



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGÓN

“COMPORTAMIENTO DE CILINDROS DE CONCRETO,
SOMETIDOS A CARGA AXIAL, ELABORADOS CON
AGREGADOS Y ADITIVOS MÁS COMUNES”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A N :
ALEJANDRO MENDEZ CRUCES
LUCIO CARLOS DE LOS SANTOS MONSALVO

ASESOR:
ING. PASCUAL GARCÍA CUEVAS

MÉXICO

NOVIEMBRE 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCIÓN

LIBERTAD NACIONAL
AVANZAMA DE
MEXICO

ALEJANDRO MENDEZ CRUCES
P R E S E N T E.

En contestación a la solicitud de fecha 17 de mayo del año en curso, presentada por Lucio Carlos de los Santos Monsalvo y usted, relativa a la autorización que se les debe conceder para que el señor profesor, Ing. PASCUAL GARCÍA CUEVAS pueda dirigirles el trabajo de tesis denominado "COMPORTAMIENTO DE CILINDROS DE CONCRETO, SOMETIDOS A CARGA AXIAL, ELABORADOS CON AGREGADOS Y ADITIVOS MAS COMUNES" con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 2 de junio de 2004
LA DIRECTORA

L. Turcott

ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



C p Secretaría Académica.
C p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Civil.
C p Asesor

LTG/AIR/csm

GR



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN

DIRECCIÓN
DUPLICADO

**LUCIO CARLOS DE LOS SANTOS MONSALVO
P R E S E N T E**

En contestación a su solicitud de fecha 17 de mayo de 2004, presentada por Alejandro Méndez Cruces y usted, relativa a la autorización que se les debe conceder para que el señor profesor, Ing. PASCUAL GARCÍA CUEVAS pueda dirigirles el trabajo de tesis denominado "COMPORTAMIENTO DE CILINDROS DE CONCRETO, SOMETIDOS A CARGA AXIAL, ELABORADOS CON AGREGADOS Y ADITIVOS MAS COMUNES", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México 10 de septiembre de 2004.
LA DIRECTORA


ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



Nota: La aceptación del tema de tesis y asesor de la misma fue registrada en la Secretaría Académica de esta Escuela con fecha 2 de junio de 2004.

- 
- C p Secretaría Académica.
 - C p Jefa de la Carrera de Ingeniería Civil.
 - C p Asesor de Tesis.

LTG/AIR/agm*

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo cariño a las personas que tanto quiero y les doy las gracias por su comprensión, paciencia e invaluable apoyo.

A mi esposa e hijos, que con su amor y dulzura, me motivaron para salir adelante

A mis queridos padres, que siempre juntos, hicieron un gran esfuerzo guiándome y apoyándome incondicionalmente para alcanzar una de mis metas en la vida, confiando siempre en mí.

A mis hermanos.

AGRADECIMIENTOS:

Primero quiero darle las gracias a Dios por darnos vida y salud, a todos mis seres queridos y a mí, permitiendo este momento tan esperado.

Quiero agradecer sinceramente a nuestra máxima casa de estudios a la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme dado la oportunidad de continuar mis estudios en la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Campus "Aragón"

A todos los profesores que con su enseñanza y consejos, participaron en toda mi formación profesional, principalmente al personal académico de la carrera de Ingeniería Civil de la ENEP "ARAGÓN" así como a todo su personal que hay labora.

Manifiesto agradecimientos al profesor Ing. Pascual García Cuevas, quien con su capacidad profesional y académica fue un apoyo para asesorar este trabajo de tesis.

Quiero agradecer y reconocer la calidad humana y profesional de todas las personas con las que he convivido, por su amistad y experiencia transmitida.

Sinceramente le doy especial agradecimiento al ing. Gabriel Villegas Hernández, por su comprensión y todas las facilidades prestadas en mi trabajo, por que solo así logre concluir esta tesis.

Alejandro Méndez Cruces

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios el hecho de tener salud y vida, en la gente más cercana a mí, y por permitirme realizar este trabajo de tesis

Dedico este trabajo a mi querida esposa Mely, por su comprensión y paciencia durante la realización de esta tesis, también por su amor, cariño y dulzura que siempre me ha manifestado.

A mi pequeño hijo Fernandito por llenar mi vida de amor.

A mis padres, tíos y primos, y un especial reconocimiento a mi Madre, que fue un factor indispensable en mi formación profesional.

A mis hermanos Cesar y Marlen, por que siempre hubo un gran apoyo moral.

También quiero reconocer y agradecer las facilidades otorgadas por mis jefes de trabajo, para la ejecución de esta tesis, de la empresa Grupo MC ingeniería, al Ing. Carlos Calva, el Arq. Jesús Reyes y el Ing. Jorge Aguilar.

A mis amigos y compañeros de trabajo, Antonio Escobedo, Rafa Calva, José Aguilar, Eduardo López, Nora Rodríguez, Gerardo Anaya, Pedro Velasco, Miguel y Ramón Ortiz, Jorge Arechiga, Berthier y Juan Ángel.

A mis amistades de antaño, que considero son un gran patrimonio, Jesús Ramos, Enedino Mendoza, Carlos Díaz y Alfonso García.

Agradezco infinitamente a la Universidad Nacional Autónoma de México Campus "Aragón", la oportunidad que me dio para prepararme como profesionista, a sus académicos, catedráticos y compañeros, que me transmitieron sus conocimientos de forma incondicional.

Mi reconocimiento al Ing. Pascual García Cuevas, por asesorar este trabajo y por impulsar su conclusión.

También quiero agradecer a mi compañero de tesis Alejandro Méndez por su firmeza en la ejecución de la tesis y sus aportaciones a esta. A todos los que colaboraron conmigo en el laboratorio para realizar el colado de las muestras, los triturados y demás trabajos necesarios para la ejecución de los especímenes, mi tío Adán, mi primo Joel, Lucio y Néstor Méndez.

Por último agradezco todas las atenciones de la familia Torres Cruces. Gely, Juan Antonio, Naomi, Carlos Espinosa, Poncho, Carlos Javier, Roció, Heraclio, Marisol, Lalo, Yatzan, La pequeña Maite y a mis queridos suegros Sr. Alfonso Torres y la Sra. Lola

Sinceramente Carlos de los Santos Monsalvo

ÍNDICE

CAPÍTULO	PÁG.
I. INTRODUCCIÓN.	8
II. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES QUE COMPONEN UN CONCRETO HIDRÁULICO. Cemento Pórtland. Agregados Agua Aditivos	11
III. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS MÁS COMUNES. Generalidades Arena andesítica Grava basáltico andesítica Grava andesítica Grava pumítica y escoria volcánica Perlas de espuma de poliestireno	30
IV. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS ADITIVOS MÁS COMUNES. Generalidades Inclusores de aire Acelerantes Reductores de agua Súper fluidificantes	40
V. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO. Generalidades Propiedades físicas del concreto en estado fresco Propiedades físicas y mecánicas del concreto en estado endurecido	48
VI. CILINDROS DE CONCRETO BAJO CONDICIONES DE ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO. Generalidades Desarrollo de la práctica de estudio. Dosificación de las mezclas de prueba. Cilindros de concreto bajo condiciones de estado fresco Cilindros de concreto bajo condiciones de estado endurecido.	57
VII. RECOMENDACIONES SOBRE LA ELABORACIÓN, COMPACTACIÓN, CURADO Y Pruebas de carga axial en cilindros de concreto. Generalidades Elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio Cabeceo de cilindros de concreto Pruebas de carga axial en cilindros de concreto	99

VIII. CONCLUSIONES.	109
Comportamiento físico y mecánico de las mezclas y especímenes de concreto.	
Aplicaciones de concretos ligeros, normales y pesados.	
Conclusiones	
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	118
GLOSARIO DE TÉRMINOS.	120

I. INTRODUCCIÓN

Aunque en la actualidad existe una gran gama de novedosos materiales de construcción, que han desplazado en gran cantidad a los más típicos materiales, el **concreto hidráulico**, sigue siendo el material de construcción más importante y, que aún no ha sido sustituido, aunque si modificado con la adición de algunos aditivos y agregados especiales, mejorado con la aplicación de nuevas técnicas que lo han ayudado desde su fabricación hasta su colocación sin descartar el estricto control de calidad que debe cumplir cada uno de los materiales que lo componen.

La mayoría de las obras construidas en la Ciudad de México y sus cercanías, está constituida de estructuras de concreto, y la mayor parte de estos concretos utilizados, se fabrican en la misma ciudad. Los proyectos elaborados para la construcción de dichas obras, requieren diferentes tipos de concretos, que van desde ligeros, con resistencias $f'c$ menores de 100 Kg/cm², hasta pesados, con resistencias que varían entre 150 y 450 Kg./cm², sin descartar los concretos con características especiales. Para la elaboración de estos concretos se requiere de materiales pétreos, los cuales se obtienen en depósitos naturales, localizados en diferentes zonas del valle de México. Los materiales que más predominan en el oriente y noreste del Valle de México, son los de origen volcánico, tales como la piedra pómez y la escoria volcánica (Tezontle), los cuales son lo suficientemente resistentes y ligeros para poder ser empleados en la fabricación de concretos ligeros; los que se localizan al poniente y sur de la Ciudad de México, como el material andesítico y el basáltico, que se emplean para elaborar concretos más densos.

Por esta razón y debido a que el concreto hidráulico reviste primordial importancia sobre los demás materiales que componen una estructura, por la moldeabilidad que éste presenta en su estado fresco y otras características de resistencia en su estado endurecido, que lo ha hecho como uno de los materiales constructivos más durables. Tiene un ciclo de vida de más de 100 años. Es resistente al fuego, al viento, corrosión, plagas de insectos y no se pudre. Su durabilidad minimiza la necesidad de materiales de reemplazo y disminuye el potencial de materiales de deshecho. Por lo que es necesario conocer sus diversas propiedades a través de ensayos y pruebas de laboratorio, en sus estados fresco y endurecido. Ya que su control de calidad, resulta fundamental si se considera que en nuestro país, como ya se mencionó, es uno de los materiales más utilizados en la construcción.

Debido a que el requisito habitual de un buen concreto en estado endurecido es una resistencia satisfactoria a la compresión, y siendo precisamente la prueba de **resistencia a la compresión**, la más común de todas las pruebas, en parte porque prácticamente es fácil de llevar a cabo en obra y en parte porque muchas de las características deseables del concreto, aunque no todas, se relacionan cualitativamente con tal resistencia y si se toman en cuenta los materiales y necesidades que requieren tales concretos elaborados en el Valle de México y dada la importancia que tiene el uso de los aditivos para concreto, se considero de importancia, realizar una práctica en el laboratorio de construcción, la cual servirá como trabajo de tesis en el que se visualizará y estudiarán directamente en el laboratorio una variedad de especímenes cilíndricos de concreto hidráulico, elaborados con los agregados y aditivos más usuales en la construcción, los cuales se cargarán únicamente a compresión simple, ya que esta prueba ofrece un panorama general de la calidad del concreto.

Es por ello que el estudio del trabajo que se presentará más adelante, tiene como objetivo principal, diferenciar a través de la comparación, el comportamiento físico y mecánico de especímenes de concreto sometidos a carga axial, elaborados con diferentes agregados gruesos y aditivos más comunes en la construcción, con una muestra normal "testigo" de referencia, los cuales fueron diseñados con diferentes resistencias ($f'c$) que van desde 100 a 420 Kg/cm²; también se pretende que a través del análisis de los resultados obtenidos de dichas pruebas se adquiera un mejor conocimiento para poder determinar criterios prácticos con posibilidades de seleccionar y emplear los concretos adecuadamente para cada tipo de obra y poder dar cumplimiento al control de calidad y a las especificaciones proyectadas.

Aunque los procedimientos estadísticos, nos proporcionan medios valiosos para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia, y la información que se deriva de dichos procedimientos, también sirven para reafirmar los criterios y las especificaciones del diseño, en el presente trabajo, para la evaluación de los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión simple de los cilindros ensayados, cabe aclarar, que dado el enfoque que se le ha dado a dicho estudio, únicamente se interpretarán tales resultados en forma comparativa en tablas y gráficas en base a sus resistencias proyectadas con sus resistencias obtenidas en laboratorio, y en función de la edad en días y de las características de sus componentes empleados con que fueron diseñados cada uno.

Es importante aclarar, que el tipo de cemento, aditivos y agregados empleados en la elaboración de las diversas mezclas de concretos, requeridos para cumplir con los objetivos del presente estudio, se podrán apreciar más adelante.

Aunque existen diversos métodos de dosificación de concreto, en esta práctica de estudio, las mezclas fueron dosificadas por el método que presenta la cartilla del concreto del Instituto Mexicano del Concreto y el Cemento (IMCYC). Las mezclas de prueba fueron diseñadas en condiciones normales para cada uno de sus agregados, sin embargo con la adición de los aditivos estas se conservarán en su dosificación, únicamente tomando en cuenta la recomendación del fabricante para el empleo del aditivo, generando como resultado una mezcla de prueba modificada.

Es necesario mencionar, que todas las pruebas necesarias para determinar las propiedades físicas y características de todos los agregados utilizados en esta práctica, así como la elaboración de las mezclas, curado y preparación de los especímenes, incluyendo la aplicación de las pruebas mecánicas, fueron realizadas en el laboratorio de Ingeniería Civil de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Campus "Aragón", en apego a las especificaciones y métodos de prueba de la normatividad aplicable vigente de la cual se hará referencia conforme al desarrollo de este trabajo de tesis, aclarando que las propiedades, características y uso de empleo de los materiales industrializados adquiridos comercialmente, tales como el cemento y los aditivos, incluyendo dentro de estos últimos a la espuma de poliestireno (perlas de unicell), se tomaron de las recomendaciones del fabricante.

El presente trabajo, se compone de ocho temas esenciales, en el **presente capítulo**, se expone la importancia que tiene el concreto hidráulico en nuestro país, en el campo de la construcción, y principalmente en el valle de México, así como el interés de su estudio como trabajo de tesis, describiendo el objetivo de dicha práctica.

Para cumplir con el objetivo del trabajo es necesario conocer los materiales principales que componen un concreto hidráulico, por lo que en el **Capítulo II** se generalizan y describen someramente tales materiales que componen un **concreto normal** y los aditivos empleados para **concretos modificados**, mencionando la normatividad a la que deberán de apegarse cada uno.

En los **capítulos III y IV**, se generalizan las características y propiedades de los agregados y aditivos más comunes utilizados en esta práctica. Para el control de calidad de los agregados, se ejecuto una serie de pruebas físicas, sobre los agregados seleccionados para este trabajo, de acuerdo a las normas de la American Society for Testing and Materials (A.S.T.M) y a las

Recomendaciones de las Normas Mexicanas, así como el cribado apropiado para conocer su composición granulométrica. Para el control de calidad de los aditivos, no se ensayo ninguna prueba, debido a que son productos comerciales controlados.

Para poder realizar adecuadamente las pruebas físicas y mecánicas, que deben satisfacer los concretos, es necesario tener bien claro cuales son las propiedades físicas y cuales las mecánicas, por lo que en el **capítulo V**, se describen tales propiedades en apego a la normatividad vigente aplicable.

El tema fundamental del presente trabajo de tesis, esta resuelto en el **capítulo VI**, en el que se describe el desarrollo de esta práctica de estudio y se visualiza el proceso de cada etapa, desde el diseño de las mezclas normales "Testigo", las pruebas físicas en su estado fresco, hasta sus pruebas mecánicas destructivas en su estado endurecido, plasmando los resultados obtenidos de tales pruebas, en tablas y gráficas. Finalmente se presentan cinco gráficas comparativas de las mezclas "testigo", donde se grafican los resultados de la mezcla normal "testigo" con las demás mezclas de prueba modificadas con la inclusión de los aditivos empleados.

Para finalizar este prefacio, en los dos últimos capítulos se exponen algunas recomendaciones y conclusiones derivadas del trabajo en estudio.

En el **capítulo VII** se hacen recomendaciones normativas, sobre la elaboración, compactación, curado y cabeceo en el laboratorio, de especímenes cilíndricos, así como recomendaciones acerca de la determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto sometidos a carga axial.

En el **capítulo VIII**, se mencionan las conclusiones que se obtuvieron de las comparaciones de las tablas y gráficas de los resultados que arrojaron las distintas mezclas de prueba ensayadas tanto en su estado fresco como en su estado endurecido, mencionando algunas de sus aplicaciones principales de estos concretos elaborados

En el desarrollo de todos los temas, se incluyeron como material de apoyo, figuras, tablas gráficas y fotografías, tomadas durante el desarrollo de la práctica. Se anexa la referencia bibliográfica la cual se pueden consultar para quienes se interesen en profundizar más en los temas expuestos. Finalmente se adjunta un pequeño glosario de los términos más utilizados en este trabajo de Tesis, esto para facilitar la comprensión del mismo.

II.- DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES QUE COMPONEN UN CONCRETO HIDRÁULICO.

El concreto hidráulico, se define como un material artificial, obtenido de la mezcla en proporciones determinadas, de cemento, agregados finos y gruesos ya sean pétreos o artificiales y en algunas ocasiones aditivos. Por lo que se describirán a continuación las generalidades de los componentes de un concreto y la normatividad que rige a cada uno, para obtener un concreto de buena calidad.

Debido al enfoque que se le ha dado al presente trabajo, en este capítulo se omiten algunos temas de los componentes del concreto, ya que no es necesario analizarlos

II.1 CEMENTO PÓRTLAND

Generalidades.

Las propiedades y el comportamiento del concreto dependen en gran parte de su componente más activo: **el cemento**.

El cemento, se define como un mineral finamente molido, usualmente de color grisáceo extraído de rocas calizas, que al triturarse hasta convertirse en polvo y ser mezclado con agua, tiene la propiedad de endurecer.

El cemento, es el material de construcción más utilizado del mundo, como ya se mencionó al ser mezclado con agua, la reacción química que sobreviene lo transforma en roca sólida que el constructor puede formar y moldear, debido a esta y otras cualidades admirables, a este fino polvo se le ha llamado "polvo mágico". Los monumentos de concreto expresan su audacia y permanencia; las naves espaciales despegan desde superficies de concreto.

El nombre de **cemento Pórtland** fue concebido originalmente debido a la semejanza de color y calidad, entre el cemento fraguado y una caliza obtenida en la cantera de Pórtland, Inglaterra.

El cemento puede describirse, como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales, para formar un todo compacto.

El **cemento hidráulico** es un conglomerado, que resulta de la pulverización del clinker frío, a un grado de finura determinado, al cual se le adicionan sulfato de calcio natural o agua y sulfato de calcio natural. A criterio del productor pueden incorporarse además, como auxiliares a la molienda o para impartir determinadas propiedades al cemento, otros materiales que en proporción no sean nocivos para el comportamiento posterior del producto.

El **clinker** se puede definir como el mineral sintético granular, resultante de la cocción a una temperatura del orden de 167°K ($1,400^{\circ}\text{C}$), de materias primas de naturaleza calcárea y arcillo ferruginosa previamente trituradas, proporcionadas, mezcladas, pulverizadas y

homogenizadas. Esencialmente el clinker está constituido por silicatos, aluminio y aluminio ferrito cálcicos.

Pasos para producir Cemento.

Los pasos para producir cemento son los siguientes:

1. Explotación de materias primas (caliza y arcilla)
2. Transporte de materias primas
3. Trituración
4. Prehomogeneización
5. Almacenamiento de materias primas
6. Molienda de materia prima
7. Homogeneización de harina cruda
8. Calcinación (la harina cruda se transforma en clinker)
9. Molienda del cemento (agregando el yeso para alargar el tiempo de fraguado del cemento)

Composición química del cemento.

La mayor parte de las especificaciones para cemento Pórtland, limita la composición química y algunas propiedades físicas de éste. El conocimiento de sus principales propiedades, es importante para poder interpretar los resultados de las pruebas a compresión del concreto.

Dentro de las propiedades químicas es conveniente indicar cuales son los principales componentes de un cemento:

- | | |
|--------------------------------|-----------|
| • Silicato tricálcico | $C_3 S$ |
| • Silicato di cálcico | $C_2 S$ |
| • Aluminato tricálcico | $C_2 A$ |
| • Ferro aluminato tetracálcico | $C_4 AF$ |
| • Sulfato de Calcio | $SO_2 Ca$ |

Estos elementos constituyen alrededor del 90 % del cemento, el otro 10% lo constituyen elementos como: yeso, cal libre, magnesio, álcalis, etcétera. A continuación se describe la función de cada uno de estos elementos en el cemento:

- C_3S (Silicato tricálcico).
De este elemento depende la resistencia que se obtenga hasta los 28 días Aproximadamente.
- C_2S (Silicato di cálcico).
Del C_2S dependerán las resistencias que se obtengan a partir de los 28 días.
- C_3A (Aluminato tricálcico).
Es el elemento que más calor genera en el cemento. De éste dependen las variaciones del volumen del cemento y la formación de grietas. Este elemento es el más vulnerable al ataque de los sulfatos.
- C_4AF (Ferró aluminato tetracálcico).
Ayuda a acelerar la hidratación del cemento.
- SO_2Ca (Sulfato de calcio).
Comúnmente conocido como yeso, regula la acción química entre el cemento y el agua y controla el tiempo de fraguado.

Propiedades físicas del cemento

Dentro de las principales propiedades físicas del cemento tenemos finura, sanidad, calor de hidratación, pérdida por ignición, peso específico, etc.

- Finura

La finura del cemento interviene en forma determinante en la resistencia y en la hidratación del cemento, acelerando la adquisición de resistencia. Los efectos del aumento de finura en la resistencia, se manifiestan principalmente durante los primeros 7 días. Al aumentar la finura, el agua necesaria para obtener un concreto con un cierto rendimiento disminuye, hasta alcanzar los elevados grados de finura del tipo III o del que se conoce hoy como cemento CPO 30 R cemento de alta resistencia inicial y alto rendimiento.

- Sanidad

Es la propiedad que tiene una pasta de cemento fraguado, a permanecer con un volumen constante.

Estas variaciones al volumen son atribuidas a diversos compuestos, pero principalmente se presentan cuando existe cal libre después del fraguado inicial, esta cal, al absorber agua, aumenta en forma notoria el volumen de la pasta.

En ocasiones los cambios volumétricos, se presentan meses después de elaborada la mezcla, por lo que las pruebas que existen, para determinar la sanidad de un cemento, aceleran el tiempo de fraguado. La mayor parte de las especificaciones para el cemento limitan la proporción de magnesia y la dilatación de autoclave. Desde la adopción de la prueba de la dilatación en la autoclave por el ASTM en 1943, prácticamente no han ocurrido casos de dilatación anormal atribuibles a la falta de firmeza.

- Calor de hidratación

El calor de hidratación, es el generado cuando reaccionan el agua y el cemento. La cantidad de calor generado, depende principalmente de la composición química del cemento; a la tasa de generación de calor la afecta la finura y temperatura de curado, así como la composición química. En algunas estructuras, como aquellas de gran masa, la rapidez y la cantidad de calor generado son importantes, ya que si no se disipa este calor rápidamente, puede ocurrir una importante elevación de temperatura en el concreto, acompañado de una dilatación térmica.

- Pérdida por ignición

La pérdida por ignición del cemento Portland, se determina calentando una muestra de cemento de peso conocido al rojo vivo (de 900 a 1000 ° C), hasta obtener un peso constante. Posteriormente se determina la pérdida de peso de la muestra. Normalmente, la pérdida de peso no excede del 2%. Una elevada pérdida por ignición es una indicación de prehidratación o carbonatación que puede ser producida por un almacenamiento incorrecto y prolongado.

- **Peso específico**

El peso específico del cemento Pórtland, generalmente es de 3.15. El cemento Pórtland de escorias de altos hornos, puede obtener pesos específicos aproximadamente de 2.90. El peso específico de un cemento nos indica la calidad del mismo, pero su uso principal es para el diseño de mezclas.

Características especiales de los cementos

Se consideran características especiales: la resistencia a los sulfatos, la baja reactividad álcali – agregado, el bajo calor de hidratación y el color blanco. Los respectivos cementos deben tener una designación adicional, acorde con las características especiales que presenten (ver tabla No. 2.2)

- **Cementos resistentes a los sulfatos**

Se consideran cementos con resistencia al ataque a los sulfatos, aquellos que por su comportamiento, cumplan con el requisito de expansión por ataque de sulfatos (máx. %), para seis meses y un año; de 0.05 y 0.10 respectivamente de acuerdo con el método de prueba establecido.

- **Cementos de baja reactividad álcali – agregado**

Se consideran cementos de baja reactividad álcali – agregado, aquellos que están dentro del rango de expansión por la reacción álcali – agregado en un porcentaje máximo de 0.020 para 14 días y 0.060 para 56 días, de acuerdo con el método de prueba establecido.

- **Cementos de bajo calor de hidratación.**

Se consideran cementos de bajo calor de hidratación, aquellos que desarrollen un calor de hidratación igual o inferior a 250 KJ/Kg (60 Kcal/Kg), en 7 días y, 290 KJ/Kg. (70 Kcal/Kg), a los 28 días.

- **Cementos blancos**

Se consideran cementos blancos, todos aquellos cuyo índice de blancura sea igual o superior a un 70 %.

Normatividad vigente.

Con la globalización económica, México se vio obligado a actualizar la normalización del cemento, mismo que tiene un fin, principalmente de actualizarse en el ámbito mundial y con ello, cumplir con las exigencias internacionales.

Apoyados por la Ley Federal de Metrología y Normalización, se formó el grupo de Normalización del ONNCCE, para realizar la revisión y actualización de las normas técnicas del cemento, así se creó la NORMA MEXICANA NMX C-414-ONNCCE-1999, "INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - CEMENTOS HIDRÁULICOS - ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA", misma que entró en vigor a partir del 19 de Octubre de 1999 y canceló sustituyendo a las anteriores normas NMX - C – 001 - 1980, NMX – C – 002 - 1986 y NMX – C – 175 - 1969, que regían las especificaciones para cementos Pórtland, cementos puzolánicos y cementos con escoria granular de alto horno, respectivamente.

Clasificación del cemento

Los cementos se clasifican de acuerdo al tipo de cemento, según la nueva norma antes citada

TABLA 2.1 Clasificación del Cemento por sus Adiciones.

TIPO	DENOMINACIÓN
CPO	Cemento Pórtland Ordinario
CPP	Cemento Pórtland Puzolánico
CPEG	Cemento Pórtland con Escoria Granulada de Alto Horno
CPC	Cemento Pórtland Compuesto
CPS	Cemento Pórtland con Humo de Sílice
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno

TABLA 2.2 composición de los cementos

COMPOSICIÓN DE LOS CEMENTOS							
TIPO	DENOMINACIÓN	COMPONENTES (% EN MASA)					MINORITARIOS
		Clinker	PRINCIPALES				
		Pórtland + yeso	Escoria granulada de alto horno	Materiales puzolanicos	Humo de sílice	Caliza	
CPO	Cemento Pórtland Ordinario	95-100	-	-	-	-	0-5
CPP	Cemento Pórtland Puzolánico	50-94	-	6-50	-	-	0-5
CPE G	Cemento Pórtland con Escoria Granulada de Alto Horno.	40-94	6-60	-	-	-	0-5
CPC	Cemento Pórtland Compuesto	50-94	6-35	6-35	1-10	6-35	0-5
CPS	Cemento Pórtland con Humo de Sílice	90-99	-	-	1-10	-	0-5
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno	20-39	61-80	-	-	-	0-5

TABLA 2.3 Clasificación por Características Especiales de durabilidad ante agentes Agresivos

NOMENCLATURA	CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DE LOS CEMENTOS
RS	Resistente a los sulfatos
BRA	Baja Reactividad Álcali – Agregado
BCH	Bajo Calor de Hidratación
B	Blanco

Los cementos se clasifican por su resistencia mecánica a la compresión en cinco clases resistentes.

TABLA 2.4 Clasificación por su Clase Resistente

CLASE RESISTENTE	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN N/mm ²		
	Mínimo a 3 días	Mínimo a 28 días	Máximo a 28 días
20	----	20	40
30	----	30	50
30 R	20	30	50
40	----	40	----
40 R	30	40	----

La letra R indica que un cemento es de resistencia inicial alta, las unidades de reporte se modificaron a N/mm², en vez de Kg/cm² (1 N/mm² = 10.20 Kg/cm²).

La Nomenclatura es ahora la siguiente:

El Cemento Pórtland Ordinario de Clase resistente 30, de resistencia inicial alta y con las características especiales de Resistente a los Sulfatos, se debe de presentar como:

CPO 30 R RS

El Cemento Pórtland Puzolanico de Clase resistente 30, de resistencia inicial alta y con las características especiales de Resistente a los Sulfatos, Baja Reactividad Álcali Agregado, se debe presentar como:

CPP 30 R RS/BRA

El Cemento Pórtland tipo II y tipo II con puzolana, además el cemento Pórtland Blanco, ahora se reconocen en el mercado como:

CPO 30 R
 CPP 30 R
 CPO 40 B

TABLA 2.5 Comparativa de Normatividad

NMX –C- 414 – ONNCCE – 1999 (VIGENTE)	NMX – C- 001 (CANCELADA) NORMA ASTM - C- 150
CPO 30, CPO 30R, CPC 30 Y CPC 30 R	TIPO I
Cualquier cemento que cumpla con la característica especial BCH y/o RS	TIPO II
CPO 40, CPO 40R Y CPC 40R	TIPO III
Cualquier cemento que cumpla con la característica especial BCH	TIPO IV
Cualquier cemento que cumpla con la característica especial RS	TIPO V
CPO ó CPC que cumpla con la característica especial B	BLANCO
Cualquier cemento que cumpla con las características especial BRA	ESPECIAL, BAJO ÁLCALI TODOS LOS TIPOS

NMX – C – 414 – ONNCCE – 1999 (VIGENTE)*	NMX – C- 002 (CANCELADA) CEMENTO PUZOLANICO ASTM – C- 595
CPP 30, CPP 30R, CPC 30 y CPC 30 R	TIPO PUZ 1
CPP 20 y CPC 20	TIPO PUZ 2

NMX – C – 414 – ONNCCE – 1999 (VIGENTE)*	NMX – C- 175 (CANCELADA) ESCORIA ALTO HORNO ASTM – C- 595
A PARTIR DE CPEG 30	Cemento con Escoria

* Estos cementos pueden tener las características especiales RS, BRA y BCH

II.2 AGREGADOS

Generalidades

Los **agregados pétreos** que componen un concreto hidráulico, son aquellos materiales que son obtenidos de depósitos naturales, ya sea en forma de arena o roca, los cuales son triturados y cribados parcialmente o totalmente con la finalidad de obtener lo que llamamos **arena y grava**. Estos materiales son de gran importancia para la elaboración de los concretos.

No obstante que los agregados pétreos, representan la mayor parte del volumen del concreto (aproximadamente del 60 al 80%), el importante papel que estos desempeñan como ingrediente principal, es a menudo subestimado, a causa de su bajo costo, en relación con el cemento. Originalmente, los agregados eran considerados como un material inerte esparcido en la pasta de cemento solo por razones económicas, siendo en realidad que no es un material inerte, sino que sus propiedades físicas, térmicas y químicas influyen grandemente en el comportamiento del concreto. Así tenemos que, la durabilidad, economía, trabajabilidad, permeabilidad, propiedades térmicas, peso volumétrico, resistencia y elasticidad, pueden ser adversamente afectados o, al contrario, mejorados con sólo cambiar la calidad y granulometría de los agregados. En si los agregados pueden cambiar totalmente las características físicas y mecánicas de una mezcla.

Clasificación de los agregados

Los agregados se pueden clasificar de acuerdo a las siguientes características:

- a) Por su origen
- b) Por su peso
- c) Por su tamaño
- d) Por su forma y textura

- a) Clasificación por su origen.

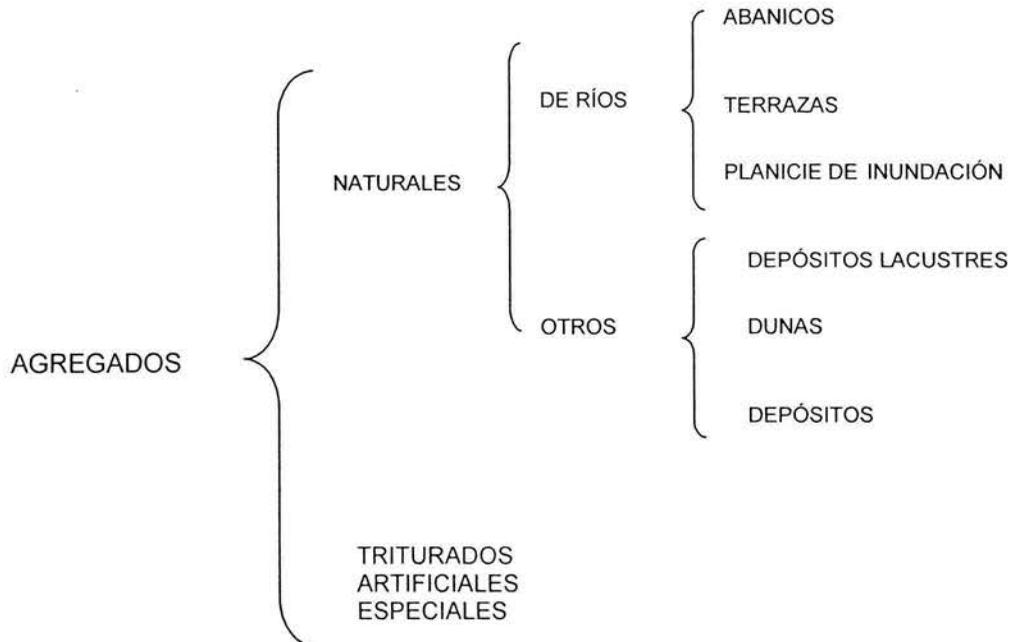
Las rocas se dividen en tres grupos principales que son los siguientes:

- Rocas ígneas
- Rocas sedimentarias
- Rocas metamórficas

El origen de los agregados y su composición minereológica son importantes, principalmente en los estudios preeliminares para definir la posibilidad de reacciones nocivas con los componentes nocivos del cemento. Aún cuando esto no es común, no debe descartarse esta posibilidad, sobre todo si no se cuenta con estudios o experiencias previas que aseguren la ausencia de efectos detrimentes al concreto.

Una clasificación muy general de los agregados la podemos manejar como sigue:

FIG. 2.1 clasificación general de los agregado



b) Clasificación por su peso

Esta forma de clasificar a los agregados, tiene mucha utilidad, principalmente para conocer o diseñar el peso de las estructuras de concreto. Así los agregados quedan divididos en los siguientes tres grupos: ligeros, normales y pesados. El control de estas características es importante cuando el peso de la estructura influye en su diseño o en su comportamiento.

c) Clasificación por su tamaño.

En forma general, los agregados se clasifican en grueso y fino, para lo cual ha quedado establecido como norma que el límite que divide a estas dos fracciones, en cuanto a su tamaño de partículas, es el de la malla No. 4, es decir que el agregado grueso esta formado por las partículas retenidas en dicha malla, hasta el tamaño máximo de partícula que se haya escogido $\frac{3}{4}$ " y $1\frac{1}{2}$ ", sin tocar el tema de concretos especiales o ciclópeos. A su vez, el agregado fino se compone del material que pasa la malla No. 4 (4.76 mm) hasta las partículas más finas malla No. 100 (0.15mm)

La importancia de clasificar los agregados en grueso y fino, es primordialmente para lograr, en la práctica, una combinación adecuada de estas dos fracciones, asegurando así una composición granulométrica correcta y suficientemente uniforme para obtener el producto final deseado.

d) Clasificación por su forma y textura

Las características de forma y textura tienen también efectos importantes en el concreto, sobre todo en cuanto a su compactación y su trabajabilidad. Existen varias clasificaciones para la forma de la partícula como por ejemplo las siguientes:

- Redondeada
- Irregular
- Lajeada
- Angular
- Elongada

Otro ejemplo es el siguiente

- Muy redondeada
- Redonda
- Subredonda
- Subangular
- Angular

A la vez la textura puede clasificarse como sigue:

- Vítrea
- Lisa
- Granular
- Áspera
- Cristalina
- Porosa

La forma y textura, pueden afectar la trabajabilidad del concreto, por lo cual también podrán afectar la demanda de agua y del cemento y, por consiguiente a la resistencia final. La textura afecta también a la adherencia que se desarrolla entre la partícula y la pasta de cemento, por lo cual, esta nuevamente influenciado a la resistencia del concreto. Estas características se deberán tomar en cuenta para los estudios iniciales pero, una vez definidos los agregados, no es factible tratar de controlar sus variaciones, más que en casos muy contados, como sería por ejemplo, el empleo de equipo especial de trituración para mejorar la forma de la partícula.

Principales propiedades de los agregados.

- a) Composición granulométrica
- b) Peso específico
- c) Absorción
- d) Peso volumétrico
- e) Sanidad
- f) Resistencia
- g) Resistencia al desgaste
- h) Reacción álcali agregado
- i) Forma y textura superficial de las partículas

a) Composición granulométrica.

La composición granulométrica, es la distribución de tamaños de partículas, determinada en laboratorio por medio de una separación mecánica, efectuada con mallas reglamentarias. Los valores que se obtienen mediante esta prueba (NMX - C - 77 - ONNCCE - 1997), análisis granulométrico-método de prueba, expresados como porcentajes retenidos, o que pasen las diversas mallas, se tabulan y se grafican para su interpretación. La granulometría de los agregados juega un papel de máxima importancia en las características del concreto.

Las variaciones en graduación de los agregados, alteran a una serie muy compleja de factores, empezando por el área específica del material pétreo, que a su vez afecta a la trabajabilidad del concreto y a la demanda de agua y cemento. Como resultado, también se afecta a la compactación de la masa de concreto y otras características tales como el acabado, la segregación y el sangrado.

La Norma Mexicana, señala límites de graduación óptima para los agregados grueso y fino. Aún cuando no siempre es posible ajustarse a ellos, constituye un criterio definido a las tendencias que deben buscarse para obtener el mejor comportamiento de los agregados.

b) Peso específico, absorción y peso volumétrico

Estas características son importantes para los estudios iniciales del concreto, ya que todos estos valores intervienen en el diseño de los proporcionamientos para las resistencias especificadas de proyecto.

Además el peso específico, da una buena idea de la composición física de las partículas individuales, que a su vez proporciona datos para clasificar al agregado como ligero o pesado (NMX – C – 072 – ONNCCE - 1997) y para tener un indicio inicial sobre resistencia potencial. El peso volumétrico, también califica al agregado en características semejantes, para este caso se refiere al conjunto de partículas, en vez de las partículas individuales.

