estos alcanzan resistencias menores que las que posiblemente se puedan desarrollar en el concreto.

ⁿ Nota.- No se logro medir las deformaciones unitarias

Por último se trato de encontrar la relación que guardan los esfuerzos con cada uno de los espesores y morteros; como conclusión de esto, se agruparon en un solo gráfico (grafica 9) cada una de las curvas que se obtuvieron de los diferentes morteros. Si observamos someramente la gráfica, concluiríamos erróneamente que la resistencia aumenta conforme la placa de mortero disminuye, pero había que considerar las deformaciones de las placas las cuales son mayores que la deformación unitaria mínima con la cual fallan los cilindros de concreto (ver figura 8).

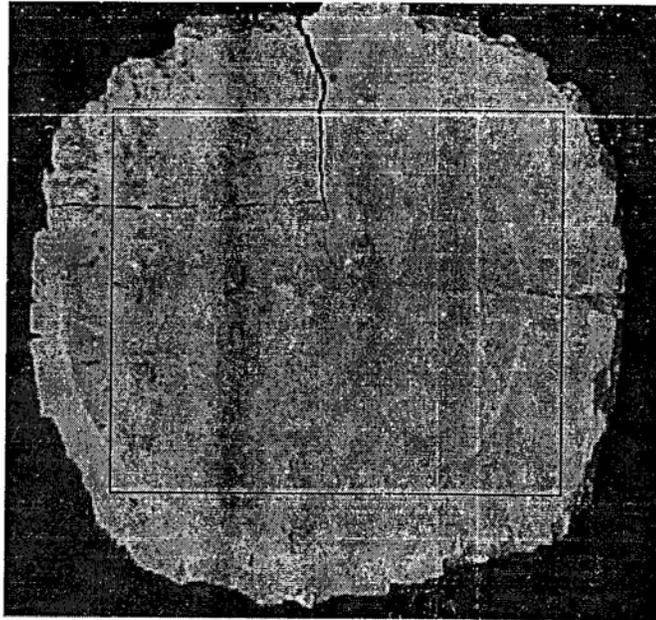
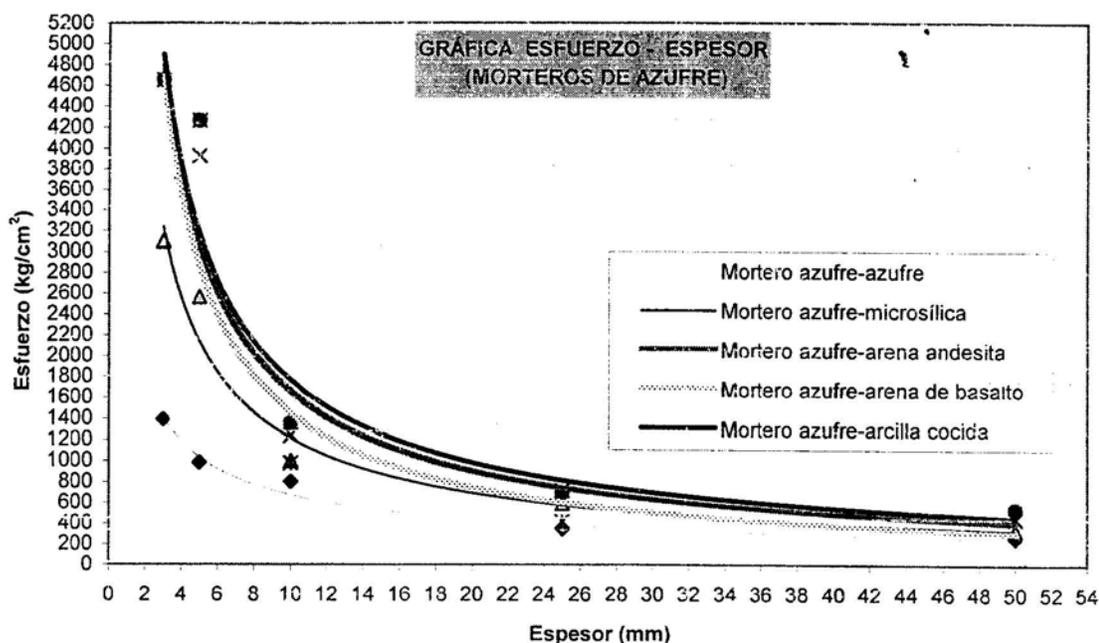


Figura 8



GRÁFICA 9

PROBLEMAS QUE SE PUEDEN PRESENTAR EN LA FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS DE AZUFRE

Las propiedades físicas del azufre solidificado son alteradas por diferentes factores. De los cuales es importante identificarlos para evitar su aparición en pruebas consecuentes.

A pesar de que la norma MNX-C-109 no señala que tipo de azufre es el que se debe utilizar en el cabeceo de especímenes de concreto, se entiende que es recomendable el de mayor pureza y que esté libre de agua absorbida.

Uno de los problemas de mayor frecuencia en los cubos, son las oquedades que quedan al centro del cubo. Estas ocurren aún cuando los cuidados son extremos.

La causa que la genera es una deficiente relleno. Es importante diferenciarlos de las burbujas provocadas por el agua absorbida por el azufre. (figura 9).

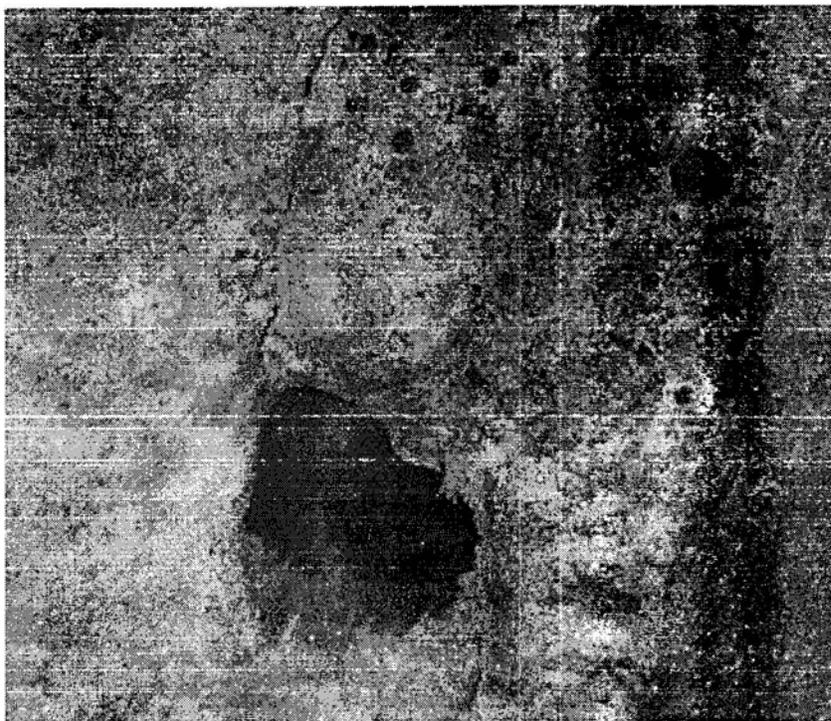


Figura 9

Otro problema común que se presenta en los cubos es el producido por el enfriamiento rápido del mortero, el cual se identifica por la formación de dendritas (cristales que convergen al centro del cubo). La forma correcta de la cristalización del azufre es aquella donde el crecimiento de dichos cristales es en forma de capas, cosa que no es muy fácil identificar en el cubo, por lo tanto es importante controlar la velocidad de enfriamiento, como ya precisamente lo señala la norma correspondiente (figura 10).

