

209
118



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA CON AGREGADOS DEL DISTRITO FEDERAL

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a :

ALEJANDRO MARTINEZ SANCHEZ



México, D. F.

1982



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



GOBIERNO NACIONAL

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

Al Pasante señor ALEJANDRO MARTINEZ SANCHEZ,
P r e s e n t e .

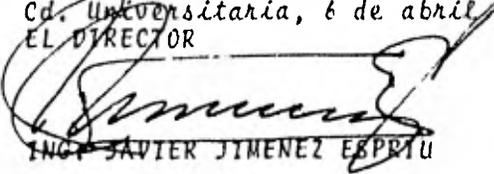
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Carlos Javier Mendoza, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniería CIVIL.

"CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA CON AGREGADOS DEL
DISTRITO FEDERAL"

1. Introducción.
2. Concreto de resistencia normal.
3. Características del concreto de alta resistencia.
4. Recomendaciones para la fabricación, transporte, colocación, acabado y curado del concreto de alta resistencia.
5. Propiedades del concreto fresco y endurecido.
6. Aplicaciones.
7. Conclusiones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 6 de abril de 1981
EL DIRECTOR


ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

11.
JJET0BLH/ser

INDICE GENERAL

- 1.- INTRODUCCION
- 2.- CONCRETO DE RESISTENCIA NORMAL
- 3.- CARACTERISTICAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA
- 4.- RECOMENDACIONES PARA LA FABRICACION, TRANSPORTE, COLOCACION, ACABADO Y CURADO DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA
- 5.- PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO
- 6.- APLICACIONES
- 7.- CONCLUSIONES

FIGURAS Y TABLAS

REFERENCIAS

1.- INTRODUCCION

La necesidad de tener disponibles materiales con determinadas características de resistencia, elasticidad, durabilidad, etc., ha hecho que el hombre continuamente busque la manera de obtenerlas.

A través del estudio y la investigación se pueden conocer el comportamiento y las propiedades de los materiales. La elaboración y el ensaye de especímenes de prueba son partes básicas de estas actividades. Y, como complemento necesario, se debe mencionar el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos en las diferentes pruebas que se le hagan a los materiales.

En el campo de la Ingeniería Civil las construcciones como edificios, puentes, túneles, etc., suelen ser de concreto, acero, madera y otros materiales. Con frecuencia el concreto tiene primordial importancia de entre los materiales que componen la estructura, y es por eso que el concreto ha sido motivo de investigación en muchos países.

La principal propiedad que ha sido estudiada por los investigadores es la resistencia a la compresión ya que en general, ésta es un buen índice de las demás características que puede presentar el concreto.

En estructuras usuales, como casas habitación, fábricas, edificios bajos, etc., es práctica común la utilización de concreto normal con una resistencia (a la compresión) de proyecto, $f'c$, que fluctúa entre 150 y 300 Kg/cm², por otro lado existen ciertos tipos de estructuras, como edificios altos, puentes, carreteras, etc., donde con frecuencia no es recomendable usar el concreto normal, sino un concreto de mayor resistencia. Este concreto, conocido como de alta resistencia, es definido por varios autores como un concreto que alcanza una resistencia a la compresión, a los 28 días, de cuando menos 400 Kg/cm².

El tema que ocupa el desarrollo de la presente tesis se relaciona con el estudio de algunos efectos que se producen en concretos de alta resistencia, elaborados con dos diferentes tipos de agregado grueso, uno andesítico y el otro basáltico. El estudio incluyó agregado andesítico porque es el que se encuentra en mayor abundancia en el Valle de México. Por otra parte, el agregado basáltico se escogió porque existen, principalmente al Sur de la Ciudad de México, considerables depósitos de esta roca volcánica.

Además del tipo de agregado utilizado para elaborar la mezcla, existen otros factores que influyen en la resistencia a la compresión del concreto. Entre otros, los principales factores son los siguientes :

- a) Características del medio ambiente.- Principalmente, la temperatura y la humedad relativa.
- b) Características del agregado.- De entre las más importantes se pueden mencionar la densidad, resistencia, - granulometría, absorción, forma y textura.
- c) Relación agua/cemento.
- d) Proporciones relativas de la mezcla de concreto.
- e) Contenido unitario de cemento por m^3
- f) Uso de aditivos.

En el desarrollo de este trabajo se elaboraron mezclas de concreto de alta resistencia en las cuales se estudió la - influencia de los siguientes factores :

- a) Relación agua/cemento.
- b) Cantidad de cemento por m^3
- c) Agregados.
- d) Edad de prueba del espécimen.

2.- CONCRETO DE RESISTENCIA NORMAL

Entre los diferentes tipos de concreto utilizados en la construcción de estructuras, podemos mencionar los siguientes:

- a) Concreto ligero
- b) Concreto normal
- c) Concreto pesado
- d) Concreto de alta resistencia

Cada uno de estos concretos tiene aplicaciones y propiedades específicas. Se pueden considerar, entre las propiedades y características importantes que posee cada uno de estos concretos las siguientes :

- a) Relación agua/cemento
- b) Revenimiento
- c) Resistencia a compresión
- d) Tipo de agregados
- e) Peso volumétrico

El ámbito de variación de estas propiedades y el tipo de agregado utilizado, con frecuencia se relacionan con el tipo de concreto de que se trata.

Para el caso particular de los concretos de resistencia normal, los órdenes de las variaciones de los parámetros antes indicados suelen ser los que a continuación se mencionan :

a) Relación agua/cemento

Es bien conocida la correspondencia que existe entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto.

Además, por consideraciones estadísticas, la resistencia de proyecto $f'c$ debe ser mayor que la resistencia requerida, fcr . Cuando el control de calidad de producción de concreto es bueno, entonces fcr es aproximadamente 25% mayor que --- $f'c$. En el capítulo I mencionamos que el concreto normal suele tener una resistencia $f'c$ entre 150 y 300 Kg/cm². Las correspondientes resistencias requeridas, calculadas sobre esta base serían 187 y 375 Kg/cm².

De acuerdo con el American Concrete Institute (ACI), la relación agua/cemento requerida para que el concreto alcance una resistencia a la compresión entre 187 y 375 Kg/cm², varía entre 0.73 y 0.52.

b) Revenimiento

Para las mezclas de resistencia normal el revenimiento apropiado varía entre 2 y 10 cm, aunque en realidad está en -- función del tipo de estructura que se desea colar y del equipo disponible para colocar y compactar el concreto. El siguiente cuadro resume la experiencia del ACI.

REVENIMIENTOS RECOMENDABLES PARA
DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCION

TIPOS DE CONSTRUCCION	REVENIMIENTO, CM.	
	MAXIMO*	MINIMO
Muros y zapatas de cimentación de concreto reforzado.	8	2
Zapatas simples, cajones y muros de la subestructura	8	2
Vigas y muros de concreto reforzado.	10	2
Columnas.	10	2
Pavimentos y losas.	8	2
Concreto masivo	5	2

c) Resistencia

En el inciso a) se hizo referencia a los concretos normales, o sea aquellos cuya resistencia de proyecto $f'c$ fluctúa entre 150 y 300 Kg/cm^2 . Y concluimos más adelante que las resistencias requeridas para la fabricación controlada de concreto normal varían entre 187 y 375 Kg/cm^2 .

*Puede aumentar 2 cm cuando se utilicen métodos de compactación diferentes al de vibración.

d) Agregados

Las propiedades y límites de variación del tipo de agregado empleado para las mezclas de concreto de resistencia normal, usualmente son las siguientes :

-Tamaño del agregado.- Es usual emplear un tamaño máximo de agregado grueso entre 3/4" y 1 1/2" para la elaboración de las mezclas de concreto convencionales. Las condiciones económicas de explotación y producción de los agregados, el espaciamiento libre entre las varillas de refuerzo y la dimensión mínima del elemento estructural por colar son los factores que determinan el tamaño máximo permisible que puede utilizarse en el concreto.

-Peso volumétrico compactado.- Suele ser el orden de 1300 a 1600 Kg/m³.

-Absorción.- Los límites entre los cuales fluctúan los valores de absorción de los agregados que suelen utilizarse en la fabricación de concreto normal son :

Para el agregado grueso = 1 - 3%

Para el agregado fino = 4 - 8%

-Densidad.- Generalmente el valor de la densidad del agregado para elaborar concreto normal es un poco menor que el correspondiente agregado grueso empleado para hacer concreto de alta resistencia, ya que en el primer caso la densidad sue-

le ser entre 2.2 - 2.5 gr/cm³ y para el otro es igual o superior a 2.5 gr/cm³.

Aplicación de las mezclas de concreto normal.

Para la construcción de estructuras convencionales, como casas habitación, fábricas, edificios bajos, etc., casi --- siempre se recurre al empleo de la mezcla de concreto de resistencia normal.

El tipo de elementos o de sistemas estructurales que se edifican con dicha mezcla, generalmente incluye :

- a) Cimentaciones (zapatas, cajones).
- b) Columnas.
- c) Losas (planas, reticulares).
- d) Trabes.
- e) Cisternas.

3.- CARACTERISTICAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

Son varias las propiedades que nos definen a un concreto de alta resistencia, pero entre las principales podemos --mencionar las siguientes :

- Relación agua/cemento.
- Contenido de cemento por m^3
- Características del agregado

De los factores antes mencionados, según resultados obtenidos de algunos investigadores, el más importante para lo--grar un concreto de alta resistencia es el mantener consistentemente baja la relación agua/cemento y tener un alto contenido de cemento. Se sabe que para lograr un concreto de alta resistencia, la relación agua/cemento máxima debe ser del orden de 0.45, ya que según datos disponibles indican que es poco --probable que se obtengan resistencias a la compresión de -----
 400 Kg/cm^2 , de mezclas que tengan relaciones agua/cemento mayores.

El contenido de cemento por m^3 que se emplee al elabo--rar la mezcla, está estrechamente ligada con la cantidad requerida de agua. Ya que si ésta se mantiene constante en una mezcla dada, y el contenido de cemento se va incrementando, se observará un aumento en la resistencia a la compresión de los cilindros ensayados de las diferentes mezclas elaboradas.

También es conveniente mencionar que el contenido de cemento óptimo está en función del tamaño máximo del agregado, y es por eso que será tratado con más detalle en los siguientes renglones.

Ya que el agregado ocupa aproximadamente tres cuartas partes del volumen del concreto, no es de sorprenderse que su calidad revista considerable importancia para obtener una alta resistencia a la compresión. Para conocer la influencia del agregado grueso (grava) y la del agregado fino (arena) en la mezcla del concreto, haremos mención de sus características -- por separado.

a) GRAVA

Los resultados de las propiedades físicas de la grava pueden ser indicativos de las características que pueden esperarse en el concreto que nosotros queremos elaborar. De las principales propiedades físicas podemos mencionar :

- 1) Densidad.- Si en la elaboración de dos mezclas se emplea el mismo agregado fino, la misma proporción de cemento, pero diferente agregado grueso, entonces la mezcla que tenga el agregado de mayor densidad generalmente tendrá la mayor resistencia a la compresión.
- 2) Tamaño máximo del agregado.- El utilizar determinado tamaño de agregado para la elaboración de la mezcla nos repercutirá en emplear mayor o menor cantidad de cemento, ya que según las trayectorias de las curvas de la Fig. No. 5 podemos observar -

que para alcanzar una resistencia dada, ésta se puede obtener con diferentes combinaciones del contenido de cemento y el tamaño del agregado. De la misma figura podemos deducir que para obtener una cierta resistencia, existe un punto que nos indica la combinación óptima de cemento y tamaño máximo de agregado que se requiere para obtenerla.