En la (NMX – C – 073 -ONNCCE -2004), Se contempla la determinación del peso unitario de los agregados. Por su parte, la absorción proporciona idea de la porosidad del material, que estará influenciado a su vez, de características tales como su densidad aparente, textura, demanda de agua y resistencia estructural.

c) Sanidad

Esta es la capacidad del agregado para resistir cambios excesivos en volumen, como consecuencia de los cambios en condiciones físicas, estos últimos causados por variaciones ambientales tales como congelamiento y deshielo, cambios térmicos y estados de saturación y secado. Existen pruebas de laboratorio (NMX – C – 075 – ONNCCE - 1997) determinación de la sanidad de los agregados por medio de sulfato de sodio o del sulfato de magnesio que pretenden reproducir en forma aproximada esta condición y por consiguiente, dan valores relativos que clasifican al agregado, en cuanto a su resistencia contra estos agentes.

d) Resistencia

Es clara la importancia que tiene la resistencia de los agregados puesto que de ella dependerá la resistencia al concreto.

Se puede considerar dos tipos principales de resistencia en las partículas que forman el agregado que son: Resistencia a la compresión y resistencia al impacto (tenacidad). Existen métodos para valorar ambas resistencias y, aunque principalmente se utilizan para los estudios iniciales de aceptación, también se emplean para control de calidad de los agregados, ya que es muy factible que se presenten variaciones de estas características, aún en un mismo banco de material.

e) Resistencia al desgaste

La resistencia al desgaste de un agregado, se usa con frecuencia como indicador general de la calidad del agregado. Esta característica es esencial, cuando el agregado se usa en concreto sujeto a desgaste como en los pisos para servicio pesado.

El método de prueba más común para la resistencia al desgaste, es el método del tambor giratorio de los Ángeles (NMX –C – 196 - 1984). Sin embargo, la comparación de los resultados de las pruebas de desgaste de los agregados, con las hechas para determinar la resistencia al desgaste del concreto, no muestra una correlación directa. La resistencia al desgaste del concreto puede determinarse con más precisión mediante pruebas de desgaste en el mismo concreto.

f) Reacción álcali-agregado (NOM – C- 298-1980)

Se considera que los agregados tienen estabilidad química, cuando no reaccionan químicamente con el cemento en forma peligrosa, ni sufren la influencia química de otras fuentes externas. En algunas regiones, los agregados que tienen ciertos elementos químicos, reaccionan con los álcalis del cemento, esta reacción álcali agregado puede producir expansión anormal y agrietamientos irregulares en el concreto.

Si no existen registros sobre el comportamiento del agregado, y se sospecha que es inestable químicamente, existen pruebas para identificar los agregados que reaccionan con los

álcalis, la NOM – C – 180 ONNCCE - 2001 "Métodos de prueba para la determinación de la reactividad potencial de los agregados con los álcalis del cemento por medio de barras de mortero".

g) Forma y textura superficial de las partículas

La forma de las partículas y la textura superficial de un agregado, influyen en las propiedades del concreto fresco, más que en el concreto endurecido. Las partículas de superficie rugosa o las planas y alargadas requieren más agua para producir un concreto manejable, que los agregados redondeados o con partículas cuboides. Por tanto, las partículas del agregado que son angulares requieren más cemento para mantener la misma relación agua/cemento. Sin embargo cuando la graduación es buena, tanto los agregados triturados como los no triturados, generalmente dan la misma resistencia, siempre que la dosificación de cemento sea la misma.

En la siguiente tabla se resumen las características antes mencionadas:

TABLA No. 2.6 Propiedades de los agregados

CARACTERÍSTICA	SIGNIFICADO O IMPORTANCIA	NMX	REQUISITOS, SEGÚN LA(S) ESPECIFICACIÓN(ES)
Resistencia al desgaste	Indicador de la calidad del agregado. Para los pisos de bodegas, plataformas de carga, pavimentos.	C-196	Máximo porcentaje de perdida
Resistencia a la congelación y la fusión.	Estructuras sujetas al intemperismo.	C-075-ONNCCE	Numero máximo de ciclos.
Estabilidad química	Resistencia y durabilidad de todos los tipos de estructuras	C-180-ONNCCE	Máxima dilatación de la barra de mortero. Los agregados no deberán reaccionar con los álcalis del cemento
Forma de la partícula y textura superficial.	Manejabilidad del concreto fresco.		Porcentaje máximo de piezas
Granulometría	Manejabilidad del concreto fresco. Economía.	C-077-ONNCCE	Porcentaje máximo y mínimo que pasa por las cribas estándar.
Peso volumétrico unitario.	Calculo para el proyecto de mezclas. Clasificación.	C-073-ONNCCE	Peso unitario máximo o mínimo (concretos especiales.)
Absorción y humedad superficial.	Control de la calidad del concreto.		

Sustancias perjudiciales en los agregados.

Las sustancias perjudiciales, que pueden estar presentes en los agregados, incluyen las impurezas inorgánicas, limo, arcilla, carbón de piedra, lignito y algunas partículas blandas y ligeras. La mayor parte de las especificaciones, limitan las cantidades de estas sustancias en los agregados. Los métodos para descubrir las sustancias perjudiciales, cualitativa o cuantitativamente, se dan en la tabla No. 2.7:

TABLA No. 2.7 Sustancias perjudiciales en los agregados

SUSTANCIAS PERJUDICIALES	EFFECTOS SOBRE EL CONCRETO	NMX.
Impurezas orgánicas	Afectan el fraguado y el endurecimiento, y pueden producir deterioro.	C-76-ONNCCE
Materiales más finos que la malla No. 200	Afectan la adherencia y aumentan la cantidad de agua necesaria.	C-71-ONNCCE
Carbón de piedra, Lignito u otros materiales ligeros.	Afectan la durabilidad y pueden producir manchas y reventones.	C-72-ONNCCE
Partículas blandas.	Afectan la durabilidad.	
Partículas frágiles.	Afectan la manejabilidad y la durabilidad y pueden producir reventones.	

Resumiendo las características de los agregados que afectan las propiedades del concreto tenemos:

TABLA No. 2.8 características de los agregados que afectan las propiedades del concreto

PROPIEDAD DEL CONCRETO	PROPIEDAD SOBRESALIENTE DEL AGREGADO
DURABILIDAD: Resistencia al congelamiento y deshielo.	<ul style="list-style-type: none"> • Sanidad • Porosidad • Permeabilidad • Grado de saturación • Resistencia a la tensión • Textura, presencia de arcilla
Resistencia al mojado y secado.	<ul style="list-style-type: none"> • Estructura de los poros • Módulo de elasticidad.
Resistencia al calentamiento y enfriamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Coeficiente de expansión térmica.
Resistencia a la abrasión.	<ul style="list-style-type: none"> • Dureza
Reacción álcali-agregado.	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de ciertos componentes silícicos.
RESISTENCIA	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia • Textura superficial • Limpieza • Tamaño máximo
CONTRACCIÓN.	<ul style="list-style-type: none"> • Módulo de elasticidad. • Forma de la partícula. • Granulometría • Limpieza • Tamaño máximo. • Porcentaje de arcilla
COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA.	<ul style="list-style-type: none"> • Coeficiente de expansión térmica. • Módulo de elasticidad.
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:	<ul style="list-style-type: none"> • Conductividad térmica.
CALOR ESPECÍFICO:	<ul style="list-style-type: none"> • Calor específico.
PESO VOLUMÉTRICO.	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad • Forma de la partícula • Granulometría • Tamaño máximo.
MODULO DE ELASTICIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • Módulo de elasticidad. • Relación de Poisson.
ECONOMÍA:	<ul style="list-style-type: none"> • Forma de la partícula • Granulometría • Tamaño máximo • Cantidad de procesamiento • Disponibilidad

Los agregados, más comúnmente usados como la arena, grava, piedra triturada y escoria de altos hornos enfriada al aire producen concreto de peso normal es decir concreto que pesa de 2100 a 2500 Kg./ m³

Las lutitas, arcillas, pizarras y escoria esponjadas se usan como agregados para producir concretos estructurales ligeros, con peso unitario que varia de 1300 a 1800 Kg./m³ y otros materiales ligeros como piedra pómez, la escoria, la perlita, la vermiculita y la diatomita se usan para producir concretos aisladores que pesan de 240 a 1400 Kg./m³. Los materiales muy densos como la barita, magnetita, ilmenita, hierro y particulas de acero se usan para producir concreto muy denso.

Especificaciones de los agregados

Los agregados conocidos comúnmente como grava y arena, son rocas o fracciones de roca cuya composición, forma y tamaño, influyen sobre la resistencia y calidad del concreto. Su influencia, viene determinada indirectamente por la cantidad de agua, que es necesario añadir a la mezcla, para obtener la docilidad y compactación necesaria.

Se llama superficie específica del agregado, a la superficie por kilogramo de los agregados. Esta superficie es mayor o menor según el tamaño de los agregados. Cuando los agregados son pequeños su superficie es más elevada que cuando se trata de agregados gruesos.

Si se mantiene el valor de la superficie específica del agregado, la cantidad de agua que es necesaria, para una docilidad y resistencia determinadas permanece constante, independientemente de la granulometría.

¿Cómo dosificar los agregados?

Hay que separar el agregado grueso en diferentes tamaños, para luego mezclarlo en las proporciones convenientes. El agregado fino se suele combinar según los tipos de arena. Este proceso no se puede llevar a acabo de una manera rigurosa, ya que un agregado clasificado de esta manera conduciría a una estructura muy poco cohesiva, por lo que un ligero exceso de fino es necesario.

Una clasificación muy precisa de agregados, se debe de mirar siempre desde el punto de vista técnico-económico, contrapesando el costo de la clasificación de los agregados, frente a la calidad obtenida en el concreto.

¿Cómo debe ser la forma de los agregados?

Si se emplean agregados gruesos de formas inadecuadas, la cantidad de cemento necesaria para obtener una buena resistencia es elevada. Estas formas inadecuadas son las de tipo lajoso y su proporción en las mezclas se limita por el coeficiente de forma de la grava.

¿Cómo debe ser la superficie de los agregados?

La rugosidad de un agregado se conoce como su textura. Una textura muy rugosa necesita una elevada proporción de finos para mejorar su docilidad. La unión entre la pasta de cemento y los agregados es tanto menor cuanto más liso sea la superficie de los agregados; por esto para obtener elevadas resistencias es conveniente utilizar agregados de superficie granular.

De tal manera, y cuando el criterio de calidad de un concreto se establece por el valor de su resistencia a compresión para resistencias normales, el empleo de agregados rodados facilita el obtener concretos dóciles.

¿Qué características deben tener los agregados?

- No deben tener arcillas, limos y materias orgánicas.
- En general, los agregados de baja densidad son poco resistentes y porosos.
- La humedad de los agregados tiene gran importancia en la dosificación del concreto, sobre todo si se dosifica en volumen, ya que existe un entumecimiento del agregado que aumenta su volumen. Este aumento es considerable en las arenas. Al dosificar el agua de amasado hay que tener en cuenta la humedad de los agregados.
- La arena de mina contiene demasiada arcilla y es necesario lavarla para su empleo en concreto armado.
- Las arenas de mar, lavadas con agua dulce, se pueden emplear en concreto armado.

La norma NMX-C-111- ONNCCE es adecuada para asegurar materiales satisfactorios para la mayoría de los concretos en México.

II.3 AGUA

Generalidades

El agua en el concreto, juega un papel muy importante ya que es el agente activo que genera la reacción química con el cemento para que la mezcla de concreto adquiera primeramente la trabajabilidad adecuada y consecuentemente la dureza y resistencia con que se conoce al concreto.

Casi cualquier agua natural que pueda beberse, y que no tenga sabor u olor notable sirve para mezclar el concreto. Sin embargo, el agua que sirve para mezclar concreto puede **no servir** para beberla.

Puede usarse agua cuyo comportamiento no se conozca para hacer concreto, si los cubos de mortero hechos con esa agua alcanzan resistencias a los 7 y a los 28 días, iguales o cuando menos el 90% de muestras, en que se hayan empleado agua potable. Además, deben hacerse pruebas para tener la seguridad, de que no afecta desfavorablemente el tiempo de fraguado del cemento, por las impurezas contenidas en el agua de mezcla. Cuando son excesivas las impurezas contenidas en el agua de mezcla, pueden afectar no solamente el tiempo de fraguado, la resistencia del concreto, la constancia de volumen, sino que pueden hasta producir eflorescencia o corrosión del refuerzo.

Normatividad

Para determinar las características que presenta el agua para concreto, se deben utilizar las muestras tal como se reciben y de acuerdo con la NOM-C-277-1980 (Método para obtener una muestra representativa de agua para concreto), además de analizar, cuando menos, tres muestras representativas. Los métodos de análisis, que se deben aplicar al agua para obtener sus características se especifican en la NMX-C-122- ONNCCE "agua para concreto" y son:

- Determinación de aceite, grasa y sólidos en suspensión.
- Determinación de la suma de carbonatos y bicarbonatos como CO_3 .
- Determinación de sulfatos como SO_4 .
- Determinación de cloruros como Cl .
- Determinación de la materia orgánica por el oxígeno consumido.
- Determinación del magnesio Mg^{++} .

- Determinación de CO₃ disuelto.
- Determinación del PH.
- Determinación de impurezas en solución.
- Determinación de álcalis como Na⁺.

II.4 ADITIVOS

Generalidades

Prácticamente todos los países industrializados fabrican aditivos. En América existen fábricas en Canadá, Estados Unidos de América, México, Venezuela, Colombia, Ecuador, Brasil, y Argentina, que cubren ampliamente sus mercados internos.

La industria de los aditivos para concreto en México, aunque pequeña en el contexto de la industria de la construcción, ha sido, y muy probablemente seguirá siendo un apoyo importante por su aportación tecnológica, al suministrar productos especializados. Gracias a la incorporación de estos productos, se ha logrado utilizar el concreto, de una manera más eficiente, flexible y creativa en todo tipo de obras donde se ha optado por este material.

La Norma ASTM C-125: Definiciones estándar. Términos relacionados con concreto y agregados para concreto y la Cement and Concrete Terminology: ACI SP – 19 definen un **aditivo** como: "Un material diferente del agua, de los agregados y del cemento hidráulico que se emplea como componente del concreto o mortero y que se agrega a la mezcla inmediatamente, antes o durante el mezclado."

Clasificación de los aditivos

Los aditivos se clasifican en cinco grupos:

- a) acelerantes
- b) inclusores de aire
- c) reductores de agua y reguladores de fraguado
- d) minerales finamente divididos y
- e) diversos.

Este último grupo se subdivide en 11 categorías, de acuerdo con los efectos característicos de su empleo.

Usos y razones para el empleo de un aditivo en concretos

Los aditivos pueden emplearse para modificar las propiedades del concreto, haciéndolo más adecuado para determinado trabajo, o por economía, o con otros propósitos tales como el ahorro de energía.

Los aditivos deben usarse de acuerdo con las especificaciones aplicables de la ASTM o con otras especificaciones. Debe prestarse especial atención a las instrucciones proporcionadas por el fabricante del aditivo. Un aditivo debe utilizarse, sólo después de haber evaluado apropiadamente sus efectos; hay que probarlo, de preferencia con los materiales particulares y en las condiciones de utilización. Esta evaluación, es particularmente importante cuando:

1. Se especifican tipos especiales de cemento.
2. Se va emplear más de un aditivo
3. El mezclado y el colado se lleva a cabo a temperaturas por arriba o por abajo de las temperaturas de colado, generalmente recomendadas

Además debe señalarse que:

1. Es conveniente, un cambio en el tiempo o fuente de concreto de la cantidad de cemento empleado, o una modificación en la composición granulométrica del agregado o de las proporciones de la mezcla
2. Muchos aditivos afectan a más de una de las propiedades del concreto, alterando adversamente, algunas veces propiedades deseables.
3. Algunos factores, tales como el contenido de agua y el contenido de cemento de la mezcla, modifican de manera importante los efectos de algunos aditivos debido al tipo de composición granulométrica del agregado y por el tipo y duración de mezclado.

Los aditivos que modifican las propiedades del concreto fresco, pueden causar problemas por endurecimiento temprano o por la prolongación de tiempos de fraguado. Un aditivo puede ser el único medio para alcanzar el resultado deseado. En otros casos los objetivos deseados pueden lograrse mediante cambios en la composición o dosificación de la mezcla de concreto y no mediante el empleo de un aditivo. Algunos de los fines más importantes para los que se utilizan los aditivos son:

Modificación del concreto fresco, del mortero y de la lechada

- Para aumentar la trabajabilidad sin incrementar el contenido de agua, o para reducir el contenido de agua con la misma trabajabilidad.
- Para retardar o acelerar el tiempo de fraguado.
- Para reducir o evitar el fraguado o para crear expansión ligera.
- Para modificar la tasa o capacidad de sangrado, o ambas
- Para reducir la segregación.
- Para mejorar la penetración y la bombeabilidad
- Para reducir la tasa de pérdida de revenimiento.

Modificación del concreto, del mortero y de la lechada endurecida

- Para retardar o reducir la evolución de calor durante el endurecimiento temprano.
- Para acelerar la tasa de desarrollo de resistencia a edades tempranas.
- Para incrementar la resistencia (a la compresión, a la tensión o a la flexión)
- Para incrementar la durabilidad o resistencia a condiciones severas de exposición, incluyendo la aplicación de sales descongelantes.
- Para reducir el flujo capilar del agua
- Para reducir la permeabilidad a los líquidos
- Para controlar la expansión causada por la reacción de álcalis con ciertos constituyentes de los agregados.
- Para producir concreto celular.
- Para incrementar la adherencia del concreto con el refuerzo
- Para incrementar la adherencia del concreto viejo y nuevo
- Para impedir la corrosión del metal ahogado
- Para producir concreto o mortero coloreado.

Aspectos económicos en el empleo de aditivos

De tomarse en cuenta el costo, cuando se utilice un componente adicional, así como cualquier efecto que pueda tener el empleo de un aditivo sobre el costo de transportación, colado y acabado del concreto. Frecuentemente, un aditivo permite la aplicación de métodos de construcción o de diseños menos costosos, para compensar cualquier incremento en el costo debido al uso de un aditivo. Por ejemplo del empleo de aditivos retardantes han resultado diseños novedosos y económicos de unidades estructurales. Dichos aditivos permiten el colado de grandes volúmenes de concreto durante períodos mayores minimizando, de esta manera, la

necesidad de cimbrar, colar y unir unidades separadas. Las propiedades físicas que se requieren en concretos ligeros se logran comúnmente con pesos unitarios menores, mediante el uso de aditivos inclusores de aire y de aditivos reductores de agua.

Preparación y dosificación de un aditivo.

Como ya se mencionó anteriormente, la elección de un aditivo debe ser en función de los requerimientos de nuestra mezcla y su dosificación es de vital importancia, para que se tenga un buen comportamiento de nuestra mezcla. Hay que recordar que el éxito en el uso de los aditivos depende del empleo de métodos apropiados de preparación y dosificación.

Se puede dosificar mediante dos métodos:

- a) Aquellos materiales agregados a la mezcla en forma líquida, que pueden ser dosificados por peso o volumen
- b) Aditivos en polvo que normalmente se dosifican por peso.

No debe olvidarse que es muy importante seguir las instrucciones del fabricante para que la dosificación del concreto sea la adecuada, y hacerla en el momento indicado para no modificar las características requeridas de la mezcla. Es decir la adición del aditivo a la mezcla debe ser en el agua cemento o directamente en el mezclado según indicaciones del fabricante o según lo determinan las pruebas de laboratorio y de campo.

Normatividad que rige en los aditivos

TABLA 2.9 Normatividad de los aditivos

NORMA	CARACTERÍSTICAS
NMX - C - 117 - ONNCCE	Aditivos estabilizadores de volumen
NMX - C- 140 - ONNCCE	Aditivos expansores del concreto
NMX - C- ONNCCE - 2000	<p>Industria de la construcción- Aditivos para concreto – Puzolana natural cruda o calcinada y ceniza volante para usarse como aditivo mineral en concreto de cemento Pórtland.</p> <p>Especificaciones - Establece las especificaciones aplicables a la ceniza volante y la puzolana natural cruda o calcinada para emplearse como aditivo mineral en concreto, cuando desea una acción cementante o puzolanica o ambas.</p>
NMX - C - 199 - ONNCCE	<p>Industria de la construcción – Aditivos para concreto y materiales complementarios – terminología y clasificación.</p> <p>Establece las definiciones de términos utilizados en el área de aditivos para concreto y mortero en la industria de la construcción.</p>
NMX - C- 200 - ONNCCE	<p>Aditivos inclusores de aire para concreto.</p> <p>Establece las especificaciones que deben cumplir los materiales propuestos para usarse como aditivos inclusores de aire al añadirse a mezclas de concreto.</p>
NMX - C - 255 - ONNCCE	<p>Industria de la construcción - Aditivos químicos que reducen la cantidad de agua y/o modifican el tiempo de fraguado de del concreto</p> <p>Establece las características que deben cumplir los aditivos químicos al agregarse a concretos fabricados con cemento Pórtland, tomando como comparación un concreto testigo.</p>
NMX - C- 356 - ONNCCE	Industria de la construcción - aditivos para concreto – Cloruro de calcio.

III. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS MÁS COMUNES

III.1 GENERALIDADES.

La norma ASTM – C – 125, clasifica a los agregados empleados en concreto en dos partes como agregados finos y agregados gruesos (gravas) los cuales se describen a continuación:

Agregado fino: es el material granular que pasa por la malla No. 4 (4.76) mm de abertura y que es retenido en la malla numero 200 (74 micras de abertura) estos agregados abarcan normalmente partículas entre 4.75 y 0.075 mm y son el producto de la desintegración y abrasión natural de las rocas o bien del procesado de una arenisca completamente desmenuzable. Pueden ser arenas naturales, extraídas de los ríos, los lagos, depósitos volcánicos o arenas artificiales, esto es que ya han sido triturados en un banco comercial.

Agregado grueso: el agregado grueso o grava, es el material retenido predominantemente por la malla No. 4 (4.76) mm de abertura y al igual que la arena es el producto de la desintegración y abrasión natural de rocas o del procesado de un conglomerado débilmente ligados, cuyas partículas comprenden tamaños comúnmente desde 4.75 mm hasta 6.00 pulgadas para los fragmentos mas grandes.

Los agregados para concreto más comunes localizados en el Valle de México y de fácil adquisición comercial son los "artificiales", consistentes en arenas y gravas trituradas que se obtienen de depósitos naturales de origen volcánico, como son las rocas andesíticas, basáltico andesíticas, escoria volcánica, pumíticas, calizas y dolomitas entre otras.

Las necesidades de la infraestructura en la Ciudad de México, demandan grandes volúmenes de concreto, los cuales serán elaborados y diseñados para cubrir los requisitos de los diferentes proyectos que se requieren como se dijo en el capítulo I, estos concretos en su mayoría deberán ser elaborados en la misma ciudad por lo que los agregados pétreos utilizados para la elaboración de tales concretos, deberán ser adquiridos en la zona, esto con la finalidad de reducir los costos en la transportación.

Existen agregados de baja densidad así como algunos otros de densidad normal y alta, por lo que esta práctica, se direcciona a estudiar algunos tipos de estos agregados. De los cuales se deriva la fabricación de concretos de diversas densidades, ya sea ligero, normal o pesado.

Es por este motivo que en esta práctica de estudio se considero de importancia analizar concretos de peso normal de baja densidad y de alta densidad, los cuales fueron elaborados con agregados gruesos más comunes.

Es bien sabido que cuando los materiales se expanden y desarrollan mayor porosidad, la resistencia y la rigidez disminuyen a una velocidad exponencial, a lo cual se puede permitir una reducción sustancial de la densidad antes de que la resistencia del concreto se vea deteriorada.

El uso de agregados de baja densidad permite crear concretos que tienen varias aplicaciones, como cuando se requiere una mayor resistencia térmica, principalmente en lugares con climas extremos; reducir cargas muertas y así minimizar los costos de transportación y las fuerzas sísmicas.

Para nuestra práctica de estudio se utilizaron 5 diferentes agregados de tipo grueso, cuatro de origen natural y uno de tipo industrial, los cuales se enlistan a continuación:

- 1) Grava andesítica. TMA 3/4" (19 mm)
- 2) Tezontle (escoria volcánica). TMA 1" (25 mm)
- 3) Grava pumítica (piedra pómez). TMA 1" (25 mm)
- 4) Grava basáltico andesítica. TMA 1" (25 mm)
- 5) Perlas de poliestireno. TMA (6 mm).

Por otra parte el agregado fino, utilizado en la elaboración de todas las mezclas fue arena andesítica, con materiales que pasan por la malla No. 4.

III.2 ARENA ANDESITICA

Características.

Las arenas andesíticas se pueden encontrar como ya se mencionó anteriormente, en rocas de tipo andesítico, en sus diferentes tamaños, que oscilan de 0 a 5 mm de tamaño máximo. Es el agregado fino que se utiliza en la ciudad y valle de México más comúnmente, para la elaboración de diferentes tipos de concretos, de resistencias normales a la compresión, aunque también su uso se limita, cuando así se requiere para resistencias más bajas o en su defecto para más densas.

Propiedades físicas.

En esta práctica todas las "mezclas de prueba" se elaboraron con arena andesítica, por lo que todas sus propiedades físicas de la arena, así como su análisis granulométrico se obtuvieron en el laboratorio de construcción de la ENEP "Aragón" de acuerdo a lo solicitado por las Normas ASTM para el control de calidad de los agregados y en apego a los procedimientos que marcan las Normas Mexicanas, las cuales se mencionaron en el capítulo II en el subcapítulo II.2 de agregados, a partir de las cuales se determinó que esta arena andesítica fue adecuada para su empleo en la elaboración de las 25 mezclas de prueba (ver la tabla número 6.2)

Los resultados que se obtuvieron de las propiedades físicas de la arena andesítica se muestran en la tabla No. 3.6, a su vez los resultados del análisis granulométrico se aprecia en la siguiente tabla 3.1 y gráfica 3.1

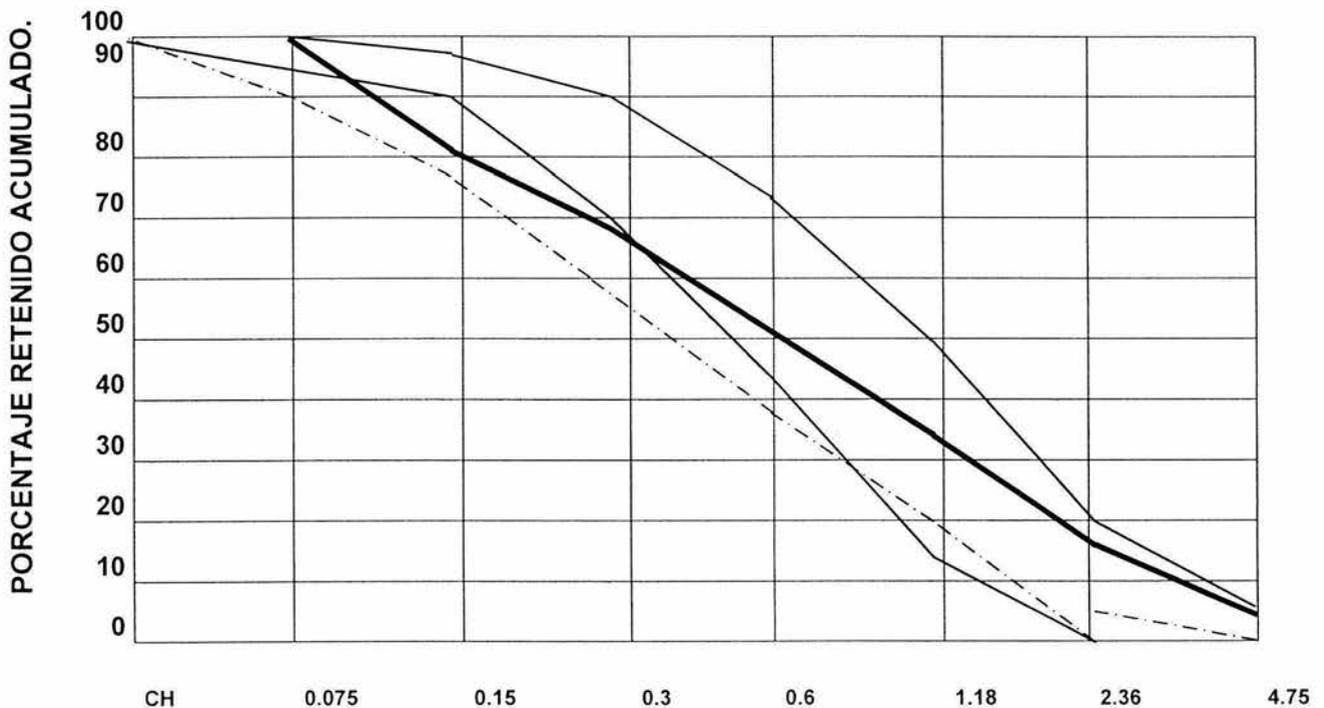
MUESTRA: ARENA ANDESITICA
 PESO: 1000 GRMS

TABLA 3.1 Resultados del ensaye de la composición granulométrica de la arena andesitica

MALLA No.	ABERTURA MM	PESO KG.	POR CIENTOS	% ENTEROS	% ACUMULADOS
4	75.00	45.5	4.47%	5	5
8	50.00	125.7	12.36%	12	17
16	37.50	176.5	17.35%	17	34
30	25.00	167.3	16.45%	17	51
50	19.00	187.5	18.44%	18	69
100	12.50	123.6	12.15%	12	81
	CHAROLA	190.95	18.77%	19	100
	SUMAS	1017.05	100.00%	100	

MODULO DE FINURA = $257/100 = 2.57$

GRAFICA No. 3.1 Análisis granulométrico de la arena andesitica.



III.3 GRAVA BASALTICO ANDESITICA.

Características.

Este tipo de grava se encuentra en rocas de tipo basáltico andesítico, y la cantidad necesaria para la elaboración de esta práctica, se obtuvo de bancos de tipo comercial de la zona sur de la Ciudad de México. Cuyo tamaño máximo del agregado (TMA) es de 25 mm.

El diseño de concretos pesados con altas resistencias requiere comúnmente de agregados gruesos de densidad alta, por lo que en esta práctica, se diseñaron cinco mezclas de prueba empleando grava basáltico andesítico y diseñada con una resistencia de 420 kg/cm². (Ver tabla No. 6.1)

Propiedades físicas.

Al igual que la arena los resultados de las propiedades físicas, se pueden apreciar en la tabla No. 3.6 y la granulometría en la tabla número 3.2 y la gráfica 3.2 de la composición granulométrica.

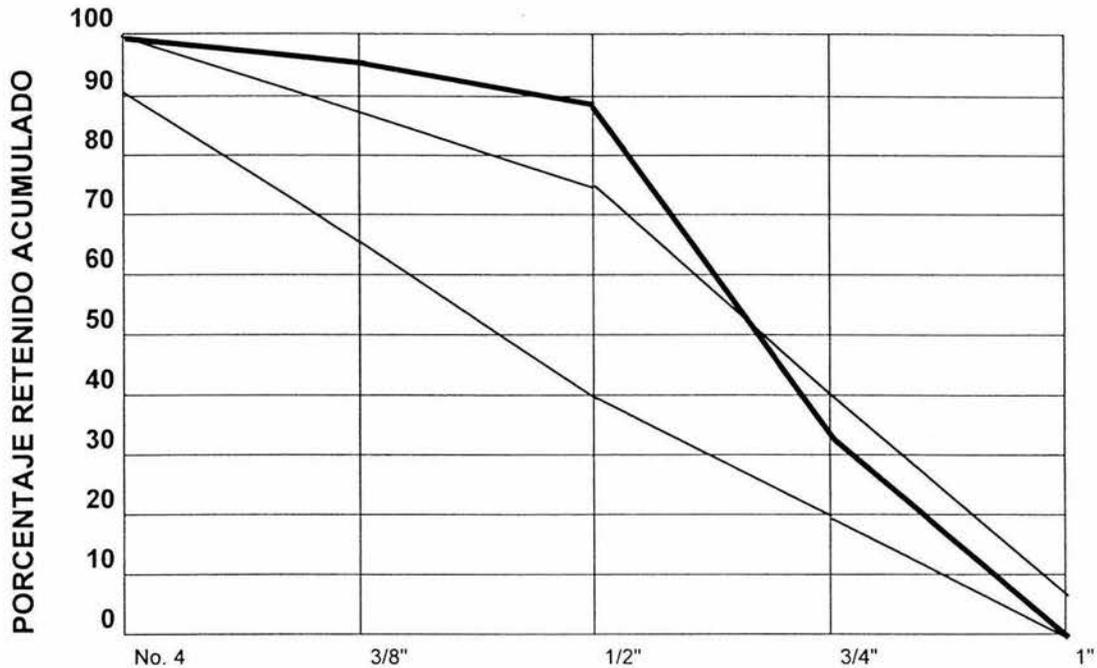
MUESTRA: GRAVA BASÁLTICO ANDESITICA.
PESO: 2000 GRMS

TABLA 3.2 Resultados del ensaye de la composición granulométrica de la grava basáltico andesítico

MALLA No.	ABERTURA MM	PESO KG.	POR CIENTOS	% ENTEROS	% ACUMULADOS
3"	75.00	0	0.00%	0	0
2"	50.00	0	0.00%	0	0
1 1/2"	37.50	0	0.00%	0	0
1"	25.00	0	0.00%	0	0
3/4"	19.00	630.2	31.51%	31	31
1/2"	12.50	1152	57.60%	58	89
3/8"	9.50	114.4	5.72%	6	95
No. 4	4.75	74.1	3.71%	4	99
	CHAROLA	29.2	1.46%	1	100
	SUMAS	1999.9	100%	100	

MODULO DE FINURA = 725/100 = 7.25

GRAFICA 3.2 Análisis granulométrico grava basáltico andesítico (TMA 25 mm)



III.4 GRAVA ANDESITICA

Características.

Este tipo de grava se encuentra en rocas de tipo andesítico. Es la grava que se utiliza más comúnmente, ideal para elaborar concretos de resistencias normales, y la cantidad necesaria para la elaboración de esta práctica, se obtuvo de bancos de tipo comercial de la zona poniente de la Ciudad de México. Cuyo tamaño máximo del agregado (TMA) es de 19 mm.

En esta práctica, se diseñaron cinco mezclas de prueba empleando grava andesítica y diseñada con una resistencia de 280 kg/cm². (Ver tabla No. 6.1)

Propiedades físicas.

Al igual que la arena los resultados de las propiedades físicas se pueden apreciar en la tabla No. 3.6 y la granulometría en la tabla número 3.3 y la grafica No. 3.3 de la composición granulométrica.

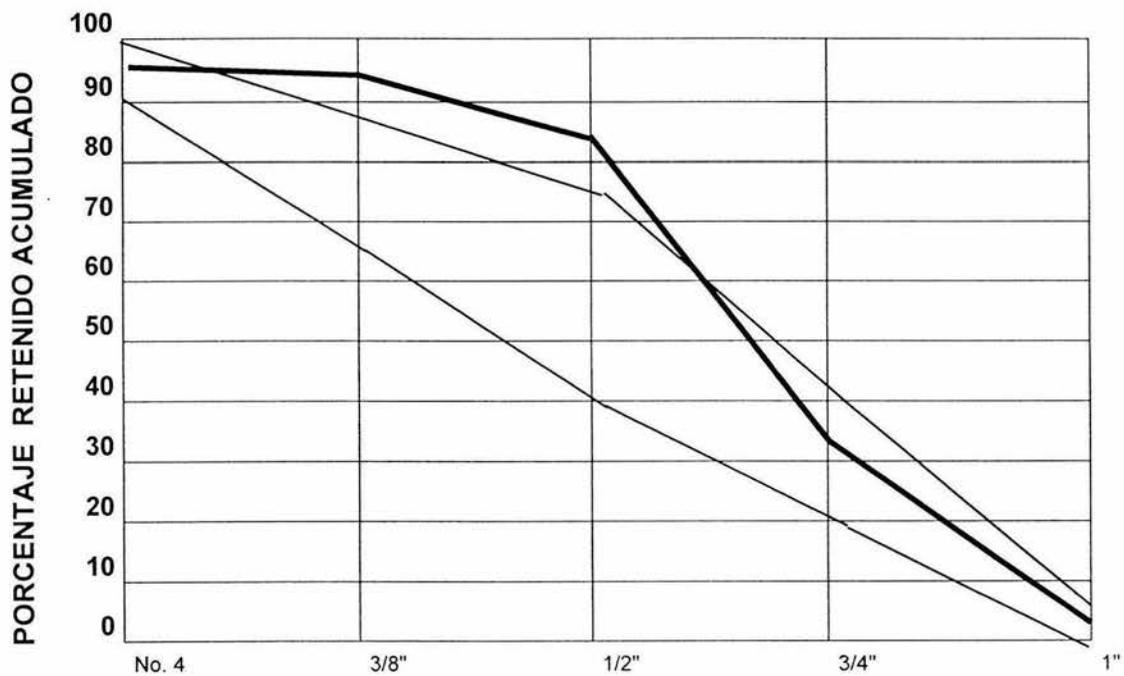
MUESTRA: GRAVA ANDESITICA
 PESO: 2000 GRMS

TABLA 3.3 Resultados del ensaye de la composición granulométrica de la grava andesitica

MALLA No.	ABERTURA MM	PESO KG.	POR CIENTOS	% ENTEROS	% ACUMULADOS
3"	75.00	0.00	0.00%	0	0
2"	50.00	0.00	0.00%	0	0
1 1/2"	37.50	0.00	0.00%	0	0
1"	25.00	45.50	2.28%	2	2
3/4"	19.00	648.00	32.42%	33	35
1/2"	12.50	1015.20	50.79%	51	86
3/8"	9.50	166.90	8.35%	8	94
No. 4	4.75	99.30	4.97%	5	99
	CHAROLA	24.00	1.20%	1	100
	SUMAS	1998.9	100%	100	

MODULO DE FINURA

GRAFICA 3.3 Análisis granulométrico grava andesitica (TMA 19 mm)



III.5 GRAVA PUMITICA Y ESCORIA VOLCÁNICA

Características.

El origen de los agregados ligeros, se da a partir de una estructura vesicular en forma de piedra pómez y escoria que resulta de la actividad volcánica. El magma fundido expulsado por los volcanes puede tener gases disueltos dentro de ellos, de modo que cuando se libera la presión en el momento que el magma sale del volcán los gases se expanden para formar

vesículas o bolsas dentro de la matriz vidriosa, y cuando el magma se enfría se retiene la forma absoluta.

Este tipo de material se encuentra en rocas de tipo ígneo tales como escorias volcánicas (tezontle). Es agregado grueso que se utiliza más comúnmente, ideal para elaborar concretos ligeros de resistencias normales, y la cantidad necesaria para la elaboración de esta práctica, se obtuvo de bancos de tipo comercial de la zona oriente y noroeste del valle de México. Cuyo tamaño máximo del agregado (TMA) es de 25 mm.

En esta práctica, se diseñaron cinco mezclas de prueba, para grava tezontle y cinco más empleando grava pumítica, las cuales fueron diseñadas con una resistencia de 280 kg/cm² y 200 kg/cm². Respectivamente (ver tabla No. 6.1)

Propiedades físicas.