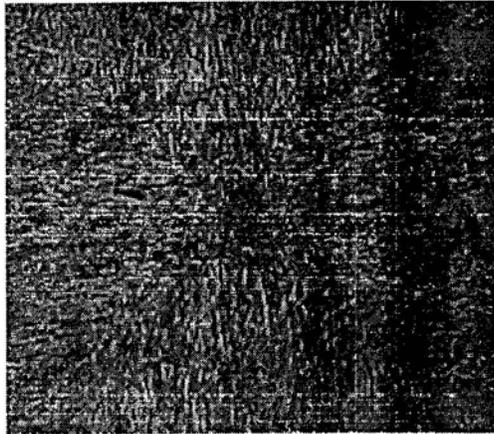


Figura 10

Otro problema que no es muy común de observar pero que sin embargo llega a ocurrir, es la formación de “bulbos”, los cuales son consecuencia de un relleno que no es hecho en su momento. Esto es generado principalmente por la diferencia de temperaturas entre el azufre anterior y posterior (figura 11).

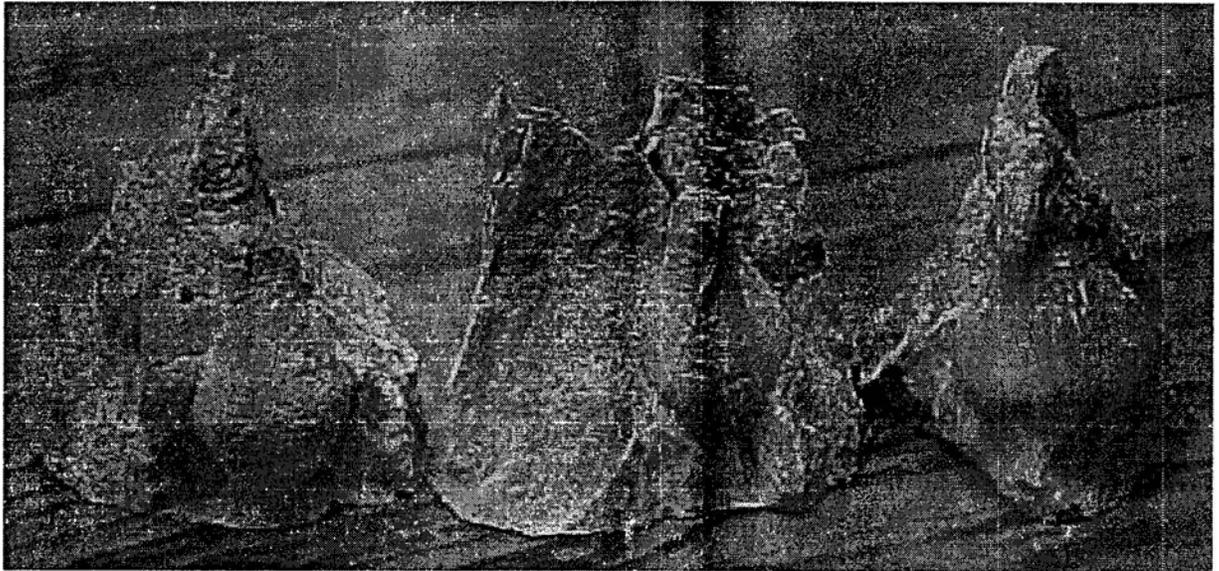


Figura 12

Por otra parte, una falla que suele ocurrir por errores de procedimiento, es cuando es insuficiente el mortero y al técnico no le alcanza para llenar los cubos, entonces por comodidad lo que hace es agregar mayor cantidad de azufre, cambiando la proporción del mortero, pero no sólo eso, si no que también el azufre recién añadido no alcanza la temperatura ni mucho menos a mezclarse con el ya contenido en la jarra o recipiente para refrentado. Es así como se observan dos fases contenidas en el cubo. En general ocurre que el azufre solo cristaliza en el centro y la parte de la fase del mortero en el perímetro (figura 13).

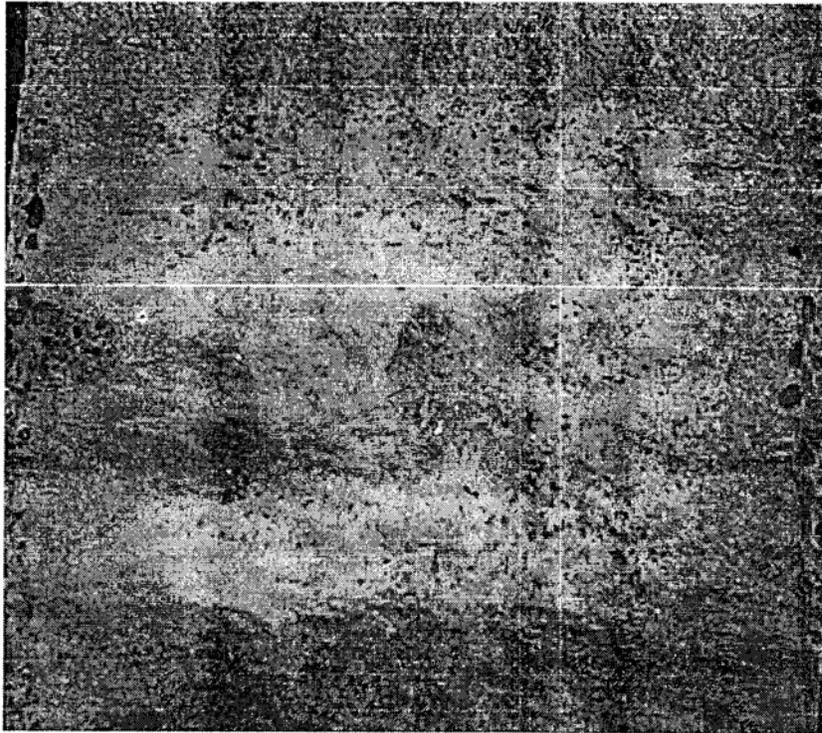


Figura 13

En última instancia mencionaremos un error, que también es de procedimiento. Este es característico porque ni siquiera el cubo se llega a formar. Hablamos del que es consecuencia del sobrecalentamiento del molde, mismo que se manifiesta

cuando al querer verter el mortero el azufre este se fuga por las pequeñísimas juntas entre las placas que componen el molde. Para este caso no tenemos fotografía alguna pero el error es inconfundible cuando llega a suceder.