Por ejemplo, para obtener una resistencia de 421 Kg/cm^2 , se recomienda utilizar agregado de $1 \frac{1}{2}''$ y 320 Kg/m^3 de cemento.

3) Forma y textura.- No se conoce plenamente qué papel desempeñan la forma y la textura del agregado en el desarrollo de la resistencia del concreto, pero sabemos que la textura áspera, por tener una mayor superficie específica, produce una mayor fuerza de adherencia entre las partículas y la pasta de cemento. De igual modo, la mayor área superficial de un agregado angular significa que puede haber un aumento en la fuerza de adherencia.

4) Absorción.- Si de dos agregados diferentes uno tiene mayor absorción que otro, en general el agregado que tenga menor absorción nos ofrecerá mayor resistencia a la compresión en la elaboración de la mezcla correspondiente.

b) ARENA

Ya que una de las principales funciones del agregado fino es la de proporcionar trabajabilidad, es importante conocer sus propiedades y características.

1) Módulo de finura.- Las arenas con módulo de finura alrededor de 2.5 producen concretos muy "pegajosos" dando como resultado una pérdida en la trabajabilidad y una gran demanda de agua, sin embargo, las arenas con módulo de finura alrededor de 3.0 proporcionan una mejor trabajabilidad y una alta resistencia a la compresión.

2) Forma y Textura.- Parece ser que dichas propiedades ejercen gran influencia en la resistencia del concreto. La resistencia a la flexión se ve más afectada que la resistencia a la compresión. La forma y la textura del agregado fino tienen un efecto significativo sobre las necesidades de agua de una mezcla hecha con tales agregados. Si estas propiedades del agregado fino se expresan indirectamente por su empaque, es decir, el porcentaje de huecos en estado suelto, la influencia sobre las necesidades de agua es muy clara.

3) Peso volumétrico.- El peso volumétrico claramente depende de cuan densamente se ha empackado el agregado, y de ahí se sigue que en un material de una cierta densidad, el peso volumétrico dependerá del tamaño, la distribución y la forma de partículas del agregado : las partículas de un mismo tamaño pueden empacarse sólo hasta un cierto límite, pero las de menor tamaño pueden caber en los huecos, y ésto aumentaría el peso volumétrico del material empackado. La forma de las partículas afecta grandemente el grado de empaque que puede alcanzarse.

Para un agregado grueso de un peso específico dado, un peso vo

lumétrico alto significa que hay menos huecos por llenarse --
con arena y cemento.

4.- RECOMENDACIONES PARA LA FABRICACION, TRANSPORTE, COLOCACION, ACABADO Y CURADO DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

Las recomendaciones que aquí se presentan, bosquejan -- brevemente métodos y procedimientos para lograr buenos resultados en la fabricación de la mezcla, su transporte, colocación, acabado y curado en la obra. Si el lector desea información -- adicional sobre los puntos antes mencionados puede consultar -- la referencia (9) que se halla al final de esta tesis.

1) Fabricación del concreto

La fabricación del concreto consiste básicamente en producir una mezcla que tenga ciertas propiedades específicas, para que cumpla con los requisitos que sean fijados o requeridos en el diseño de cualquier estructura y permitir así un buen -- comportamiento de la construcción.

La fabricación propiamente dicha consiste primordialmente en las siguientes etapas.

-Dosificación

-Mezclado

La dosificación tiene por objeto la reproducción fiel -- de las proporciones en que intervienen los materiales en la -- mezcla; de la uniformidad de los materiales en el momento de -- dosificarse, dependerá mucho la uniformidad y consistencia que se logre en los concretos.

Al hacer la dosificación se tendrá cuidado en tomar algunas precauciones en los elementos que se van a emplear, y - que generalmente son los siguientes :

a) Agregados. Se tendrá cuidado que éstos cumplan - con los requisitos fijados en el estudio granulométrico, también se deberá observar que no vayan a estar contaminados por algún cuerpo extraño, ya que ésto repercutirá en la resistencia a la compresión.

b) Cemento. Desde el momento en que éste se almacena deberá procurarse que no exista ninguna humedad. Tomando esta precaución se evitará que el cemento se hidrate y pierda así sus propiedades y características originales.

c) Agua. Deberá tenerse precaución de que ésta no se encuentre contaminada.

Al agregar el agua se tendrá cuidado de medir correctamente las cantidades requeridas por la mezcla, ya que el poner mayor o menor cantidad repercutirá en la resistencia a la compresión deseada.

El mezclado consiste en incorporar íntimamente todos -- los materiales del concreto, para formar una masa homogénea.

Para llevar a cabo esta operación existen equipos de varios tipos y capacidades, las más comunes son : de tambor giratorio con inclinación y aspas pegadas en la pared interna que

mueven a los ingredientes, los llamados "trompos" muy utilizados frecuentemente, etc.

En esta etapa se tendrá cuidado con el tiempo de mezclado, el cual se mide a partir del momento en que todos los materiales están adentro de la mezcladora (excepto un 10% de agua). El tiempo de mezclado depende de la eficiencia, la velocidad de rotación y la capacidad de la revolvedora

El ACI y la ASTM especifican que en aquellos casos donde no se verifique la uniformidad de la mezcla, el tiempo de mezclado aceptable será igual : cuando menos 1 minuto en mezcladoras con una capacidad no mayor de 0.76 m^3 .

Las velocidades de rotación se deben operar dentro de los límites especificados por el fabricante de las revolvedoras.

2) Transporte.

El transporte de concreto de la planta dosificadora al lugar donde se encuentra la obra, se puede llevar a cabo por métodos y equipos diversos, tales como : olla mezcladora montada sobre camión, cajas montadas sobre camión, cubos transportados en camión, vagones de ferrocarril, etc.

El método de transporte que se utilice debe entregar eficazmente el concreto en el punto de colocación, sin alterar de manera significativa las propiedades deseadas en cuanto a

la relación agua/cemento, revenimiento, contenido de aire y homogeneidad.

Cada método de transporte tiene sus ventajas bajo condiciones particulares de uso, que atañen a renglones tales como diseño y mezcla de materiales, tipo y accesibilidad de la colocación, capacidad de entrega requerida, ubicación de la planta de dosificación y otros.

Estas diversas condiciones deben revisarse cuidadosamente al seleccionar el tipo de transporte más apropiado para logar concreto económico en la obra.

De los métodos de transportación antes mencionados sólo se analizarán brevemente algunos de ellos.

a) Olla giratoria montada sobre camión.

Este medio de transporte consiste en un tambor girato--rio con cierta inclinación y aspas pegadas en la pared interna que mueven a los ingredientes. El tambor tiene una forma apropiada para que todos los materiales se incorporen, rueden y se amasen.

Algunas especificaciones limitan las revoluciones totales del tambor que pueden emplearse para la carga, mezclado, -agitación y descarga del concreto en camiones de tambor giratorio. Otras, fijan límites en el número de revoluciones para -velocidad de mezclado. También a menudo se especifica para el

mezclado un tiempo máximo de 1 y 1/2 horas a partir del momento en que el cemento haya entrado en el tambor y hasta que termine la descarga. También se preve una reducción del tiempo máximo de espera en climas calientes. Otro método de especificación es no poner límites a las revoluciones o al tiempo de espera, mientras no se exceda el agua de mezclado especificado, no se agregue agua de retemplado o mientras el concreto -- conserve propiedades físicas plásticas satisfactorias, consistencia y homogeneidad para su colocación y consolidación. Esta manera de proceder es favorecida específicamente en relación con el tiempo máximo permisible para descargar, y es particularmente aplicable cuando el concreto tiene una temperatura fresca o cuando no hace calor. La determinación final de si se está o no logrando satisfactoriamente el mezclado, debe basarse en las pruebas normales de uniformidad de la mezcla.

b) Camión de caja fija, con o sin agitador.

Las unidades empleadas en esta forma de transporte constan de una caja abierta, montada sobre un camión. La caja metálica debe tener superficies de contacto lisas, perfiladas, y, en general, estar diseñada para descargar el concreto desde -- atrás, cuando la caja es volteada. Una puerta de descarga y -- vibradores montados en la caja deben proveerse en el punto de descarga para controlar el flujo. Un agitador ayuda en la descarga, sin embargo, jamás debe agregarse agua en la caja del -- camión, porque no se logra mezclarla con el agitador.

El uso de cubiertas protectoras para las cajas de camión durante el mal tiempo, la apropiada limpieza de todas las superficies de contacto, y caminos de transporte llanos contribuyen significativamente a la cantidad y eficiencia de esta forma de transportación. El tiempo de entrega usualmente especificado es de 30 a 45 minutos, aunque las condiciones de temperatura ambiente pueden hacer variar este lapso.

- c) Recipientes para concreto montados en camiones o carros de ferrocarril.

Este es un método común de transporte de concreto masivo desde la planta de mezclado hasta un punto cerca del lugar de colocación. Una grúa entonces levanta el recipiente hasta el punto final de colocación. En ocasiones, se usan carros de traslado, que operan en rieles, para transportar el concreto desde la planta de mezclado hasta los recipientes que se operan con cables transportadores. La descarga del concreto de los carros de transporte al recipiente, que puede ser por el fondo, o por alguna forma de volteo, debe ser cuidadosamente controlada para impedir la segregación. El tiempo de entrega por transporte en esta forma es el mismo que para otras unidades sin agitador, generalmente de 30 a 45 minutos.

3) Colocación.

En este punto se presentarán las prácticas recomendadas para trasladar el concreto del vehículo de transporte a su po-

sición final en la estructura en construcción. La colocación de concreto se efectúa en recipientes, tolvas, carritos propulsados a mano o con motor, bandas transportadoras, malacates, carretillas, canaletas y torres estacionarias. Un requisito básico del equipo y métodos de colocación, así como de todos los demás equipos y métodos de manejo, es que afecten al mínimo la calidad del concreto en lo referente a la relación A/C, revenimiento, contenido de aire y homogeneidad. La selección del equipo debe basarse en su capacidad para manejar eficientemente el concreto en las condiciones más ventajosas de tal modo que pueda ser fácilmente consolidado en su lugar.

A continuación se describen algunos de los métodos y equipos de colocación.

Equipo de colocación

a) Cubos y tolvas.

El empleo de cubos con descarga por la parte inferior, diseñados apropiadamente, permiten la colocación del concreto con el más bajo revenimiento práctico, compatible con la consolidación mediante vibración. Las paredes laterales deben ser inclinadas, por lo menor 60 grados respecto a la horizontal. Los controles en las puertas deben permitir que el personal que trabaja en la colocación las abra o las cierre durante cualquier etapa del ciclo de descarga.

Deben utilizarse en cuanto a las tolvas, criterios similares de diseño, con paredes laterales inclinadas y suficiente amplitud de abertura, de acuerdo con el tamaño máximo del agregado y el revenimiento del concreto.

El amontonamiento de concreto por la descarga de los cubos demasiado arriba o cercano de la superficie, o mientras están en movimiento, da lugar a causas comunes de segregación. - Debe evitarse la contaminación descansando los cubos sobre plataformas sin balancearlos sobre el concreto descubierto que -- acaba de terminarse. El concreto derramado no debe recogerse y devolverse a los cubos y tolvas para su uso subsecuente.

b) Canaletas y tubos de caída.