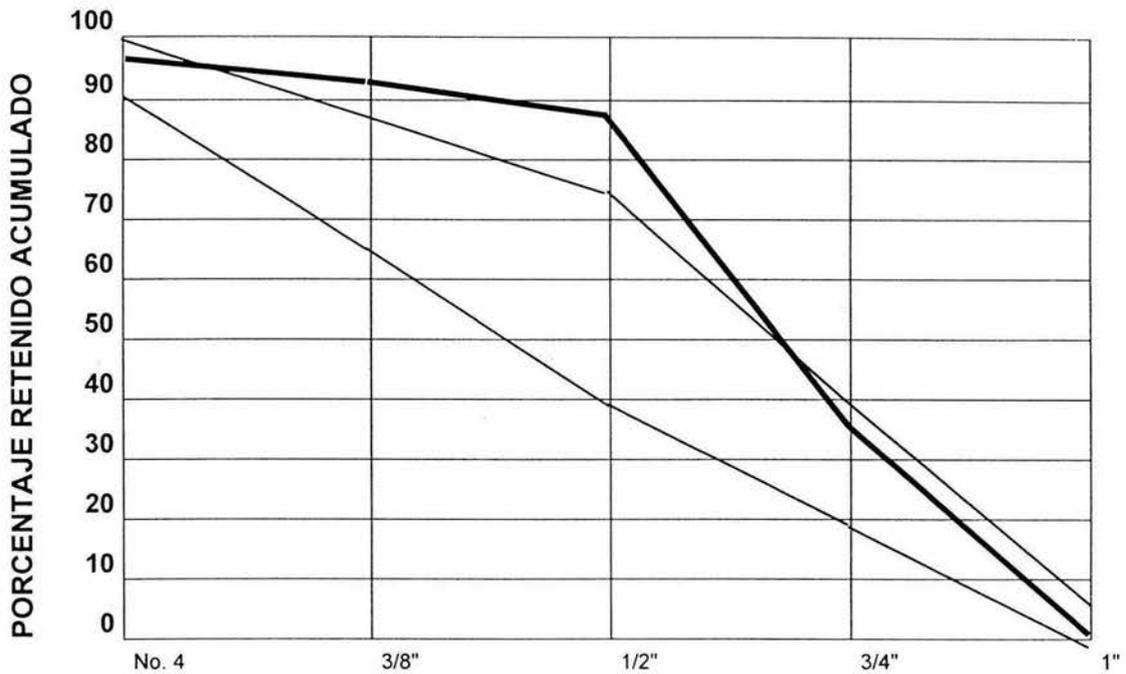
Al igual que la arena los resultados de las propiedades físicas de estos agregados se pueden apreciar en la tabla No. 3.6 y la granulometría en la tabla número 3.4 para el tezontle y 3.5 para la grava pumítica y las gráficas 3.4 y 3.5 de la composición granulométrica de estos agregados respectivamente.

MUESTRA: TEZONTLE
PESO: 500 GRMS.

TABLA 3.4 Resultados del ensayo de la composición granulométrica de la grava tezontle

MALLA No.	ABERTURA MM	PESO KG.	POR CIENTOS	% ENTEROS	% ACUMULADOS
3"	75.00	0	0	0	0
2"	50.00	0	0	0	0
1 1/2"	37.50	0	0	0	
1"	25.00	0	0	0	0
3/4"	19.00	185.5	37.35	37	37
1/2"	12.50	253.7	51.08	51	88
3/8"	9.50	19.2	3.87	4	92
No. 4	4.75	26.9	5.42	6	98
	CHAROLA	11.4	2.30	2	100
	SUMAS	496.7	100	100	
MODULO DE FINURA					

GRAFICA 3.4 Análisis granulométrico grava tezontle (TMA 25 mm)



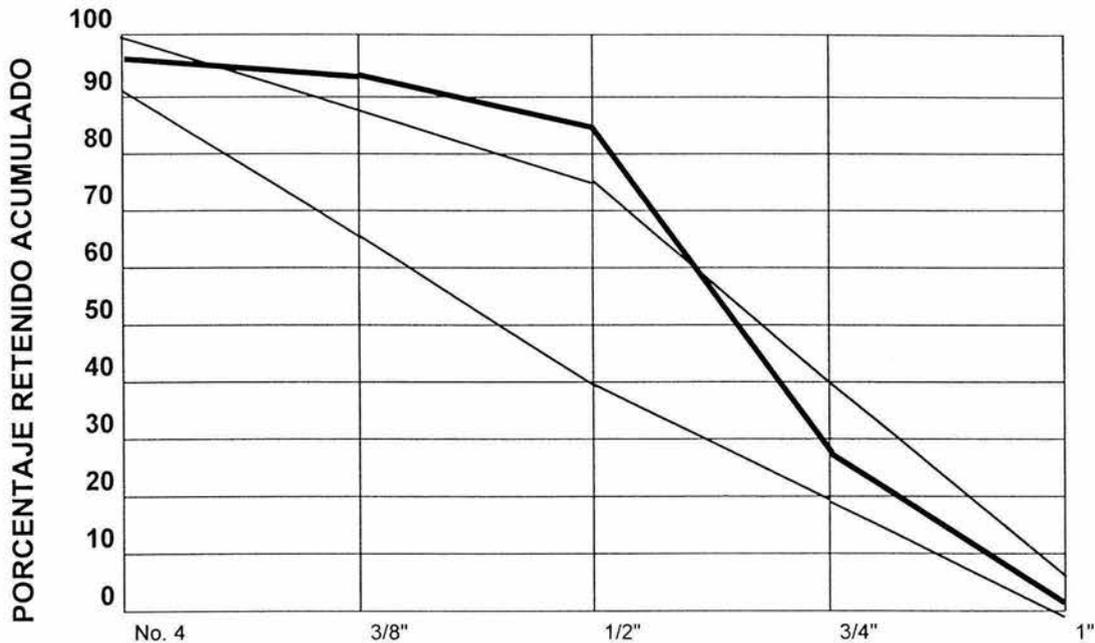
MUESTRA: GRAVA PUMITICA
 PESO: 500 GRMS

TABLA 3.5 Resultados del ensayo de la composición granulométrica de la grava pumitica

MALLA No.	ABERTURA MM	PESO KG.	POR CIENTOS	% ENTEROS	% ACUMULADOS
3"	75.00	0	0%		0
2"	50.00	0	0%		0
1 1/2"	37.50	0	0%		0
1"	25.00	7.5	1.45%	1	1
3/4"	19.00	144	27.77%	28	29
1/2"	12.50	291.6	56.24%	56	85
3/8"	9.50	29.2	5.63%	6	91
No. 4	4.75	16	3.09%	3	94
	CHAROLA	30.2	5.82%	6	100
	SUMAS	518.5	100%	100	

MODULO DE FINURA

GRAFICA 3.5 Análisis granulométrico grava pumítica (TMA 25 mm)



III.6 PERLAS DE ESPUMA DE POLIESTIRENO

Características.

Este tipo de material es un agregado a base de perlas preexpandidas de espuma de poliestireno. Este se utiliza en sustitución del agregado grueso en concretos diseñados con bajas resistencias, generando concretos de muy baja densidad de hasta 600 Kg./m³ y la cantidad necesaria para la elaboración de esta práctica, se obtuvo como un producto de marca registrada denominado STYROMIX, suministrado en forma de perlas con un diámetro máximo de 4 mm.

En esta práctica, se diseñaron cinco mezclas de prueba empleando STYROMIX y diseñada con una resistencia de 100 kg/cm². (Ver tabla No. 6.1)

Propiedades físicas.

Debido a las propiedades físicas principales que posee este material de adquisición comercial (STYROMIX), se puede enunciar directamente sus propiedades físicas y mecánicas en su empleo como agregado grueso en los concretos ligeros, las cuales fueron proporcionadas por el fabricante y se enlistan a continuación:

- Posee baja conductividad térmica (aislante térmico)
- Casi nula absorción de agua, 4 % en inmersión completa, durante un año.
- No se contrae ni se pudre, estable frente al agua de mar, ácidos y álcalis a excepción del ácido nítrico concentrado.
- Densidad de 17 Kg./m³ a 25 kg/cm²
- Resistencia a la compresión a 0.7 kg/cm² (10% de deformación)
- resistencia a la tensión a 2.5 kg/cm²

- resistencia al corte 6.6 kg/cm²
- resistencia a la flexión 2.07 kg/cm²
- Obtención de concretos ligeros desde 600 kg/m³
- Debido a su cualidad de permeabilidad el fraguado se realiza en condiciones más favorables dado a que el concreto aprovecha la totalidad del agua contenida.

TABLA 3.6 Propiedades físicas de los diferentes agregados utilizados en el estudio.

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDAD	ARENA ANDESITICA	GRAVA ANDESITICA	GRAVA BASALTICO ANDESITICO	GRAVA PUMITICA	GRAVA TEZONTLE	PERLAS DE POLIESTIRENO
DENSIDAD (SSS)	gr./cm ³	2.36	2.375	2.895	0.89	1.458	.017
ABSORCIÓN	%	6.57	2.84	1.22	35.86	25.65	CASI NULA < a 4% en un año inmersa
PESO VOLUMÉTRICO COMPACTO	Kg/m ³	1768	1407	1632	418	561	25
PESO VOLUMÉTRICO SUELTO	Kg/m ³	1607	1343	1532	364	546	17
PERDIDA LAVADO	%	21					
MODULO DE FINURA		2.57					
COLORIMETRÍA		No contiene materia Orgánica					
FORMA DEL MATERIAL		Semiredonda	Semiredonda	Elongada a semiredonda	Semiredonda	Irregular	Redondeada
TEXTURA DEL MATERIAL		Granular	Poco áspera	Semilisa	Áspera	Áspera	Lisa

IV. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS ADITIVOS MÁS COMUNES

IV.1 GENERALIDADES

La necesidad de aumentar y/o modificar las características de los cementantes y de los concretos hidráulicos, obligo a agregar algún aditivo con el propósito de modificar el tiempo de fraguado y sobretodo poder acelerarlo, así como poder elaborar concretos con mayor durabilidad.

La introducción de nuevos aditivos y materiales cementantes ha permitido la producción de concretos de una muy alta trabajabilidad, cuyas propiedades mecánicas y durabilidad son superiores a las de los concretos "normales". Los aditivos casi siempre se utilizan para optimizar el costo – beneficio de una mezcla de concreto.

No es posible que; para obtener características adecuadas en un concreto, mencionadas anteriormente, se aumente mayor cantidad de cemento en su dosificación, pues esto aparte de incrementar el costo, el empleo de mas cemento, no retarda el fraguado en un clima calido, ni incluye aire para mejorar la durabilidad, no proporciona resistencia a edad temprana que seria necesaria en clima muy frío, etc. Ni se reducirá el calor de hidratación y la temperatura se elevará dentro del concreto masivo, como lo logran determinados aditivos al reducir el contenido de cemento, por lo que para modificar y/o mejorar alguna de sus propiedades de los concretos se usarán aditivos mezclándolos en el concreto ya sea en el cemento o en el agua.

En la actualidad existen en el mercado una diversidad de aditivos para concretos fabricados con cemento Pórtland, cuya aplicación varía de acuerdo a su funcionalidad para cada necesidad. Como se menciona en el capítulo II, los aditivos se rigen por las especificaciones aplicables de la American Society for Testing and Materials (A.S.T.M.) y en particular por las normas mexicanas como responsabilidad de organismos nacionales de normalización de carácter privado.

Los cuatro aditivos más comunes y los cuales fueron utilizados en esta práctica de estudio, en las mezclas de prueba modificadas (ver tabla 6.2) son los siguientes:

1. Aditivos inclusores de aire; para concreto (ASTM – C - 260) y (NMX – C - 200), aplicados en las mezclas de concreto para obtener mayor durabilidad de los mismos.
2. Aditivos acelerantes; para concreto (ASTM – C – 494) y (NMX – C – 356) aplicados en las mezclas de concreto para reducir el tiempo de fraguado y acelerar el desarrollo de la resistencia.
3. Aditivos reductores de agua; para concreto (ASTM – C- 494) y (NMX - C – 255) aplicados en la mezcla de concreto para mejorar su calidad del mismo, retarda el fraguado y permite reducir el agua de mezclado.
4. Aditivos superfluidificantes; para concreto (ASTM – C – 494) y (NMX – C – 255) reductores de agua de amplio rango, aplicados en concreto de consistencia fluida que ayuda a colocar el concreto en estructuras "dúctiles"

Existen otros propósitos para utilizar los aditivos, así como una gran diversidad de estos; los cuales no se verán en este capítulo debido al enfoque que se le ha dado al presente trabajo.

IV.2 INCLUSORES DE AIRE

Cualquier mezcla de cemento, agregados y agua, contiene pequeños porcentajes de vacíos de aire, la cantidad de este aire generalmente es menor del dos por ciento, excepto para altas proporciones de arena, depende las proporciones de los ingredientes de la mezcla, de la granulometría y de otras características de los agregados, y del método de compactación. Estos vacíos llamados naturales, son normalmente mas grandes que los producidos por un agente inclusor de aire, los vacíos naturales pueden ser de ayuda para la resistencia a la congelación.

Características.

Es característico del concreto atrapar volúmenes de aire mayores que los correspondientes a los naturales, o a las burbujas introducidas con la adición de un aditivo **inclusor de aire**, ya sea durante la fabricación del cemento o durante las operaciones de dosificación y mezclado de concreto, cuyo propósito de la inclusión de aire, es principalmente aumentar la resistencia del concreto a la desintegración, cuando este queda expuesto a la congelación y el deshielo, en estado saturado o parcialmente saturado, y en pavimentos para evitar las escamas causadas por la aplicación de productos químicos, para la remoción del hielo. El aire incluido también aumenta la trabajabilidad del concreto. Esto incrementa la impermeabilidad y mejora la resistencia al ataque por sulfatos.

Comúnmente el "inclusor de aire" es un aditivo líquido de color gris pardo, con viscosidad y peso específico similar al agua. Al agitar el Aditivo produce una espuma y al ser adicionado al concreto produce burbujas microscópicas, que se reparten uniformemente dentro de la masa del mismo, que actúan como lubricante entre las partículas del cemento, arena y grava.

Un agente inclusor de aire, se define como: "Una adición para cemento hidráulico o un aditivo para concreto o mortero, que causa la incorporación de aire en forma de burbujas diminutas (aproximadamente 1 mm o menos) en el concreto o mortero, durante el mezclado, por lo general para incrementar su trabajabilidad y su resistencia a las heladas".

La inclusión de aire en el concreto puede reducir la resistencia. Sin embargo esta puede ser compensada parcial o totalmente al reducir el agua. El aire contenido siempre debe verificarse por medio de un medidor de aire y ajustar en caso necesario. Contenidos de aire superiores al 6% reducen notablemente la resistencia.

Existen tres métodos reconocidos por la ASTM para determinar el contenido de aire en un concreto recién mezclado:

1. Método gravimétrico; (ASTM – C- 138), según el cual, el aire total se obtiene, restando la suma de los volúmenes absolutos de los ingredientes de una mezcla, del volumen aparente del concreto mezclado determinado mediante su peso unitario.
2. Método volumétrico; (ASTM – C -173), en el que extrae el aire y se mide el volumen de los ingredientes sólidos y;
3. Método de presión; (ASTM – C -231), en el que se determina la cantidad de aire, a partir de la variación de volumen del concreto, por la aplicación de una presión conocida. Este último método es el más usual, por la ventaja que tiene sobre los otros dos.

Propiedades

El concreto con aire incluido es recomendable para su empleo en las siguientes situaciones, debido a las propiedades que este ofrece:

- Indispensable para concretos expuestos a bajas temperaturas, donde la acción de la congelación y deshielo es importante, protegiéndolos de daños irreparables.

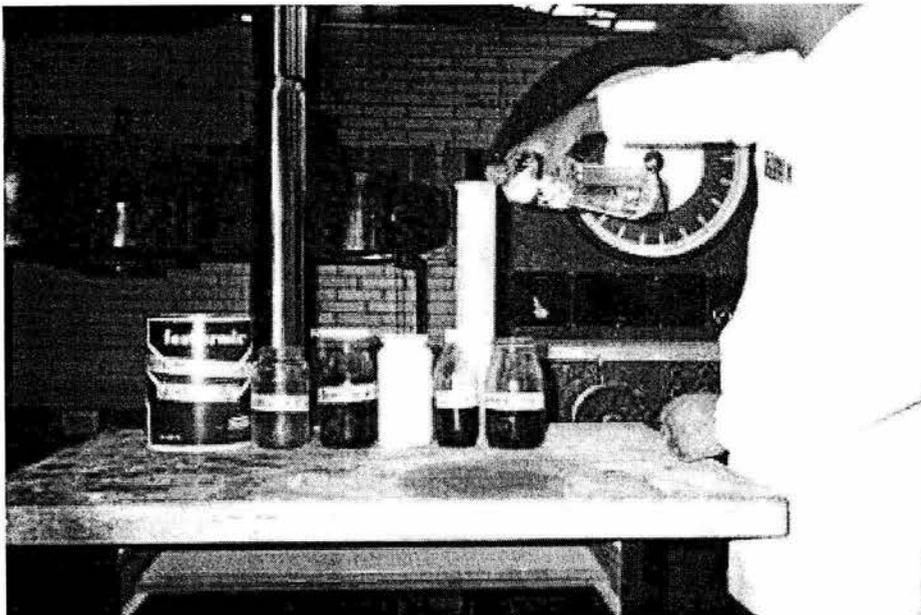
- Para producir concretos más manejables y así poder facilitar su colocación donde se requieran acabados superficiales de buena calidad, como es el caso de concretos aparentes.
- Cuando se requiera obtener concretos con mayor resistencia al ambiente marino o contacto con el mar. Aumentando la resistencia del concreto al ataque de sulfatos y cloruros.
- Aumenta notablemente la trabajabilidad en concretos muy ásperos, aun en granulometrías deficientes.
- Útil donde se necesita reducir capilaridad en la mezcla.
- Reduce la permeabilidad obteniendo concretos más durables.

Es práctica común proporcionar inclusión de aire en diversas clases de concreto ligero, incluyendo no solo al concreto aislante y de relleno, sino también al concreto estructural ligero.

Dosificación.

Como ya se menciona en el capítulo II, uno de los métodos para dosificar los aditivos líquidos es por peso o volumen, en porcentajes del peso del cemento. En este caso se dosificó en cantidades que variaron del 0.06 % al 0.2 %, por peso de cemento. Se agregó directamente al agua de la mezcla de prueba normal "testigo" diseñada (ver tabla No. 6.2), agitándola para obtener una incorporación homogénea.

FOTOGRAFÍA 4.1 Dosificación del aditivo según indicaciones del fabricante



IV.3 ACELERANTES

La velocidad de endurecimiento de una mezcla de concreto, puede variarse prácticamente a voluntad, mediante el uso de retardadores o acelerantes de fraguado. Hoy día es posible controlar ese fraguado para que se produzca, en unos cuantos segundos, después de varias horas o incluso en más de diez días, lo que permite una gran flexibilidad en el manejo del concreto, en muy variadas condiciones de obra.

Características.

Un aditivo acelerante es un material que se añade al concreto, con el fin de acelerar el tiempo de fraguado y el desarrollo de la resistencia a la compresión axial. Es una solución líquida de color café oscuro a base de cloruros, con una gravedad específica aproximadamente de 1.3 y un PH que fluctúa entre 8.5 y 10.0.

El mejor acelerante conocido es el cloruro de calcio, aunque no puede utilizarse en concreto presforzado o en concretos en los que vaya a ahogarse aluminio o metales galvanizados. Otros productos químicos, que aceleran la tasa de endurecimiento del concreto comprenden una amplia variedad de sales solubles, tales como los cloruros, bromuros, fluoruros, carbonatos, nitratos, silicatos y algunos compuestos orgánicos como la trietanolamina, por que los aceleradores son agentes corrosivos, por lo que muchas veces es mejor no utilizarlos arbitrariamente ya que pueden dañar la estructura.

Propiedades.

Algunas consideraciones que debemos tomar en cuenta, para el uso de aditivos acelerantes, son las modificaciones que estos realizan sobre las propiedades de concreto, particularmente en temperaturas frías, estas consideraciones son:

- Acelerar el inicio de operaciones de acabado y, cuando es necesario la aplicación de aislamientos para protección.
- Reducir el tiempo necesario para protección y curado apropiados.
- Incrementar la velocidad de desarrollo de resistencia temprana, que permita la remoción de cimbras y la apertura de la construcción, para servicio en el menor tiempo posible.
- Por sus propiedades de aceleración que provoca la rápida liberación de calor en el concreto, su uso es ideal para climas de bajas temperaturas.
- Permitir un taponamiento de filtraciones contra la presión hidrostática más eficiente. El empleo de acelerantes en concreto en clima frío, usualmente no es suficiente por sí mismo para contrarrestar los efectos de las bajas temperaturas. Entre las recomendaciones para el colado en clima frío, generalmente se incluyen algunos aspectos como el calentar los componentes, proporcionar aislamiento y proporcionar calor externo. Los acelerantes no pueden utilizarse como agentes anticongelantes en el concreto.
- Se emplea en concretos para fabricar adoquines, bloques y piezas prefabricadas en general.
- Reduce el agua de 5 a 10% incrementando la resistencia a la compresión y flexión del concreto a edades tempranas

Los acelerantes se deben de utilizar con ciertas precauciones en climas calientes. Algunos de los efectos perjudiciales que pueden resultar, son una rápida evolución de calor debida a hidratación, fraguado rápido y grietas por contracción, por lo que deberán curarse inmediatamente para reducir dichas contracciones.

Dosificación.

El aditivo acelerante se dosifica de acuerdo al siguiente cuadro:

TABLA 4.1 Dosificación de aditivos acelerantes

CANTIDAD TEMPERATURA AMBIENTE	DOSIFICACIÓN % SOBRE PESO DE CEMENTO	POR 50 Kg. DE CEMENTO.
10 ° C	3%	1 ½ LTS
15 ° C	2%	1 LTS
23 ° C (NORMAL)	1%	½ LTS
30 ° C	0.5%	¼ LTS

NOTA: Siempre se deberá reducir el agua entre un 5 y 10 por ciento.

En este caso, el porcentaje de aditivo que se utilizó en las mezclas de prueba modificada con acelerante, se considero en el total de agua de la mezcla normal diseñada de 10 a 15 ml/Kg. de cemento y también, se le dio el tiempo necesario al mezclado para que se homogenice, según recomendaciones del fabricante del aditivo.

IV.4 REDUCTORES DE AGUA.

Cuando en un concreto, es reducida el agua por cualquier motivo, la tendencia de este a la contracción, puede ser reducida aproximadamente en este mismo porcentaje, que en la reducción del agua. El aditivo reductor de agua normal y moderadamente retardante, generalmente es benéfico bajo algún aspecto, en la mayoría de los concretos, a menos que haya una necesidad especial de aceleración.

Características

El aditivo reductor de agua, es un compuesto liquido de color café oscuro, libre de cloruro de calcio, a base de lignosulfonatos modificados, gravedad especifica de 1.21 y un PH que varia entre 7.0 y 8.5, y es un aditivo retardante de fraguado dispersante, fluidificante y reductor de agua, que mejora notablemente la manejabilidad y resistencia de los concretos.

Los aditivos reductores de agua, son aquellos que se utilizan para mejorar la calidad del concreto, obtener resistencias especificas, con menores contenidos de cemento, o para incrementar el revenimiento de determinada mezcla, sin aumentar el contenido de agua, también pueden mejorar las propiedades de concretos, que contienen agregados ásperos o pobremente graduados, o ambos, o pueden emplearse en concretos, que deben colocar en condiciones difíciles. Son útiles cuando se cuela concreto por medio de bomba o cuando se emplea un tubo tremie.

Los aditivos retardantes de fraguado, se usan principalmente para compensar el efecto acelerante y perjudicial de temperaturas elevadas, para conservar trabajable el concreto, durante todo el período de colado y, por lo tanto, para eliminar las grietas debidas a las deflexiones de las cimbras. Este método es muy útil, en la prevención de agrietamiento de las vigas de concreto, de losas de puentes o de construcciones compuestas. Los retardantes de fraguado, se emplean también para mantener la fluidez del concreto, durante períodos suficientemente largos, para que puedan hacerse colados subsecuentes, sin el desarrollo de juntas frías o fallas de continuidad en la unidad estructural. Sin embargo sus efectos sobre la tasa de revenimiento, varían según las diversas combinaciones de materiales.

Investigaciones recientes de laboratorio han demostrado, que la acción retardante de los aditivos retardantes de fraguado, depende del momento en que se agregan al concreto durante el ciclo de mezclado. La demora en la inclusión del aditivo, hasta 2 minutos después de iniciarse el mezclado, aumenta el efecto retardante, incrementa la capacidad de incluir aire, y mejora las propiedades reductoras de agua. El añadir un aditivo retardante de fraguado y reductor de agua a concretos frescos, que ha estado en reposo por algún tiempo, puede restaurar su fluidez y trabajabilidad sin causar ningún efecto retardante en el fraguado.

Dadas las características que tiene este aditivo, se deberá tener presente lo que se desee obtener cuando se esta preparando y dosificando en las mezclas de diseño.

Propiedades

Algunas propiedades de este aditivo son las siguientes:

- Recomendado para elaborar concreto en climas calidos
- Aumenta la resistencia a la compresión a 28 días alrededor del 20%
- Mejora la trabajabilidad y facilita el acabado
- Facilita el bombeo del concreto
- Reduce la segregación y el sangrado
- Reduce la permeabilidad
- Aumenta la durabilidad
- Cuando se requiera transportar concreto fresco a grandes distancias, manteniendo la manejabilidad y el revenimiento original.
- Ideal para concretos para aeropistas, revestimiento de canales, túneles, puentes, etc.

Este aditivo, se utiliza principalmente en concretos que requieren alta trabajabilidad; bombeos a grandes distancias horizontales y verticales, estructuras estrechas y/o densamente armadas. Se utiliza como reductor de agua o como regulador de fraguado, permitiendo reducir el agua de mezclado de 5 a 10%.

Dosificación.

Como reductor de agua que en esta práctica fue el caso (ver tabla No. 6.1 y 6.2) se adiciono al agua de mezcla normal de diseño de 5 a 7 ml/Kg. de cemento, en las mezclas de prueba modificada con aditivo reductor de agua, se obtuvieron reducciones de hasta un 10 % del agua de mezclado.

La dosis requerida variará de acuerdo a la temperatura ambiente, según recomendaciones del fabricante

TEMPERATURA AMBIENTE AL MEZCLAR EL CONCRETO	DOSIFICACIÓN ML/Kg. DE CEMENTO
MENOR DE 10 ° C	0
DE 10 A 15 ° C	MENOS DE 5
DE 15 A 30 ° C	DE 5 A 7
MAYOR DE 30 ° C	DE 7 A 9

TABLA No. 4.2 Dosificación de aditivos reductores de agua

IV.5 “SUPERFLUIDIFICANTES”

Al referirse a las nuevas formulaciones conocidas como reductores de agua de alto rango o “superfluidificantes”, estos deberán usarse, solo cuando realmente se necesiten, en consecuencia, cuando se vaya a utilizar cualquier tecnología que tenga como fin modificar las características de un concreto o mortero, es necesario contar con asesoría profesional y seguir al pie de la letra los procedimientos recomendados, pues los “superfluidificantes” permiten reducir el contenido total de agua hasta en un 40%, con revenimientos superiores a los 20 cm. Y relaciones agua/cemento menores de 0.40, lo cual permite obtener mezclas prácticamente autonivelantes, con matrices de cemento de alta densidad, virtualmente impermeables y cuya resistencia a la compresión supera los 1000 Kg./cm² estos resultados son imposibles de lograr con las técnicas de proporcionamiento de concreto tradicionales.

Características.

Los aditivos “superfluidificantes” son también conocidos como súper-reductores y fluidificantes de alto rango, pueden utilizarse para reducir sustancialmente el contenido de agua de morteros y concretos, manteniendo al mismo tiempo una consistencia determinada, sin producir efectos indeseables sobre el tiempo de fraguado. También se pueden usar para incrementar en gran medida el revenimiento, sin necesidad de incrementar el volumen de agua de la mezcla original. La reducción de agua, varía dependiendo de las tasas de dosificación y del tipo de mezcla, y puede llegar hasta 25 o más de 30% en morteros o cementos ricos. Se pueden producir efectos variables y a veces perjudiciales sobre el aire incluido cuando dicho aditivo se utiliza en combinación con un aditivo común incluso de aire dependiendo de la composición y tasa de empleo del aditivo, de las características de los materiales componentes del concreto, así como del revenimiento del concreto. Con las bajas relaciones agua/cemento que se alcanzan con estos aditivos el concreto puede mostrar una pérdida de revenimiento mayor a la tasa normal. Cuando se usan para aumentar la fluidez, el concreto pierde su revenimiento adicional dentro de los 30 a 60 minutos siguientes a la introducción del aditivo a la mezcla. Por esta razón, se agrega comúnmente a concreto premezclado en la obra. Algunos de estos aditivos se pueden agregar varias veces para dar al concreto las características deseadas y poder recuperar el revenimiento que se ha perdido. Al igual que en el caso de los aditivos comunes reductores de agua, estos aditivos se pueden comportar de manera diferente con distintos cementos. Con ciertas combinaciones pueden ocurrir efectos indeseables que varían desde un efecto retardante excesivo hasta un endurecimiento prematuro, dependiendo de la dosis y del tipo químico del aditivo y de la composición química del mismo cemento.

Propiedades

Como “superfluidificante” o como súper reductor de agua, este aditivo permite modificar las características de trabajabilidad y/o adquisición de resistencia de los concretos. Por lo que a continuación se enlistan sus propiedades principales:

- Especial para concreto bombeado
- Para obtener concretos de alta fluidez
- Para elaborar concreto presforzado
- Para obtener resistencias altas a edades tempranas
- Para obtener excelentes acabados y concretos aparentes
- Para facilitar el colado de elementos muy estrechos
- Reduce en forma importante la operación de vibrado y compactación
- Ahorra tiempo y costo de obra.

Cuando se requiera combinar con otro aditivo, se debe conocer si son compatibles y si no hay alteración en el tiempo de fraguado, ya que de lo contrario será necesario ajustar las dosificaciones. Para este tipo de concretos se recomienda inmediatamente hacer un curado adecuado.

Dosificación

La dosificación requerida, se tomo de las recomendaciones del fabricante del producto, la cual fue de 0.6 a 1.0 por ciento sobre el peso de cemento de (5 a 8.3 ml/Kg. de cemento), proporcionado en la mezcla normal (ver tabla No. 6.2). Una vez dosificada la totalidad del aditivo requerido, se integro este a la mezcla de concreto después de tres minutos de mezclado, ver la siguiente fotografía No. 4.2; y vaciando el concreto lo más pronto posible en los moldes cilíndricos, ya que el efecto del concreto fluido tiene acción máxima de 45 minutos en condiciones normales de temperatura.

FOTOGRAFÍA 4.2 Inclusión de aditivo “superfluidificante” a la mezcla de prueba



V. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO

V.1 GENERALIDADES

Principiaremos este capítulo, indicando que el concreto es un material artificial, obtenido de la mezcla en proporciones determinadas, de cemento, agregados, ya sean pétreos o artificiales, agua y en algunas ocasiones aditivos. El cemento, el agua y algunas veces el aire atrapado forma una pasta que rodea a los agregados, constituyendo un material heterogéneo. Ordinariamente la pasta de cemento constituye del 25 al 40 por ciento del volumen total de concreto. El volumen absoluto de cemento está comprendido entre 7 y 15 % el agua del 14 al 21% y el agregado constituye aproximadamente del 60 al 80 % del volumen total de este.

El valor del peso volumétrico del concreto, oscila entre 1.9 y 2.5 ton/m³, dependiendo principalmente de los agregados pétreos que se empleen. El reglamento de Construcciones del Distrito Federal, dice que el concreto en estado fresco tiene un peso volumétrico superior a 2.2 ton/m³, por las condiciones de humedad que este presenta.

Con el fin de comprender el significado de los datos, resultado de las pruebas físicas y mecánicas del concreto en su estado fresco y endurecido, es necesario conocer las propiedades de los componentes del concreto, para poder visualizar las características principales de este, en su estado fresco, continuando con las pruebas para determinar las propiedades generales del concreto endurecido, dentro de las cuales está principalmente la de resistencia a la compresión y, con esto poder observar el comportamiento del producto final, mediante la interpretación de los resultados del concreto en cuestión. Las características de cada uno de los elementos del concreto, pueden ocasionar variaciones en la resistencia de este. Las variaciones también pueden ser el resultado de la aplicación deficiente de las prácticas, seguidas durante la dosificación, mezclado, colocación y el curado. También se deberá tomar en cuenta las variaciones que se tienen durante las pruebas de evaluación de su resistencia.

Para el desarrollo de este capítulo, se enunciarán las propiedades físicas del concreto en su estado fresco y las propiedades físicas y mecánicas del concreto en su estado endurecido, por lo que no se tratarán algunos conceptos ya que no es necesario su conocimiento detallado en este trabajo de tesis.

VI.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Características del concreto fresco

En la actualidad, principalmente en obras de gran magnitud, se realiza la determinación de la composición del concreto, para conocer básicamente la relación agua/cemento o simplemente el consumo de cemento. Pueden ser dos los objetivos que se buscan con la realización de estas pruebas; el primero de ellos, es con el fin de encontrar la producción del concreto conociendo los consumos reales del cemento; el segundo objetivo es, emplearlo como un procedimiento acelerado para predecir la resistencia del concreto mediante la determinación de la relación agua/cemento.

Entre las principales características del concreto fresco podemos considerar las siguientes:

Uniformidad

Considerando que el concreto, es un material heterogéneo que se produce mezclando diversos componentes en cantidades establecidas, es necesario que esta mezcla sea uniforme, de buena cohesión y no segregable. Para que esto ocurra, se requiere conjugar dos condiciones indispensables:

- Que la mezcla este correctamente diseñada y con la consistencia adecuada a las condiciones de ejecución de la obra.
- Que se utilicen equipos y procedimientos de elaboración y colocación adecuados.

Trabajabilidad

Podemos definir el termino "trabajabilidad" de un concreto, como la facilidad que presenta para ser transportado, colocado y compactado. Es importante hacer notar que esta trabajabilidad es relativa: un concreto trabajable para una presa puede ser no trabajable para una columna. Con base en esta definición se llega a la conclusión, que no se conoce ningún procedimiento de ensaye que la mida directamente, sin embargo existen algunos que pueden proporcionar información útil, dentro de intervalos razonables de variación.

Segregación y sangrado.

NMX – C – 296 – ONNCCE - 2000. Industria de la construcción, concreto, determinación del sangrado – método de prueba.

Se conoce como segregación, a la separación de los elementos que forman una mezcla heterogénea de modo que su distribución deje de ser uniforme. En el concreto se presenta debido a la diferencia de tamaño de las partículas y a la densidad de los componentes. El sangrado es una forma de segregación, en la cual una parte del agua de la mezcla, tiende a elevarse a la superficie del concreto recién colocado.

Fraguado

Se entiende por fraguado, al cambio de un fluido al estado rígido. En concretos se emplea para describir la rigidez de la mezcla. En forma arbitraria para el concreto, se emplean dos términos: fraguado inicial y fraguado final. Se dice que el concreto alcanza el fraguado inicial, cuando su resistencia a la penetración es de (35 Kg./cm²): El fraguado final se alcanza, cuando la resistencia a la penetración es de (280 Kg./cm².)

Estas características son muy importantes, ya que para formar criterios de aceptación o rechazo, es necesario conocer mediante las pruebas que se realicen a dicho concreto fresco.

Control de calidad del concreto fresco

Estas pruebas se ubican dentro del Procedimiento de Control del Concreto Fresco, el cual puede dividirse en dos etapas, la primera que consiste en aquellos trabajos o verificaciones que se realizan previo o durante la elaboración del concreto y la segunda etapa que la componen dichos ensayos o determinaciones que se realizan al concreto ya elaborado.

PRIMERA ETAPA.

Los trabajos de esta etapa consisten básicamente de los siguientes pasos:

- a) Verificación del fundamento y precisión de los equipos de dosificación y mezclado.

La verificación de los equipos de dosificación y el mezclado, se realiza mediante la Norma Oficial Mexicana NMX - C - 155 - ONNCCE - 2004 la cual presente las siguientes especificaciones para el equipo de las plantas dosificadoras. Por lo que siguiendo el objetivo de este trabajo, no se describirán por no creerlo necesario.

SEGUNDA ETAPA

En esta etapa es necesario conocer las características del concreto fresco, mediante la realización de pruebas al concreto elaborado.

Trabajabilidad

Como se menciona anteriormente, aún cuando no exista un procedimiento de ensaye que mida directamente la trabajabilidad existen algunos que proporcionan información útil, entre los más conocidos tenemos los siguientes:

Revenimiento.

NMX - C - 156 - ONNCCE - 1997 Determinación del revenimiento del concreto fresco. El ensaye que con mayor frecuencia se realiza en las obras, es la determinación rutinaria de la consistencia del concreto, mediante la prueba del revenimiento, este es debido principalmente a su facilidad y al hecho de que se obtienen resultados inmediatos. Se puede considerar al valor del revenimiento como indicativo de la uniformidad de la relación agua/cemento para una relación grava/arena determinada. La variación en el revenimiento, es con frecuencia un medio para detectar variaciones en la relación agua / cemento, por lo que es posible usar esta prueba como un criterio para la aceptación o rechazo del concreto fresco, desde el punto de vista de las variaciones que esto podría ocasionar en la resistencia, además de los efectos que puede ocasionar en los procesos de transporte, colocación, compactación y acabado del concreto en la estructura.

La definición de revenimiento, es la medida de consistencia de concreto fresco en términos de la disminución de altura, en un tiempo determinado, de un cono truncado de concreto fresco de dimensiones específicas. Como el que se muestra en la Fig. 5.1

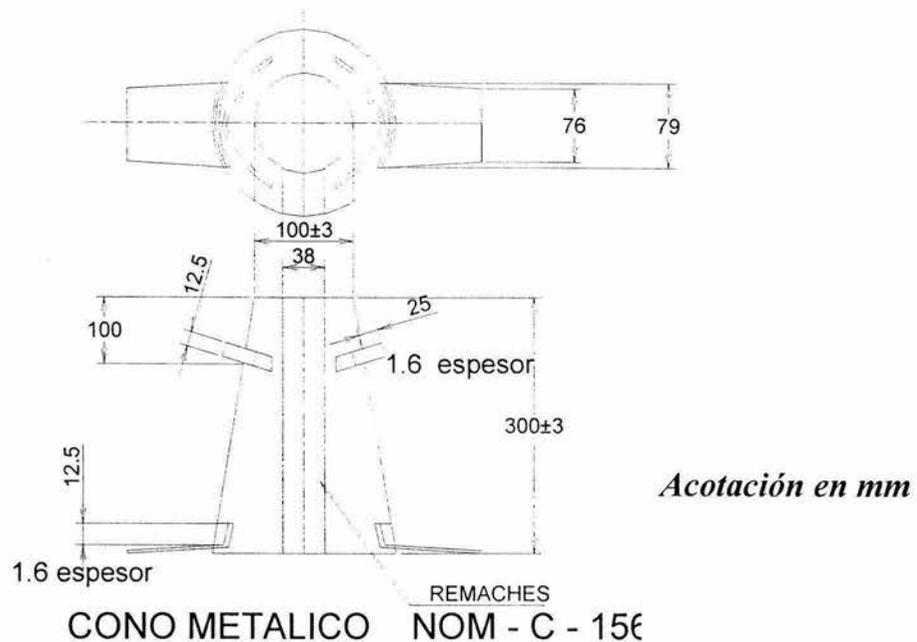


Fig. 5.1 Equipo para la obtención del revenimiento

El equipo que se especifica para esta prueba es: molde metálico, varilla de acero de sección circular, recta, lisa y de sección circular de 16 mm de diámetro y de 600 mm de longitud aproximadamente, con uno de los extremos en punta de bala. Equipo de cribado (malla de 38 mm), y herramienta manual, como palas, cucharas, llanas metálicas y guantes de hule.