CONCLUSIONES

Es importante señalar que las variables estudiadas en este reporte, tal vez no sean las únicas y más relevantes que influyan en las propiedades físicas de los morteros de azufre elaborados en laboratorio. Pero estamos convencidos de que servirán para confirmar y complementar los conocimientos ya adquiridos a este respecto.

De acuerdo a nuestro primer objetivo planteado, podemos concluir que el mortero fabricado con arena andesita es el que nos proporciona la mejor resistencia (550 kg/cm^2) en las probetas cúbicas, esto en comparación con los demás morteros.

Por lo que respecta a los tamaños de arena que fueron utilizados para elaborar los morteros, observamos que las mejores resistencias se obtuvieron con las combinaciones de azufre con retenido en la malla # 100 y # 200 respectivamente. A pesar de la similitud en resistencia de ambos morteros, se recomienda trabajar con el tamaño del retenido de la malla # 100 ya que es más fácil de obtenerlo en las arenas que se usan en la obra.

En relación a la proporción del material fundido con el material inerte, se corroboró el señalamiento de la norma NMX-C-109. Aunque hay que hacer mención, que existe la posibilidad de usar una relación uno a uno, la cual proporcionaría una mayor resistencia, sólo que se dificultaría su colocación en los moldes y en el plato de refrentado. Pero se ha observado que con un poco de práctica y habilidad se tienen resultados favorables.

En el estudio que se hizo para observar el efecto del espesor de la placa de mortero, se encontró que conforme esta es más delgada los esfuerzos que se obtienen son mayores. Pero también las deformaciones son considerables, de tal forma que podrían ser la causa, en algunos casos, como una variable adicional de la falla prematura del cilindro de concreto. En este sentido, cabe hacer la reflexión

del porque se ha tomado la resistencia de un cubo de 50 mm por lado como referencia, sí de los resultados del presente trabajo no existe una relación importante entre la resistencia del azufre colocado como una placa delgada en las probetas y la especificación de la norma.

Por último enlistaremos las fallas más frecuentes que se presentaron en las probetas cúbicas de los diferentes morteros de azufre:

- Presencia de huecos por deficiencia de llenado y contenido de vacíos por agua evaporada.
- Formación de dendritas por enfriamiento rápido.
- Formación de bulbos por: diferencias de temperaturas, falta de homogenización de la mezcla de mortero y relleno a destiempo.
- Cristalización en dos fases diferentes por agregar más cantidad de azufre, y no permitir que se mezcle y alcance la misma temperatura la mezcla.
- La no formación del cubo por sobrecalentamiento del molde.

Como una última reflexión vale la pena recordar que hasta el momento la técnica del mortero de azufre a resultado ser la forma más económica para el rectificado de los especímenes de prueba, pero en contraparte resulta ser la más peligrosa, por las quemaduras provocadas del descuido o mal manejo, así como también por la contaminación al ambiente por el bióxido de azufre desprendido durante el calentamiento. Por otra parte, además, requiere de muchos cuidados y experiencia para conseguir con éxito un buen refrentado. Por sobre todo lo anterior, mientras esta técnica sea la más utilizada, habrá que seguir estudiando este material para poder optimizar el proceso y retroalimentar con las experiencias de los laboratoristas.

REFERENCIAS

- "Industria de la construcción – Concreto – Cabeceo de especímenes cilíndricos NMX – C – 109 – 1997.
- "Industria de la construcción – Cemento – Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos NMX – C – 61
- ASTM C – 617 – 94 Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens
- ADAM M. NEVILLE. Tecnología del Concreto. México, Edit . IMCYC, 1999.

ANEXO E

ENSAYE A COMPRESIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERIA MAESTRIA EN CONSTRUCCION
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE INGENIERIA CIVIL
A N E X O E

RESULTADOS DE PRUEBAS A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO

Fecha de fabricación: Sábado, 15 de Octubre de 2005
 Fecha de ensaye: Sábado, 12 de Noviembre de 2005
 No. total de especímenes elaborados: 60
 No. total de especímenes ensayados: 60

Tipo de cemento: Cemento CPC 30R
 Relaciones A/C utilizadas: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8
 Número de especímenes por relación A/C: 10

Hoja 1 de 3

No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	ϕ_1 (cm)	ϕ_2 (cm)	ϕ prom (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso (Kg)	Peso volumétrico (kg/ m ³)	Carga (Kg)	Carga corregida (kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia corregida por temperatura (Kg/cm ²)	Promedio aritmético
1	0.3	M-1	14.9	15.0	15.0	175.54	30.1	5283.7	11.724	2219	71200	69600	396	402	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²) 416
2		M-2	14.8	15.2	15.0	176.71	30.2	5327.9	11.756	2206	72400	70800	401	407	
3		M-3	14.9	15.1	15.0	176.71	30.1	5319.1	11.667	2193	77000	75400	427	434	
4		M-4	14.9	14.9	14.9	174.37	30.1	5248.4	11.764	2241	73800	72200	414	420	
5		M-5	14.9	15.1	15.0	176.71	30.2	5327.9	11.780	2211	78600	77000	436	443	
6		M-6	15.0	15.0	15.0	176.71	30.2	5336.8	11.607	2175	74800	73200	414	420	Peso volumétrico (Kg/ m ³) 2201
7		M-7	15.2	14.9	15.1	177.89	30.2	5372.4	11.731	2184	69200	67800	381	387	
8		M-8	15.1	14.9	15.0	176.71	30.1	5319.1	11.742	2208	68600	67200	380	386	
9		M-9	15.0	15.2	15.1	179.08	30.1	5390.3	11.703	2171	79000	77400	432	439	
10		M-10	15.0	15.1	15.1	177.89	30.0	5336.8	11.771	2206	74800	73200	411	417	
11	0.4	M-1	15.0	15.0	15.0	176.71	30.2	5336.8	11.677	2188	58400	57200	324	329	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²) 342
12		M-2	14.9	15.2	15.1	177.89	29.9	5319.0	11.699	2199	60600	59200	333	338	
13		M-3	14.9	15.2	15.1	177.89	30.1	5354.6	11.691	2183	60400	59000	332	337	
14		M-4	15.0	14.9	15.0	175.54	30.0	5266.2	11.621	2207	61600	60200	343	348	
15		M-5	15.0	15.0	15.0	176.71	30.1	5319.1	11.641	2189	61200	59800	338	343	
16		M-6	14.9	15.1	15.0	176.71	30.2	5336.8	11.755	2203	61400	60000	340	345	Peso volumétrico (Kg/ m ³) 2193
17		M-7	15.0	15.0	15.0	176.71	29.9	5283.8	11.633	2202	59600	58400	330	335	
18		M-8	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.4	11.652	2198	64600	63200	358	364	
19		M-9	14.9	15.3	15.1	179.08	30.0	5372.4	11.692	2176	63200	61800	345	350	
20		M-10	15.0	15.1	15.1	177.89	30.0	5336.8	11.688	2190	58400	57200	322	327	

