

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA

INFORME DE INGENIERIA

**Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO CIVIL**

JOHNNY ALBINO RIVERA ORTEGA

**Lima – Perú
2001**

**A Maximiano y Haydeé,
mis padres, la fuente inagotable de energía
que me dio vida, quienes con su gran amor
siempre me han mostrado el camino hacia la
felicidad.**

AGRADECIMIENTOS

**A Dios, por estar siempre allí haciendo los
"Pequeños Milagros".**

**A María Elena, mi gran amor, quien con su
apoyo y comprensión hace posible que los
sueños se tornen realidad.**

**A la Universidad Nacional de Ingeniería, a
mis maestros y amigos quienes con su
dedicación contribuyeron en mi formación
académica.**

**Al Dr. Javier Arrieta Freyre, mi asesor, por
sus excelentes clases en el curso precedente
y por su orientación esmerada y
desinteresada en la realización del presente
Informe de Ingeniería.**

“CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA (CAR)”

ÍNDICE

PÁGINA

| | |
|--|------------|
| INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| I. CAPITULO I | |
| I.1 DEFINICIÓN DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA..... | 5 |
| I.2 PARTICULARIDADES DEL CAR..... | 9 |
| I.3 ESTRUCTURA INTERNA Y MATERIALES EN EL CAR..... | 14 |
| I.4 PROPIEDADES..... | 26 |
| I.5 MEZCLAS TÍPICAS..... | 36 |
| II. CAPITULO II | |
| II.1 INVESTIGACIONES DEL CAR EN NUESTRO MEDIO..... | 45 |
| II.2 EVOLUCIÓN Y APLICACIÓN DEL CAR EN NUESTRO MEDIO..... | 51 |
| II.3 INVESTIGACIONES DEL CAR EN EL EXTERIOR..... | 57 |
| II.3.1 INFLUENCIA DE LA MICROSILICE Y LA TEMPERATURA DE CURADO EN LA RESISTENCIA DEL CAR..... | 58 |
| II.3.2 RESISTENCIA RESIDUAL DEL CAR SUJETO A ALTAS TEMPERATURAS..... | 69 |
| III. CAPITULO III | |
| III.1 CONTROL DE CALIDAD PARA EL CAR..... | 92 |
| III.2 CONSIDERACIONES ECONOMICAS DEL CAR..... | 114 |
| CONCLUSIONES..... | 134 |
| RECOMENDACIONES..... | 137 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 139 |
| ANEXOS..... | 142 |

INTRODUCCIÓN

El concreto es el material más usado en obras de ingeniería civil, esto sucede tanto aquí como en los países más desarrollados, pudiéndose afirmar que se seguirá utilizando por muchos años, a pesar de la aparición de nuevos materiales y tecnologías sustitutas. Los avances en el concreto en los últimos años han dependido en gran medida del descubrimiento de los superfluidificantes y la utilización de adiciones minerales, los cuales han permitido la fabricación de concretos de alta resistencia a la compresión, así también, han dado lugar a los concretos autocompactantes, de alta durabilidad, colocados bajo agua, etc. que en general constituyen los concretos de alto desempeño.

El tema que se expone en el presente trabajo es el CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, que es un tipo de concreto cada vez de uso más frecuente en otros países por sus ventajas que se difunden y se demuestran con la investigación y sobre todo con la práctica. En “días pasados”, cuando el mundo no contaba con tantos medios de comunicación, se podía afirmar que la alta resistencia era un término del todo relativo según el lugar y la época en que se utilizaba; hace 50 años un concreto de 350 kg / cm^2 era llamado “concreto de alta resistencia”, sin embargo, hoy en día, estas resistencias son fácilmente alcanzables en cualquier parte donde se practique una buena ingeniería.

El presente informe trata sobre tópicos que muestran algunos avances y aplicaciones efectuados sobre los concretos de alta resistencia los cuales son considerados un subgrupo de los llamados concretos de alto desempeño. Se expone sobre los materiales utilizados para llegar a las resistencias especificadas, se incluye un estudio comparativo entre los resultados que dan las fórmulas actualmente disponibles para hallar el módulo de elasticidad en función de la resistencia a la compresión. Así mismo se recapitulan varias

mezclas típicas que servirán de ayuda para los proporcionamientos de prueba, y se remarca lo indispensable en la normatividad para llevar a cabo la aplicación de esta tecnología, citándose recomendaciones para el control de calidad, el cual debe ser más estricto que el requerido en el caso de concreto convencional. Finalmente, se muestra mediante casos numéricos las ventajas estructurales y económicas que se podrían lograr con el uso de concreto de alta resistencia.

Este estudio se ha efectuado en el marco del programa de “Titulación Profesional por la Modalidad de Actualización de Conocimientos” del año 2000, habiéndose elaborado a partir de los tópicos tratados en los diferentes cursos dictados así como de la paciente investigación de trabajos de tesis profesionales y análisis de artículos contenidos en bibliografía de reciente edición a nivel nacional e internacional.

CAPITULO I

I. 1- DEFINICIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

El concreto de alta resistencia es un material cuya característica principal es su alta resistencia a la compresión. En la actualidad se considera al concreto de alta resistencia como un subgrupo de algo más amplio que es el Concreto de Alto Desempeño, el cual es un concreto que maximiza las características deseables del material, tanto en estado plástico como en el estado endurecido. La definición de qué es alta resistencia es diferente en distintas partes del mundo. Por ejemplo, la Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles (JSCE por sus siglas en inglés) define alta resistencia a los concretos con resistencias entre los 600 y los 800 kg/cm², mientras que para el Instituto Japonés de Arquitectura son alta resistencia aquellos concretos con resistencias entre 270 y 350 kg/cm².

Los comités del Instituto Americano del Concreto (ACI por sus siglas en inglés) también definen al concreto de alta resistencia de maneras algo diferentes:

El ACI 363 "Concreto de Alta Resistencia" define como concreto de alta resistencia a aquellos concretos cuyas resistencias a la compresión a la edad especificada son iguales o mayores a los 410 kg/cm², debido a que muchas de las ecuaciones empíricas usadas para predecir las propiedades del concreto o para el diseño de miembros estructurales están basadas en pruebas que usaron concretos con resistencias iguales o menores a dicha resistencia, explica el mismo comité (Ref. 12)

Mientras tanto, el ACI 441 "Columnas de Concreto" en un documento titulado, "High-Strength Concrete Columns: State of the Art", define como concreto de alta resistencia a aquellos concretos cuya resistencia a la compresión es igual o mayor que 700 kg/cm², debido a que a partir de esta resistencia a la compresión el comportamiento estructural de las columnas es tal que se deben hacer algunos cambios en las consideraciones de diseño.

Por otro lado para el grupo Cementos Mexicanos (CEMEX), el más grande productor de cemento y concreto en México, el concreto de alta resistencia es aquel cuya resistencia a la compresión es igual o mayor a 400 kg/cm², ya que la producción diaria de concreto en toda la república incluye resistencias a la compresión de hasta 350 kg/cm², mientras que el concreto de 400 kg/cm² o más no están en la producción típica.

Para Kumar Mehta y Paulo J. Monteiro (Ref. 1) el concreto de alta resistencia preparado con agregados de peso normal son concretos cuya resistencia a la compresión está por encima de los 42 MPa y lo justifican en base a dos argumentos. Primero, porque el concreto con resistencias mayores no es de uso comercial común necesitando su producción de un control mucho más estricto y, en segundo lugar, porque la micro estructura de concretos de más de 42 MPa difiere a la de los concretos convencionales significando que cambien las propiedades del material las cuales deberán ser consideradas por el proyectista.

Por otro lado existe una clasificación en Canadá para el Concreto de Alta Resistencia a partir de los 50 MPa (Ref. 8), ya que los divide por clases como sigue:

| | |
|-----------|----------------|
| Clase I | 50 a 75 MPa |
| Clase II | 75 a 100 MPa |
| Clase III | 100 a 125 MPa |
| Clase IV | 125 a 150 MPa |
| Clase V | más de 150 MPa |

Como podemos observar, las definiciones de concreto de alta resistencia cambian con el tiempo y el lugar, por lo cual es importante mencionar, conjuntamente con la definición, el criterio bajo el cual ésta ha sido realizada.

La propuesta de este informe, es definir, para nuestro medio, el **CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA** como aquel que alcance o supere una resistencia a la compresión de 500 kg / cm^2 a los 28 días con la característica de trabajabilidad. Es necesario tener en cuenta que debe diferenciarse el Concreto de Alta Resistencia del concreto de altas resistencias iniciales, en este último caso la resistencia adquirida es mayormente de importancia temporal, pero las resistencias del Concreto de Alta Resistencia tienen relevancia permanente, es por eso que se debe mencionar la edad del concreto para la cual alcanzará la resistencia especificada. Otra característica que se debe mencionar es la trabajabilidad, a diferencia de un concreto que puede alcanzar altas resistencias pero con slump cercano a cero (como el concreto compactado con rodillos), el Concreto de Alta Resistencia supone una consistencia fluida tal como se verá más adelante al tratar de las mezclas típicas las cuales tienen un revenimiento mayor de 100 mm..

| DEFINICIONES DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA | | | |
|--|------------------------------|---|--|
| REFERENCIA | LÍMITES | FUNDAMENTO | COMENTARIO |
| Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles JSCE | 600 – 800 kg/cm ² | | |
| Instituto Japonés de Arquitectura | 270 – 350 kg/cm ² | | |
| ACI 363 | ≥ 410 kg/cm ² | Propiedades conocidas están en base a resistencias menores a 410 kg/cm ² | Resistencia a la edad especificada |
| ACI 441 | ≥ 700 kg/cm ² | Cambios en las consideraciones de diseño de columnas | |
| Kumar Mehta y J. Monteiro (Ref. 1) | ≥ 42 Mpa | <input type="checkbox"/> Concretos de $f_c \geq 42$ Mpa no son de uso común <input type="checkbox"/> A este nivel de resistencia la microestructura es diferente | |
| CEMEX | ≥ 400 kg/cm ² | La producción típica en México es de 350 kg/cm ² o menor | |
| PROPUESTA DE ESTE INFORME | 500 kg/cm ² | <input type="checkbox"/> Idem K. Mehta <input type="checkbox"/> No es CCR ni CARI * ni concreto exótico ⁺⁺ | <input type="checkbox"/> Resistencia a los 28 días <input type="checkbox"/> Mezcla trabajable |

Tabla I-1 Comparación de las diferentes propuestas para definir el Concreto de Alta Resistencia

* CCR= Concreto Compactado Con Rodillo; CARI = Concreto de Altas Resistencias Iniciales

++ Tales como los concretos impregnados de polímeros

I. 2 - PARTICULARIDADES DEL CAR

El uso del concreto de alta resistencia se ha estado incrementando cada vez más en las últimas décadas en muchos países del mundo, existen muchas razones por las que resulta conveniente el uso de este material .

I. 2.1 - Ventajas estructurales y arquitectónicas, el CAR permite utilizar menores dimensiones en los elementos tales como las columnas, vigas, muros, losas, etc., de esa forma permite aligerar las estructuras, tener más espacio aprovechable y hasta optar por otras formas geométricas impensables con concretos convencionales.

I. 2.2 – Mejoramiento del proceso constructivo, el CAR es un concreto de mayor fluidez lo que permite su facilidad en la colocación, también presenta una mayor cohesión lo que impide la segregación; por sus altas resistencias también permite una mayor rapidez en el proceso constructivo ya que se puede desencofrar en tiempos menores.

La alta plasticidad de la mezcla de concreto durante el colocado hace prácticamente innecesaria la compactación, con lo que se obtiene no solo una reducción de costos de mano de obra, sino también ahorros en cuanto a electricidad, tiempo y equipo. La gran facilidad de fluencia del concreto de alta resistencia permite colocar en el lugar, elementos de fachada con grandes aperturas. Además como resultado de la gran resistencia última, el espesor de dichos elementos puede ser menos de lo acostumbrado. (Ref. 9)

Otra de las maneras en que el CAR mejora el proceso constructivo es gracias a que produce una mínima o nula exudación, lo cual resulta provechoso especialmente en el acabado de losas y pisos, ya que no tiene que esperarse para dar



Fig. I-1 Acabado de una losa pasada y sin espera del CAR con microsílce (Ref. 21)

el acabado final como cuando se coloca otro tipo de concreto en el que se forma una lámina de agua superficial.

I. 2.3 – Mayor economía, debido al elevado costo del metro cúbico del CAR podría pensarse que una estructura o elemento construido con este concreto es más cara que otra hecha con concreto convencional, pero para hacer esta calificación debemos tener en cuenta la comparación entre la suma de los efectos, al reducir las secciones de elementos estructurales se utiliza un menor volumen de concreto, con esto se ahorra también en los encofrados, la alta resistencia a la compresión también permite el uso de menor cantidad de acero de refuerzo. La velocidad de construcción también es un aspecto importante, por ejemplo en el caso de la construcción de un edificio mientras las tasas de interés son más altas se hace más urgente tener el edificio listo lo antes posible para poder acceder a los beneficios esperados tales como el arrendamiento.

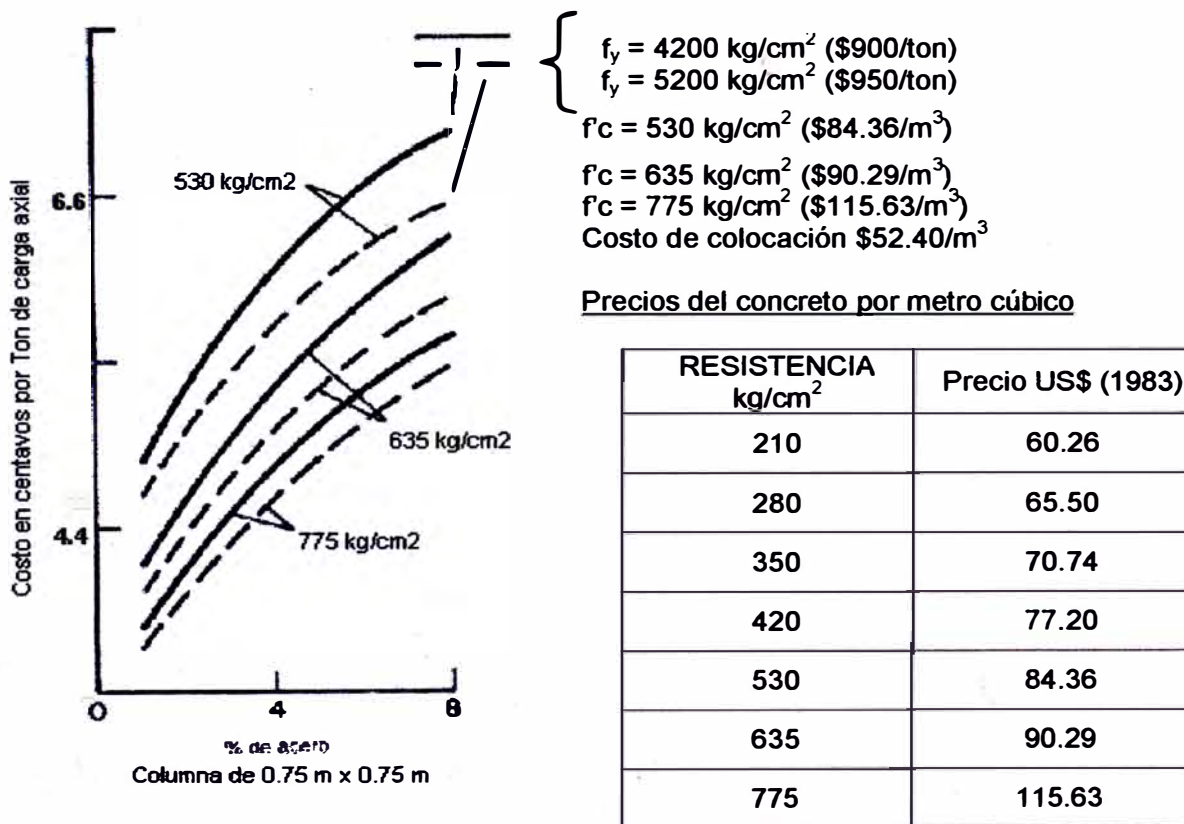


Figura I-2 – Ejemplo de ventaja económica. Relación entre las resistencias del concreto y los costos de columnas (Adaptado de la Ref. 1)

I. 2.4 – Durabilidad. El concreto de alta resistencia es un material de muy baja porosidad en su micro estructura, lo cual da como resultado características impermeables en este concreto y es por esto que el CAR encuentra otras aplicaciones donde la durabilidad del concreto es afectada por la abrasión, la erosión o los ataques de sustancias químicas.

Por ejemplo (Ref. 9) podemos mencionar que la alta capacidad de resistencia contra la abrasión mecánica y la erosión del CAR ya ha sido reconocida en Noruega, donde a los vehículos se les colocan llantas que tienen pequeños clavos de acero para mejorar la fricción entre el neumático y la carretera y para facilitar el manejo del conductor durante el invierno. El daño que se causa a los pavimentos normales de asfalto es enorme. Se ha podido demostrar con un simulador de desgaste de ruedas que el concreto de alta resistencia con altas resistencias de entre 100 y 120 MPa tiene la misma resistencia al desgaste que el granito másivo.

En cuanto a la durabilidad frente a los ciclos de congelación y deshielo, el comité ACI 363 (Ref. 7) comenta que existen contradicciones entre las investigaciones reportadas en este tema. Dicho comité menciona una investigación en la que finalmente se concluye que se debe considerar el aire incluido para que influya favorablemente en la durabilidad del CAR frente a los ciclos de congelamiento y deshielo; por otro lado se tienen datos de otra investigación en la que se llega a la conclusión de que el CAR posee mejores resistencias frente estas condiciones independientemente de si se incluye o no aire en la mezcla, el autor atribuye este mejoramiento al aumento de la resistencia a la tracción que corresponde al mismo incremento de la resistencia a la compresión.

I. 2.5 – Ahorro de energía. Intensifica otras bondades que el concreto convencional posee. El consumo de energía está absorbido en gran parte por la construcción de las estructuras y dependiendo de los materiales utilizados

en éstas se podrá hacer un ahorro energético, estudios realizados han demostrado que las estructuras de concreto son más ahorradoras que aquellas de acero; en el concreto reforzado el acero y el cemento son los que más demandan energía, pero en el caso del uso de CAR parte del cemento puede ser reemplazado por los materiales puzolánicos para alcanzar los objetivos de resistencia y como ya se ha mencionado a esto se suma la ventaja de ahorrar en volúmenes de concreto y cantidad de refuerzo, con lo que finalmente el CAR se hace más conservador de energía.

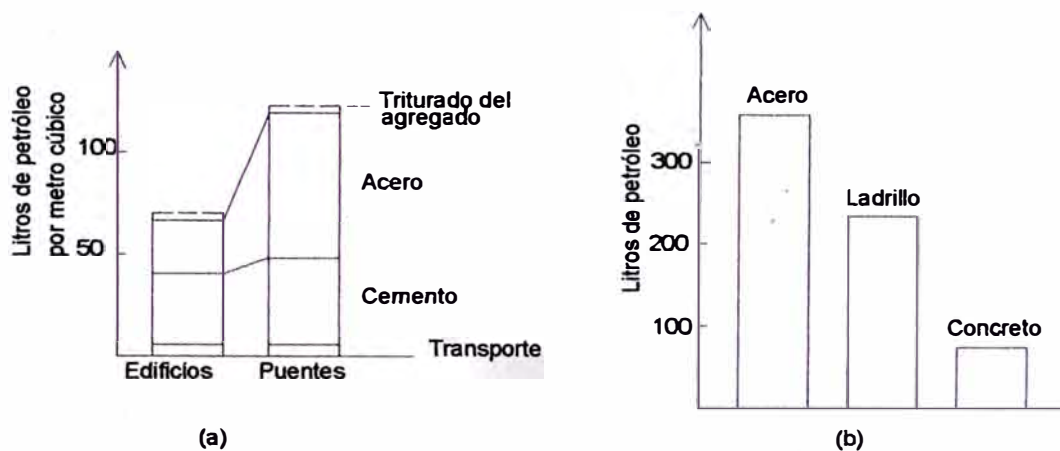


Fig. I-3 a) Consumo promedio de energía por metro cúbico de concreto en la estructura terminada
 b) Consumo de energía de una columna de 1 m que resiste una carga de 1000 ton, construida con diferentes materiales (Ref. 1)

I. 2.6 – Consideraciones ecológicas. Para la obtención de concreto de alta resistencia se usan diferentes materiales puzolánicos como la ceniza volante, la microsílíce, la cáscara de arroz, escorias de alto horno y esto permite una forma relativamente económica de disponer adecuadamente de los elementos tóxicos presentes. Por ejemplo la microsílíce ha sido inicialmente usada como relleno de tierra, pero de esa manera las toxinas son capaces de infiltrarse en las corrientes de agua y afectar a la salud de todos los seres vivos y el caso de la cáscara de arroz podemos decir que después de haber sido un problema como desecho agrícola creando problemás de polución se descubrió sus propiedades puzolánicas y no ha habido mejor lugar para éste que el concreto.

Según Mehta y Monteiro (Ref. 1), “la energía para producir ceniza volante o escoria viene libremente al concreto. Por ejemplo, sustituir el 30% de cemento Pórtland en el concreto con ceniza volante, reducirá el contenido de energía del material cementante en casi la misma cantidad. La escoria de alto horno puede usarse para sustituir cantidades aun mayores de cemento en el concreto. La Agencia de Protección Ambiental ha emitido lineamientos que prohíben las especificaciones que discriminen el uso de ceniza volante en los proyectos patrocinados por el gobierno federal”.

I. 3 – ESTRUCTURA INTERNA Y MATERIALES EN EL CAR

I.3.1 – GENERALIDADES.

El concreto de alta resistencia es por supuesto un “concreto” el cual ha sido mejorado con el objetivo de producir el incremento requerido en la resistencia a la compresión. Veamos entonces como es que actúan los diferentes materiales en el concreto convencional para ir presentando uno a uno los materiales que se adicionan o se modifican en el concreto para hacer que éste alcance altas resistencias.

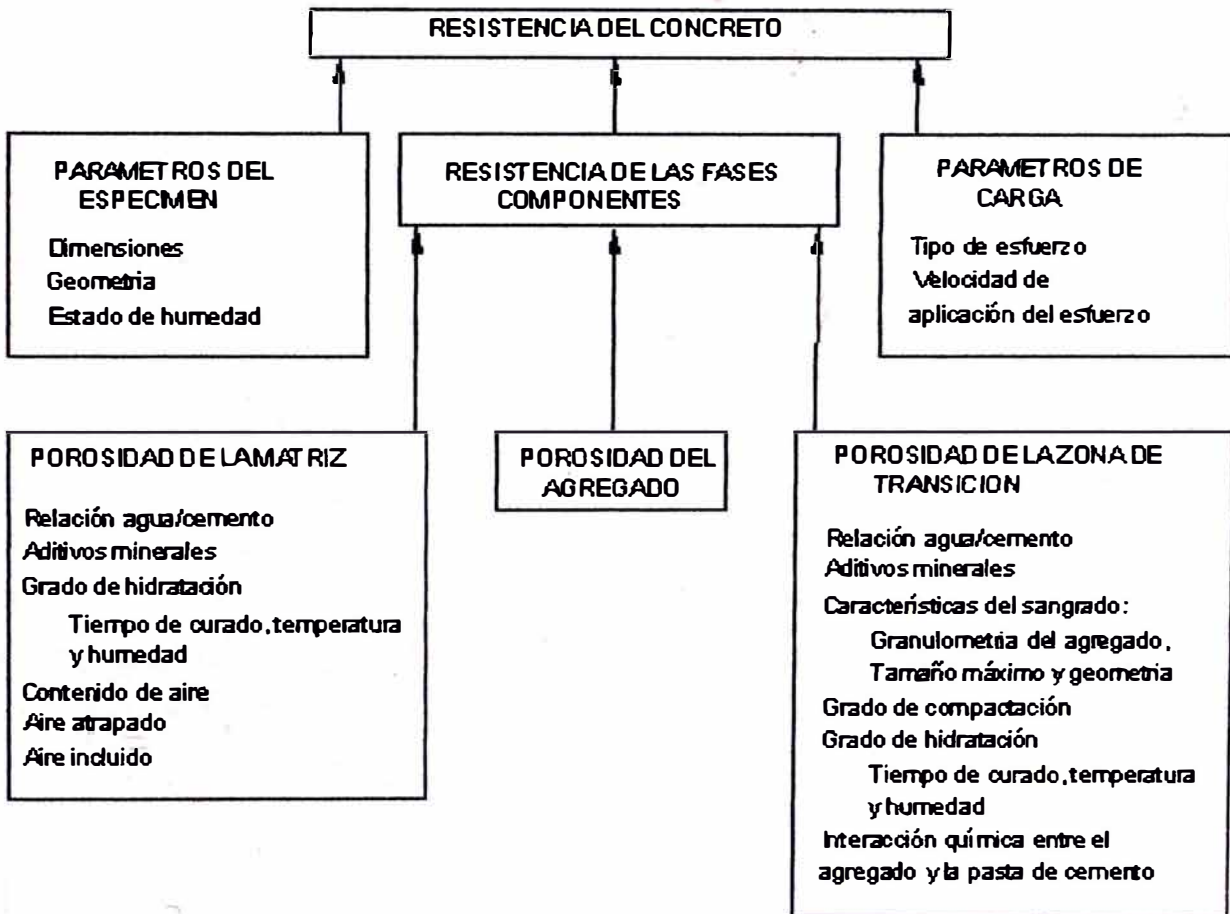


Fig. I-4 Interrelaciones de los factores que influyen en la resistencia del concreto (Ref. 1)

Si estudiamos al concreto desde un punto de vista macroscópico podremos apreciar que el concreto esta compuesto por dos componentes bien distinguibles agregados de variadas formas y dimensiones y medio aglutinante, que consiste en una masa incoherente de la pasta de cemento hidratado tal como se aprecia en la figura. (Ref. 1)

Aún desde este punto de vista se aprecia la **irregularidad** y falta de homogeneidad en la distribución de estos componentes, lo cual comienza a revelar el carácter complejo de la estructura, en otros casos, con otros materiales al tener homogeneidad en la distribución de los componentes y vacíos es de gran ayuda para poder modelar las propiedades del material pero ya que se han hecho estudios a nivel microscópico se sabe que la distribución de sólidos y huecos deben ser considerados para todo estudio.

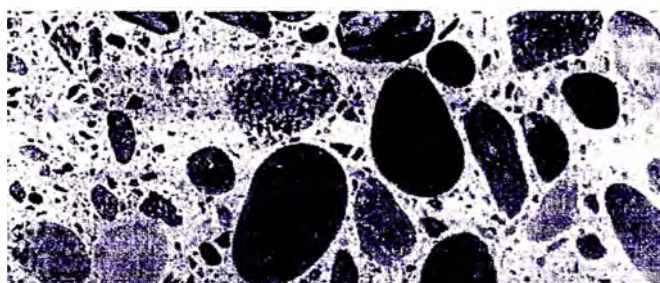


Fig. I-5 Superficie pulida de una sección de concreto (Ref 1)

El concreto posee una estructura compuesta por tres fases que son:

el **agregado**,

la **pasta de cemento hidratada** y

la **zona de transición** que es el límite común entre el agregado grueso y la

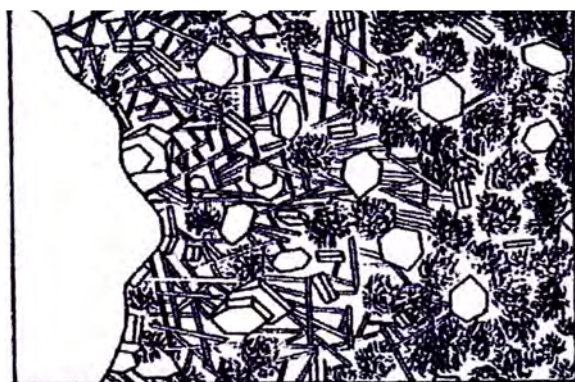


Fig. I-6 Esquema de las fases principales del concreto (Ref 1)

H-S-C
CH
C-A-S-H
(Etringita)

pasta de cemento hidratado, cada una de estas fases también esta compuesta de otras fases propias y la zona de transición es la mas débil de las tres fases y el comportamiento mecánico del concreto depende en gran

parte de esta última. La estructura del concreto, al ser tan heterogénea y dinámica, propone dificultades para determinar modelos estructura-propiedades pero el conocimiento del comportamiento de los componentes individuales y sus interrelaciones nos permite entender y controlar las propiedades del conjunto.

El **agregado** es el principal responsable del peso unitario, del modulo de elasticidad y de la estabilidad dimensional del concreto (Ref. 1), teniendo en cuenta que la fase agregado es la mas resistente de las otras dos no es en esta en la que se centra la atención para lograr las resistencias, salvo por supuesto en que se debe rechazar materiales porosos y débiles, diremos entonces que otras características del agregado influyen en la resistencia porque condicionan mas que todo a la zona de transición. Un agregado natural redondeado puede mejorar la trabajabilidad pero su superficie tersa desmejora la resistencia de la zona de transición, por esta razón se prefiere el agregado triturado, lo que se debe minimizar con este agregado es la

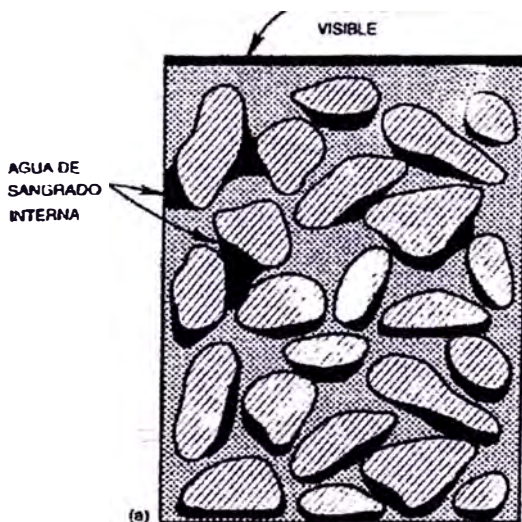


Fig. 1-7 Esquema del sangrado interno y efecto pared de un concreto recién colocado (Ref 1)

acumulación de lentes de agua o aire debajo de las superficie del mismo, es por esto que para llegar a mayores resistencias se restringe el tamaño del agregado a 19mm o menores y es recomendable la forma cuboides para aliviar el "efecto pared". Además la necesidad de usar agregados de menor tamaño máximo se intensifica a medida que se hace disminuir la relación agua cemento¹.

Cemento.

La elección del cemento es de mucha importancia para el CAR. Debemos tomar diferentes consideraciones, dentro de ellas está la disponibilidad en el

lugar donde se le requiere y el costo que acarrea el transporte y el precio mismo del cemento.

El desarrollo de resistencia de la pasta de cemento es función principalmente de su contenido de SC_3 (silicato tricálcico), SC_2 (silicato bicálcico) y AC_3 (aluminato tricálcico). El SC_3 constituye decisivamente a la resistencia en las primeras edades y en la resistencia final. El SC_2 tiene menor incidencia al principio, pero su importancia es primordial después. Por el contrario, el contenido de AC_3 tiene una particular influencia en las primeras edades (Ref.4)

Según el comité 363 del ACI (Ref. 12), en caso de no necesitarse un concreto de altas resistencias iniciales como en el concreto pretensado, no es necesario el uso de un cemento Tipo III. Además, en un mismo tipo de cemento dado, las diferentes marcas tendrán diferentes características de desarrollo de la resistencia a causa de las diferencias en su composición y la fineza de las partículas.

También nos dice el mismo comité ACI363 que es importante hacer pruebas de silo (ASTM C 109), durante meses de anticipación, lo cual nos dará resultados valiosos acerca de la uniformidad del cemento.

Las mayores cantidades de cemento en los CAR puede resultar en mayores temperaturas de fraguado del concreto. Por ejemplo en un proyecto que se

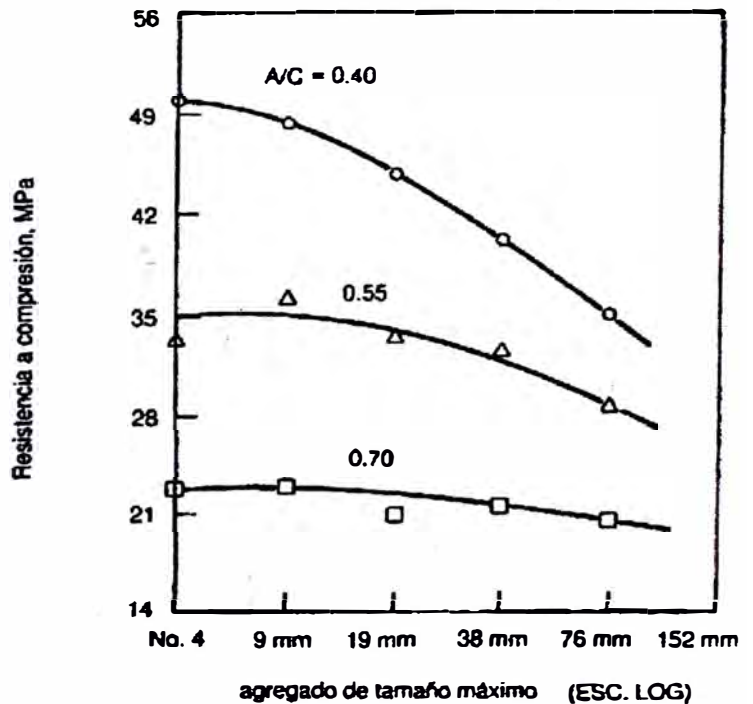


Fig. I-8 Influencia del tamaño del agregado y de la relación agua / cemento en el concreto (Ref 1)

usó 503 kg/m^3 de cemento para columnas cuadradas de 1.2m en un edificio de gran altura, la variación fue de 24°C hasta 66°C durante la hidratación. En este caso el calor se disipó en los seis días siguientes sin efectos dañinos, pero si se espera que la elevación de la temperatura causará problemas, se puede usar cemento Tipo II siempre que reúna las condiciones de resistencia requeridas. (Ref. 4)

Si no se requieren resistencia iniciales altas, la reducción del contenido del AC_3 y el incremento de los contenidos de SC_3 y, especialmente de SC_2 , tendrán efectos muy favorables en la resistencia final del hormigón. Así también se tendrá menos calor de hidratación ya que el SC_2 tiene menor poder exotérmico que el SC_3 seguidos del AC_3 .

Componentes resistentes y componentes débiles del concreto endurecido.

En la pasta de cemento hidratado existen fases sólidas componentes, la principal es la formación de hidratos de silicatos de calcio H-S-C y es la parte de esta fase que mas contribuye a la resistencia del concreto en segundo lugar esta la formación de hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ que es la parte débil de la pasta causando un efecto adverso no solo en la resistencia sino también en la durabilidad química del concreto. A partir de estas condiciones dadas en un concreto convencional:

¿Cómo haríamos para elevar la cantidad de silicatos de calcio y disminuir la cantidad de hidróxido de calcio?

La respuesta esta en incluir un material adicional con alto contenido de silicio capaz de reaccionar con el hidróxido de calcio para producir mas silicatos de calcio hidratados. A los materiales sílicio o sílicio y aluminoso que por si mismos no tienen propiedades cementantes pero finamente divididos y en

presencia del agua son capaces de reaccionar con el hidróxido de calcio para formar compuestos cementantes se les llama **puzolanas** (ASTM 618-94a).

Existen puzolanas naturales y artificiales, algunas de ellas como la **microsílice** ha ganado un puesto a parte por ser un material que básicamente se usa para ganar resistencia a la compresión y a diferencia de otras se incluye en el momento del mezclado del concreto, es un material tan fino (0.1 μm en promedio) que gran parte de éste tiene partículas incluso de menor tamaño que el humo del cigarro. También las **cáscaras de arroz** tienen un contenido de sílice muy alto y su combustión da como resultado un material muy fino puzolánico. Otro material con estas características que también se puede usar para lograr altas resistencias a la compresión en el concreto es la **ceniza volante** conocida como ceniza del combustible pulverizado, es la ceniza precipitada electrostáticamente o mecánicamente a partir de los gases de escape de las centrales de energía con combustión de carbón.

Podemos reducir la porosidad del concreto

Al igual que para otros materiales la resistencia a la compresión del concreto se ve fundamentalmente afectada por la porosidad presente en las tres fases del concreto. Pero es la porosidad presente en la pasta de cemento hidratado y en la zona de transición la que podemos mejorar, y esta porosidad depende mucho de la relación agua cemento, ya que un exceso de agua incluida además de la necesaria para producir las reacciones cementantes quedará presente como fuente de poros, es aquí en donde también intervienen los materiales antes mencionados como la micro sílice, que al tener una finura mucho menor que el cemento actúa como relleno (filler), es decir que pasa a ocupar los espacios vacíos que el cemento no podría



Fig. 1-9 Diferentes presentaciones de la Microsílice (Ref. 21)

disminuyendo así la indeseable porosidad. Entonces para alcanzar mayores resistencias es necesario disminuir la relación agua cemento pero en el caso del concreto de alta resistencia tenemos un material mas que es cementante, ya sea microsílíce o ceniza volante u otro se debe considerar ahora la relación agua/(cemento+p) en donde **p** representa a la cantidad del material puzolánico incluido.

¿Qué es la microsílíce?

El ACI 116. Define a la microsílíce como una sílice no cristalina muy fina producida por hornos de arco eléctrico como un subproducto de la fabricación de silicio metálico o ferro-silico.

La microsílíce consiste principalmente de un dióxido de silicio (SiO₂) amorfo (no-cristalino). Las partículas individuales son extremadamente pequeñas, aproximadamente un centésimo del tamaño promedio de las partículas de cemento. A causa de sus partículas finas, una gran área superficial, y el alto contenido de SiO₂ la microsílíce es una puzolana muy reactiva al usarse en el concreto. La calidad de la microsílíce se especifica en ASTM C 1240 y AASHTO M 307

| | |
|--|---|
| $CO + O \rightarrow CO_2$ $SiO_2 + O \rightarrow SiO_2$ (Microsilica) | |
| Cuarzo + C de piedra $SiO_2 + 2C$ | $\leftarrow - \rightarrow$ Si Metálico 98% pureza |
| Horno de Arco eléctrico 2000° C | |

Tabla I-2 Producción de la microsílíce (Ref. 21)

La microsílíce tiene una doble función en el proceso de hidratación del concreto:

- a) **Acción química.** Reacciona con el hidróxido de calcio producido por la hidratación del cemento para producir mas silicatos de calcio hidratados.
- b) **Acción física.** Su gran finura hace que ocupe los intersticios o poros pequeños que el cemento no puede, debido a que este es de mayor tamaño.