Las Normas Mexicanas para "concreto premezclado" y ASTM - c - 94, se establecen las siguientes tolerancias en la medida del revenimiento:

El contenido máximo de agua debe limitarse de manera que el revenimiento nominal del concreto no exceda de 100 mm. Si se requiere aumentar el revenimiento, este incremento se debe obtener mediante el uso de aditivos. Para que el concreto cumpla con el requisito de revenimiento, el valor determinado debe concordar con el nominal.

REVENIMIENTO ESPECIFICADO	TOLERANCIA	
	NMX	ASTM
Hasta 5 cm.	± 1.50 cm.	± 1.30 cm.
Más de 5 cm. hasta 10 cm.	± 2.50 cm.	± 2.50 cm.
Más de 10 cm.	± 3.50 cm.	± 3.80 cm.

La prueba se lleva a cabo colocando el molde sobre una superficie horizontal y se vacía en él hasta llenarlo, tres capas de igual espesor, con revoltura cuya plasticidad se desea clasificar picando cada una de las capas con 25 varillados concéntricos, con una varilla de punta de bala de 16 mm. Se enrasa el concreto a nivel de la base superior del molde, el cual se saca cuidadosamente hacia arriba. Sobre la superficie horizontal donde descansa el cono queda la revoltura, que por falta de apoyo de las paredes laterales se reventará más o menos según su fluidez. La diferencia en

centímetros, entre la altura del molde y la final de la mezcla se denomina revenimiento y es mayor cuando más fluida es la revoltura.

Fraguado y endurecimiento

El producto que se forma después del mezclado del concreto, es un gel más o menos cerrado en un espacio inicialmente lleno o colmado por el agua de amasado en forma de pasta fluida o plástica.

Fraguado inicial

Cuando la mezcla empieza a perder plasticidad, incluso se nota cierta consolidación; el espacio de tiempo que transcurre desde que se inicia su amasado hasta que se produzca ese estado de rigidez, se denomina, fraguado inicial.

Fraguado final

Cuando la mezcla se mantiene sin que se someta la pasta a presiones o cargas, y conserva su forma sin ayuda de un soporte o encofrado donde esta introducido y no deja huella a una punción comedida, el intervalo de tiempo que transcurre desde su amasado hasta ese momento se considera como fraguado final.

Falso fraguado y fraguado relámpago

Sin embargo, en algunos casos, y en un breve espacio de tiempo puede que se observe un aumento brusco de la viscosidad de la pasta, cuando se amasa, así como una elevación de su temperatura. Si este fenómeno posteriormente y después de reamasarlo vuelve a adquirir su consistencia normal, se le conoce con el nombre de fraguado falso, en caso contrario se le denomina fraguado relámpago.

Estas anomalías pueden obedecer a:

- Hidratación y cristalización del yeso
- Propiedades tixotrópicas del sulfoaluminato trisulfato.
- Presencia de sulfato potásico

Existen otras propiedades físicas del concreto en estado fresco como lo son:

- Factor de compactación
- Contenido de aire
- Tiempo de fraguado
- Peso volumétrico

V.3 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

Propiedades físicas del concreto en estado endurecido

Debido al proceso continuo de hidratación del cemento, el concreto tiende a aumentar su resistencia y en general, a mejorar sus características, con la edad.

Este proceso de hidratación puede ser más o menos efectivo, según sean las condiciones de intercambio de agua con el ambiente después del colado. Por lo tanto las propiedades físicas y mecánicas del concreto endurecido, dependen generalmente de las condiciones de curado a través

del tiempo, así como de todos los materiales que lo componen, principalmente los aditivos para concreto que se han incluido en los mismos para mejorar sus propiedades físicas tales como:

- La permeabilidad
- Densidad
- La acústica
- Resistencia al fuego
- Color
- Heladicidad
- Durabilidad
- Resistencia a la intemperie.
- Resistencia a la abrasión
- Absorción de radiaciones
- Contracción por hidratación del cemento
- Contracción por secado
- Expansión por saturación
- Expansión por reacción química
- Expansión térmica

Propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido.

El concreto, en cuanto a sus propiedades mecánicas, en este capítulo, se citara la más importante que es la resistencia a la compresión y en segundo término la resistencia a la tensión en sus diferentes modalidades.

El concreto simple, sin refuerzo es resistente a la compresión, pero es débil en tensión, lo que limita su aplicación como material estructural.

Para conocer el comportamiento del concreto simple es necesario determinar las curvas esfuerzo-deformación correspondientes a los distintos tipos de acciones a que puede estar sometido. En el caso mas general seria necesario analizar todas las combinaciones de acciones a que puede estar sujeto un elemento.

Para esto, ya existen estudios experimentales sobre el comportamiento del concreto sujeto a estados uniaxiales de compresión y tensión, a estados biaxiales de compresión y tensión y a estados triaxiales de compresión. A partir de estos estudios se han obtenido expresiones para determinar las deformaciones que producen estados combinados de esfuerzos.

Por lo que, más adelante se describirán los modos de falla y características de esfuerzo deformación, bajo compresión axial únicamente; aunque existen otras cargas, como compresión triaxial, tensión, flexión entre otras condiciones de esfuerzos que no se verán en este trabajo.

Cuando se aplica una carga a un espécimen de concreto, éste adquiere una deformación inicial. Si la carga permanece aplicada, la deformación aumenta con el tiempo, aun cuando no se incremente la carga.

Las deformaciones que ocurren con el tiempo en el concreto se deben esencialmente a dos causas: contracción y flujo plástico.

Las principales propiedades mecánicas del concreto endurecido son las siguientes:

- Resistencia a la compresión simple
- Resistencia a la tensión
- Resistencia a la flexión
- Resistencia al esfuerzo cortante
- Resistencia a la compresión triaxial
- Resistencia a la torsión
- Resistencia al impacto
- Resistencia a la fatiga
- Adherencia
- Flujo plástico
- Modulo de elasticidad a la compresión
- Modulo de elasticidad al esfuerzo cortante
- Coeficiente de Poisson.
- Etc.

De estas, la resistencia a la compresión simple del concreto endurecido, se considera como su propiedad más importante, sin embargo, en algunos casos especiales, otras propiedades físicas tales como: impermeabilidad, durabilidad, conductividad térmica, etc. Pueden resultar más valiosas. Sin embargo, la razón principal consiste, en la importancia intrínseca que tiene dicha resistencia en el comportamiento de las estructuras del concreto, bajo la gama total de sollicitaciones a que pueden quedar sujetas.

Pruebas destructivas y no destructivas en el concreto endurecido

Para determinar las características del concreto en estado endurecido, existen pruebas que pueden clasificarse en: ENSAYES DESTRUCTIVOS Y ENSAYES NO DESTRUCTIVOS. Las pruebas destructivas, se han venido usando desde hace muchos años, sin embargo hasta la fecha no existe una prueba de este tipo que sea mundialmente aceptada; de aquí, que en diversos países se utilizan distintos métodos y técnicas. Por lo que respecta a pruebas no destructivas, éstas hacen posible probar repetidamente la misma muestra y consecuentemente estudiar la variación de las propiedades del concreto con el paso del tiempo.

A continuación se mencionan las pruebas de concreto endurecido, que se usan comúnmente en nuestro medio; de éstas las pruebas destructivas más comunes son: Prueba a la compresión simple, prueba de flexión, prueba brasileña de tensión; las pruebas no destructivas más comunes son: martillo de rebote (esclerómetro), prueba de resistencia a la penetración (pistola Windsor), prueba de pulso ultrasónico, prueba de corazones extraídos de concreto endurecido y prueba de extracción (Pull – Out) en concreto endurecido, los dos últimos tipos de pruebas son consideradas por algunos autores como pruebas semidestructivas.

De todas las pruebas arriba mencionadas hablaremos de la prueba a la compresión simple en virtud de que esta resistencia se utiliza normalmente para definir la calidad de este.

No existe una convención aceptada universalmente sobre que tipo de espécimen es el mejor para realizar ensayos en compresión. Comúnmente se usan especímenes de tres tipos: cilindros, cubos y prismas.

En nuestro medio, y en numerosas partes del mundo, se usan cilindros con una relación de esbeltez igual a dos. En estructuras de concreto reforzado el espécimen usual es el cilindro de 15 x 30 cm. En estructuras construidas con concreto en masa, donde se usan agregados de gran tamaño hasta de 15 cm., se usan cilindros de 30 a 60 cm. Y en ocasiones moldes hasta de 60 x 120 cm., para

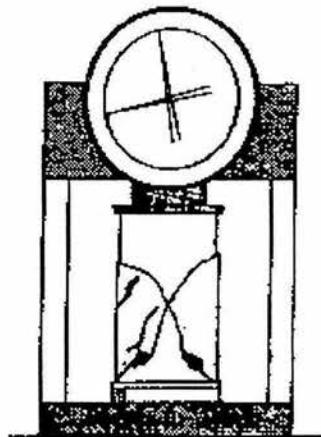
establecer índices de resistencia. Siguiendo la notación de la NOM—C—166—84, se acostumbra designar con f_c la resistencia a la compresión especificada de un cilindro estándar a los 28 días o a la edad en que el concreto vaya a recibir su carga de servicio.

Una vez seleccionado el tipo de espécimen es necesario fijar con gran detalle las condiciones de muestreo, fabricación, curado y ensaye teniendo entre esta práctica particular importancia la velocidad de carga.

Modos de falla y características esfuerzo-de formación bajo compresión axial.

La Figura 5.2, muestra un cilindro de concreto simple ensayado en compresión axial. En cilindros con relación de lado a diámetro igual a dos, como el que se muestra en la figura, la falla suele presentarse a través de planos inclinados respecto a la dirección de la carga. Esta inclinación es debida principalmente a la restricción que ofrecen las placas de apoyo de la maquina contra movimientos laterales.

FIG. 5.2 Falla en compresión de un cilindro de concreto



Si se engrasan los extremos del cilindro, para reducir las fricciones, o si el espécimen es más esbelto, las grietas que se producen son aproximadamente paralelas a la dirección de la aplicación de la carga. Al comprimir un prisma de concreto en estas condiciones, se desarrollan grietas en el sentido paralelo al de la compresión, por que el concreto se expande transversalmente.

Las grietas se presentan, de ordinario en la pasta y muy frecuentemente entre los agregados y la pasta. En algunos casos también se llega a fracturar el agregado. Este micro agrietamiento es irreversible y se desarrolla a medida que aumenta la carga, hasta que se produce el colapso.

Curvas esfuerzo-deformación.

Las Curvas esfuerzo-deformación se obtienen del ensaye de prismas sujetos a carga axial repartidas uniformemente en la sección transversal, mediante una placa rígida. Los valores del

esfuerzo resultan de dividir la carga total aplicada, P , entre el área de la sección transversal del prisma, A , y representan valores promedio obtenidos bajo la hipótesis de que la distribución de deformaciones es uniforme de que las características esfuerzo-deformación del concreto son constantes en toda la masa. El valor de la deformación unitaria, ϵ_c , es la relación entre el acortamiento total, a , y la longitud de medición, l (figura 5.3)

Puesto que el concreto es un material heterogéneo, lo anterior es una idealización del fenómeno. Según la distribución de la pasta del agregado en la masa, los esfuerzos, considerados como la carga soportada en un área diferencial, variarán de un punto a otro de una misma sección. Sin embargo, esta variación no es significativa desde el punto de vista del diseño estructural.

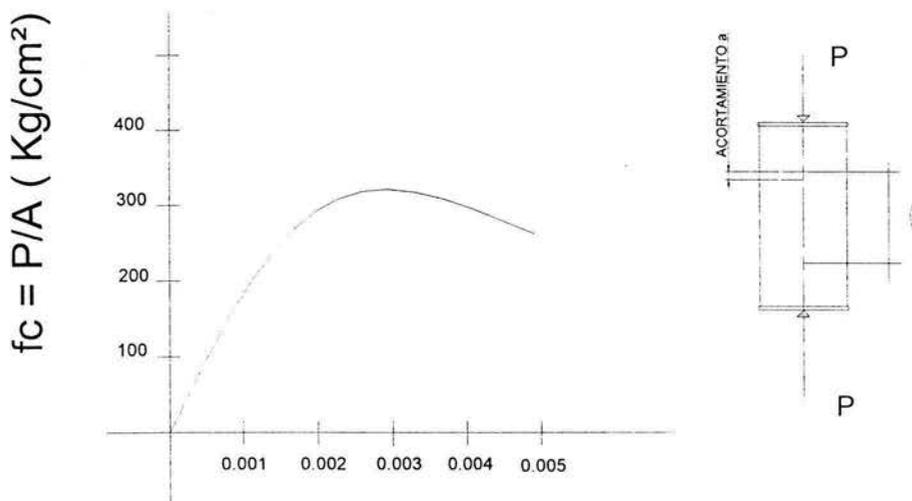


Fig. 5.3 Curva esfuerzo – deformación en compresión axial de un espécimen sujeto a carga de corta duración.

Existen otros factores que influyen en la resistencia de un espécimen de concreto sujeto a carga axial tales como:

- Efecto de la edad al ensayar en la resistencia (variación de la resistencia con la edad)
- Efecto de la relación agua/cemento (a mayor relación agua/cemento menor resistencia)
- Efecto de la velocidad de carga
- Efecto de la velocidad de deformación
- Efecto de la esbeltez y del tamaño del espécimen

VI. CILINDROS DE CONCRETO BAJO CONDICIONES DE ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO.

VI.1 GENERALIDADES

La finalidad de este trabajo de tesis es el análisis de muestras cilíndricas de concreto hidráulico, sometidas a carga axial, por lo que en el presente capítulo se describe el desarrollo medular de la ejecución de esta práctica de estudio. Cuyo objetivo principal se describió en el capítulo I.

La resistencia a la compresión simple del concreto, debe derivarse de un conjunto de ensayos a partir de los cuales se pueden estimar en forma más precisa la uniformidad y las características del mismo. La magnitud de las variaciones en la resistencia de especímenes de concreto depende del control que se lleva sobre los materiales que lo componen incluyendo a los aditivos, la fabricación del concreto y los ensayos.

El empleo de aditivos, presenta problemas adicionales para mantener la uniformidad en la resistencia, ya que cada aditivo agrega una nueva variable en el concreto, se deberá controlar el empleo de inclusores de aire, acelerantes, reductores de agua y "súper fluidificantes", deberá considerarse su influencia en la resistencia del concreto. Por otro lado, las discrepancias en la dosificación, fabricación, el curado, cabeceo y el ensayo de especímenes pueden indicar variaciones en la resistencia.

Hemos visto, que las propiedades del concreto están en función del tiempo y de la humedad ambiental, y es por esta razón las pruebas de concreto deben efectuarse en condiciones específicas o conocidas. La razón principal, consiste en la importancia intrínseca que reviste la resistencia a la compresión del concreto en la construcción.

VI.2 DESARROLLO DE LA PRACTICA DE ESTUDIO

Para poder cumplir con las metas propuestas, se diseñaron cinco mezclas de concreto, las cuales denominaremos como *mezcla normal o "testigo"* y servirán de referencia para la comparación con las demás *mezclas de prueba*. Estas mezclas normales fueron elaboradas con cinco tipos de agregado grueso, tomando como componentes principales; cemento Pórtland Puzolánico (CPP 30 R); y arena andesítica, los cuales fueron proyectadas con resistencias de 100 a 420 Kg./cm² como lo muestra la siguiente tabla No. 6.1

TABLA No. 6.1 MEZCLA NORMAL "TESTIGO"

MEZCLA "TESTIGO" No.	MATERIALES UTILIZADOS		RESISTENCIA DE PROYECTO $f'c=kg/cm^2$	OBSERVACIONES
	TIPO DE CEMENTO	AGREGADOS PÉTREOS		
1	CPP 30 R	ARENA ANDESITICA GRAVA BASALTICO ANDESITICA	420	DISEÑO DE LA MEZCLA POR EL MÉTODO DE LA CARTILLA IMCYC CONCRETO PESADO DE ALTA RESISTENCIA
2	CPP 30 R	ARENA ANDESITICA GRAVA ANDESITICA	280	DISEÑO DE LA MEZCLA POR EL MÉTODO DE LA CARTILLA IMCYC CONCRETO NORMAL DE RESISTENCIA NORMAL
3	CPP 30 R	ARENA ANDESITICA GRAVA TEZONTLE	280	DISEÑO DE LA MEZCLA POR EL MÉTODO DE LA CARTILLA IMCYC CONCRETO LIGERO DE ALTA RESISTENCIA
4	CPP 30 R	ARENA ANDESITICA GRAVA PUMITICA	200	DISEÑO DE LA MEZCLA POR EL MÉTODO DE LA CARTILLA IMCYC CONCRETO LIGERO DE RESISTENCIA NORMAL
5	CPP 30 R	ARENA ANDESITICA PERLAS DE POLIESTIRENO	100	DISEÑO DE LA MEZCLA CON LAS RECOMENDACIONES DEL FABRICANTE CONCRETO ALIGERADO CON PERLAS DE ESPUMA DE POLIESTIRENO DE BAJA RESISTENCIA.

Partiendo del diseño de cada una de las mezclas "testigo" mostradas en la tabla anterior, estas fueron modificadas mediante la adición de un aditivo tal como se muestra en la siguiente tabla No. 6.2, obteniendo 25 mezclas de prueba. Las cuales se compararan con las mezclas normales o "testigo"

TABLA No. 6.2 RELACIÓN DE MEZCLAS DE PRUEBA

NUMERO	MEZCLA DE PRUEBA		
	TIPO DE MEZCLA	AGREGADO GRUESO	CLAVE DE CONTROL
1	NORMAL O "TESTIGO"	BASALTICO ANDESITICO	B
2		ANDESITICO	A
3		TEZONTLE	T
4		PUMITICO	P
5		PERLAS DE POLIESTIRENO	PP
6	MODIFICADA CON ADITIVO INCLUSOR DE AIRE	BASALTICO ANDESITICO	BIA
7		ANDESITICO	AIA
8		TEZONTLE	TIA
9		PUMITICO	PIA
10		PERLAS DE POLIESTIRENO	PPIA
11	MODIFICADA CON ADITIVO ACELERANTE	BASALTICO ANDESITICO	BA
12		ANDESITICO	AA
13		TEZONTLE	TA
14		PUMITICO	PA
15		PERLAS DE POLIESTIRENO	PPA
16	MODIFICADA CON ADITIVO REDUCTOR DE AGUA	BASALTICO ANDESITICO	BRA
17		ANDESITICO	ARA
18		TEZONTLE	TRA
19		PUMITICO	PRA
20		PERLAS DE POLIESTIRENO	PPRA
21	MODIFICADA CON ADITIVO "SÚPER FLUIDIFICANTE"	BASALTICO ANDESITICO	BF
22		ANDESITICO	AF
23		TEZONTLE	TF
24		PUMITICO	PF
25		PERLAS DE POLIESTIRENO	PPF

VI.3 DOSIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS DE PRUEBA

La utilización del concreto abarca un amplio campo estructuras de diversos tipos y tamaños, diseñadas para usos distintos y expuestas a muy variadas acciones. Los materiales que se utilizan son también variados. Los cementos provienen de fábricas diferentes pueden responder a varios tipos de especificaciones. Los agregados son de muchas clases y se extraen de innumerables fuentes. Los tamaños deseados o disponibles varían desde los de las arenas naturales y trituradas hasta los de canto rodado y rocas fraccionadas de 10 a 15 cm., o aún mayores. El problema de la dosificación de las mezclas consiste en seleccionar de las fuentes aprovechables y de la combinación de materiales que producen, en la forma más económica, el concreto que mejor se apegue a los requisitos de una obra determinada.

La dosificación de la mezcla que nos ocupa en el presente trabajo, se realizó por el método que presenta la cartilla del concreto del Instituto Mexicano del Concreto y el Cemento (IMCYC).

Las mezclas que se fabricaron en el laboratorio nos sirven como mezclas "testigo" para poder compararla con todas las variedades de mezclas de prueba modificadas que se realizaron.

Las propiedades físicas de los agregados utilizados en las cinco mezclas de prueba "testigo" que se obtuvieron en el laboratorio fueron tomados de la tabla numero 3.6 del capítulo III (Propiedades físicas de los diferentes agregados).

Como ejemplo de dosificación se diseña la mezcla "testigo" No. 2 (ver datos de diseño en tabla No. 6.1).

Ejemplo de dosificación

TABLA 6.3, Contenido de agua, para diferentes mezclas

REQUISITOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO Y DE CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES REVENIMIENTOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DE AGREGADOS*

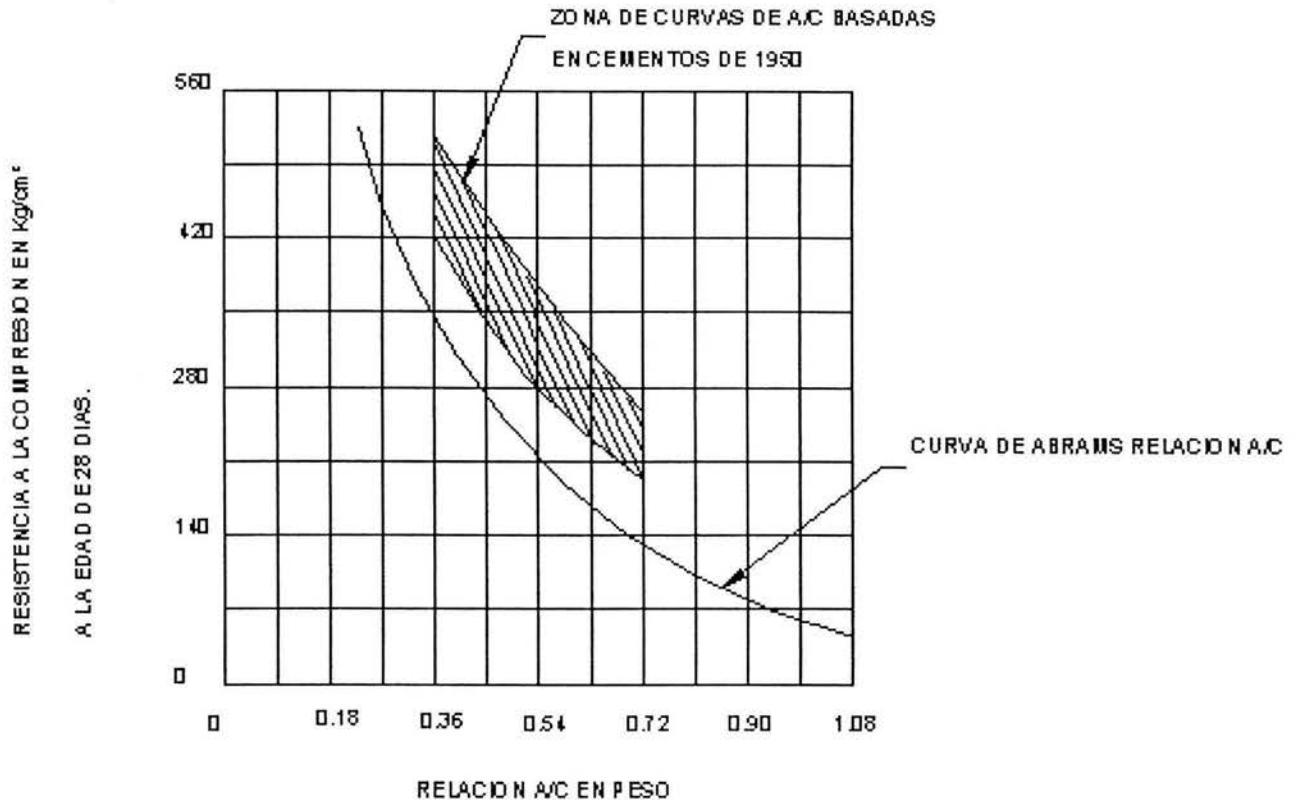
REVENIMIENTO EN CM.	AGUA, LITROS POR METRO CUBICO DE CONCRETO PARA EL TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO INDICADO EN mm.						
	10	13	20	25	40	50	75

2.5 a 5.0	207	199	187	178			142
7.5 a 10.0	228	216	201	193			157
15 a 17.50	243	228	213	202			169
Cantidad de aire retenida en el concreto sin inclusión de aire en por ciento.	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3
CONCRETO CON AIRE INCLUIDO							
2.5 a 5.0	181	175	166	160	148	142	133
7.5 a 10.0	201	193	181	175	163	157	148
15 a 17.50	216	204	193	184	172	166	160
Promedio total recomendado de contenido de aire en por ciento.	8	7	6	5	4.5	4	3.5

a) Cantidad de agua

De la tabla No. 6.3 se obtiene que la cantidad de agua requerida es de 187 litros. Por lo que la relación agua-cemento se obtiene de la siguiente grafica

FIGURA 6.1 Curvas para la obtención de la relación agua/cemento.



b) Relación agua/cemento

La relación agua cemento obtenida de la anterior tabla, para una resistencia de 280 Kg/cm² es igual a 0.56. Por lo tanto la cantidad de cemento a usar será:

$$\frac{a}{c} = 0.56 \therefore$$

$$c = \frac{a}{0.56} = \frac{187.00}{0.56} = 334Kg.$$

c) Agregado grueso y fino

De lo anterior la cantidad de agregado grueso con un tamaño máximo del agregado (TMA) = 20 mm. Y de la siguiente tabla, la cual muestra los volúmenes de agregado grueso, varillado y seco por unidad de volumen de concreto, para cuatro arenas con modulo de finura de 2.40 a 3.00. Esta tabla suministra el primer paso para la obtención de la primera mezcla de tanteo. Las mezclas de tanteo posteriores, deben hacerse con base a las observaciones referentes a la trabajabilidad y a las determinaciones del contenido de aire y de la relación agua-cemento.

VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO				
Tamaño máximo del agregado en mm	Volumen de agregado grueso seco y varillado* por volumen unitario de concreto para arenas con diferentes módulos de finura			
	2.4	2.6	2.8	3
10	0.5	0.48	0.46	0.44
13	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.6
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.8	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

* Los volúmenes están basados considerando a los agregados en condición seca y varillada como están descritos en ASTM C 29 "Unit Weight of Aggregate". Estos volúmenes se han seleccionado de relaciones empíricas adecuadas para construcciones reforzadas usuales. Para concreto de mayor trabajabilidad, tal como se requiere para la construcción de pavimentos, pueden aumentarse en un 10 %. Para concreto de mayor trabajabilidad tal como algunas veces es necesario cuando su colocación es mediante bombeo, se puede reducir en un 10 %.

De la tabla anterior y del modulo de finura de la arena obtenido en laboratorio determinamos lo siguiente. Siendo el modulo de finura de la arena igual a $2.57 \cong 2.60$

$$\text{Volumen unitario} = 1410(0.64) = 903 \text{ Kg.}$$

Para la determinación de la cantidad de la arena se suman los volúmenes absolutos obtenidos:

- Agua = 187 lts
- Grava = $903 \text{ kg} / \text{sss} = 903 \text{ Kg} / 2.37 = 381.01 \text{ lts}$
- Cemento = $334 \text{ Kg} / 3.15 = 106.03 \text{ lts}$

La suma de los volúmenes son 674.03 lts por lo tanto, para obtener un metro cúbico de concreto la arena debe ocupar un espacio de 325.96 lts. Los cuales convertidos a peso en Kg.

$$\text{➤ } 325.96 \times 2.36 = 769.27 \text{ Kg.}$$

En donde el factor 2.36 es el peso específico obtenido para la arena.

d) Corrección por humedad

La corrección por humedad es aumentando el volumen de la arena y agua en el porcentaje del contenido de humedad que se determino en el laboratorio.

- Arena = $769.27 \times 1.0424 = 801.88 \cong 802$ Kg.
- Grava = $903 \times 1.0042 = 906.79 \cong 907.00$ Kg.

f) Corrección por absorción

La corrección por absorción, es utilizada para determinar la cantidad de agua que absorben los agregados y equilibrar así la relación agua / cemento, y no perder la trabajabilidad determinada.

- Agua final = Agua – Grava(Humedad –absorción) – Arena(humedad- absorción)
- Agua final = $187-903(0.0042-0.0284) - 769.27(0.0424-0.0657)$
- Agua final = $187 + 21.85 + 17.92 = 226.77$ lts.

Quedando el proporcionamiento final como sigue:

g) Resultados

MEZCLA “TESTIGO” No. 2 MEZCLA ARENA ANDESITICA – GRAVA ANDESITICA.

MATERIAL	(Kg/m ³)	(l/m ³)
Cemento	334	106
Arena	802	340
Grava	907	383
Agua	227	227
Suma		1056

De la misma manera se obtuvieron los proporcionamientos para las demás mezclas “testigo” que se presentan a continuación.

MEZCLA “TESTIGO” No. 1

MEZCLA ARENA ANDESITICA – GRAVA BASALTICO ANDESITICO.

MATERIAL	(Kg/m ³)	(l/m ³)
Cemento	536	170
Arena	604	256
Grava	1136	392
Agua	215	215
Suma		1033

MEZCLA “TESTIGO” No. 3

MEZCLA ARENA ANDESITICA – GRAVA TEZONTLE

MATERIAL	(Kg/m ³)	(l/m ³)
Cemento	318	101
Arena	1007	427
Grava	456	313
Agua	200	200
Suma		1041

MEZCLA “TESTIGO” No. 4

MEZCLA ARENA ANDESITICA – GRAVA PUMITICA

MATERIAL	(Kg/m ³)	(l/m ³)
Cemento	275	87
Arena	961	407
Grava	411	462
Agua	213	213
Suma		1169

La mezcla “testigo” numero 5, se diseño de acuerdo a las recomendaciones de proporciones de mezcla del fabricante, cuando se utilice el material STYROMIX (Perlas de espuma de poliestireno) como agregado grueso. Por lo que de la siguiente tabla, se tomaron los datos correspondientes para proporcionar una mezcla con resistencia a la compresión de 100 kg/cm²

Proporciones de mezcla

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)	Styromix (lt.)	CEMENTO (Kg)	ARENA (Kg)	AGUA (lt)
10	1000	190	190	95
45	890	270	270	135
75	780	350	350	175
100	670	430	430	215
125	560	510	510	255
150	450	590	590	295

MEZCLA "TESTIGO" No. 5
MEZCLA ARENA ANDESITICA – GRAVA POLIESTIRENO

MATERIAL	(Kg/m ³)	(l/m ³)
Cemento	430	137
Arena	430	182
Perlas de poliestireno	11.4	670
Agua	215	215
Suma		1204

VI.4 CILINDROS DE CONCRETO BAJO CONDICIONES DE ESTADO FRESCO.

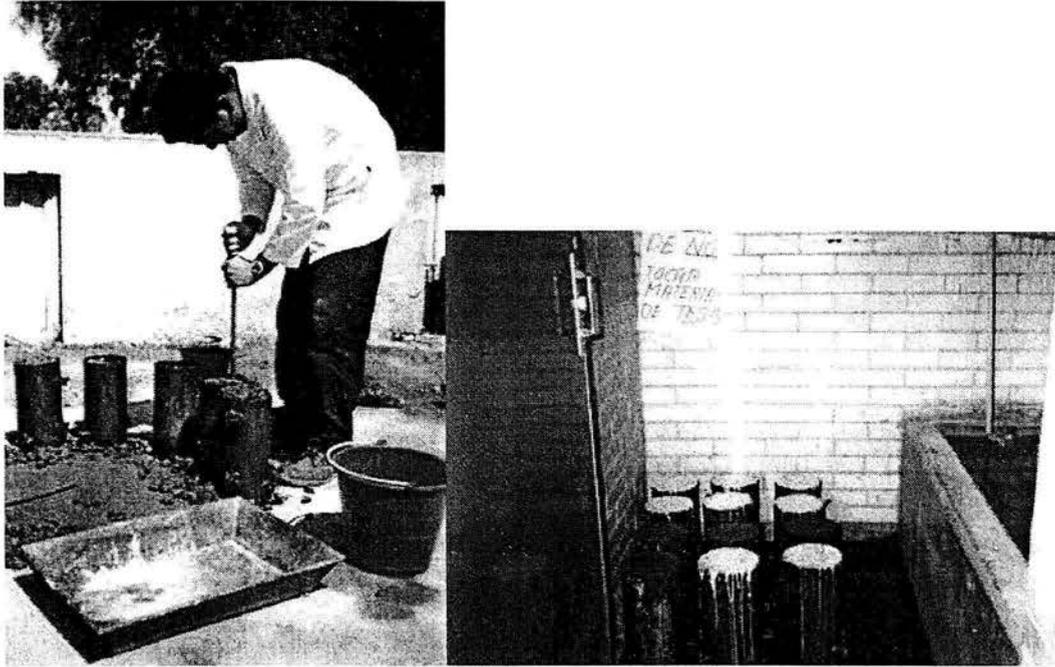
Conociendo la dosificación final para elaborar un metro cúbico de concreto hidráulico de las cinco mezclas "testigo", se elaboraron 25 mezclas de prueba, y en virtud de que la Norma Mexicana (NMX – C – 161) solicita para cada prueba de resistencia, que deben hacerse como mínimo 2 especímenes para probarse a la edad especificada, se elaboraron 180 especímenes cilíndricos requeridos como lo contempla la siguiente tabla No. 6.4.

TABLA No. 6.4 PROGRAMA DE PRUEBAS DE LABORATORIO A COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS DE CONCRETO.

NUMERO	MEZCLA DE PRUEBA				
	TIPO DE MEZCLA	AGREGADO GRUESO	CLAVE DE CONTROL	EDAD DE PRUEBAS (DIAS)	ESPECIMENES DE PRUEBA (PZAS)
1 2 3 4 5	NORMAL O "TESTIGO"	BASALTICO ANDESITICO ANDESITICO TEZONTLE PUMITICO PERLAS DE POLIESTIRENO	B A T P PP	7,14 Y 28	30
6 7 8 9 10	MODIFICADA CON ADITIVO INCLUSOR DE AIRE	BASALTICO ANDESITICO ANDESITICO TEZONTLE PUMITICO PERLAS DE POLIESTIRENO	BIA AIA TIA PIA PPIA	7,14 Y 28	30
11 12 13 14 15	MODIFICADA CON ADITIVO ACELERANTE	BASALTICO ANDESITICO ANDESITICO TEZONTLE PUMITICO PERLAS DE POLIESTIRENO	BA AA TA PA PPA	1,3, 7,14 Y 28	50
16 17 18 19 20	MODIFICADA CON ADITIVO REDUCTOR DE AGUA	BASALTICO ANDESITICO ANDESITICO TEZONTLE PUMITICO PERLAS DE POLIESTIRENO	BRA ARA TRA PRA PPRA	7,14 Y 28	30
21 22 23 24 25	MODIFICADA CON ADITIVO "SÚPER FLUIDIFICANTE"	BASALTICO ANDESITICO ANDESITICO TEZONTLE PUMITICO PERLAS DE POLIESTIRENO	BF AF TF PF PPF	3, 7,14 Y 28	40
				TOTAL	180.00

A todas las mezclas de prueba se les determinó el revenimiento original y modificado en su caso (NMX – C – 156) y a la mezcla de prueba modificada con inductor de aire se le obtuvo el porcentaje de aire incluido. Cuyos resultados se verán mas adelante. Los especímenes cilíndricos elaborados para cada mezcla fueron colados en condiciones normales (temperatura y humedad ambiente) y compactadas mediante vibración externa (ver fotografía 6.1) Después de 24 horas de coladas se descimbraron y guardaron en la cámara húmeda hasta cumplir su respectiva edad de prueba. (NMX – C – 159)

FOTOGRAFÍAS. 6.1 vibración externa mediante varillado, y No. 6.2 curado



VI.5 CILINDROS DE CONCRETO BAJO CONDICIONES DE ESTADO ENDURECIDO.

El concreto hidráulico no solo debe ser satisfactorio en su estado fresco, sino también en su estado endurecido. Por lo que se analizará la prueba de resistencia a la compresión simple ya que como se dijo anteriormente esta prueba ofrece un panorama general de la calidad del concreto.

Se utilizan tres tipos de muestras para pruebas de compresión: por cubos, cilindros y prismas. La tendencia actual sobre todo con los investigadores, consiste en emplear cilindros y no cubos, por lo que en el desarrollo de este trabajo se usaron únicamente cilindros.

El cilindro estándar tiene 150 mm de diámetro por 300 mm de altura, se prepara en un molde que generalmente es de acero o hierro colado, de preferencia con base ajustable mediante prensas. En ocasiones se utilizan moldes de cartón que no se pueden volver a usar, y que causan una disminución manifiesta de la resistencia. Las muestras cilíndricas se compactan en tres capas con una varilla de punta de bala de 16 mm.

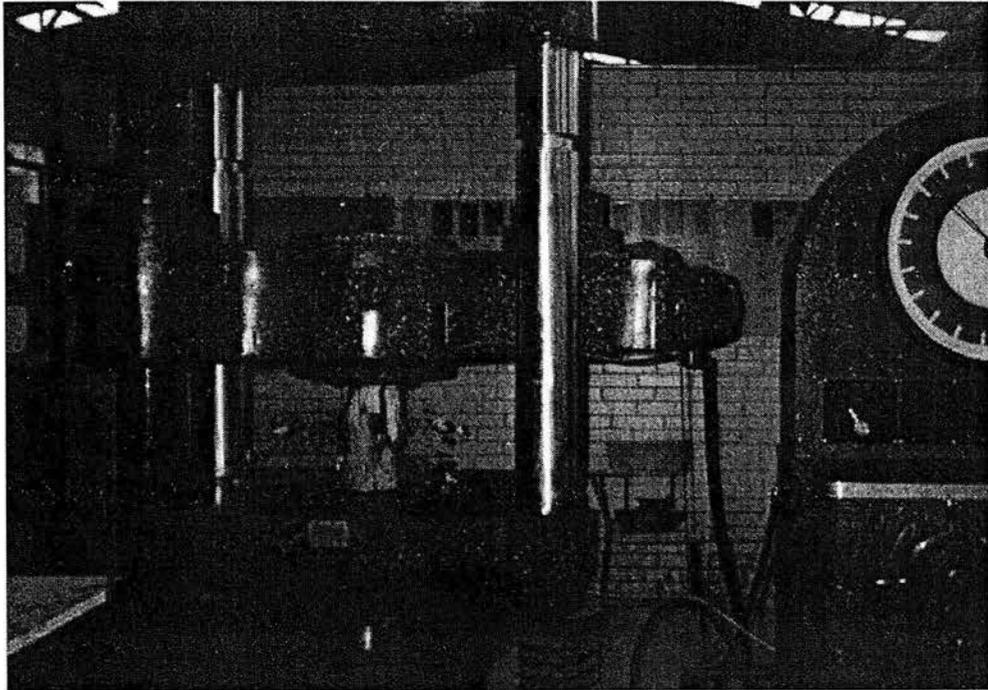
Los especímenes en estado endurecido se le sometieron a las pruebas de compresión simple (NMX - C - 083) de acuerdo al programa establecido anteriormente. Previo a la prueba de carga se prepararon los cilindros mediante el cabeceo como lo indica la norma NMX - C - 109 - 1997 - ONNCCE.