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERIA MAESTRIA EN CONSTRUCCION
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE INGENIERIA CIVIL
A N E X O E

RESULTADOS DE PRUEBAS A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO

Fecha de fabricación: Sábado, 15 de Octubre de 2005
 Fecha de ensaye: Sábado, 12 de Noviembre de 2005
 No. total de especímenes elaborados: 60
 No. total de especímenes ensayados: 60

Tipo de cemento: Cemento CPC 30R
 Relaciones A/C utilizadas: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8
 Número de especímenes por relación A/C: 10

Hoja 2 de 3

No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	ϕ_1 (cm)	ϕ_2 (cm)	ϕ prom (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso (Kg)	Peso volumétrico (kg/ m ³)	Carga (Kg)	Carga corregida (kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia corregida por temperatura (Kg/cm ²)	Promedio aritmético
21	0.5	M-1	14.9	15.2	15.1	177.89	29.9	5319.0	11.660	2192	45000	44000	247	251	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²)
22		M-2	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.4	11.622	2192	47200	46200	261	265	
23		M-3	15.3	15.1	15.2	181.46	30.2	5480.0	12.110	2210	49000	48000	265	269	
24		M-4	15.3	14.9	15.1	179.08	30.0	5372.4	11.640	2167	48400	47400	265	269	
25		M-5	15.1	15.1	15.1	179.08	30.2	5408.2	11.610	2147	45000	44000	246	250	
26		M-6	15.1	15.2	15.2	180.27	30.4	5480.1	11.783	2150	47000	46000	255	259	Peso volumétrico (Kg/ m ³)
27		M-7	15.2	15.0	15.1	179.08	30.2	5408.2	11.576	2140	46800	45800	256	260	
28		M-8	15.2	15.6	15.4	186.27	30.7	5718.3	12.129	2121	48200	47200	253	257	
29		M-9	15.1	15.1	15.1	179.08	30.1	5390.3	11.531	2139	46600	45600	255	259	
30		M-10	15.1	15.2	15.2	180.27	30.1	5426.0	11.598	2137	44600	43600	242	246	
31	0.6	M-1	15.1	15.0	15.1	177.89	30.2	5372.4	11.562	2152	37600	36800	207	210	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²)
32		M-2	15.0	15.2	15.1	179.08	30.3	5426.1	11.644	2146	37400	36600	204	207	
33		M-3	15.0	15.2	15.1	179.08	30.1	5390.3	11.601	2152	36800	36000	201	204	
34		M-4	15.1	15.1	15.1	179.08	30.2	5408.2	11.533	2133	44200	43200	241	245	
35		M-5	15.1	15.1	15.1	179.08	30.0	5372.4	11.580	2155	40000	39000	218	221	
36		M-6	15.0	15.1	15.1	177.89	30.2	5372.4	11.603	2160	40600	39600	223	226	Peso volumétrico (Kg/ m ³)
37		M-7	15.2	15.0	15.1	179.08	30.4	5444.0	11.595	2130	40400	39400	220	223	
38		M-8	15.0	15.3	15.2	180.27	30.2	5444.0	11.523	2117	39600	38600	214	217	
39		M-9	15.0	15.1	15.1	177.89	30.2	5372.4	11.572	2154	40200	39200	220	223	
40		M-10	15.1	15.3	15.2	181.46	30.2	5480.0	11.628	2122	37200	36400	201	204	

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERIA MAESTRIA EN CONSTRUCCION
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE INGENIERIA CIVIL
A N E X O E

RESULTADOS DE PRUEBAS A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO

Fecha de fabricación: Sábado, 15 de Octubre de 2005
 Fecha de ensaye: Sábado, 12 de Noviembre de 2005
 No. total de especímenes elaborados: 60
 No. total de especímenes ensayados: 60

Tipo de cemento: Cemento CPC 30R
 Relaciones A/C utilizadas: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8
 Número de especímenes por relación A/C: 10

Hoja 3 de 3

No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	ϕ_1 (cm)	ϕ_2 (cm)	ϕ prom (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso (Kg)	Peso volumétrico (kg/ m ³)	Carga (Kg)	Carga corregida (kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia corregida por temperatura (Kg/cm ²)	Promedio aritmético
41	0.7	M-1	14.9	15.0	15.0	175.54	30.0	5266.2	11.417	2168	27200	26600	152	154	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²)
42		M-2	15.3	14.9	15.1	179.08	30.2	5408.2	11.645	2153	28000	27400	153	155	
43		M-3	15.1	15.1	15.1	179.08	30.1	5390.3	11.548	2142	27800	27200	152	154	
44		M-4	15.2	15.1	15.2	180.27	30.3	5462.1	11.548	2114	26200	25600	142	144	
45		M-5	15.0	15.3	15.2	180.27	30.2	5444.0	11.572	2126	28400	27800	154	156	
46		M-6	15.3	14.9	15.1	179.08	30.2	5408.2	11.521	2130	28000	27400	153	155	Peso volumétrico (Kg/ m ³)
47		M-7	15.0	15.2	15.1	179.08	30.1	5390.3	11.575	2147	29600	29000	162	165	
48		M-8	15.2	15.2	15.2	181.46	30.1	5461.9	11.517	2109	28000	27400	151	153	
49		M-9	15.3	14.9	15.1	179.08	30.1	5390.3	11.547	2142	28000	27400	153	155	
50		M-10	15.2	15.1	15.2	180.27	30.2	5444.0	11.541	2120	28400	27800	154	156	
51	0.8	M-1	15.0	15.0	15.0	176.71	30.1	5319.1	11.435	2150	15600	15200	86	87	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²)
52		M-2	15.0	15.0	15.0	176.71	29.9	5283.8	11.264	2132	20400	20000	113	115	
53		M-3	15.1	15.0	15.1	177.89	30.0	5336.8	11.355	2128	19600	19200	108	110	
54		M-4	15.1	15.1	15.1	179.08	30.1	5390.3	11.358	2107	17000	16600	93	94	
55		M-5	15.1	15.1	15.1	179.08	29.9	5354.5	11.419	2133	20400	20000	112	114	
56		M-6	15.3	15.1	15.2	181.46	30.1	5461.9	11.398	2087	16800	16400	90	91	Peso volumétrico (Kg/ m ³)
57		M-7	14.9	15.1	15.0	176.71	29.5	5213.1	11.498	2206	19600	19200	109	111	
58		M-8	15.1	15.2	15.2	180.27	30.2	5444.0	11.492	2111	15200	14800	82	83	
59		M-9	15.2	15.0	15.1	179.08	30.0	5372.4	11.395	2121	19600	19200	107	109	
60		M-10	15.1	15.2	15.2	180.27	30.0	5408.0	11.438	2115	14000	13600	75	76	