Gracias a ambos efectos es que la microsílíce actúa de manera decisiva y favorable en los desarrollos de resistencia del concreto.

La microsílíce típica muestra que su **tamaño** es menor que 1 μm y el diámetro promedio es 0.4 μm .

Estos son resultados de la distribución de tamaños de sus partículas, es aproximadamente, semejante al tamaño de las partículas del humo que producen los cigarrillos o aproximadamente 1/100 del tamaño de media partícula de cemento. (Ref.11)

El peso unitario suelto de la microsílíce es del orden de 150 a 300 Kg/m³.

La microsílíce está constituida por partículas vítreas muy finas. La extrema fineza de la microsílíce es mejor ilustrada si se compara con otros materiales:

| | |
|---------------------------|-------------------------------|
| ❖ Microsílíce | 200000 cm ² /gr |
| ❖ Ceniza | 4000-7000 cm ² /gr |
| ❖ Cemento Portland normal | 3000-4000 cm ² /gr |

Composición Química de la Microsílíce_(Ref. 11)

Generalmente contienen más de 90% de dióxido de silicio, la mayor parte del cual se encuentra en forma amorfa.

La siguiente tabla muestra la composición química de la microsilice de hornos de silicio de Noruega y América del Norte.

| COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MICROSILICE | | |
|---------------------------------------|-------------|---------------|
| Hornos de Sílice de Noruega y Canadá | | |
| Constituyente | Noruega | Norte América |
| SiO ₂ | 90% -96% | 93.70% |
| Al ₂ O ₃ | 0.5% -3.0% | 0.30% |
| Fe ₂ O ₃ | 0.2% -0.8% | 0.80% |
| MgO | 0.5% 1.5% | 0.20% |
| CaO | 0.1% -0.5% | 0.20% |
| Na ₂ O | 0.2% -0.7% | 0.20% |
| K ₂ O | 0.4% -1.0% | 0.50% |
| C | 0.5% -1.4% | 2.60% |
| S | 0.1% -0.4% | 0.10% |
| Otros | 0.75% -2.5% | 2.80% |

Tabla I-3
Composición
Química de la
Microsilice
(Ref. 11)

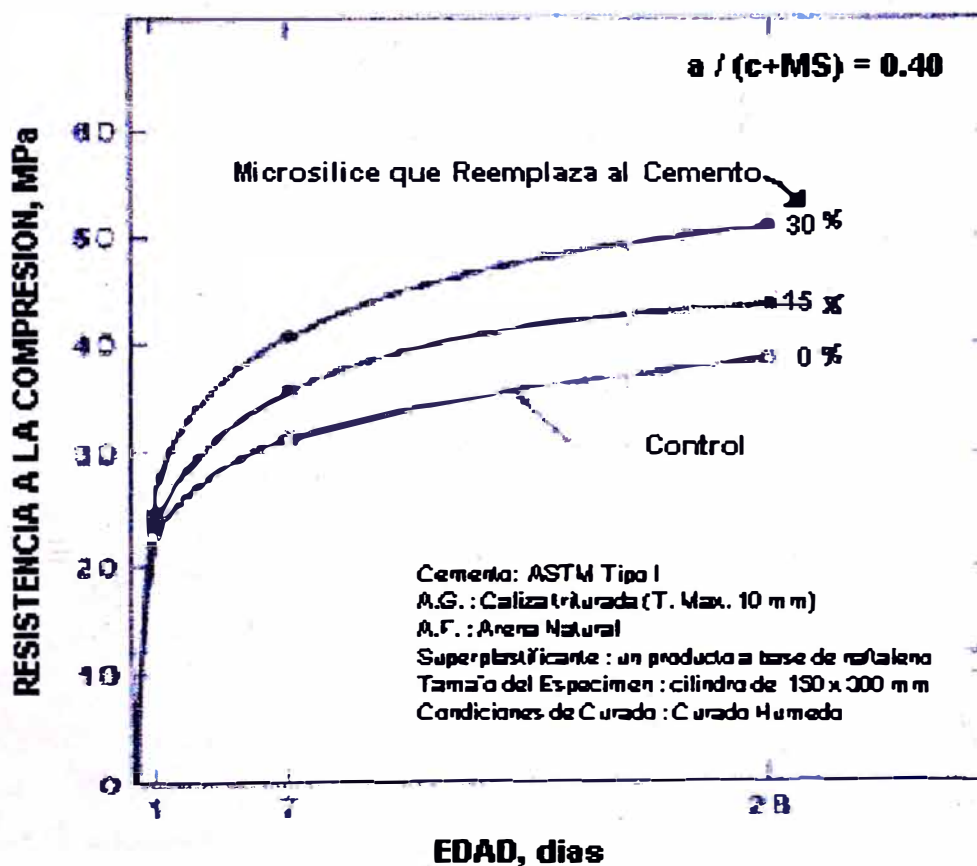


Fig. I-10 **Influencia de la Microsilice en la Resistencia del Concreto (Ref.12)**

¿Cómo controlar la alta pérdida de revenimiento para lograr un CAR trabajable?

Con la inclusión de un material tan fino como la micro sílice la demanda de agua para lograr la trabajabilidad requerida se incrementa, lo cual hace necesario la inclusión de un elemento que ayude a dispersar las partículas finas y que disminuya la tensión superficial del agua de manera que facilite la movilidad de las partículas componentes y su hidratación, para este efecto existen los súper plastificantes o súper fluidificantes. Para esto se usa lo que se llama un **surfactante reductor de agua**, estos aditivos actúan en la superficie de las partículas rodeándolas de una misma carga eléctrica de tal manera que se logre una repulsión entre ellas impidiendo la formación de grumos y facilitando la hidratación. Existen los aditivos comunes llamados reductores de agua o aditivos fluidificantes, pero en el caso del CAR la adición de la microsílice hace mas exigente el mecanismo de acción de estos aditivos y como se ha dicho antes mientras mas se pueda reducir la relación agua/cementante mayores serán los progresos en alcanzar la resistencia del concreto, para esto existen los **superfluidificantes** también llamados reductores de agua de alto rango, porque son capaces de reducir de tres a cuatro veces la cantidad de agua reducida por un reductor de agua normal, se puede agregar incluso hasta 1% en peso de cemento y se pueden lograr grandes revenimientos aun mas de 200 mm, estos aditivos en la actualidad

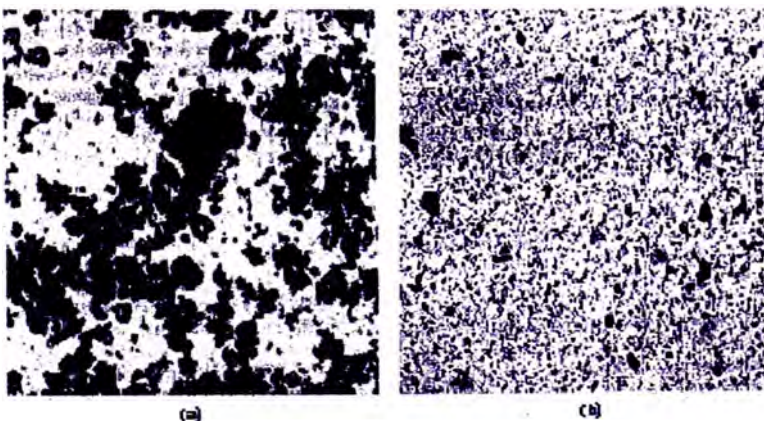


Fig. 1-11 a) Microfotografía de partículas de cemento floculadas en una suspensión de cemento Portland-agua sin aditivo presente; b) Microfotografía del sistema después de que se ha dispersado con la adición de un aditivo superfluidificante. (Fotografía por cortesía de M. Collepari, Universidad de Ancona, Italia). (Ref. 1)

contienen frecuentemente lignosulfonato para no tener una rápida pérdida del alto revenimiento logrado, además en la norma ASTM 494-92 clasifica a los aditivos en 7 tipos nominados por las letras desde la A hasta la G y es este ultimo tipo a los que pertenecen los aditivos reductores de agua de alto rango y retardadores de fragua a la vez.

A continuación se cita un artículo relativo a los superfluidificadores (reductores de agua de alto rango) proveniente de internet atribuido a Kumar Mehta (Ref 10)

Hace 17 años, Malhotra hizo la siguiente afirmación:

“Ha habido muy pocos desarrollos importantes en la tecnología del concreto en los años recientes. El concreto de aire incluido en los años cuarenta fue uno de ellos. Revolucionó la tecnología del concreto en Norteamérica. Se cree que el desarrollo de los superfluidificadores es otro avance de gran importancia que tendrá un efecto significativo en la producción y el uso del concreto en los años por venir.»

La predicción de Malhotra ha resultado correcta. Esto está apoyado por el desarrollo y uso de una familia cada vez más grande de productos de concreto superfluidificado de alto desempeño, tales como concreto superfluidificado de alta resistencia, concreto superfluidificado de gran durabilidad, concretos superfluidificados con alto volumen de ceniza volante y de escoria, concreto autocompactante superfluidificado, concreto superfluidificado y antideslave bajo el agua y concreto superfluidificado reforzado con fibras.

Los superfluidificadores, también conocidos como aditivos reductores de agua de alto rango, son reductores de agua muy eficientes. A finales de los años sesenta, se desarrollaron en Japón los productos a base de sulfonatos de naftaleno y, al mismo tiempo, los productos de sulfonato melanina fueron introducidos en Alemania Occidental. Se logró que las moléculas aniónicas de cadenas largas del aditivo llegaran a ser absorbidas en la superficie de las partículas de cemento, las que son efectivamente dispersadas en el agua a través de la repulsión eléctrica.

De acuerdo con Nagataki (Ref. 3), las primeras aplicaciones del concreto superfluidificado en Japón fueron para la producción de pilotes de concreto prefabricado de alta resistencia, el cual podía resistir el agrietamiento durante el proceso de hincado del pilote. En los años setenta, las trabes y las vigas de varios puentes de carreteras y vías férreas en Japón fueron fabricadas con mezclas de concreto superfluidificado de 50 a 80 MPa (500 a 800 kg/cm²), que tenían un revenimiento de bajo a moderado. En Alemania Occidental, donde el objetivo inicial era desarrollar concreto antideslave bajo el agua, los superfluidificadores se usaron para mejorar la fluidez de mezclas rígidas sin alterar la relación de agua a material cementante (a/mc). Puesto que es posible realizar ambos objetivos simultáneamente, ahora los aditivos superfluidificadores se usan en todo el mundo para el propósito de obtener alta resistencia, gran fluidez y gran durabilidad.(Ref. 10)

I.4 PROPIEDADES

I.4.1 Trabajabilidad.

El concreto de alta resistencia es en general un concreto de grandes revenimientos, esto es posible gracias a los aditivos que se encuentran disponibles en la actualidad, sin el uso de estos elementos estaríamos frente a mezclas rígidas difíciles e incluso imposibles de colocar dentro de los encofrados. Ya que una alta resistencia a la compresión puede estar asociada a una alta cuantía de acero se hace más necesaria la característica fluida del CAR.

Para que la mezcla sea trabajable no solo debe tener el revenimiento requerido sino también una adecuada cohesividad, una mala dosificación del concreto de alta resistencia puede conducir a mezclas “pegajosas” imposibles de compactar y acomodarse entre los espacios del encofrado y alrededor del acero de refuerzo de las estructuras, almacenando así espacios de aire quizá no visibles en el momento de la colocación, después del aparente acomodo de la mezcla este defecto puede manifestarse con la aparición de cráteres en la superficie final de la mezcla colocada por donde pudieron escapar algunas de las bolsas de aire atrapadas durante la mezcla y colocación.

I.4.2 Resistencia.

Como ya se mencionó la principal propiedad del CAR es su alta resistencia a la compresión, pero ya que esta propiedad está íntimamente ligada a otras resistencias es de esperar que también sean incrementadas la resistencia a la tracción por ejemplo o la resistencia a la flexión y de otro lado los CAR son más resistentes a la abrasión.

Como consecuencia de los distintos procedimientos de vertido, compactación y curado aplicados en obra y laboratorio, las resistencias obtenidas a partir de

muestras de concreto extraídas de elementos de una estructura, suelen no ser coincidentes con las que, para el mismo concreto, son determinadas en condiciones de laboratorio. Por consiguiente, otra consideración adicional y necesaria al establecer una resistencia determinada consiste en definir si la misma está referida a “concreto de laboratorio” o a “concreto de obra”. (Ref. 4)

Gonzales-Isabel (Ref. 4) cita la siguiente expresión para relacionar ambas resistencias mencionadas:

$$\frac{f_{c_obra}}{f_{c_Lab}} = 1 - \frac{f_{ck} (MPa)}{250}$$

Los CAR continúan ganando resistencias considerables por encima y más allá de los requerimientos de diseño a través del tiempo más que los concretos de menor resistencia. La gama de ganancia porcentual entre los 7 y 90 días puede ser similar o menor en el CAR que la de los concretos de menor resistencia pero en magnitud la ganancia es mucho mayor.

| EJEMPLO DE GANANCIA DE RESISTENCIA DEL CAR FRENTE A LOS CONCRETOS USUALES | | | | |
|--|--------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|
| | CONCRETO DE RESISTENCIA USUAL | | CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA | |
| | 7 días | 90 días | 7 días | 90 días |
| EDAD DE ENSAYO | | | | |
| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN | 17.2 MPa | 29.0 MPa | 50.3 MPa | 69.0 MPa |
| GANANCIA DE RESISTENCIA EN PORCENTAJE | 68 % | | 37 % | |
| GANANCIA DE RESISTENCIA EN MAGNITUD | 11.7 Mpa | | 18.6 MPa | |
| VENTAJA DEL CAR | 6.9 MPa | | | |

Tabla I-4. Comparación entre las ganancias de resistencia en el tiempo del CAR y otros concretos. (Adaptado de la Ref. 7)

Veamos a continuación lo que dice Kumar Mehta (Ref. 1) acerca de la resistencia del CAR:

Los concretos en el rango de 55 a 120 MPa de resistencia a la compresión a los 28 días, han sido producidos industrialmente y utilizados en las áreas de Chicago, Houston, Montreal, Nueva York, Seattle y Toronto. Lo notable acerca de la resistencia, es la capacidad de las mezclas de concreto de alta resistencia para desarrollar resistencia a una velocidad rápida sin curado de vapor. Las mezclas de concreto tales como las que se utilizaron en la Water Tower Place en Chicago y en la Texas Commerce Tower en Houston (tabla I-5), desarrollaron de 20 a 27 MPa con curado normal dentro de las 24 horas. La mezcla de concreto de ultra-alta resistencia de la misma tabla, desarrolló 42 MPa en 12 horas y 64 MPa en 24 horas. Por lo tanto, resulta obvio el valor de estas mezclas de concreto de alta resistencia en la producción de elementos de concreto precolado y presforzado.

PROPORCIONES TÍPICAS DE MEZCLA PARA CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA KG/M³

| Material | Water Tower Place, Chicago (1975)^a | Texas Commerce Tower, Houston (1980)^b | Mezcla de prueba para concreto de ultra-alta resistencia (1984)^c |
|--------------------------|--|---|--|
| Cemento, tipo I | 502 | 390 | 593 |
| Puzolana | | | |
| Ceniza volante Clase F | 59 | - | - |
| Ceniza volante Clase C | - | 99 | - |
| Microsílica | - | - | 119 |
| Piedra triturada | | | |
| 19 mm máx. | - | 1,141 | - |
| 16 mm máx. | 1,068 | - | - |
| 13 mm máx. | - | - | 998 |
| Arena | 608 | 578 | 537 |
| Agua | 178 | 161 | 158 |
| Aditivo reductor de agua | | | |
| ASTM C 494 | | | |
| Tipo A (mL) | 15 | 15 | - |
| Superfluidificante | - | - | Alta dosis ^d |
| Agua/Cemento + puzolana) | 0.32 | 0.33 | 0.22 |

^a High-Strength Concrete in Chicago High-Rise Buildings, Chicago Committee on High-Rise Buildings, Reporte 5, Febrero 1977, pág. 45

^b J.E. Cook, "Research and Application of High-Strength Concrete Using Class C Fly Ash", *Concr. Int.*, Vol. 4 N° 4, págs. 72-80, 1982

^c J. Wolsiefer, "Ultra High-Strength Field Placeable Concrete with Silica Fume Admixture", *Concr., Int.*, Vol. 6 N° 4 págs. 25-31, 1984

^d La dosis exacta no está especificada. Sin embargo, el autor declara que el uso de un alto factor cemento y una puzolana fina de microsíllica, hace obligatorio el uso de reductores de agua de alto rango; la mezcla es utilizada a una dosis muy alta para compensar la incrementada demanda de agua de los materiales finos y para permitir razonables en el campo.

Tabla I-5. Resistencias alcanzadas en diferentes aplicaciones (Ref. 1)

I.4.3 Módulo de Elasticidad.

El módulo de elasticidad de cualquier concreto depende fundamentalmente de las características específicas de la pasta de cemento, del tipo de agregado empleado y del método de ensayo utilizado en su determinación (Ref. 4)

Para que sea posible la consideración del concreto de alta resistencia en el diseño de elementos estructurales se hace necesaria la predicción del módulo de elasticidad, tal como se cuenta con expresiones en función de la resistencia a la compresión para concretos comunes, por esto, en el exterior se han propuesto múltiples expresiones con este propósito.

En el Manual del ACI (Ref. 12) encuentra citada una formula para el CAR de peso normal citada por Martínez, Nilson y Slate:

$$E_c = 3320\sqrt{f'_c} + 6900MPa$$

para : 21MPa < f'_c < 83MPa

También existen las siguientes expresiones citadas en la referencia 4:

- La expresión adoptada por la especificación del ACI 318-89 y el CODIGO MODELO 1990 $E_c = 10^4(f_{ct} + 8)^{1/3} MPa$ para $f'_c > 45 Mpa$
- La norma noruega NS 3473E propone $E_c = 10^4(f'_c)^{0.3} MPa$ para $f'_c \leq 85Mpa$
- Y el propio autor de la referencia obtuvo la ecuación de correlación $E_c = 5560(f'_c)^{0.43} MPa$ a partir de una muestra de 150 parejas de valores en un rango de 57 a 104 Mpa

**EVALUACION DEL AJUSTE DE LAS FORMULAS CITADAS
EN EL PARRAFO ANTERIOR**

Módulos de elasticidad en Mpa x 10⁻⁴

| PROCEDENCIA | f _c kg/cm ² | MODULO A PARTIR DEL ENSAYO | MODULO ACI 318 | MODULO SEGÚN ACI363 | ACI 318 89 Y EL CODIGO MODELO | NORMA NORUEGA | GONZÁLES ISABEL |
|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------|---------------------|-------------------------------|---------------|-----------------|
| 1 | 486 | 2.54 | 3.31 | 3.00 | 3.84 | 3.21 | 2.95 |
| 1 | 532 | 2.15 | 3.46 | 3.11 | 3.94 | 3.29 | 3.07 |
| 1 | 553 | 2.78 | 3.53 | 3.16 | 3.99 | 3.33 | 3.12 |
| 1 | 606 | 2.25 | 3.69 | 3.27 | 4.09 | 3.43 | 3.25 |
| 1 | 615 | 3.05 | 3.72 | 3.29 | 4.11 | 3.44 | 3.27 |
| 1 | 580 | 2.87 | 3.61 | 3.22 | 4.04 | 3.38 | 3.19 |
| 1 | 644 | 3.00 | 3.81 | 3.35 | 4.17 | 3.49 | 3.33 |
| 1 | 435 | 2.11 | 3.13 | 2.88 | 3.72 | 3.10 | 2.82 |
| Error min. cuadrático parcial | | | 2.568 | 1.625 | 3.689 | 2.023 | 1.546 |
| 2 | 914 | 3.92 | 4.53 | 3.86 | 4.63 | 3.88 | 3.88 |
| 2 | 984 | 4.02 | 4.71 | 3.98 | 4.74 | 3.96 | 4.00 |
| 2 | 691 | 3.56 | 3.94 | 3.45 | 4.26 | 3.56 | 3.44 |
| Error min. cuadrático parcial | | | 0.996 | 0.130 | 1.227 | 0.075 | 0.134 |
| 2 | 719 | 3.72 | 4.02 | 3.50 | 4.31 | 3.61 | 3.49 |
| 2 | 456 | 2.87 | 3.20 | 2.93 | 3.77 | 3.15 | 2.87 |
| 2 | 613 | 3.65 | 3.71 | 3.29 | 4.11 | 3.44 | 3.26 |
| 2 | 647 | 3.62 | 3.82 | 3.36 | 4.17 | 3.49 | 3.34 |
| 2 | 727 | 3.37 | 4.04 | 3.52 | 4.32 | 3.62 | 3.51 |
| 2 | 731 | 3.61 | 4.05 | 3.53 | 4.33 | 3.62 | 3.52 |
| 2 | 743 | 3.1 | 4.09 | 3.55 | 4.35 | 3.64 | 3.55 |
| 2 | 838 | 3.24 | 4.34 | 3.73 | 4.51 | 3.78 | 3.73 |
| Error min. cuadrático parcial | | | 1.756 | 0.847 | 2.502 | 0.888 | 0.863 |
| 3 | 576 | 3.21 | 3.60 | 3.21 | 4.03 | 3.37 | 3.18 |
| Error min. cuadrático parcial | | | 0.390 | 0.000 | 0.823 | 0.164 | 0.033 |
| Error min. cuadrático TOTAL | | | 3.421 | 1.992 | 4.896 | 2.423 | 1.911 |

| | |
|---|--|
| 1 | Tesis Eddy Vargas Calle, UNI 1995 |
| 2 | Tesis Luis Acevedo Valverde, PUCP 2000 |
| 3 | Tesis Acuña Valencia, PUCP 1997 Mezcla sin microsilice, la de máx. resist. Alcanzada |

Tabla I-6. Evaluación del ajuste de las fórmulas citadas para el módulo de elasticidad

A partir de la observación de los resultados en la tabla precedente podemos considerar como recomendable el uso de la fórmula de Gonzales-Isabel la

cual se ajusta mejor que las otras fórmulas para calcular el módulo de elasticidad del CAR en los concretos preparados hasta hoy en nuestro medio; la tabla precedente es sólo una muestra, la fórmula ha sido comparada según el error mínimo cuadrático con muchos otros datos reportados obteniéndose la misma conclusión. Esta fórmula también se ajusta bien a valores de diferentes módulos de elasticidad de concretos de alta resistencia procedentes de otras fuentes extranjeras, para mostrarlo se ha graficado la curva correspondiente sobre la figura 5.3 del ACI 363 "State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete" para compararla gráficamente con las que allí aparecen que son las del comité ACI 318 y la del mismo comité ACI 363, a la vez se puede observar su posición respecto a múltiples datos experimentales recopilados por este comité.

La gráfica de la fórmula de Gonzales-Isabel resulta en una curva con ordenadas siempre menores que las de las otras dos, no hay ningún punto en que se corten y se aproxima mucho más a la fórmula del ACI 363 para valores mayores a 40 Mpa.

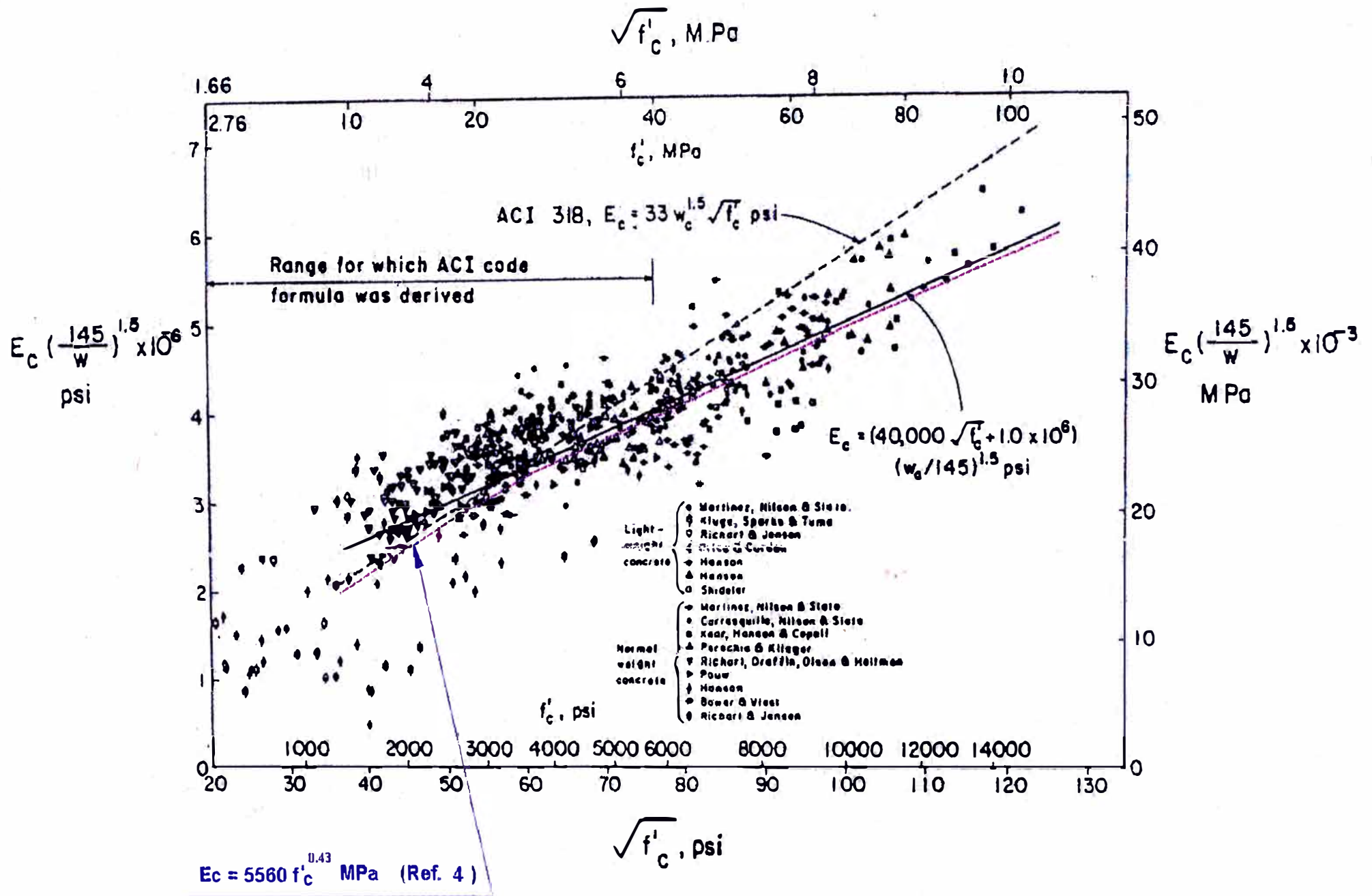


Fig. I-12 Ploteo de la fórmula de Gonzales Isabel (Ref. 4), considerando en este gráfico para un concreto de 2350 kg/m³. Los puntos corresponden a numerosos reportes de ensayos del módulo de elasticidad de diferentes fuentes en la Ref. 12

I.4.4 Resistencia a la Tracción Indirecta (Ref. 4)

La resistencia a tracción de un concreto es una característica que influye significativamente en el desarrollo del esquema de fisuración de los concretos y, por consiguiente en sus características de deformación y durabilidad. Otras características igualmente significativas del concreto, tales como su adherencia y su resistencia a cortante y torsión, están básicamente relacionadas con su resistencia a tracción.

Aun cuando la resistencia a tracción indirecta de un concreto se incrementa al hacerlo su resistencia a compresión, dicho incremento no es directamente proporcional. La relación entre ambas resistencias en los concretos de alta resistencia fue estudiada por Dewar [Ref. 5], quien estableció que, mientras en concretos convencionales la resistencia a la tracción indirecta es aproximadamente un 10% de la compresión, en concretos de resistencia superior a 84 Mpa debe ser reducida al 5%.

Carrasquillo y otros [Ref.6] proponen la adopción de la fórmula siguiente:

$$f_{ct} = 0.54\sqrt{f'_c}$$

para definir la relación de dependencia entre ambas resistencias, significando además la negativa influencia que el curado en agua ejerce en la determinación de la resistencia a tracción de cualquier concreto.

La aplicación de la fórmula de Carrasquillo a los valores de compresión habituales en el CAR (85-100 MPa) conduce a estimar resistencias a tracción superiores en un 12% (como valor promedio) a las que resulta por aplicación del criterio de Dewar.

Una correlación obtenida por Gonzale-Isabel [Ref. 4] a partir de 150 parejas de valores de f'_c entre 57 y 104 MPa está expresada en la siguiente ecuación:

$$f_{ct} = 0,9f_c^{0.45}$$

I.4.5 Relación de Poisson (Ref. 12)

Los datos experimentales de los valores de la relación de Poisson para el CAR son muy limitados. Shideler y Carrasquillo reportaron valores para la relación de Poisson para CAR con agregados livianos con resultados de resistencias a la compresión uniaxial mayores que 10570 psi (73 MPa) a los 28 días de 0.20 sin considerar la resistencia a la compresión, la edad, y el contenido de aditivo. Los valores determinados por el método dinámico fueron ligeramente mayores.

Por otro lado, Perenchio y Klieger reportaron valores para la relación de Poisson de CAR de peso normal entre 0.20 y 0.28 con resistencias a la compresión en un rango de 8000 a 11600 psi (55 a 80 MPa) . Ellos concluyeron que la relación de Poisson tiende a decrecer con el incremento de la relación agua / cemento. Kaplan encontró valores para la relación de Poisson determinados usando mediciones dinámicas desde 0.23 hasta 0.32 sin considerar la resistencia a la compresión, agregado grueso y la edad de las pruebas para concretos con una resistencia a la compresión desde 2500 a 1500 psi (17 a 79 MPa).

Basados en la información disponible, la relación de Poisson del CAR en el rango elástico parece comparable con el rango de valores esperado para concretos de menor resistencia.

I.5 MEZCLAS TÍPICAS

En esta sección se presenta una guía que puede ser útil para el inicio de las mezclas de prueba. Debe tenerse en cuenta que existen diferentes condicionantes que pueden hacer que un mismo proporcionamiento de mezcla dé como resultado características diferentes del concreto. Como ya se mencionó antes, las diferentes marcas de cemento pueden alterar los resultados y de hecho sucede así, los cambios de temperatura, la calidad y el origen geológico de los agregados, la secuencia del mezclado, el material de capeado, etc.

Tal como lo recomienda el ACI, se deben de preparar muchas mezclas de prueba, la manera en que se debe cumplir un condicionamiento para que una mezcla sea dada como aceptada se expone más adelante en "CONTROL DE CALIDAD Y ENSAYOS PARA EL CAR". Una mezcla típica, más las recomendaciones de los proveedores de microsílíce y aditivos (ver anexos) es un punto de partida desde el cual se puede obtener el concreto con las características deseadas, evaluando la influencia de la variación de cada uno de los componentes de la mezcla.

Si al intentar alcanzar las características objetivo de una mezcla, estas son superadas, el siguiente paso debe ser optimizar la economía para la preparación de la mezcla, teniendo en cuenta que siempre es la cantidad de microsílíce la que más encarece los volúmenes unitarios, si esta se puede reducir se puede aún alcanzar las características de resistencia haciendo decrecer la relación agua cemento sin descuidar la cantidad del superplastificante que permitirá mantener la trabajabilidad deseada.

En la exposición de mezclas típicas que sigue no se incluyen mezclas con otra adición mineral que no sea microsílíce, ya que en nuestro medio solo se puede obtener de manera comercial a este material.

Mezclas representativas de concreto con microsilíce presentadas por el comité ACI 234 R “USO DE MICROSÍLICE EN EL CONCRETO” (Ref. 7)

| Proporciones de mezcla (kg / m ³) | | | | | | | | | Resistencia a la compresión Mpa | | | |
|---|-----------------|-------------------|------------------------|------|---|-------------------------------|-------------|-------------------------------|---------------------------------|------------|---------|---------|
| Cem ento | Micro silíce | Agrega do fino | Agrega do grueso | Agua | Superpl astifica nte (L/m ³) | Agua/(c+ms) En peso | Slump mm | Porc entaj e de aire | 7 días | 28 días | 56 días | 90 días |
| 386 | 70 | 708 | 971 | 130 | 6.5* | 0.29 | 250 | 3.2 | 68.7 | 94.6 | — | 103.2 |
| 498 | 30 | 700 | 1098 | 135 | 14 | 0.26 | 255 | — | 70.8 | 85.4 | — | 89.7** |
| 380 | 42 | 756 | 1092 | 147 | Descon ocido | 0.35 | 85 | 1.5 | — | 55.2 | — | — |
| 390 | 30 | 685 | 964 | 156 | 3.1 | 0.37 | 100 | 6.8 | — | 60.5 | — | — |
| 390 | 39 | 685 | 964 | 160 | 3.3 | 0.37 | 135 | 7.0 | — | 64.3 | — | — |
| 390 | 20 | 685 | 964 | 152 | 3.3 | 0.37 | 165 | 8.7 | — | 58.6 | — | — |

* La microsilíce fue añadida en por vía de 6.5 kg de aditivo super reductor de agua en 1m³ de agua

** La resistencia a la compresión resultó 97.6 Mpa al año y 94.2 Mpa a los dos años

Tabla I-7. Mezclas representativas ACI234 (Ref. 7)

Mezclas representativas de concreto con microsilíce presentadas por el comité ACI 234 R (adicional) “USO DE MICROSILICE EN EL CONCRETO” (Ref. 7)

| Proporciones de mezcla (kg / m ³) | | | | | | | | Resistencia compresió n a los 28 días Mpa |
|---|---------|-----------------|------------------|--------------------|-------|----------|-----------------------|--|
| % MS en razón al cemento | Cemento | Micro silíce | Agregado fino | Agregado grueso | A/c | Slump mm | Porcentaje de aire | |
| 0 | 348 | 0 | 708 | 1079 | 0.48 | 150 | 7.0 | 35.6 |
| 3.75 | 349 | 13 | 710 | 1081 | 0.48 | 140 | 7.0 | 37.4 |
| 7.5 | 347 | 27 | 752 | 1076 | 0.48 | 170 | 9.0 | 43.8 |
| 15 | 351 | 53 | 714 | 1088 | 0.48 | 145 | 7.0 | 50.7 |
| 0 | 330 | 0 | 715 | 1022 | 0.43 | 250 | 10.5 | 36.3 |
| 3.75 | 352 | 13 | 748 | 1090 | 0.43 | 100 | 7.4 | 45.2 |
| .5 | 340 | 26 | 692 | 1055 | 0.243 | 210 | 8.0 | 49.7 |
| 7.5 | 341 | 26 | 739 | 1257 | 0.43 | 230 | 1.0 | 46.5 |
| 15 | 35 | 54 | 76 | 1099 | 0.43 | 180 | 6.0 | 59.2 |
| 0 | 339 | 0 | 778 | 1050 | 0.38 | 220 | 8.0 | 39.9 |
| 3.75 | 347 | 13 | 797 | 1076 | 0.38 | 90 | 8.0 | 64.2 |
| 7.5 | 351 | 26 | 806 | 1087 | 0.38 | 210 | 7.0 | 64.18 |
| 15 | 355 | 53 | 817 | 1102 | 0.38 | 150 | 6.0 | 83.6 |

Tabla I-8. Mezclas representativas ACI234 (adicional) (Ref.7)

Mezclas representativas de concreto en kg/m³ con microsilíce procedentes de diferentes fuentes extranjeras (Ref. 13)

| DO SIF . N° | CEM EN TO | GRAV A | AREN A | AGUA | SUPE R PLAS T | MICR OSILI CE | a/mc | Resistencia a la compresión MPa | | | |
|-------------|-----------|--------|--------|------|---------------|---------------|------|---------------------------------|-------|-------|-------|
| | | | | | | | | 7d | 28d | 56d | 90d |
| 1 | 400 | 1080 | 800 | 140 | 16.0 | 30.0 | 0.33 | 60.0 | 80.0 | - | - |
| 2 | 475 | 1120 | 670 | 135 | 18.5 | 32.0 | 0.27 | 70.2 | 80.2 | - | 89.9 |
| 3 | 449 | 1149 | 758 | 130 | 13.3 | 39.0 | 0.27 | - | 82.2 | - | - |
| 4 | 550 | 980 | 690 | 165 | 5.2 | 110.0 | 0.25 | 73.6 | 82.2 | 95.5 | - |
| 5 | 452 | 1130 | 745 | 145 | 8.2 | 36.0 | 0.30 | - | 83.4 | - | 93.4 |
| 6 | 500 | 1130 | 675 | 150 | 12.8 | 42.0 | 0.28 | - | 84.8 | 88.6 | - |
| 7 | 500 | 1100 | 700 | 135 | 25.2 | 30.0 | 0.25 | 71.8 | 86.2 | - | 95.0 |
| 8 | 480 | 1160 | 690 | 135 | 27.8 | 38.0 | 0.26 | 71.8 | 86.4 | - | 96.1 |
| 9 | 500 | 1100 | 700 | 135 | 18.2 | 30.0 | 0.25 | - | 90.0 | - | - |
| 10 | 427 | 1139 | 754 | 132 | 18.0 | 59.0 | 0.27 | - | 91.0 | - | - |
| 11 | 530 | 1100 | 655 | 145 | 12.7 | 40.0 | 0.25 | 72.0 | 91.2 | - | - |
| 12 | 487 | 1068 | 676 | 155 | 10.4 | 47.0 | 0.29 | 72.9 | 91.9 | 94.2 | 96.0 |
| 13 | 500 | 1100 | 700 | 135 | 17.0 | 30.0 | 0.25 | - | 92.5 | - | 119.0 |
| 14 | 450 | 1108 | 687 | 140 | 20.6 | 50.0 | 0.28 | - | 93.0 | - | - |
| 15 | 500 | 1130 | 675 | 138 | 12.1 | 42.0 | 0.25 | - | 97.0 | - | - |
| 16 | 589 | 1070 | 620 | 130 | 14.6 | 40.0 | 0.21 | - | 97.0 | 128.0 | - |
| 17 | 375 | 935 | 600 | 135 | 7.5 | 75.0 | 0.30 | 91.0 | 98.5 | - | - |
| 18 | 486 | 1112 | 661 | 135 | 24.2 | 54.0 | 0.25 | - | 100.0 | - | - |
| 19 | 500 | 1130 | 675 | 150 | 12.8 | 42.0 | 0.28 | - | 100.7 | 104.8 | - |
| 20 | 428 | 1265 | 652 | 117 | 7.6 | 42.1 | 0.25 | - | 101.0 | - | - |
| 21 | 580 | 1025 | 620 | 140 | 14.5 | 70.0 | 0.22 | - | 103.0 | - | - |
| 22 | 513 | 1080 | 685 | 120 | 19.0 | 43.0 | 0.22 | 81.2 | 103.2 | - | 121.6 |
| 23 | 517 | 1126 | 641 | 126 | 30.2 | 58.0 | 0.22 | - | 107.0 | - | - |
| 24 | 513 | 1080 | 685 | 120 | 19.4 | 43.0 | 0.22 | 82.8 | 108.1 | - | 126.0 |
| 25 | 500 | 1000 | 800 | 145 | 10.0 | 45.0 | 0.27 | 86.4 | 113.7 | - | - |
| 26 | 513 | 1080 | 685 | 120 | 19.0 | 43.0 | 0.22 | 96.8 | 117.1 | - | 133.7 |
| 27 | 564 | 1068 | 593 | 144 | 18.6 | 89.0 | 0.22 | 95.6 | 118.9 | 121.2 | 131.8 |
| 28 | 513 | 1080 | 685 | 130 | 19.0 | 43.0 | 0.23 | 93.2 | 119.0 | - | 145.0 |
| 29 | 513 | 1080 | 685 | 120 | 19.0 | 43.0 | 0.22 | 93.2 | 119.4 | - | 145.0 |
| 30 | 564 | 1100 | 682 | 124 | 25.4 | 44.0 | 0.20 | - | 120.0 | - | - |

Tabla I-9. Mezclas representativas extranjeras diversas (Ref.13)

Mezclas usadas en la tesis de Eddy Lino Vargas Calle (Ref. 15)

Proporciones en kilogramos por metro cúbico de concreto

| Id. De la mezcla | Cemento | Agua | Arena | Piedra | % aire (vol.) | Micro sílice | Superplastificante | Slump (cm) | Peso unitario Kg/m ³ | Resistencia a la compresión (kg/cm ²) 28d |
|------------------|---------|-------|-------|--------|---------------|--------------|--------------------|------------|---------------------------------|---|
| A5-00 | 433.8 | 216.9 | 755.1 | 947.5 | 1.9 | — | — | 10 | 2367 | 435 |
| B5-7.0 | 403 | 201.8 | 761.6 | 955.2 | 2.1 | 30.3 | 7.0 | 11 | 2352 | 532 |
| C5-14.0 | 377.2 | 188.6 | 765.5 | 960.7 | 2.0 | 56.6 | 14.08 | 10.5 | 2347 | 606 |
| D5-20.0 | 354.1 | 177.1 | 769.4 | 965.7 | 2.1 | 79.7 | 20.0 | 10.5 | 2338 | 580 |
| A4-0.0 | 606 | 242 | 667 | 835.8 | 1.9 | — | — | 9 | 2362 | 486 |
| B4-10.5 | 563.7 | 225.5 | 668.7 | 839.2 | 2.08 | 42.3 | 10.5 | 11 | 2342 | 553 |
| C4-20.0 | 527 | 210.8 | 670.7 | 841.7 | 1.9 | 79.0 | 20.0 | 11 | 2323 | 615 |
| D4-41.0 | 494.7 | 197.9 | 659.5 | 627.7 | 2.2 | 111.3 | 41.0 | 10 | 2288 | 644 |

Microsílice 100T Dry EMSAC, p.e. = 2.2
 Super plastificante PSP-N2 Protex, p.e. = 1.165
 Cemento tipo I SOL

Tabla I-10. Mezclas representativas de la tesis de Eddy Vargas (Ref.15)

Mezcla de mayor resistencia alcanzada en la tesis de Acuña Valencia (Ref. 16)

| Cemento | agua | A/c | arena | piedra | superplastificante | slump | 28d kg/cm ³ | 90d kg/cm ³ |
|---------|--------|------|--------|--------|--------------------|--------|------------------------|------------------------|
| 800 kg | 199 lt | 0.25 | 682 kg | 708 kg | 11.83 lt | 3.5 cm | 576 | 586 |

- Las resistencias iniciales aumentaron en 56% y las finales en 36% con respecto a las mezclas sin aditivo.
- Los aumentos de resistencia después de los 28 días no fueron significativos, solo 4% más respecto a la resistencia a los 28d.