Para la ejecución de las pruebas se utilizaron las máquinas de compresión existentes como la máquina universal con una capacidad de 180 toneladas, una máquina universal con capacidad de 80 toneladas y una máquina de compresión de campo con una capacidad de 120 toneladas, estas

maquinas al realizar las pruebas se encontraban calibradas con respecto a las normas establecidas por el ASTM.

Es importante llevar a cabo cada prueba correctamente, debido a que influyen diferentes factores para alcanzar un resultado confiable, es decir, si no realizamos correctamente cada paso desde un curado adecuado, un cabeceo de los cilindros adecuado, aplicar la velocidad de la carga de manera uniforme y de acuerdo a las normas establecidas, etc.

FOTOGRAFÍA 6.3 Cilindro de concreto sometido a carga axial



Los resultados obtenidos de la prueba de carga axial a que fueron sometidos los especimenes elaborados con cada una de las mezclas de prueba estudiadas en el presente trabajo, se registran en las siguientes tablas y graficas correspondientes.

PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS MOLDEADOS DE CONCRETO.

**MEZCLA DE PRUEBA No. 1 (B)
AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA DE ORIGEN BASALTICO ANDESITICO**

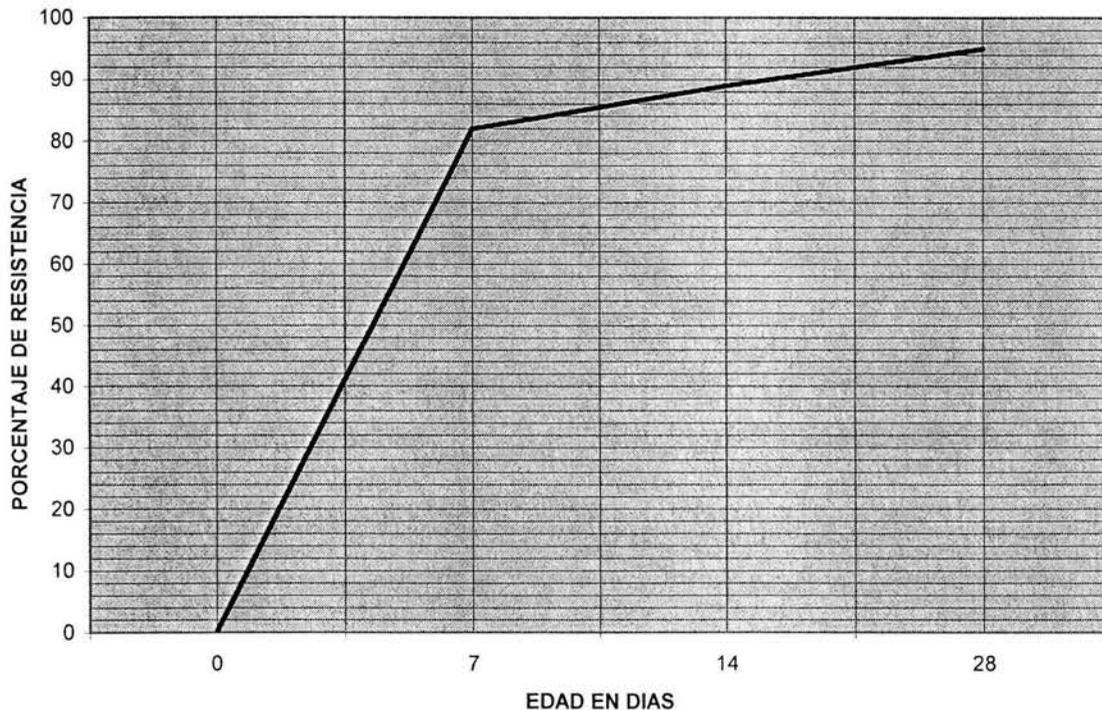
RESULTADOS DE PRUEBA.

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	f'c	Δ f'c	% f'c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
7	15	30	176.7	60500	342		82
14	15	30	176.7	66000	374	32	89
28	15	30	176.7	70500	399	25	95

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO
REVENIMIENTO = 4.0

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
PESO VOLUMÉTRICO = 2491 KG/M³

**GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO
CON GRAVA BASALTICO ANDESITICO**



MEZCLA DE PRUEBA No. 6 (BIA)
AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA DE ORIGEN BASALTICO ANDESITICO MODIFICADA
CON ADITIVO INCLUSOR DE AIRE

RESULTADOS DE PRUEBA

DATOS DEL Espécimen			CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	P	f'c	Δ f'c	% f'c
(días)	(cm.)	(cm.)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
7	15	30	45000	255		60
14	15	30	51000	289	32	69
28	15	30	64500	366	25	87

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO

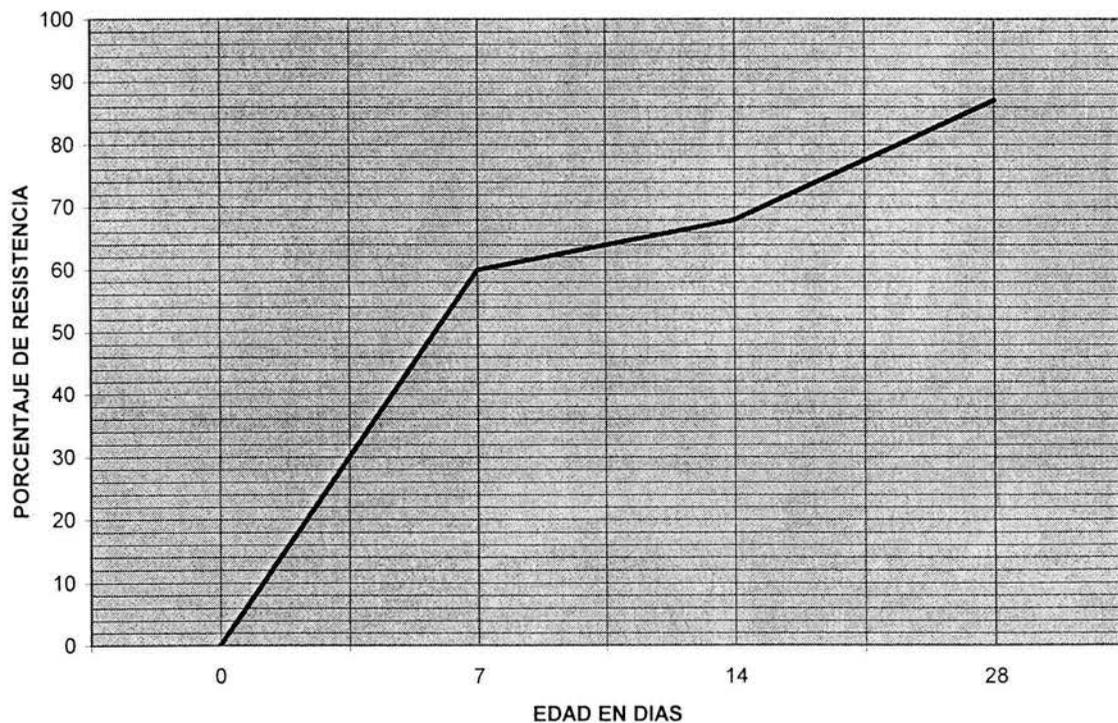
REVENIMIENTO = 5.0

CONTENIDO DE AIRE (%) = 3%

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

PESO VOLUMÉTRICO = 2390 KG/M3

GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA
BASALTICO ANDESITICO Y ADITIVO INCLUSOR DE AIRE



**MEZCLA DE PRUEBA No. 11 (BA)
AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA DE ORIGEN BASALTICO ANDESITICO MODIFICADA
CON ADITIVO ACELERANTE**

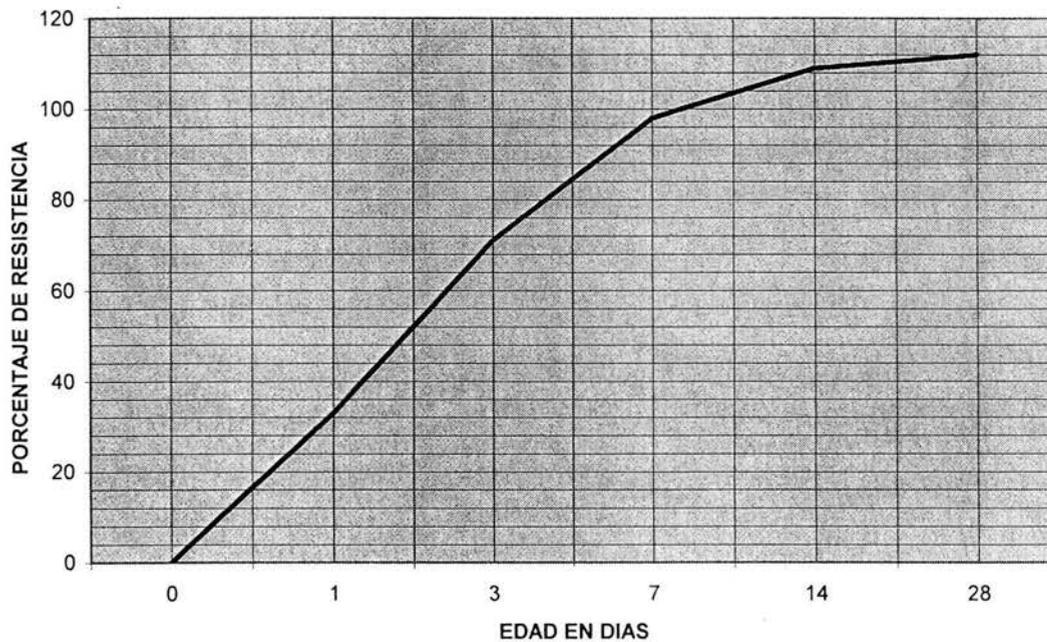
RESULTADOS DE PRUEBA

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	AREA	P	f'c	Δ f'c	% f'c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
1	15	30	176.7	24500	139		33
3	15	30	176.7	52500	297	158	71
7	15	30	176.7	72750	413	116	98
14	15	30	176.7	80600	456	43	109
28	15	30	176.7	83900	475	19	113

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO
REVENIMIENTO = 6.0

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
PESO VOLUMÉTRICO = 2491 KG/M³

**GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA
BASALTICO ANDESITICO Y ADITIVO ACELERANTE**



MEZCLA DE PRUEBA No. 16 (BRA)
AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA DE ORIGEN BASALTICO ANDESITICO MODIFICADA
CON ADITIVO REDUCTOR DE AGUA

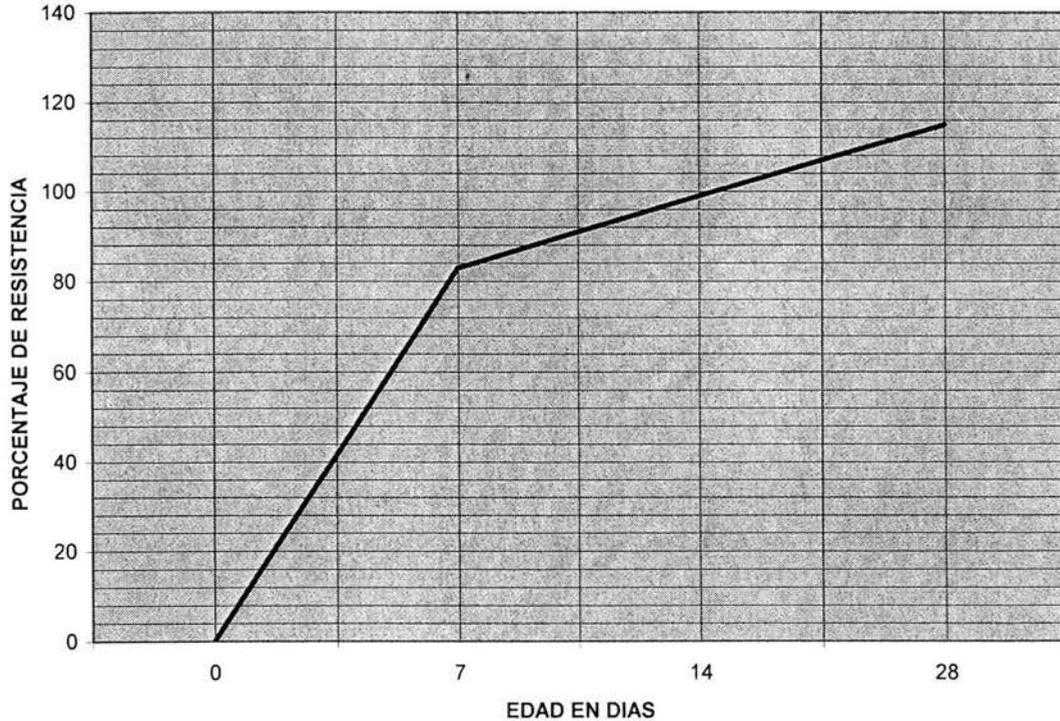
RESULTADOS DE PRUEBA

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	f'c	Δ f'c	% f'c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
7	15	30	176.7	60750	344		82
14	15	30	176.7	79000	447	97	106
28	15	30	176.7	87000	492	45	117

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO
REVENIMIENTO = 4.0

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
PESO VOLUMÉTRICO = 2460 KG/M3

GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA
BASALTICO ANDESITICO Y ADITIVO REDUCTOR DE AGUA



MEZCLA DE PRUEBA No. 21 (BF)
AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA DE ORIGEN BASALTICO ANDESITICO MODIFICADA
CON ADITIVO SÚPER FLUIDIFICANTE

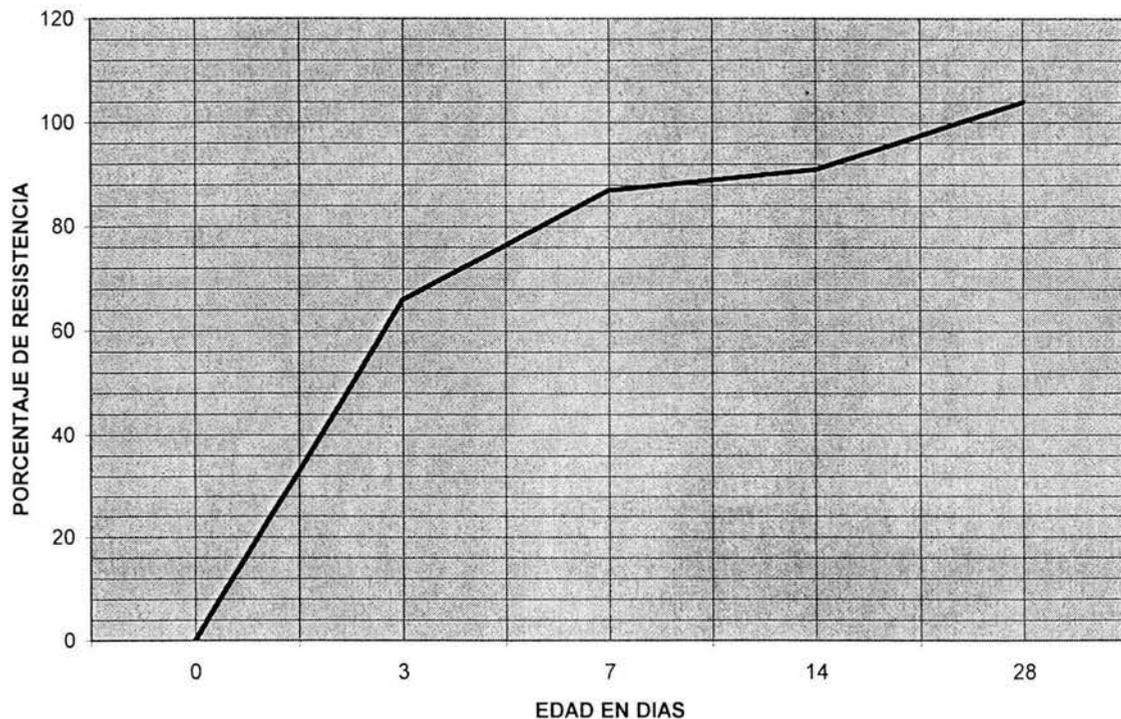
RESULTADOS DE PRUEBA

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	AREA	P	f'c	Δ f'c	% f'c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
3	15	30	176.7	49000	277		66
7	15	30	176.7	64500	365	88	87
14	15	30	176.7	68000	385	20	91
28	15	30	176.7	77000	436	51	104

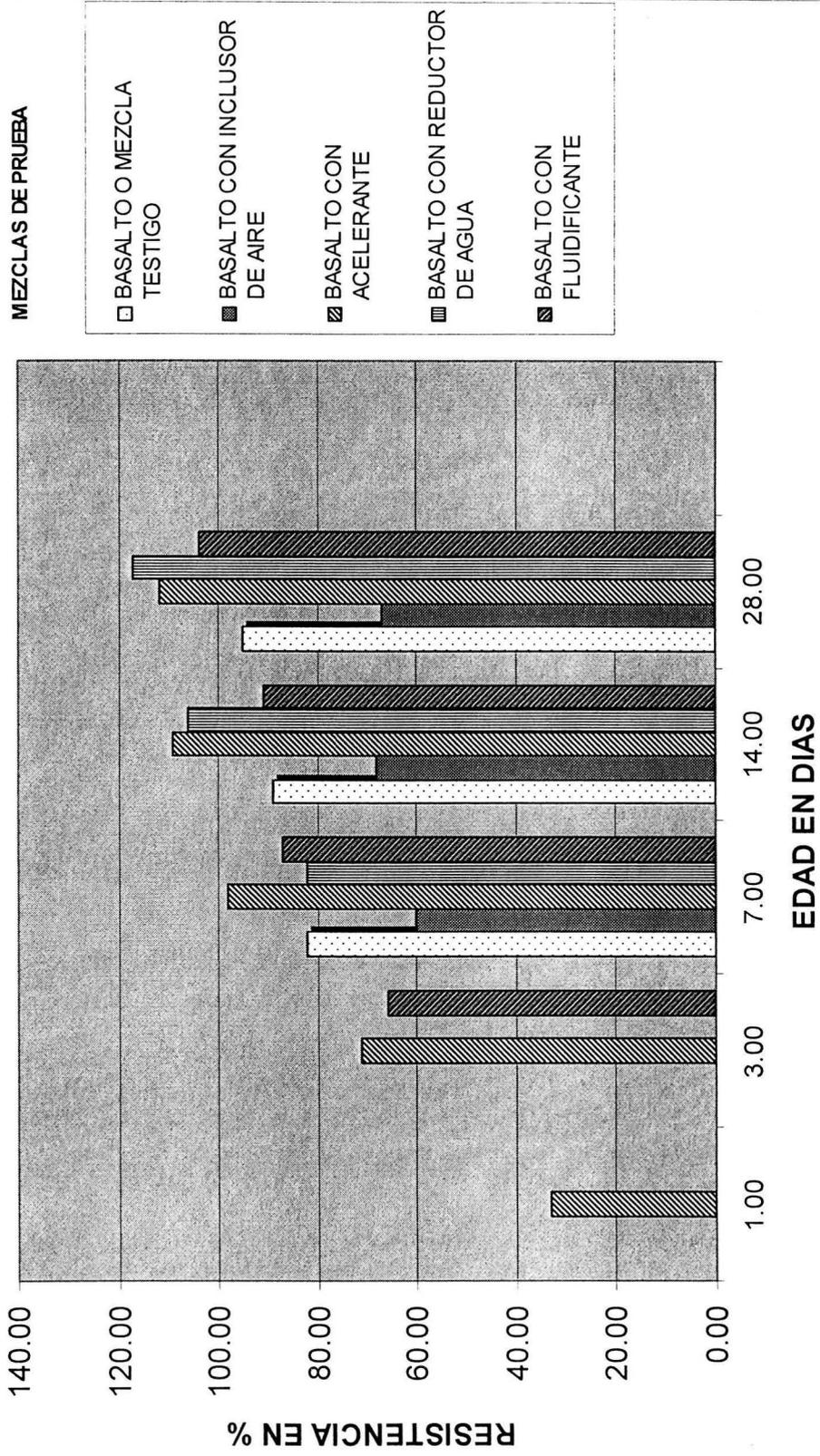
CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO
REVENIMIENTO = 4.0

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
PESO VOLUMÉTRICO = 2460 KG/M3

GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA BASALTICO ANDESITICO Y ADITIVO "SUPERFLUIDIFICANTE"



DESARROLLO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA UN CONCRETO ELABORADO CON GRAVA BASALTICO ANDESITICO SIN ADITIVO Y CON LA INCLUSION DE UN ADITIVO



GRAFICA DE BARRAS No. 1

MEZCLA DE PRUEBA No. 2 (A)
AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA DE ORIGEN ANDESITICO

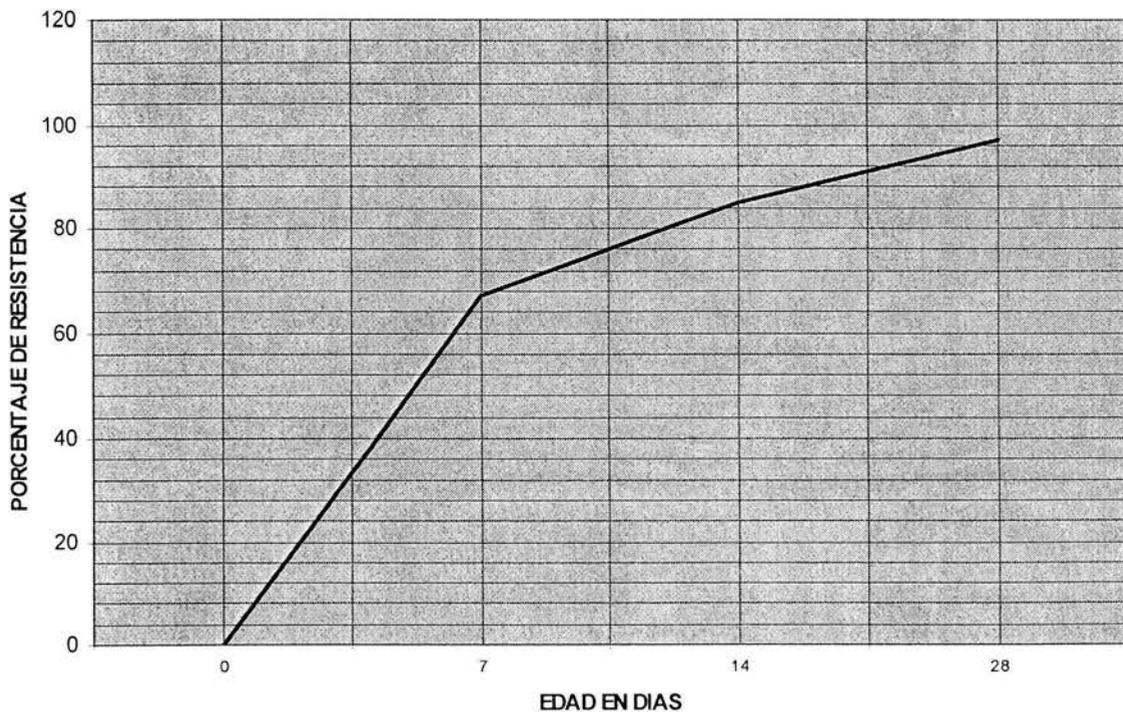
RESULTADOS DE PRUEBA.

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	f'c	Δ f'c	% f'c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
7	15	30	176.7	33200	188		67
14	15	30	176.7	42000	238	50	85
28	15	30	176.7	47800	271	33	97

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO
REVENIMIENTO = 6.5

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
PESO VOLUMÉTRICO = 2270 KG/M3

GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA ANDESITICA



MEZCLA DE PRUEBA No. 7 (AIA)
AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA DE ORIGEN ANDESITICO MODIFICADA CON ADITIVO INCLUSOR DE AIRE

RESULTADOS DE PRUEBA

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	f'c	Δ f'c	% f'c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
7	15	30	176.7	60750	344		82
14	15	30	176.7	79000	447	97	106
28	15	30	176.7	87000	492	45	117

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO

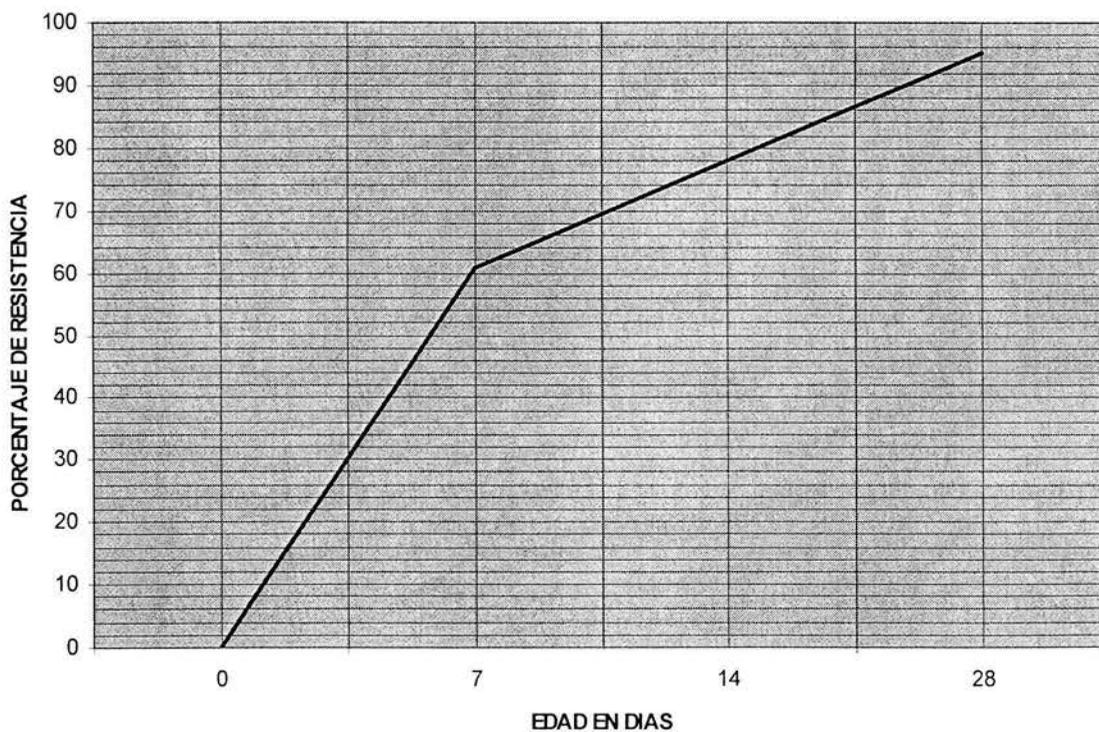
REVENIMIENTO = 4.0

CONTENIDO DE AIRE (%) = 3.0

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

PESO VOLUMÉTRICO = 2200 KG/M3

GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA ANDESITICA Y ADITIVO INCLUSOR DE AIRE



MEZCLA DE PRUEBA No. 12 (AA)
AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA DE ORIGEN ANDESITICO MODIFICADA CON ADITIVO ACELERANTE

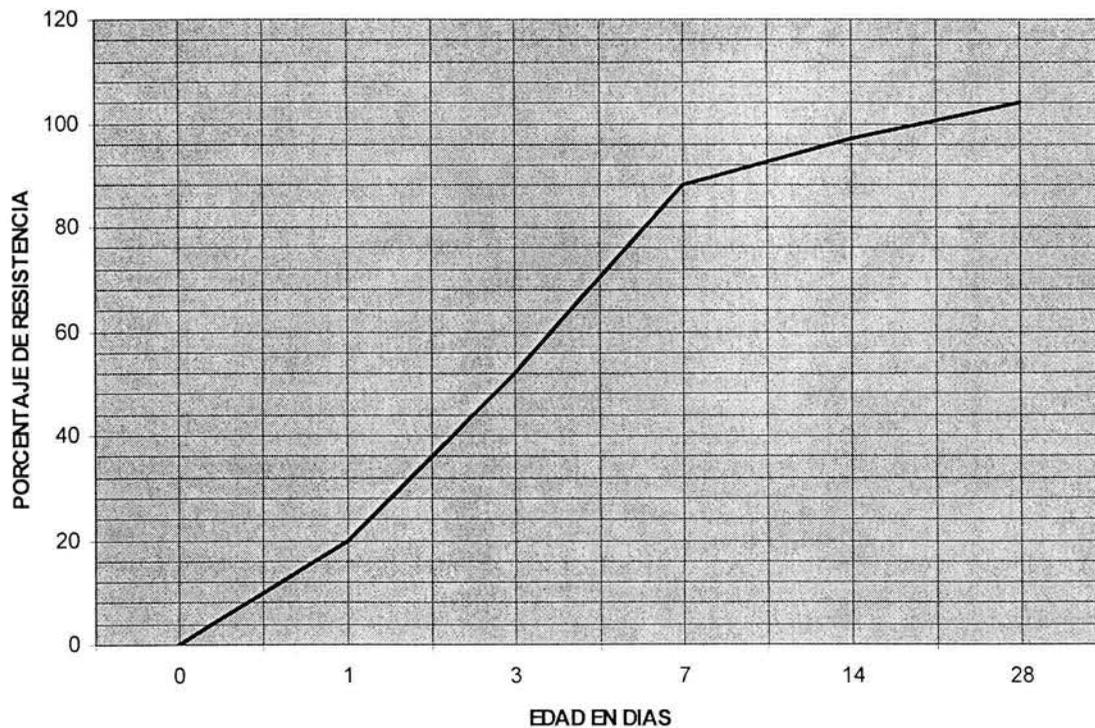
RESULTADOS DE PRUEBA

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	f _c	Δ f _c	% f _c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
1	15	30	176.7	10000	56		20
3	15	30	176.7	25500	146	90	52
7	15	30	176.7	42500	246	100	88
14	15	30	176.7	48000	272	26	97
28	15	30	176.7	51200	291	19	104

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO
REVENIMIENTO = 6.0

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
PESO VOLUMÉTRICO = 2270 KG/M3

GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA ANDESITICA Y ADITIVO ACELERANTE



MEZCLA DE PRUEBA No. 17 (ARA)
AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA DE ORIGEN ANDESITICO MODIFICADA CON ADITIVO REDUCTOR DE AGUA

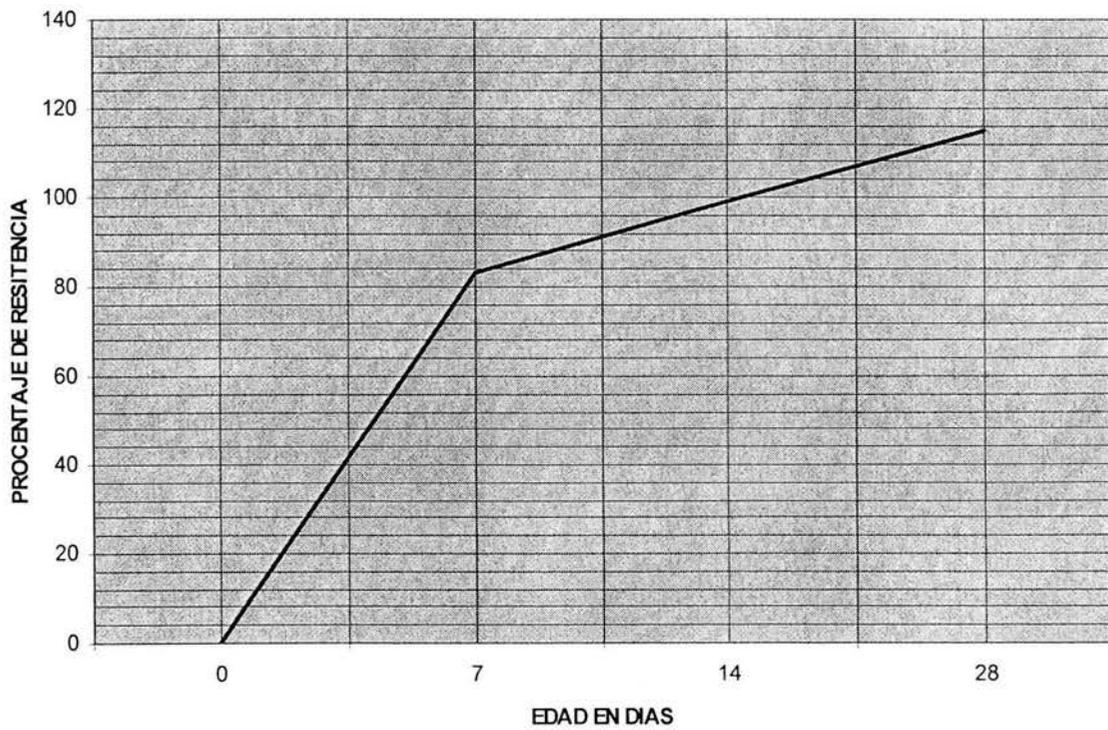
RESULTADOS DE PRUEBA

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	f _c	Δ f _c	% f _c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
7	15	30	176.7	41250	232		83
14	15	30	176.7	49000	277	45	99
28	15	30	176.7	57000	322	45	115

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO
REVENIMIENTO = 6.0

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
PESO VOLUMÉTRICO = 2270 KG/M3

GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA ANDESITICA Y ADITIVO REDUCTOR DE AGUA



**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

**MEZCLA DE PRUEBA No. 22 (AF)
AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA DE ORIGEN ANDESITICO MODIFICADA CON ADITIVO "SÚPER
FLUIDIFICANTE"**

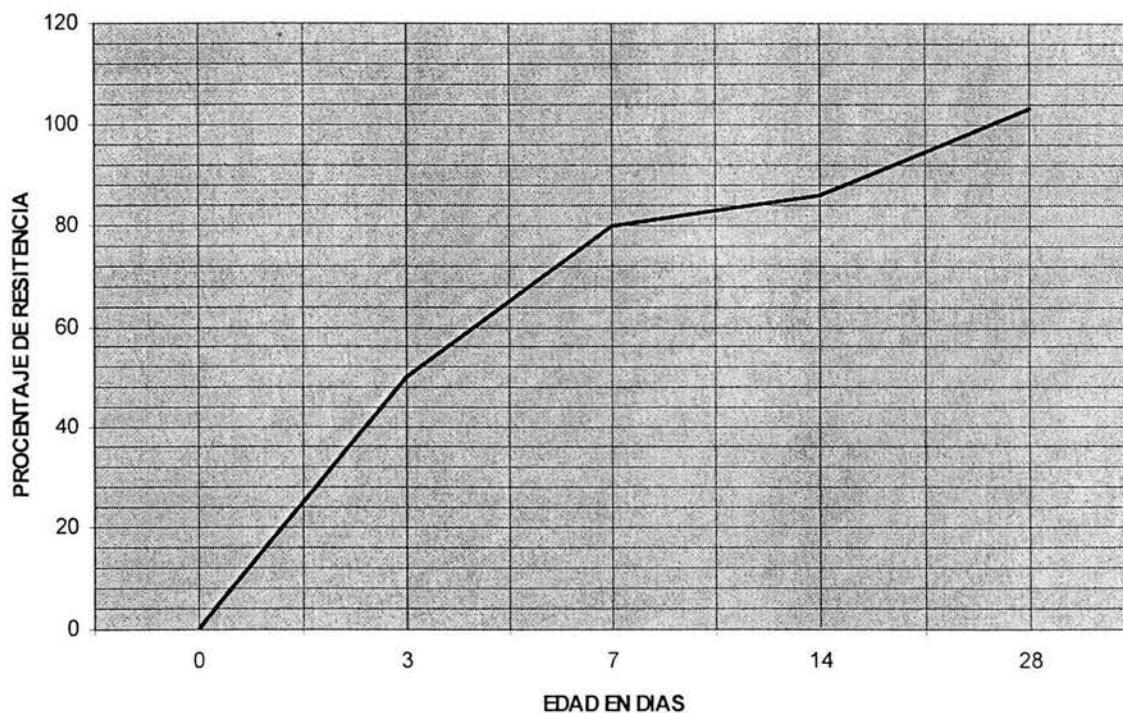
RESULTADOS DE PRUEBA

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	f _c	Δ f _c	% f _c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
3	15	30	176.7	25000	140		50
7	15	30	176.7	40000	224	84	80
14	15	30	176.7	43000	241	17	86
28	15	30	176.7	51400	291	50	104

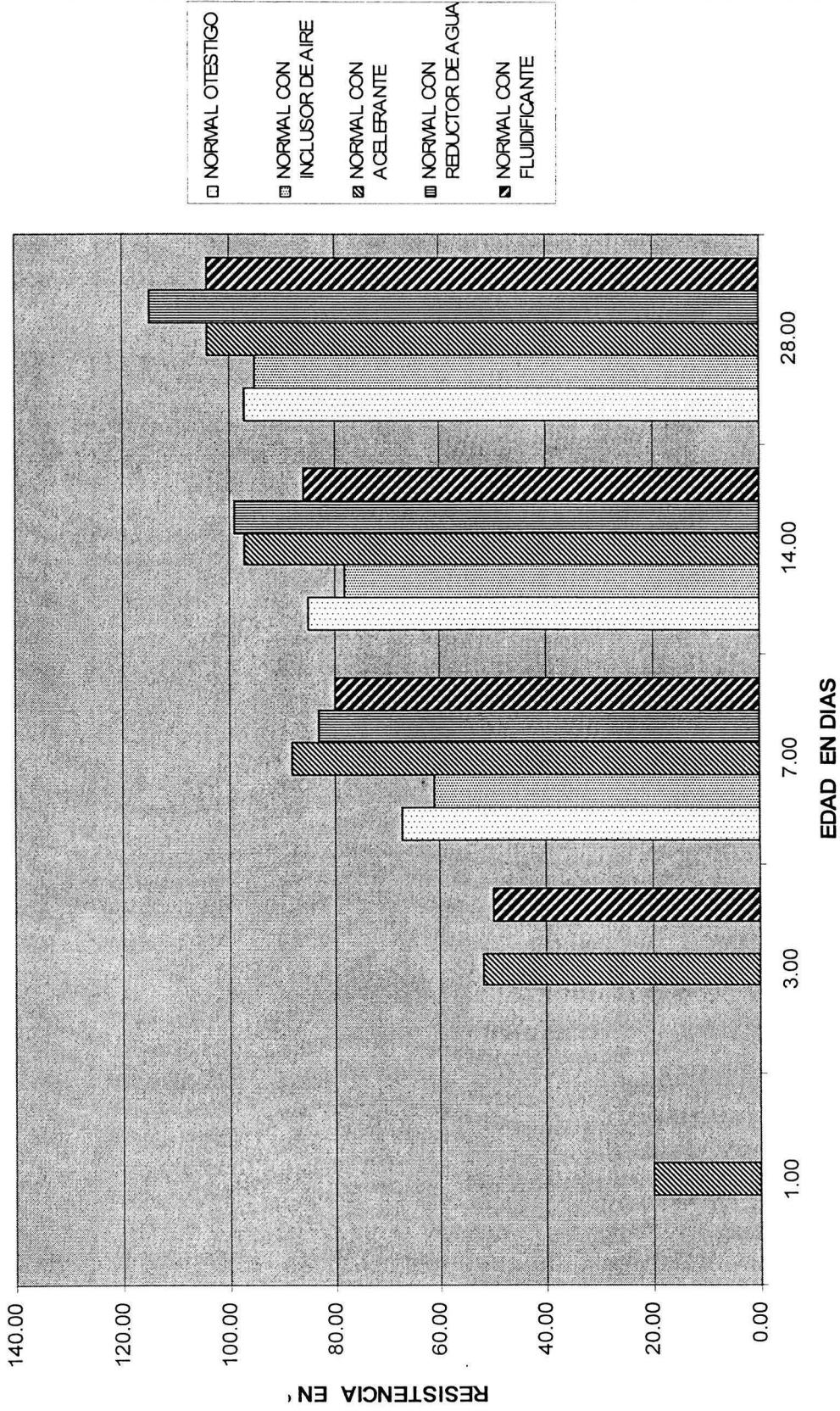
CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO
REVENIMIENTO = 21

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
PESO VOLUMÉTRICO = 2270 KG/M³

**GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA
BASALTICO ANDESITICO Y ADITIVO "SUPERFLUIDIFICANTE"**



DESARROLLO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA UN CONCRETO ELABORADO CON GRAVA ANDESITICA SIN ADITIVO Y CON LA INCLUSION DE UN ADITIVO



GRAFICA DE BARRAS No. 2

**MEZCLA DE PRUEBA No. 3 (T)
AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA DE ORIGEN VOLCÁNICO "TEZONTLE"**

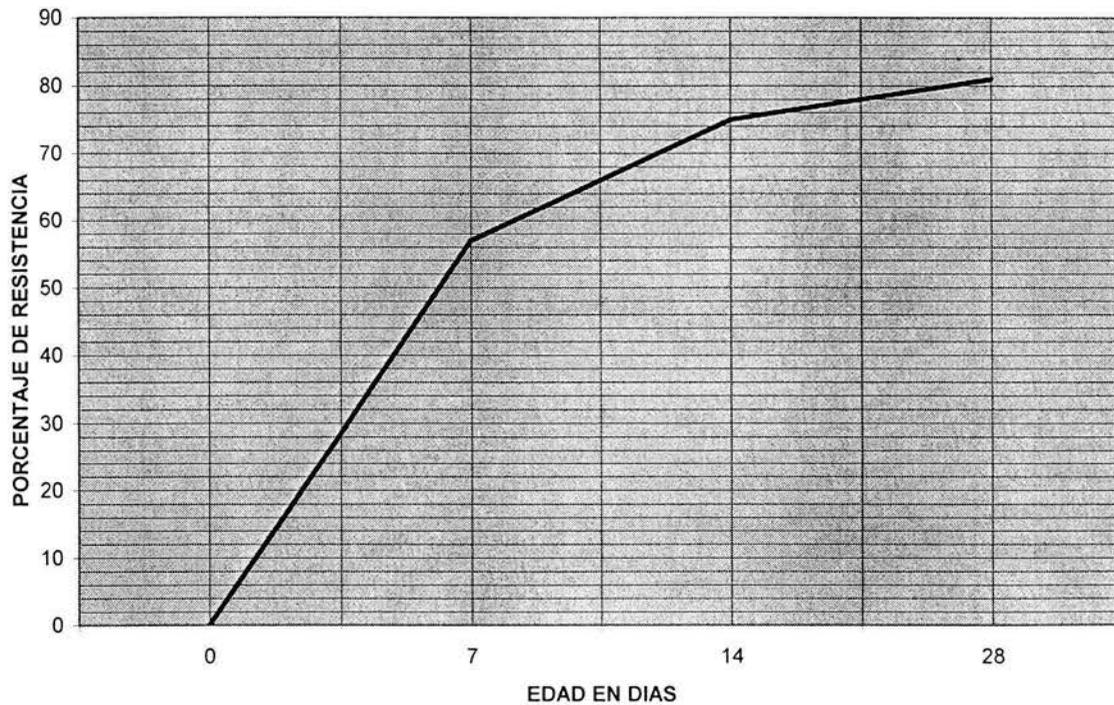
RESULTADOS DE PRUEBA.