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE INGENIERÍA CIVIL
A N E X O E

RESULTADOS DE PRUEBAS A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO

Fecha de fabricación: Sábado, 22 de Octubre de 2005
 Fecha de ensaye: Sábado, 19 de Noviembre de 2005
 No. total de especímenes elaborados: 50
 No. total de especímenes ensayados: 50

Tipo de cemento: Cemento CPP 30R
 Relaciones A/C utilizadas: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7.
 Número de especímenes por relación A/C: 10

Hoja 1 de 3

No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	ϕ_1 (cm)	ϕ_2 (cm)	ϕ prom (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso (Kg)	Peso volumétrico (kg/ m ³)	Carga (Kg)	Carga corregida (kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia corregida por temperatura (Kg/cm ²)	Promedio aritmético
1	0.3	M-1	15.0	15.2	15.1	179.08	30.2	5408	11.923	2205	80400	78600	439	446	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²)
2		M-2	15.0	15.1	15.1	179.08	30.1	5390	11.892	2206	82400	80600	450	457	
3		M-3	15.1	15.1	15.1	179.08	30.2	5408	11.887	2198	82200	80400	449	456	
4		M-4	15.4	15.3	15.4	186.27	30.5	5681	12.286	2163	87400	85600	460	467	
5		M-5	15.0	15.2	15.1	179.08	30.1	5390	11.858	2200	81400	79600	444	451	
6		M-6	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301	11.638	2195	83200	81400	461	468	Peso volumétrico (Kg/ m ³)
7		M-7	15.0	15.0	15.0	176.71	30.2	5337	11.784	2208	82200	80400	455	462	
8		M-8	14.9	15.3	15.1	179.08	30.3	5426	11.921	2197	83800	82000	458	465	
9		M-9	14.9	15.2	15.1	179.08	30.3	5426	11.930	2199	84000	82200	459	466	
10		M-10	15.0	15.0	15.0	176.71	30.3	5354	11.897	2222	83200	81400	461	468	
11	0.4	M-1	15.2	15.1	15.2	181.46	30.1	5462	11.749	2151	64300	63000	347	352	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²)
12		M-2	15.0	15.3	15.2	181.46	30.2	5480	11.695	2134	63400	62000	342	347	
13		M-3	15.4	15.0	15.2	181.46	30.1	5462	11.697	2142	67600	66200	365	371	
14		M-4	14.9	15.2	15.1	179.08	30.2	5408	11.694	2162	64400	63000	352	358	
15		M-5	15.1	15.2	15.2	181.46	30.1	5462	11.787	2158	67000	65600	362	368	
16		M-6	14.9	15.1	15.0	176.71	30.2	5337	11.700	2192	66400	65000	368	374	Peso volumétrico (Kg/ m ³)
17		M-7	15.2	15.1	15.2	181.46	30.2	5480	11.747	2144	62800	61400	338	343	
18		M-8	15.0	15.1	15.1	179.08	30.2	5408	11.605	2146	65600	64200	358	364	
19		M-9	15.0	15.3	15.2	181.46	30.1	5462	11.721	2146	62800	61400	338	343	
20		M-10	15.3	15.0	15.2	181.46	30.0	5444	11.697	2149	65600	64200	354	360	



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE INGENIERÍA CIVIL

A N E X O E

RESULTADOS DE PRUEBAS A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO

Fecha de fabricación: Sábado, 22 de Octubre de 2005
 Fecha de ensaye: Sábado, 19 de Noviembre de 2005
 No. total de especímenes elaborados: 50
 No. total de especímenes ensayados: 50

Tipo de cemento: Cemento CPP 30R
 Relaciones A/C utilizadas: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7.
 Número de especímenes por relación A/C: 10

Hoja 2 de 3

No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	ϕ_1 (cm)	ϕ_2 (cm)	ϕ prom (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso (Kg)	Peso volumétrico (kg/ m ³)	Carga (Kg)	Carga corregida (kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia corregida por temperatura (Kg/cm ²)	Promedio aritmético
21	0.5	M-1	15.2	15.1	15.2	180.27	30.2	5444	11.608	2132	48800	47800	265	269	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²) 266
22		M-2	15.0	15.2	15.1	179.08	30.1	5390	11.688	2168	46400	45400	254	258	
23		M-3	15.2	15.0	15.1	179.08	30.2	5408	11.660	2156	44400	43400	242	246	
24		M-4	15.1	15.1	15.1	179.08	30.1	5390	11.728	2176	47200	46200	258	262	
25		M-5	15.1	15.1	15.1	179.08	30.2	5408	11.651	2154	46800	45800	256	260	
26		M-6	15.1	15.1	15.1	179.08	30.1	5390	11.670	2165	52600	51400	287	291	Peso volumétrico (Kg/ m ³) 2158
27		M-7	15.1	15.0	15.1	177.89	30.4	5408	11.665	2157	50600	49400	278	282	
28		M-8	15.1	15.1	15.1	179.08	30.3	5426	11.655	2148	46600	45600	255	259	
29		M-9	15.2	15.0	15.1	179.08	30.1	5390	11.674	2166	47000	46000	257	261	
30		M-10	15.0	15.1	15.1	177.89	30.2	5372	11.609	2161	47800	46800	263	267	
31	0.6	M-1	15.2	15.1	15.2	180.27	30.1	5426	11.714	2159	42400	41400	230	234	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²) 222
32		M-2	15.0	15.2	15.1	179.08	30.1	5390	11.659	2163	43200	42200	236	240	
33		M-3	15.1	15.0	15.1	177.89	30.2	5372	11.710	2180	39000	38200	215	218	
34		M-4	15.3	15.1	15.2	181.46	30.2	5480	11.711	2137	41400	40400	223	226	
35		M-5	15.2	15.0	15.1	179.08	30.2	5408	11.622	2149	38800	38000	212	215	
36		M-6	15.2	15.1	15.2	180.27	30.1	5426	11.631	2144	42000	41000	227	231	Peso volumétrico (Kg/ m ³) 2158
37		M-7	15.0	15.2	15.1	179.08	30.1	5390	11.642	2160	38600	37800	211	214	
38		M-8	15.2	15.0	15.1	179.08	30.1	5390	11.667	2164	39200	38400	214	217	
39		M-9	15.0	15.2	15.1	179.08	30.1	5390	11.676	2166	38800	38000	212	215	
40		M-10	15.1	15.1	15.1	179.08	30.1	5390	11.629	2157	37200	36400	203	206	



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE INGENIERÍA CIVIL

A N E X O E

RESULTADOS DE PRUEBAS A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO

Fecha de fabricación: Sábado, 22 de Octubre de 2005

Tipo de cemento: Cemento CPP 30R

Fecha de ensaye: Sábado, 19 de Noviembre de 2005

Relaciones A/C utilizadas: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7.