Tabla I-11. Mezclas representativas de la tesis de Acuña Valencia

Algunas Mezclas de la Tesis de Carlos Aire (Ref.25)

| MATERIALES Y PROPIEDADES | IDENTIFICACION DE LA MEZCLA EN LA TESIS | | | | |
|----------------------------------|---|------|------|------|------|
| | 10 | 11 | 12 | 26 | 29 |
| CEMENTO kg/m ³ | 569 | 569 | 569 | 553 | 569 |
| ARENA kg/m ³ | 610 | 622 | 631 | 588 | 631 |
| PIEDRA kg/m ³ | 1013 | 1031 | 1048 | 1102 | 1048 |
| AGUA lt/m ³ | 185 | 174 | 164 | 168 | 164 |
| SUPERPLASTIFIC % * | 0.44 | 0.69 | 1.19 | 0.81 | 1.74 |
| CONT DE AIRE % | ---- | ---- | 2 | 1.9 | 2.1 |
| RELAC a/c | 0.33 | 0.31 | 0.29 | 0.3 | 0.29 |
| SLUMP (pulg) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 ½ |
| PESO UNITARIO kg/m ³ | 2359 | 2394 | 2499 | 2464 | 2429 |
| . f'c 7días kg/cm ² | 274 | 334 | 385 | 362 | 453 |
| . f'c 28 días kg/cm ² | 365 | 459 | 481 | 504 | 525 |
| . f'c 45 días kg/cm ² | 468 | 526 | 494 | 526 | 545 |

- Las mezclas han sido elaboradas con cemento Andino tipo V, excepto la (29) en la que se usó cemento Sol tipo I
- El superplastificante es SIKAMENT, cumple con DIN 1048 y ASM C494 tipo A, el cual mantenía sus efectos entre 30 a 40 minutos. El porcentaje indicado está en relación al peso del cemento
- Arena de la cantera La Molina y piedra triturada a partir de cantos rodados de la antigua COPRESA.

Tabla I-12. Mezclas representativas de la tesis de Carlos Aire (Ref.25)

Mezclas ejemplo presentadas por Pierre Claude Aitcin et al(Ref.9)

| COMPOSICIÓN DEL CONCRETO | REFERENCIA | CON MLCROSILICE |
|--|------------|-----------------|
| Relación agua / materiales cementantes | 0.3 | 0.3 |
| Agua, kg / m ³ | 127 | 128 |
| Cemento ASTM Tipo II, kg / m ³ | 450 | 425 |
| Microsilíce, kg / m ³ | 0.0 | 45 |
| Agregado grueso a base de caliza dolomítica, kg / m ³ | 1100 | 1110 |
| Agregado fino, kg / m ³ | 815 | 810 |
| Superplastiificante*, l / m ³ | 15.3 | 14 |
| Revenimiento después de 45 minutos, mm | 110 | 180 |
| Resist. a la compresión a los 28 días, Mpa | 99.3 | 110.2 |
| Resist. a la compresión a los 91 días, Mpa | 108.6 | 117.6 |
| Resist. a la compresión a los 365 días, Mpa | 119.4 | 126.8 |

*Sal de sodio de un sulfonato naftaleno

| COMPOSICIÓN DEL CONCRETO | 1 | 2 | 3 |
|--|-------|-------|------|
| Relación agua / materiales cementantes | 0.37 | 0.27 | 0.25 |
| Agua, kg / m ³ | 165 | 135 | 130 |
| Cemento, kg / m ³ | 451 | 500 | 513 |
| Microsilíce, kg / m ³ | — | 30 | 43 |
| Agregado grueso, kg / m ³ | 1030 | 1100 | 1080 |
| Agregado fino, kg / m ³ | 745 | 700 | 685 |
| Superplastiificante, l / m ³ | 11.25 | 14 | 15.7 |
| Retardante, l / m ³ | 4.5 | 1.8 | — |
| Resist. a la compresión a los 28 días, Mpa | 79.8 | 92.5 | 119 |
| Resist. a la compresión a los 91 días, Mpa | 87.6 | 106.5 | 145 |

- (1) Puente Joigny (Francia, 1989)
 (2) Edificio La Laurentienne (Montreal 1984)
 (3) Two Union Square (Seattle, 1988)

Tabla I-13. Mezclas representativas de Pierre Aitcin (Ref.9)

Mezcla para el puente Tjörn Bridge en Suecia, 1981 (Ref. 1)

| Cemento | Micro sílice | agua | A/c+ms | Arena 0-8 mm | Piedra 8-32 mm | Resist. Promedio |
|---------|--------------|--------|--------|--------------|----------------|------------------|
| 370 kg | 37 kg | 205 Kg | 0.5 | 785 kg | 970 kg | 62 Mpa |

- Mezcla para los pilones de 100m de alto y 4m x4.5m de sección. Para reducir la posibilidad de agrietamiento térmica causa del calor deshidratación, se reemplazo parte del cemento por miicrosílice y se hizo circular aire frío por ductos embebidos.

Tabla I-14. Mezcla usada en el puente Tjöm Bridge, Suecia 1981 (Ref. 1)

Mezcla de prueba para estudiar la resistencia residual después de la exposición a altas temperaturas del concreto, N. Gowripalan et al (SP 172-10, Ref. 17)

| Cemento | Micro sílice | agua | Arena de Sydney | Super plastificante | Piedra Basalto 10 mm | Resistencia a la compr. |
|---------|--------------|--------|-----------------|---------------------|----------------------|-------------------------|
| 500 kg | 55 kg | 140 lt | 640 kg | 20 lt | 1170 kg | 83.2 MPa |

Tabla I-15. Mezcla de prueba dela experiencia de N. Gowripalan (Ref. 17)

Mezcla para concreto másivo y de alta resistencia de edificios de gran altura en Indonesia, por Hyung-Kyun Byun y Kwang Myong Lee (SP 172-17, Ref. 17)

Proporciones de mezcla en el CAR (kg / m³)

| Grado (MPa) | Cemento | Micro sílice | agua | Arena | Piedra | Super plastificante (litros) | Agua / (c+ms) |
|-------------|---------|--------------|------|-------|--------|------------------------------|---------------|
| 50 | 500 | 40 | 170 | 675 | 1030 | 1-3 | 0.31 |
| 60 | 520 | 60 | 160 | 650 | 1030 | 1-3 | 0.28 |

Resultados de los ensayos a compresión del CAR

| Grado (MPa) | Resistencia Promedio 28 d (MPa) | Desviación estándar (MPa) | Coef. De variación (%) |
|-------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------|
| 50 | 65.7 | 5.8 | 8.9 |
| 60 | 74.4 | 6.3 | 8.5 |

Tabla I-16. Mezcla de prueba dela experiencia de N. Gowripalan (Ref. 17)

Comentarios para las mezclas de Hyung-Kyun Byun y Kwang Myong Lee (Ref.17):

- Las mezclas de CAR han sido usadas para las columnas y muros de corte de dos torres correspondientes al Amartapura Residencial Palace Project de 162 y 132 m de altura, en Tangerang a 20 Km de Jakarta, Indonesia, acabadas en 1997.
- Hubo grandes varias dificultades para producir el CAR en Indonesia, según los autores, en la zona, las plantas de producción sólo producen concreto con el sistema en seco, lo cual permite usar instalaciones más simples pero desmejora la calidad del concreto.
- El asentamiento requerido fue de 12 cm y el tamaño máximo del agregado de 20 mm
- En comparación a otras mezclas, el contenido de cemento para mezclas de grado 50 y 60 es alto, los autores atribuyen esto a la baja calidad del cemento de Indonesia
- La microsílíce en polvo se agregó en cantidades entre 7 a 10% en peso de cemento, lo cual se agregaba al final al igual que el superplastificante
- La desviación estándar de los resultados es pequeña, sin embargo algunos resultados de resistencia a la compresión a los 56 días fueron menores que el promedio de los resultados de ensayos a los 28 días, lo cual indica que el CAR es significativamente influenciado por varios factores, como el tipo de maquina de prueba, el capping, etc.
- Aparte de este tipo de mezcla se usó otra de 40 MPa para el concreto masivo en la cimentación, 6600 m³ en total.

Proporciones típicas de mezclas de CAR comercialmente disponibles (Adaptado de la Ref. 7 ACI363-2R 98) (70 a 140 MPa) (Burg y Ost 1992)

| Materiales y propiedades | Número de mezcla | | | | | |
|----------------------------|------------------|-------|------|------|-------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Relación agua / cementante | 0.28 | 0.287 | 0.29 | 0.22 | 0.231 | 0.32 |

Composición, kg/m³

| | | | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| agua* | 158 | 160 | 155 | 144 | 151 | 141 |
| Cemento ASTM tipo I | 564 | 475 | 487 | 564 | 475 | 327 |
| Microsilíce | | 24 | 47 | 89 | 74 | 27 |
| Ceniza volante | | 59 | | | 104 | 87 |
| Agregado grueso SSD** | 1070 | 1070 | 1070 | 1070 | 1070 | 1020 |
| Agregado fino | 647 | 659 | 676 | 593 | 593 | 742 |

Aditivos, l / m³

| | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|-----|
| Reductor de agua de alto rango Tipo F *** | 11.6 | 11.6 | 11.2 | 20.1 | 16.4 | 6.3 |
| Reductor de agua de alto rango Tipo G *** | | | | | | 3.2 |
| Aditivo retardador Tipo D | 1.12 | 1.06 | 0.97 | 1.46 | 1.5 | |
| slump mm | 195 | 250 | 215 | 255 | 235 | 205 |

resistencia promedio a la compresión de probetas cilíndricas 6"x12"

| | | | | | | |
|--------------------|----|-----|----|-----|-----|----|
| a los 28 días, MPa | 79 | 89 | 92 | 119 | 107 | 73 |
| A los 91 días. MPa | 87 | 100 | 96 | 132 | 119 | 89 |

* Masa total de agua incluyendo el agua en los aditivos

** Tamaño máximo nominal del agregado: Mezclas del 1 al 5, 12.5 mm (1/2")

*** Reductor de agua de alto rango ASTM C 494

Tabla I-17. Mezclas típicas presentadas por el ACI363(Ref. 7)

CAPITULO II

II.1 INVESTIGACIONES DEL CAR EN NUESTRO MEDIO

El CAR en nuestro medio aun se encuentra en sus primeras etapas, se tiene varias experiencias de laboratorio pero las aplicaciones están muy limitadas. En cuanto a las experiencias de laboratorio, es en nuestra universidad, la Universidad Nacional de Ingeniería donde se tiene la mayor cantidad de experiencias a nivel de laboratorio en este tema y es el lugar en donde se ha llegado a las más altas resistencias (más de 1200 kg/cm² de resistencia a la compresión). También existen algunas experiencias en la Pontificia Universidad Católica, en donde se ha llegado a resistencias de alrededor de 850 kg/cm². A nivel de las experiencias de la empresa privada, podemos mencionar que UNICON ha trabajado con concretos que arrojaron resultados de ensayo a la compresión uniaxial en probetas de 6" x 12" de más de 700 kg/cm².

II.1.1 Tesis de Patricia Morales (Ref. 11)

Esta tesis correspondiente a la última hasta la fecha presentada en nuestra universidad en el tema, ha hecho una investigación de muchos de los parámetros que influyen en la resistencia del concreto, varios de ellos han sido expuestos por primera vez. En la tesis se ensayan los agregados y se analiza como influye en la resistencia incluso el tipo de roca al que pertenece el agregado grueso, entre roca ígnea intrusiva y metamórfica es esta última con la que se llegó a mayores resistencias. La granulometría también fue investigada y también concluye como era de esperarse que se debe restringir el tamaño máximo del agregado para alcanzar las resistencias deseadas.

También hizo un estudio sobre el factor de correlación de los ensayos con probetas de 100mm y 150mm, pero como en algunos de otros ensayos, el número de éstos parece ser insuficiente como lo menciona la misma autora de la tesis, quien además toma como factor de correlación a un valor aproximado de 0.95. En un estudio denominado "Evaluación de la Norma de Requerimientos de Consolidación ASTM para la Preparación de Probetas de Concreto de Alta Resistencia" de N.J. Carino (Ref.17), presentada en Malasia (año 1997), se muestra que los cilindros de 100mm varillados fueron 4.6% más resistentes que los cilindros varillados de 150 mm.

La tesis también expone un estudio de la secuencia de mezclado, en la que menciona como la secuencia de mezclado elegida la que inicia el batido después de haber colocado en seco los agregados el cemento y sobre ellos la microsílíce, con la consiguiente autocrítica de la autora de que se pierde microsílíce volante en el proceso y la formación de grumos. Esto difiere de un estudio similar en México en el cual se coloca primero el agregado grueso y la microsílíce con parte del agua de mezcla para iniciar el batido e ir agregando los demás componentes.

También se puede mencionar que el asentamiento logrado o aceptado como procedente en la tesis es de solo 3-4". En las prácticas de colocación del concreto de alta resistencia (concreto de obra) realizadas hasta el momento en nuestro país y las que se vienen realizando desde hace años en el exterior los asentamientos están en un promedio de más de 10 pulgadas, esto porque puede ser frecuente que el CAR se coloque en estructuras de alta congestión de acero de refuerzo. También es mencionada como una característica general la alta fluidez del CAR.

En la tesis se muestra también como se ha logrado mantener las características trabajables hasta por 45 minutos con el uso de superplastificantes de tipo G.

II.1.2 CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON SUPER PLASTIFICANTE PSP-N2 (UNI 1994) (Ref. 13)

- Diseño de mezclas: "Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados"
- Materiales empleados
 - Cemento Sol Tipo I p.e. = 3.08 gr / cm³
 - Arena cantera La Molina p.e. = 2.65 gr / cm³ M. F. = 3.27
 - Piedra Cantera La Gloria p.e. = 2.66 gr / cm³ T máx. = ¾"
M. F. = 7.69
- La relación a / c teórica = 0.45 (mezclas A)
0.38 (Mezclas B)
pero las relaciones reales fueron 0.45 - 0.35 (Mezclas A)
0.38 - 0.31 (Mezclas B)
- Mezclas:

| materiales | mezclas A | mezclas B |
|----------------|---------------------------------|---------------------------------|
| agua | 180 -230 lt | 182 -226 lt |
| Cemento | 510 kg | 595 kg |
| Arena | 794 - 851 kg | 828 - 884 kg |
| Piedra | 778 - 837 kg | 678 - 723 kg |
| Superplastif | 0 - 13.96 lt | 0 - 13.96 lt |
| agua / cemento | 0.45 - 3.35 | 0.38 - 0.31 |
| Slump | 3.05" - 3.16" 7.75 - 8.03 cm | 2.65" - 3.22" 6.73 - 8.18 cm |

Tabla II-1

- La dosificación de superplastificante PSP – N2 estuvo entre 20 y 90 onzas por cada 100 kg de cemento
- La resistencia a la compresión en kg / cm²:

| edad | mezclas A | mezclas B |
|----------------|----------------------|---------------------|
| 7 días | 316 -463 (81 - 94 %) | 358 -534 (82 -94 %) |
| 28 días (100%) | 387 - 524 | 437 - 596 |
| 42 días | 392 -535 (102 %) | 440 - 603 (101 %) |

Tabla II-2

II.1.3 ESTUDIO DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA Y ALTA PERFORMANCE CON LA INCORPORACIÓN DE SÍLICE EN POLVO Y ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE (UNI 1997) (Ref. 13)

Materiales

- Cemento Sol Tipo I
- Arena procedente de la cantera “La Molina” M.F. = 3.17
- Piedra cantera La Gloria M.F. = 7.6 T máx. = ¾”
- Microsílice Química Suiza Superplastificante PSP – N2 (Aditivo tipo F, categoría de superplastificantes: B)

Método de Diseño

- “Agregado Global”

Primero se determinó los porcentajes de arena y piedra por “compacidad” mayor peso seco se escogieron tres mezclas con cada una se preparó mezclas y se ensayó la resistencia, la de mayor resistencia tenía 50% de arena y 50% de piedra en volumen.

Para determinar la cantidad de agua: tres diseños de prueba sin sílice ni aditivo, con contenido de agua por m³ de concreto de 220 litros, 235 litros y 250 litros se gráfico agua vs. Slump. Se requería Slump 4” y a este le correspondió 245 lt de agua por metro cúbico de concreto

- La mezcla patrón:

| | |
|---------|----------|
| Cemento | 612.5 kg |
| Agua | 245 lt |
| Arena | 707 kg |
| Piedra | 742 kg |

- Dosificación de Superplastificante para las distintas mezclas

Porcentaje en peso de superplast / cemento
0.7%, 0.8% 1.25%

- Dosificación de microsílice para las distintas mezclas

Porcentaje en peso de microsílice/ cemento
7%, 10% 15%

- Relación agua / cemento = 0.4
- Slumps entre 3" y 4"
- Resistencias máximas

Sólo con Superplastificante

'a / c = 0.40 f'c 28d = 433 kg / cm² E28d = 3.15 x 10⁵
kg / cm²

Con Superplastificante y Microsílice (15%)

'a / c = 0.40 f'c 28d = 690 kg / cm² E28d = 3.68 x 10⁵
kg / cm²

II.1.4 CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA EMPLEANDO MICROSÍLICE SIKACRETE 950 Y SUPERPLASTIFICANTE SIKAMENT FF-86 (UNI 1998) (Ref. 13)

Materiales

- Cemento Sol Tipo I
- Arena procedente de la cantera "La Molina" p.e. = 2.62 g/cm³ M.F. = 3.26
- Piedra de Lurín p.e. 2.70 g/cm³ M.F. = 6.55 T máx. = ¾"

Método de Diseño

- "Módulo de finura de la combinación de agregados" para un slump entre 3" y 5"
- La relación arena / agregado total = 0.49 MF total: 4.96
- Se diseñaron Mezclas con dos Relaciones a/cementante = 0.45 (mezclas A) y 0.40 (Mezclas B)
- Dosificaciones por metro cúbico de mezclas patrón:

Mezclas A

| | |
|---------|----------|
| Cemento | 512 kg |
| Agua | 205 lt |
| Arena | 809.4 kg |
| Piedra | 859.4 kg |

Mezclas B

| | |
|---------|----------|
| Cemento | 455.6 kg |
| Agua | 205 lt |
| Arena | 809.4 kg |
| Piedra | 859.4 kg |

- Dosificación de Microsílice y Superplastificante

Mezclas A:

Microsílice (%peso MS / cemento) 0%, 7.5%, 15% y 22.5%
Superplastificante (kg/m³ concreto): 0 kg/m³, 3.5 kg/m³, 5.5 kg/m³ y 10 kg/m³

Mezclas B:

Microsílice (%peso MS / cemento) 0%, 7.5%, 15% y 22.5%
Superplastificante (kg/m³ concreto): 0 kg/m³, 5.5 kg/m³, 7.5 kg/m³ y 12.4 kg/m³

- Slumps
mezclas A: 4.06" – 4.17"
10.3 – 10.6 cm
mezclas B: 3.94" – 4.17"
10.0 – 10.6 cm

- Resistencias

Mezclas A: $f_c 28d = 359 - 500 \text{ kg / cm}^2$ (100%)
 $E 28d = 2.17 \times 10^5 - 2.34 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

$f_c 90d = 519 - 670 \text{ kg / cm}^2$ (134 – 145 %)
 $E 90d = 2.26 \times 10^5 - 2.46 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

Mezclas B: $f_c 28d = 390 - 505 \text{ kg / cm}^2$ (100%)
 $E 28d = 2.31 \times 10^5 - 2.63 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

$f_c 90d = 545 - 744 \text{ kg / cm}^2$ (140 – 147 %)
 $E 90d = 2.39 \times 10^5 - 3.07 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

II.2 EVOLUCION Y APLICACIÓN DEL CAR EN NUESTRO MEDIO

II.2.1 ORIGEN DEL CAR

El concreto de alta resistencia, como otras tecnologías, proviene del exterior, y para aplicarlo en nuestro medio, es necesario primero un completo conocimiento de la materia para después poder adaptarla y mejorarla.

En el exterior, el CAR está reemplazando la utilización de otros materiales como el acero y su uso se hace cada vez más frecuente en múltiples aplicaciones, pero generalmente su mejor aplicación está en obras de gran envergadura como los rascacielos, puentes de trabe muy larga o plataformas petrolíferas en altamar. Gracias a sus otras ventajas, se puede expandir las aplicaciones del CAR en países como el nuestro en los que no se construyen rascacielos, la impermeabilidad, la resistencia a la abrasión, la resistencia a los ataques químicos y la durabilidad en general del CAR. En esta sección se verá un ejemplo de una obra en la que justamente el CAR fue elegido por su alta resistencia a la abrasión.

II.2.2 LIMITACIONES PARA SU USO

En primer lugar esta la falta de difusión. No es un tema que se encuentre incluido en los tópicos tratados en los cursos de antigüado en las universidades, entonces existe un desconocimiento general acerca del CAR, sus aplicaciones y ventajas. Aún en los cursillos organizados por instituciones nacionales, el tema ha sido tocado ligeramente. Las tesis de investigación en nuestro medio han tocado el tema de la elaboración de mezclas para lograr las características de trabajabilidad, resistencia y en algunos casos sobre la economía, pero no se ha tocado el tema del CAR como material estructural, lo cual sería un gran paso para ponerlo realmente en marcha.

También existe una ausencia de normatividad en nuestro medio lo cual impide llegar a un consenso fácilmente aceptable en caso de tener que usarse el CAR. Esto existe aún en los países extranjeros. Por ejemplo en la norma peruana E060 se mencionan parámetros de seguridad para alcanzar la resistencia a la compresión promedio requerida, haciendo indicaciones diferentes para los distintos niveles de resistencia, la última de las indicaciones siempre se refiere a $f_c > 350 \text{ kg/cm}^2$ lo cual resulta inadecuado para el CAR ya que las indicaciones deben ser especiales para los mayores niveles de resistencia ya que, como se mencionó antes, el CAR es más sensible a cualquier cambio de sus condicionantes que los concretos de resistencia baja o media.

A lo anterior se suma la falta de práctica de los controles de calidad al nivel que necesita la utilización del CAR. En este caso es incluso recomendable hacer controles de la calidad y uniformidad de la producción del clinker en los silos con meses de anticipación al inicio de las obras, por ejemplo el silicato tricálcico no debe variar en más de 4% (Ref. 7), Más adelante se expone con más amplitud algunos criterios para el control de la calidad del CAR.

La falta de equipamiento e instalaciones tanto de laboratorios como de plantas productoras de concreto también es una limitación. Para ensayar una probeta de 6" x 12" de CAR se requieren máquinas con una capacidad mayor de 150 toneladas y esto no es frecuente encontrarlo. Se pueden usar probetas de menores dimensiones pero se necesitaría hacer un estudio de correlación y otra vez estaríamos en la falta de normatividad. Ya que este material ha comenzado a desarrollarse en los países llamados del primer mundo, es de esperarse que en la actualidad se usen medios sofisticados para la elaboración de mezclas de CAR. Tal como dice un artículo de la AMCYC "Para obtener el CAR es indispensable el uso de maquinaria especializada como las premezcladoras y que a veces se tienen que trasladar y operar en el lugar de construcción. Las máquinas están controladas por

circuitos electrónicos que verifican parámetros como las revoluciones para el mezclado, porcentaje de humedad, temperatura y pesos de los materiales, entre otras variables. Estos factores son fundamentales y por ello se requiere de gran exactitud si se quiere obtener un concreto de alta resistencia, pues de lo contrario la calidad del material resultante puede discrepar del especificado, con el consiguiente riesgo para la construcción que se lleva a cabo”.

También podemos mencionar la barrera psicológica que existe siempre que se intenta utilizar una tecnología a la cual la mayoría no está acostumbrada, casi siempre se prefiere lo que es común y conocido.

II.2.3 Algunos ejemplos de aplicación del CAR en nuestro medio

a) El Proyecto Especial Tren Eléctrico. Una de las aplicaciones en nuestro medio ha sido la colocación de concreto nominado a 450 kg / cm^2 para las columnas del famoso tren eléctrico, según el ingeniero Carlos Casabone, uno de los proyectistas involucrados, se colocó concreto que llegó hasta 490 kg / cm^2 . En casi todos los tramos no había mucho espacio disponible para los pilares y la elevada resistencia del concreto permitió ahorrar espacio y el diseño por carga axial.

b) Estructura Especial Hotel Marriott. Este edificio está ubicado en el distrito de Miraflores. Según el proyectista (Ing. Carlos Casabone), existió un reto estructural en la base de las columnas colindantes con el lote vecino, además de la carga axial que debían de soportar, sobre todo, habían grandes momentos en la zona de conexión con la zapata excéntrica, lo cual podía resolverse aumentando la sección con el uso de concreto de resistencia convencional, pero con la intención de optimizar las áreas de uso, la única solución era aumentar la calidad del concreto. La resistencia especificada en el proyecto fue de 600 kg/cm^2 pero los ensayos a la compresión dieron como

resultado hasta 750 kg/cm². El proveedor del concreto fue la empresa UNICON y el contratista Graña y Montero en el año 1998.

c) Fuste del Silo de Clinker Resistente a la Abrasión

Ubicación Esta obra se ha realizado recientemente (noviembre 1999) en la planta productora de cemento de la compañía Cementos Lima S.A. ubicada en Atocongo 20 kilómetros al sur de Lima.

Panorama (Véase la figura II-1) Según las recomendaciones generales a nivel mundial, es recomendable enfriar el clinker antes de su molienda final, este se debe ubicar en la "cancha de depósito de clinker" para su enfriamiento, en gran parte del flujo del clinker que va a convertirse en cemento se usan fajas transportadoras **(1)**. En la cancha de depósito existen dos silos de forma cilíndrica **(2)** de 50 metros de altura y 4.80 m de diámetro interior y formaron parte del inicio de obras de almacenamiento, el espesor de la pared tenía 30 cm y estaba reforzado con una doble malla de acero para un concreto de 280 kg / cm² **(3)**. Las paredes del silo estaban provistas de un sistema de ventanas inclinadas **(4)** que sirven para formar los enormes montículos de clinker alrededor del silo **(5)** y además son indicadores del nivel del contenido dentro del silo, el clinker sigue su recorrido en el flujo por las siguientes fajas transportadoras que pasan por debajo del nivel del suelo en donde se ubican los silos de 50 m de altura a través de unas ventanas que se encuentran fuera del área de desplante de los silos **(6)**.

El problema. En este proceso el clinker inició un proceso de erosión sobre la superficie de la pared en el interior del silo, agregándose la desventaja de que la estructura estaba sometida a altas temperaturas, después de seis meses de que la estructura fue puesta en servicio la malla de acero de refuerzo de la cara interior comenzó a hacerse visible, lo cual hizo urgente su reparación.

La Solución. Esta estructura estaba sometida a mayores temperaturas que su similar, la cual no sufrió estos daños, ya que estaba expuesta a mayores temperaturas, entonces si se colocaba un concreto de la misma calidad que la anteriormente usada, podría haber causado la repetición del problema, con lo cual se proyectó colocar una capa de concreto de alta resistencia de 700 kg/cm² de 15 centímetros de espesor y reforzada con una malla electrosoldada de 3/8". Con este concreto se pudo superar los inconvenientes gracias a su resistencia contra la abrasión y el calor. Para la mezcla se usaron los productos Master Builder tales como la fibra FIBERMESH de polipropileno para asegurar la reducción de retracción plástica, microsílíce Rheomac SF 100; la marca mencionada tiene exclusividad con la firma UNICON que es la que abasteció el material.

Proceso de mezcla y resultados Después de desalojar el silo y realizar la limpieza respectiva, se colocó la malla electrosoldada, y para lograr la reparación se colocó un encofrado separado de la estructura existente a una distancia de 15 cm.

La proporción de la mezcla fue como sigue:

| | |
|----------------|------------|
| Cemento | 460 kg |
| Agua | 160 litros |
| Arena | 694 kg |
| Piedra | 1040 kg |
| Fibra | 0.9 kg |
| Rheomac SF-100 | 46 kg |
| Rheobuild 1000 | 5 litros * |

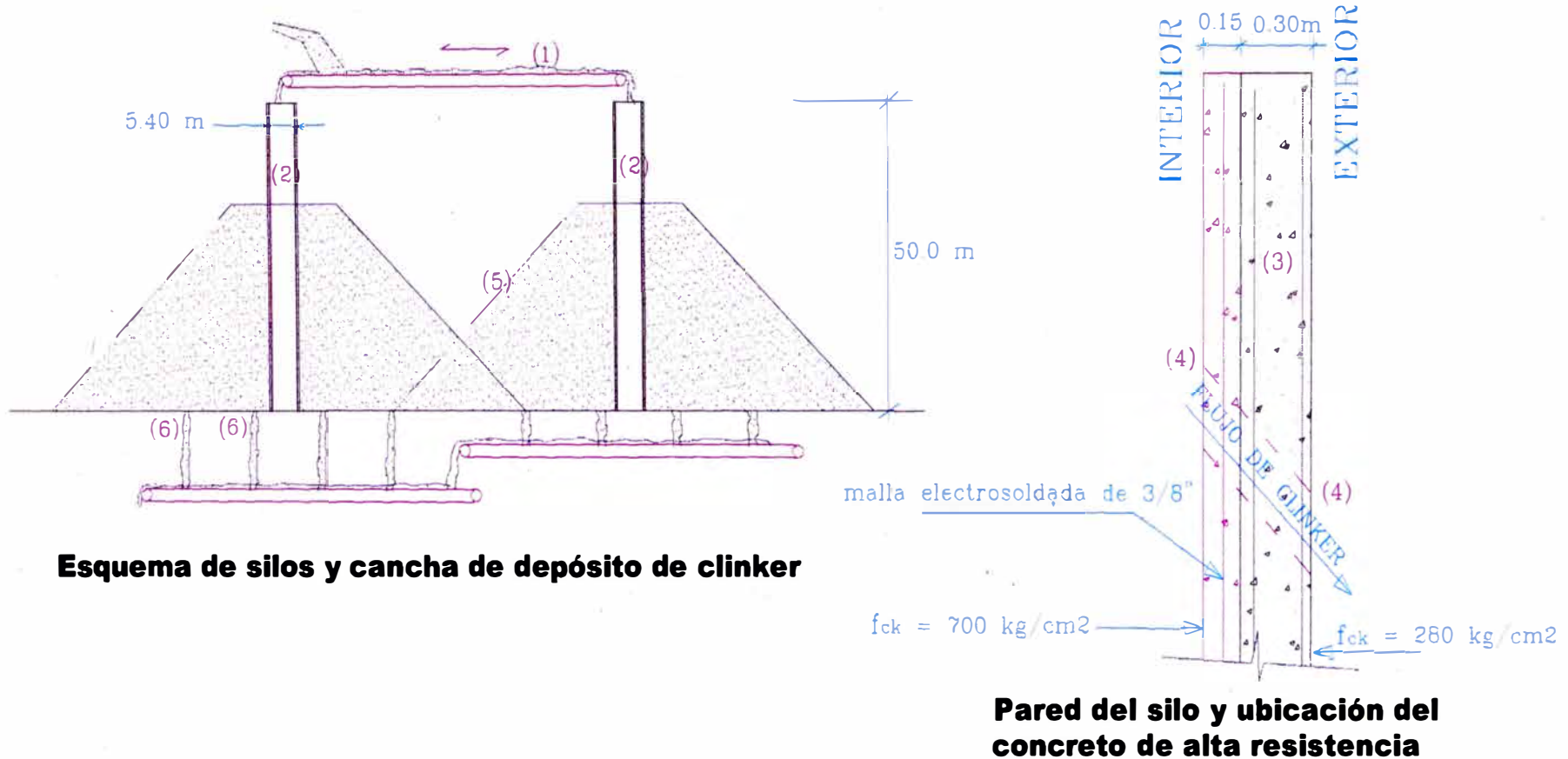
*Cantidad aproximada proporcionada por el Ing. José Alvarez de UNICON

La mezcla produjo un Slump de 10"

El proyecto solicitaba concreto de 700 kg/cm² a los 28 días y se pudo comprobar que alcanzaba una resistencia de 800 kg /cm² a los 60 días.

El silo sigue trabajando hasta hoy funcionando en las condiciones esperadas sin presentar ningún problema.

**DIAGRAMA REPRESENTATIVO DE LA OBRA
EN LOS SILOS DE CEMENTOS LIMA, Atocongo**



Esquema de silos y cancha de depósito de clinker

**Pared del silo y ubicación del
concreto de alta resistencia**

II.3 INVESTIGACIONES DEL CAR EN EL EXTERIOR

Introducción

La distribución geográfica de la mayoría de las aplicaciones del CAR se encuentra centrada en tres zonas: Norteamérica (fundamentalmente Estados Unidos), Europa occidental y Sudeste asiático. Aunque en la primera se produjeron las realizaciones iniciales y en la segunda se continuaron sus pasos con algunos años de retraso, es en el continente asiático donde se están desarrollando los últimos proyectos.

En esta sección se presentará sol algunos alcances acerca de lo que se ha investigado en el exterior acerca del CAR, teniendo como criterio la elección de aquellos temas que pueden ser útiles a corto y mediano plazo para la puesta en marcha de la utilización del CAR en nuestro medio.