Las canaletas se emplean con frecuencia para trasladar concreto de elevaciones superiores a inferiores. Deben ser de fondo curvo y construidas o forradas de metal y tener suficiente capacidad para evitar derrames; la inclinación debe ser --- constante y suficiente para permitir que el concreto del revenimiento requerido en el sitio fluya continuamente por la canaleta sin segregarse. Debe controlarse el flujo del concreto - en el extremo de la canaleta para impedir la segregación, las canaletas demasiado largas, deben cubrirse para evitar la evaporación y la pérdida del revenimiento.

Los tubos de caída que se emplean para trasladar verticalmente el concreto desde niveles altos son circulares. El tubo debe tener un diámetro de por lo menos 8 veces el tamaño máximo del agregado.

c) Bandas transportadoras.

El empleo de transportadoras de banda se ha establecido bien en la construcción de concreto. Las transportadoras pueden clasificarse en tres tipos : 1) transportadoras portátiles o autosuficientes; 2) transportadores alimentadores o en serie; y 3) transportadoras de descarga lateral o esparcidoras. El tipo de alimentador o transportador en serie funciona a velocidades de banda altas, generalmente a más de - - - - 150 m/min. y los tipos portátiles y de descarga lateral operan a velocidades menores. Todos los tipos dependen de la combinación apropiada del ancho de la banda transportadora y de la velocidad para lograr la velocidad de colocación deseada.

El concreto debe alimentarse a la transportadora por medio de una tolva para obtener un listón uniforme de material a lo largo de la banda.

Las transportadoras deben estar apoyadas adecuadamente para lograr un viaje suave, sin vibración, a lo largo de la banda, y el ángulo empleado de inclinación o de declive debe controlarse para eliminar la tendencia del agregado grueso a separarse del mortero de la mezcla. La inclinación máxima que se puede emplear con una banda transportadora es variable, y es una función tanto de la mezcla del concreto como del diseño de la banda. Bandas con corrugados pequeños rectos o costillajes en la superficie que lleva la carga, pueden transportar --

concreto, en superficies inclinadas, con mayor éxito que con -
bandas lisas. Debe prestarse atención especial a los puntos
en los cuales se carga el concreto sobre la banda y a los pun-
tos de traslado o descarga, pues éstos son los lugares en don-
de la segregación tiende a efectuarse. Debe usarse en estos
puntos tolvas, canaletas, y conductos troncales apropiadamen-
te diseñados, o combinaciones de éstas para conservar la homo-
geneidad del concreto. Además debe equiparse el punto de des-
carga en cada banda transportadora con una limpiadora o rasca-
dora de banda, para limitar la pérdida de mortero.

La colocación de colada corta o cercana, generalmente
se maneja mejor con transportadoras portátiles con un voladizo,
con el punto de descarga más allá que las ruedas del armazón -
de sustentación, pudiendo subirse o bajarse aquéllos por unida-
des independientes.

La colocación a alcance largo se maneja generalmente por
unidades fijas, formadas de un número de bandas transportadoras
en serie. Las bandas alimentadoras en estas colocaciones de al-
cance más largo funcionan a velocidades altas de banda, general-
mente a más de 150 m/min., de modo que se logra una alta capaci-
dad con cintas estrechas, reduciendo así a un mínimo el tiempo
durante el cual el concreto está expuesto a condiciones ambien-
tales adversas.

Cuando se emplean transportadoras para depositar concre-

to en colocaciones profundas, deben usarse tolvas apropiada-- mente diseñadas con trompas de elefante, para introducir el - concreto a pocos metros de la superficie de la colada. Tam-- bién, como en cualquier otro método de colocación, el punto - de descarga desde la transportadora de banda debe moverse con frecuencia, para que el concreto no tenga que moverse lateralmente de posición por vibración u otro método. Esto se logra mediante el uso de unidades radiales, variables y unidades de depósito lateral.

El movimiento de la transportadora mientras el concre- to está pasando por la banda, debe planearse con anticipación, reduciéndosele al mínimo.

Para evitar la segregación, el concreto fresco debe de positarse sobre concreto plástico colocado previamente, hasta donde ésto sea posible. Deben emplearse protecciones o cubiertas para las transportadoras, cuando las condiciones climatológicas (lluvia, viento y sol), y temperaturas ambientes sean severas, de manera que no ocurran cambios significativos en el - revenimiento o temperatura del concreto. Generalmente se lo-- gra la máxima eficiencia con la transportadora de cinta, con - una mezcla de concreto plástica y homogénea, controlada a un - revenimiento de 5.5 a 7.5 cm.

d) Carretillas y bogues

Este sistema es adecuado siempre y cuando están provis-

tos de ruedas de hule para evitar así continuos impactos que provoquen segregación. Estos sistemas son aconsejables cuando se trate de obras pequeñas y de distancias cortas. Este sistema irá desapareciendo a medida que aumenta el costo de mano de obra.

e) Malacate

Cuando se trate de edificios pequeños, se utiliza un equipo compuesto de tolvas y depósitos elevadores para el movimiento vertical del concreto a través de un malacate pequeño, el cual por medio de un gancho levantará hasta el sitio requerido los bogues. Este sistema no cumple con suficientes sistemas de seguridad, lleva la necesidad de una utilización importante de mano de obra, tanto para el manejo del malacate, como para el llenado de los bogues en la parte inferior. A medida que el edificio es más alto, el tiempo para subir el concreto es mayor aumentando así la cantidad de mortero y pasta que quedan adheridas en el bogue.

f) Colocación del Concreto por Bombeo

Consideraciones Generales.

El concreto bombeado puede definirse como concreto ---- transportado mediante presión a través de tubos rígidos o mangueras flexibles y descargando directamente dentro del área de seada.

El bombeo puede emplearse en casi todas las construcciones de concreto, pero es especialmente útil donde el espacio o el acceso para el equipo de construcción son limitados. Los montacargas y las grúas quedan libres para entregar otros materiales de construcción simultáneamente con la colocación del concreto, y otras operaciones pueden seguir adelante sin ser estorbadas por las del concreto.

Según el equipo, el volumen de bombeo fluctuará entre 8 y 70 m³ por hora. La distancia de bombeo variará de 91 a 305m horizontalmente, y de 30 a 91m., verticalmente.

Para una discusión detallada sobre el bombeo de concreto, véase la referencia 9.

Equipos de Bombeo

i) Bombas de pistón

Estas bombas se componen de una tolva equipada con paletas remezcladoras para recibir el concreto mezclado, una válvula de entrada, una válvula de salida, un pistón y un cilindro. La válvula de salida está ubicada en la línea de descarga. --- Cuando el pistón inicia su carrera de retroceso, la válvula de entrada se abre y la válvula de salida se cierra. Entonces el pistón empuja el concreto desde el cilindro al tubo de manguera, y el extremo de la línea, en el área de colocación, descarga la cantidad de concreto correspondiente. Entre los modelos

de bomba que hay en el mercado, hay disponibles una gran variedad, tanto en el diseño de pistones, disposición de las válvulas y mecanismos de transmisión, como en la fuerza que emplean.

ii) Bombas Neumáticas.

Estas bombas constan básicamente de una tolva a presión y de equipo para suministrar aire comprimido. El concreto se coloca dentro de la tolva a presión, y se cierra herméticamente. Luego se aplica el aire comprimido por la parte superior de la tolva y éste empuja el concreto por un tubo conectado al fondo. Una caja de descarga para el mezclado se ubica en el extremo de la línea para ir expulsando el aire a impedir la aspersión del concreto y la resultante segregación, desplazamiento del esfuerzo, o daño de las cimbras.

Es conveniente usar un tanque receptor de aire para regular el suministro de aire comprimido.

iii) Bombas de Presión "Squeeze"

El equipo principal utilizado en estos sistemas de bombeo se compone de una tolva receptora con paletas remezcladoras, manguera flexible, y rodillos que operan dentro de un tambor metálico mantenido al alto vacío. La manguera flexible está conectada en el fondo de la tolva receptora y entra por el fondo del tambor. La manguera corre por la periferia interior del tambor y sale por la parte superior. Los rodillos impulsados hidráulicamente giran sobre la manguera flexible dentro --

del tambor y expelen fuera el concreto por la parte superior. El vacío mantiene un abastecimiento constante de concreto dentro del tubo de la tolva receptora.

Tuberías y Accesorios

La capacidad efectiva de trabajo de una bomba y de un sistema de tubería depende de varios factores, entre ellos la longitud de la línea, la altura a la cual se está bombeando el concreto, superficie interior del tubo, curvas acoplamiento y mezcla del concreto.

Tuberías

Los tubos rígidos se hacen de acero, aluminio, o plástico, y se consiguen en tamaños de 8 a 20 cm. de diámetro.

Puesto que han habido casos en los cuales el concreto bombeado por un conducto de aleación de aluminio mostró una expansión anormal causada por la formación de gas hidrógeno, se recomienda que no se emplee una línea con esta aleación para el suministro de concreto. La tubería flexible hecha de hule, metal flexible enrollado en espiral y plásticos, existe en plaza en tamaños de 8 a 13 cm. aunque el comportamiento de la tubería flexible no es el mismo que el de la tubería rígida, ya que en general desarrolla mayor resistencia al movimiento del concreto.

4) Compactación.

El concreto deberá ser consolidado para asegurar que -- los componentes del mismo estén distribuidos correctamente en el elemento por colar, procurando llenar todos los huecos. La consolidación podrá ser lograda mediante herramientas manuales o por medios mecánicos. En mezclas secas deben utilizarse pisonos para golpear la superficie uniformemente, hasta que una pequeña capa de mortero alcance la superficie indicándonos que se ha completado la consolidación. El vibrado o picado cerca de las superficies verticales de la cimbra ayuda a traer una - capa de mortero a las mismas, produciendo una superficie tersa; un vibrado excesivo traerá como consecuencia que una gran cantidad de pasta de cemento alcance la cimbra y que durante el - secado se presenten agrietamientos. Antes lo único que se usa ba para consolidar concreto era el apisonado a mano, sin embargo, el uso de los vibradores de alta frecuencia han venido a - ser de uso general, ya que han logrado los objetivos de la consolidación que son sacar el aire del concreto que se haya atrapado en la mezcla, el concreto se vuelve más manejable de modo que penetra en los lugares más difíciles; ésto permite utilizar menor cantidad de agua en las mezclas obteniendo con ésto una mayor resistencia.

La vibración interna, cuando se aplica apropiadamente, es el método más eficaz para consolidar concreto plástico, permitiendo con buen éxito la colocación de concreto que contiene menos agua y componentes finos (arena y cemento), que lo que -

se requiere cuando el concreto no se vibra. Además de lograr mejor calidad y economía, como resultado de estos cambios en las proporciones en la mezcla, también se logra mejor aspecto y acabado. Las ventajas y el uso general de vibración en la colocación de concreto han sido establecidas, pero se aconseja al lector obtener información detallada sobre la consolidación de concreto, en el informe del Comité del ACI309.

La vibración interna generalmente conviene más para la construcción ordinaria. Los vibradores no deben emplearse para mover concreto en sentido lateral, y deben insertarse y quitarse verticalmente a intervalos próximos. Debe usarse un patrón sistemático de vibración para asegurar que todo el concreto haya sido adecuadamente consolidado. Cuando pueda consolidarse el concreto a mano o con poca o ninguna vibración, es evidente que debe reproporcionarse la mezcla, usando un contenido unitario de agua menor con una consecuente reducción de finos (cemento o agregado fino o ambos).