No. total de especímenes elaborados: 50

Número de especímenes por relación A/C: 10

No. total de especímenes ensayados: 50

Hoja 3 de 3

No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	ϕ_1 (cm)	ϕ_2 (cm)	ϕ prom (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso (Kg)	Peso volumétrico (kg/ m ³)	Carga (Kg)	Carga corregida (kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia corregida por temperatura (Kg/cm ²)	Promedio aritmético
41	0.7	M-1	15.1	15.0	15.1	177.89	30.1	5355	11.474	2143	25400	24800	139	141	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²) 136
42		M-2	14.9	15.0	15.0	175.54	30.0	5266	11.315	2149	24800	24200	138	140	
43		M-3	15.1	15.2	15.2	180.27	30.1	5426	11.538	2126	24800	24200	134	136	
44		M-4	14.9	15.3	15.1	179.08	30.0	5372	11.460	2133	25600	25000	140	142	
45		M-5	15.2	14.9	15.1	177.89	30.3	5390	11.494	2132	24600	24000	135	137	
46		M-6	15.2	14.9	15.1	177.89	30.1	5355	11.460	2140	24200	23600	133	135	Peso volumétrico (Kg/ m ³) 2135
47		M-7	14.9	15.2	15.1	177.89	30.3	5390	11.584	2149	22200	21600	121	123	
48		M-8	15.1	15.1	15.1	179.08	30.1	5390	11.469	2128	24600	24000	134	136	
49		M-9	15.1	15.2	15.2	180.27	30.0	5408	11.505	2127	24400	23800	132	134	
50		M-10	15.1	15.1	15.1	179.08	30.2	5408	11.469	2121	24200	23600	132	134	



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE INGENIERÍA CIVIL
A N E X O E

RESULTADOS DE PRUEBAS A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO

Fecha de fabricación: Sábado, 29 de Octubre de 2005
 Fecha de ensaye: Sábado, 26 de Noviembre de 2005
 No. total de especímenes elaborados: 50
 No. total de especímenes ensayados: 50

Tipo de cemento: Cemento CPO 40R/ B
 Relaciones A/C utilizadas: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7.
 Número de especímenes por relación A/C: 10

Hoja 1 de 3

No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	ϕ_1 (cm)	ϕ_2 (cm)	ϕ prom (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso (Kg)	Peso volumétrico (kg/ m ³)	Carga (Kg)	Carga corregida (kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia corregida por temperatura (Kg/cm ²)	Promedio aritmético
1	0.3	M-1	15.0	15.1	15.1	177.89	30.1	5354.6	11.844	2212	84800	83000	467	474	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²) 479
2		M-2	15.2	15.1	15.2	180.27	30.2	5444.0	11.781	2164	85600	83800	465	472	
3		M-3	15.1	15.1	15.1	179.08	30.2	5408.2	11.802	2182	89400	87400	488	496	
4		M-4	15.1	15.1	15.1	179.08	30.1	5390.3	11.769	2183	83800	82000	458	465	
5		M-5	15.2	15.0	15.1	179.08	30.2	5408.2	11.808	2183	87800	86000	480	488	
6		M-6	15.1	15.2	15.2	180.27	30.3	5462.1	11.802	2161	82000	80200	445	452	Peso volumétrico (Kg/ m ³) 2177
7		M-7	15.2	15.1	15.2	180.27	30.1	5426.0	11.814	2177	90000	88000	488	496	
8		M-8	15.2	15.1	15.2	180.27	30.2	5444.0	11.725	2154	86200	84400	468	475	
9		M-9	15.0	15.2	15.1	179.08	30.3	5426.1	11.831	2180	86400	84600	472	479	
10		M-10	15.1	15.0	15.1	177.89	30.1	5354.6	11.628	2172	87200	85400	480	488	
11	0.4	M-1	15.0	15.2	15.1	179.08	30.1	5390.3	11.694	2169	75600	74000	413	419	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²) 413
12		M-2	15.4	15.0	15.2	181.46	30.1	5461.9	11.714	2145	74600	73000	402	408	
13		M-3	15.1	15.2	15.2	180.27	30.2	5444.0	11.696	2148	79600	77800	432	439	
14		M-4	15.2	15.1	15.2	180.27	30.1	5426.0	11.743	2164	73200	71600	397	403	
15		M-5	15.2	15.1	15.2	180.27	30.1	5426.0	11.693	2155	74600	73000	405	411	
16		M-6	15.4	15.2	15.3	183.85	30.7	5644.3	12.255	2171	72000	70400	383	389	Peso volumétrico (Kg/ m ³) 2164
17		M-7	15.0	15.0	15.0	176.71	30.3	5358.0	11.764	2196	74000	72400	410	416	
18		M-8	15.2	15.1	15.2	180.27	30.2	5444.0	11.693	2148	75400	73800	409	415	
19		M-9	15.2	14.8	15.0	176.71	30.2	5336.8	11.717	2196	72400	70800	401	407	
20		M-10	15.2	15.1	15.2	180.27	30.1	5426.0	11.677	2152	75800	74200	412	418	



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE INGENIERÍA CIVIL
A N E X O E

RESULTADOS DE PRUEBAS A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO

Fecha de fabricación: Sábado, 29 de Octubre de 2005
 Fecha de ensaye: Sábado, 26 de Noviembre de 2005
 No. total de especímenes elaborados: 50
 No. total de especímenes ensayados: 50

Tipo de cemento: Cemento CPO 40R/ B
 Relaciones A/C utilizadas: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7.
 Número de especímenes por relación A/C: 10