En primer lugar se muestra una investigación que estudia la influencia de la microsílice y la temperatura de curado en la resistencia del CAR.

El segundo caso es el estudio de la resistencia residual del CAR sujeto a altas temperaturas.

II.3.1 LA INFLUENCIA DE LA MICROSILICE Y TEMPERATURA DE CURADO SOBRE LA RESISTENCIA DEL CAR

Abdullah M. Alshamsi (Ref.17)

Sinopsis :

- Se prepararon dos tipos de mezcla de concreto.
- La primera mezcla contenía cemento Portland normal
- En la segunda mezcla se reemplazó 10% del cemento por microsilíce
- La relación de agua / material cementicio fue de 0.27
- El asentamiento de 40-60 mm fue mantenido constante para ambas mezclas con ayuda de un superplastificante.
- Temperaturas de curado que se mantuvieron a través de toda la edad de prueba por medio de tanques de agua: 20°C, 35°C y 50° C.
- Edades de ensayo: 1,3,7,28,56 y 90.
- Los resultados indican que mientras las altas temperaturas de curado aceleran el desarrollo de resistencia en edad temprana, la resistencia en edades posteriores es adversamente afectada, además de ello, el efecto adverso fue mayor en el caso de concreto con microsilíce.
- A 20°C, el concreto con microsilíce produce resultados similares a otra mezcla desde 7 días en adelante.
- A las otras dos temperaturas, el concreto con microsilíce exhibió (en general) resultados menores.

Abdullah M. Alshamsi, miembro de la ACT, es un profesor asociado en el departamento de Ingeniería Civil en la Universidad de Emisatos Avalos Unidos en Al-Ain, él es un poseedor de Ph.D(1988) de la Universidad Leida, Reino Unido. Él obtuvo su grado de Bachiller de Ingeniería Civil y Maestría de Ciencia en Ingeniería Civil desde el Instituto de Tecnología de Georgia en 1982 y 1983 respectivamente. Sus intereses de investigación son la influencia de climas calientes sobre las propiedades de concreto fresco y endurecido.

INTRODUCCION

El uso de concreto de alta resistencia (CAR) esta ampliamente extendido, tal material tiene muchas ventajas, y se evidencia en las muchas aplicaciones hoy en día. Aunque el término concreto de alto rendimiento (HPC) es usado para describir concreto diseñado mediante propiedades superiores tales como alta resistencia a la compresión baja permeabilidad y alto modulo de elasticidad no hay acuerdo entre investigadores sobre el límite diferenciando concreto normal (NC) y HPC. No obstante ello, la alta resistencia a la compresión es una característica primaria de HPC, ya que este documento solo trata con las características de resistencia de concreto, se usará solo el término CAR.

El uso de aditivos minerales en el concreto es una práctica común, uno de estos aditivos, el cual esta cercanamente relacionado al CAR, es la microsílíce, con la que se ha ido encontrando el mejoramiento de muchas propiedades tanto del concreto fresco y del concreto endurecido, tales como cohesividad, resistencia a largo plazo y durabilidad debido a la naturaleza fina de las partículas de microsílíce, la reacción puzolánica es relativamente rápida comparada a otras tipos de puzolanas.

La resistencia tanto del concreto de resistencia normal (CRN) y del alto concreto de alta resistencia conteniendo microsílíce a temperaturas normales esta bien documentada en la literatura, concreto hechos con microsílíce produce mayor resistencia en edades posteriores. Las reacciones puzolánicas adicionales tienen lugar entre los óxidos formados en la microsílíce (principalmente SiO_2) y el hidróxido de calcio (producido por la reacción del cemento con el agua) que resulta en productos más densos y más fuertes (C-H-S) Cuando parte del cemento Portland normal es reemplazado por microsílíce, el efecto sobre la resistencia puede a veces ser visto a edad temprana, esto es una tendencia atribuida a la alta reactividad puzolánica de la microsílíce. Por ejemplo, un estudio citado en este referido informe muestra

que al reemplazar el 8% del cemento Portland normal por microsílíce, se evidencian mayores resistencias desde tres días en adelante, además de esto, la ventaja sobre la mezcla sin microsílíce se incrementaba con la edad lo cual refleja la contribución de la reacción puzolánica a la resistencia en el largo plazo.

a) EL PROGRAMA EXPERIMENTAL.

MATERIALES.

Cemento: El cemento usado fue cemento Portland normal conforme a la norma BS12: 1991 tal como lo reportó el fabricante, la comparación química se muestra en la tabla II-3.

Microsílíce: La microsílíce usada fue procedente de Noruega conteniendo alrededor de 90% de sílice amorfa (SiO_2), véase la tabla II-3.

Agregados: El tamaño máximo de agregados fue 10 mm. El módulo de finura de la arena era 2.6. La gradación de ambas agregados fue de acuerdo con las normas BS882 y ASTM C33-90. Es relevante mencionar que todos los agregados gruesos y finos fueron tamizados antes de mezclar con el fin de tener una gradación consistente, el peso por tamiz fue recolectado de acuerdo a los pesos especificados y usados en la mezcla como es mostrado en la tabla II-4.

Aditivo: Superplastificante con un suave efecto retardante fue usado para ayudar a mantener la trabajabilidad constante de 40-60 mm. de asentamiento. Este aditivo estuvo basado en lignosulfonatos modificados y ácidos de polioxicarbono y conforme a ASTM C494-92 (libre de cloruro).

Mezclas:

Dos mezclas de concreto de alta resistencia fueron moldeadas para ilustrar la influencia de la microsílíce. La tabla II-5 muestra las proporciones de mezcla por peso; se usó una relación agua/material cementicio de 0.27. Debido a su baja relación agua/material cementicio, se requirió una alta dosificación de superplastificante. Esta dosis fue aun mayor en el caso del uso de microsílíce. Se mantuvo un asentamiento constante de 40-60 mm para ambas mezclas, un mínimo de dos muestras de cubo fueron usadas para obtener resultados a las condiciones de prueba.

TEMPERATURAS DE CURADO

Tres temperaturas de curado fueron usadas⁶ para investigar la influencia de temperatura (similar a aquellas encontradas en países de clima cálido) sobre la resistencia del CAR. Estas temperaturas fueron: 1) $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 2) $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. La primera fue obtenida en un ambiente de laboratorio normal mientras las otras dos fueron obtenidas por medio de tanques de agua usando calentadores eléctricos de agua.

b) RESULTADOS Y DISCUSIÓN

EFFECTOS DE TEMPERATURA

- Véase las Figuras II-2 y II-3
- Los resultados concuerdan con la mayoría de trabajos publicados sobre el efecto de alta temperatura sobre la resistencia en edades tempranas.
- Las altas temperaturas aceleran las reacciones de hidratación resultando en mayores resistencia tempranas. Las muestras mantenidas a 50°C produjeron los más altos resultados hasta la edad de 7 días (en el caso de cemento Pórtland normal) y 3 días (en caso de microsílíce) seguido por aquellos mantenidos a 35°C y 20°C respectivamente.

- La resistencia, en edades posteriores, de concreto de resistencia normal es usualmente afectada de manera adversa por altas temperaturas de curado.
- Los resultados del presente estudio muestran que para edades posteriores a las mencionadas (7 días en el caso de cemento Pórtland normal y 3 días en el caso de microsílíce), las resistencias de las muestras curadas a altas temperaturas fueron similares o menores que aquellas curadas a temperaturas normales para ambos concretos, aparentemente la resistencia del CAR también es adversamente afectada por altas temperaturas de curado en una manera similar a concreto de resistencia normal.
- El efecto de temperaturas de curado es ilustrado en la Tabla II-6, la cual presenta los resultados en una forma porcentual de la resistencia a 28 días de concreto de cemento Pórtland normal a 20° C.
- Las altas temperaturas (35° C y 50° C cuando sean comparadas a 20° C) parecen tener mayores efectos sobre los concretos con microsílíce que sobre los concretos de cemento Pórtland normal.

EFFECTOS DE LA MICROSILICE

- El efecto del reemplazo de 10% del cemento Pórtland normal por microsílíce sobre la resistencia a la comprensión se muestra en la Tabla II-6 y Figura II-4 a cada una de las temperaturas de curado.
- Mientras a 20° C, concreto con microsílíce producía menores resistencias en edades tempranas comparado con el concreto de cemento Pórtland

normal, ambas mezclas exhibieron similares resultados desde siete días en adelante.

- A pesar del hecho que la microsilíce es considerada como puzolana altamente reactiva, su contribución a la resistencia es usualmente más aparente en edades posteriores. Por ejemplo Mehta (Ref.1) planteó que cuando la microsilíce sea usada como un remplazo parcial de cemento Pórtland normal, las resistencias de edad temprana (1 y 3 días) son reducidas, Los resultados de los trabajos corrientes confirman esto.
- A 35° C y 50° C, la tendencia de los resultados fue diferente a aquella observada a 20° C, La tendencia general de los resultados indica que los concretos con microsilíce produjeron menores resistencia que el concreto de cemento Pórtland normal durante toda la edad, vea Figura II-4.
- Se conoce que la microsilíce reacciona con los productos de hidratación de cemento Pórtland normal. Ya que el microsilíce reemplaza parte del cemento Pórtland normal, se espera que el concreto que contiene microsilíce mostrará menores resistencias en edad temprana disminuyendo los potenciales de resistencia de la mezcla. Menores contenidos de cemento Pórtland normal a la misma relación agua / material cementicio resultarán en menores productos de hidratación C-S-H provenientes de la reacción con el agua.
- La reacción puzolánica de los óxidos encontrados en la microsilíce (principalmente SiO_2) con los productos de hidratación de cemento Pórtland normal resulta en compuestos más densos y por lo tanto muestras más fuertes que contribuyen a la resistencia. Esta es la razón para el hecho que concretos con microsilíce produzcan a temperaturas normales, mayores resistencia en edades posteriores.

- Sin embargo, las altas temperaturas, afectan adversamente la estructura de poro de la pasta de cemento, al menos en dos formas: la generación de productos de hidratación débiles los cuales también son malamente dispersados en la matriz de cemento. Tales efectos van a ser considerados como la causa de menores resistencia para el concreto de resistencia normal. Este argumento también parece ser verdad en el caso de concreto de alta resistencia.

- La inclusión de microsílíce para un curado a alta temperatura no mejoró las características de resistencia en edades posteriores (hasta edad de 90 días). Esto puede sugerir que la reacción adicional de microsílíce con los productos de hidratación del cemento Pórtland normal no contribuye al mejoramiento ya sea de la distribución o la calidad de los productos de hidratación.

RESÚMENES

Basados en los resultados y discusión antes mencionados de la influencia del microsílíce sobre la resistencia a la compresión de concretos de alta resistencia (CAR) a 20° C, 35° C y 50° C, pueden ser extraídas las siguientes conclusiones:

1. La resistencia a la compresión del concreto de alta resistencia es adversamente afectada por altas temperaturas de curado en una manera similar a concreto de resistencia normal, indistintamente del uso de microsílíce. El efecto adverso de altas temperaturas de curado fue mayor en el caso de concreto con microsílíce.

2. Los resultados también muestran que a 20° C, la microsílíce contribuye a la resistencia de concretos desde la edad de 7 días en adelante. A las

otras dos temperaturas de curación, el concreto con microsilíce produjo menores resistencias durante toda la edad (90 días)

TABLA II-3—COMPOSICION QUIMICA DEL CEMENTO PORTLAND NORMAL Y DE LA MICROSILICE

| OXIDOS | | Cemento Portland Normal | Microsilíce |
|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------|
| Silicio | SiO ₂ | 21.28 | 89.68 |
| Oxido Férrico | Fe ₂ O ₃ | 3.23 | 0.82 |
| Óxido de Aluminio | Al ₂ O ₃ | 5.03 | 0.605 |
| Oxido de Calcio | CaO | 63.76 | 0.425 |
| Oxido de Magnesio | MgO | 2.03 | 1.005 |
| Azufre | SO ₃ | 2.62 | 0.38 |
| Cloro | Cl | — | 0.048 |
| Oxido de sodio | Na ₂ O | 0.55 | 0.3 |
| Oxido de Potasio | K ₂ O | — | 1.585 |
| Pérdida de ignición | L.O.I. | 2.18 | 2.95 |
| Humedad libre | | — | 0.72 |
| Carbono | C | — | 1.115 |
| Residuos insolubles | | 0.78 | — |
| aluminato Tricálcico | C ₃ A | 8.24 | — |
| Ferroaluminato Tetracálcico | C ₄ AF | 9.48 | — |

**TABLA II-4 — GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS GRUESO Y FINO,
% RETENIDO EN CADA TAMIZ EN PESO**

| Tamaño, mm | 14 | 10 | 5 | 2.36 | 1.18 | 0.6 | 0.3 | 0.15 |
|-----------------|----|----|----|------|------|-----|-----|------|
| Agregado grueso | 0 | 40 | 60 | --- | --- | --- | --- | --- |
| Agregado fino | 0 | 0 | 0 | 20 | 20 | 20 | 25 | 15 |

TABLA II-5 -- PROPORCIONES DE MEZCLA EN PESO

| | cemento | Micro sílice | Agregado fino | Agregado grueso | agua | Superplastificante (litros/m ³) | Slump (mm) |
|----------|---------|--------------|---------------|-----------------|------|---|------------|
| Mezcla 1 | 1.0 | 0 | 1.34 | 1.92 | 0.27 | 14.7 | 50 |
| Mezcla 2 | 0.9 | 0.1 | 1.34 | 1.92 | 0.27 | 16.0 | 50 |

TABLA II-6 — RESULTADOS DE AMBAS MEZCLAS PRESENTADOS EN PORCENTAJE RELATIVO A LA DE CONTROL (CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND NORMAL A LOS 28 DIAS A 20°C)

| Edad (días) | 1 | 3 | 7 | 28 | 56 | 90 | 1 | 3 | 7 | 28 | 56 | 90 |
|-------------|-------------------------|----|----|------------|-----|-----|---|----|----|-----|-----|-----|
| | Cemento Portland Normal | | | | | | 90% de Cemento Portland Normal / 10% de microsílíce | | | | | |
| 20°C | 55 | 67 | 80 | <u>100</u> | 103 | 109 | 44 | 58 | 82 | 102 | 102 | 108 |
| 35°C | 56 | 76 | 91 | 102 | 105 | 102 | 61 | 64 | 85 | 92 | 94 | 101 |
| 50°C | 75 | 84 | 94 | 96 | 101 | 102 | 65 | 69 | 78 | 79 | 88 | 98 |

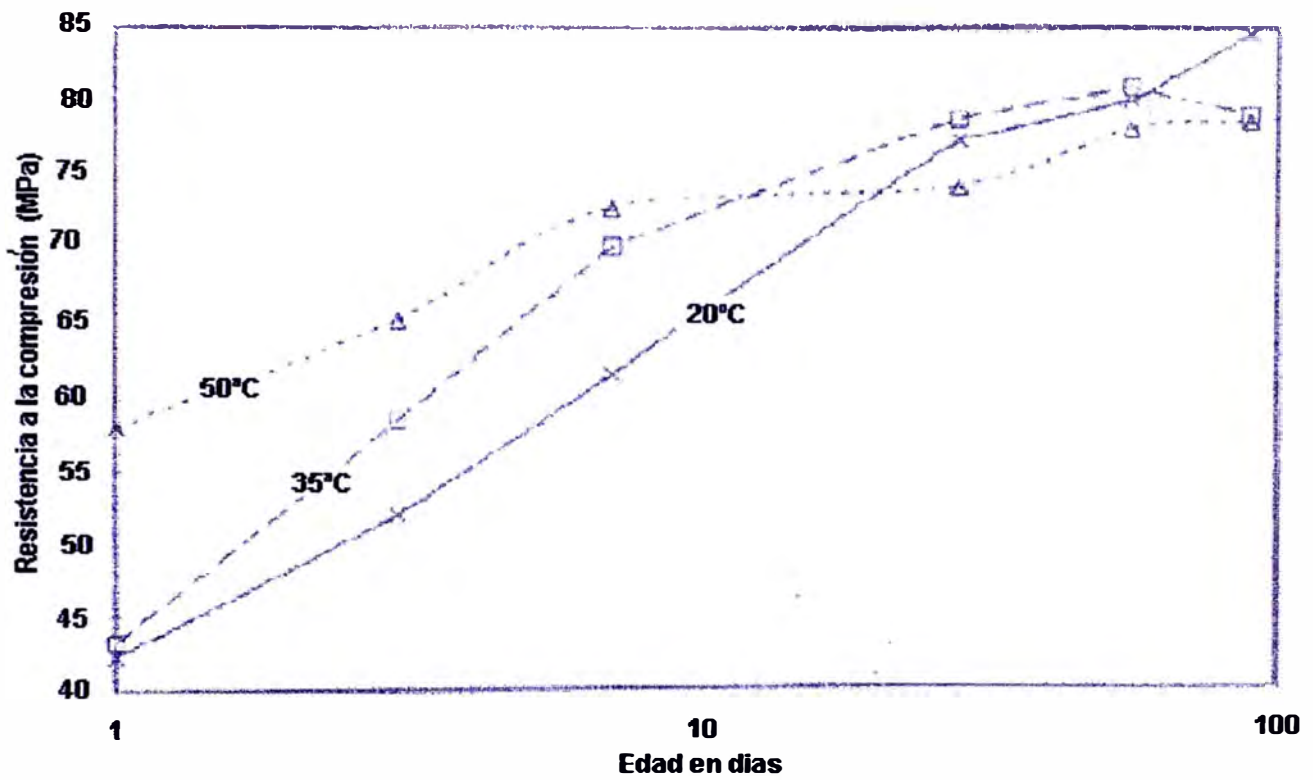


Fig. II-2 — Influencia de la temperatura de curado en la resistencia del concreto de cemento portland normal

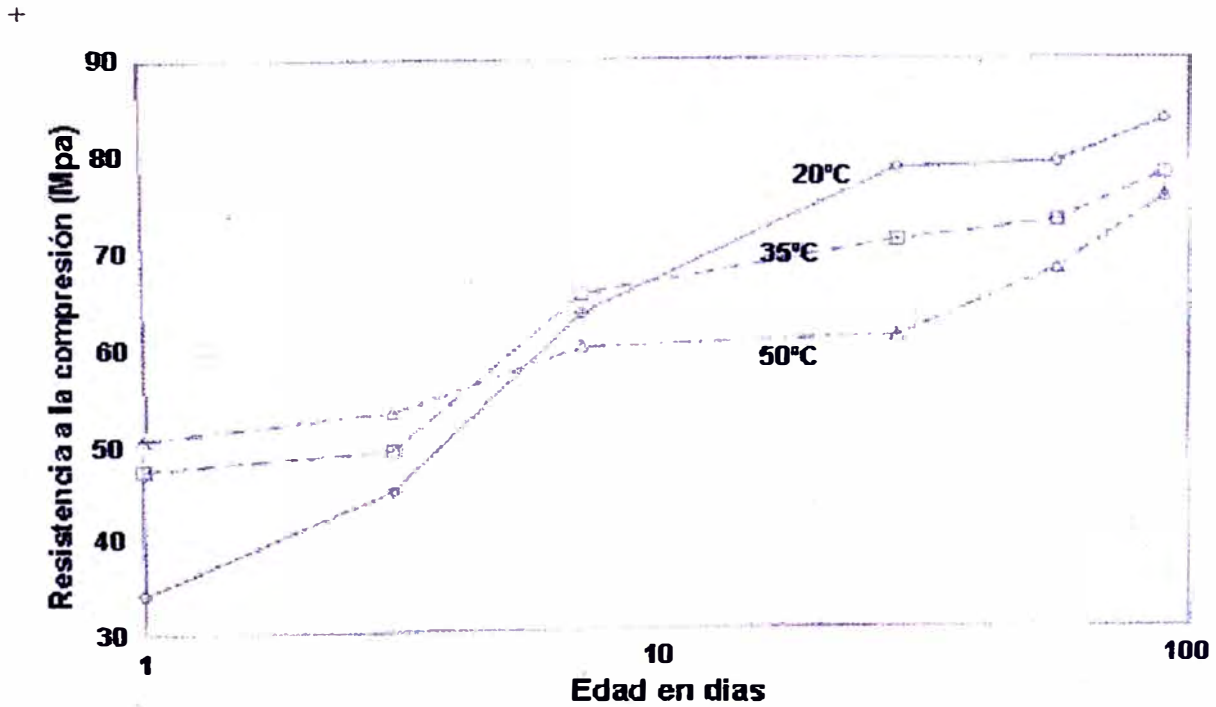


Fig. II-3-- Influencia de la temperatura de curado en la resistencia del concreto de 90% de cemento portland normal / 10% de microsílíce

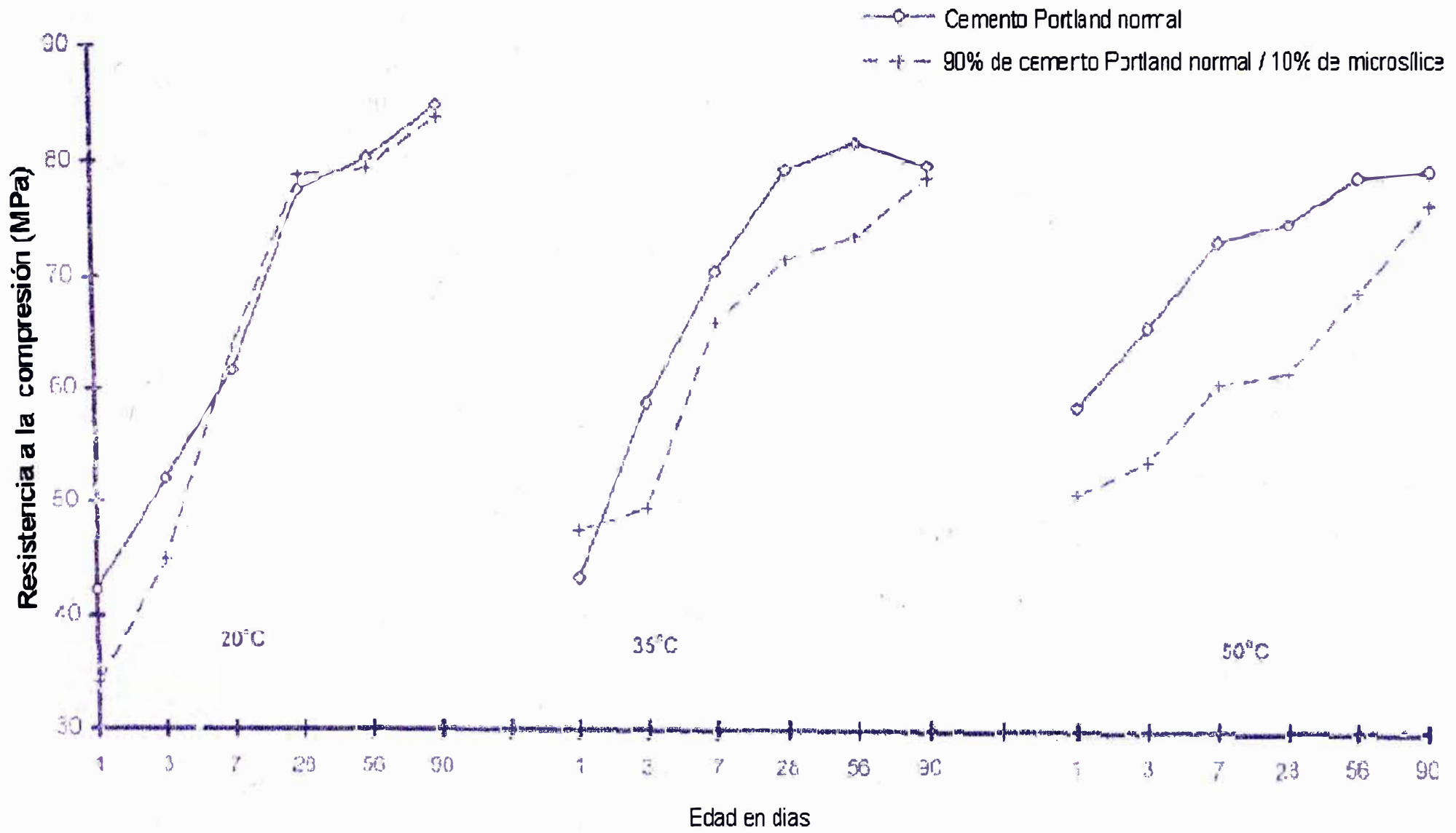


Fig. II-4- Efecto de la microsílíce en la resistencia del CAR a 20°C, 35°C, y 50°C

II.3.2 RESISTENCIA RESIDUAL DEL CAR SUJETO A ALTAS TEMPERATURAS

N. Gowripalan, P. Salonga y C. Dolden (Ref.17)

SINOPSIS:

- El concreto de alta resistencia (CAR) es un subgrupo del concreto de alto rendimiento. El CAR puede ser definido como un concreto con una resistencia a la compresión a los 28 días de 50 MPa o más.

- Las estructuras de concreto se pueden diseñar para resistir incendios a diferentes niveles. Es importante conocer las características de resistencia residual de un material estructural ya que de esta dependerá:
 1. La condición estructural después de un incendio accidental o del uso continuo a alta temperatura.
 2. La reparación.

- En este documento, se reporta la resistencia residual de una mezcla CAR que contiene micro sílice.

- La mezcla usada en esta investigación ha sido un concreto de 80 MPa (resistencia a la compresión nominal a 28 días) y con 10% de micro sílice por peso de material cementicio.

- A la edad de 28 días, se ensayó la resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas y algunas fueron colocadas en un horno, el calor fue aplicado a un régimen de alrededor de 7°C por minuto hasta alcanzar la temperatura deseada.

- Se mantuvo una máxima temperatura de 250°C, 500°C, 750°C o 1000°C por un período de 3 o 24 horas. Luego se permitió que los especímenes se enfriasen a temperatura ambiente y se les ensayó por resistencia a la

comprensión, resistencia a la tracción por corte, modulo de elasticidad y velocidad de impulso ultrasónico.

- Para especímenes de concreto llevados hasta 250°C, se obtuvo una resistencia a la compresión residual de 90% fue.
- La resistencia residual encima de 500°C cayó sustancialmente hasta 50%
- Cuando la temperatura alcanzó 1000°C solo alrededor del 15% de resistencia fue retenida.
- Con la mezcla investigada no se notó ninguna falla. Parece que un cuidadoso diseño de mezcla puede eliminar cualquier posible falla explosiva.
- Los efectos de alta temperatura son más pronunciados en la resistencia a la tracción, modulo de elasticidad y velocidad de impulso ultrasónico. Existió una reducción progresiva notable de los parámetros antes mencionados hasta los 1000°C.
- La velocidad de impulso ultrasónico parece ser útil al evaluar el daño de concreto debido a altas temperaturas.

N. Gowripalan, miembro del ACI, es conferencista en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Nueva Gales del Sur, Sydney 2052, Australia. Él también es un miembro de la ASCE. Él obtuvo su Ph.D desde la Universidad de Leeds, Reino Unido en 1987. Su interés de investigación corriente incluye concreto de alto rendimiento, concreto de fibra reforzada y reforzamiento plástico de fibra reforzada (FRP).

P. Salonga obtuvo su BE en Ingeniería Civil desde la Universidad de Nueva Gales del Sur en 1997.

C. Dolden obtuvo su BE en Ingeniería Civil desde la Universidad de Nueva Gales del Sur en 1995.

INTRODUCCION

El concreto de Alto Rendimiento (HPC) es un material cuidadosamente diseñado el cual usualmente contiene aditivos minerales y químicos con baja relación agua/cementante, tan baja como 0.25 a 0.3, mediante el uso de

superplastificantes. Aditivos minerales tales como ceniza muy fina, escoria o micro sílice son usados en el concreto de alta resistencia, no solo para lograr las características de desarrollo de resistencia deseada, sino también para alterar las reacciones de hidratación de manera beneficiosa, para reducir la porosidad con lo cual se mejorará la durabilidad, y para obtener una matriz densa y mejor interfaz agregado - pasta de cemento.

Muchos beneficios pueden ser logrados a través del uso del concreto de alta resistencia. Estos incluyen propiedades mecánicas deseables tales como mayor resistencia a la compresión, resistencia a la tracción por corte, módulo elástico, menor escurrimiento plástico (fluencia) y contracción, y mayor resistencia temprana si es requerida. La durabilidad del concreto en si misma contra deterioro debido a ataques de sulfatos o reacciones álcali-sílice también puede ser mejorada usando los tipos apropiados de cemento y materiales cementicios suplementarios. El CAR también puede ofrecer mejor resistencia a la corrosión del refuerzo y a la abrasión. También se puede lograr un mejoramiento a la impermeabilidad del agua.

El CAR es un subgrupo del concreto de alto rendimiento. CAR puede ser definido como un concreto con una resistencia a la compresión a los 28 días de 50 MPa o más. Hay un cierto número de ventajas al usar CAR para elementos estructurales. Es compresión, el concreto de alta resistencia obviamente soportará más carga para una sección transversal dada, así que se pueden usar secciones más pequeñas. Para miembros a flexión también son posible secciones transversales más pequeñas y esto permite una reducción de la carga muerta por lo cual permite tramos más largos. Las estructuras son diseñadas para la resistencia contra incendios tal como es demandado por diferentes clasificaciones de incendio.

Transformaciones físicas y químicas tienen lugar en el concreto durante la primera fase de calor lo cual puede resultar en una pérdida significativa en la

resistencia a la compresión. Durante un evento de fuego (cuando el calor se incrementa a razón de 10° a 20°C por minuto), puede ocurrir un resquebrajamiento explosivo. Esto es atribuido al aumento de presión de vapor en los poros, y de allí que esté cercanamente relacionado con el agua libre en el concreto.

La mayoría de resquebrajamientos ocurre a temperaturas entre 100°C y 250°C. En un gran elemento estructural, las elevaciones a alta temperatura durante exposición al fuego causan un incremento en la temperatura del agua libre en el concreto. El gradiente de temperatura inicialmente atrae algo de humedad hacia el interior al mismo tiempo que el agua capilar libre se evapora desde la capa superficial. Este movimiento de agua hacia el interior, junto con la alta temperatura causa que la presión de vapor y poros aumenten en la región involucrada. Si la presión de poros excede la resistencia a la tracción (típicamente baja) del concreto, es probable el resquebrajamiento destructivo. Los concretos de alta resistencia pueden ser así más propensos a resquebrajarse cuando la matriz de cemento densa (con poros capilares discontinuos) dificulte el escape de vapor a la superficie.

La investigación indica que el resquebrajamiento es improbable que ocurra en contenidos de humedad libre de menos de 3 a 4% en peso de concreto endurecido. Sin embargo, pruebas recientes indican que este límite es menor para concreto densificado por micro sílice. Para especímenes secos, el agua químicamente ligada es una parte esencial de la humedad que causa la explosión. La matriz de cemento en el concreto contiene humedad en varias formas diferentes. L'Hermite (Ref. 31) divide las diferentes formas de agua en concreto, susceptibles a los movimientos como "agua libre" la cual es mantenida en poros capilares principalmente mediante tensión superficial, "agua absorbida" la cual es físicamente mantenida sobre las superficies de gel de los poros y "agua intercrystalina (Zeolitica)" la cual puede ser liberada bajo condiciones de temperatura y humedad relativa extrema.

El contenido de humedad del concreto tiene una influencia significativa sobre sus propiedades mecánicas así también como propiedades térmicas. Aunque ningún cambio mecánico puede ser aparente en concreto hasta que se alcancen temperaturas mucho mayores, ocurrirán cambios significativos tanto en las propiedades físicas y químicas de concreto cuando la temperatura esté encima de 100°C. En esta etapa se asume que el agua libre será completamente removida del concreto.

Trazos termograviméticos (TG) y termograviméticos diferenciales (DTG) típicos de un mortero de cemento Portland normal son mostrados en las figuras 1(a) y 1 (b). Estas figuras indican los cambios químicos los cuales tienen lugar en concreto durante la elevación de la temperatura hasta 1000° C. Más de la mitad de la pasta de cemento madura consiste de gel de silicato de calcio hidratado (CSH). Cuando el concreto se calienta, la deshidratación del gel de CSH comienza a alrededor de 100° C y continua a alrededor de 870° C. La descomposición del hidróxido de calcio a alrededor de 480° C y el carbonato de calcio a alrededor de 670° C se superpone sobre este proceso tal como está indicado claramente por los picos en la figura II-6. Estos cambios también influenciarán las resistencias residuales del concreto. Con cementos que contienen ceniza volante, escoria o microsílíce como en el caso de concreto de alto rendimiento, la forma de los picos en la curva puede ser ligeramente diferente con una reducida cantidad de hidróxido de calcio y diferente cantidad de carbonato de calcio.

Para mezclas de concreto de resistencia normal expuestas a altas temperaturas, se espera una pérdida de resistencia aproximada de 10% hasta 125° C. Esto es seguido por una ganancia de resistencia de alrededor de 15% hasta 250° C. En estos casos, las pruebas de resistencia fueron llevadas a cabo a altas temperaturas. Las mezclas de concreto de resistencia normal mostraron una marcada caída en resistencia residual cuando fueron calentadas a temperaturas encima de 450°C debido a pérdida de adherencia

entre agregado y pasta de cemento. La descomposición de hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) en cal (CaO) y agua durante el calentamiento también conduce al daño del concreto después de enfriamiento, ya que la cal se expande para su re-hidratación. Cuando la temperatura alcance alrededor de 700°C , la resistencia a la compresión cae a alrededor de 20% de la resistencia original (Ref. 19)

Varios investigadores han realizado pruebas para estudiar los efectos de temperatura transitoria sobre varias propiedades de concreto de cemento Portland normal y concreto con microsílíce. Castillo y Durrani (Ref. 18) llevaron a cabo pruebas en mezclas de concreto con cemento Portland tipo I, agregado de piedra caliza triturada, superplastificante ASTM C494 tipo F sin ceniza volante. La resistencia a la compresión de las mezclas investigadas fue de 28 MPa para concreto de resistencia normal y 62 MPa para concreto de alta resistencia y la gama de temperaturas fue de 100°C a 800°C . Los especímenes probados fueron cilindros de 51mm x 102mm y la edad de prueba fue de 60-90 días. La temperatura se elevó a razón de 7°C a 8°C por minuto. Ellos concluyeron que el CAR cuando fue expuesto a temperaturas de $100\text{-}300^\circ\text{C}$, mostraba una pérdida de resistencia a la compresión de 15-20%. Cuando la resistencia del concreto se incrementó, la pérdida de resistencia también se incrementó. Entre $300\text{-}400^\circ\text{C}$ ellos notaron una ganancia de resistencia en CAR alcanzando una máxima de 8-13% encima de la resistencia a temperatura ambiente. El CAR perdió resistencia progresivamente en alrededor del 30% de la resistencia a temperatura ambiente por encima de 400°C hasta 800°C . La aplicación de una precarga ayudó en reducir la pérdida de resistencia. Ninguno de los especímenes precargados (40% de carga de falla a temperatura ambiente) fueron capaces de sostener la carga más allá de los 700°C . Alrededor de un tercio de los especímenes fallaron en una manera explosiva en la gama de temperatura de $320\text{-}360^\circ\text{C}$ mientras estuvieron siendo calentados bajo una precarga constante.

El módulo de elasticidad de CAR disminuyó en alrededor de 5-15% cuando fue expuesto a temperaturas entre 100-300°C. A 800°C el modulo de elasticidad fue solo 20-25% de aquel a temperatura ambiente.

El trabajo llevado a cabo sobre el CAR hasta 170 MPa conteniendo varias proporciones de micro sílice (Ref. 19), indicó una falla explosiva aun a menores regímenes de calentamiento tales como 1°C/min. Mientras para mezclas de resistencia normal un régimen tal como 10°C/min. Dio fallas similares.

Hertz (Ref. 19) intentó mejorar la resistencia a la tracción de estas mezclas añadiendo fibras de acero. Durante calentamiento, estas mezclas conteniendo fibras de acero aun explotaron, pero se pulverizaron en lugar de explotar en grandes fragmentos a alrededor de 400°C. La matriz densificada de estas mezclas y presión aumentaron dentro de los especímenes de 100mm x 200mm de tamaño debido a más lento movimiento de humedad y se pensó que eran las causas para la explosión. Sin embargo, con algunos pequeños especímenes, ninguna explosión fue notada y él propuso una relación entre dimensiones de especimen y regímenes de calentamiento para evitar explosiones. Mezclas con 0% a 10% de micro sílice con resistencia a la compresión de 40 a 70 MPa no mostraron explosión alguna cuando fueron calentadas a 300-600°C a un régimen de 1-5°C/min. Parece que solo con mezclas de muy alta resistencia encima de 70 MPa, puede existir este problema.

De acuerdo a Castillo y Durrani (Ref. 19), tres tipos de pruebas son comúnmente usadas para estudiar el efecto de altas temperaturas transitorias sobre las propiedades de concreto bajo compresión axial:

- (i) Pruebas sin esfuerzo donde los especímenes sean calentados bajo ningún esfuerzo inicial y cargadas para fallar a la temperatura elevada deseada.
- (ii) Pruebas sometidas a esfuerzo donde una fracción de la resistencia última de falla en compresión a temperatura ambiente sea aplicada y sostenida durante el calentamiento y cuando la temperatura objetivo sea alcanzada los especímenes son cargados para fallar y
- (iii) Pruebas no sometidas a esfuerzo residual donde los especímenes sean calentados sin carga alguna, enfriados a temperatura ambiente y luego cargados para fallar.

En general, las resistencias residuales de pruebas no sometidas a esfuerzos obtenidas por pruebas tipo (iii) son menores que aquellas obtenidas en pruebas tipo (i). Las pruebas tipo (ii) tienden a dar la resistencia más alta. Este documento trata con resultados obtenidos desde pruebas similares a las de tipo (iii).