La vibración inadvertida o intencional del concreto o del acero introducido resulta ser beneficiosa si el concreto vuelve a ser plástico momentáneamente durante la revibración. Mientras que un vibrador funcionando continúe introduciéndose en el concreto por su propio peso, no es demasiado tarde para que el concreto se beneficie por revibración, con aumento de resistencia a compresión y adherencia. Probablemente, a causa del efecto de amortiguamiento, no se ha experimentado ningún

efecto perjudicial del refuerzo introducido o del concreto en niveles parcialmente endurecidos cuando están revibradas desde arriba por esfuerzos de consolidación en concreto fresco.

Cuando la vibración se lleva a cabo adecuadamente, no se logra ninguna ventaja palando o trabajando el concreto de modo suplementario. En las colocaciones especialmente difíciles y obstruidas puede emplearse una vibración suplementaria de las cimbras, teniendo cuidado de evitar una vibración excesiva de las unidades, de modo que se forme una capa superficial de pasta débil por falta de agregado grueso.

En superficies verticales en las cuales son indeseables los vacíos de aire, la experiencia ha demostrado que los vacíos pueden reducirse mediante el uso de vibración adicional. Si esta vibración adicional parece sobrevibrar el concreto, debe utilizarse menos agua en la mezcla. Ni la vibración extra ni el trabajo con la paleta, ni otra clase de manipulación mecánica del concreto, pueden quitar eficientemente los hoyos -- formados por vacíos de aire de las superficies moldeadas bajo cimbras inclinadas. Tanto la utilización de procesos al vacío como de forros de cimbras absorbentes han tenido algún éxito -- en concreto colocado bajo cimbras inclinadas, excepto cuando se han utilizado mezclados con alto porcentaje de sangrado.

Operarios experimentados y competentes de vibradores -- que trabajen con vibradores en los que se controle el manteni-

miento y con suficientes unidades de reserva, son esenciales - para un programa satisfactorio de consolidación.

Tipos de vibradores.

Hay varios tipos de vibradores, generalmente trabajan - por fuerza centrífuga con algún excéntrico o por medio de aire comprimido que pasa a través de cámaras, en uno y otro sentido. Existen varios tipos de vibradores que podemos clasificar de - la siguiente forma : vibradores internos, externos y de superficie. Los vibradores internos son los más eficientes, ya que toda la energía es transmitida al concreto, perdiéndose casi nada en la cimbra. Los vibradores externos deberán ser usa dos cuando los vibradores internos o los de superficie no puedan ser usados.

Existen vibradores de gasolina, eléctricos y neumáticos. Los neumáticos por su ligereza son bastante útiles, les siguen los eléctricos por su sencillez y los de gasolina son los menos convenientes ya que éstos requieren mayor servicio.

5) Acabado

Generalidades.

En un principio, los materiales tenían la única función de resolver los problemas de construcción, más no los aspectos concurrentes a la creación de formas artísticas.

El concreto ha sido sobre todo recubierto por diversos acabados, pues antes de ahora sólo se buscaba la resistencia - mecánica del material.

La creación artística, con la ayuda del concreto aparente, supone el conocimiento profundo de la composición material del concreto y, sobre todo, el dominio demostrado de la - técnica de su fabricación y su empleo adecuado.

El concreto aparente será un concreto de calidad siempre y cuando se haga un buen uso de él, tanto en su fabrica--- ción como en su acabado final.

Las variedades en el concreto aparente se logran de -- acuerdo al lugar y al modo de fabricar el concreto (concreto - aparente colado a pie de obra, y concreto aparente en fábrica), así como de acuerdo también a los diferentes acabados la naturaleza de la superficie del concreto. Se puede conservar la - película del cemento, dejar los agregados expuestos o tratar - la superficie por diferentes métodos.

Para una superficie en concreto aparente que no va a - recibir ningún revestimiento superficial, el recubrimiento del concreto deberá ser de 2.5 a 3 cm., pero para superficies ta-- lladas se le deberá agregar a este espesor un valor de profundidad de acuerdo con el cual el concreto deberá ser tallado -- más un margen de seguridad

Concreto endurecido

Tratamientos mecánicos.

La idea básica de los tratamientos mecánicos es la de remover la suave capa exterior del cemento endurecido, y esto va a revelar la áspera textura de los agregados internos.

Este acabado mecánico se requiere para obtener texturas más profundas o lograr un efecto especial. Diferentes tipos de herramientas se utilizan para esto.

Un buen acabado dependerá del diseño en detalle de las juntas del colado, de la fabricación del concreto, de la cimbra, del descimbrado y del método escogido para tratar la superficie a exponer.

Existen diferentes tipos de herramientas :

1.- El martillo burilador, que es un aparato neumático de tres pistones con cabezas de cincel rotables que fracturan la superficie del concreto mediante el impacto. Este aspecto no es fuerte y no causa una fractura profunda, pero produce un efecto de puntillismo. Aunque este método es más costoso que el del chorro de arena, hay que hacer hincapié en que tiene mayores posibilidades para cubrir defectos; además, este método es más limpio que el de chorro de abrasivos.

2.- Con la martelina se obtiene un método común usado para fracturar mecánicamente la superficie del concreto. Usual

mente estos martillos son manuales, aunque también pueden utilizarse eléctricos o neumáticos. La textura que se adquiere tiene la ventaja de cubrir los defectos de la superficie. -- Estas operaciones también son considerablemente más limpias -- que las del chorro de abrasivos.

3.- La perforadora de mano es usualmente acompañada -- por dos diferentes tipos de herramientas : un cincel que fractura a través del agregado y un "mango" para dar apoyo.

Para lograr una buena superficie con partículas fracturadas la herramienta debe fracturar el mortero y el agregado -- grueso por igual.

La perforación manual debe hacerse cuando la mezcla ha ya alcanzado la dureza aproximada que tiene el agregado grueso. Si ésto se hace antes, la herramienta sólo remueve la mezcla y el agregado grueso no se fractura. Algunas veces, las -- partículas son proyectadas hacia afuera, dejando los huecos. -- Generalmente, la mayoría de las mezclas de concreto arquitectónico pueden ser tratadas entre un lapso de 7 a 14 días después del colado.

Si la perforadora va a ser usada en un momento en que la mezcla no haya endurecido, se recomienda usar una herramienta del tipo cincel. Por otro lado, cuando un concreto está -- muy endurecido, el tipo punta hará un mejor trabajo.

Este método acentúa la presencia de los agregados gruesos, por lo que se recomienda una mayor cantidad de agregado grueso en la mezcla.

4.- Se pueden lograr acabados mixtos usando varias herramientas en una misma superficie.

Un ejemplo típico es el de las entrecalles con acabados diferentes según la herramienta utilizada.

Para el diseño de detalles deberán tomarse una serie de precauciones, pues el acabado final dependerá de la forma en que se terminó el colado, y de la mezcla de los agregados. La del concreto deberá ser totalmente uniforme, pues después del uso de las herramientas, los defectos aparecen.

5.- En lo referente a juntas, éstas deberán ser planeadas con anterioridad, y si éstas están mal selladas, y el mortero escurre, no se podrán corregir.

Si se usa refuerzo en el concreto y se va a utilizar alguna de las herramientas mecánicas, es importante dejar un recubrimiento mayor para poder protegerlo posteriormente.

Es recomendable un recubrimiento de 2.5 ó 3 cm., más el valor de la profundidad a la que se va a tallar, más un margen de seguridad. Las herramientas se usarán sólo cuando el concreto esté endurecido, lo que sucede después de 4 ó 5 semanas.

Para el tratamiento de esquinas, primero se dejará un margen de todos los bordes de 2 a 4 cm., ya sea dibujando una línea o marcando con barrotos. También se recomienda proyectar el molde previendo un margen como receso. Esto se logra fijando una tira de madera de 6 mm. en los bordes del molde.

Otra recomendación consiste en que una vez empezado el trabajo de la herramienta, debe terminarse y no dejarse inconcluso. Después de terminado, se cepilla la superficie con una escoba para remover el polvo y las partículas de agregados, y, por último, con una manguera se moja toda la superficie.

Como especificación, se puede decir que es posible --- usar las herramientas sobre el concreto endurecido, hecho a base de agregados que sean adecuados para las técnicas usadas.

Los mejores agregados para poder ser tratados con herramientas son aquéllos que pueden ser cortados sin fractura.

En lo referente al costo, los factores que lo determinan son la calidad del concreto que va a ser expuesto, el área de la superficie a tratar, el tipo de superficie que va a ser expuesta, la ubicación de la superficie en cuestión, el tipo de acabado mecánico requerido, la profundidad de exposición requerida por el diseño, y los colados según sean en obra o en planta.

Superficies tratadas con chorro de abrasivos.

Una atención especial deberá darse a este tipo de acabados, al sellado y a la estabilidad de todas las juntas, y no permitiendo el escurrimiento a través del molde.

Para piezas precoladas, el chorro de arena se hará mejor después que la unidad haya sido desmoldeada y transportada a una zona especial en el exterior.

Un apropiado uso del chorro de abrasivos hará que éstos puedan ser recuperados, tratados y reusados, para reducir así el costo de los materiales.

La acción del chorro de arena, primero remueve la lechada y después erosiona la parte suave entre las partículas de los agregados.

La profundidad de la exposición deberá ser de 1/3 del tamaño del agregado.

El mínimo recubrimiento antes del tratamiento para cualquier acabado de agregado expuesto deberá ser de 45 mm.

Los trabajos con el chorro de abrasivos deberán empezar se desde la parte inferior de la superficie a tratar. Cuando el chorro se utiliza en la unión de concretos de distintas edades, en dicho punto se colocará una tira de 30 a 40 mm de ancho, hasta que el concreto más joven haya alcanzado la dureza

necesaria para recibir el acabado.

El operador deberá colocar la manguera perpendicular a la superficie y aproximadamente a 60 cm de distancia; en realidad, la distancia depende de la presión dada, del endurecimiento del concreto y del abrasivo usado.

Acabado de superficies no cimbradas.

Para lograr una superficie durable sobre concreto no cimbrado se tienen que seguir con cuidado los procedimientos apropiados. El concreto utilizado debe ser del menor revenimiento posible para su consolidación apropiada, preferiblemente mediante vibración mecánica interna. Después de la consolidación, el trabajo con la maestra, el revestimiento, y el primer allanado deben llevarse a cabo de tal manera que el concreto se trabaje y se manipule tan poco como sea posible, para obtener el resultado deseado. Manipular en demasía trae excesivos finos y agua a la superficie, dañando la calidad de la superficie terminada y causando efectos indeseables como agrietamiento, cuarteaduras y polvo. Por la misma razón, cada paso en la operación del acabado, desde el primero hasta el último aplanado, deben posponerse tanto como sea posible para lograr el grado de tersura de la superficie. El agua libre no suele aparecer y acumularse entre operaciones de acabado, si se emplean proporciones apropiadas en la mezcla y en la consistencia. Sin embargo, si hay acumulación de agua, debe quitarse -

secándola con afelpados, drenándola, etc., para lograr que la superficie pueda perder el brillo del agua antes de llevar a cabo la siguiente operación de acabado. En ninguna circunstancia debe emplearse algún instrumento de acabado, en ningún área antes de que el agua acumulada se haya quitado, ni deben trabajarse estas superficies con cemento puro o mezclas de arena y cemento para secarlas.