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	f'c	Δ f'c	% f'c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
7	15	30	176.7	28250	160		57
14	15	30	176.7	37000	209	49	75
28	15	30	176.7	40000	226	17	81

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO
REVENIMIENTO = 4.0

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
PESO VOLUMÉTRICO = 1950 KG/M3

**GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO
CON GRAVA "TEZONTLE"**



**MEZCLA DE PRUEBA No. 8 (TIA)
AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA DE ORIGEN VOLCÁNICO "TEZONTLE" MODIFICADA
CON ADITIVO INCLUSOR DE AIRE**

RESULTADOS DE PRUEBA.

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	f'c	Δ f'c	% f'c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
7	15	30	176.7	28250	160		57
14	15	30	176.7	31500	179	19	64
28	15	30	176.7	38500	218	39	78

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO

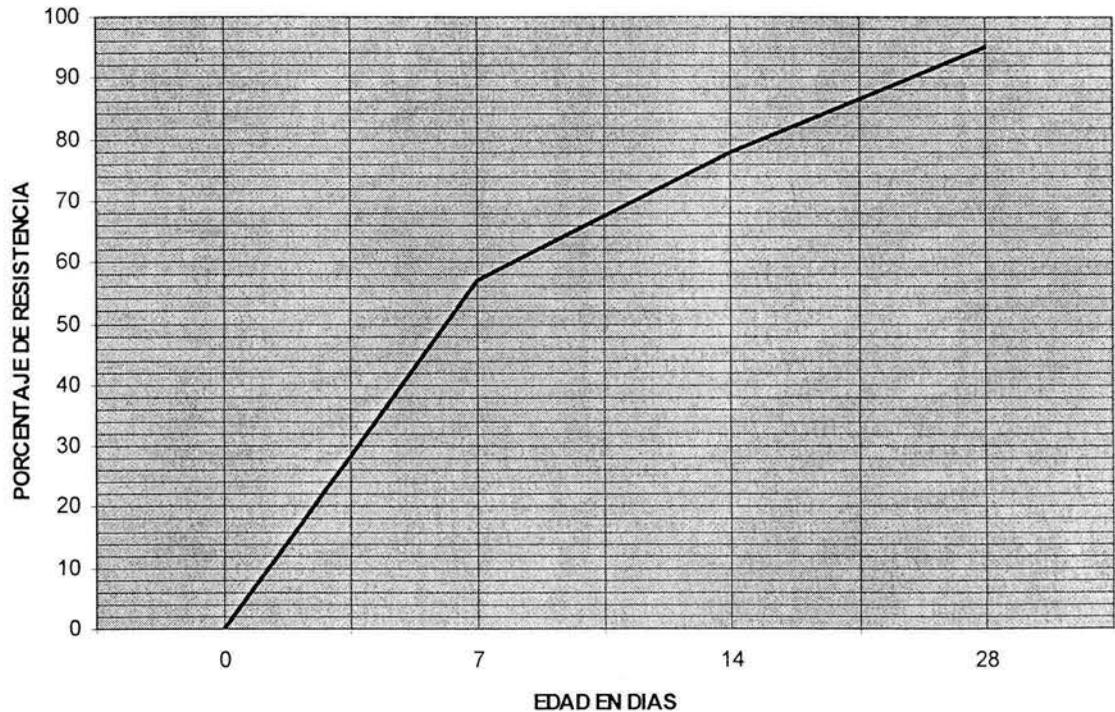
REVENIMIENTO = 4.0

CONTENIDO DE AIRE (%) = 4.5 %

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

PESO VOLUMÉTRICO = 1870 KG/M3

**GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA
"TEZONTLE" Y ADITIVO INCLUSOR DE AIRE**



MEZCLA DE PRUEBA No. 13 (TA)
AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA "TEZONTLE" MODIFICADA CON ADITIVO ACELERANTE

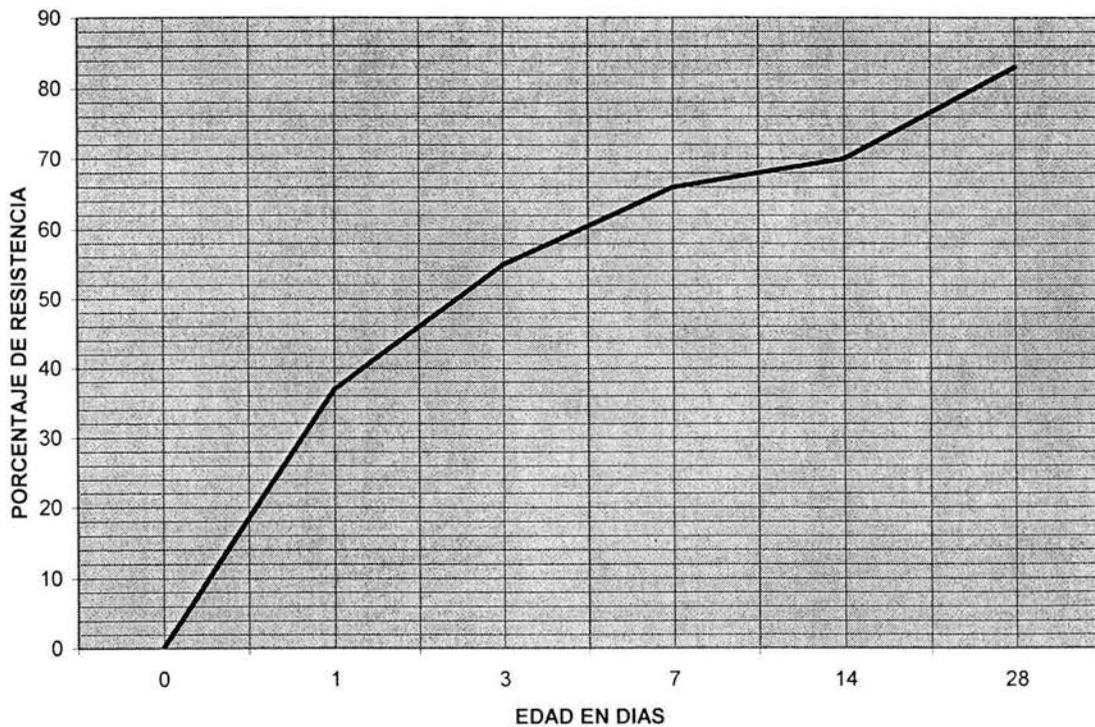
RESULTADOS DE PRUEBA

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	f'c	Δ f'c	% f'c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
1	15	30	176.7	18250	103		37
3	15	30	176.7	27250	154	51	55
7	15	30	176.7	32750	185	31	66
14	15	30	176.7	34750	197	12	70
28	15	30	176.7	41000	232	35	83

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO
REVENIMIENTO = 4.5

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
PESO VOLUMÉTRICO = 1950 KG/M3

GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA "TEZONTLE" Y ADITIVO ACELERANTE



**MEZCLA DE PRUEBA No. 18 (TRA)
AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA "TEZONTLE" MODIFICADA CON ADITIVO
REDUCTOR DE AGUA**

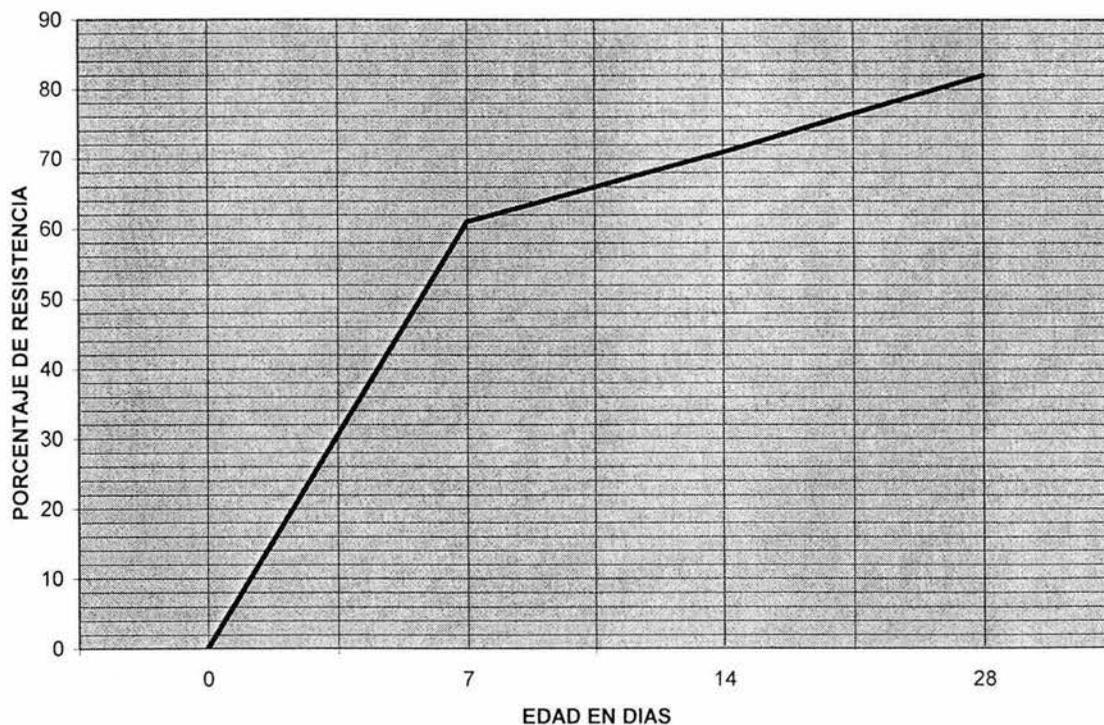
RESULTADOS DE PRUEBA

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	f'c	Δ f'c	% f'c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
7	15	30	176.7	30000	170		61
14	15	30	176.7	35000	199	19	71
28	15	30	176.7	40500	230	30	82

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO
REVENIMIENTO = 3.0

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
PESO VOLUMÉTRICO = 1950 KG/M3

**GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA
"TEZONTLE" Y ADITIVO REDUCTOR DE AGUA**



MEZCLA DE PRUEBA No. 23 (TF)
AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA "TEZONTLE" MODIFICADA CON ADITIVO "SÚPER FLUIDIFICANTE"

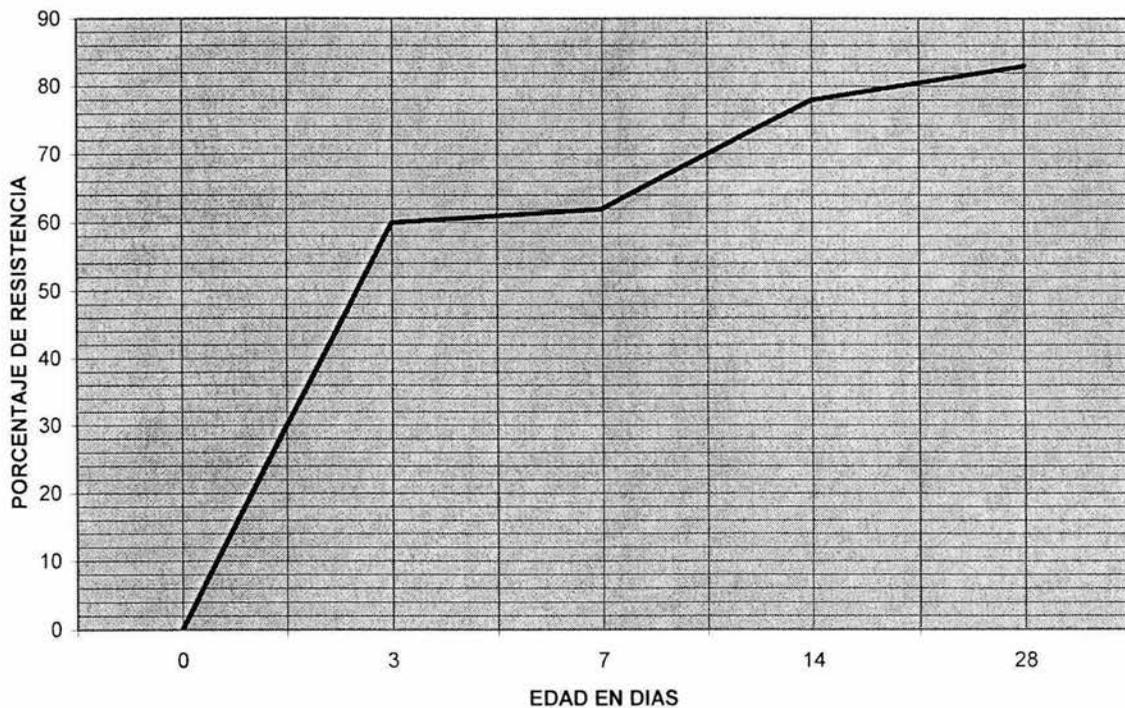
RESULTADOS DE PRUEBA

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	$f'c$	$\Delta f'c$	$\% f'c$
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
3	15	30	176.7	29750	168		60
7	15	30	176.7	30750	174	6	62
14	15	30	176.7	38500	218	44	78
28	15	30	276.7	41000	232	14	83

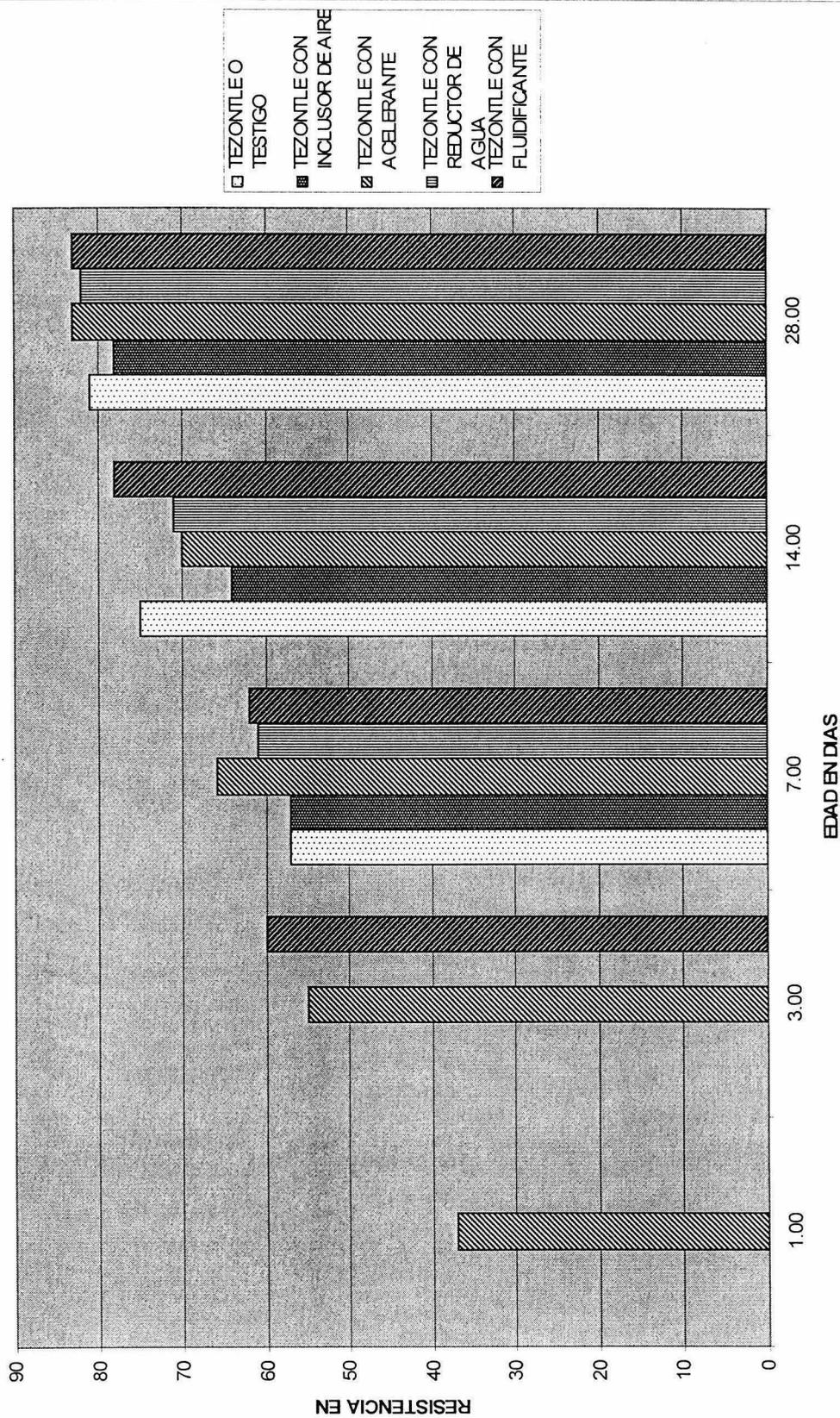
CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO
REVENIMIENTO = 16

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
PESO VOLUMÉTRICO = 1950 KG/M3

GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA "TEZONTLE" Y ADITIVO "SUPERFLUIDIFICANTE"



DESARROLLO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA UN CONCRETO ELABORADO CON GRAVA DE TEZONTLE SIN ADITIVO Y CON LA INCLUSION DE UN ADITIVO



GRAFICA DE BARRAS No. 3

**MEZCLA DE PRUEBA No. 4 (P)
AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA DE ORIGEN VOLCÁNICO "POMEZ"**

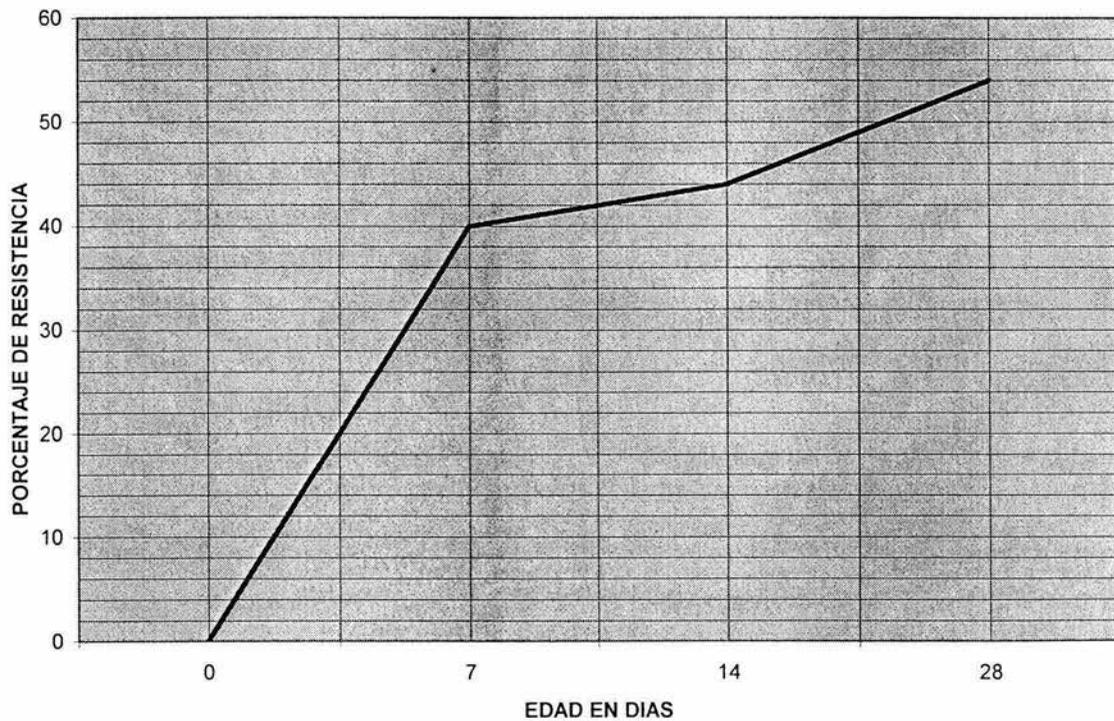
RESULTADOS DE PRUEBA.

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	f'c	Δ f'c	% f'c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
7	15	30	176.7	15000	85		40
14	15	30	176.7	16500	93	8	44
28	15	30	176.7	20000	113	20	54

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO
REVENIMIENTO = 4.0

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
PESO VOLUMÉTRICO = 1820 KG/M3

**GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA
"POMEZ"**



**MEZCLA DE PRUEBA No. 9 (PIA)
AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA DE ORIGEN VOLCÁNICO "PÓMEZ" MODIFICADA
CON ADITIVO INCLUSOR DE AIRE**

RESULTADOS DE PRUEBA.

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	f'c	Δ f'c	% f'c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
7	15	30	176.7	13000	74		35
14	15	30	176.7	15000	85	11	40
28	15	30	176.7	18250	103	18	49

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO

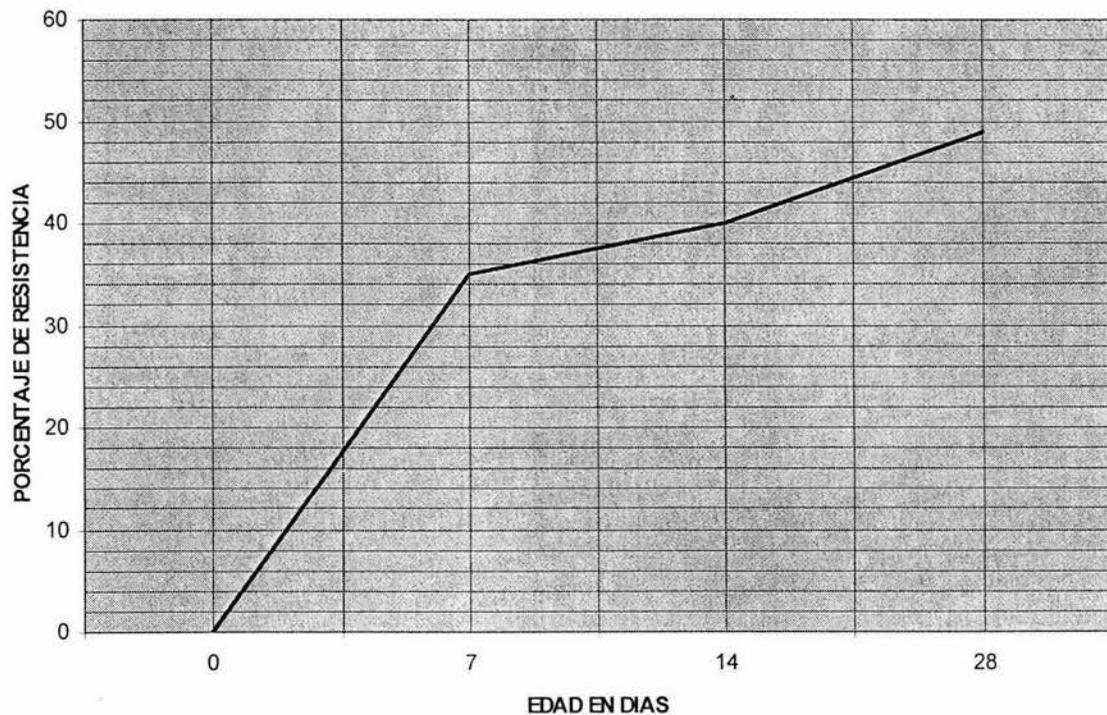
REVENIMIENTO = 4.0

CONTENIDO DE AIRE (%) = 6.0 %

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

PESO VOLUMÉTRICO = 1750 KG/M3

**GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA
"POMEZ" Y ADITIVO INCLUSOR DE AIRE**



MEZCLA DE PRUEBA No. 14 (PA)
AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA "POMEZ" MODIFICADA CON ADITIVO ACELERANTE

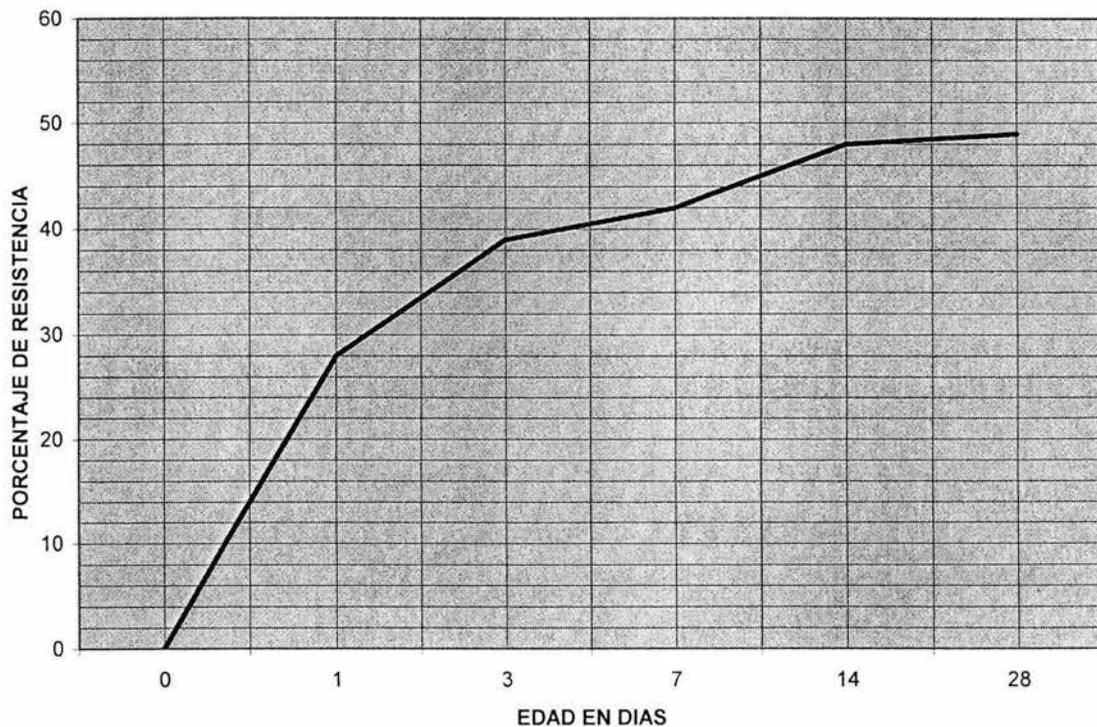
RESULTADOS DE PRUEBA

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	f'c	Δ f'c	% f'c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
1	15	30	176.7	10500	59		28
3	15	30	176.7	14500	82	23	39
7	15	30	176.7	15500	88	6	42
14	15	30	176.7	17750	100	12	48
28	15	30	176.7	18250	103	3	49

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO
REVENIMIENTO = 4.5

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
PESO VOLUMÉTRICO = 1950 KG/M3

GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA "POMEZ" Y ADITIVO ACELERANTE



**MEZCLA DE PRUEBA No. 19 (PRA)
 AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA DE ORIGEN VOLCÁNICO "PÓMEZ" MODIFICADA
 CON ADITIVO REDUCTOR DE AGUA**

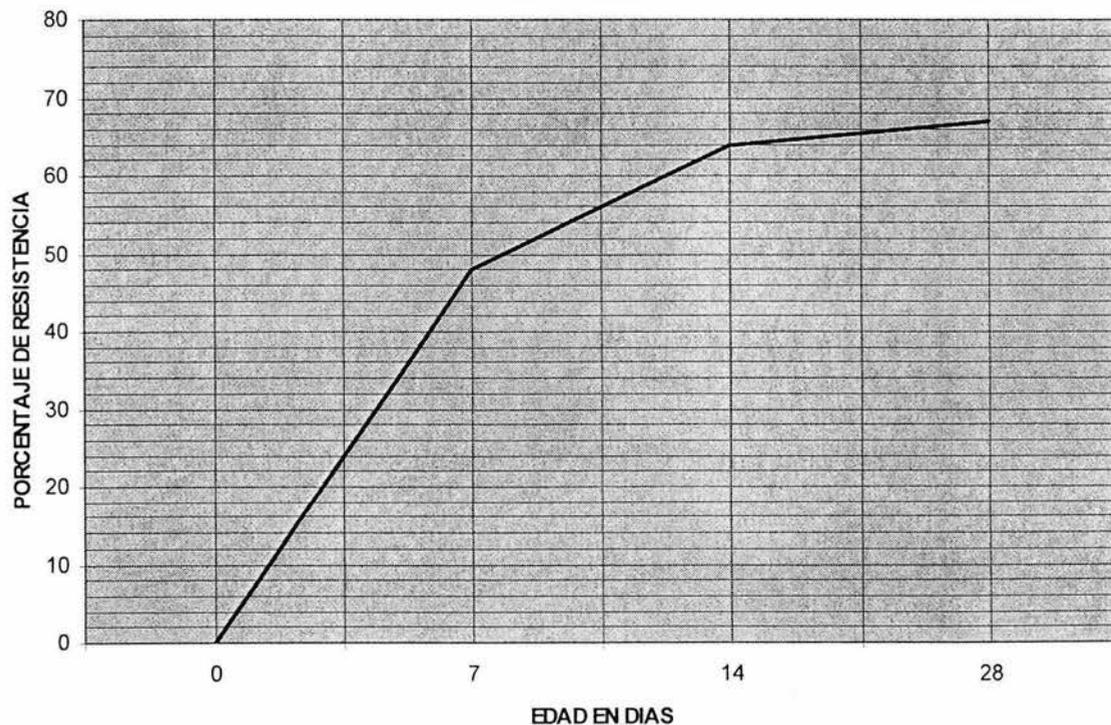
RESULTADOS DE PRUEBA.