Estas pruebas son fáciles de realizar y se puede obtener información útil. Estas investigaciones implican mezclas de concreto de alta resistencia conteniendo ceniza volante, escoria y micro sílice. En este documento, sin embargo, se reportan los efectos sobre la resistencia a la compresión, modulo de elasticidad, velocidad de pulso y sobre el efecto de reabsorción de humedad de mezclas de micro sílice y son comparados con mezclas de cemento Portland normal. El contenido de humedad en el tiempo de prueba parece ser un factor importante al estudiar los efectos de temperatura transitoria.

Los especímenes probados secos han mostrado mayores resistencias residuales que los especímenes remojados. Este aspecto también es incluido en este documento.

a) PROGRAMA EXPERIMENTAL

Materiales usados y Preparación de especímen

La mezcla usada en esta investigación fue una típica mezcla de concreto de alta resistencia usada en la industria australiana con una resistencia a la compresión nominal de probeta cilíndrica a los 28 días de 80 MPa. Las proporciones de la mezcla son mostradas en la tabla II-7. Esta contenía 10% de micro sílice en peso de material cementicio. Una dosificación muy alta de súper plastificante también fue usada.

Los materiales fueron mezclados en una mezcladora de olla a una temperatura de alrededor de 25°C y se moldearon cuatro tandas. Para cada tanda de concreto, 27 probetas de 100mm (diám.) x 200m (altura) fueron moldeados en moldes de acero usando una mesa vibratoria. Los especímenes fueron cubiertos con arpillera húmeda y laminas de polietileno por 24 horas después de lo cual ellos fueron desmoldados y almacenados en una cámara anublada (mantenida a 23°C y humedad relativa de 95%). Los especímenes fueron mantenidos en la cámara anublada por 27 días hasta que fueron probados para varios parámetros.

Procedimiento de Prueba

A la edad de 28 días, los especímenes fueron removidos desde la cámara anublada, las dimensiones y la masa se registraron y tres cilindros de cada lote fueron probados para resistencia a la compresión. Un capping de azufre derretido fue usado en la parte superior del espécimen. Se colocaron veinticuatro cilindros en un horno en lotes de 6 y el calentamiento fue aplicando a un régimen de alrededor de 7°C minuto, hasta alcanzar la temperatura deseada. Una temperatura máxima de 250°C, 500°C, 700°C o

1000°C fue mantenida por un período de 3 horas para la serie 1 y 24 horas para la serie 2. Los especímenes luego fueron dejados para enfriarse a temperatura ambiente en el mismo horno cerrado. Los dos ciclos de temperatura aplicados son mostrados en las figuras 2(a) y 2(b), respectivamente.

Después del enfriamiento, se midió la masa y dimensiones de los especímenes. Una serie de especímenes fueron ensayados secos mientras la otra serie fue sumergida en agua por 24 horas después de medir la absorción de agua, esta segunda serie de especímenes fueron ensayados para medir su resistencia a la compresión, resistencia a la tracción por corte, módulo de elasticidad y velocidad de impulso ultrasónico. Todas las pruebas fueron desempeñadas de acuerdo a la Norma AS 1012 excepto la prueba de velocidad de impulso ultrasónico la cual fue desempeñada de acuerdo a la Norma Británica BS 1881

b) RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAMBIO DE MASA

El cambio de masa de las muestras de concreto, calentadas a diferentes temperaturas máximas es mostrado en la Tabla II-8. La masa final es medida después que los especímenes hayan sido enfriados a temperatura ambiente y la pérdida de masa es expresada como un porcentaje de la masa saturada inicial.

Cuando la temperatura máxima fue mantenida solo por 3 horas los resultados obtenidos fueron algo inconsistentes; particularmente, con menores temperaturas máximas tales como 250 ° C, 500° C, o aun 750°C. Cuando la temperatura máxima fue 1000° C, se registró una pérdida de masa de 1.89%. Cuando el periodo de tiempo para mantener la temperatura

máxima fue incrementado a 24 horas, la pérdida de masa de cada espécimen fue muy consistente al presentar bajos coeficientes de variación. A 1000^a C, la pérdida de masa se incrementó sustancialmente desde 1.89% a 11.2%, un incremento de más de cinco veces. El volumen de la pérdida de masa en esta investigación es el agua libre y parte de agua de gel debajo de 250 ° C (6.3 %): Debido a la descomposición de Hidróxido de Calcio a 480 °C, se pierde alrededor de 1% de la masa del concreto.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN RESIDUAL DE ESPECIMENES SECOS.

La resistencia a la compresión residual de los especímenes medidos a temperatura ambiente después de calentamiento a diferentes temperaturas máximas en el horno es mostrada en la tabla II-9. Una curva típica de resistencia residual se muestra en la Figura II-9. Cuando la máxima temperatura alcanzada fue solo 250°C hubo una pérdida de resistencia de alrededor de 10% sin tomar en cuenta el tiempo para el cual se mantuvo la temperatura máxima. Sin embargo, cuando la máxima temperatura alcanzó los 500°C y se mantuvo por 3 horas, la pérdida de resistencia fue de más de 50%. Cuando el tiempo para mantener la temperatura máxima fue incrementado, la pérdida fue de alrededor de 70%. A 1000°C, la resistencia residual fue solo de 15-17 %. Si tales temperaturas altas son mantenidas por 3 horas, el efecto es similar a mantenerlas por un periodo mayor tal como 24 horas en términos de reducción de resistencia. Este comportamiento es similar a aquel reportado por otros investigadores (Ref. 19) con valores ligeramente más pequeños.

No hubo falla explosiva notada en ninguno de los 52 cilindros calentados a altas temperaturas. Sin embargo, si una carga es sostenida al mismo tiempo, como en un elemento estructural real, el comportamiento puede ser diferente. La falla explosiva del CAR que contiene micro sílice es mucho más dependiente de las proporciones de mezcla, tamaño de espécimen y

régimen de calentamiento. Es necesario más trabajo para identificar claramente cualquier fenómeno de falla explosiva del CAR: Alternativamente, parece que un cuidadoso diseño de mezcla y selección de materiales puede vencer este fenómeno en una situación de incendio donde el régimen de incremento de temperatura sea alrededor de 7-8° C por min. El comportamiento de mezclas de muy alta resistencia de 100 y 120 MPa aun no esta claro. Se esta continuando con más investigaciones en el presente. Especímenes probados a mayores temperaturas tales como 750° C y 1000° C mostraron daño sustancial en forma de rajaduras, ampollas, cambio de color y depósitos sobre la superficie. Con el concreto de resistencia normal también se puede esperar tal daño. El tipo de agregado grueso usado en la mezcla también es importante ya que algunos agregados pueden descomponerse a altas temperaturas. Por ejemplo, los agregados de basalto usados en la presente investigación, mostraban algunos vacíos de aire y un depósito fundido de color oscuro, cuando fueron calentados a 1000°C.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN RESIDUAL DE ESPECIMENES RE - HUMEDECIDOS

Cuando los especímenes secados en horno fueron sumergidos en agua por 24 horas, ellos mostraron una cantidad sustancial de absorción de agua y las pruebas subsiguientes de resistencia a la compresión mostraron una mayor reducción. Una reducción adicional en resistencia tanto como de 20 % fue registrada para especímenes calentados a 500°C. Esto sugiere que el proceso de re-humedecimiento del concreto dañado por el fuego puede causar un rompimiento adicional de la estructura de poro interna. La alta presión de poro del espécimen húmedo durante la prueba también es otra razón para que la resistencia sea reducida aún más.

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR CORTE

La resistencia residual a la tracción del concreto de alta resistencia obtenida a partir de la prueba de corte de probetas cilíndricas se ilustra en la figura II-10. Perdidas sustanciales son evidentes más allá de 5000° C. La resistencia residual descendió continuamente hasta alrededor de 20% de la resistencia a temperatura ambiente hasta 750° C

MODULO DE ELASTICIDAD

El cambio en el módulo de elasticidad estático se muestra en la Figura II-11. Se mostró una caída continua en el módulo de elasticidad cuando la temperatura máxima fue incrementada hasta 1000° C.

VELOCIDAD DE IMPULSO ULTRASÓNICO

El cambio en velocidad de impulso (Figura II-12) también refleja una continua caída hasta llegar a los 1000°C. El efecto de micro agrietamiento y daño debido a una situación tal como un incendio es más notable en la resistencia a la tracción, modulo de elasticidad, y velocidad de impulso ultrasónico como es esperado. A más de 100°C una perdida progresiva en los parámetros antes mencionados puede ser esperada mientras que en el caso de resistencia a la compresión, a más de 500° C el daño es más severo.

RESÚMENES

Desde la limitada investigación llevada a cabo con altas temperaturas en una mezcla de concreto de alta resistencia, que contiene micro sílice, se pueden hacer los siguientes comentarios concluyentes:

- (i.)** Para concreto llevado hasta 250 ° C, se puede esperar una resistencia residual a la compresión de 90%. La caída en la resistencia residual a más de 500°C es sustancial hasta el 50 %. Cuando la temperatura alcanzó 1000°C solo alrededor de 15% de resistencia fue retenida. Este comportamiento es típico para otras mezclas de concreto.

- (ii.)** Con la mezcla investigada la cual contenía 10% de micro sílice (con resistencia a la compresión nominal de 80 MPa) no se notó ninguna falla explosiva. Los especímenes estuvieron sin embargo, no sujetos a carga simultanea. Parece que un cuidadoso diseño de mezcla puede eliminar cualquier falla explosiva posible. Las fallas explosivas previamente reportadas con mezclas de micro sílice están relacionados a niveles de resistencia muy altos (170 MPa) y mayor % de reemplazo de cemento.

- (iii.)** Los efectos de alta temperatura son más pronunciados en la resistencia a la tracción, modulo de elasticidad y velocidad de pulso ultrasónico a través del material. Una progresiva reducción hasta 750° C o 1000° C fue notable en los parámetros antes mencionados. La velocidad de impulso ultrasónico es útil al evaluar el daño de concreto debido a altas temperaturas.

TABLA II-7--- PROPORCIONES DE MEZCLA DE CAR POR m³

| Materiales | Cantidades |
|---------------------------------|-------------------|
| Cemento | 500 kg |
| Microsílice | 55 kg |
| Agregado fino (arena de Sydney) | 640 kg |
| Agregado de 10 mm basalto | 1170 kg |
| Superplastificante (líquido) | 20 litros |
| Agua | 140 litros |
| Agua / ligante | 0.29 |
| Agua / cemento | 0.32 |

TABLA II-8 -- COMPARACIÓN DEL CAMBIO DE MASA DE ESPECÍMENES SUJETOS A ALTAS TEMPERATURAS DIFERENTES

| Temperatura Máxima (°C) | Tiempo Mantenido (Horas) | Nº de especímenes | Cambio de masa en porcentaje + (%) | Desviación Estándar (%) | Coefficiente de variación (%) |
|--|---|------------------------------|---|--|--|
| 750 | 3 | 6 | 0.87 | 0.20 | 23.0 |
| 1000 | 3 | 6 | 1.89 | 0.28 | 15.0 |
| 250 | 24 | 7 | 6.31 | 0.32 | 5.1 |
| 500 | 24 | 10 | 7.41 | 0.18 | 2.5 |
| 1000 | 24 | 6 | 11.2 | 0.36 | 3.2 |

* Porcentaje de la masa saturada inicial

TABLA II-9 -- COMPARACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION RESIDUAL DESPUES DE LA APLICACIÓN DEL CALOR A DIFERENTES TEMPERATURAS MAXIMAS

| Temperatura Máxima (°C) | Resistencia Residual (Temp. Máx. Mantenido por 3 horas-ensayo seco) | | Resistencia Residual (Temp. Máx. Mantenido por 24 horas-ensayo seco) | | Resistencia residual (después de 24 horas de secado al horno y 24 horas de inmersión en agua-ensayo húmedo) | |
|-------------------------|---|----------------------------|--|----------------------------|---|----------------------------|
| | (MPa) | (% de resistencia inicial) | (MPa) | (% de resistencia inicial) | (MPa) | (% de resistencia inicial) |
| 23 * | 83.2 | -- | -- | -- | -- | -- |
| 250 | 74.7 | 89.8 | 75.9 | 91.2 | 63.6 | 76.4 |
| 500 | 36.8 | 44.2 | 24.8 | 29.8 | 20.8 | 25.0 |
| 750 | 17.8 | 21.4 | -- | -- | -- | -- |
| 1000 | 14.2 | 17.1 | 12.6 | 15.1 | -- | -- |

* Promedio de tres especímenes

+ Ensayado con superficie saturada – condición seca

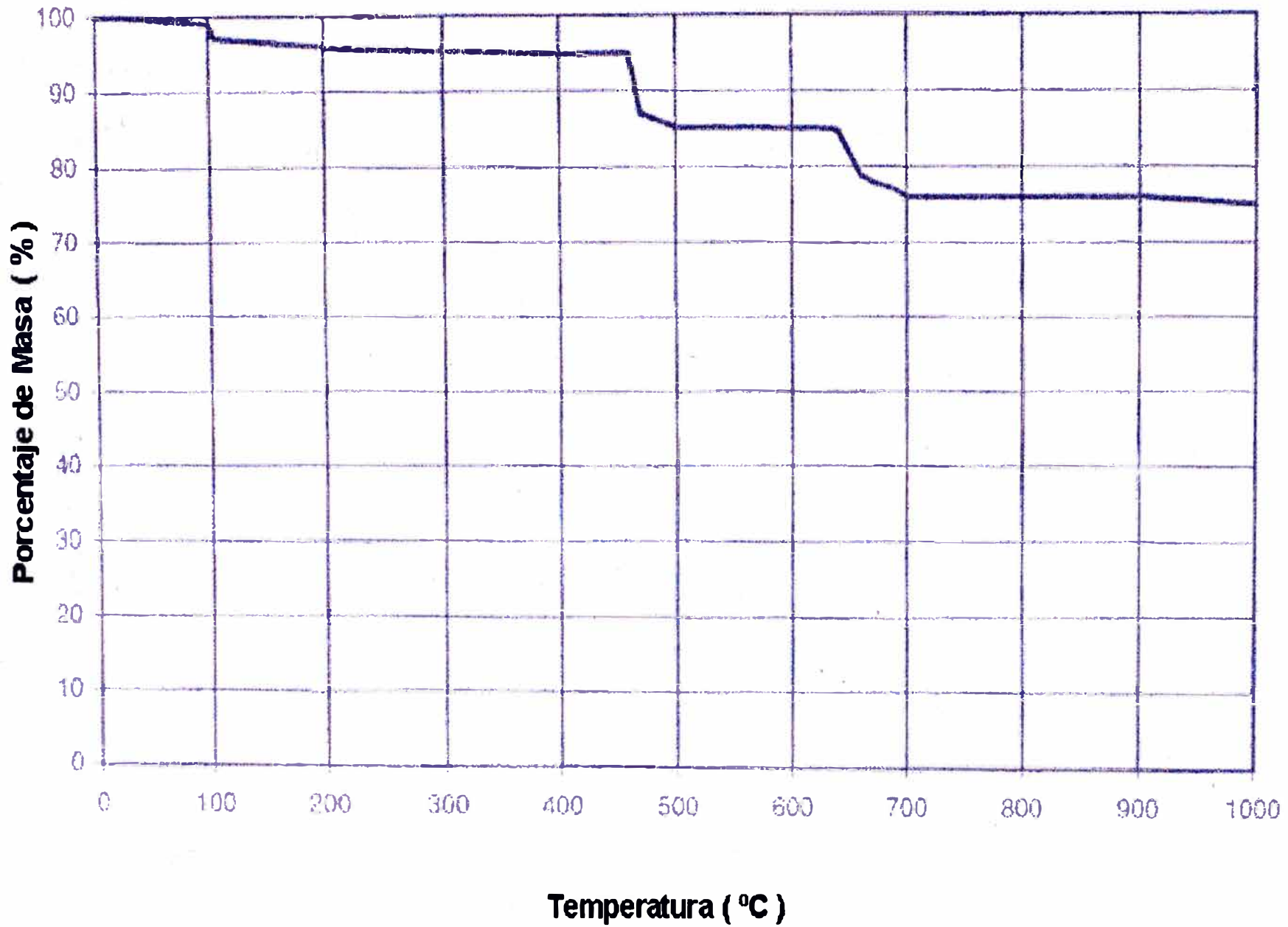


Fig. II-5 --- Porcentaje de pérdida de masa con la temperatura de un mortero típico cemento Portland normal (Ref. 17)

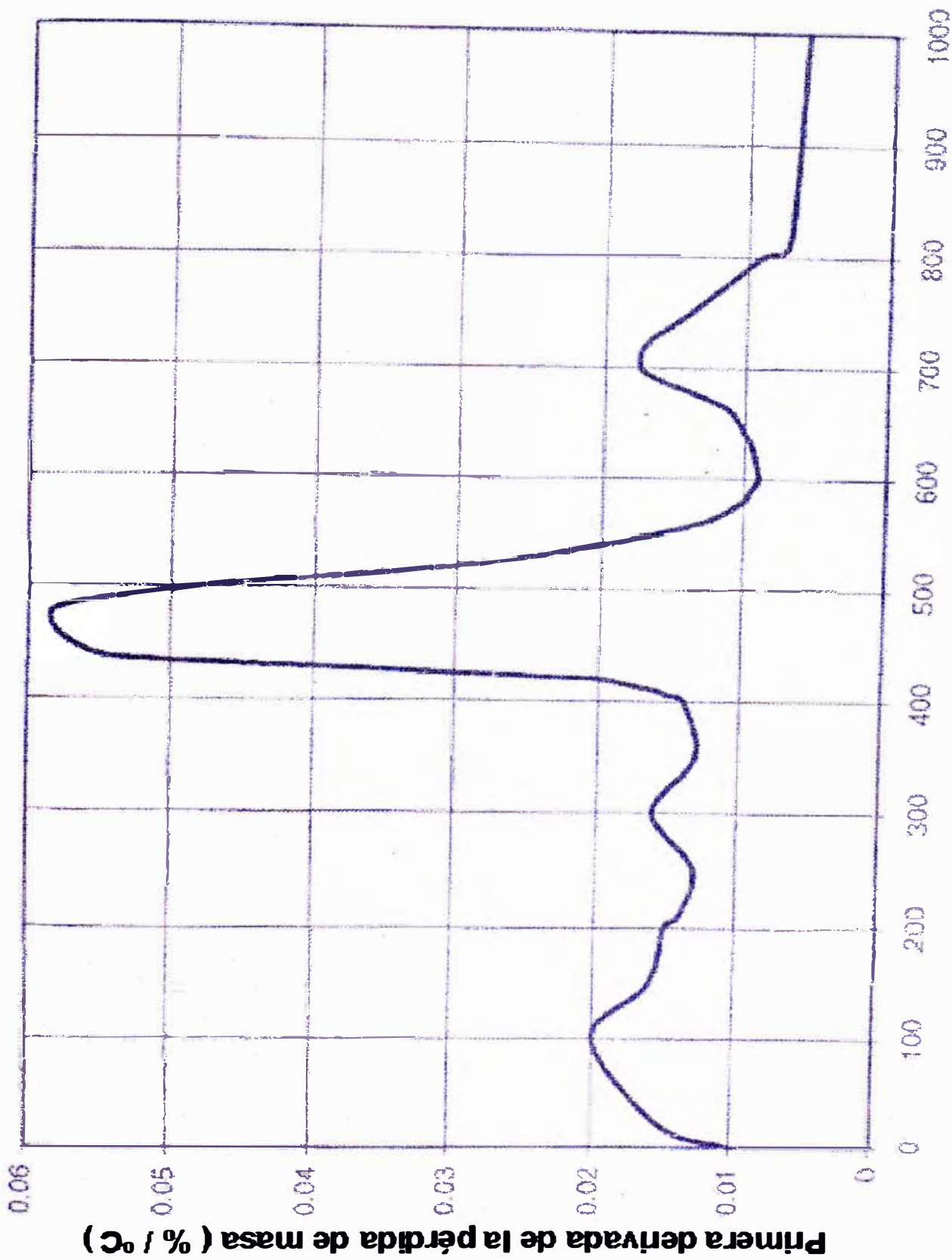


Fig. II-6 --- Primera derivada de la pérdida de masa con la temperatura (Ref.17)

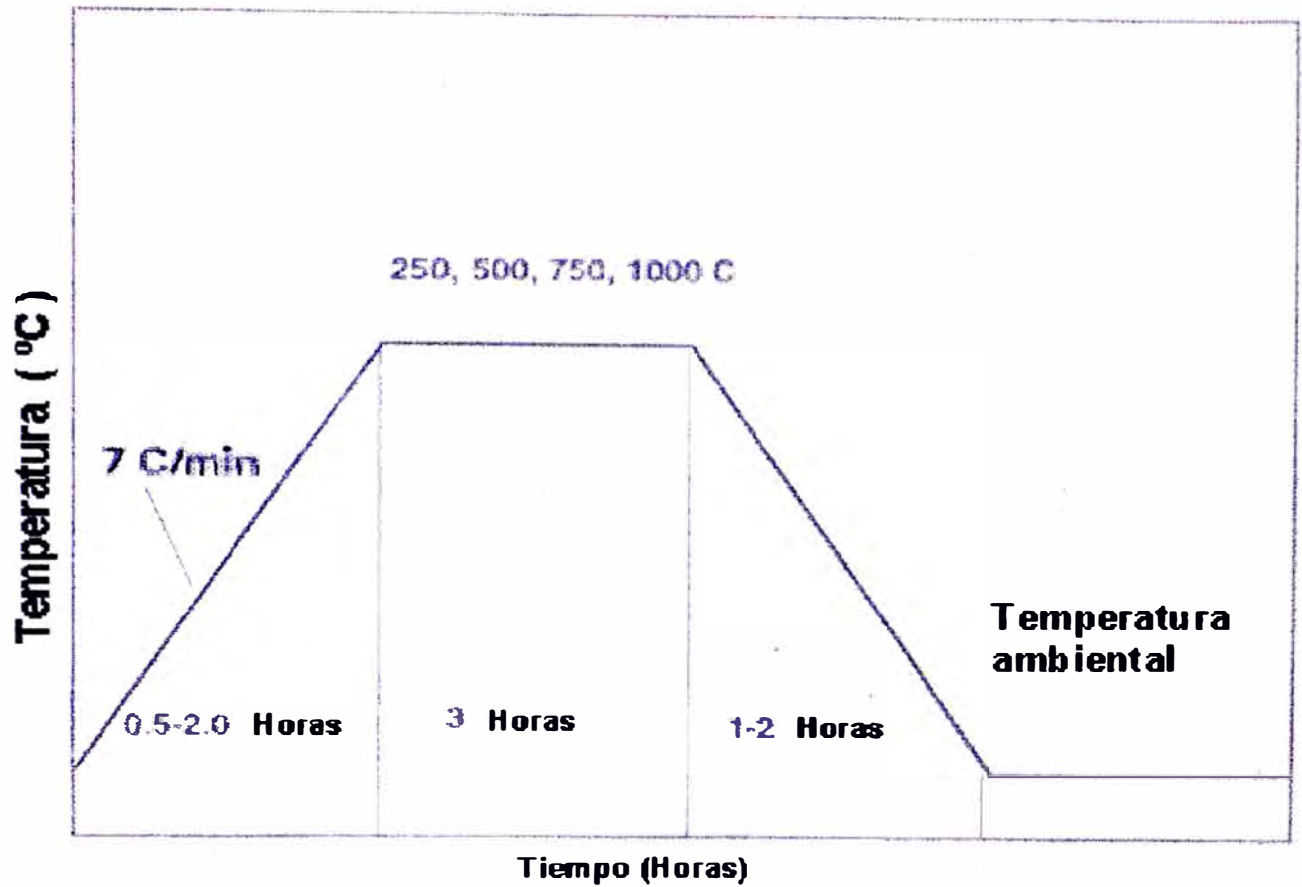


Fig. II-7— Ciclo de Temperatura Aplicado a las Series 1

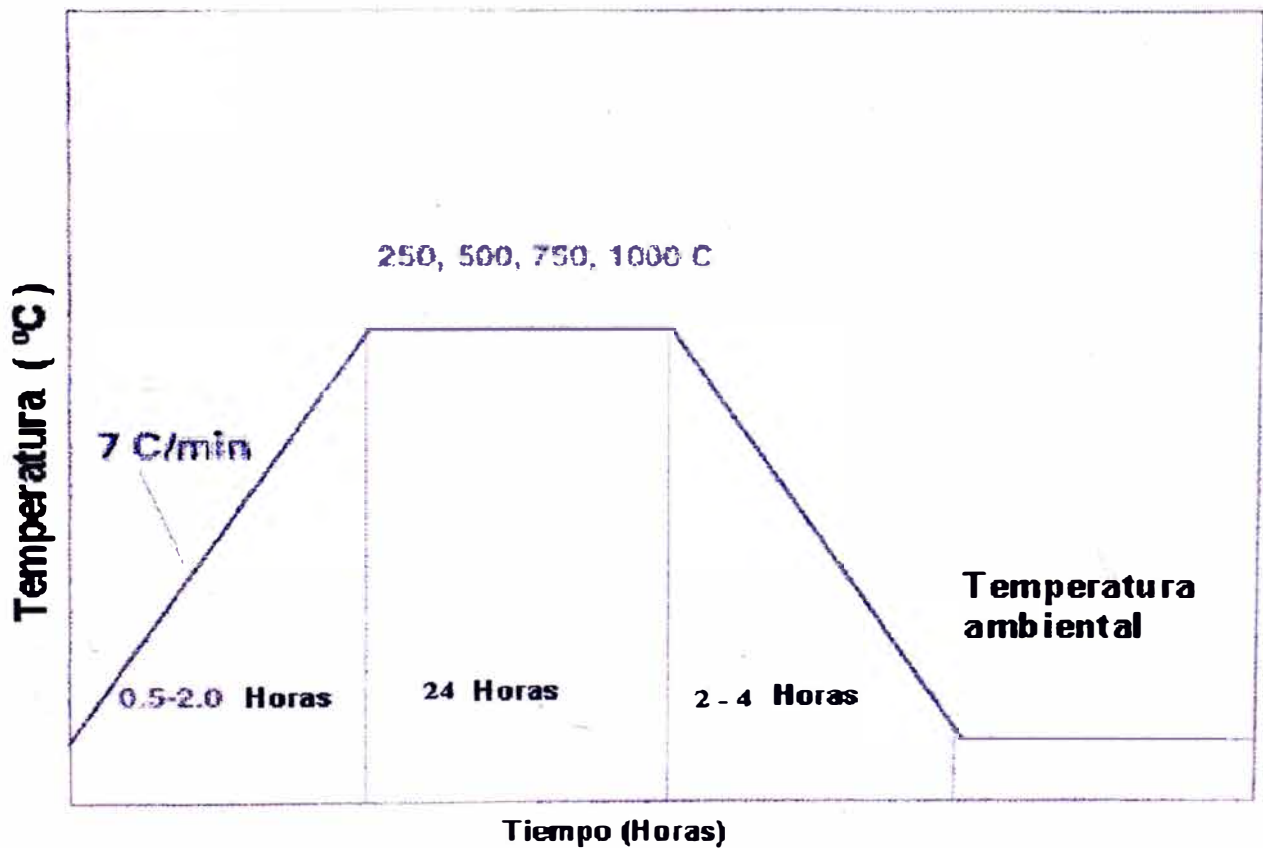


Fig. II-8 – Ciclo de Temperatura Aplicado a las Series 2 (Ref. 17)

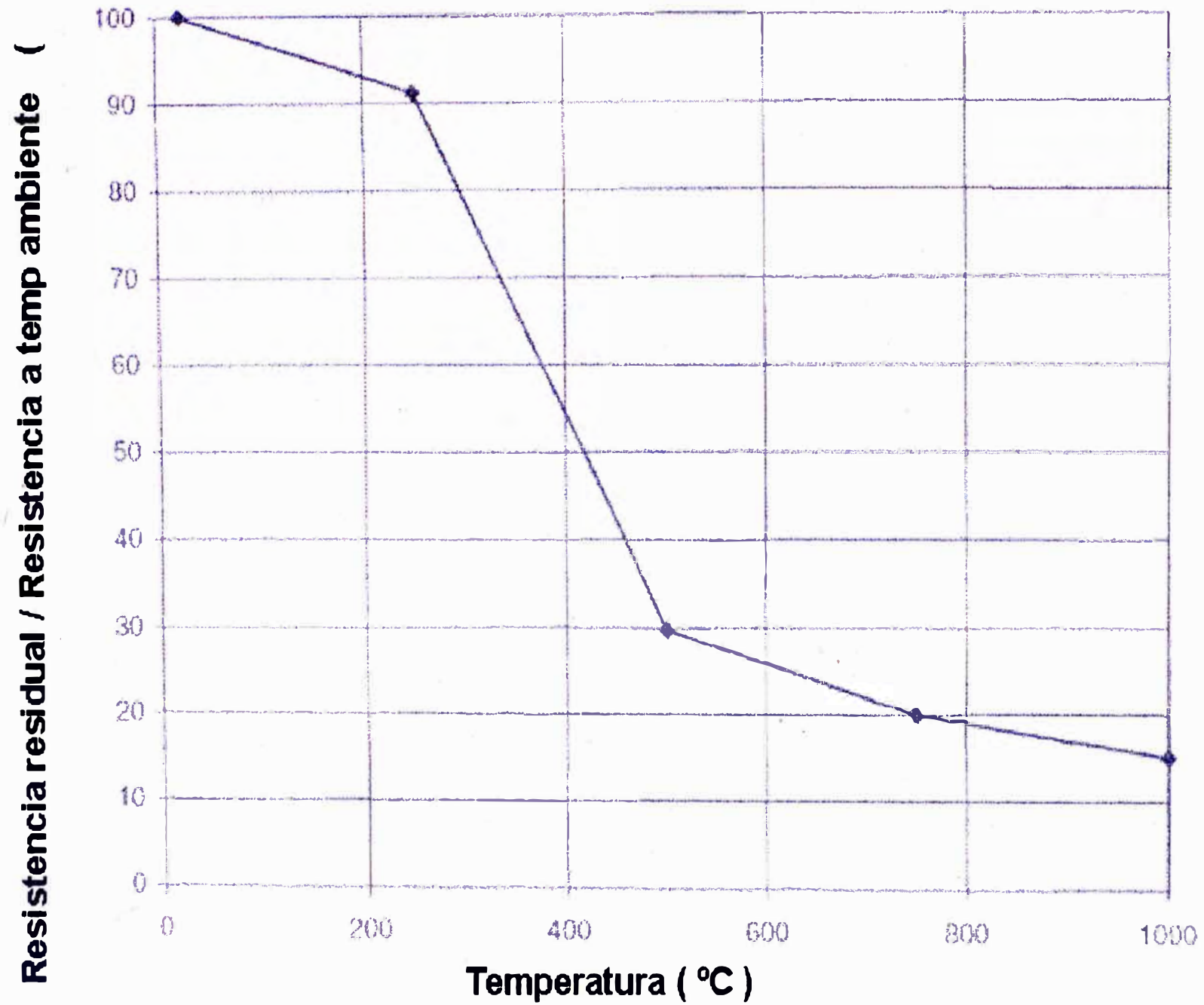


Fig II-9 · Resistencia residual a la compresión de especímenes secos (temperatura máxima mantenida por 24 horas) (Ref. 17)

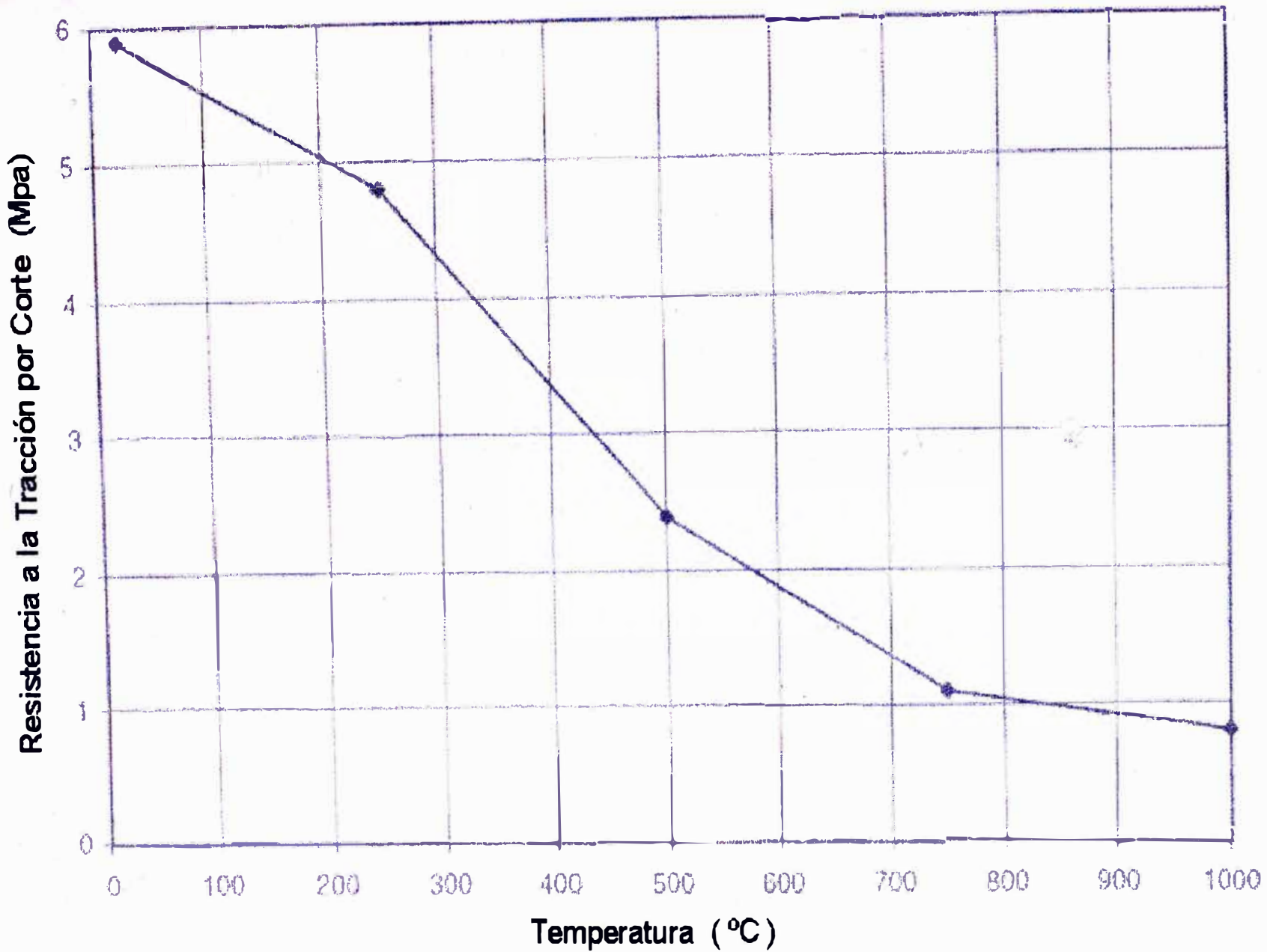


Fig.II-10 - Resistencia Residual a la Tracción por Corte de especímenes secos llevados a diferentes temperaturas (Ref. 17)

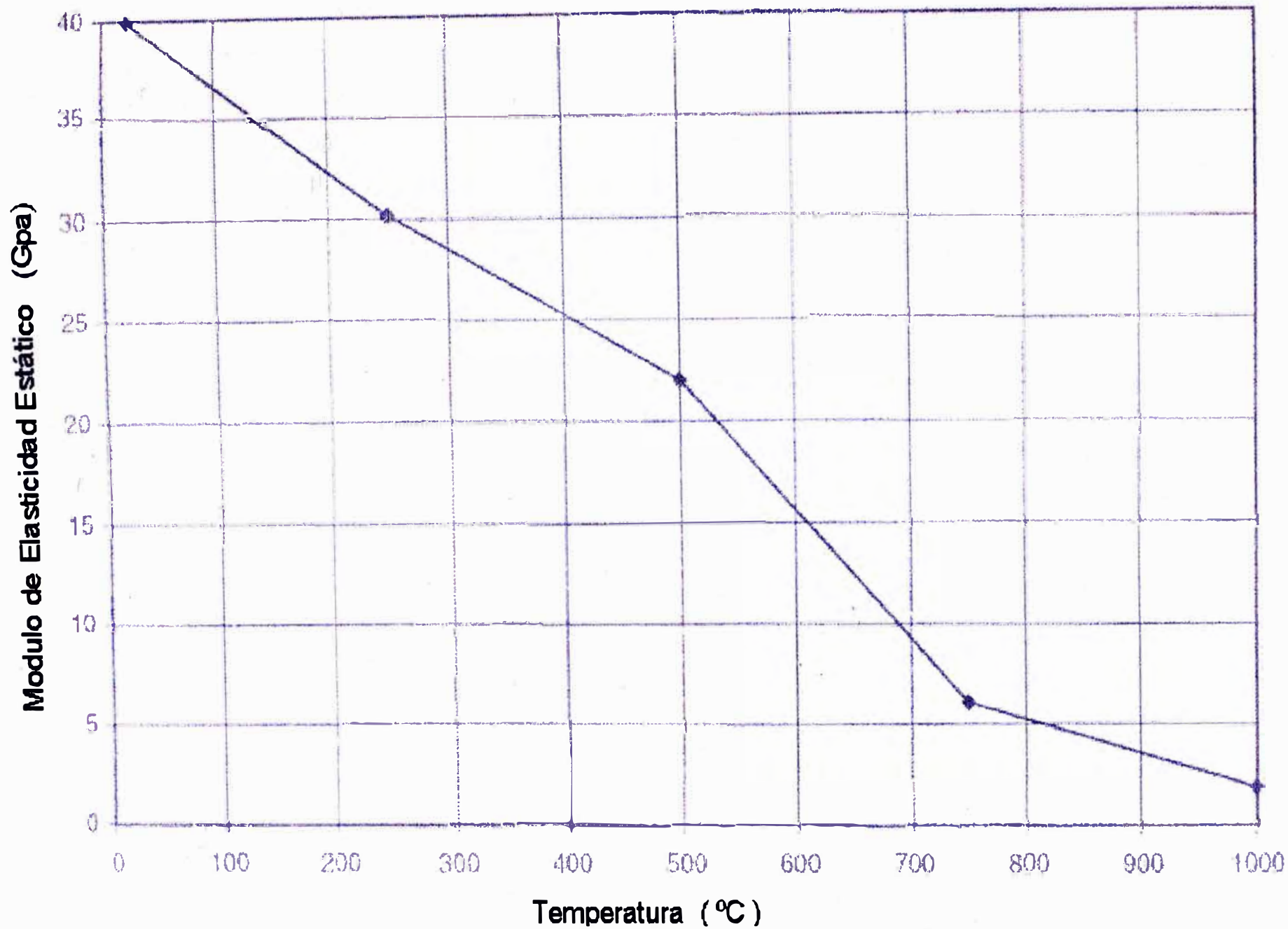


Fig. ||-11-- Cambios en el Módulo de Elasticidad Estático con la Temperatura (Ref. 17)

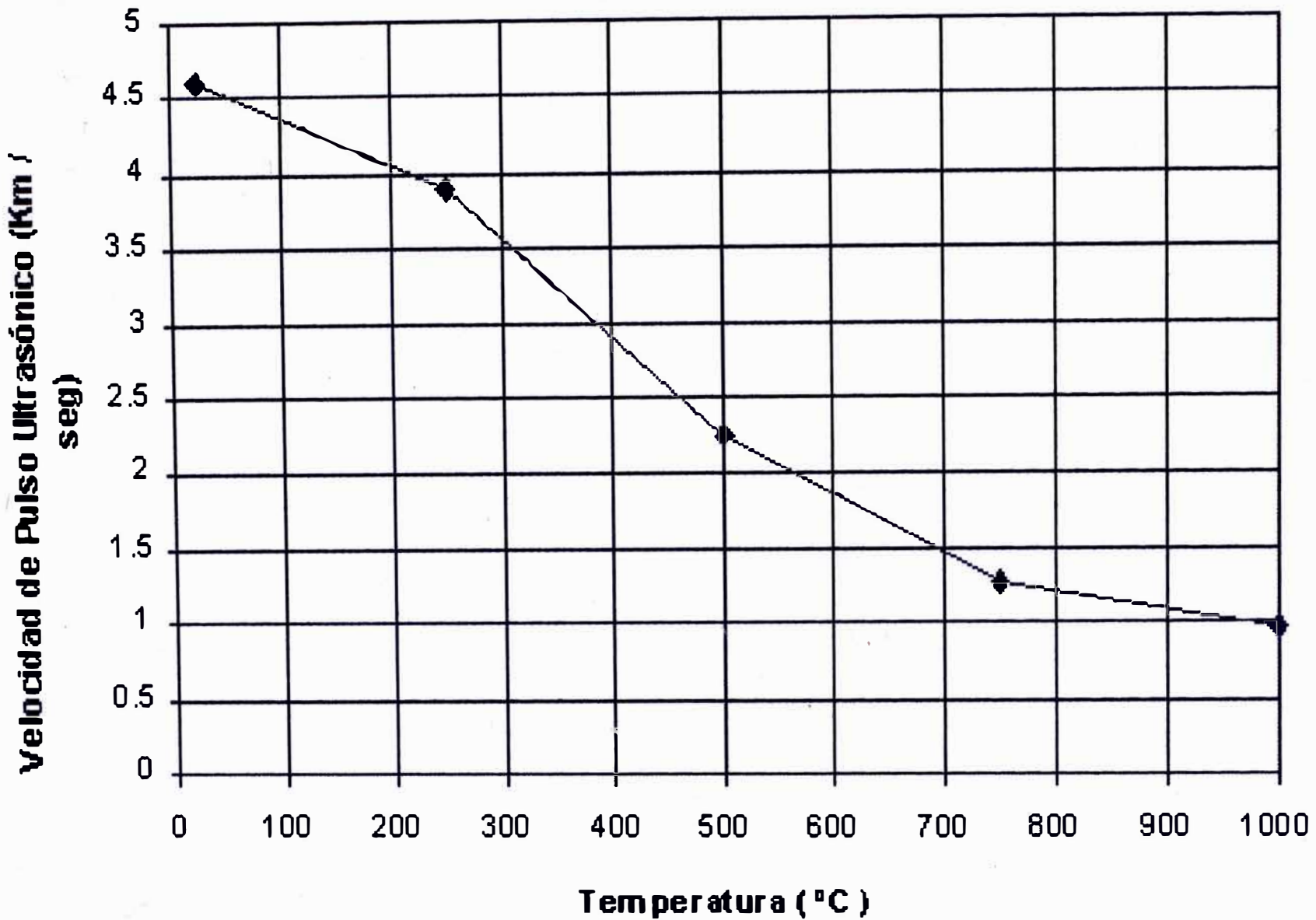


Fig. II-12 --- Velocidad de pulso ultrasónico de especímenes a diferentes temperaturas máximas (Ref 17)

CAPITULO III

III.1 CONTROL DE CALIDAD PARA EL CAR

Las particularidades del CAR hace que su proceso de utilización requiera de mayores controles y prácticas específicas. Como se mencionó en los capítulos anteriores, estamos tratando de un material que presenta una mayor susceptibilidad ante los cambios en las diferentes variables que se presentan en los procedimientos de diseño, mezclado, transporte, colocación y curado.