Es posible obtener resultados satisfactorios de un mortero dosificado correctamente, colocándolo y trabajándolo antes de que el concreto haya fraguado. La consistencia, consolidación y acabado de la mezcla deben ser como se ha descrito arriba. Sin embargo, un concreto con dosificación, consistencia y textura correctas, colocado y terminado monolíticamente con el concreto de base, es preferible a un acabado de mortero.

Varios acabados especiales de piso que se instalan sobre superficies de concreto endurecidas, requieren técnicas especiales y no se incluyen en estas prácticas recomendadas.

6) Curado

A fin de obtener un buen concreto, la colocación de la mezcla apropiada debe ir seguida de un curado en un ambiente adecuado durante las etapas tempranas de endurecimiento. Curado es el nombre que se da a los procesos para promover la hidratación del cemento, y consiste en controlar la temperatura

y los movimientos de humedad dentro y fuera del concreto.

Más concretamente, el objetivo del curado es mantener el concreto saturado, o tan saturado como sea posible hasta -- que el espacio de la pasta fresca de cemento que originalmente estaba lleno de agua, se llene al tamaño deseado con los productos de la hidratación del cemento.

En caso del concreto en la obra, el curado activo casi siempre cesa mucho antes de que haya tenido lugar la máxima hidratación posible.

-Métodos de curado.

Se hará tan sólo un bosquejo de algunos de los diferentes medios de curado, ya que los procedimientos reales que se usan varían ampliamente y dependen de las condiciones de la obra y del tamaño, la forma y la posición del elemento estructural.

En el caso de miembros con una relación volumen/superficie pequeña, se ayuda al curado aceitando y humedeciendo las cimbras antes de la colocación del concreto; las cimbras pueden mojarse también durante el endurecimiento, y después del descimbrado, el concreto debe rociarse y forrarse con hojas de polietileno o alguna otra cubierta adecuada.

Las superficies de concreto grandes, como las losas de carretera, presentan un problema más grave. A fin de prevenir

el agrietamiento de la superficie por el secado, se impiden - pérdidas de agua aún antes de la colocación. Como el concreto es, en ese momento, débil mecánicamente, es necesario suspender una cubierta sobre la superficie del concreto. Esta - protección se requiere únicamente en clima seco, pero puede - ser útil también para evitar que la lluvia pique la superfi-- cie del concreto.

Una vez colocado el concreto, puede proporcionarse un curado húmedo si se mantiene el concreto en contacto con una - fuente de agua. Esto se logra rociando o inundando, o cubriendo el concreto con arena o tierra húmeda, aserrín o paja, to-- dos húmedos. Pueden usarse telas de algodón o yute mojadas pe riódicamente o también una cubierta absorbente con acceso a -- agua.

Otro medio de curado es el uso de una membrana imper-- meable o de papel a prueba de agua. Una membrana, que no esté picada o dañada, evitará efectivamente la evaporación de agua del concreto, pero no permitirá el ingreso de agua para repo-- ner la que se pierde debido a la autodesecación. La membrana está formada por compuestos selladores y puede ser transparen-- te, blanca o negra; un color claro conduce a menos absorción - de calor del sol y, por lo tanto, a un menor aumento en la tem peratura del concreto.

El período de curado no puede prescribirse con sencii--

llez, pero se suele especificar un mínimo de siete días para concreto hecho de cemento Portland ordinario.

El concreto de alta resistencia debería curarse a edad temprana, ya que una hidratación parcial podría hacer crear -- discontinuidad en los capilares : al renovarse el curado, tal vez el agua no entre al interior del concreto, ésto impide la hidratación ulterior. Sin embargo, las mezclas con una relación agua/cemento alta siempre retienen un gran número de capilares, así que el curado puede reiniciarse efectivamente en -- cualquier momento.

Aspersión.

La aspersión continua de agua es un método excelente - de curado. Si el rociado se hace en forma intermitente, deberá tenerse el cuidado de evitar que el concreto se seque entre las aplicaciones de agua. Un rocío fino de agua que se apli-- que continuamente por un sistema de boquillas o de una manguera para riego son fuentes constantes de humedad. Con éstos se elimina la posibilidad del cuarteo o agrietamiento, producidos por los ciclos de mojado y secado.

Papel impermeable.

El papel impermeable para curado constituye un medio - eficaz para el curado de superficies horizontales y del concreto estructural de formas relativamente sencillas. Una ventaja

importante de este método es que no requiere adiciones periódicas de agua. El papel para curado asegura la correcta hidratación del cemento, impidiendo la pérdida de humedad del concreto. Debe aplicarse luego que el concreto haya endurecido lo suficiente para evitar que se dañe su superficie, y después -- que el concreto se haya humedecido completamente.

Hojas de plástico.

Se usan algunos materiales en forma de hojas de plástico para curar el concreto. Son barreras ligeras y efectivas -- para la humedad y se aplican con facilidad a las formas sencillas lo mismo que a las formas complejas.

Compuestos para curar concreto.

Los compuestos líquidos para curado que forman membranas retardan o impiden la evaporación del agua del concreto. -- Sirven para curar no sólo el concreto fresco, sino también para curar el concreto después de quitar los moldes o después -- del curado inicial con humedad.

Los compuestos para el curado son de cuatro tipos generales: claros o translúcidos, con pigmento blanco, como pigmento gris claro, y negros.

Para los días calientes en que brilla el sol, los compuestos con pigmentos blancos son los más efectivos porque reflejan los rayos del sol, y por tanto reducen el aumento de -- temperatura en el concreto.

Curado, dejando los moldes en el lugar del colado durante un tiempo.

Los moldes son una buena protección contra la pérdida de humedad, si las superficies superiores que se dejan expuestas se mantienen mojadas. Las mangueras para regar son un medio excelente para mantener mojado el concreto. Los moldes de ben dejarse en el concreto tanto tiempo como sea posible.

Los moldes de madera que se dejan en su lugar deben mantenerse húmedos regándolos, especialmente durante tiempo ca liente y seco. A menos que los moldes se mantengan mojados, - deberán quitarse tan pronto como sea posible y empezarse en se guida, sin retraso, otro método de curado.

Curado con vapor.

El curado con vapor puede usarse con ventaja cuando es importante la adquisición rápida de resistencia, o cuando se - requiere más calor para efectuar la hidratación, como cuando - se hacen colados en tiempo frío.

Se usan en la actualidad dos métodos para curar con va por para que el concreto adquiriera resistencia rápidamente; curado con vapor vivo a la presión atmosférica (para estructuras encerradas, colocadas en el lugar y unidades prefabricadas de concreto) y curado es autoclaves de vapor a alta presión (para pequeñas unidades prefabricadas).

Un ciclo de curado con vapor consta de : (1) una espera inicial antes de aplicar el vapor; (2) un período para aumentar la temperatura; (3) un período para mantener constante la máxima temperatura y, (4) un período para disminuir la temperatura.

El curado con vapor a la presión atmosférica generalmente se hace en una cámara de vapor u otro recinto para disminuir la humedad y las pérdidas de calor. Con frecuencia se usan lonas para formar el recinto. La aplicación del vapor al recinto se debe retrasar cuando menos 2 horas después del final del colado del concreto para dejar que endurezca el concreto colado más recientemente. Sin embargo, esperando de 4 a 5 horas antes de aplicar el vapor, se obtendrá la máxima resistencia inicial.

Deberán evitarse la rapidez excesiva en el calentamiento y el enfriamiento durante el curado con vapor a la presión atmosférica para evitar los cambios de volumen que dañen al concreto. Las temperaturas en el recinto que rodea el concreto no deben aumentar ni disminuirse más de 40 grados F por hora.

La temperatura máxima del vapor en el recinto debe mantenerse hasta que el concreto haya alcanzado la resistencia de deada. El tiempo necesario depende de la mezcla del concreto y de la temperatura del vapor.

En el curado con vapor a alta presión en autoclaves se aprovechan las temperaturas del orden de 180 a 208 grados °C y las presiones correspondientes de aproximadamente 5.6 a 12 kg/cm². La hidratación se acelera mucho y las presiones y temperaturas elevadas pueden producir benéficas reacciones químicas entre los agregados y/o los materiales cementantes que no ocurren -- cuando se hace curado ordinario con vapor.

Duración del período de curado.

El tiempo que el concreto debe protegerse contra la -- pérdida de humedad depende del tipo de cemento, de las proporciones de la mezcla, de la resistencia necesaria, del tamaño y forma de la masa de concreto, del tiempo y de las futuras condiciones de exposición. Este período puede ser de un mes o mayor para las mezclas pobres que se usan en estructuras como -- presas. Inversamente, puede ser de solamente unos cuantos --- días para las mezclas ricas, especialmente si se usa cemento - del tipo III, de rápido endurecimiento. Los períodos para el curado con vapor son normalmente mucho más cortos. Como se mejoran todas las buenas propiedades del concreto con el curado, el período del mismo debe ser tan largo como sea posible en todos los casos.

Como en la rapidez de hidratación influyen la composición del cemento y su finura, el período de curado debe prolongarse en los concretos hechos con cementos que tengan caracte-

rísticas de endurecimiento lento.

En la mayor parte de sus aplicaciones estructurales, - el período de curado para el concreto colado en el lugar es -- usualmente de 3 días a 2 semanas, lo que depende de condicio-- nes como la temperatura, tipo de cemento, proporciones usadas en la mezcla, etc. Son convenientes los períodos de curado -- más largos para las calzadas de los puentes y otras losas ex-- puestas a la intemperie y al ataque químico.

5.- PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO

Antes de describir las propiedades del concreto fresco y endurecido, se presentarán los resultados de las pruebas físicas de los agregados grueso y fino utilizados en este trabajo.

Para conocer el peso volumétrico compacto, granulometría, densidad y absorción de los agregados, se hicieron las correspondientes pruebas según se describen en las normas de la ASTM - Parte 14, obteniéndose los siguientes resultados :

CONCEPTO	UNIDAD	A R E N A	GRAVA ANDESITICA	GRAVA BASALTICA
D E N S I D A D, SSS	gr/cm ³	2.32	2.27	2.72
A B S O R C I O N	%	6.32	4.44	2.50
PESO VOL. COMPACTO	Kg/m ³	—	1350	1510
MODULO DE FINURA	—	2.7	—	—
F O R M A	—	SEMI REDONDEADA	SEMI REDONDEADA	ANGULOSA
T E X T U R A	—	RUGOSA	POCO RUGOSA	RUGOSA

Una vez conocidas las propiedades anteriores, se procedió a diseñar las mezclas siguiendo la "Práctica Recomendada para Proporcionar Mezclas de Concreto sin Revenimiento - - - (ACI 211.3-75).

El proporcionamiento de las mezclas se hizo fijando los siguientes requisitos :

a) Tamaño máximo del agregado, 3/4" para los dos tipos de agregado.

- b) Revenimiento bajo (0-5 cm.)
- c) Empleo de aditivo fluidizante.
- d) Mantener constante la relación mortero : grava para todas las mezclas.

Las mezclas se diseñaron haciendo variar la relación - agua/cemento de 0.36 a 0.42 con incrementos de 0.02. También se elaboraron mezclas variando la cantidad de cemento por m³., de 450 Kg/m³ a 675 Kg/m³, con incrementos de 75 Kg/m³

Una vez fijados los requisitos antes mencionados, se hizo el diseño de la mezcla por volúmenes absolutos y la dosificación se hizo por peso, haciendo el correspondiente ajuste por humedad y absorción en los agregados para cada una de las diferentes mezclas que se elaboraron.