Hoja 2 de 3

No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	ϕ_1 (cm)	ϕ_2 (cm)	ϕ prom (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso (Kg)	Peso volumétrico (kg/ m ³)	Carga (Kg)	Carga corregida (kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia corregida por temperatura (Kg/cm ²)	Promedio aritmético
21	0.5	M-1	15.3	15.1	15.2	181.46	30.1	5461.9	11.623	2128	58600	57400	316	321	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²) 344
22		M-2	15.5	15.0	15.3	182.65	30.3	5534.4	11.748	2123	63000	61600	337	342	
23		M-3	15.2	15.2	15.2	181.46	30.1	5461.9	11.700	2142	60800	59400	327	332	
24		M-4	15.2	15.1	15.2	180.27	30.2	5444.0	11.669	2143	64600	63200	351	356	
25		M-5	15.0	15.3	15.2	180.27	30.2	5444.0	11.701	2149	67200	65800	365	371	
26		M-6	15.0	15.2	15.1	179.08	30.1	5390.3	11.704	2171	61800	60400	337	342	Peso volumétrico (Kg/ m ³) 2143
27		M-7	15.1	15.2	15.2	180.27	30.2	5444.0	11.640	2138	61800	60400	335	340	
28		M-8	15.2	15.1	15.2	180.27	30.4	5480.1	11.686	2132	64000	62600	347	352	
29		M-9	15.1	15.1	15.1	179.08	30.2	5408.2	11.673	2158	60800	59400	332	337	
30		M-10	15.2	15.1	15.2	180.27	30.2	5444.0	11.676	2145	63600	62200	345	350	
31	0.6	M-1	15.0	15.1	15.1	177.89	30.0	5336.8	11.352	2127	47000	46000	259	263	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²) 265
32		M-2	15.1	15.4	15.3	182.65	30.6	5589.2	11.138	1993	53600	52400	287	291	
33		M-3	15.1	15.0	15.1	177.89	30.0	5336.8	11.628	2179	48000	47000	264	268	
34		M-4	15.2	15.1	15.2	180.27	30.1	5426.0	11.643	2146	51400	50200	278	282	
35		M-5	15.3	15.1	15.2	181.46	30.2	5480.0	11.642	2124	48600	47400	261	265	
36		M-6	15.2	15.2	15.2	181.46	30.3	5498.2	11.645	2118	43200	42200	233	237	Peso volumétrico (Kg/ m ³) 2125
37		M-7	15.2	15.1	15.2	180.27	30.0	5408.0	11.448	2117	46600	45600	253	257	
38		M-8	15.1	15.1	15.1	179.08	30.0	5372.4	11.620	2163	45200	44200	247	251	
39		M-9	15.1	15.1	15.1	179.08	30.3	5426.1	11.602	2138	49000	47800	267	271	
40		M-10	15.1	15.0	15.1	177.89	30.0	5336.8	11.435	2143	47000	46000	259	263	



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE INGENIERÍA CIVIL
A N E X O E

RESULTADOS DE PRUEBAS A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO

Fecha de fabricación: Sábado, 29 de Octubre de 2005
 Fecha de ensaye: Sábado, 26 de Noviembre de 2005
 No. total de especímenes elaborados: 50
 No. total de especímenes ensayados: 50

Tipo de cemento: Cemento CPO 40R/ B
 Relaciones A/C utilizadas: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7.
 Número de especímenes por relación A/C: 10

Hoja 3 de 3

No. de ensaye	Relación A/C	No. de muestra	ϕ_1 (cm)	ϕ_2 (cm)	ϕ prom (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso (Kg)	Peso volumétrico (kg/ m ³)	Carga (Kg)	Carga corregida (kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia corregida por temperatura (Kg/cm ²)	Promedio aritmético
41	0.7	M-1	14.7	15.3	15.0	176.71	30.1	5319.1	11.522	2166	38600	37800	214	217	Resistencia a compresión (Kg/ cm ²)
42		M-2	15.0	15.1	15.1	177.89	30.1	5354.6	11.543	2156	37600	36800	207	210	
43		M-3	15.1	15.1	15.1	179.08	30.2	5408.2	11.484	2123	37600	36800	205	208	
44		M-4	15.1	15.0	15.1	177.89	30.1	5354.6	11.506	2149	41000	40000	225	229	
45		M-5	15.1	15.1	15.1	179.08	30.2	5408.2	11.567	2139	38200	37400	209	212	
46		M-6	15.1	15.2	15.2	180.27	30.1	5426.0	11.595	2137	37600	36800	204	207	Peso volumétrico (Kg/ m ³)
47		M-7	15.6	15.3	15.5	187.48	30.8	5774.3	12.080	2092	40000	39200	209	212	
48		M-8	15.2	15.1	15.2	180.27	30.2	5444.0	11.608	2132	37200	36400	202	205	
49		M-9	15.2	15.1	15.2	180.27	30.2	5444.0	11.642	2138	38600	37800	210	213	
50		M-10	15.2	15.2	15.2	181.46	30.5	5534.5	11.933	2156	37800	37000	204	207	
														212	
														2139	

ANEXO F

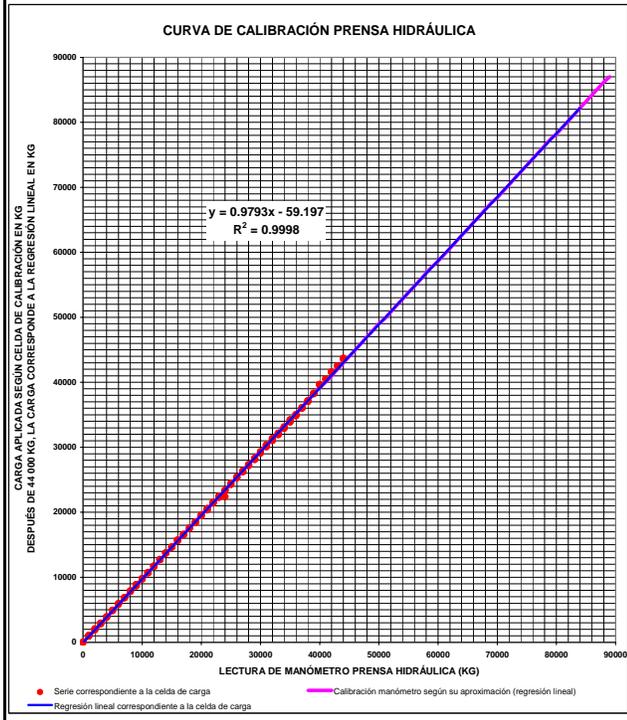
CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE ENSAYE (PRENSA HIDRÁULICA)

ANEXO F. CALIBRACIÓN DEL MANÓMETRO DE LA PRENSA HIDRÁULICA

Capacidad del manómetro: **120 000 kg** Capacidad de celda de carga: **44 000 kg**
 Aproximación del manómetro: **200 kg** Aproximación de celda de carga: **25 kg**