A continuación algunos aspectos tomados de la "Guía de Control de Calidad y Ensayo del Concreto de Alta Resistencia" del ACI 363.2R-98. (Ref. 12)

ALCANCES

El concreto de alta resistencia está usualmente asociado con estructuras para las que ha sido optimizado su comportamiento. Por lo tanto un alto grado de confiabilidad en el control de calidad del concreto debe ser señalado a través de la inspección y el proceso de ensayo. Este proceso puede ser conducido por el productor y el Contratista como control de calidad y por el dueño o el representante del dueño como el aseguramiento de la calidad. Para aquellos involucrados en el control de calidad es necesario conocer las características únicas del CAR, lo cual constituirá la mejor ayuda del Ingeniero o el Arquitecto en la evaluación del comportamiento potencial de las estructuras.

El concreto con una resistencia de compresión especificada de 70Mpa (10,000psi) puede ser producido con agregados locales en todas las áreas de USA y Canadá. Cuando la resistencia especificada excede sustancialmente a la que previamente se ha producido en un área particular son necesarias medidas especiales para que sea satisfactorio el proceso de uso del CAR. Esta guía detalla aquellas medidas.

OBJETIVOS

El interés en el CAR de la industria del cemento y el concreto impulsaron al Instituto Americano del Concreto para formar el Comité 363 en 1979. La misión del Comité fue estudiar y reportar información en el CAR. El ACI 363 R-84, "reporte del estado-del-arte en CAR" fue el primer documento producido por este Comité. Ese reporte contenía información significativa considerando selección de materiales en mezclado y la colocación, inspección y pruebas propiedades físicas, diseño estructural, economía y ejemplos de aplicación. Este ha sido actualizado en 1992.

Esta guía es una extensión del ACI del 363-R-84 y presenta lineamientos para facilitar la apropiada evaluación del CAR a través de un correcto control de calidad y ensayo. Los concretos de alta resistencia pueden ser producidos con materiales innovadores y procedimientos no cubiertos en esta guía. Esta guía no intenta restringir el uso de nuevas o innovadoras prácticas de control de calidad o métodos de ensayo tal que puedan ser disponibles o necesarios. El usuario está advertido de que esta guía es para uso general, y los proyectos individuales podrían requerir controles de calidad y esfuerzos de ensayo adicionales.

Definición del CAR

A partir de que la definición de CAR ha ido cambiando a través de los años, el Comité definió un rango de resistencias del concreto para sus actividades como se explica en el ACI 363-R. Para el propósito de esta guía el CAR está definido como el que posee una resistencia a la compresión especificada de 41 MPa (6,000psi), o mayor, y que no incluye concreto hecho con materiales o técnicas exóticas. La palabra "exótica" indica concretos especiales, tales como concretos impregnados de polímeros, concretos epóxicos, o concretos hechos con agregados livianos o pesados artificiales.

Aunque 41Mpa (6,000psi) es la línea de división común entre el CAR y el concreto de resistencias normales, este nivel de resistencia no está asociado con cambios drásticos en las propiedades del material, la producción y técnicas de inspección, o métodos de ensayo. En realidad, los cambios ocurren continuamente desde una baja resistencia hasta las altas resistencias del concreto. Sin embargo, la experiencia muestra en la mayoría de los casos, las medidas especiales recomendadas en esta guía deben ser aplicadas para concretos con resistencia a la compresión mayores que alrededor de 55 MPa(8,000psi).

III.1.1 PLANEAMIENTO

INTRODUCCIÓN

El CAR esta controlado por la calidad y uniformidad de los componentes, y por el mezclado y colocación, y condiciones de curado. Un alto nivel de control de calidad es fundamental es esencial para aquellos involucrados en la producción, ensayo, transporte, colocación y curado del concreto. Consideraciones esmeradas de las restricciones de colocación, trabajabilidad, dificultades durante el transporte, requerimientos de curado en campo, y el proceso de inspección y ensayo son requeridos. Un planeamiento y trabajo en equipo integrado por el Inspector y Contratista, Arquitecto / Ingeniero productor y dueño son esenciales para el uso satisfactorio del CAR.

Este capítulo revisa las actividades críticas que preceden al inicio de la construcción. Una reunión previa a la construcción es esencial para aclarar los roles del equipo de construcción y para revisar el control y programas de ensayos planificados. Se requiere especial atención durante la fase de las pruebas y ensayos para asegurar la selección de mezclas que se ejecutarán tal como se requieren bajo las condiciones de campo. El planeamiento para la inspección del CAR involucra el dar atención a los requerimientos del personal, necesidades de equipamiento, métodos de ensayo, y la preparación

y manejo de los especímenes de prueba, la información general adicional en la inspección del concreto esta contenida en el ACI 311.4R.

a) REUNIONES PREVIAS A LA CONSTRUCCIÓN

Pequeñas variaciones en las proporciones de mezcla y variaciones de las normas de ensayo pueden tener mayores efectos adversos en la resistencia verdadera o medida del CAR más que si se tratara de concreto de resistencia normal. Por esto los participantes del proyecto deberían reunirse antes de la construcción para aclarar los requerimientos del contrato, discutir las condiciones de colocación planificadas y procedimientos y revisar los programas de inspección y ensayos especificados de las diferentes partidas. Los efectos en el concreto en el tiempo, temperatura, colocación, consolidación, y curado deberían ser revisados. Se deben establecer los criterios de aceptación para ensayos de especímenes curados según norma, pruebas in-situ, y resultados de pruebas de testigos. Las capacidades y la idoneidad de la capacidad de trabajo del contratista, del equipo de inspección, y de las instalaciones de ensayo también deberían ser revisadas.

Las reuniones previas a la construcción deberían establecer normas de comunicación e identificación de normas de responsabilidades. Esto es especialmente importante para revisar los procedimientos que el inspector seguirá cuando encuentren un incumplimiento con el requerimiento del contrato. Tal acuerdo mejora o minimiza discusiones futuras y permite a los miembros del equipo de construcción participar en el proceso de calidad. Un reporte periódico y puntual es importante. Deberían hacerse acuerdos para distribuirse los reportes y resultados de prueba tan pronto como sean posible grupos de ensayos de producción deberían tener establecidos una mezcla trabajable pero es necesario hacer ajustes adecuados para las condiciones de las obras tales como en el cambio del clima. A partir de que el CAR cuenta con una baja relación de agua/cemento para una potencial resistencia, las responsabilidades de la adición en campo de agua y aditivos deberían ser

discutidos y definidos claramente. El productor de concreto pre mezclado es esencial para esa discusión considerando que el productor esta familiarizado y responsabilizado por el producto. Las personas deberían ser identificadas tanto como el personal de control de calidad del proveedor de concreto, quien tendrá la autoridad de agregar los aditivos o el agua en el lugar de la obra. Para permitir la verificación de que el concreto proporcionado cumple con los requerimientos establecidos, debería establecerse procedimientos para documentar qué, cuándo, y cuánto fue agregado al concreto en el lugar de la obra.

b) TANDAS DE PRUEBA

Datos de algunas mezclas de alta resistencia usadas previamente están dadas en las tablas III-1. a la III-3. Estos datos fueron proporcionados solamente como una guía y las jornadas de pruebas con materiales locales podrían invalidar estas tablas para proyectos específicos. El ACI 211.4.R brinda una guía en el proporcionamiento de algunas mezclas de concreto de alta resistencia.

Tabla III-1 – Composición de concretos experimentales producidos en una planta de concreto premezclado (CPCA 1995) (Ref.12)

| Materiales y propiedades | Tipo de Concreto | | | | |
|---|------------------|-------------|----------------|---------------------|------|
| | Referencia | Microsilíce | Ceniza volante | Escoria+ icrosilíce | |
| relación agua / cementante | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.25 |
| Composición, kg/m3 | | | | | |
| Agua | 127 | 128 | 129 | 131 | 128 |
| cemento ASTM tipo I | 450 | 425 | 365 | 228 | 168 |
| Microsilíce | | 45 | | 45 | 54 |
| Ceniza volante | | | 95 | | |
| Escoria | | | | 183 | 320 |
| pedra caliza dolomítica | | | | | |
| Agregado grueso | 1100 | 1110 | 1115 | 1110 | 1110 |
| agregado fino | 815 | 810 | 810 | 800 | 730 |
| reductor de agua, alto rango l/m3 | 15.3 | 14 | 13 | 12 | 13 |
| Slump | | | | | |
| Después de 45 min. mm | 110 | 180 | 170 | 220 | 210 |
| resistencia promedio a la compresión | | | | | |
| a los 28 días, Mpa | 99 | 110 | 90 | 105 | 114 |
| a los 91 días, Mpa | 109 | 118 | 111 | 121 | 126 |
| al año, Mpa | 119 | 127 | 125 | 127 | 137 |

Tabla III-2 – Mezclas de CAR usadas en diferentes proyectos (CPCA 1995) (Ref. 12)

| Materiales y propiedades | Número de mezcla | | | | | |
|----------------------------|------------------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| relación agua / cementante | 0.35 | 0.37 | 0.27 | 0.31 | 0.25 | 0.25 |

| Composición, kg/m ³ | | | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Agua | 195 | 165 | 135 | 145 | 130 | 134 |
| cemento ASTM tipo II | 505 | 451 | 500 | 315 | 513 | 416 |
| Microsílice | | | 30 | 36 | 43 | 34 |
| Ceniza volante | 60 | | | | | |
| Escoria | | | | 137 | | |
| agregado grueso | 1030 | 1030 | 1100 | 1130 | 1080 | 1100 |
| agregado fino | 630 | 745 | 700 | 745 | 685 | 710 |

Aditivos, l / m³

| | | | | | | |
|--------------------------------|------|-------|-----|-----|------|-------|
| Reductor de agua | 0.98 | | | 0.9 | | |
| Aditivo retardador | | 4.5 | 1.8 | | | 0.45 |
| Aditivo incorporador de aire | | | | | | 0.125 |
| Reductor de agua de alto rango | | 11.25 | 14 | 5.9 | 15.7 | 5 |

Resistencia promedio a la compresión

| | | | | | | |
|--------------------|----|----|-----|----|-----|----|
| a los 28 días, MPa | 65 | 69 | 93 | 83 | 119 | 75 |
| A los 91 días. MPa | 79 | 87 | 107 | 93 | 145 | |

Número de mezcla

- 1 Water Tower Place, Chicago (1995)
- 2 Joigny Bridge, France (1989)
- 3 La Laurentienne Building, Montreal (1984)
- 4 Scotia Plaza, Toronto (1987)
- 5 Two Union Square, Seattle (1988)
- 6 Portneuf Bridge, Quebec (1992)

Tabla III-3---Proporciones típicas de mezclas de CAR comercialmente disponibles
(70 a 140 MPa) (Burg y Ost 1992) (Ref.12)

| Materiales y propiedades | Número de mezcla | | | | | |
|----------------------------|------------------|-------|------|------|-------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| relación agua / cementante | 0.28 | 0.287 | 0.29 | 0.22 | 0.231 | 0.32 |

Composición, kg/m3

| | | | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| agua* | 158 | 160 | 155 | 144 | 151 | 141 |
| Cemento ASTM tipo I | 564 | 475 | 487 | 564 | 475 | 327 |
| Microsilíce | | 24 | 47 | 89 | 74 | 27 |
| Ceniza volante | | 59 | | | 104 | 87 |
| Agregado grueso SSD** | 1070 | 1070 | 1070 | 1070 | 1070 | 1020 |
| Agregado fino | 647 | 659 | 676 | 593 | 593 | 742 |

Aditivos, l / m3

| | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|-----|
| Reductor de agua de alto rango Tipo F *** | 11.6 | 11.6 | 11.2 | 20.1 | 16.4 | 6.3 |
| Reductor de agua de alto rango Tipo G *** | | | | | | 3.2 |
| Aditivo retardador Tipo D | 1.12 | 1.06 | 0.97 | 1.46 | 1.5 | |
| slump mm | 195 | 250 | 215 | 255 | 235 | 205 |

resistencia promedio a la compresión de probetas
cilíndricas 6"x12"

| | | | | | | |
|--------------------|----|-----|----|-----|-----|----|
| A los 28 días, MPa | 79 | 89 | 92 | 119 | 107 | 73 |
| A los 91 días. MPa | 87 | 100 | 96 | 132 | 119 | 89 |

- * Masa total de agua incluyendo el agua en los aditivos
- ** Tamaño máximo nominal del agregado: Mezclas del 1 al 5, 12.5 mm (1/2")
- *** Reductor de agua de alto rango ASTM C 494

Cuando los datos históricos no estas disponibles el desarrollo de una optima mezcla de alta resistencia requiere un gran número de pruebas de. Los materiales y proporciones deberían ser evaluados inicialmente en el laboratorio para determinar las proporciones apropiadas de los materiales y sus características relativas. Se tomará un tiempo suficiente previo,

considerando que las mezclas de alta resistencia que contienen ceniza volante, micro sílice, o escoria de alto horno frecuentemente son evaluadas a los 56 y 90 días. Después de que el trabajo ha sido completado en el laboratorio se recomienda las tandas de producción controladas por que las tandas de prueba de laboratorio a veces muestran resistencias y otras propiedades diferentes de las que se ejecutan en la producción. Por ejemplo la eficiencia de mezcladoras de pequeños laboratorios es mucho menor que el de las mezcladoras de obra lo cual puede afectar la dispersión y comportamiento de los aditivos químicos y minerales. A partir de que los concretos de alta resistencia usualmente contienen aditivos químicos y minerales a la vez, incluyendo micro sílice y un alto volumen de material cementante, ellos tienden a ser más pegajosos que en las mezclas de concreto convencional. Las pruebas de la producción pueden ser usadas para establecer secuencias de mezclado y preparados óptimos que pueden reducir problemas previos al inicio del proyecto. Donde un camión mezclador es usado, la carga máxima que puede ser mezclada adecuadamente deberá ser determinada, pero la práctica muestra que esto usualmente es menos que el 90% de la capacidad diseñada para los camiones. En base a la experiencia en mezclas de concreto de alta resistencia, las tandas menores de 3m³ (4 yd³) no deberán ser mezcladas en camiones mezcladores.

**c) **PRECALIFICACIÓN DE LOS PROVEEDORES DE CONCRETO
Y DE LOS ENSAYOS PREVIOS A LA CONSTRUCCION****

Los licitadores deberían ser pre calificados previamente para otorgar el contrato de la provisión para el concreto con una resistencia especificada de 70 MPa. (10,000 psi) o mayores o al menos 7 MPa (1,000psi) más alta que la producida previamente en el mercado local del proyecto. Las implicaciones de las especificaciones del proyecto ya sea basadas en el rendimiento o en las indicaciones, deben ser completamente entendidas por todos los licitadores.

Tandas de prueba la complejidad de los procesos de precalificación dependen de la experiencia local. Donde la resistencia especificada ha sido ampliamente producida para proyectos previos, una revisión de las estadísticas disponibles de ensayos podrían adecuadamente medir el desempeño. Cuando se especifica una resistencia más alta que la previamente producida, o donde existe experiencia limitada en la producción de tal resistencia de concreto, se debe llevar a cabo un procedimiento más detallado de precalificación. Esto generalmente deberá incluir la producción de un conjunto de pruebas para las proporciones de mezcla propuestas. El concreto fresco debe ser ensayado para el asentamiento, contenido de aire, y temperatura. El concreto endurecido debe ser ensayado para determinar la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad basado en probetas cilíndricas estandarizadas curadas y en testigos extraídos de bloques. Las resistencias de los testigos y probetas cilíndricas estándar curadas ensayadas a la misma edad deben de ser correlacionadas. En elementos masivos, la resistencia de testigos podría variar con la distancia desde la superficie de acuerdo a los diferentes registros de temperatura. Por esto debe establecerse correlaciones para las profundidades especificadas de los testigos. Si los testigos necesitan ser removidos durante la construcción, la correlación permite la interpretación de los resultados de resistencia de los testigos. Los bloques también deberían ser instrumentados para determinar la máxima temperatura interna y los gradientes de temperatura desarrollados a través de la sección transversal. Se debe seleccionar proveedores calificados basados en sus pruebas satisfactorias previas a la construcción; después del inicio de la construcción, se desean pruebas adicionales para confirmar el comportamiento de campo de las mezclas aceptadas, se puede requerir pruebas adicionales para determinar los problemas potenciales de fracturas, tales como la interfase entre los elementos estructurales de diferentes espesores.

Las precauciones en las especificaciones del proyecto para el concreto con una resistencia especificada de 70 MPa (10,000psi) o más alta, o al menos

7Mpa (1,000psi) más alta que las previamente proporcionadas, es una responsabilidad que se asigna al proveedor de concreto para el control de calidad de la mezcla y sus componentes.

Variaciones en la temperatura y humedad durante el proyecto podrían afectar adversamente las características del concreto. Las pruebas de laboratorio y campo deberían ser realizadas para evaluar los efectos de las condiciones ambientales sobre las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido. En particular, la pérdida de revenimiento entre la planta y el lugar del proyecto deberá ser evaluada para asegurar un revenimiento adecuado en el momento de la colocación. Durante los periodos de alta temperatura o baja humedad, podría ser necesario reajustar la mezcla de concreto usando retardadores o aditivos reductores de agua de alto rango en dosis variadas y secuencias de adición.

Resistencia en campo.- También es útil correlacionar pruebas rápidas en campo con cilindros estándar curados siguiendo procedimiento del ACI 228.1R. Las resistencias potenciales del concreto provista para una obra no pueden ser conocidas demasiado pronto. Cualquier pequeña caída de resistencia en el lugar es mejor que sea descubierta tempranamente antes que sea demasiado tarde. Si las pruebas de campo van a ser usadas es recomendable que en una correlación con cilindros estándar curados sean hechos en las pruebas de calificación. El ACI 228.1R provee una guía sobre las limitaciones de varios métodos de prueba en campo.

Aire incluido

Se requiere un control cercano del contenido del aire incluido para mezclas en las que este se haya requerido. El contenido de aire y el resultado de sistemas de expulsión de aire en el concreto endurecido es particularmente importante para el CAR expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo bajo condiciones húmedas. El CAR tiene una excelente resistencia

al congelamiento y deshielo si este contiene una apropiado volumen de aire y un adecuado sistema de expulsión de aire. El ACI 201.2R brinda requerimientos para el contenido total de aire y el ACI 212.3R lista requerimientos para los parámetros de expulsión de aire para la protección contra daños provenientes del congelamiento y deshielo. El ACI 212.3R caracteriza un sistema satisfactorio de expulsión de aire como poseer un factor de espacio de 0.2mm (0.008in.) o menor, y una superficie específica de



Fig. III-1 Ingreso de agentes agresivos por medio de los circuitos de aire incluido (Ref. 21)

24 mm²/mm³ (600 in.²/in.³) o mayores.

Entre los concretos de alta resistencia se incluyen algunos concretos con bajo contenido de aire (menos que 4%) y fuertes sistemas de eliminación de aire (factores de espacio mayores que 0.2mm ò

0.008 pulg.) han probado durabilidad en ambientes de congelamiento y deshielo (Philleo 1986). Si el concreto de alta resistencia no posee un sistema expulsor de aire de acuerdo a las recomendaciones del ACI 201.2R y el ACI 212.3R, su resistencia al congelamiento y al deshielo y escala de liberación de aire podría ser evaluado por pruebas de laboratorio de acuerdo al ASTM C666 y ASTM C672. Ejemplos para estas pruebas deberían ser obtenidos de concretos producidos y colocados de una manera consistente con métodos de campo anticipados. Mientras halla alguna controversia a través de la búsqueda de los límites exactos está aceptado que solo concretos con una excepcionalmente baja relación de agua/material cementante (menos de 0.21) y una alta resistencia a la compresión (más de 135 MPa ó 20,000psi) son probables para ser resistentes al daño por

similares a aquellos para los concretos de resistencia convencional. Pruebas en columnas cuadradas de un metro (Cook et al 1992) mostraron menores tendencias al agrietamiento en concretos de alta resistencia en concordancia a los gradientes térmicos a causa de los esfuerzos de tensión internos más altos en cualquier edad dada. Burg y Ost (1992) han mostrado que la resistencia en el sitio no fueron adversamente afectados donde la máxima temperatura interna durante la hidratación alcanzó 78° C (172 F). El Arquitecto/Ingeniero debe entender los efectos de generación de calor en los diferentes elementos estructurales y señalar su ubicación en las especificaciones del proyecto (ACI 207.2R).

Las especificaciones para concreto masivo limitan la diferencia de temperatura entre el concreto interior y la superficie. En un proyecto de rascacielos en Seattle, Drake (1985) estableció una diferencia máxima aceptable de 22°C (42F) entre el centro y exterior de un cubo de 1.8m. (6ft). En un proyecto de rascacielos en Montreal, Aitcin et al (1985) consideró un gradiente de 20°C/m (11 F/ft) como aceptable. Ghosh y Bickley (1978) desarrollo un método de calculo para el máximo diferencial de temperatura para controlar el fracturamiento en los muros de la Torre CN. Se encontró una temperatura diferencial de 20°C (33F) como aceptable para un espesor de muro de 0.5m (1.5ft)

III.1.2 ASEGURAMIENTO DE CALIDAD Y CONTROL DE CALIDAD

El ACI define el control de calidad y aseguramiento de calidad de acuerdo a lo siguiente:

Aseguramiento de calidad = son las acciones o actitudes que toma un propietario o su representante para asegurarse de que lo que se esta haciendo y lo que se esta abasteciendo están de acuerdo con las normas aplicables para las buenas prácticas de trabajo.

Control de Calidad = son las acciones tomadas por el productor o contratista para proveer control sobre lo que se está haciendo y lo que está siendo abastecido de tal manera que se sigan las normas aplicables para una buena práctica de trabajo.

Un aseguramiento de calidad periódica y clara brinda confianza en el uso de procedimientos avanzados de diseño, frecuentemente facilita la construcción y mejora la calidad del producto final.

Los resultados de un pobre aseguramiento y control de calidad pueden ser muy costosos para todas las partes involucradas. El personal destinado a esta tarea debe ser experimentado con cada una de sus obligaciones, incluyendo la preparación, colocación, curado y el ensayo del CAR. Este personal debe ser capaz de mostrar evidencias de su experiencia y / o entrenamiento. Quienes están a cargo de los programas de control y aseguramiento de la calidad deben demostrar capacidades al menos equivalentes a las de un Inspector en Construcciones de Concreto del ACI. Además quienes se encargan del control de calidad deben demostrar capacidades al menos equivalentes con la certificación de un Técnico en Pruebas de Campo Para el Concreto – Grado I que también otorga el ACI.

Las indicaciones citadas a continuación no solo son apropiadas para el CAR si no para el concreto en general, pero como ya se ha mencionado, la calidad del CAR puede ser afectada adversamente si no se tiene cuidado en todas las fases de la producción, inspección y ensayo.

III.1.3 LA PLANTA DE CONCRETO

El personal encargado tanto del control y del aseguramiento de la calidad debe de concentrar sus esfuerzos en la planta productora del concreto hasta que se pueda llegar a una preparación aceptable del producto de una, manera

consistente. De allí en adelante, inspecciones sucesivas a la planta son recomendables aunque la complejidad de la obra no lo exija así. En muchos casos una inspección a tiempo completo de las instalaciones de la planta no es necesaria. Una inspección permanente es necesaria cuando la resistencia de diseño supera a los 70 MPa (10000 psi).

En la planta de concreto, el personal de control y aseguramiento de la calidad, deben asegurarse de que las instalaciones, los medidores de humedad, balanzas, y mezcladoras (central y / o de camiones) reúnan los requerimientos especificados en el proyecto y que los procedimientos y materiales sean tal como se estableció en la etapa de planeamiento. Este personal debe ser conocedor de la importancia de la preparación del CAR, tales como usar una adecuada secuencia de mezclado de los materiales, especialmente cuando se usan puzolanas o escoria granulada. Las balanzas, medidores de flujo, y dispensadoras deben ser revisados para ajustar su precisión, y deben ser calibrados cada seis meses. Los medidores de humedad deben ser revisados diariamente. Estas revisiones y calibraciones deben ser documentadas. Las plantas que producen concreto de alta resistencia deben tener registros impresos de todos los materiales usados en las mezclas. Algunas plantas pueden proveer registros de desviaciones de proporciones de mezcla aceptadas.

El o los inspectores de control deben de estar presentes en el lugar y el momento del mezclado para verificar que las cantidades y tipos de material sean incluidos en la mezcla. Los pesos de la mezcla deben de caer dentro de las tolerancias permitidas que se establecieron en las especificaciones del proyecto. El plan de Certificación de Plantas de la ASTM C 94 y la National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA) contempla tolerancias para el peso, aplicables a la producción de concreto de alta resistencia. Si es que no existen otras especificaciones, son estas las tolerancias que se deben de considerar.

Cuando no se atestigua la operación de mezclado completa, el personal de control de calidad y de aseguramiento de calidad debe llevar a cabo o presenciar las siguientes pruebas al menos una vez al día (o una vez por cada turno de ocho horas):

- El contenido de humedad de los agregados fino y grueso de acuerdo con el ASTM C 566
- La granulometría de los agregados (fino y grueso) de acuerdo con el ASTM C 136
- Materiales más finos que el tamiz número 200 (75- μ m) de acuerdo con el ASTM C 117.

Las pruebas del contenido de humedad deben ser repetidas después de cada lluvia y las otras pruebas deben ser repetidas después de la entrega de nuevas tandas de materiales.

El CAR se puede intercalar con una combinación de aditivos químicos y minerales para incrementar el desarrollo de la resistencia. Ciertas combinaciones de aditivos y cementos Pórtland exhiben diferentes curvas de desarrollo de la resistencia. Por lo cual, es importante para el aseguramiento y control de calidad observar las desviaciones en el tipo o marca de los ingredientes de mezcla con respecto a los que han sido establecidos y aceptados. Las sustituciones no deben de ser permitidas sin el entendimiento previo de todas las partes. Muestras de referencia de material cementante deben de ser tomadas al menos una vez por día o por cada despacho en caso en que después se necesiten pruebas para investigar bajas resistencias u otras deficiencias.

Se deben identificar las cantidades de agua adicionales a las mezclas como el "agua de lavado" o cualquier resto de concreto "sobrante" en los camiones antes de cualquier preparación de las tandas.

III.1.4 ENTREGA

El concreto de alta resistencia puede ser mezclado y transportado satisfactoriamente de diferentes maneras. El equipo de aseguramiento y control de calidad debe reconocer que una mezcla prolongada causará una pérdida de revenimiento y dará como resultado una menor trabajabilidad. Se debe establecer un adecuado control de las tareas para evitar demoras. Cuando sea práctico y manejable, puede ser conveniente que una parte del aditivo reductor de agua de alto rango sea añadido a pie de obra. Un aditivo reductor de agua de alto rango innovador con características de aditivo retardador puede excluir la necesidad de agregar aditivo en el lugar de la obra. Los camiones mezcladores deben girar a la velocidad de mezclado mientras esperan la descarga en la obra. La negligencia de no hacerlo de esta manera puede acarrear severas pérdidas de revenimiento.

Cuando los materiales son agregados en el lugar de la obra, un mezclado apropiado es necesario para evitar la falta de uniformidad y segregación. El personal de aseguramiento y control de calidad debe prestar especial atención al mezclado en obra y debe verificar la uniformidad de la mezcla. El ACI 304R contiene información sobre un mezclado apropiado.

Los camiones mezcladores usados para el transporte de CAR deben ser inspeccionados regularmente y certificados que cumplan con los requerimientos de la "Lista de Inspección" de la Certificación para las Instalaciones para al Producción de Concreto Mezclado Listo de la NRMCA. Los camiones mezcladores deben ser equipados con un contador de revoluciones del trompo mezclador y sus aletas deben cumplir con el criterio de la NRMCA.

El chofer del camión debe estar provisto de una cartilla que contenga la información especificada en la ASTM C 94. Cada cartilla debe ser revisada por el inspector antes que se descargue el concreto.

Los aditivos químicos pueden ser usados para incrementar el tiempo de trabajabilidad. Los aditivos reductores de agua de alto rango frecuentemente son usados para incrementar la fluidez del concreto por un periodo de tiempo definido. El personal de aseguramiento y control de calidad debe estar bien enterado de ese marco de tiempo y debe saber si una dosis adicional de aditivos esta permitido. Si la tanda es redosificada, la cantidad de aditivo agregado al camión con un sistema de entrega calibrado debe ser registrado y el trompo del camión debe ser girado al menos unas 30 revoluciones adicionales en la velocidad del mezclado. En consecuencia, la cartilla de entrega debe tener un espacio para registrar la siguiente información:

- La cantidad de agua o aditivo agregada en la obra por el personal autorizado
- Cantidad aproximada de concreto en el camión cuando el agua o aditivo adicional es agregado
- Numero de revoluciones del trompo en la velocidad de mezclado después de agregar el agua o el aditivo.

La adición de agua en la obra debe ser permitida sólo si esto fue acordado en las reuniones previas a la construcción y prever que la máxima relación agua / cementante especificada no sea excedida.

III.1.5 COLOCACIÓN

Los preparativos en el lugar del proyecto son importantes. En particular, el contratista debe estar listo para colocar la primera carga de camión de concreto. El personal de aseguramiento y control de calidad debe verificar que

los encofrados, el acero de refuerzo, y los elementos embebidos estén listos y que los equipos de colocación y vibrado (incluyendo el equipo de repuesto) estén trabajando en orden antes de que el contratista coloque el concreto.



Fig. III-2 Ejemplo del “efecto hongo”. Nótese la zona más oscura alrededor de las columnas que corresponde a un concreto de 60 MPa. (Ref. 20)

El CAR es típicamente producido con slumps mayores de 200 mm (8 pulg.). A pesar de su apariencia fluida estas mezclas requieren una esmerada compactación (Fiorato y Burg 1991). Todo concreto debe ser compactado rápida y esmeradamente. Un

equipo de vibración de reemplazo es recomendable, con al menos un equipo de repuesto por cada tres equipos que se requieran. Las estipulaciones del ACI 309R deben seguirse para una apropiada compactación.

En la obra, concretos de diferente resistencia son colocados uno a continuación del otro. El personal encargado de aseguramiento y el control de la calidad debe ser conocedor de la ubicación de cada mezcla aprobada. Cuando dos o más mezclas de concreto han sido usadas en la misma colocación, es obligatorio que se practique un control suficiente en el punto de descarga de cada camión para asegurarse que el concreto destinado sea colocado tal como se ha especificado.

Muchas veces el “efecto hongo” ocurre sobre la ubicación de columnas y muros de corte cuando se colocan las losas de los entrepisos; o sea, el concreto de alta resistencia tiene la apariencia de “hongo” alrededor de esas ubicaciones para formar una capa previa a la ubicación del concreto de menor

resistencia que es colocado alrededor en la losa. El personal de control y de **ASEGURAMIENTO** de la calidad debe estar bien enterado de cuan lejos debe ser extendida la capa. Partiendo de que no se debe permitir las juntas frías entre los dos concretos, el inspector debe determinar si el “hongo” de alta resistencia aun posee el suficiente estado plástico como para realizar la gradación con el concreto de menor resistencia en la losa. La planificación es necesaria para determinar los mejores procedimientos. Deben darse consideraciones para el uso de aditivos retardadores. La frontera entre el **CAR** y el concreto de menor resistencia debe ser consolidado completamente por vibración. El inspector debe mantener notas de campo considerando la colocación de los “hongos” de tal manera que exista un registro de las colocaciones.

III.1.6 CURADO

El potencial de resistencia y durabilidad del concreto de alta resistencia será completamente desarrollado solo si éste es apropiadamente curado por un período adecuado antes de ser puesto en servicio o estar sujeto a cargas de construcción. Muchos métodos aceptables para el curado están disponibles, como se discutió en el **ACI 308**. Sin embargo, los concretos de alta resistencia son extremadamente densos e impermeables. Por lo tanto, se debe seleccionar por adelantado métodos apropiados de curado para varios elementos estructurales. El personal de aseguramiento y control de calidad deberá verificar que los métodos aceptados sean apropiadamente empleados en el trabajo.

Los concretos de alta resistencia usualmente no exhiben mucha exudación, y sin protección de pérdida de humedad superficial, existe la tendencia al agrietamiento por contracción plástica formada sobre las superficies expuestas. El curado deberá comenzar inmediatamente después del acabado, y en algunos casos se debe usar otras medidas de protección durante el proceso de acabado. Los métodos de curado incluyen vapor,

aplicar un retardador de evaporación, cubrir con lamina de polietileno, o aplicar un compuesto de curado.

El curado del CAR con agua es recomendado debido a las bajas relaciones agua- materiales cementicios empleadas. Klieger (1957) reportó que los concretos con bajas relaciones agua- cemento se beneficiaban más por la aplicación de agua superficial adicional que los concretos con altas relaciones agua-cemento. El curado de miembros verticales con agua es usualmente impracticable, y se deben emplear otros métodos de curado, tales como dejar el encofrado en el lugar. Para columnas interiores, el curado adicional después de la remoción del encofrado usualmente no es necesario ya que la durabilidad no es un problema. El período durante el cual en encofrado se quede en el lugar puede ser adecuado en tales casos. Cuando el encofrado sea en edades tempranas (típicamente menos de un día) se debe considerar la necesidad de prevenir el agrietamiento térmico proporcionando aislamiento, particularmente en clima frío.