Ya hecho el diseño de todas se procedió a la elaboración de cada una de ellas.

Al concreto fresco se le determinó el revenimiento, el porcentaje de aire y el peso volumétrico.

Los resultados obtenidos en las mezclas ensayadas se presentan en la siguiente tabla.

		MEZCLA ANDESITICA			MEZCLA BASALTICA		
		REVENIMIENTO	AIRE	PESO VOL.	REVENIMIENTO	AIRE	PESO VOL.
		CM	%	Kg/M ³	CM	%	Kg/M ³
RELACION A/C	0.36	3.5	3.2	2160	5.0	1.9	2366
	0.38	5.0	3.0	2155	5.0	2.5	2333
	0.40	5.0	3.2	2150	5.0	2.5	2334
	0.42	5.0	3.9	2142	5.0	2.6	2322
CONTENIDO DE CEMENTO Kg/M ³	450	3.0	3.5	2165	3.5	3.0	2350
	525	3.0	3.5	2169	2.5	3.1	2354
	600	2.0	3.5	2169	1.0	3.2	2369
	675	2.0	3.5	2170	1.0	3.0	2370

Conocidas las propiedades del concreto en estado fresco se procedió a la elaboración de cilindros de 7.5 x 15.0 cm. para ser ensayados a compresión posteriormente.

Concreto endurecido.

Los cilindros elaborados para cada mezcla fueron guardados en la cámara húmeda hasta cumplir su edad de prueba, es decir a 3, 7 y 28 días. Los resultados que se obtuvieron para cada tipo de mezcla se presentan en las figuras 1 - 4 y de las cuales podemos hacer las siguientes observaciones.

- a) Aumento considerable de resistencia a edades tempranas.
- b) Incremento de resistencia a mayor cantidad de cemento.
- c) Influencia de la relación agua/cemento.

d) Influencia del tipo de agregado en el diseño de la mezcla.

De los incisos arriba mencionados, el más importante para el desarrollo de la presente tesis es el punto d), pero para poder analizar y describir mejor el comportamiento de las diferentes mezclas estudiadas se analiza cada inciso con la ayuda de las figuras 1-4.

a) Aumento de resistencia a edades tempranas. En las figuras antes mencionadas, se puede observar que a los tres días, el concreto alcanza de un 60 a un 70% de la resistencia alcanzada a los 28 días, y que a los 7 días presenta en la mayoría de los casos, un porcentaje de resistencia que varía entre el 80 y el 90%.

Conforme pasa más tiempo la resistencia sigue aumentando, pero para fines de presentación de los resultados en este trabajo se supone que el 100% de la resistencia a la compresión corresponde a la que se alcanza a los 28 días de edad.

Para poder captar con facilidad el incremento en porcentaje de la resistencia para cada mezcla y para hacer comparaciones numéricas entre las mezclas análogas se presentan las tablas 1 - 4. Donde por ejemplo en la tabla 1, se puede observar que para una relación agua/cemento de 0.36, la mezcla andesítica presenta un porcentaje de resistencia del 63 y 89% a los 3 y 7 días, respectivamente, del 100% alcanzado a los 28 días.

b) Incremento de resistencia debido a mayor cantidad de cemento.

Análogamente al caso anterior y de acuerdo al comportamiento observado en las curvas de las figuras 3 y 4, se puede deducir que la resistencia a la compresión se incrementa -- notablemente si aumenta la cantidad de cemento. También puede observarse que para una cantidad de cemento dada, la mezcla basáltica siempre ofrece mayor resistencia que la mezcla andesítica.

Por ejemplo en la tabla 9 para una cantidad de cemento igual a 675 Kg/m^3 , la mezcla basáltica presenta una resistencia a los 28 días, 30% mayor que la mezcla andesítica. Para hacer las comparaciones numéricas de las otras mezclas se presentan las tablas 5, 6 y 9.

c) Influencia de la relación agua/cemento.

Al observar las trayectorias mostradas por las curvas de las figuras 1 y 2, se puede afirmar que la resistencia se incrementa al reducirse la relación agua/cemento.

También debe destacarse que para una relación agua/cemento dada, la mezcla basáltica siempre ofrece una mayor resistencia a la compresión que la mezcla andesítica.

Por ejemplo en la tabla 10 para una relación igual a 0.36, la mezcla basáltica presenta una resistencia de un 17% -

mayor que la mezcla andesítica a los 28 días.

Para las comparaciones numéricas de las otras mezclas en estudio se presentan las tablas 7, 8 y 10.

d) Influencia del tipo de agregado en el diseño de la mezcla.

Como se mencionó anteriormente, este inciso es el que reviste mayor importancia, ya que fue el que motivó el estudio de la presente tesis.

Se sabe que en las mezclas de concreto a mayor cantidad de cemento o menor relación agua/cemento se obtienen resistencias mayores, sin embargo, también se puede afirmar, de acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo y observando las figuras 1 - 4, que el tipo de agregado también puede ser un factor importante para alcanzar mayores resistencias.

De mezclas comparativas se puede deducir que una mezcla que contenga agregado basáltico siempre proporciona mayor resistencia que una mezcla que tenga agregado andesítico.

Para las correspondientes comparaciones numéricas se presentan las tablas 9 y 10. Donde, por ejemplo, en la tabla 9 se puede observar que, para un contenido de cemento igual a 450 Kg/m^3 , la mezcla andesítica presenta una resistencia del 53, 73 y 82% a los 3, 7 y 28 días, respectivamente, del 100% alcanzado a los 28 días con la mezcla basáltica. Así mismo, -

se puede ver el incremento de resistencia del 7, 8 y 18% correspondiente a los 3, 7 y 28 días, respectivamente, de la mezcla basáltica respecto a la andesítica.

6.- APLICACIONES

Algunas de las aplicaciones del concreto de alta resistencia, se mencionan a continuación :

a) Se puede emplear en la fabricación de elementos -- prefabricados : como vigas, durmientes y pilotes, en los cuales se requiere una rápida transmisión del presfuerzo del cable al concreto o alternativamente para permitir un rápido desmolde de dichos elementos.

b) El concreto de alta resistencia tiene una ventaja importante desde el punto de vista económico en la construcción de arcos y domos.

c) Es conveniente mencionar que también se pueden elaborar concretos con alta resistencia última para permitir altas capacidades de carga en la aplicación final.

Pero en general el concreto de alta resistencia se puede aplicar en la construcción de estructuras y elementos tales como :

ESTRUCTURAS	ELEMENTOS
-Edificios altos	-Columnas
-Puentes de claros medianos y grandes.	-Pilotes
-Carreteras	-Muros de cortante

- Aeropistas
- Naves Industriales
- Edificios para estacionamiento de automóviles.
- Tubos de concreto reforzado su jeto a grandes solicitaciones.
- Presas de arco
- Vertedores
- Techumbres de concreto que libran grandes claros.
- Cascarones
- Cimentaciones
- Tanques circulares
- Vigas y viguetas
- Trabes T, TT
- Presforzados
- Postes
- Durmientes
- Pilas para puentes.
- Block y adoquines.
- Cubo de elevadores
- Contratrabes

7.- CONCLUSIONES

Estudios como el realizado tienen como objetivo principal desarrollar en el pasante habilidades para emprender -- por sí sólo una investigación, organizar la información recopilada y presentarla por escrito.

Reconociendo las limitaciones que acarrea consigo el - reducido número de pruebas realizadas en este trabajo, se presentan las siguientes conclusiones :

1. Al disminuir la relación agua/cemento se obtiene mayor resistencia a la compresión. Respecto al concreto con - agregado andesítico, el concreto con agregado basáltico presenta un mayor incremento neto de resistencia, para una disminu-- ción dada en la relación agua/cemento utilizada.

2. A mayor cantidad de cemento, la resistencia a compresión aumenta. El concreto con agregado basáltico, compara-- do con el de agregado andesítico, manifiesta un mayor aumento neto de resistencia para cierto incremento en el contenido unitario de cemento en el concreto.

3. De los dos tipos de agregado estudiados, se con-- cluye que, para producir concreto de alta resistencia, es de-- seable utilizar el agregado basáltico. Para una (alta) resis-- tencia dada, el análisis comparativo del costo por metro cúbico de concreto será factor determinante para decidir sobre el

tipo de agregado que conviene utilizar.

4. El agregado basáltico produce concreto con mayor resistencia que un concreto comparativo hecho con agregado andesítico.

La base de comparación utilizada entre los dos concretos consistió en : mantener constante la relación mortero/agregado, la utilización de un tamaño de agregado máximo (3/4"), - la fijación de un revenimiento bajo (0-5cm.) y el empleo de -- aditivo fluidizante.

5. Por último conviene mencionar que con el agregado andesítico se limita la resistencia a la compresión aproximadamente a 500 Kg/cm^2 aún para consumos elevados de cemento.