Serie No.	Lectura celda de carga				Carga aplicada según celda de carga				CARGA APLICADA EN KG			Desviación en kg
	Lectura 1		Lectura 2		(kg)				Manómetro prensa	Según regresión lineal	Corregida, según aproximación del manómetro	
	Persona 1	Persona 2	Persona 1	Persona 2	Constante de carga: 25 kg							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-59	0	0
1	37	38	42	42	925	950	1050	1050	1000	920	1000	0
2	76	78	83	80	1900	1950	2075	2000	2000	1899	1800	200
3	118	118	114	114	2950	2950	2850	2850	3000	2879	2800	
4	156	156	156	152	3900	3900	3900	3800	4000	3858	3800	
5	197	195	197	195	4925	4925	4875	4875	5000	4837	4800	
6	237	239	234	234	5925	5975	5850	5850	6000	5817	5800	
7	274	274	274	274	6850	6850	6850	6850	7000	6796	6800	
8	316	316	312	312	7900	7900	7800	7800	8000	7775	7800	
9	355	355	345	352	8875	8875	8625	8600	9000	8755	8800	
10	388	390	390	393	9700	9750	9750	9625	10000	9734	9800	
11	427	429	426	430	10675	10725	10650	10750	11000	10713	10800	
12	469	469	466	466	11725	11725	11650	11650	12000	11692	11600	
13	509	509	509	508	12725	12725	12725	12700	13000	12672	12600	
14	551	549	548	548	13775	13775	13700	13700	14000	13651	13600	
15	586	586	587	585	14650	14650	14675	14625	15000	14630	14600	
16	625	625	628	630	15625	15625	15700	15700	16000	15610	15600	
17	661	661	664	664	16525	16525	16600	16600	17000	16589	16600	
18	703	703	703	703	17575	0	17575	17575	18000	17568	17600	
19	736	739	740	740	18400	18475	18500	18500	19000	18548	18600	
20	778	778	784	782	19450	19450	19600	19550	20000	19527	19600	
21	815	815	824	822	20375	20375	20600	20550	21000	20506	20600	
22	860	855	860	860	21500	21375	21500	21500	22000	21485	21400	
23	892	891	899	899	22300	22275	22475	22475	23000	22465	22400	
24	935	935	897	935	23375	23375	22425	23375	24000	23444	23400	
25	972	971	979	976	24300	24275	24475	24400	25000	24423	24400	
26	1012	1012	1018	1016	25300	25300	25450	25400	26000	25403	25400	
27	1049	1049	1055	1053	26225	26225	26375	26325	27000	26382	26400	
28	1087	1087	1094	1092	27175	27175	27350	27300	28000	27361	27400	
29	1125	1125	1130	1133	28125	28125	28250	28325	29000	28341	28400	
30	1166	1164	1174	1169	29150	29100	29350	29225	30000	29320	29400	
31	1203	1203	1214	1214	30075	30075	30350	30350	31000	30299	30200	
32	1242	1241	1256	1249	31050	31025	31400	31225	32000	31278	31200	
33	1277	1277	1287	1286	31925	31925	32175	32150	33000	32258	32200	
34	1316	1318	1326	1323	32900	32950	33150	33075	34000	33237	33200	
35	1356	1356	1369	1369	33900	33900	34225	34225	35000	34216	34200	
36	1394	1394	1402	1401	34850	34850	35050	35025	36000	35196	35200	
37	1440	1442	1444	1442	36000	36050	36100	36050	37000	36175	36200	
38	1487	1485	1483	1481	37175	37125	37075	37025	38000	37154	37200	
39	1532	1532	1530	1530	38300	38300	38250	38250	39000	38134	38200	
40	1586	1585	1587	1582	39650	39625	39675	39550	40000	39113	39200	
41			1621		0	0	40525	0	41000	40092	40000	
42			1664	1662	0	0	41600	41550	42000	41071	41000	
43			1701	1701	0	0	42525	42525	43000	42051	42000	
44			1749	1742	0	0	43725	43550	44000	43030	43000	
									45000	44009	44000	
									46000	44989	45000	
									47000	45968	46000	
									48000	46947	47000	
									49000	47927	48000	
									50000	48906	49000	
									51000	49885	49800	
									52000	50864	50800	
									53000	51844	51800	
									54000	52823	52800	
									55000	53802	53800	
									56000	54782	54800	
									57000	55761	55800	
									58000	56740	56800	
									59000	57720	57800	
									60000	58699	58600	
									61000	59678	59600	
									62000	60657	60600	
									63000	61637	61600	
									64000	62616	62600	
									65000	63595	63600	
									66000	64575	64600	
									67000	65554	65600	
									68000	66533	66600	
									69000	67513	67600	
									70000	68492	68400	
									71000	69471	69400	
									72000	70450	70400	
									73000	71430	71400	
									74000	72409	72400	
									75000	73388	73400	
									76000	74368	74400	
									77000	75347	75400	
									78000	76326	76400	
									79000	77306	77400	
									80000	78285	78200	
									81000	79264	79200	
									82000	80243	80200	
									83000	81223	81200	
									84000	82202	82200	
									85000	83181	83200	
									86000	84161	84200	
									87000	85140	85200	
									88000	86119	86200	
									89000	87099	87000	

LA CAPACIDAD MÁXIMA DE LA CELDA DE CARGA ES DE 50 000 KG; SIN EMBARGO, SE LLEVÓ HASTA 44 000 KG PARA EVITAR UN POSIBLE DAÑO A LA MISMA



ANEXO G

CORRECCIÓN POR TEMPERATURA DE CURADO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE INGENIERÍA CIVIL

A N E X O G

RESULTADOS DE PRUEBAS A COMPRESIÓN POR VARIACIÓN EN LA TEMPERATURA DE CURADO POR INMERSIÓN

Fecha de fabricación: Sábado, 12 de Noviembre de 2005
 Fecha de ensaye: Miércoles, 14 de Diciembre de 2005

No. total de especímenes elaborados: seis
 No. total de especímenes ensayados: seis

No. de ensaye	Temperatura del agua de curado °C	No. de muestra	φ ₁ (cm)	φ ₂ (cm)	φ prom (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso (Kg)	Peso volumétrico (kg/ m ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Promedio aritmético
1	24	P1	14.8	15.0	14.9	174.37	30.2	5266.0	11.697	2221	44686	256	256
2		P2	15.0	15.1	15.1	179.08	30.2	5408.2	11.617	2148	43996	246	
3		P3	15.1	15.0	15.1	179.08	30.3	5426.1	11.675	2152	47518	265	
4	18	T1	15.1	15.2	15.2	181.46	30.1	5461.9	11.600	2124	45726	252	252
5		T2	14.8	15.0	14.9	174.37	30.2	5266.0	11.606	2204	46272	265	
6		T3	15.1	15.2	15.2	181.46	30.2	5480.1	11.649	2126	43257	238	

$$\text{Corrección} = 1 - \frac{\text{resistencia promedio a } 18^{\circ}\text{C}}{\text{resistencia promedio a } 24^{\circ}\text{C}} \times 100\% = 1 - \frac{252 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{256 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} \times 100\% = 1.5625\%$$

Por lo tanto, el factor de corrección por temperatura será: 1.015625

BIBLIOGRAFÍA

- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
Tecnología del Concreto.
3ª. Edición, IMCyC, México, 1992. Págs. 401.
- A.M. Neville
Tecnología del Concreto.
IMCyC, México, 1ª. Edición 1977, tomo 1 y 2.
- Comisión Federal de Electricidad e Instituto de Ingeniería de la UNAM
Manual de Tecnología del Concreto, Tomo 1, 2 y 3
Editorial Limusa, México, 1997
- Fernández Orozco León
El Cemento y el Concreto, Construcción I, tomo 2.
Universidad Autónoma Metropolitana,
Tercera Edición, México, 2000. Págs. 101.
- Kumar Mehta, P. & Monteiro Paulo.
Concrete, structure, properties and materials.
Segunda Edición, Editorial Prentice Hall
Estados Unidos, 1992. Págs. 548.
- Publicaciones periódicas recientes:
 - **ACI Journal Concrete (ACI)**
 - **Concrete Internacional (CI)**
 - **Cement Association Canada (CAC)**
 - **Pórtland Cement Association (PCA)**