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	f'c	Δ f'c	% f'c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
7	15	30	176.7	17750	100		48
14	15	30	176.7	24000	134	34	64
28	15	30	176.7	25000	140	6	67

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO
 REVENIMIENTO = 5.5

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
 PESO VOLUMÉTRICO = 1820 KG/M3

**GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA
 "POMEZ" Y ADITIVO REDUCTOR DE AGUA**



MEZCLA DE PRUEBA No. 24 (PF)
AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA "POMEZ" MODIFICADA CON ADITIVO "SÚPER FLUIDIFICANTE"

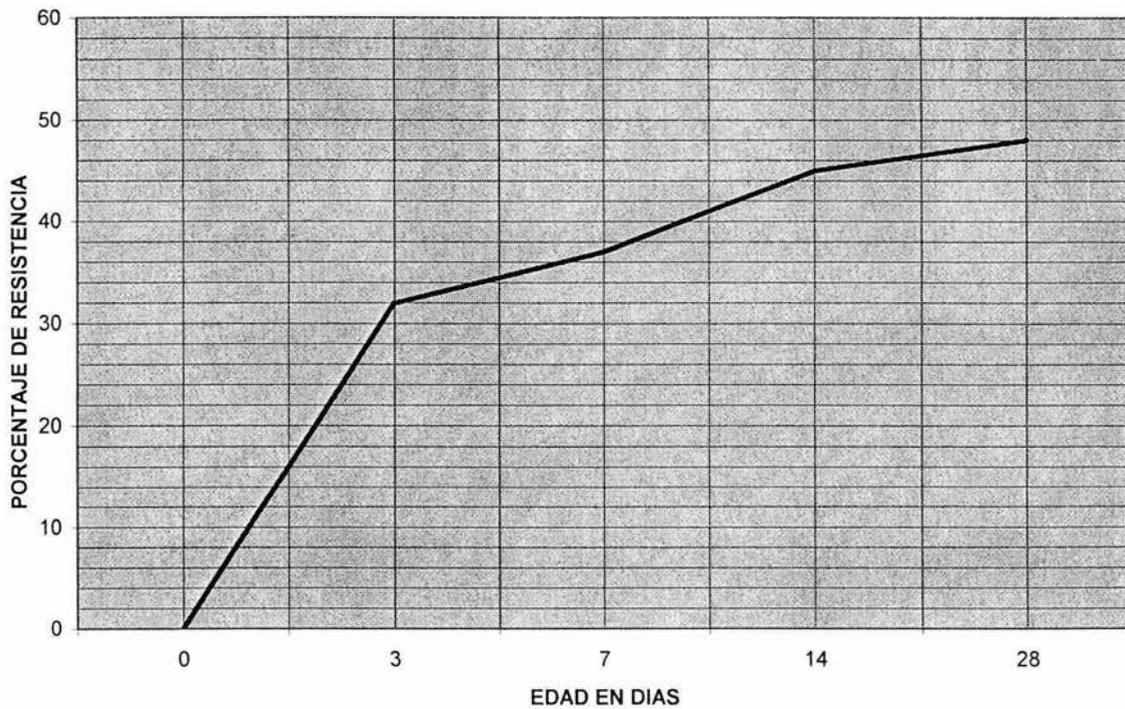
RESULTADOS DE PRUEBA

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	f'c	Δ f'c	% f'c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
3	15	30	176.7	12000	67		32
7	15	30	176.7	13750	78	6	37
14	15	30	176.7	16750	95	44	45
28	15	30	276.7	17750	101	14	48

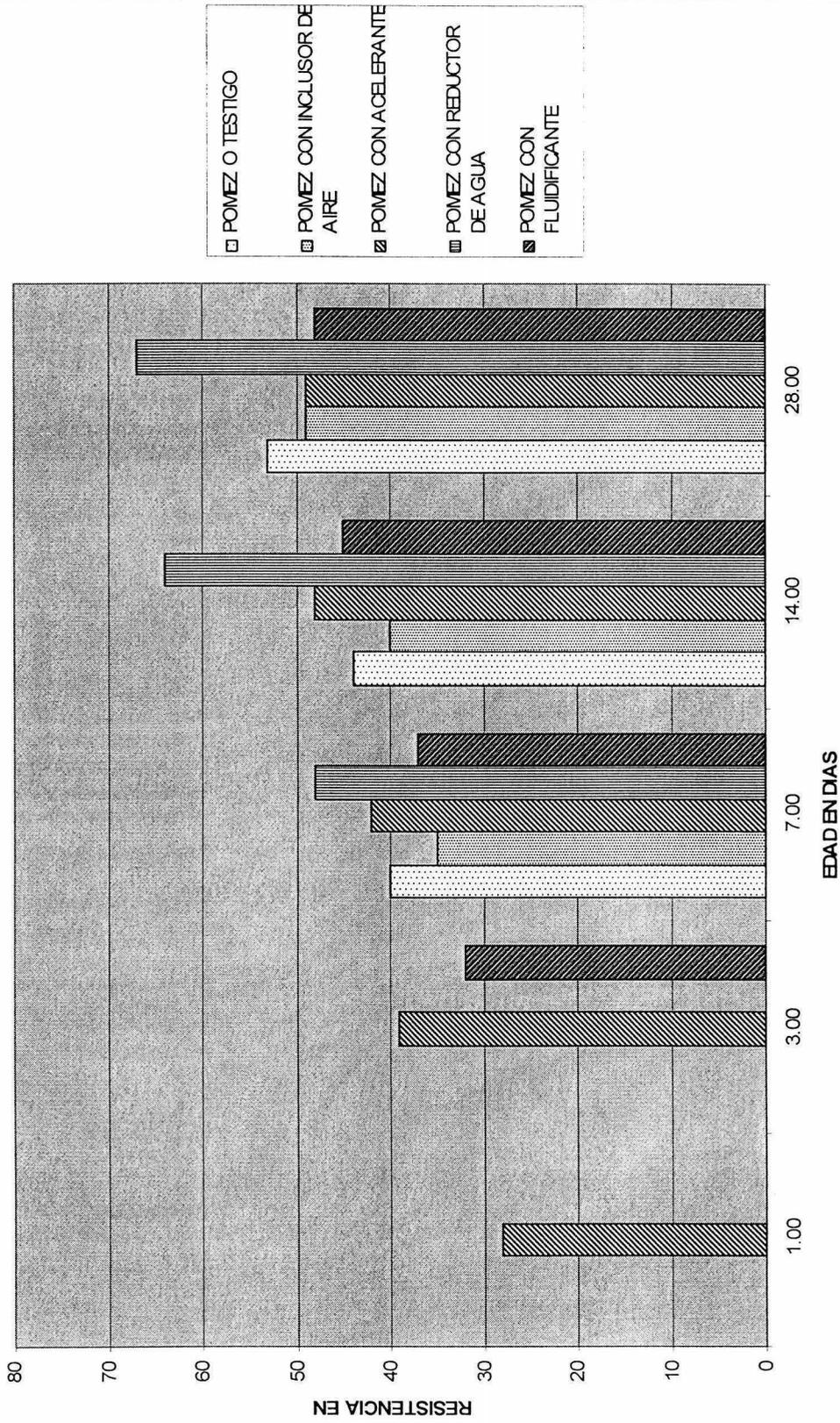
CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO
REVENIMIENTO = 15

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
PESO VOLUMÉTRICO = 1820 KG/M3

GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA "POMEZ" Y ADITIVO "SUPERFLUIDIFICANTE"



DESARROLLO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA UN CONCRETO ELABORADO CON GRAVA
 "POMEZ" SIN ADITIVO Y CON LA INCLUSION DE UN ADITIVO



GRAFICA DE BARRAS No. 4

MEZCLA DE PRUEBA No. 5 (PP)
AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA DE ORIGEN INDUSTRIAL PERLAS DE POLIESTIRENO

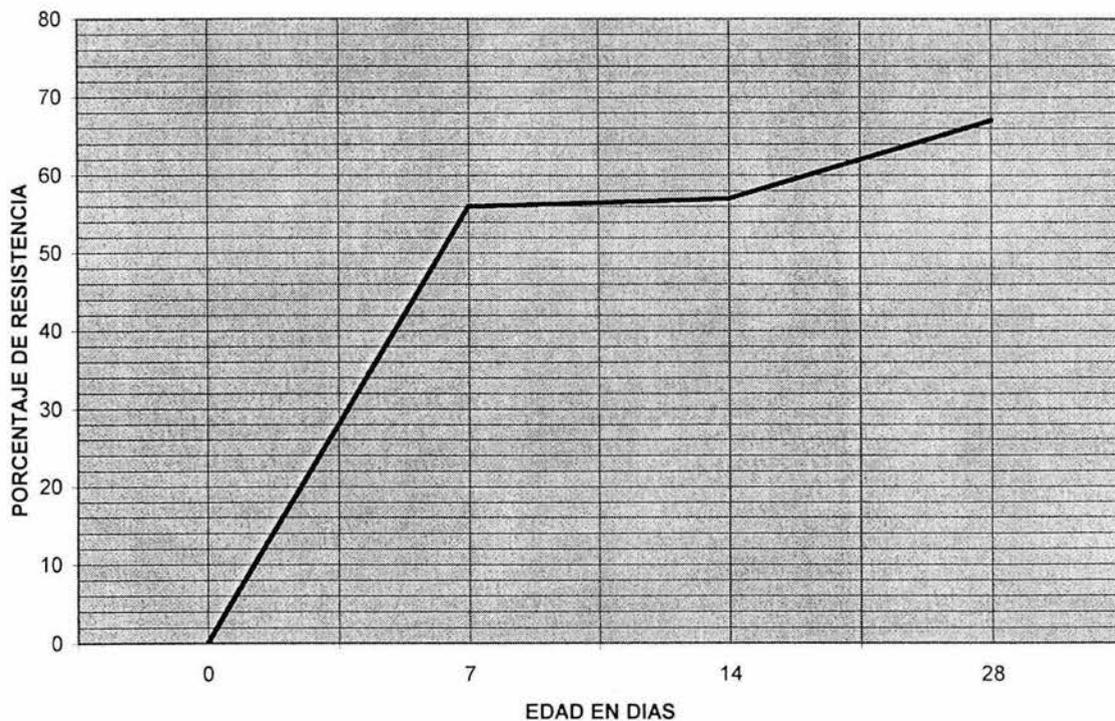
RESULTADOS DE PRUEBA.

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	f _c	Δ f _c	% f _c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
7	15	30	176.7	9800	56		56
14	15	30	176.7	10000	57	1	57
28	15	30	176.7	12000	67	10	67

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO
REVENIMIENTO = 2.5

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
PESO VOLUMÉTRICO = 1080 KG/M3

GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA DE PERLAS DE POLIESTIRENO



**MEZCLA DE PRUEBA No. 10 (PPIA)
 AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA DE ORIGEN INDUSTRIAL PERLAS DE POLIESTIRENO
 MODIFICADA CON ADITIVO INCLUSOR DE AIRE**

RESULTADOS DE PRUEBA.

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	f'c	Δ f'c	% f'c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
7	15	30	176.7	8750	50		50
14	15	30	176.7	9250	53	3	53
28	15	30	176.7	10500	59	6	59

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO

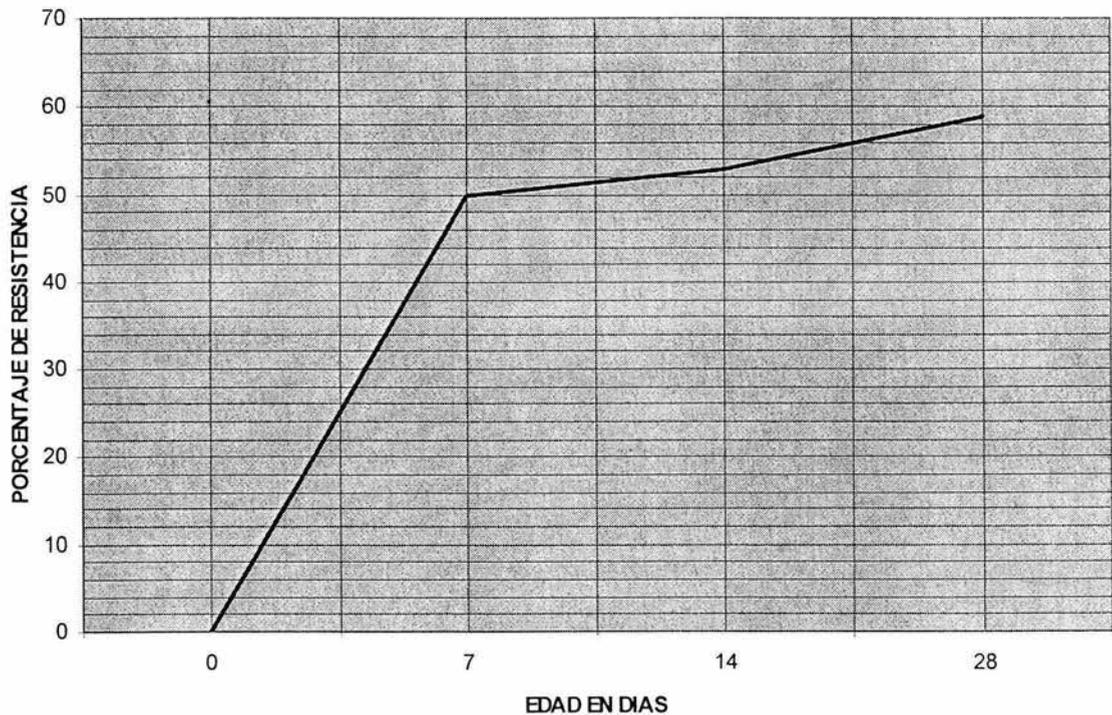
REVENIMIENTO = 4.0

CONTENIDO DE AIRE (%) = 8.0 %

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

PESO VOLUMÉTRICO = 1080 KG/M3

**GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA
 PERLAS DE POLIESTIRENO Y ADITIVO INCLUSOR DE AIRE**



**MEZCLA DE PRUEBA No. 15 (PPA)
 AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA INDUSTRIAL PERLAS DE POLIESTIRENO
 MODIFICADA CON ADITIVO ACELERANTE**

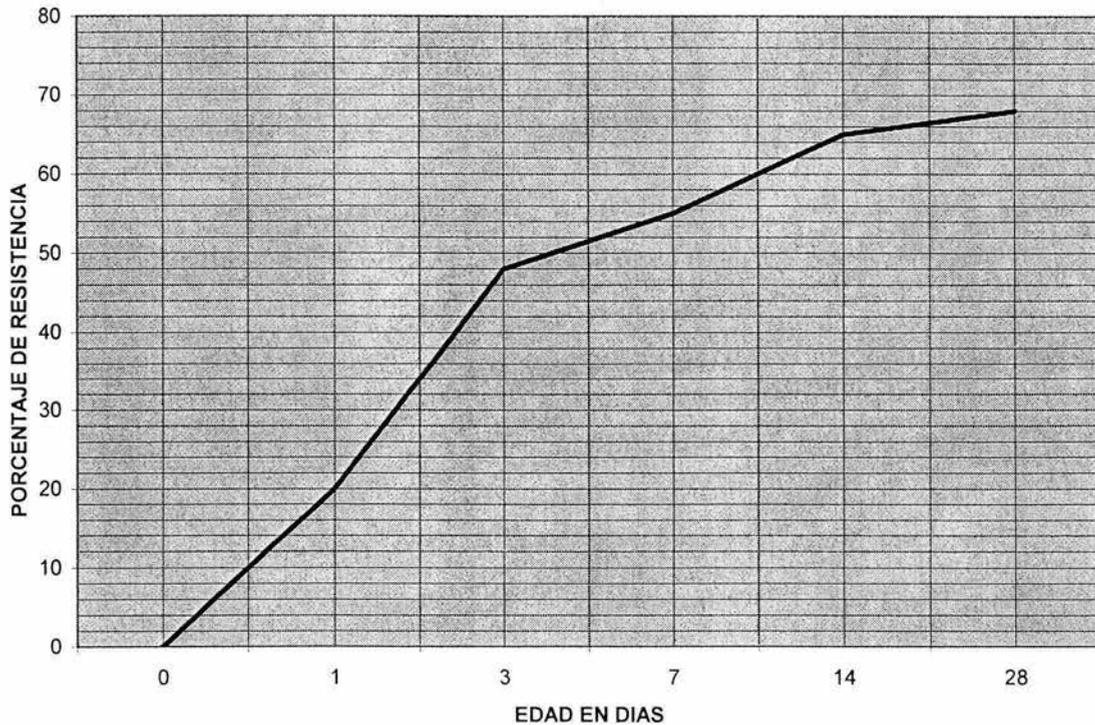
RESULTADOS DE PRUEBA

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	f'c	Δ f'c	% f'c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
1	15	30	176.7	3500	20		20
3	15	30	176.7	8500	48	28	48
7	15	30	176.7	9750	55	7	55
14	15	30	176.7	11500	65	10	65
28	15	30	176.7	12000	68	3	68

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO
 REVENIMIENTO = 3.0

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
 PESO VOLUMÉTRICO = 1080 KG/M3

**GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA
 PERLAS DE POLIESTIRENO Y ADITIVO ACELERANTE**



**MEZCLA DE PRUEBA No. 20 (PPRA)
 AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA DE ORIGEN INDUSTRIAL PERLAS DE POLIESTIRENO
 MODIFICADA CON ADITIVO REDUCTOR DE AGUA**

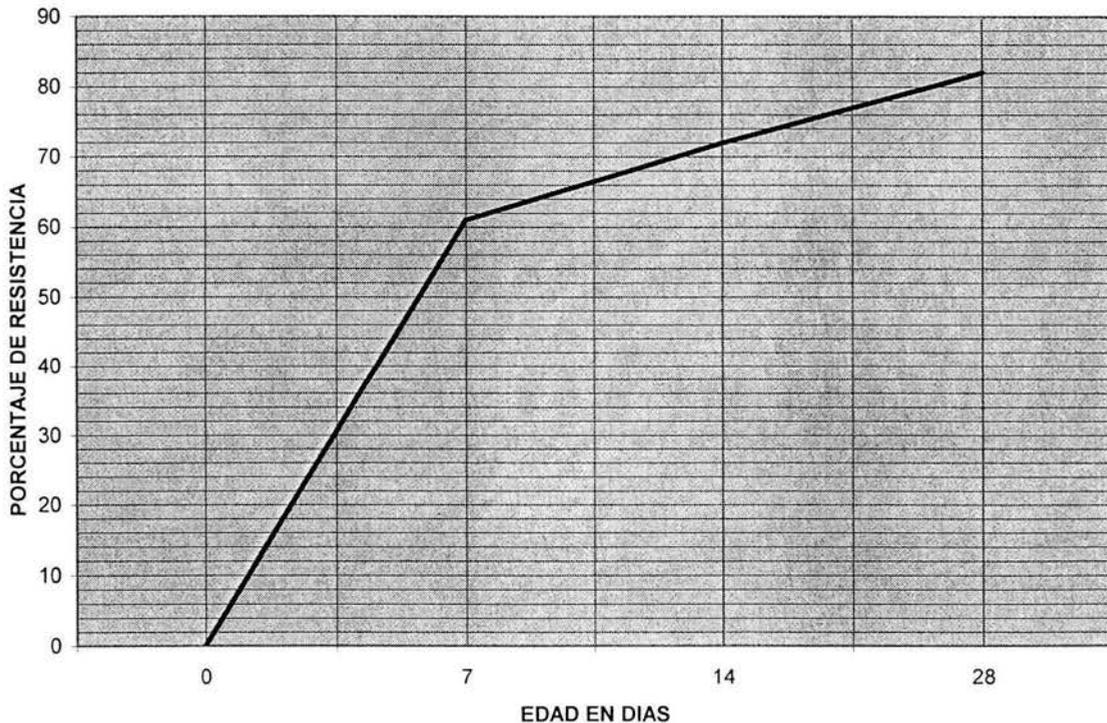
RESULTADOS DE PRUEBA

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	f'c	Δ f'c	% f'c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
7	15	30	176.7	10750	61		61
14	15	30	176.7	12750	72	11	72
28	15	30	176.7	14500	82	10	82

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO
 REVENIMIENTO = 3.0

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
 PESO VOLUMÉTRICO = 1080 KG/M3

**GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA
 PERLAS DE POLIESTIRENO Y ADITIVO REDUCTOR DE AGUA**



**MEZCLA DE PRUEBA No. 25 (PPF)
AGREGADOS DE ARENA ANDESITICA Y GRAVA INDUSTRIALPERLAS DE POLIESTIRENO MODIFICADA
CON ADITIVO "SÚPER FLUIDIFICANTE"**

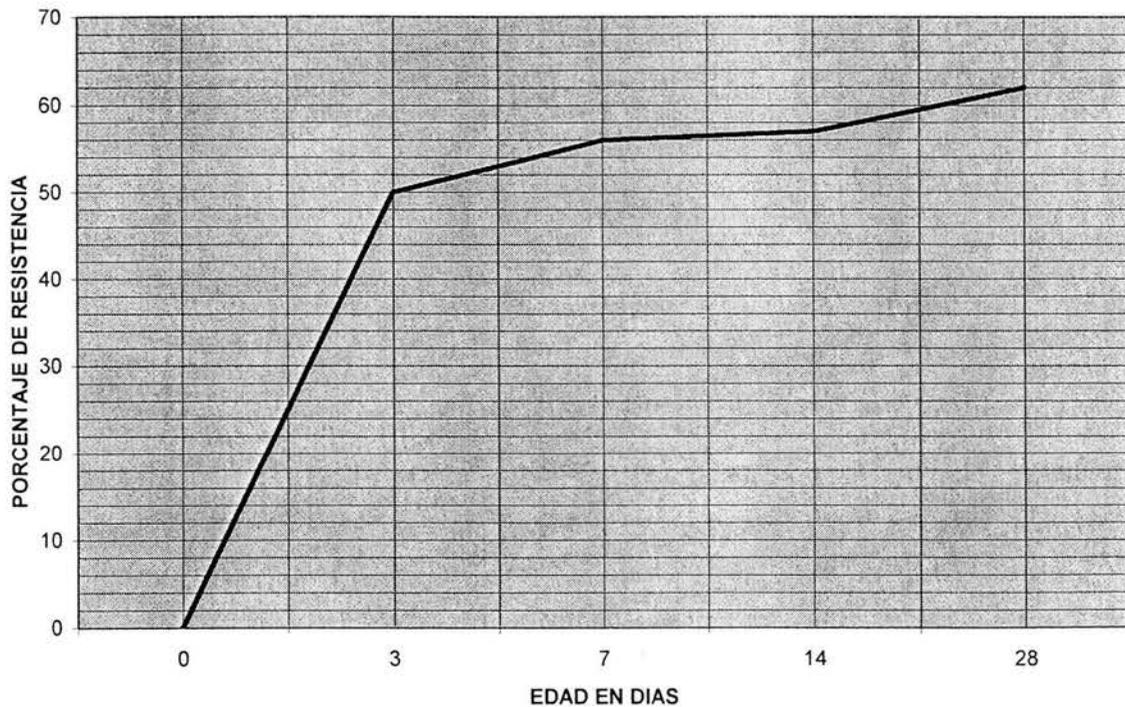
RESULTADOS DE PRUEBA

DATOS DEL ESPÉCIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	ÁREA	P	f'c	Δ f'c	% f'c
(días)	(cm.)	(cm.)	(cm ²)	(Kg.)	(Kg./cm ²)	(Kg./cm ²)	%
3	15	30	176.7	8750	50		50
7	15	30	176.7	9750	56	6	56
14	15	30	176.7	10000	57	1	57
28	15	30	276.7	11000	62	6	62

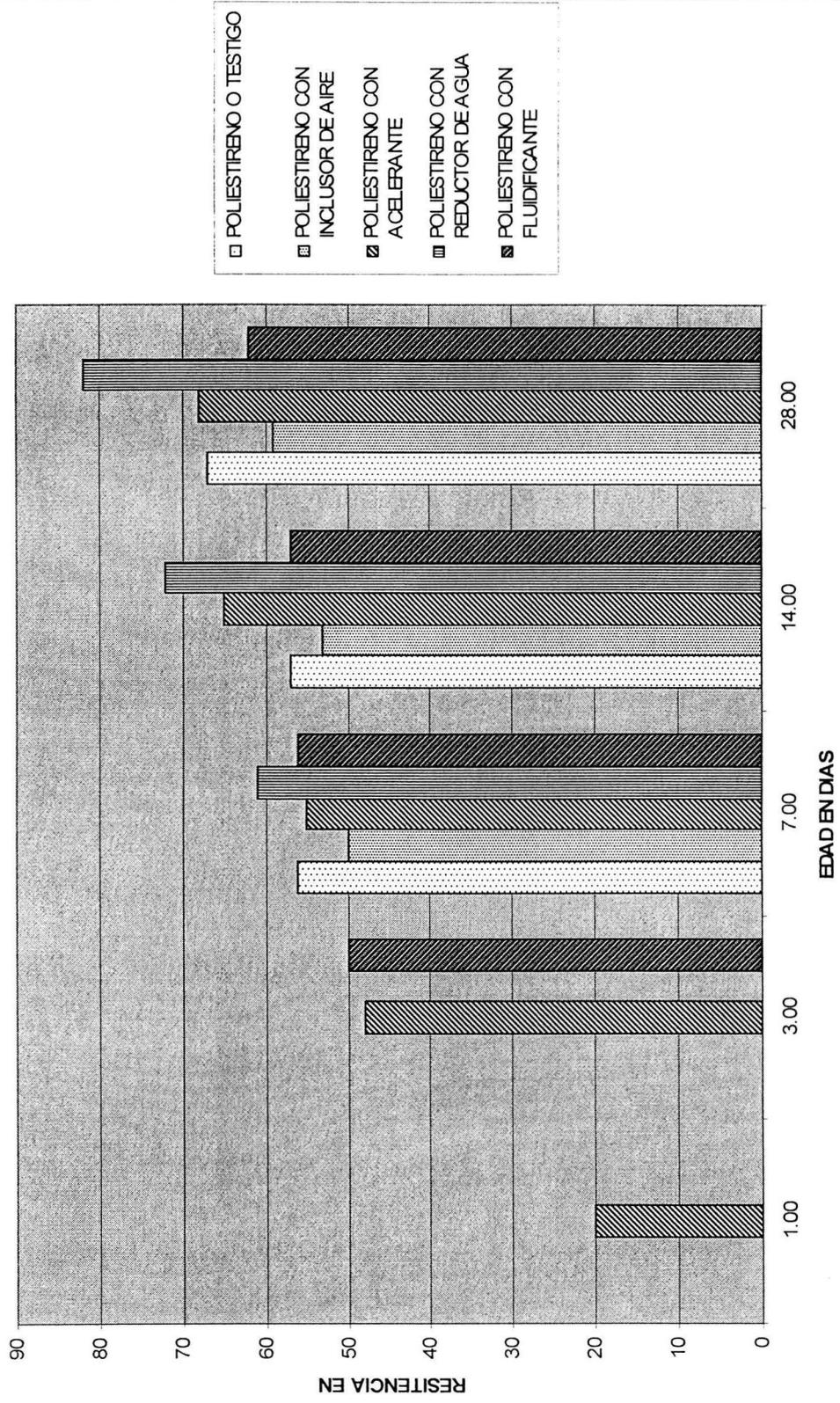
CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO
REVENIMIENTO = 10

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
PESO VOLUMÉTRICO = 1080 KG/M³

**GRAFICO DE LA CURVA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO CON GRAVA
PERLAS DE POLIESTIRENO Y ADITIVO "SUPERFLUIDIFICANTE"**



DESARROLLO DE LA RESITENCIA A LA COMPRESION PARA UN CONCRETO ELABORADO CON GRAVA DE ORIGEN INDUSTRIAL PERLAS DE POLIESTIRENO SIN ADITIVO Y CON LA INCLUSION DE UN ADITIVO.



GRAFICA DE BARRAS No. 5

VII. RECOMENDACIONES SOBRE LA ELABORACIÓN, COMPACTACIÓN, CURADO Y PRUEBAS DE CARGA AXIAL EN CILINDROS DE CONCRETO.

VII.1 GENERALIDADES

La normatividad de los Estados Unidos de Norteamérica dentro de la industria de la construcción, edita las normas y especificaciones para la elaboración de concretos, a través de la American Society For Testing and Materials (A.S.T.M.). Dado que dichas normas, mundialmente son reconocidas por tradición, a la fecha, son base principal de información para la elaboración de las Normas Mexicanas en el sector de la construcción, las cuales son reconocidas directamente por los organismos con experiencia en Normalización y Certificación del País, estos organismos son reconocidos bajo la Ley Federal de Metrología y Normalización, como el ONNCCE (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación), IMCYC (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.), dichos organismos analizan el marco normativo para poder seleccionar el más apropiado que requiera el país.

Para la elaboración de un concreto hidráulico con calidad, es necesario que todos sus componentes, incluyendo el concreto propiamente dicho, cumpla con ciertos requisitos de prueba, en apego a la Normatividad mexicana de la industria de la construcción vigente. Por lo que, en este trabajo se consideró necesario mencionar algunas recomendaciones normativas, en la fabricación de cilindros moldeados de concreto y su prueba destructiva de compresión simple.

VII.2 ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO EN EL LABORATORIO

Algunas de las recomendaciones que hace la norma NMX-C-159 "Elaboración y curado en el laboratorio de especímenes de concreto"; para elaborar, compactar y curar en el laboratorio, los especímenes de concreto utilizados para las pruebas de resistencia a la compresión, son las siguientes:

APARATOS Y EQUIPO A UTILIZAR

Moldes cilíndricos	De lámina metálica gruesa, provistos de base metálica y deberán cumplir con las dimensiones y tolerancias que se especifican en la norma NMX-C-159.
Varillas de acero con punta de bala	De 30 y 60 cm. con diámetro de 10 a 16 mm respectivamente.
Vibradores de inmersión	De flecha flexible o rígida con diámetro de cabezal de 20 a 40 mm.
Herramienta auxiliar	Palas, recipientes, llanas, enrasadores, cucharones, reglas, guantes de hule, flexómetro

	y charolas de lámina para mezclar.
Equipo de revenimiento	Este equipo deberá de cumplir con los requisitos de la norma NMX-C-156
Equipo para determinar el contenido de aire.	Por el método de presión; deberá cumplir con las especificaciones de la norma NMX-C-157.
Báscula	Deberá cumplir con las especificaciones de sensibilidad y tolerancia que marca la normatividad.
Mezcladora de concreto.	Mezcladoras de aspas con eje vertical u horizontal, mezcladora de tambor rotatorio y revolvedora basculante.

Preparación de los materiales a utilizar:

Las recomendaciones más importantes, que requisita la norma NMX-C-159 para la preparación de los materiales utilizados para la elaboración de los especímenes de concreto, son que deben mantenerse a un temperatura uniforme de preferencia entre 20° y 25° C, antes del mezclado del concreto.

Para el cemento la norma recomienda se almacene en un lugar seco y en recipientes metálicos y antes de su uso se deberán eliminar todos los grumos, cribándolo por una malla fina (1.19 mm).

Los agregados deben ser preparados antes de incorporarlos a la mezcla de concreto, conforme a lo dispuesto en la norma en cuestión, esto para asegurar una condición definida y uniforme de humedad.

Para agregados con capacidad normal de absorción, los procedimientos para obtener el peso específico y la absorción están determinados por las normas NMX-C-164 para agregado grueso y NMX – c - 165 para agregado fino y complementado con las siguientes normas:

Norma NMX-C-166	“Determinación del contenido total de humedad de los agregados mediante secado”.
Norma NMX-C-245	“Determinación de la humedad superficial del agregado fino”.

Los agregados ligeros; tales como las escorias enfriadas con aire y algunos agregados naturales de alta porosidad o vesiculares, pueden ser tan absorbentes que se dificultarían los procedimientos descritos en las normas antes citadas.

Los aditivos solubles en agua y los de consistencia líquida deben ser agregados a la revoltura en forma de solución, en el agua de mezclado. La cantidad que se emplee de tal solución se debe incluir en el cálculo del contenido de agua del concreto.

Los aditivos que sean incompatibles en forma concentrada, tales como soluciones de cloruro de calcio (acelerantes) y algunos inclusores de aire y retardantes, no deben ser mezcladas entre sí antes de ser agregadas al concreto.

El tiempo y el método para agregar algunos aditivos a una revoltura de concreto pueden ocasionar efectos de importancia sobre algunas de las propiedades del mismo, tales como el tiempo de fraguado y el contenido de aire.

Especímenes cilíndricos a utilizar

Los especímenes cilíndricos (Tipo 1 según clasificación de la norma en cuestión) se elaboran para las pruebas de compresión con un diámetro de 15 cm. y 30 cm. de longitud y dejarse endurecer con el eje del cilindro en posición vertical.

La cantidad de especímenes y de mezclas de prueba depende de las prácticas establecidas y de la naturaleza del programa de prueba. En general se deben preparar tres o más especímenes para cada edad y para cada condición de prueba.

La elaboración de toda la serie de especímenes se debe completar en el menor número posible de días, y una de las mezclas se debe repetir como patrón de ajuste.

Las edades de prueba a la resistencia a la compresión comúnmente empleados son: 7 y 28 días para cilindros de concreto normal y 1, 3,7 y 28 días de edad para los especímenes elaborados con algún tipo de Aditivo que les de rápida resistencia alta.

Procedimiento para la elaboración, compactación y curado

La presente norma recomienda se mezcle el concreto en un revolvedora apropiada, o en su defecto a mano.

El mezclado a mano no es recomendable para concreto con aire incluido o concreto con revenimiento cero y deberá limitarse a revolturas con volumen máximo de 7 litros.

Algunas sugerencias par un buen mezclado por medios mecánicos son los siguientes:

Antes de iniciar la operación de la revolvedora se añada el agregado grueso, parte del agua de mezclado y la solución de aditivos, cuando esta se requiera; se debe recordar que cuando sea factible el aditivo puede ser disuelto en el agua de mezclado antes de agregarla, se inicia la operación de la revolvedora y luego se añade el agregado fino, el cemento y el agua mientras gira la olla; se mezcla el concreto durante 3 minutos, después de haber cargado todos los ingredientes, seguido de un descanso de 3 minutos; se termina con otro periodo de mezclado de 2 minutos.

Se tapa la boca de la revolvedora durante el periodo de descanso para evitar la evaporación.

Para un buen mezclado a mano, se deberá mezclar la revoltura en una charola, limpia y húmeda con una cuchara de albañil, empleando el siguiente procedimiento:

Se mezcla el cemento, el aditivo insoluble, en caso de requerirse, y el agregado fino, hasta lograr una combinación uniforme.

Se añade el agregado grueso y se mezcla toda la revoltura, hasta lograr su distribución uniforme.

Se agrega el agua y la solución del aditivo ó agua y aditivo combinado según el caso, y se mezcla hasta obtener un concreto homogéneo en apariencia y de la consistencia deseada.

Una vez, terminado el mezclado de la revoltura ya sea mecánica o manualmente, de la revoltura del concreto se obtienen la muestras para la elaboración de los especímenes.

Antes de la colocación del concreto fresco en los moldes, se deberá de medir el revenimiento de este, inmediatamente después de mezclado, de acuerdo con la norma NMX-C-156. Esta prueba no es apropiada para concretos con revenimiento inferior a 6 mm. También se determina el contenido de aire, cuando se requiera, de acuerdo con cualquiera de los métodos establecidos en la norma NMX-C-157.

El concreto empleado para la determinación del contenido de aire se deberá de desechar.

Los especímenes se deberán elaborar lo más cerca posible al lugar en donde deben ser almacenadas durante las primeras 24 horas.

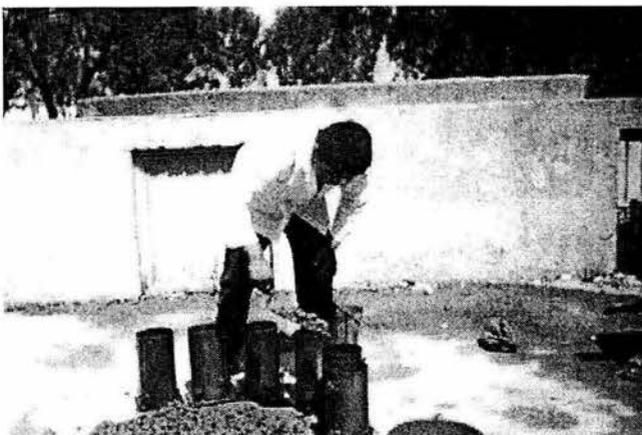
Se coloca el concreto en los moldes usando un cucharón, cuchara de albañil sin filo o una pala. Puede ser necesario el premezclado del concreto en la charola, con pala o con cuchara para evitar la segregación durante el moldeo de los especímenes.

Compactación de especímenes de concreto

La elaboración de especímenes adecuados requiere el empleo de diferentes métodos de compactación. Los métodos de compactación son el varillado y vibrado interno o externo. En este caso por tratarse de especímenes cilíndricos de 15 cm. de diámetro y 30 cm. de altura el método elegido es un varillado y su procedimiento de compactación se describe a continuación.

Se coloca el concreto dentro del molde, llenado y compactado en tres capas de 10 cm. cada una. Se varilla cada capa de 10 cm. cada una. Se varilla cada capa con una varilla de acero punta de bala de 16 mm de diámetro con un número de varillados de 25 penetraciones por capa, distribuyendo los golpes uniformemente en toda la sección transversal del molde, permitiendo que la varilla penetre aproximadamente 2 cm.

FOTOGRAFÍAS No. 7.1 y 7.2 Colocación y compactación por el método de varillado



Inmediatamente terminado el varillado de compactación, se termina la superficie superior enrasándolo con la misma varilla, si lo permite la consistencia, o con un enrasador de madera o cuchara quedando lista para su curado.

Curado de especímenes de concreto

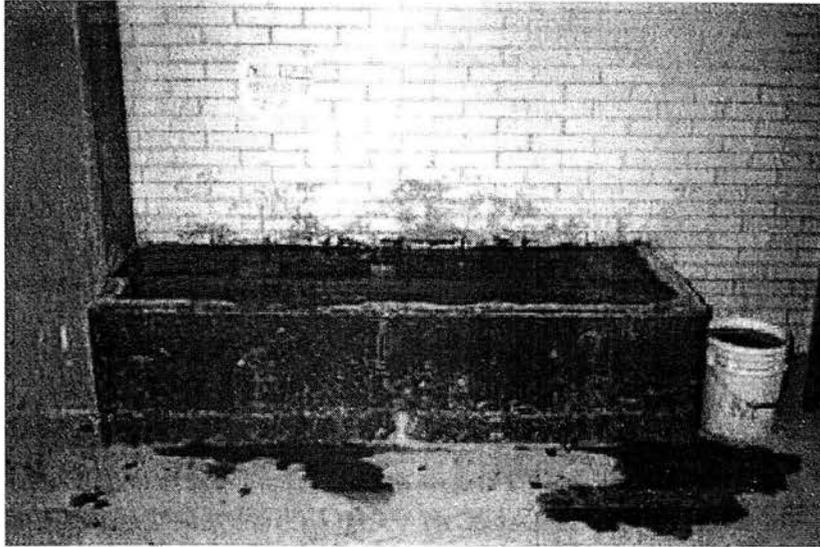
Para evitar la evaporación del agua de los especímenes de concreto sin fraguar, se deben cubrir inmediatamente después de terminado, de preferencia con una placa no absorbente y no reactiva o con una tela de plástico resistente, durable e impermeable. Se puede emplear yute húmedo, pero debe cuidarse de mantenerlo con humedad hasta que los especímenes sean extraídos de los moldes. Los especímenes deben ser extraídos de los moldes no antes de 20 ni después de 48 horas de su elaboración.

FOTOGRAFÍA No. 7.3 Protección con curacreto.



A menos que se especifique otro método, todos los especímenes deben ser curados en humedad a temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, desde el momento de su elaboración hasta el momento de la prueba. Con relación a los especímenes extraídos de los molde, el curado húmedo significa que los especímenes de prueba deben mantenerse con agua libre en su superficie en todo momento. Esta condición se logra por inmersión en agua saturada con cal, o por almacenamiento en un cuarto húmedo o gabinete que cumpla con los requisitos de la norma NMX-C-148 "Requisitos de gabinetes y cuartos húmedos para las pruebas de cementantes y concretos hidráulicos. Los especímenes no deben ser expuestos a goteo o agua corriente.

FOTOGRAFÍA No. 7.4 Curado de especímenes por inmersión en agua



VII.3 CABECEO DE CILINDROS DE CONCRETO

Para un correcto cabeceo de cilindros, se recomienda la Norma Mexicana NMX – C – 109 –ONNCCE – 2004, la cual establece los aparatos, materiales y procedimientos para cabecear cilindros de concreto recién elaborados con mortero de azufre de alta resistencia. Por lo que se describe a continuación el procedimiento empleado en esta práctica.

Aparatos y dispositivos

Para cabecear con mortero de azufre según especificaciones se emplean platos metálicos, cuyo diámetro debe ser por lo menos 5.0 mm mayor que el del espécimen por cabecear, y su superficie de asiento no debe apartarse de un plano en más de 0.05 mm en 150 mm

La superficie de los platos debe estar libre de estrías, ranuras o depresiones mayores de 0.25 mm de profundidad en 32 mm² de su área. El espesor mínimo de la placa debe ser por lo menos 13 mm. En ningún caso debe reducir la depresión en el espesor mínimo mencionado.

Deben emplearse dispositivos de alineamiento tales como barras guía, en unión con las placas de cabeceo, para asegurar que ni una sola placa se aparte de la perpendicular al eje del espécimen cilíndrico en más de 0.5 grados (aproximadamente 3 mm en 300 mm).

Los recipientes sometidos a calor externo (parrilla), estos deben ser fabricados o forrados de un material que no sea reactivo con el azufre fundido.

Materiales

Los especímenes endurecidos que hayan sido curados con humedad, deben ser cabeceados con mortero de azufre, por lo que tal material debe cumplir los siguientes requisitos:

- Los morteros de azufre comerciales o preparados en el laboratorio deben endurecerse en 2 horas

- El azufre debe tener una resistencia mínima a la compresión a las 2 horas de edad de 350 kg/cm².
- El mortero de azufre se deberá fundir a una temperatura que oscile entre los 130 y 150 grados centígrados
- El azufre se contrae debido a su enfriamiento.

Procedimiento para un cabeceo con mortero de azufre.

Las superficies cabeceadas de los especímenes para compresión deben ser planas, dentro de una tolerancia de 0.05 mm, independientemente del diámetro. Las bases de los cilindros que no se encuentren dentro de esta tolerancia, deben ser cabeceadas, cortadas o pulidas. Las capas de cabeceo deben tener alrededor de 3 mm de espesor y ninguna parte de las mismas debe tener un espesor mayor de 5 mm. Se deberá eliminar cualquier material que interfiera con la adherencia de la capa de cabeceo.