El inspector debe monitorear y registrar temperaturas ambiente y temperaturas en la superficie y centro de grandes componentes de concreto de manera que el equipo de diseño y construcción pueda efectivamente hacer cualquier ajuste, tales como cambios en proporciones de mezcla o el uso de encofrado aislante, durante el curso del proyecto.

El concreto entregado a temperaturas que exceden los límites de especificación debe ser rechazado, a menos que se haya acordado procedimientos alternativos en la reunión previa a la construcción. El inspector debe monitorear que los procedimientos de curado estén de acuerdo a las especificaciones de proyecto particularmente aquellos en etapas tempranas para controlar la formación de rajaduras con contracción plástica.

III.2 CONSIDERACIONES ECONÓMICAS DEL CAR

III.2.1 EL SUAREZ TRADE BUILDING



Fig. III-3. El Edificio Suárez Trade (Ref. 20)

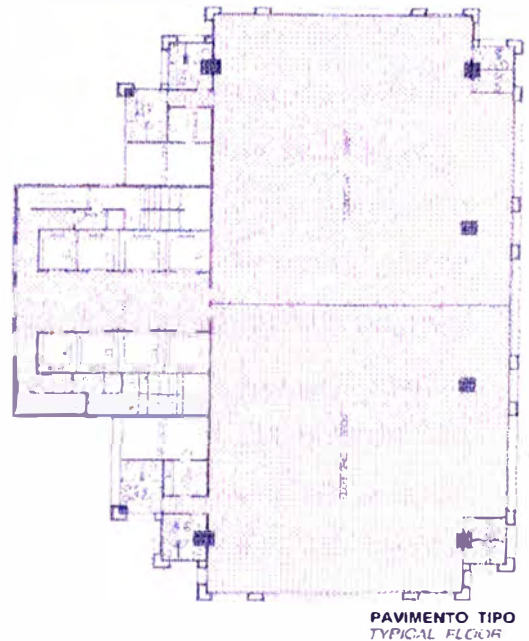


Fig. III-4. Piso típico (Ref. 20)

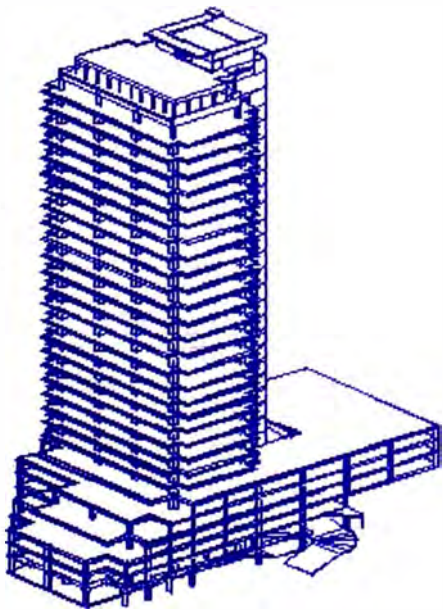


Fig. III-5. Estructura del Suárez Trade Building (Ref.20)

Sencillez, pero con una vigorosa exposición, "es el acierto del diseño". En el Suárez Trade Building un sistema estructural integrado y eficiente (fig. III-5) soporta tanto las cargas verticales como horizontales, debidas a la gravedad y el viento. Los 15 metros de volado condujeron, después de varios estudios preliminares, a una losa de

concreto reforzada y preesforzada (bandas de losa alternadas de 0.12 y 0.40 m de alto,

concreto reforzada y preesforzada (bandas de losa alternadas de 0.12 y 0.40 m de alto, respectivamente). El edificio de 110 m de altura prácticamente no tiene vigas, ocasionando que la altura de los entresijos sea mínima, con suficiente espacio libre para las instalaciones sanitarias, eléctricas y mecánicas. Las columnas conectadas a una losa bastante delgada no contribuyen efectivamente a la resistencia a las cargas laterales de un edificio alto, es así que fue necesario crear una gran estructura tubular rodeando la parte trasera del edificio (donde están ubicados los elevadores, escaleras de incendio, ambientes de los equipos mecánicos y de almacén) para darle resistencia y rigidez contra los efectos de cargas de viento. Esta estructura tubular es una gran viga-columna cajón, con más aberturas que van apareciendo con la altura, considerando que los efectos de viento (momentos por flexión y corte) van disminuyendo con la altura. La torsión fue la principal consideración, debido a la excentricidad del núcleo en planta. Esta estructura tubular tiene justo la suficiente rigidez torsional y de flexión para mantener las deflexiones y aceleraciones horizontales dentro de los valores admisibles.

Se han usado materiales de alta resistencia después de un cuidadoso análisis costo vs. Beneficio. Las probetas cilíndricas de concreto son de 60 MPa para las columnas de la torre en los primeros doce pisos y en la región adyacente de las losas, mientras se usó 30 MPa en el resto de la superestructura. El acero preesforzado es de grado 1.9gpa, usado en cables de 12 x12.5mm, cuatro unidades para cada banda de losa de 1.4 m o 2m de ancho. Este ensamblaje preesforzado ligeramente grande, usualmente empleado en puentes y vigas pesadas, ha probado ser la solución más razonable en cuanto a sencillez y costos, comparados con la cantidad usual y mayor de unidades más pequeñas mayormente usadas para preesforzar losas en estructuras de edificios. El acero pasivo fue de grado 600 MPa, con el edificio completo diseñado con barras con solamente cuatro diferentes diámetros: 25, 20, 12.5, y 8 mm. La alternativa de barras de diámetro más

grande hizo los elementos estructurales más fácil de construir en cuanto al vaciado y la colocación del concreto fresco, ya que el espaciamiento entre cables y barras se tornaban muy generosas. Las secciones de concreto también se mantuvieron en un número mínimo de dimensiones diferentes: dos secciones de columnas, dos espesores para la estructura tubular y dos espesores de losa para la torre.

Las columnas principales tienen básicamente carga axial, arriba de los 50 MN, con pequeñas excentricidades, a partir de que la descomunal viga-columna tubular se encarga de tomar casi toda la carga lateral. Si se hubiera usado concreto de 20 MPa, con la misma área de acero, la sección transversal cuadrada habría tenido dimensiones de 2m x 2m. Las columnas de 60 MPa tienen solamente una sección de 1.2m x 1.2m

La figura III-6 muestra una comparación de costo de columnas con 50 MN de carga versus la resistencia del concreto. Mientras más alta es la resistencia, los costos son más bajos, en dólares por metro lineal por unidad de carga. Dos criterios diferentes fueron usados para obtener una sección de concreto con la misma capacidad de carga axial:

(a) área de acero constante, y (b) cuantía de acero constante. Con un área de acero constante, las secciones de concreto serían incrementadas una gran cantidad: secciones cuadradas de 2 m de lado para 20 MPa o 1.65 m para 30 MPa. Esta sería una solución menos deseable (en cuanto a la geometría) que manteniendo las cuantías, en cuyo caso las secciones cuadradas tendrían 1.52 o 1.42m de lado, respectivamente. Pero en esta última opción, los costos serían 37% y 22% más altos.

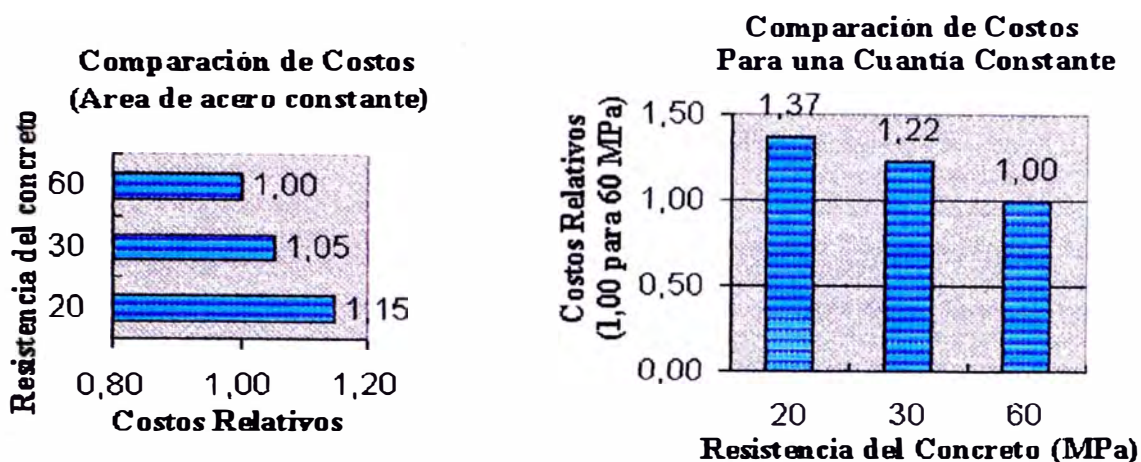


Fig. III-6 Costos mas bajos con resistencias de concreto mas altas. Con un area de acero constante, el ancho de las columnas es de 2m para 20 MPa, 1.65 para 30 MPa, y 1.2 m para 60 MPa. Pra una cuantía de acero constante los lados son de 1.52 m, 1.42m y 1.2m de ancho. (Ref. 20)

Las secciones más grandes no solo reducen el espacio de oficinas, sino que también podrían eliminar filas de carros en cada uno de los cinco pisos de estacionamiento.

Además de las columnas, una porción de la losa alrededor de la zona de las columnas fueron también diseñadas con concreto de 60 MPa, mejorando su resistencia a la flexión y punzonamiento.

El CAR fue fabricado en la planta mezcladora de concreto Betonbrás en Salvador, con materiales locales, y la adición de microsílíce y Superplastificante. Los detalles de la mezcla de diseño, transporte, vaciado y ensayo se pueden encontrar en las referencias 27 y 29. Básicamente la mezcla comenzó con 540 kg de cemento CII-F-32 Poty por metro cubico, agregados locales de roca gneiss con un diámetro máximo de 19mm, arena local (modulo de fineza 1.72), alrededor de 12 % de microsílíce Elken y entre 1.5 y 3% de Superplastificante en peso del cemento, y una relación de agua / cemento de 0,29. Esta mezcla alcanzó una resistencia característica de

alrededor de 80 MPa, así que fue cambiada para conseguir resultados más económicos. El contenido de microsílíce fue reducido hasta alrededor de 4%, que contrajo una disminución sustancial de costos.

La figura III-7 muestra la variación de la resistencia característica a lo largo de la etapa constructiva. La resistencia característica es el valor que probablemente será excedido por el 95% del concreto.

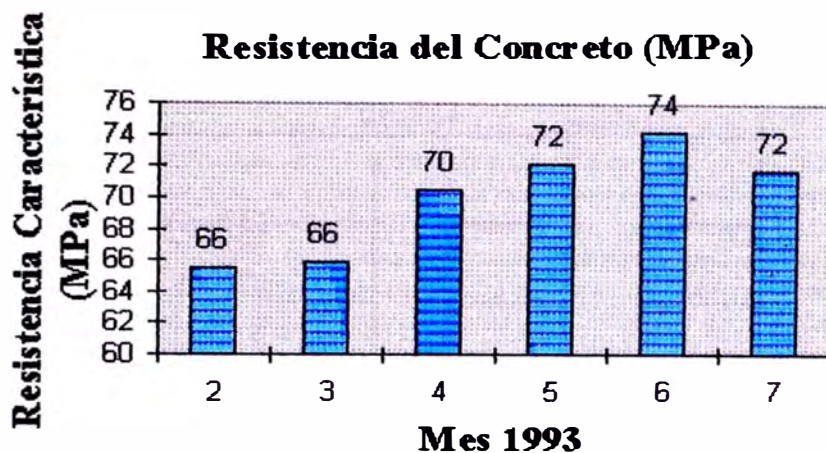


Fig. III-7. Resistencia del concreto obtenida para el CAR en el Suárez Trade Building (adaptado de la Ref. 20)

La variación de la resistencia con el tiempo del CAR usado en los edificios del Salvador se muestra en la referencia 28, adaptados en la figura III-8. Nótese que el concreto de 2 días de edad alcanza el 75% de su resistencia a los 28 días, mientras que llega a alrededor del 50% en 24 horas. Esta resistencia temprana puede ser una gran ventaja en la velocidad del proceso constructivo, y también representa una gran mejora en la seguridad en la construcción, desde que las columnas y las regiones de corte por punzonamiento son ciertamente las áreas más sensibles en una estructura de edificio. Por otro lado, la resistencia no mejora mucho después de los 28 días. A los 90 días es solo 5% mayor.

Variación de la Resistencia con la Edad del Concreto

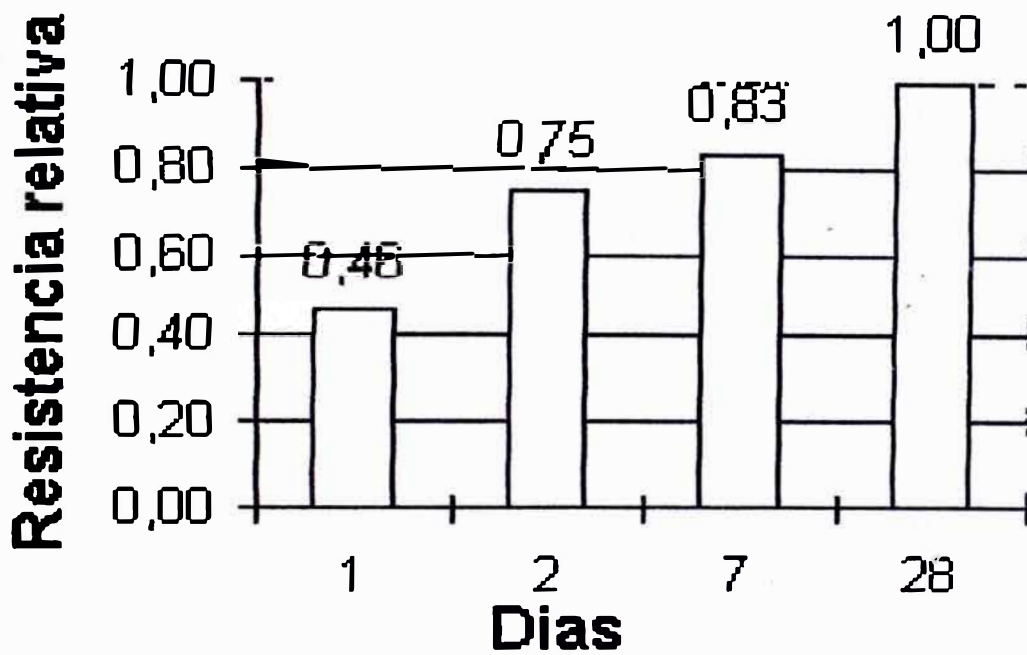


Fig. III-8 Variación de la resistencia del concreto con el tiempo obtenido para el Suárez Trade Building (Adaptado de la Ref. 20)

COMPARACIÓN DE COSTOS

Ejemplo para las columnas del Suárez Trade Building en el piso inferior manteniendo la cuantía de acero constante

| Resistencia del Concreto (MPa) | 20 | 30 | 60 |
|--|-------------|-------------|-------------|
| Ancho de la sección cuadrada (m) | 1,52 | 1,42 | 1,20 |
| Area de acero (mm ²) | 135000 | 117000 | 84000 |
| Relación de [sección de acero]/[sección de concreto] | 0,058 | 0,058 | 0,058 |
| Capacidad de fuerza axial (MN) | 53 | 53 | 52 |
| Cantidad de materiales por piso por columna | | | |
| Altura de entepiso (m) | 3,5 | 3,5 | 3,5 |
| Concreto (m ³) | 7,61 | 6,65 | 4,75 |
| Acero (kN) | 48,2 | 41,8 | 30,0 |
| Encofrado (m ²) | 21,3 | 19,9 | 16,8 |
| Costos unitarios en US\$ | | | |
| Concreto (m ³) | 120 | 150 | 300 |
| Acero (N) | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| Encofrado (m ²) | 20 | 20 | 20 |
| Costos por piso por columna (US\$/piso) | | | |
| Concreto (m ³) | 914 | 997 | 1424 |
| Acero (N) | 7233 | 6268 | 4500 |
| Encofrado (m ²) | 426 | 398 | 336 |
| Total (US\$/piso) | 8572 | 7663 | 6260 |
| Costos por unidad de longitud por unidad de carga por columna (US\$/m/MN) | | | |
| Concreto (m ³) | 4,88 | 5,36 | 7,75 |
| Acero (N) | 38,7 | 33,7 | 24,5 |
| Encofrado (m ²) | 2,27 | 2,14 | 1,83 |
| (I) Sub- total (US\$/m/MN) | 45,8 | 41,2 | 34,1 |
| Area adicional ocupada por secciones más grandes | | | |
| (II) US\$/m ² | 1500 | 1500 | 1500 |
| (III) Area adicional (m ²) | 0,87 | 0,58 | 0,00 |
| Total {línea (I) + [línea (II) x línea (III)] } (US\$/m/MN) | 46,7 | 41,8 | 34,1 |
| Resumen | | | |
| Resistencia del concreto (MPa) | 20 | 30 | 60 |
| Costos relativos (1,00 para la columna de 60MPa) | 1,37 | 1,22 | 1,00 |

Tabla III-4 Comparación de costos correspondientes a diferentes resistencias (Ref. 20)

III.2.2 VENTAJAS DEL CAR (ESTRUCTURAL Y ECONOMICA)

En esta sección se presenta una síntesis de una publicación, la cual muestra en parte algunas ventajas en el uso del CAR como material estructural.

En la publicación se hace un comparativo entre las ventajas de usar concretos de diferentes resistencias a la compresión, considerando a la vez diferentes tipos de uso y niveles de sobrecarga de las edificaciones.

En México (Ref. 14) se usan clasificaciones dentro de las cuales están las que se describen en el siguiente cuadro que cita los claros típicos y sobrecargas en el presente análisis:

| USO | S/C | CLARO TIPICO |
|--|--------------------------|--------------|
| Departamentos, cuartos de hotel, internados de escuela, hospitales, etc | 170 kg / cm ² | 4.5 m |
| Oficinas despachos y laboratorios | 250 kg / cm ² | 7.5 m |
| Templos, cines, teatros, gimnasios, salones de baile, restaurantes, aulas, etc | 350 kg / cm ² | 10.5 m |

Tabla III-6 Clasificaciones de uso y sobrecargas correspondientes en México (Ref. 14)

Para este reporte se trabajó con resistencias entre 250, 400 y 600 kg / cm². El análisis se realizó con la ayuda de un programa de cómputo y se incluyó el estudio del efecto P-delta.

El punto de partida ha sido la resistencia a la compresión de 250 kg / cm² con una cantidad de acero cercana a la máxima permisible en México (8%) y luego se calculó el acero necesario usando resistencias de 400 y 600 kg / cm²

Los casos analizados se resumen en la tabla siguiente:

| Edificio 15 niveles | | | | |
|--|----------------------------------|------------------------------|--|-------------|
| Claro, mts (Carga muerta, kg/m ²) | Carga viva, kg/m ² | Carga lateral, porcentaje | f _c , kg/cm ² | Caso numero |
| 4.50 (360) | 170 | 10 | 250 | 1 |
| | | | 400 | 2 |
| | | | 600 | 3 |
| 7.50 (480) | 250 | 10 | 250 | 4 |
| | | | 400 | 5 |
| | | | 600 | 6 |
| 10.50 (600) | 350 | 10 | 250 | 7 |
| | | | 400 | 8 |
| | | | 600 | 9 |

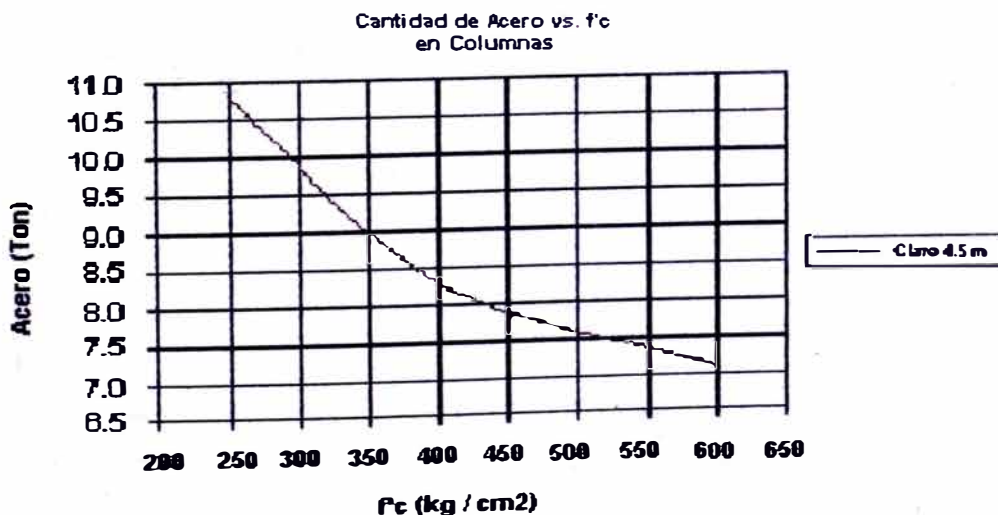
Tabla III-6 Casos para los que fue analizado el edificio de 15 niveles (Ref.14)

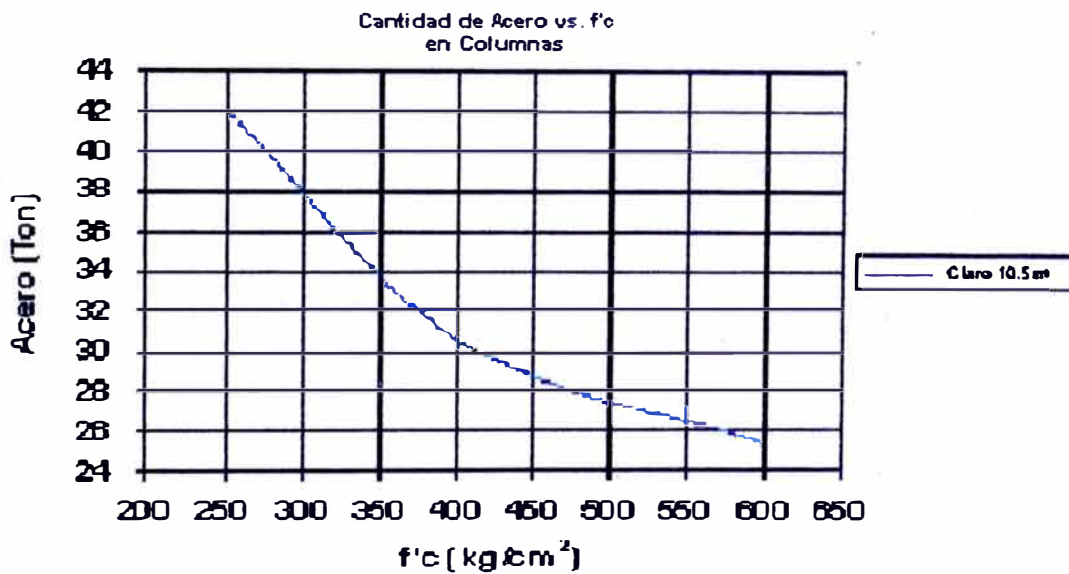
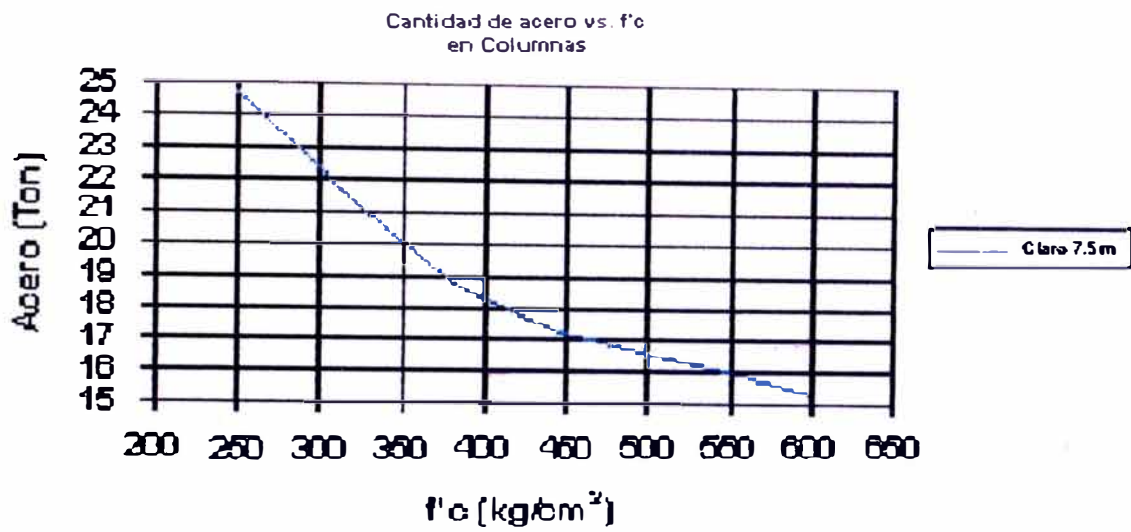
Según el artículo , se puede apreciar una significativa reducción en el acero de refuerzo a medida que aumenta la resistencia, en el que se ha supuesto por simplicidad una igualdad en las secciones de los diferentes niveles de los edificios analizados.

En los resultados se puede observar lo siguiente:

- Con $f_c = 210 \text{ kg / cm}^2$ se requieren 10.8 ton de acero de refuerzo
- Para $f_c = 400 \text{ kg / cm}^2$ se requiere 8.3 ton y
- Usando $f_c = 600 \text{ kg / cm}^2$ el acero que se requiere es de 7.1 ton en columnas (para el primer tipo de uso correspondiente a claros típicos de 4.5 m)

Las figuras que siguen muestran este tipo de cambio en el requerimiento del acero en las columnas.





Los valores obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

| 15 niveles | | | | |
|------------|-------------|-------------------------------|-------------------|------|
| Claro, mts | Caso numero | $f'c$, kg/cm ² | Acero de refuerzo | |
| | | | % | ton |
| 4.50 | 1 | 250 | 7.9 | 10.8 |
| | 2 | 400 | 5.8 | 8.3 |
| | 3 | 600 | 4.7 | 7.1 |
| 7.50 | 4 | 250 | 7.8 | 24.7 |
| | 5 | 400 | 6.2 | 18.3 |
| 10.50 | 6 | 600 | 5.0 | 15.4 |
| | 7 | 250 | 7.6 | 42.1 |
| | 8 | 400 | 6.4 | 30.5 |
| | 9 | 600 | 5.5 | 25.3 |

Tabla III-7 Resumen de resultados del análisis (Ref. 14)

La menor reducción relativa en porcentaje de acero de refuerzo, se presentó para el claro de 7.5 m de 26% para concreto de 400 kg / cm² y la máxima se presentó para el claro de 10.5 m con un valor del 40% para concreto de 600 kg / cm², todo esto con respecto al concreto de 250 kg / cm²

III.3 ECONOMIA DEL CAR EN ESTRUCTURAS DIVERSAS



Fig. III-12 Las Torres Petronas en Malasia de 452 m de altura (Ref. 30)

Las ventajas económicas que se pueden obtener al utilizar el CAR como material estructural se encuentra fundamentalmente relacionada en edificaciones de grandes envergaduras, en donde su empleo se hace realmente necesario para aprovechar su gran resistencia a la compresión; la mayoría de citas encontradas a lo largo del desarrollo del presente trabajo refieren el CAR como un material convenientemente usado en edificaciones de gran altura, una de ellas es por ejemplo las famosas Torres Gemelas Petronas en Malasia. Son edificios de

451.9 m de altura de 88 pisos, en el que el uso de concreto de 80 Mpa permitió un espaciamiento de hasta 9.8 m entre columnas(Ref.17) Como es de suponer, la economía en esta estructura está en el ahorro del espacio disponible para los elementos estructurales.

En una conferencia internacional en Singapur del American Concrete Institute sobre concreto de alta performance T.J. Pasko, Jr. Y G.J. Frohnsdorff (Ref. 23) en el documento presentado por ellos "El Rol del Gobierno de los Estados Unidos en los Materiales para la Infraestructura" se cita un ejemplo de cómo se puede simplificar la estructura de un puente con el uso del CAR.

En el croquis precedente se puede observar que para un puente de 45.7 m simplemente apoyado, el número de pilares puede ser reducido de 9 a 4 con el incremento de la resistencia del concreto de 40 Mpa a 70 Mpa.

De esta manera la economía no solo proviene del ahorro en el volúmen de concreto apreciable, sino tambien a partir del menor uso de encofrados, mano de obra, equipo, acero y otros materiales involucrados.

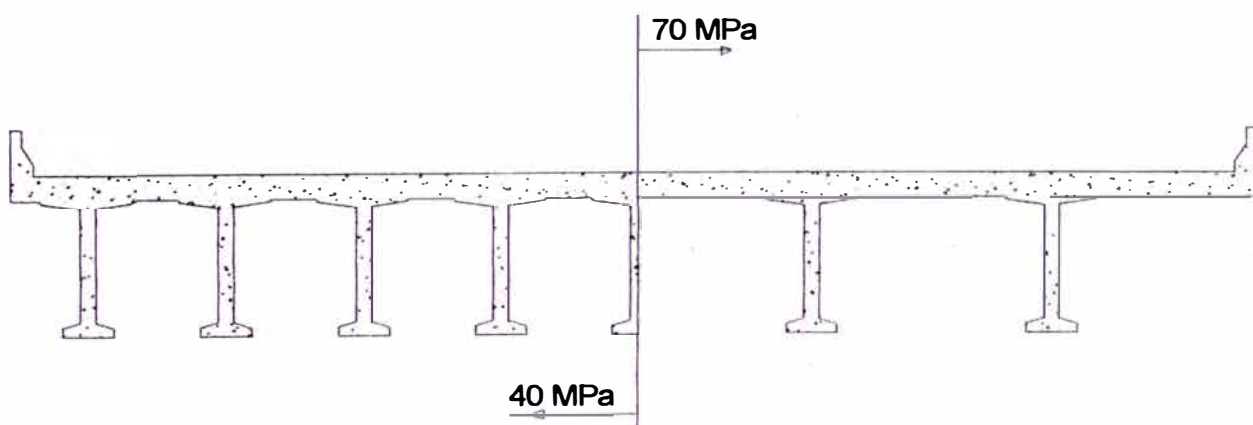


Fig III-13 Ventajas del uso de CAR en vias de Transporte (Ref.23)

III.4 COSTOS DE LAS MEZCLAS DE CAR

La optimización de los costos es un factor primordial para promover el uso del CAR en nuestro medio. Dependerá de futuras e inmediatas investigaciones que tengan como objetivo optimizar los costos de una

mezcla a partir de una resistencia especificada, que el uso de las ventajas del CAR sea más accesible en nuestro medio.

Los costos de las mezclas de concreto dependen mucho de la eficiencia de la mezcla en este sentido. En nuestro país se han desarrollado varias mezclas de resistencias elevadas dentro del laboratorio y en algunos casos se ha reportado los costos de la mezcla,. En seguida se citan algunas mezclas realizadas en nuestra universidad y sus costos en dólares para comentar las diferencias.

Los costos en el exterior pueden ser más económicos ya que existe disponibilidad local de los aditivos químicos y de las adiciones minerales. Como referencia podemos citar el precio citado por K Mehta (Ref. 1) y los precios por metro cúbico evaluados en diferentes trabajos de investigación:

PRECIOS POR METRO CÚBICO DE CAR

| N° Id. | PROCEDENCIA | RESISTENCIA (Kg / cm²) | PRECIO (US\$) |
|---------------|--------------------------|--|----------------------|
| 1 | Lima 1985 (Ref. 25) | 525 | 122.18 * |
| 2 | Lima 1995 (Ref. 15) | 644 | 314.32 |
| 3 | Lima 1998 (Ref. 24) | 500 | 204.62 |
| 4 | Lima 1998 (Ref. 24) | 505 | 234.50 |
| 5 | Lima 2000 (Ref. 11) | 645 | 124.00 |
| 6 | Lima 2000 (Ref. 11) | 750 | 255.00 |
| 7 | Los Angeles 1983(Ref.1) | 635 | 90.28 |
| 8 | Los Angeles 1983 (Ref.1) | 775 | 115.63 |

* Estimado a partir de los precios reportados en la Ref. 11
Tabla III-8 Algunos precios de CAR por m³ según la resistencia

Comentarios.

Podemos observar que la mezcla más cara es la (2), esta es la mezcla escogida en la referida tesis para hacer un análisis de costo unitario para un metro cúbico de concreto colocado en losas, la razón del precio elevado se debe al alto contenido de microsilíce, 111.3 kg, lo cual representa casi el 23% en peso del cemento y escapa de los promedios de las cantidades más usadas y recomendadas. El contenido de superplastificante de 41 kilos también es alto y ambos materiales representan el 82% del costo de los materiales componentes de la mezcla. Como muestra la tabla, se ha logrado otras mezclas de mayores resistencias a un precio menor que aquel. Las mezclas (3) y (4) también tienen características similares a la anterior en cuanto a los costos ya que usan 98.11 y 111.89 kg de microsilíce respectivamente pero en estas mezclas sí hubo un uso de superplastificantes dentro de las cantidades acostumbradas. La mezcla (1) fue lograda solo con el aditivo superplastificante, es decir, prescindiendo de la adición de la microsilíce si la comparamos con las mezclas (3) y (4) que sí contienen este mineral, podemos afirmar que es mucho más eficiente. La mezcla (5) también ha sido elaborada sin microsilíce, solo con el uso de un superplastificante, y a pesar del alto contenido de cemento (600 kg) el precio resultante es casi el mismo y se ha logrado 120 kg/cm² más de resistencia a la compresión en 28 días que en la mezcla (1). A la mezcla (6) se le ha adicionado 10% de microsilíce con respecto al peso del cemento. Finalmente podemos comentar que los precios más bajos en las mezclas es probable que se deba al logro extranjero de usar cantidades de alrededor de 400 kg o menos por metro cúbico de concreto para lograr tales niveles de resistencia y al valor monetario relativo de los ambientes económicos distintos.

Finalmente podemos afirmar que los costos de una mezcla no están en una etapa definitiva, al contrario, son muy variables, lo cual demuestra que aún no se ha seguido objetivos de optimización en este sentido.

III.5 CAR EN MUROS DE CORTE PARA EDIFICACIONES

En el presente trabajo se muestra, un ejemplo de uso del CAR en las placas de una edificación con el correspondiente análisis de su conveniencia tanto estructural como económica, comparando el uso en las placas de concreto de 210 y de 640 kg/cm². Para lo cual se ha adaptado uno de los trabajos propuesto durante el desarrollo del curso de titulación correspondiente a este Informe de Ingeniería.

Se propone el análisis de la estructura que se describe a continuación (Tabla III-9):

| CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA ESTRUCTURA |
|--|
| <input type="checkbox"/> Número de niveles = 5 |
| <input type="checkbox"/> Altura de los entresijos en general = 3.30 m |
| <input type="checkbox"/> Altura total de la edificación = 16.5 |
| <input type="checkbox"/> Edificio destinado para ser usado como almacén en el que se incluyen materiales tóxicos e inflamables s/c = 800 kg / m ² |
| <input type="checkbox"/> Ubicado en Lima sobre un suelo rígido |
| <input type="checkbox"/> Estructura de concreto armado con muros de corte |
| <input type="checkbox"/> Dimensiones de vigas en general 0.35 x 0.60 m |
| <input type="checkbox"/> Dimensiones de columnas 0.65 x 0.35 en el primer y segundo piso y 0.45 x 0.35 en los siguientes niveles |
| <input type="checkbox"/> Losa de 25 cm de espesor (350 kg / m ²) |
| <input type="checkbox"/> Tabiquería: 180 kg / m ² y acabados 120 kg / cm ² |
| <input type="checkbox"/> Espesor de las placas 0.30 m |

Tabla III-9

El análisis se realizó con el uso del programa A3E del Dr. Hugo Scaletti que hace un análisis sísmico pseudo-tridimensional. Las dimensiones de las vigas y columnas han sido prefijadas y no se ha buscado la optimización de las mismas, ya que el objetivo de este análisis es evaluar el uso del

CAR en las placas de la estructura, con el apoyo de las deducciones hechas en las secciones anteriores del presente trabajo; es decir, utilizaremos lo siguiente:

| VALORES DE LOS PARAMETROS PARA EL ANÁLISIS | |
|---|---------|
| Z= | 0.4 |
| U= | 1.5 |
| S= | 1 |
| R= | 7.5 |
| Tp= | 0.4 |
| hn= | 16.50 m |
| Ct= | 60 |

Tabla III-10

- a) La fórmula de Gonzales Isabel para el cálculo del módulo de elasticidad, la cual fue evaluada como la de mejor ajuste para este propósito.
- b) Los precios del CAR a partir de la sección precedente.

La solución se alcanzó haciendo uso del programa de manera iterativa hasta cumplir con las restricciones de las distorsiones de la Norma Técnica de Edificación E.030.