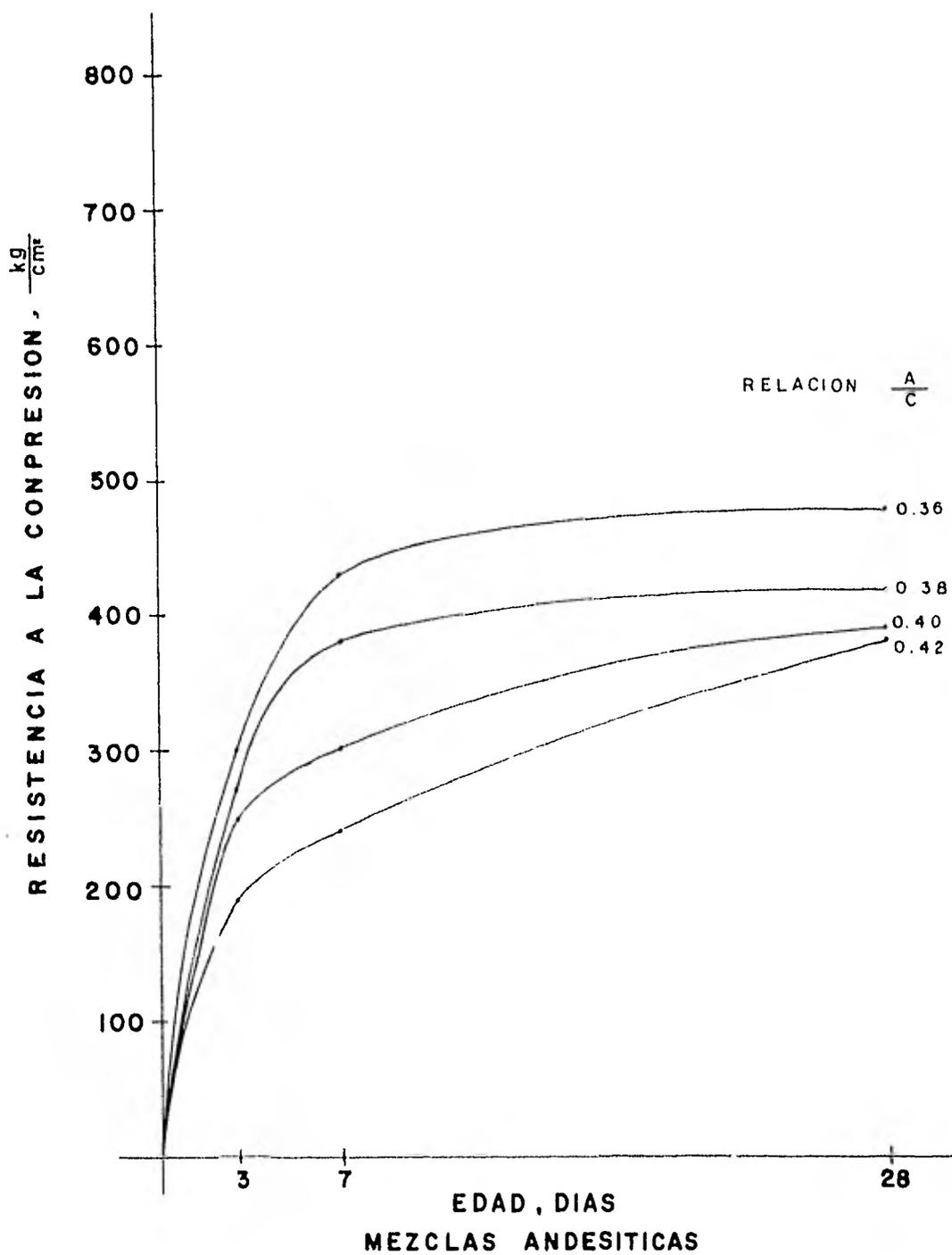


FIGURA No 1

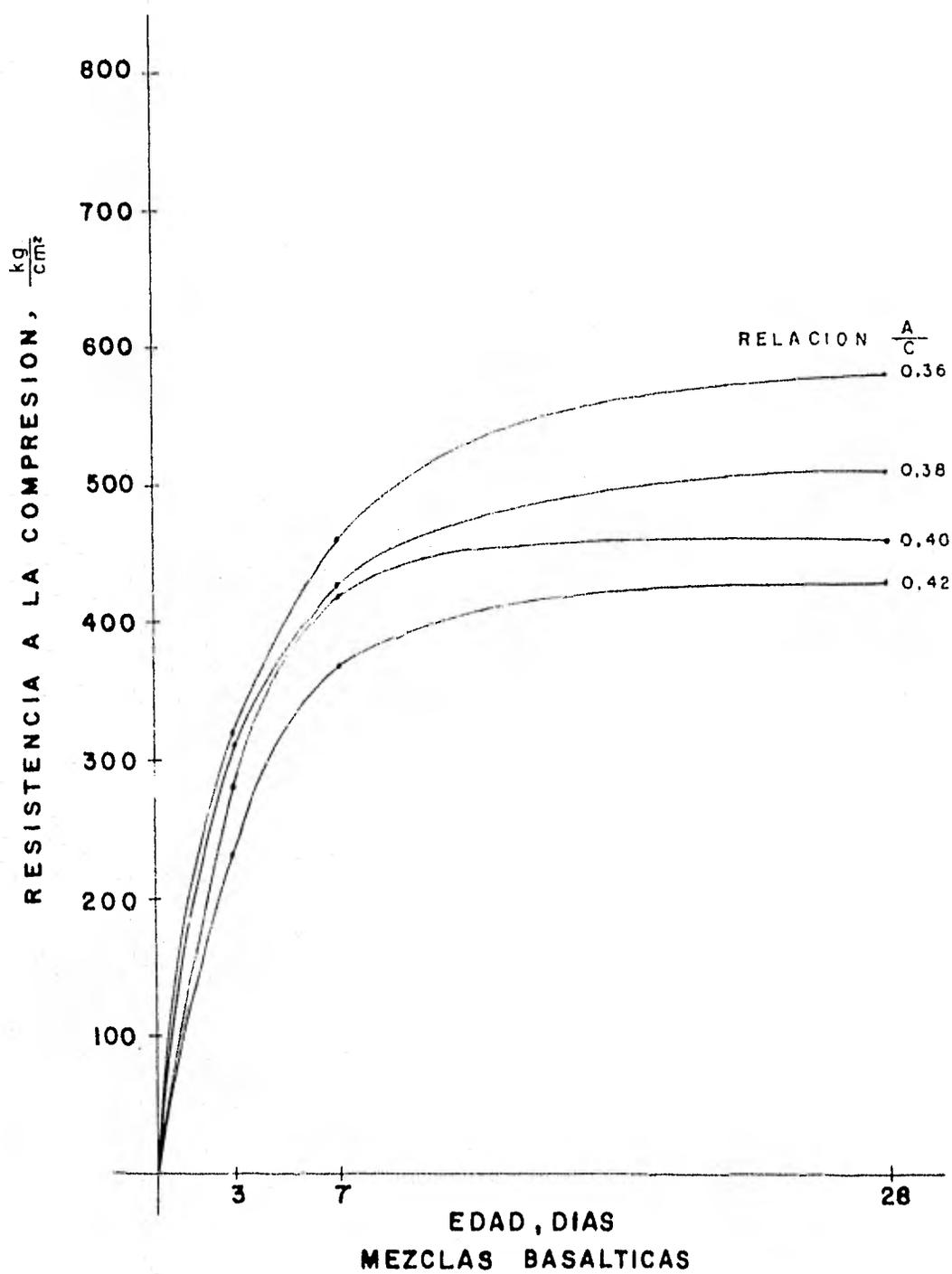


FIGURA No 2

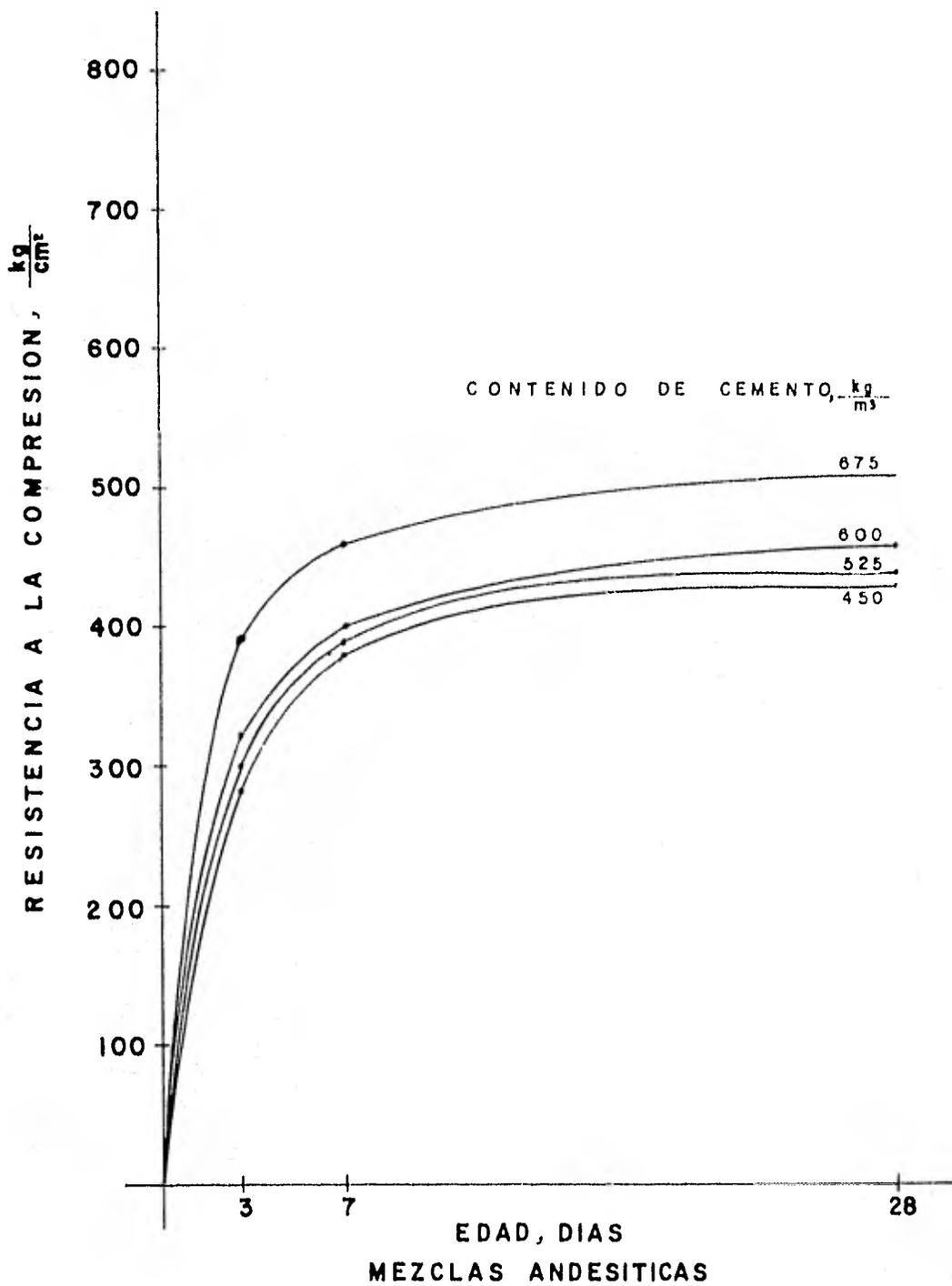


FIGURA No 3

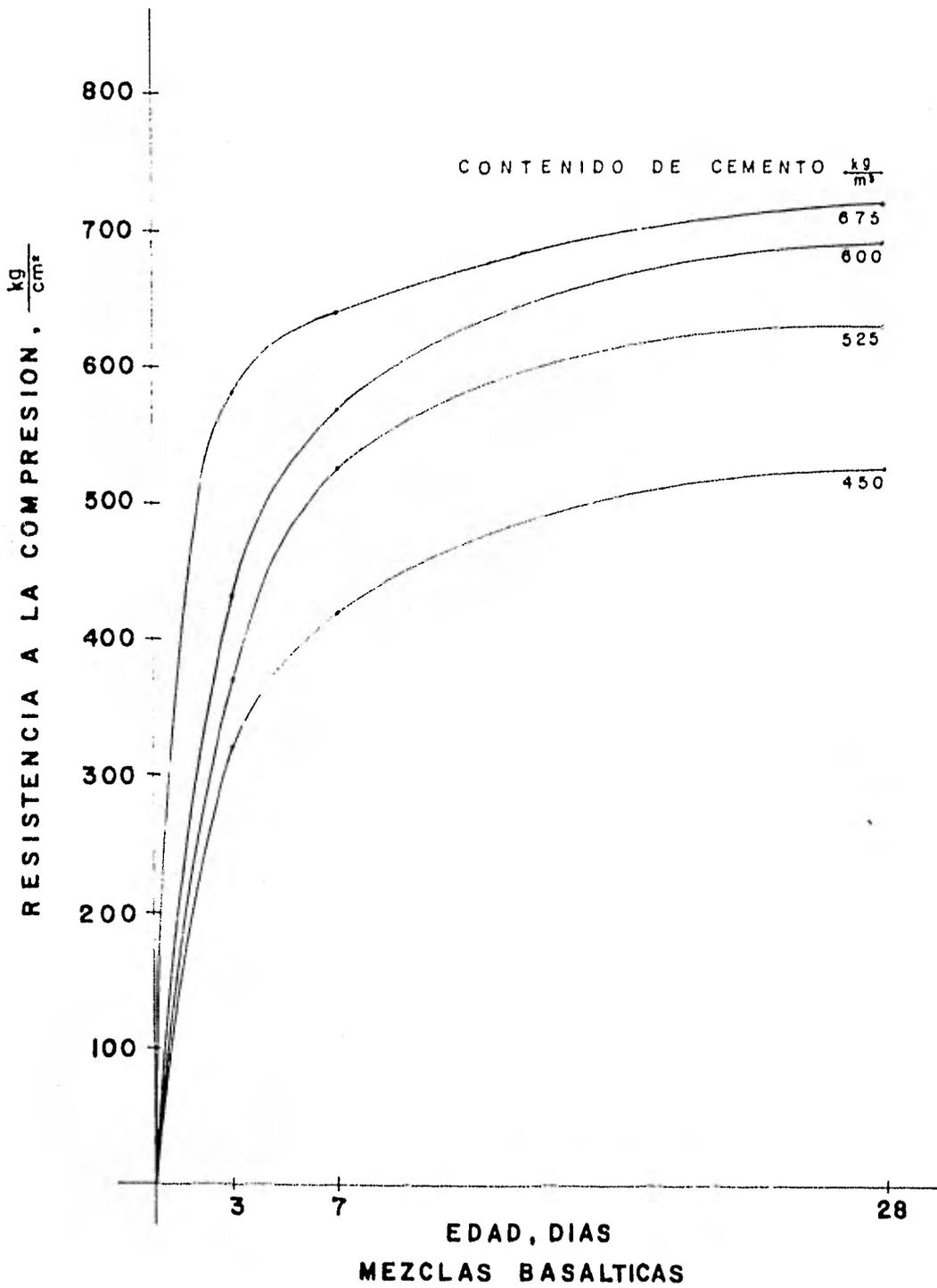


FIGURA No 4

FIGURA No. 5

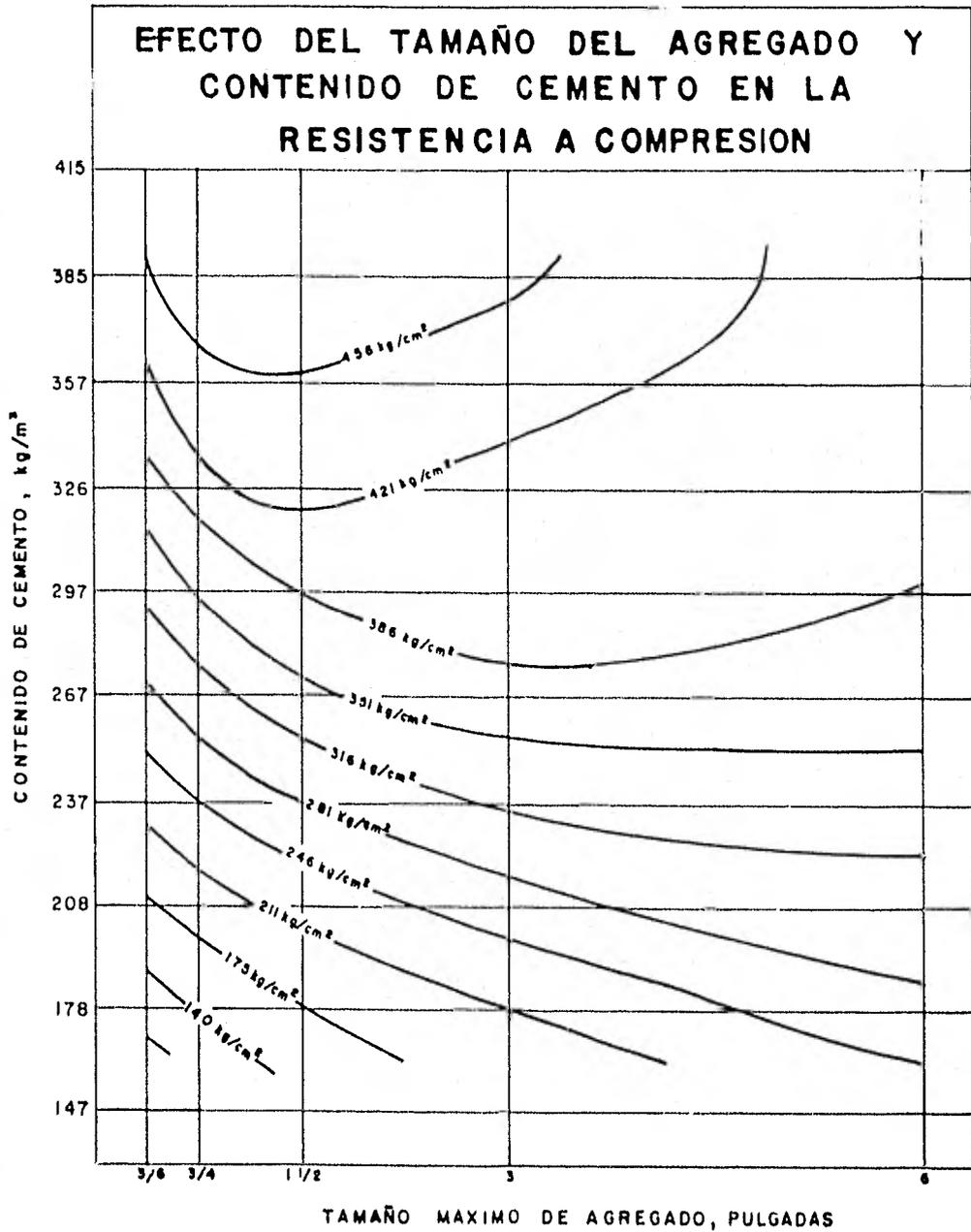


TABLA No. 1

TIPO DE MEZCLA	RELACION A / C	RESISTENCIA EN % A LA EDAD DE:		
		3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
ANDESITICA	0.36	63	89	100
ANDESITICA	0.38	64	90	100
ANDESITICA	0.40	64	77	100
ANDESITICA	0.42	50	63	100
PROMEDIO TOTAL		60.25	79.75	100

TABLA No. 2

TIPO DE MEZCLA	RELACION A / C	RESISTENCIA EN % A LA EDAD DE:		
		3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
BASALTICA	0.36	55	79	100
BASALTICA	0.38	61	84	100
BASALTICA	0.40	61	91	100
BASALTICA	0.42	53	86	100
PROMEDIO TOTAL		57.50	85.00	100

TABLA No. 3

TIPO DE MEZCLA	CONTENIDO DE CEMENTO KG/M ³	RESISTENCIA EN % A LA EDAD DE:		
		3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
ANDESITICA	450	65	88	100
ANDESITICA	525	68	88	100
ANDESITICA	600	69	87	100
ANDESITICA	675	78	90	100
PROMEDIO TOTAL		69.50	88.25	100

TABLA No. 4

TIPO DE MEZCLA	CONTENIDO DE CEMENTO KG/M ³	RESISTENCIA EN % A LA EDAD DE:		
		3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
BASALTICA	450	60	81	100
BASALTICA	525	59	84	100
BASALTICA	600	62	83	100
BASALTICA	675	80	89	100
PROMEDIO TOTAL		65.25	84.25	100

TABLA No. 5

TIPO DE MEZCLA	CONTENIDO DE CEMENTO KG/M ³	3 DIAS		7 DIAS		28 DIAS	
		% R †	R *	% R	R	% R	R
BASALTICA	450	60	320	81	420	100	520
BASALTICA	525	59	370	84	530	100	630
BASALTICA	600	62	430	83	570	100	690
BASALTICA	675	80	580	89	640	100	720
PROMEDIO DE RESISTENCIA TOTAL			425		540		640

TABLA No. 6

TIPO DE MEZCLA	CONTENIDO DE CEMENTO KG/M ³	3 DIAS		7 DIAS		28 DIAS	
		% R †	R *	% R	R	% R	R
ANDESITICA	450	65	280	80	380	100	430
ANDESITICA	525	68	300	88	390	100	440
ANDESITICA	600	69	320	87	400	100	460
ANDESITICA	675	76	390	90	460	100	510
PROMEDIO DE RESISTENCIA TOTAL			322		407		460

* R = RESISTENCIA, Kg/cm²

† % R = RESISTENCIA EN PORCIENTO

TABLA No. 7

TIPO DE MEZCLA	RELACION	3 DIAS		7 DIAS		28 DIAS	
	A/C	% R †	R *	% R	R	% R	R