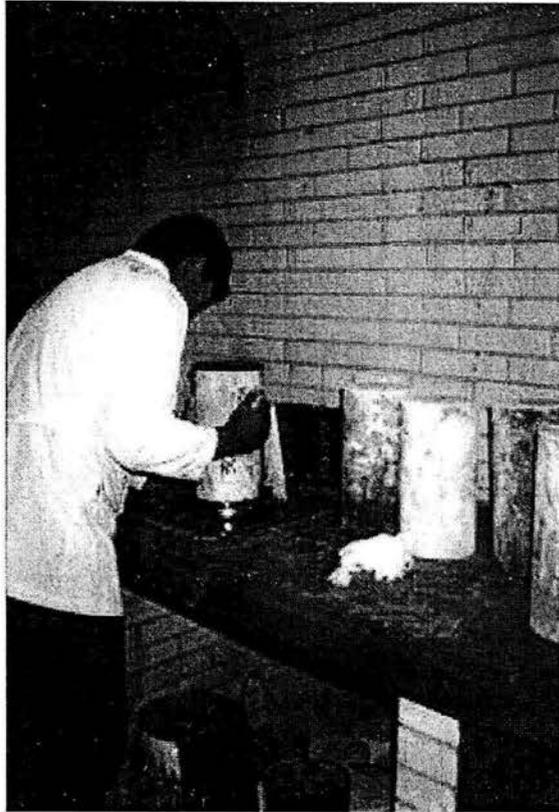
El procedimiento para un cabeceo con mortero de azufre se inicia con la preparación del azufre para su empleo calentándolo a 140 grados centígrados más o menos 10 grados, se deberá colocar en los recipientes apropiados la cantidad de azufre necesaria para cabecear los especímenes considerados, eliminando el material sobrante antes de volverlos a llenar.

El plato o los dispositivos para el cabeceo deben ser calentados ligeramente antes de emplearse para disminuir la velocidad de endurecimiento y permitir la formación de capas delgadas. Lubríquese ligeramente la placa y agítase el mortero de azufre inmediatamente antes de vaciar cada capa. Las bases de los especímenes curados en forma húmeda deben de estar lo suficientemente secas en el momento del cabeceo para evitar que dentro de dichas capas se formen burbujas de vapor de más de 6 mm de diámetro. Para asegurar que la capa se ha adherido a la superficie del espécimen, la base de este no debe ser aceiteada antes de la aplicación de la capa.

Debe restringirse a un máximo de 10 veces el empleo repetido del mismo material, ya que se disminuye la resistencia y la fluidez del mortero contaminado.

Los especímenes deben ser mantenidos en condiciones húmedas durante el tiempo transcurrido entre el terminado del cabeceo y el momento de la prueba, protegiéndolos con una manta húmeda para evitar la evaporación.

FOTOGRAFÍA No. 7.5 Cabeceo de cilindros de concreto con mortero de azufre.



VII.4 PRUEBAS DE CARGA AXIAL EN CILINDROS DE CONCRETO

El método de prueba para la determinación de la resistencia a la compresión de cilindros se especifica en la Norma Mexicana NMX – C – 083 –ONNCCE – 2002, la cual establece el equipo, verificación, procedimiento de ensaye, cálculos e informe de la prueba para obtener la resistencia a la compresión de los elementos mencionados con una precisión adecuada.

Equipo y verificación

La maquina de prueba puede ser de cualquier tipo, con capacidad suficiente y que pueda funcionar a la velocidad de aplicación de la carga, la cual debe estar dentro del intervalo de 84 a 210 kg/cm²/min., sin producir impactos ni perdidas de carga.

Si la carga de una maquina para ensaye a compresión, se registra en una carátula, esta debe ser provista de una escala graduada que se pueda leer por lo menos con una aproximación de 2.5% de la carga aplicada, es recomendable mantener la uniformidad de la graduación en la escala de toda la carátula.

Las maquinas con sistema digital deben estar equipadas con un dispositivo que registre la carga máxima aplicada.

La verificación de la precisión de las maquinas de prueba debe realizarse de acuerdo a la norma NMX – CH – 27. La maquina debe calibrarse inicialmente antes de ser puesta en

operación y posteriormente en forma interna cada 2000 cilindros, lo cual podrá ampliarse hasta 12,000, si no se detectan desviaciones. Estas maquinas deben calibrarse por un laboratorio autorizado por lo Dirección General de Normas cada año como máximo. Además, debe realizarse esta operación inmediatamente después de que se efectúen reparaciones o ajustes en los mecanismos de medición y cada vez que se cambie de sitio o que por alguna razón se dude de la exactitud de los resultados, sin importar cuando se efectuó la ultima verificación.

FOTOGRAFÍA No. 7.6 Carga de una maquina, para ensaye a compresión.



Procedimiento de ensaye

Se limpian las superficies de las placas superior e inferior y las cabezas del espécimen de prueba; se coloca este último sobre la placa inferior alineando su eje cuidadosamente con el centro de la placa de carga con asiento esférico, mientras la placa superior se baja hacia el espécimen asegurándose que se tenga un contacto suave y uniforme.

Debe aplicarse la carga con una velocidad uniforme y continua tal como se menciono anteriormente. No deben hacerse ajustes en los controles de las maquinas de prueba operadas con motor, ni tratar de aumentar o disminuir la velocidad de aplicación de carga en las manuales, cerca de las zonas de falla.

Se aplica la carga hasta alcanzar la máxima, registrándola. Cuando sea necesario, podrá llevarse hasta la falla anotando tipo de falla y apariencia del concreto. Es recomendable colocar en la maquina, dispositivos de seguridad para evitar daños a los operadores durante la falla del espécimen. Las edades de prueba de los especimenes deben ser de 24, hrs., 3, 7, 14, 28 y 90 días.

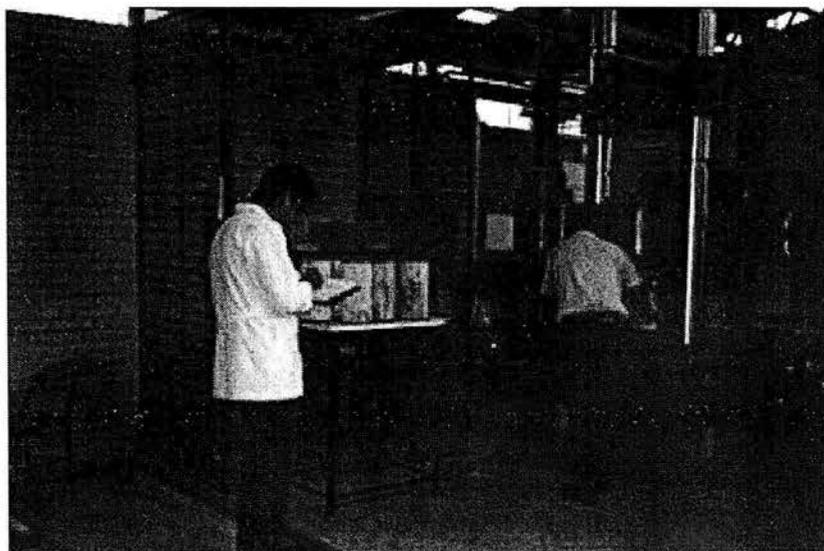
Cálculos e informe de la prueba

Se calcula la resistencia a la compresión del espécimen dividiendo la carga máxima soportada durante la prueba entre el área promedio de la sección transversal determinada con el diámetro medido, el resultado de la prueba se expresa con una aproximación de 100 kPa (1 kgf/cm²).

El registro de los resultados debe incluir los datos siguientes

- Clave de identificación del espécimen
- Edad nominal del espécimen.
- Diámetro y altura en cm., con aproximación a mm
- Área de la sección transversal, en cm^2 , con aproximación al décimo
- Masa del espécimen en Kg.
- Carga máxima en Newton (kgf)
- Resistencia a la compresión, calculada con aproximación de 100 kPa (1 kgf/cm²)
- Descripción de la falla
- Defectos observados en el espécimen o en sus cabezas.

FOTOGRAFÍA No. 7.7 Control y registro de resultados de pruebas



VIII. CONCLUSIONES

Dentro de las conclusiones, externaremos nuestros comentarios de las comparaciones de los resultados de las veinticinco mezclas de prueba, realizadas de acuerdo al objetivo del presente trabajo de tesis. Se compararon las cinco mezclas de prueba normal o "testigo" (sin aditivos), con las mezclas de prueba modificadas con la adición de un aditivo (ver tablas 6.1 y 6.2), haciendo comentarios del concreto en su estado fresco y en su estado endurecido. Hablaremos de las diferencias observadas en los especímenes de concreto y de su resistencia final a los 28 días, para posteriormente describir las diferencias de porcentaje de resistencia a la compresión de acuerdo con el agregado grueso utilizado, y por último indicaremos algunas aplicaciones de estos concretos en diferentes obras y, la conclusión final.

VIII.1 COMPORTAMIENTO FÍSICO Y MECÁNICO DE LAS MEZCLAS DE PRUEBA Y DE LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO

Comportamiento mecánico de los especímenes de concreto

MEZCLA "TESTIGO" No. 1 CONCRETO CON GRAVA BASALTICO ANDESITICA SIN ADITIVO Y MODIFICADA CON UN ADITIVO.

- La mezcla "testigo" tiene una resistencia muy cercana al 100% a los 28 días, y al adicionarse un aditivo esta se modifica en su resistencia final.
- Al incorporar a la mezcla el aditivo *inclusor de aire*, esta adquiere mayor trabajabilidad, pero su resistencia final se ve disminuida hasta en un 20%, por lo que se debe tener en cuenta esta condición al usar este tipo de aditivos y diseñar la mezcla con un factor que garantice el 100% de la resistencia requerida en un proyecto dado o considerar el diseño para concretos con aire incluido.
- Los aditivos *acelerante y reductor de agua* incrementan la resistencia final a los 28 días, esta condición se da debido a que el fabricante del aditivo acelerante recomienda disminuir el agua de mezclado en un 5%, además de que el fraguado de la mezcla es más rápido, por lo que el desarrollo de la resistencia a la compresión es mayor y se alcanza una resistencia de aproximadamente 110% a la de diseño, en cuanto a lo reductor de agua es necesario disminuir el agua de mezclado hasta en un 10% por lo que su relación agua cemento se incrementa teniendo una mezcla que al adicionarle el aditivo mencionado, no pierde su consistencia o trabajabilidad y que adquiere una resistencia aproximada del 120% de la de diseño.
- La mezcla con aditivo *superfluidificante* conserva la resistencia final a los 28 días y únicamente modifica la trabajabilidad de la mezcla en su estado fresco, dando una alta fluidez a la mezcla. Llegando a una resistencia final de 105 % de la de diseño.

MEZCLA "TESTIGO" No. 2 CONCRETO CON GRAVA ANDESITICA SIN ADITIVO Y MODIFICADA CON UN ADITIVO.

- La mezcla testigo tiene una resistencia muy cercana al 100% a los 28 días, y al adicionarse un aditivo esta se modifica en su resistencia final.
- Al incorporar a la mezcla el aditivo inclusor de aire, esta adquiere mayor trabajabilidad, pero su resistencia final se ve disminuida hasta en un 5%, por lo que se debe tener en cuenta esta condición al usar este tipo de aditivos y diseñar la mezcla con un factor que garantice el 100% de la resistencia requerida en un proyecto dado o considerar el diseño para concretos con aire incluido.
- Los aditivos acelerante y reductor de agua incrementan la resistencia final a los 28 días, esta condición se da debido a que el fabricante del aditivo acelerante recomienda disminuir el agua de mezclado en un 5%, además de que el fraguado de la mezcla es mas rápido, por lo que el desarrollo de la resistencia a la compresión es mayor y se alcanza una resistencia de aproximadamente 105% a la de diseño, en cuanto a lo reductor de agua es necesario disminuir el agua de mezclado hasta en un 10% por lo que su relación agua cemento se incrementa teniendo una mezcla que al adicionarle el aditivo mencionado, no pierde su consistencia o trabajabilidad y que adquiere una resistencia aproximada del 115% de la diseño.
- La mezcla con aditivo superfluidificante conserva la resistencia final a los 28 días y únicamente modifica la trabajabilidad de la mezcla en su estado fresco, dando una alta fluidez a la mezcla. Llegando a una resistencia final de 105 % de la de diseño.

MEZCLA "TESTIGO" No. 3 CONCRETO CON GRAVA TEZONTLE SIN ADITIVO Y MODIFICADA CON UN ADITIVO.

- La mezcla testigo tiene una resistencia muy cercana al 80% a los 28 días, y al adicionarse un aditivo esta se modifica en su resistencia final.
- Al incorporar a la mezcla el aditivo inclusor de aire, esta adquiere mayor trabajabilidad, pero su resistencia final se ve disminuida hasta en un 3%, por lo que se debe tener en cuenta esta condición al usar este tipo de aditivos y diseñar la mezcla con un factor que garantice el 100% de la resistencia requerida en un proyecto dado o considerar el diseño para concretos con aire incluido.
- Los aditivos acelerante y reductor de agua incrementan la resistencia final a los 28 días, esta condición se da debido a que el fabricante del aditivo acelerante recomienda disminuir el agua de mezclado en un 5%, además de que el fraguado de la mezcla es mas rápido, por lo que el desarrollo de la resistencia a la compresión es mayor y se alcanza una resistencia de aproximadamente 83 % a la de diseño, en cuanto a lo reductor de agua es necesario disminuir el agua de mezclado hasta en un 10% por lo que su relación agua cemento se incrementa teniendo una mezcla que al adicionarle el aditivo mencionado, no pierde su consistencia o trabajabilidad y que adquiere una resistencia aproximada del 82% de la diseño.
- La mezcla con aditivo superfluidificante conserva la resistencia final a los 28 días y únicamente modifica la trabajabilidad de la mezcla en su estado fresco, dando una alta fluidez a la mezcla. Llegando a una resistencia final de 83 % de la de diseño.

- Por ultimo los resultados obtenidos en esta mezcla son paramétricos, debido a que la variación de la resistencia es mínima. Por lo que podemos inferir que los aditivos tienen una acción mínima en la resistencia final de la mezcla de prueba No. 3

MEZCLA "TESTIGO" No. 4 CONCRETO CON GRAVA PÓMEZ SIN ADITIVO Y MODIFICADA CON UN ADITIVO.

- La mezcla testigo tiene una resistencia un poco mayor al 50% a los 28 días, y al adicionarse un aditivo esta se modifica en su resistencia final.
- Al incorporar a la mezcla el aditivo inclusor de aire, esta adquiere mayor trabajabilidad, pero su resistencia final se ve disminuida hasta en un 5%, por lo que se debe tener en cuenta esta condición al usar este tipo de aditivos y diseñar la mezcla con un factor que garantice el 100% de la resistencia requerida en un proyecto dado o considerar el diseño para concretos con aire incluido.
- El aditivo acelerante de fraguado no desarrollo una mayor resistencia final que la mezcla testigo alcanzando apenas el 48% de la mezcla de diseño y menor en 5% de la mezcla testigo.
- el aditivo reductor de agua incremento la resistencia final de la mezcla de prueba llegando a más del 65% de la de diseño.
- La mezcla con aditivo superfluidificante disminuyo la resistencia final a los 28 días comparada con la mezcla testigo y modifica la trabajabilidad de la mezcla en su estado fresco, dando una alta fluidez a la mezcla. Llegando a una resistencia final de 47 % de la de diseño.
- Comentamos que los aditivos incorporados a la mezcla de prueba no modifican la resistencia final de esta a diferencia del aditivo reductor de agua. Sino al contrario disminuyen esta resistencia en un 5 a 7% aproximadamente.
- Como hipótesis de la disminución de resistencia se pudiera deber a una adición de agua del agregado grueso saturado que se guarda en los poros de la superficie del agregado, es decir estos presentan huecos a manera de pelota de golf, los cuales guardan agua al ser saturados y que aportan a la mezcla de manera que los huecos de la superficie son rellenados con los materiales finos de la mezcla.

MEZCLA "TESTIGO" No. 5 CONCRETO CON GRAVA DE PERLAS DE POLIESTIRENO SIN ADITIVO Y MODIFICADA CON UN ADITIVO.

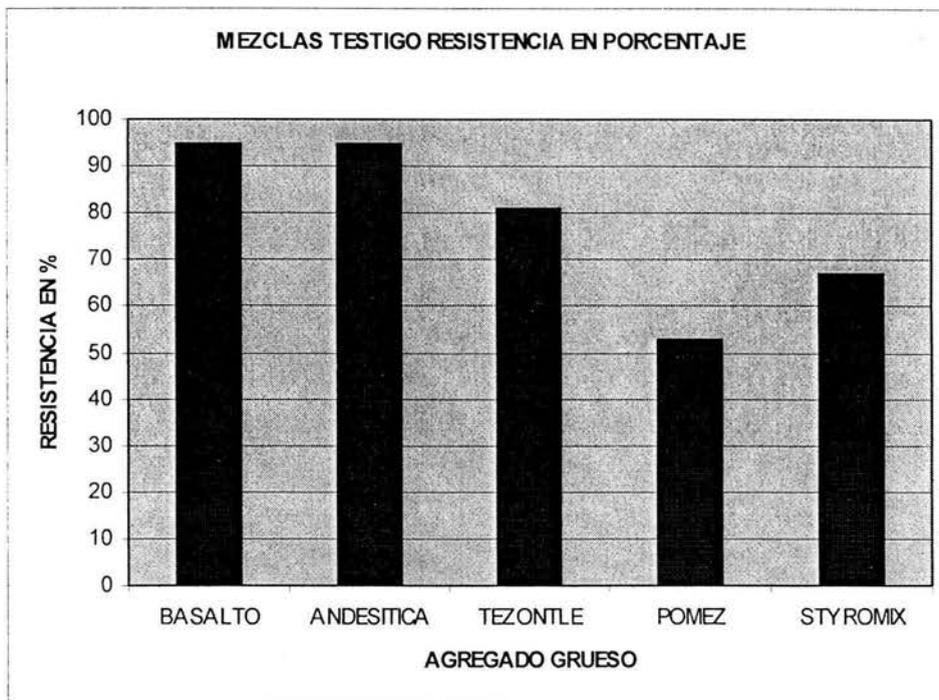
- La mezcla testigo tiene una resistencia un poco mayor al 65% a los 28 días, y al adicionarse un aditivo esta se modifica en su resistencia final.
- Al incorporar a la mezcla el aditivo inclusor de aire, esta adquiere mayor trabajabilidad, pero su resistencia final se ve disminuida hasta en un 7%, por lo que se debe tener en cuenta esta condición al usar este tipo de aditivos y diseñar la mezcla con un factor que garantice el 100% de la resistencia requerida en un proyecto dado o considerar el diseño para concretos con aire incluido.
- El aditivo acelerante de fraguado desarrollo una mayor resistencia final que la mezcla testigo alcanzando el 68% de la mezcla de diseño.
- el aditivo reductor de agua incremento la resistencia final de la mezcla de prueba llegando a más del 82% de la de diseño.
- La mezcla con aditivo superfluidificante disminuyo la resistencia final a los 28 días comparada con la mezcla testigo y modifica la trabajabilidad de la mezcla en su

estado fresco, dando una alta fluidez a la mezcla. Llegando a una resistencia final de 62 % de la de diseño.

- Comentamos que los aditivos incorporados a la mezcla de prueba no modifican la resistencia final de esta a diferencia del aditivo reductor de agua. Sino al contrario disminuyen esta resistencia en un 5 a 7% aproximadamente.

Variación del porcentaje de resistencia de acuerdo al agregado usado

Al crear una grafica en la que observamos las cinco mezclas testigo con la resistencia final obtenida podemos observar lo siguiente



- Los porcentajes de resistencia alcanzados para los agregados pesados fue muy cercana al 100% de la mezcla de diseño. Para las mezclas con agregados ligeros se ve disminuido el porcentaje de resistencia aunque no es una regla lineal, ya que el porcentaje de resistencia para la mezcla con perlas de poliestireno fue mayor que el diseñado con piedra pómez.
- Por lo anterior comentamos que el agregado aporta elementos mecánicos a la mezcla para obtener un porcentaje de resistencia final, el cual es mayor si se usan agregados de mayor resistencia en sus características mecánicas.
- Se debe tener en cuenta el agregado usado para poder considerar diferentes factores de sobre diseño y así obtener una resistencia final adecuada al proyecto efectuado.

Comportamiento físico de las mezclas de prueba.

Los diferentes concretos diseñados (Mezclas "Testigos"), así como la adición de diferentes aditivos dieron a las mezclas de prueba modificadas diversas características tanto en la consistencia, contenido de aire, peso volumétrico, así como un control de calidad diferente para cada una de ellas. Por lo que se hacen comentarios a cada mezcla de prueba modificada comparada con la mezcla "testigo" de referencia de la siguiente manera:

MEZCLA "TESTIGO" No. 1

- La consistencia de la mezcla fue de una fluidez normal con un revenimiento de diseño de 2.5 a 5 cm. entrando dentro de este rango y alcanzando una alta fluidez con la adición del aditivo superfluidificante llegando a más de 10 cm. de revenimiento.
- La densidad de la mezcla fue muy cercana a los 2500 Kg./m³, por lo que se considera una mezcla adecuada para elaborar un concreto estructural o pesado.
- El contenido de aire al aplicarle un aditivo inclusor de aire fue del 3%.

MEZCLA "TESTIGO" No.2

- La consistencia de la mezcla fue de una fluidez normal con un revenimiento de diseño de 2.5 a 5 cm. Resultando un revenimiento de 6.5 entrando dentro de la tolerancia que según la Norma mexicana es de ± 2.5 y alcanzando una alta fluidez con la adición del aditivo superfluidificante llegando a más de 20 cm. de revenimiento.
- La densidad de la mezcla fue muy cercana a los 2200 Kg./m³, por lo que se considera una mezcla adecuada para elaborar un concreto estructural.
- El contenido de aire al aplicarle un aditivo inclusor de aire fue del 3%.

MEZCLA "TESTIGO" No.3

- La consistencia de la mezcla fue de una fluidez normal con un revenimiento de diseño de 2.5 a 5 cm. Resultando un revenimiento de 4.0 entrando dentro de este rango y alcanzando una alta fluidez con la adición del aditivo superfluidificante llegando a más de 15 cm. de revenimiento.
- La densidad de la mezcla fue muy cercana a los 1900 Kg./m³, por lo que se considera una mezcla adecuada para elaborar un concreto estructural ligero.
- El contenido de aire al aplicarle un aditivo inclusor de aire fue del 4.5%.

MEZCLA "TESTIGO" No.4

- La consistencia de la mezcla fue de una fluidez normal con un revenimiento de diseño de 2.5 a 5 cm. Resultando un revenimiento de 4.0 entrando dentro de este rango y alcanzando una alta fluidez con la adición del aditivo superfluidificante llegando a 15 cm. de revenimiento.
- La densidad de la mezcla fue muy cercana a los 1800 Kg./m³, por lo que se considera una mezcla adecuada para elaborar un concreto ligero.

- El contenido de aire al aplicarle un aditivo inductor de aire fue del 6 %.

MEZCLA "TESTIGO" No.5

- La consistencia de la mezcla fue de una fluidez normal con un revenimiento de diseño de 2.5 a 5 cm. Resultando un revenimiento de 2.5 entrando dentro de este rango y alcanzando una alta fluidez con la adición del aditivo superfluidificante llegando a 10 cm. de revenimiento.
- La densidad de la mezcla fue muy cercana a los 1080 Kg./m³, por lo que se considera una mezcla adecuada para elaborar un concreto "súper ligero"
- El contenido de aire al aplicarle un aditivo inductor de aire fue del 8 %.

Concluimos que el porcentaje de contenido de aire de la mezcla no únicamente lo puede proporcionar el aditivo inductor de aire sino también en cierta forma el tipo de agregado usado, ya que los agregados ligeros al tener huecos o poros aportan vacíos a la mezcla que son registrados en la obtención del contenido de aire lo cual puede ser una característica benéfica en un concreto ligero, ya que le dará a este mayor durabilidad.

VIII.2 APLICACIONES DE LOS CONCRETOS: NORMALES, LIGEROS Y PESADOS.

Los concretos ensayados en esta práctica se pueden dividir en tres partes, en normales, ligeros y pesados, y a su vez se subdividen de acuerdo con su densidad, por ejemplo en ligeros y superligeros.

En si, existe una gran diversidad de concretos, así como una gran variedad de aplicaciones, por lo que solo mencionaremos algunas de estas y de los concretos que fueron objeto del presente trabajo. En las siguientes tablas observaremos los usos de los concretos sin y con aditivos. .

TABLA 8.1 Aplicaciones de los concretos sin aditivos.

MEZCLA "TESTIGO" No.	MATERIALES UTILIZADOS		RESISTENCIA DE PROYECTO f'c=kg/cm2	APLICACIONES
	TIPO DE CEMENTO	AGREGADOS PÉTREOS		
1	CPP 30 R	ARENA ANDESITICA GRAVA BASALTICO ANDESITICA	420	<p><u>CONCRETO PESADO DE ALTA RESISTENCIA</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • CIMENTACIONES Y PILOTES. • CONTRAPESOS • CORTINAS DE PRESAS • TABLAESTACAS. • LASTRES • ALGUNOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES PESADOS.
2	CPP 30 R	ARENA ANDESITICA GRAVA ANDESITICA	280	<p><u>CONCRETO NORMAL DE RESISTENCIA NORMAL</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • ELEMENTOS ESTRUCTURALES (LOSAS, COLUMNAS, TRABES, MUROS DE CARGA, ZAPATAS, PILOTES, ETC. • ELEMENTOS PRETENSADOS Y POSTENSADOS • TUBOS DE CONCRETO
3	CPP 30 R	ARENA ANDESITICA GRAVA TEZONTLE	280	<p><u>CONCRETO LIGERO DE ALTA RESISTENCIA</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • ELEMENTOS ESTRUCTURALES LIGEROS: (LOSAS, COLUMNAS, TRABES, MUROS DE CARGA, ETC). • PREFABRICADOS LIGEROS
4	CPP 30 R	ARENA ANDESITICA GRAVA PUMITICA	210	<p><u>CONCRETO LIGERO DE RESISTENCIA NORMAL</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • ELEMENTOS ESTRUCTURALES LIGEROS: (LOSAS, COLUMNAS, TRABES, MUROS DE CARGA, ETC). • PREFABRICADOS LIGEROS • LOSAS DE ENTREPISO Y AZOTEAS • ADOQUINES • MUROS DIVISORIOS
5	CPP 30 R	ARENA ANDESITICA PERLAS DE POLIESTIRENO	100	<p><u>CONCRETO SUPERLIGERO DE BAJA RESISTENCIA</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • PREFABRICADOS SUPERLIGEROS: (CUPULAS, BLOQUES, PANELES ETC.) • FACHADAS • RELLENOS DE ENTREPISOS Y ENTORTADOS. • LASTRES Y FIRMES DE COMPRESIÓN. • PROTECCIONES TÉRMICAS Y ACÚSTICAS

TABLA 8.2 Aplicaciones de los concretos con aditivos.

ADITIVOS UTILIZADOS		APLICACIONES
No.		
1	<ul style="list-style-type: none"> • INCLUSOR DE AIRE 	<ul style="list-style-type: none"> • OBRAS DE TIPO MARÍTIMO • EN AMBIENTES EN DONDE SE PUEDE PRESENTAR CONGELAMIENTO
2	<ul style="list-style-type: none"> • ACELERANTE 	<ul style="list-style-type: none"> • CUALQUIER CONCRETO QUE SE REQUIERA ACELERAR EL DESARROLLO DE SU RESISTENCIA CON LA FINALIDAD DE OCUPAR UN TIEMPO MENOR DE CIMBRADO • VÍAS DE TRANSITO • LOSAS • ELEMENTOS PREFABRICADOS, PAR EVITAR MENOR TIEMPO DE ALMACENAJE.
3	<ul style="list-style-type: none"> • REDUCTOR DE AGUA 	<ul style="list-style-type: none"> • CONCRETOS QUE REQUIERAN INCREMENTAR SU RESISTENCIA FINAL • Y CONSERVAR SU TRABAJABILIDAD • CONCRETOS FABRICADOS EN OBRA • CONCRETO EN LOSAS, PISOS, TRABES, CIMENTACIONES
4	<ul style="list-style-type: none"> • SUPERFLUIDIFICANTE 	<ul style="list-style-type: none"> • CONCRETOS MUY FLUIDOS PARA CIMBRAS ESTRECHAS • ELEMENTOS PREFABRICADOS PRETENSADOS Y POSTENSADOS. • ESTRUCTURAS CON ALTO CONTENIDO DE ACERO

VIII.3 CONCLUSIONES A LA PRÁCTICA DE TESIS.

En las graficas de barras se muestra el desarrollo de las resistencias a la compresión simple de especímenes cilíndricos de concreto, elaborados con los diferentes agregados y los cuatro tipos de aditivos mas comunes reconocidos por la ASTM, sometidos a curado húmedo y ensayados a edades entre un día y 28 días. Como se ve en tales graficas, las resistencias de los concretos con la adición de un aditivo, muestran las mayores diferencias en las edades iniciales, en comparación con el concreto normal sin aditivo, esto para un mismo agregado. Aunque el incremento de la resistencia con la edad no siempre es el mismo, ya que algunos aditivos aumentan su resistencia a los concretos más rápidamente al principio, en cambio otros aditivos muestran mayores incrementos al final y seguirán la tendencia de incrementarse a periodos posteriores.

Se concluye que la gran diversidad de concretos elaborados en esta práctica tienen ciertas características que pueden ser modificadas de acuerdo a las materias primas existentes en la región y del agente químico actuante en la mezcla. Estas características pueden satisfacer los requerimientos y especificaciones de cierta obra, tales como la fluidez de la mezcla, el peso volumétrico, la resistencia de proyecto, la durabilidad, etc. Se puede afirmar que podemos realizar cualquier modificación en una mezcla "testigo" o normal para obtener los resultados deseados.

Con la combinación de agregados pétreos y artificiales de diferentes densidades y con la aplicación de algunos aditivos para concreto, se pueden modificar las características y propiedades de los concretos en sus estados fresco y endurecido, satisfaciendo las demandas de los diferentes tipos de concreto requeridos, de acuerdo a las necesidades para cada tipo de obra que se proyecte en el Valle de México.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- 1.- A.M. Neville - "Tecnología del Concreto"
Tomos I, II y III
Nueva Serie IMCYC
- 2.- "Aditivos para Concreto"
1993 IMCYC
- 3.- "Cartilla del Concreto"
IMCYC, 1992
- 4.- "Proyecto y Control de mezclas de concreto"
Staff Portland Cement Association
Editorial Limusa 1978
- 5.- "Características y correcta aplicación de los diversos tipos de cemento"
Editores Técnicos Asociados, S.A., España 1976
Julián Rezola Izaguirre
- 6.- "Control de Calidad del Concreto"
Fundec, A.C. 1986
- 7.- "Práctica recomendable para la compactación del Concreto"
(ACI - 309) IMCYC
- 8.- "Práctica recomendable para dosificar concreto normal y concreto pesado"
IMCYC
- 9.- "Prácticas recomendables para dosificar concretos de peso normal"
IMCYC
- 10.- "Práctica recomendable para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia del concreto".
IMCYC
- 11.- "El concreto en la obra" Tomos I y II
Serie IMCYC 1992
- 12.- "Normas A.S.T.M. para cemento y concreto"
- 13.- "Normas Oficiales Mexicanas"
- 14.- "Técnicas de laboratorio para pruebas de materiales"
Editorial Limusa, Willey, 1972
- 15.- Revista Mensual "Construcciones y Tecnología"
IMCYC Vol. IX No. 102 Noviembre 1996

- 16.- "Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado"
Editorial Limusa. González Cuevas
- 17.- "Control de Calidad del Concreto Hidráulico y sus Componentes"
Fundec A.C. 1986
Ing. Álvaro J. Ortiz F.
- 18.- "Proporcionamiento de Mezclas"
Concreto Normal, pesado y masivo
ACI 211.1

GLOSARIO DE TÉRMINOS.

Caliza. Son materiales de naturaleza inorgánica y origen mineral carbonatado, compuesto principalmente por carbonato de calcio en forma de calcita, que molidos conjuntamente con clinker de cemento Pórtland, afectan favorablemente las propiedades y el comportamiento de los conglomerados de cemento.

Cemento con escoria granulada de alto horno. Es un conglomerante hidráulico que resulta de la molienda conjunta de clinker Pórtland y mayoritariamente escoria granulada de alto horno y Sulfato de calcio.

Cemento hidráulico. Es un material inorgánico finamente pulverizado, comúnmente conocido como cemento que al agregarle agua, ya sea solo o mezclado con arena, grava, asbesto u otros materiales similares, tiene la propiedad de fraguar y endurecer, incluso bajo el agua, en virtud de reacciones químicas durante la hidratación y que, una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad.

Cemento Pórtland Compuesto. Es el conglomerante hidráulico que resulta de la molienda conjunta del clinker Pórtland que, usualmente contiene Sulfato de Calcio y una mezcla de materiales Puzolánicos, escoria de alto horno y caliza. En el caso de la caliza, éste puede ser componente único.

Cemento Pórtland con escoria granulada de alto horno. Es el conglomerante hidráulico que resulta de la molienda del clinker Pórtland, escoria granulada de alto horno y usualmente sulfato de calcio.

Cemento Pórtland con humo de sílice. Es el conglomerante hidráulico que resulta de la molienda conjunta de clinker Pórtland, humo de sílice y usualmente sulfato de calcio.

Cemento Pórtland Ordinario. Es el cemento producido a base de la molienda de clinker Pórtland usualmente sulfato de calcio.

Cemento Pórtland puzolánico. Es el conglomerante hidráulico que resulta de de la molienda de clinker Pórtland, materiales puzolánicos y usualmente sulfato de calcio.

Cenizas volantes. Las cenizas volantes se obtienen por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos acompañan a los gases de combustión de los quemadores de centrales termoeléctricas alimentadas con carbones pulverizados. Se consideran como materiales puzolánicos.

Clinker Pórtland. Es el producto artificial obtenido por sinterización de los crudos correspondientes, es decir, por la calcinación y sinterización de los mismos a la temperatura y durante el tiempo necesario, y por enfriamiento adecuado, a fin de que dichos productos tengan la composición química y la constitución mineralógica requerida. Los crudos de Clinker Pórtland son mezclas suficientemente finas, homogéneas, y adecuadamente dosificadas a partir de materias primas que contienen cal, sílice, alúmina, Oxido ferrico y pequeñas cantidades de otros compuestos minoritarios, los cuales se clinkerizan.

Concreto hidráulico. Es un material artificial, obtenido de la mezcla en proporciones determinadas, de cemento, agregados, ya sean pétreos o artificiales, agua y en algunas ocasiones aditivos

Consistencia. Es la humedad en la mezcla de concreto. Se mide en términos de revenimiento (a mayor revenimiento mas húmeda es la mezcla) y afecta la facilidad con que fluirá el concreto durante la colocación.

Control de calidad. Son requisitos de calidad tales como: valores y tolerancias de aceptación así como sus parámetros de calidad que deben cumplir los materiales de construcción para poder ser empleados.

Durabilidad. Es la capacidad del concreto, a soportar aquellas exposiciones que puedan despojarlo de su capacidad de servicio, tales como:

Escoria granulada de alto horno. Es el subproducto no metálico constituido esencialmente por silicatos y aluminosilicatos cálcicos, que se obtienen por el enfriamiento brusco con agua o vapor y aire, del residuo que se produce simultáneamente con la fusión de minerales de hierro en el alto horno.

Especificaciones. Disposiciones, requisitos, condiciones e instrucciones para la ejecución de un trabajo determinado o parte de este; adicionando, modificando o sustituyendo a las normas

Espuma de poliestireno. Es una resina plástica procesada en forma de espuma celular con bajísimas densidades. La espuma de poliestireno es un material que se compone en más de 90% por aire aprisionado en pequeñas celdas microscópicas de poliestireno. Es un material rígido de celda cerrada que presenta una serie de propiedades que la hace especialmente interesante para muchas aplicaciones, destacan entre esta la muy baja densidad, su resistencia mecánica relativamente alta, su gran capacidad de amortiguación de choques, su casi inexistente absorción de agua y su capacidad de aislamiento térmico, es resistente a una gran variedad de productos químicos, no contiene olor ni sabor, además de ser inocua e higiénica y es vulnerable al fuego.

Hidratación del cemento. La reacción mediante la cual el cemento Pórtland se transforma en un agente de enlace, y se produce una pasta de cemento y agua. En otras palabras, en presencia del agua, los silicatos y aluminatos forman los productos de hidratación que con el paso del tiempo producen una masa firme y dura. Los compuestos de los diferentes tipos de cemento pueden reaccionar con el agua en dos formas distintas. En la primera, se produce una adición directa de algunas moléculas de agua, la constituye una reacción de hidratación real. El segundo tipo de reacción con el agua es la hidrólisis.

Humo de sílice. El humo de sílice es un material puzolánico muy fino, compuesto principalmente de sílice amorfa, que es un subproducto de la fabricación de silicio o aleaciones de ferro – silicio con arco eléctrico (también conocido como humo de sílice condensado o micro sílice).

Mezcla Modificada. Es un concreto hidráulico o mezcla normal, modificada con la adición de algún aditivo para concreto. El cual modificará sus características y propiedades en su estado fresco y endurecido.

Mezcla Normal. Es un concreto hidráulico elaborado con cemento, agua y agregados comúnmente normales, sin la adición de algún agente que modifique las características originales de este.

Normas. Es el conjunto de criterios, métodos y procedimientos para la correcta ejecución de un trabajo; características que deben satisfacer los diversos materiales de construcción.

Normatividad vigente. Es el conjunto de normas y especificaciones actualmente aplicables.

Prueba de revenimiento. Es una prueba que se aplica al concreto para detectar variaciones en la uniformidad de una mezcla de proporciones nominales determinadas. Consisten en llenar un molde cónico truncado en tres capas de igual volumen compactadas mediante una varilla lisa de punta redondeada, de 16 mm de diámetro. Después de llenarlo, se levanta lentamente el cono y al faltarle confinamiento el concreto se abrirá o reventará, de ahí su nombre.

Puzolanas. Las puzolanas son sustancias naturales, artificiales o subproductos industriales, silíceas o silicoaluminosas, o una combinación de ambas, las cuales no endurecen por sí mismas cuando se mezclan con agua, pero finamente molidos, reaccionan en presencia de agua a la temperatura ambiente con el hidróxido de calcio y forman compuestos con propiedades cementantes.

Relación agua/cemento. Es la cantidad de agua, en peso, que se le proporciona a la mezcla en función de la cantidad de cemento, también en peso.

Resistencia. Esta es una característica importante del concreto; sin embargo otras propiedades tales como la durabilidad, permeabilidad y la resistencia al desgaste son a menudo iguales o más importantes que ella. En sí la resistencia define como la carga máxima soportada por unidad de área y se mide en Kg./cm²

Sangrado. Esta es una de las formas de segregación en la cual una parte del agua de mezclado tiende hacia la superficie de un concreto recién colado. Esto se debe a que los constituyentes sólidos de la mezcla no pueden retener toda el agua cuando se asientan.

Segregación. Es la separación de los constituyentes de una mezcla heterogénea de modo que su distribución deje de ser uniforme.

Sulfato de calcio (comúnmente conocido como Yeso). El sulfato de calcio es el producto natural o artificial que se utiliza para regular el tiempo de fraguado y se presenta en diferentes estados: anhidrita (CaSO₄), yeso (CaSO₄ - 2 H₂ O) y hemihidrato (CaSO₄ ½ H₂O).

Trabajabilidad. Es aquella propiedad del concreto mediante el cual se determina su capacidad para poder ser colocado y consolidado apropiadamente y para darle el acabado sin que se presente segregación.