ANDESITICA	0.42	50	190	63	240	100	380
ANDESITICA	0.40	64	250	77	300	100	390
ANDESITICA	0.38	64	270	90	380	100	420
ANDESITICA	0.36	63	300	89	430	100	480
PROMEDIO DE RESISTENCIA TOTAL			252.5		337.5		417.5

TABLA No. 8

TIPO DE MEZCLA	RELACION	3 DIAS		7 DIAS		28 DIAS	
	A/C	% R †	R *	% R	R	% R	R
BASALTICA	0.42	53	230	86	370	100	430
BASALTICA	0.40	61	280	91	420	100	460
BASALTICA	0.38	61	310	84	430	100	510
BASALTICA	0.36	55	390	79	460	100	580
PROMEDIO DE RESISTENCIA TOTAL			302.5		420.0		495.0

* R = RESISTENCIA, Kg/cm²

† % R = RESISTENCIA EN PORCIENTO

TABLA No. 9

TIPO DE MEZCLA	CONTENIDO DE CEMENTO KG/M ³	3 DIAS		7 DIAS		28 DIAS	
		% R	% ΔR*	% R†	% ΔR	% R	% ΔR
ANDESITICA	450	53	7	73	8	82	18
BASALTICA		60		100			
ANDESITICA	525	47	12	62	22	70	30
BASALTICA		59		100			
ANDESITICA	600	46	16	58	25	67	33
BASALTICA		62		100			
ANDESITICA	675	54	26	64	25	70	30
BASALTICA		80		100			

TABLA No. 10

TIPO DE MEZCLA	RELACION A/C	3 DIAS		7 DIAS		28 DIAS	
		% R†	% ΔR*	% R	% ΔR	% R	% ΔR
ANDESITICA	0.36	52	3	74	5	83	17
BASALTICA		58		100			
ANDESITICA	0.38	53	8	74	10	82	18
BASALTICA		61		100			
ANDESITICA	0.40	64	7	65	26	85	15
BASALTICA		81		100			
ANDESITICA	0.42	44	9	56	30	88	12
BASALTICA		53		100			

*% ΔR = INCREMENTO DE RESISTENCIA EN PORCIENTO

†% R = RESISTENCIA EN PORCIENTO

REFERENCIAS

- 1.- Recommended Practice for Selecting Proportions for - -
No-Slump Concrete (ACI 211, 3-75)
Reported by ACI Committes 211, 1975.
- 2.- Bryant Mather, "High Strength. Concrete"
American Concrete Institute, December 1968.
- 3.- Ronald Blick, "Proportioning And Controlling High - -
Strength Concrete"
- 4.- A. M. Neville "Tecnología del Concreto" tomos I y II
Nueva Serie IMCYC, 1977.
- 5.- "Práctica Recomendable para Dosificar Concreto Normal
y Concreto Pesado"
IMCYC, No. 2 Nueva Serie, 1980.
- 6.- "Cartilla del Concreto"
IMCYC, NS-4, 1980.
- 7.- "Guía para el Empleo de Aditivos en el Concreto"
IMCYC, NS-7, 1980.
- 8.- "Aditivos Superfluidificantes para Concreto"
IMCYC, NS-17, 1980.
- 9.- "Práctica Recomendada para la Medición, Mezclado, --
Transporte y Colocación del Concreto"
IMCYC, NS-3, 1980.