La figura siguiente muestra a la disposición en planta de la estructura original, con la cual se va a proceder a la búsqueda de las dimensiones del muro de corte, considerando en primer lugar el uso de concreto de 210 kg / cm² y después de 640 kg / cm²

ESTRUCTURA PROPUESTA

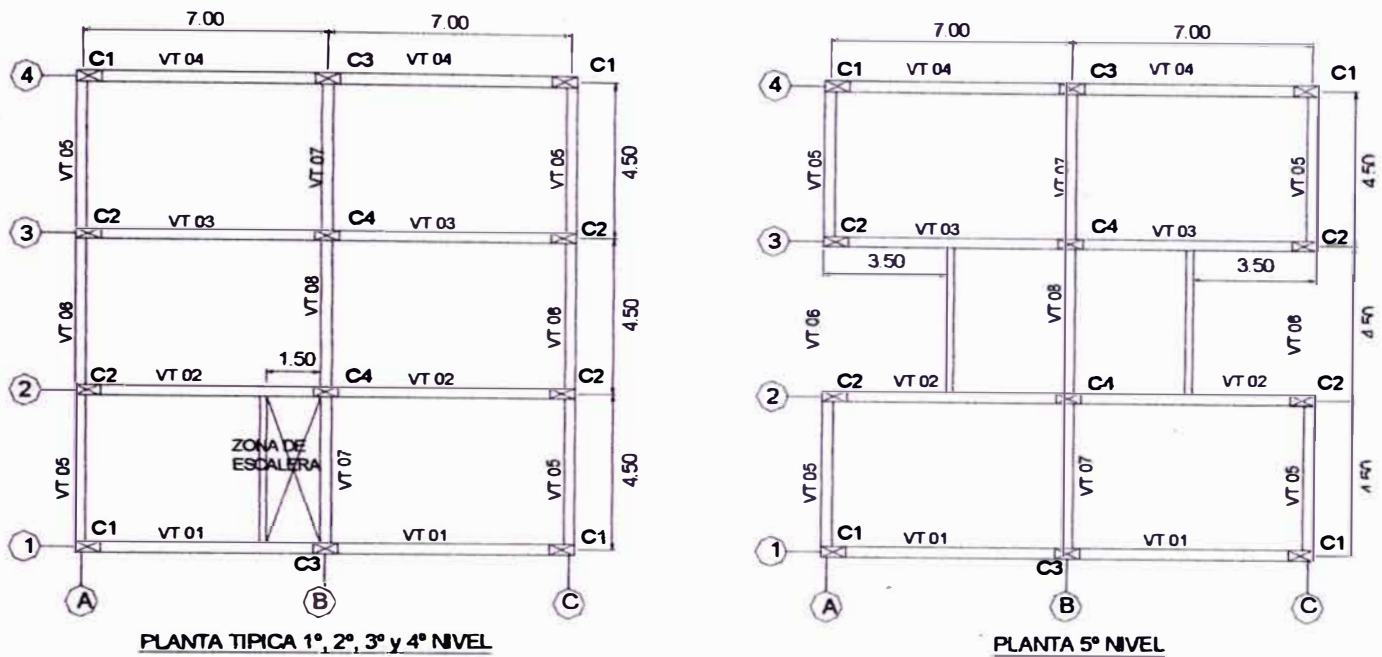


Fig. III-14 Planta típica y de azotea de la estructura por analizar

Para continuar con los propósitos comparativos mencionados y no de diseño en el presente trabajo se ha mantenido las dimensiones de los elementos estructurales y el espesor de las placas

En la figura III-15 se muestra la manera en que se ha estructurado la disposición de las placas.

Con el propósito de evaluar los módulos de elasticidad que se ingresan al programa se usó:

- La fórmula del ACI (Ref. 26) para el concreto de 210 kg / cm^2 y
- La fórmula de González-Isabel (Ref. 4) para el concreto de 640 kg / cm^2

Las dimensiones A_x y B_y de las placas usando el concreto de 210 kg / cm^2 fueron 4.75 m y 6.15 m , en el caso del concreto de 640 kg / cm^2 resultaron 3.90 m y 5.05 m . Los resultados de lo anterior se ilustra en la tabla III-11:

ESTRUCTURA RESUELTA

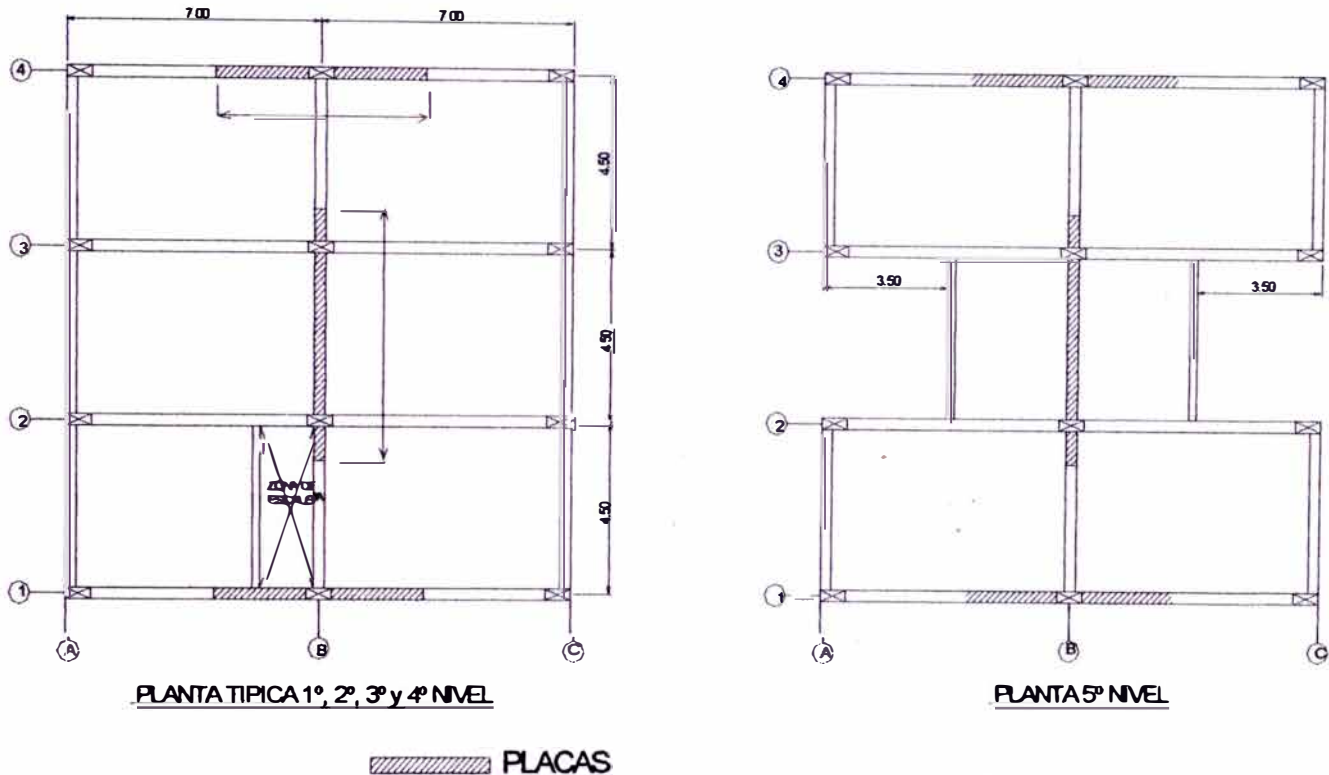


Fig. III-15 Disposición de las placas por compararse

| RESISTENCIA (kg / cm ²) | MÓDULO E (Ton / m ²) | Ax (m) | By (m) |
|-------------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|
| 210 | 2..1E6 | 4.75 | 6.15 |
| 640 | 3.3E6 | 3.90 | 5.05 |

Tabla III-11 Comparativo entre las dimensiones de placas necesarias para mantener la distorsión máxima

El volúmen de concreto para las placas en el primer caso sería de 77.5 m³ mientras que en el segundo caso el volúmen de las placas se reduce a 63.6 m³. Si tomamos el precio actual fluctuante para el concreto de 210 kg/cm² que es de US \$ 85 .00 por metro cúbico y buscando los casos más favorables para los costos de colocación del CAR podemos tomar los

costos de operación para la colocación expuestos por Vargas (Ref. 15) y el precio del mezcla (5) mostrado anteriormente en el cuadro de precios tendremos aproximadamente US \$150.00 por metro cubico colocado de concreto de 640 kg/cm², con lo que obtendríamos precios totales para la colocación del concreto en las placas de US\$ 6587.5 y US\$ 9540.0 respectivamente. Asi para los encofrados con un precio unitario promedio de US\$ 7.1 tendremos US\$ 3584.0 para placas con menor resistencia y US\$ 2978.0 para el otro caso. Las secciones de concreto, en este caso, asumen un esfuerzo cortante cercano a la sollicitación, considerando entonces una cantidad de acero minimo de 0.25% y 0.15% del área de la sección para barras verticales y barras horizontales respectivamente (Ref. 26), de tal manera que al concreto de 210 kg/cm² le corresponderá 2430 kilos de acero y al de 640 kg/cm² 1984 kilos, lo que equivale a US\$1691.0 y US\$ 1381.0 respectivamente con los precios de la revista COSTOS de enero 2001. Todo esto se muestra en el siguiente cuadro resúmen (Tabla III-12):

| COSTOS COMPARATIVOS EN PLACAS (US\$), Ene. 2001 | | | | | |
|---|----------|-----------|-------|---------|------------|
| RESISTENCIA DEL CONCRETO (kg/cm ²) | CONCRETO | ENCOFRADO | ACERO | TOTAL | PORCENTAJE |
| 210 | 6587.5 | 3584 | 1961 | 12132.5 | 100% |
| 640 | 9540.0 | 2978 | 1381 | 13899.0 | 114% |

Tabla III-12 Resultados del análisis económico realizado

Vemos que aún el caso en que se usa concreto de alta resistencia resulta más caro, además debemos tomar en cuenta el costo de hacer las mezclas de prueba necesarias antes del diseño definitivo tal como es necesario y lo aconseja el ACI, la decisión por el CAR en el sentido económico aun no sería positiva en este caso, las otras características favorables del CAR podrian hacer quizá decidir por él, tales como la durabilidad, lo cual seria posible si la superficie del muro de corte va a estar en contacto con agentes agresivos.

Es posible que resulte conveniente el uso del CAR si se estudia otras configuraciones geométricas de la estructura, las cuales no podrían ser asumidas con un concreto de menor resistencia, tal como usar luces más largas o prescindir de vigas perimetrales. También sería conveniente hacer el mismo análisis con una mezcla de CAR lograda solo con superplastificante.

CONCLUSIONES

1. Desde hace aproximadamente una década en el Perú se utiliza concretos de alta resistencia, como sería el caso de su utilización en el primer tramo del tren eléctrico (finales de los ochenta) donde se consiguió concretos de alrededor de 500 kg/cm². La mezcla de mayor resistencia es la que se ha colocado en los silos de Cementos Lima (Atocongo) con una resistencia especificada de 700 kg/cm², llegándose en los ensayos a resistencias a la compresión de hasta 800 kg/cm².
2. Una mezcla de CAR es mucho más cara (costo variable, habiéndose reportado incrementos hasta 300%) que las de concretos de uso común. Sin embargo puede lograrse ventajas económicas a partir de un óptimo diseño de mezcla y de un diseño estructural que considere las capacidades particulares de estas mezclas.
3. Lo que más encarece al CAR es la microsílíce (US\$ 2.19/kg*, 30-52%***) y el superplastificante (US\$ 5.03/kg*, 8-50%**), ambos materiales suman alrededor del 75% del costo de las mezclas.
4. En la determinación del módulo de elasticidad, la fórmula que más se aproxima a los valores resultantes de los ensayos para el caso de concretos de alta resistencia es la de Gonzáles-Isabel (Ref. 4), la cual se comparó con otras en el presente trabajo.
5. Para definir el CAR es necesario tener en cuenta sus características particulares y distinguirlo de otros tipos de mezclas aunque éstas tengan resistencias a la compresión al nivel del CAR. Está incluido en el grupo de mezclas denominado Concretos de Alta Performance.

* Precios reportados por Morales (Ref. 11)

** Porcentajes aproximados por metro cúbico en base a los precios en mención

6. Lo más relevante del CAR es por supuesto su resistencia a la compresión. Las referencias citadas muestran otras características importantes del CAR como la mayor impermeabilidad, mayor durabilidad, en general es de alta trabajabilidad, tiene mayor resistencia a la abrasión, al corte y a la tracción. Casi siempre su fractura es muy frágil.
7. La resistencia a la compresión depende en gran parte de la porosidad y de la resistencia de la interfase entre el agregado y la pasta de cemento hidratado. La microsílíce adquiere importancia mecánica al reaccionar con el hidróxido de calcio producido por la hidratación del cemento y como filler.
8. El CAR tiene especial importancia como material estructural en el caso de obras de gran envergadura o en donde los esfuerzos a compresión sean muy elevados y las secciones de concreto de menor resistencia van en contra de la geometría necesaria para el uso destinado de la estructura.
9. El CAR con microsílíce también se utiliza para restringir el calor de hidratación, pues ésta puede reemplazar parte del cemento de aquél.
10. Las mezclas de CAR tienen relaciones de a/c muy bajas, incluso menores de 0.30. Para lograr el revenimiento deseado es necesario el uso de superplastificantes con los que se puede alcanzar resistencias a la compresión del orden de 500 kg/cm^2 y para superar los 800 kg/cm^2 es necesario el uso de adiciones minerales, una de ellas es la microsílíce.
11. No se ha registrado una metodología paso a paso para lograr un diseño de mezclas que proporcione una alta resistencia especificada. Es

necesario realizar mezclas de prueba previas para llegar a los niveles de resistencia que se requieren. Un registro de mezclas típicas (como las que se muestra en el presente documento) es de gran ayuda para el inicio de estas pruebas.

12. No hay la normatividad adecuada en nuestro medio que regule el uso del CAR, lo cual es necesario para facilitar su difusión práctica.
13. Se han hecho varios trabajos de investigación en nuestro país las cuales han tenido el principal propósito de alcanzar mayores resistencias y analizar la influencia de los materiales componentes. Los casos en que se ha estudiado las otras propiedades particulares que acompañan al CAR son más escasos.
14. El CAR ha empezado a usarse en nuestro medio aprovechando no sólo sus características de resistencia a la compresión, en vez de ello otras tales como la impermeabilidad o la resistencia a la abrasión.
15. El CAR es mucho más susceptible a los factores relacionados con su elaboración, colocación y curado que en el caso de los concretos convencionales.
16. Es necesario un control de calidad especial, muy estricto para lograr el buen uso y los propósitos para los que ha sido destinado el CAR

RECOMENDACIONES

- 1.** Se debe incidir más en el tema del concreto de alta resistencia y de alta performance en la programación curricular de la enseñanza universitaria en el antegrado.
- 2.** Se recomienda emprender temas de investigación adaptadas a nuestra realidad que tengan como objetivo la optimización económica de la elaboración de las mezclas, así también del uso del CAR como material estructural. También es interesante investigar otras propiedades como el calor de hidratación, la resistencia a la abrasión, a los ataques químicos, la adherencia del refuerzo. Lo cual será un paso más para alentar el uso de este material.
- 3.** Se debe seguir tratando este tema, si no se tiene aún una metodología para alcanzar las altas resistencias a la compresión se puede elaborar una guía que permita seguir pautas para lograr las resistencias. Esto puede incluir la ubicación de agregados y sus características, un compendio de aditivos con sus características, proveedores y precios.
- 4.** Sería recomendable investigar las propiedades puzolánicas de la cáscara de arroz, y de otras adiciones además de la microsílíce.
- 5.** Se debe incluir al CAR y al concreto de alto rendimiento en la normatividad nacional que sirva de apoyo para su buen uso, de manera que provea un elemento más de confianza dentro del ambiente ingenieril.
- 6.** Es necesario buscar maneras de mejorar la forma de mezclado de los materiales, especialmente al usar microsílíce en polvo, ya que es difícil

manipular la microsílíce, existen pérdidas a causa de su gran fineza y volatilidad.

7. Para manipular la microsílíce en polvo se debe proteger la piel, los ojos y las vías respiratorias con una mascarilla con el filtro más fino del que se pueda disponer. Exigir las normas de seguridad emitidas por los fabricantes.

8. Para llegar a las altas resistencias especificadas, en primer lugar se debe hacer todo lo posible de alcanzarla con el uso de agregados resistentes, bien graduados, usando agregados gruesos de pequeño tamaño máximo, buscando bajas relaciones a/c con el uso de un superplastificante. La decisión de usar microsílíce debe ser posterior y de último recurso para alcanzar la resistencia objetivo, en tal caso es preferible usar cementos que puedan producir más hidróxido de calcio como el tipo V, con el que se alcanzó ampliamente mayores resistencias en edades posteriores en la experiencia de Morales (Ref. 11).

BIBLIOGRAFIA

1. P. Kumar Mehta y P.J. Monteiro, **Concreto, Estructura, Propiedades y Materiales**, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., Mexico 1998
2. Malhotra, V.M., "Innovative Applications of Superplasticizers in Concrete -A Review", **Advances in Concrete Science and Technology, Proceedings, M Collepardi Symposium, Roma, octubre de 1997**, pp. 271-314.
3. Nagataki, S., "Present State of Superplasticizers in Japan", **Fifth CANNMET / ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, SP-173, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1998**.
4. Gonzales-Isabel, G., "Hormigón de Alta Resistencia", **Instituto Técnico de Materiales y Construcciones, España**
5. Dewar J.D.; "The Indirect Tensile Strength of Concrete of High Compressive Strength". **Technical Report N° 42.377, Cement and Concrete Association, Wexham Springs, Mar. 1964, 12pp**
6. Carrasquillo, Slate, Nilson; "Properties of High Strength Concrete: Subjected to Short-Term Loading. **ACI Journal May-June 1981**
7. **Manual del ACI 2000 "Propiedades Generales del Concreto"**
8. Richard N. White, Richard D. Stehly, Alva D. Woodd, "Concreto Estructural", **ACI Capítulo Peruano, Lima 1998**.
9. **ACI, Revista "CONCRETO AL DIA" Números 26, 28**
10. Kumar Metha, "Ultimos Avances en la Tecnologia del Concreto", <http://www.imcyc.com.mx/revista/2000/octubre2000/concreto.htm>
11. Morales Patricia, "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550-1200 kg/cm²", **Tesis, Lima-UNI 2000**

12. ACI International, "Manual of Concrete Practice 2000, Part 1"
13. Acevedo Valverde, Luis Eduardo; "Propiedades Mecánicas de Concretos de Alta Resistencia", Tesis PUCP, Lima 2000
14. Isidro Romero, "Ventajas Estructurales y Económicas del Uso del Concreto de Alta Resistencia", CEMEX, México 1999.
15. Vargas Calle, Eddy; "Incorporación del Aditivo Miro-sílice F-100T Dry Emsac y el Superplastificante PSP-N2 Protex para la Obtención de Concretos de Alta Resistencia", Tesis UNI; Lima 1995
16. Acuña Valencia; "Diseño y Ensayos de Concretos de Resistencia Elevada Utilizando Cemento SOL ASTM TIPO I y Cemento Atlas ASTM I PM, con Adición de Super Plastificantes", Tesis PUCP; Lima 1997
17. ACI, "High Performance Concrete" International Conference, Ed. V.M. Malhotra, Malasia 1997.
18. Castillo, C. and Durrani, A.J., "Effect of Transient High Temperature on High Strength Concrete", ACI Materials Journal, Vol 87, N°1, Jan-Feb 1990, p. 47-53
19. Hertz, K.D., "Danish Investigations on Silica Fume Concretes at Elevated Temperatures" , ACI Material Journal, Vol 89, N° 4, July-August 1992, p. 345-347
20. "High Strength Concrete in New Buildings in Salvador, Brasil"
www.stc.com.br/leitecimiranda/highstrengthconcrete.html
21. "Silica Fume Association", www.silicafume.org/contact.html
22. "High Performance Concrete Proceedings" ACI International Conference, V.M. Malhotra Ed. , Singapore 1994
23. T.J. Pasko, Jr., and G.J. Frohnsdorff, "The United States Government's Role in High-Performance Materials for Infrastructure", ACI International Conference (High Performance Concrete), Ed. V.M. Malhorta, Singapore 1994
24. Alvarez J., "Concretos de Alta Resistencia Empleando Microsílice Sikacrete 950 y el Superplastificante Sikament FF-86", Tesis UNI, Lima, 1998

25. Aire C., "Concretos de Alta Resistencia", Tesis UNI, Lima 1985
26. Nawy E. G., "Concreto Reforzado", Prentice Hall, México 1988
27. Valois, João Guilherme Cerqueira, "O Uso do Concreto de Alta Resistência - Comentários Sobre Produção e Comportamento no Estado Fresco" (El Uso del CAR - Comentarios acerca de la Producción y Comportamiento en el Estado Fresco), Proceedings of the 1995 Annual Meeting of the Brazilian Concrete Institute, p. 567, São Paulo, SP, Brazil.
28. Azevedo, Minos Trócoli de; Silva Filho, Antônio Freitas da; Silva, Antônio Sérgio Ramos da, "Estudos e Aplicação de Concreto de Alta Resistência com Microsílica"(Studies y Aplicaciones del CAR con Microsilice), Revista IBRACON (Brazilian Concrete Institute Journal), April, 1993, p. 32, São Paulo, SP, Brazil.
29. Leite, Moacir, "The Suarez Trade Building in Salvador, Brazil, in Our World of Concrete and Structures Conference Proceedings", Japan, India and Singapore Concrete Institutes, Singapore, 1994.
30. "The Petronas Twin Towers Building", www.geocities.com/big-buildings1/petronas.html
31. L'Hermite, R.G., "Volume Changes of Concrete", Fourth International Symposium of the Chemistry of Cement, Washington D.C., 1960, p. 659-691.

ANEXOS

- **HOJAS TÉCNICAS DE ADITIVOS SIKA**
- **HOJAS TÉCNICAS DE ADITIVOS CHEMA**
- **HOJAS TÉCNICAS DE ADITIVOS MASTER BUILDERS**
- **ARCHIVOS A3E DEL ANALISIS DE PLACAS**



Sikament® NF

ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE



Aspecto : Líquido
Color : Café
Densidad : 1.21 kg/l

DESCRIPCION

Sikament NF es un aditivo superplastificante y reductor de agua de alta capacidad que produce en el concreto una consistencia superfluida o permite trabajar con una fuerte reducción de agua de amasado. No contiene cloruros, no es tóxico, cáustico ni inflamable.

CAMPO DE APLICACION

Concreto Fluido

- Reducción del tiempo de colocación del concreto.
- Colocación del concreto con una pequeña vibración en los lugares con gran cuantía de acero o pocos accesibles.
- Rapidez en la colocación del concreto bombeado.
- Trabajos de vaciado de concreto bajo el agua mediante el sistema de tolva tubo. Con relación al concreto tradicional vertido bajo el agua, el concreto con **Sikament NF** posee la ventaja de extenderse de 5 a 6 m. Sin ninguna ayuda especial.
- En morteros y lechadas de inyección.

Concreto de altas resistencias

- Aceleración del desarrollo de las resistencias mecánicas del concreto.
- Obtención de concretos compactos, impermeables y resistentes al ciclo hielo-deshielo.
- Reducción de los plazos de desencofrado, por cuanto se obtienen elevadas resistencias iniciales.
- Reducción de los tiempos de destensado en los concretos pretensados.
- Reducción de los tiempos de curado mediante tratamientos térmicos.

VENTAJAS

- Consistencia fluida sin disminución de resistencias mecánicas.
- Concreto de altas resistencias iniciales y finales debido a la fuerte reducción de agua (15%-25%).
- Incremento de la impermeabilidad, durabilidad y resistencia al ciclo hielo-deshielo.
- Confiere al concreto una superficie de excelente calidad y permite realizar formas complicadas.
- Aumento de la productividad de la faena de vaciado de concreto, facilidad de colocación, compactación y terminación superficial.
- Mejora substancialmente las características del concreto bombeado, reduciendo las presiones de bombeo y aumentando considerablemente el rendimiento del equipo.

MODO DE EMPLEO

Como Superplastificante

(Dosis de 0.5% a 1.5% del peso del cemento).

- **Sikament NF** se puede agregar diluido en el agua o para obtener un mejor resultado, al final del amasado. El concreto debe tener inicialmente la cantidad de agua necesaria para obtener un asentamiento de cono de 6-8 cm. Una vez agregado **Sikament NF** se obtiene un cono de 18-20 cm (*).
- La acción superplastificante se mantiene por 45-60 minutos. En caso de atraso en la colocación del concreto podrá agregarse una nueva dosis y remezclar para prolongar el efecto.

(*) Para un mejor resultado se recomienda que la composición del concreto sea la adecuada para concreto bombeado.

Para altas resistencias:

- (0.8% a 2% del peso del cemento) **Sikament NF** debe diluirse en el agua de amasado, la que debe reducirse entre un 10% y un 25%. Según la dosis de aditivo utilizada, hasta obtener la consistencia requerida.

CONSUMO

- Concreto fluido: 0.5% a 1.5%.
- Concreto de alta resistencia: 0.8% a 2%

ALMACENAMIENTO

Sikament NF puede almacenarse durante 1 año en su envase original cerrado bajo techo.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

Precauciones

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintéticos y anteojos de seguridad.

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos. Para mayor información, solicite la hoja de seguridad del producto al 437 7055.

PRESENTACIONES

Cilindro de 250 kg.
Bidón de 20 kg.

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado.

Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfonos: 437 7055 ó 437 5888.

ADVERTENCIA: La información y en particular, las recomendaciones sobre la aplicación y el uso de los productos Sika son proporcionados de buena fé, en base al conocimiento y experiencia técnicos de Sika respecto a sus productos., siempre y cuando estos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados, así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sus tratos y las condiciones de la obra en donde se utilizarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, o de cualquier recomendación escrita o de cualquier otro consejo, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual.

Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetadas.

Los pedidos aceptados por Sika Perú están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la venta de productos de Sika Perú S.A.

Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de Hojas Técnicas de los productos, cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado.





Sikament® FF-86

ADITIVO SUPERFLUIDIFICANTE



Aspecto : Líquido
Color : Café oscuro
Densidad : 1.22 kg/l

DESCRIPCION

Sikament FF-86 es un aditivo que confiere al concreto una consistencia fluida, dándole una gran trabajabilidad incluso con una fuerte reducción de agua de amasado. No contiene cloruros, no es tóxico, cáustico, ni inflamable. **Sikament FF-86** es un producto aniónico, que al ser absorbido por las partículas de cemento, les confiere una carga eléctrica negativa produciendo su separación, permitiendo con esto una hidratación completa de los granos de cemento, sin efecto secundario.

Sikament FF-86 se clasifica según la norma ASTM C 494-86 como tipo F.

CAMPO DE APLICACION

Concreto Fluido:

- Reducción del tiempo de colocación del concreto.
- Colocación del concreto con una ligera vibración en los lugares con gran cuantía de acero o poco accesibles.
- Rapidez en la colocación del concreto bombeado. Gracias a la acción de **Sikament FF-86** las bombas en servicio plantean menos problemas: se utilizan presiones de bombeo poco elevadas y las instalaciones son mejor aprovechadas. El concreto fluidificado une a la facilidad de colocación, la ventaja de su cohesión.
- Trabajos de vaciado de concreto bajo el agua mediante el sistema de tolva tubo. Con relación al concreto tradicional vertido bajo el agua, el concreto con **Sikament FF-86** posee la ventaja de extenderse de 5 m a 6 m sin ninguna ayuda especial.
- En morteros y lechadas de inyección
- Losas de piso
- Fundaciones
- Estructuras esbeltas con alta densidad de fierro
- Placas y columnas
- Vigas y losas

Reductor de agua:

- Elementos de concreto prefabricados
- Puentes y estructuras en voladizo
- Concreto pretensado

VENTAJAS

- Consistencia fluida sin disminución de resistencias mecánicas.
- Calidad homogénea, es decir, mínima segregación y exudación.
- Incremento de la impermeabilidad, durabilidad y resistencia al ciclo hielo-deshielo al utilizarlo en combinación con **FroBe®**.
- Confiere al concreto una superficie de excelente calidad y permite realizar formas complicadas.
- Aumento de la productividad de la faena de vaciado del concreto, facilidad de colocación, compactación y terminación superficial.

VENTAJAS

- Mejora sustancialmente las características del concreto bombeado reduciendo las presiones de bombeo y aumentando considerablemente el rendimiento del equipo.
- Concreto de altas resistencias iniciales y finales debido a la fuerte reducción de agua (20%- 25%).

DATOS TECNICOS

- Debe utilizarse entre 0°C y 35°C.
- Debe protegerse de intensos rayos solares.

MODO DE EMPLEO

a) Como fluidificante

(Dosis de 0.5% a 1.5% del peso de cemento)

Sikament FF-86 se puede agregar diluido en el agua o, para obtener un mejor resultado, al final del amasado. El concreto debe tener inicialmente la cantidad de agua necesaria para obtener un slump de 6 cm a 8 cm. Una vez agregado **Sikament FF-86** se obtiene un slump de aproximadamente 18 cm–20 cm.

La acción fluidificante se mantiene por 45 minutos a 60 minutos. En caso de atraso en la colocación del concreto, podrá agregarse una nueva dosis y remezclar para prolongar el efecto.

b) Para altas resistencias

(Dosis de 0.8% a 2% del peso de cemento)

Sikament FF-86 debe diluirse en el agua de amasado, el que debe reducirse entre un 10% y un 25%, según la dosis utilizada, hasta obtener la consistencia requerida.

CONSUMO

Como fluidificante: de 0.5% a 1.5% del peso del cemento.
Para altas resistencias: de 0.8% a 2% del peso del cemento.

OBSERVACIONES

Las resistencias mecánicas son superiores al testigo en los concretos con **Sikament FF-86** a pesar del mayor slump y de la misma relación A/C.

ALMACENAMIENTO

Sikament FF-86 puede almacenarse durante 3 años en un envase cerrado. Si se produce congelamiento, el producto debe entibiarse y agitarse antes de usar.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

Precauciones

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintéticos y anteojos de seguridad.

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos. Para mayor información, solicite la hoja de seguridad del producto al 437 7055.

PRESENTACIONES

Bidón de 20 kg
Cilindro de 230 kg o 250 kg

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfonos: 437 7055 ó 437 5888.

ADVERTENCIA: La información y en particular, las recomendaciones sobre la aplicación y el uso de los productos Sika son proporcionados de buena fé, en base al conocimiento y experiencia actuales de Sika respecto a sus productos., siempre y cuando estos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados, así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sus tratos y las condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, o de cualquier recomendación escrita o de cualquier otro consejo, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual.

Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetadas.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la venta de productos de Sika Perú S.A.

Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de Hojas Técnicas de los productos, cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado.





Sikament® 10 PLUS

SUPERPLASTIFICANTE CON RETARDO



Aspecto : Líquido
Color : Verde Oscuro
Densidad : 1.21± 0.01 kg/l.

DESCRIPCION

Sikament 10 PLUS es un superplastificante de alta potencia con efecto retardado para la elaboración de concretos y morteros.

Sikament 10 PLUS cumple con las exigencias de un aditivo para concreto de los grupos activos BV - VZ, así como de HBV - VZ según normas A del FSHBZ y SIA 162 (1989) y las normas ASTM 494 tipo G.

DATOS TECNICOS

Base : Dispersante sintético, modificado con vinílicos polimerizados

pH : 9.0± 1.0

CAMPO DE APLICACION

Con **Sikament 10 PLUS** se elaboran concretos de alta calidad con un excelente nivel de manipuleo. **Sikament 10 PLUS** se presta especialmente para transportar concreto a larga distancia, para demoras durante el transporte y para la producción del mismo en verano durante las épocas de cambio de clima. Con **Sikament 10 PLUS** se mejora notablemente la rigidez, homogeneidad y flexibilidad del concreto. Inclusive materias primas secundarias, como material de demolición, pueden ser trabajados perfectamente luego del empleo de **Sikament 10 PLUS**. La calidad de concreto alcanzada se rige por un contenido definido de cemento, por el contenido de agua del concreto fresco y por la cantidad dosificada del aditivo (**Sikament 10 PLUS**).

VENTAJAS

Con **Sikament 10 PLUS** se mejora la dispersión del cemento y al mismo tiempo se aumenta la cohesión interna del concreto. Por eso el concreto se vuelve más plástico y, por lo tanto, es más trabajable.

Se pueden lograr las siguientes ventajas con el empleo de **Sikament 10 PLUS**:

- Homogeneidad mejorada y plasticidad del concreto
- Aumento sustancial de la densidad del concreto
- Mejor impermeabilización
- Demora la carbonización del concreto
- Poca pérdida de consistencia durante tramos largos de transporte

- Poco gasto de energía durante la condensación.

Sikament 10 PLUS no contiene cloruros ni otros elementos corrosivos del acero. Puede ser empleado sin inconveniente en construcciones de acero o de concreto pretensado.

MODO DE EMPLEO

Sikament 10 PLUS se agrega al agua de amasado o se agrega junto con éste a la mezcladora. También se puede agregar a pie de obra al concreto pre-mezclado y/o se puede redosificar el concreto ya dosificado con el aditivo. En este caso hay que observar que se cumpla rigurosamente el tiempo de mezclado de 1 minuto por m³. Se debe revisar visualmente la uniformidad de la consistencia del concreto antes del vaciado.

Con el empleo de **Sikament 10 PLUS** se producen concretos de alta calidad para lo cual se deberá seguir las normas generales para la producción de un buen concreto. Igualmente se tiene que efectuar un buen tratamiento posterior del concreto fresco.

Sikament Congelado: **Sikament 10 PLUS** puede ser usado nuevamente si se descongela lentamente a temperatura ambiente y luego se mezcla intensamente

CONSUMO

Dosificación sugerida:

- Para concreto plástico: 0.6 - 1.4%
- Para concreto superplastificado: 0.8 – 1.7%

Las dosificaciones se refieren al peso del cemento

ALMACENAMIENTO

En el envase original sellado, protegido de la exposición directa a los rayos solares, así como de heladas, con temperaturas entre +1°C y 35°C: 12 meses de producido.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

Precauciones

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintéticos y anteojos de seguridad.

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos. Para mayor información, solicite la hoja de seguridad del producto al 437 7055.

PRESENTACIONES

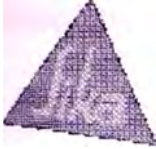
Cilindro de 230 kg
Balde x 20 kg.

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfonos: 437 7055 ó 437 5888.

ADVERTENCIA: La información y en particular, las recomendaciones sobre la aplicación y el uso de los productos Sika son proporcionados de buena fé, en base al conocimiento y experiencia actuales de Sika respecto a sus productos., siempre y cuando estos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados, así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sus tratos y las condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, o de cualquier recomendación escrita o de cualquier otro consejo, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual.

Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.
Todos los pedidos aceptados por Sika Perú están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la venta de productos de Sika Perú S.A.
Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de Hojas Técnicas de los productos, cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado.





Plastiment® VZ 95

RETARDANTE DE FRAGUA REDUCTOR DE AGUA



Aspecto : Líquido
Color : Café oscuro
Densidad : 1.30 kg/l aprox.

DESCRIPCION

Plastiment VZ 95 es un aditivo líquido, color café oscuro, retardante del tiempo de fraguado y reductor de agua.

No contiene cloruros.

CAMPO DE

APLICACION

- Vaciado de concreto en tiempo caluroso.
- Vaciado de concreto en grandes volúmenes.
- Evita juntas frías en faenas continuas.
- Concreto premezclado.
- Transporte de concreto a largas distancias.
- Concreto bombeado.

DATOS TECNICOS

Plastiment VZ 95 cumple con la Norma ASTM C - 494 como aditivo tipo D.

MODO DE EMPLEO

Adicionar el producto disuelto al agua de amasado durante la preparación de la mezcla.

CONSUMO

Del 0.1% al 0.2% del peso del cemento.

OBSERVACIONES

La dosis óptima se debe determinar mediante ensayos con los materiales y en las condiciones de la obra.

Dosificaciones superiores a las recomendadas pueden ocasionar retardos prolongados del fraguado del cemento, que no afectan la resistencia final.

ALMACENAMIENTO

Un año en sitio fresco y bajo techo en su empaque original bien cerrado.

**INSTRUCCIONES DE PRECAUCIONES
SEGURIDAD**

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintéticos y anteojos de seguridad.

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos. Para mayor información, solicite la hoja de seguridad del producto al 437 7055.

PRESENTACIONES

Cilindro de 250 kg
Galonera de 5 kg

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfonos: 437 7055 ó 437 5888.

ADVERTENCIA: La información y en particular, las recomendaciones sobre la aplicación y el uso de los productos Sika son proporcionados de buena fé, en base al conocimiento y experiencia actuales de Sika respecto a sus productos.. siempre y cuando estos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados, así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sus tratos y las condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, o de cualquier recomendación escrita o de cualquier otro consejo, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual.

Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetadas.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la venta de productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de Hojas Técnicas de los productos, cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado.





Plastiment® HE 98

ADITIVO PLASTIFICANTE RETARDANTE



Aspecto : Líquido
Color : Café
Densidad : 1.17 kg/l

DESCRIPCION

Plastiment HE 98 es un aditivo plastificante exento de cloruros que produce en el concreto un aumento considerable en su trabajabilidad respecto al **Plastiment H.E.** con una mayor reducción en la relación A/C.

CAMPO DE

Plastiment HE 98 es un aditivo de uso universal y su empleo es recomendable en todos los concretos de obras civiles, edificaciones, prefabricados y, en general, en toda obra de concreto donde:

APLICACION

- Se exija un concreto de calidad.
- Se tenga que elaborar elementos esbeltos y/o de alta cuantía de acero.
- Se requiera superficies en concreto caravista.
- Se necesite facilitar las labores de colocación.

VENTAJAS

- Mejora la trabajabilidad en el concreto fresco, facilitando las labores de colocación de éste.
- Permite reducir el agua de amasado en el concreto produciendo incrementos en las resistencias mecánicas.
- Aumento de la impermeabilidad.
- Disminución de las retracciones.
- No contiene cloruros.
- Colocación del concreto con una ligera vibración en los lugares con gran cuantía de acero o poco accesible.
- Rapidez en la colocación del concreto bombeado gracias a la mejora de su trabajabilidad (slump).

MODO DE EMPLEO

Plastiment HE 98 se utiliza diluido en el agua de amasado del concreto de acuerdo a la dosificación prescrita.

Se recomienda no preparar soluciones de antemano, por cuanto el aditivo tiene mayor densidad que el agua.

Si no se dispone de dosificadores de aditivo, debe emplearse un recipiente con la medida exacta para cada amasado.

CONSUMO

La dosis varía aproximadamente entre 0.3% a 0.7% del peso del cemento según el efecto deseado.

ALMACENAMIENTO

Se puede almacenar por 1 año en su envase original cerrado, sin deterioro si se mantiene en un lugar fresco y bajo techo.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

Precauciones
Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintéticos y anteojos de seguridad.

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos. Para mayor información, solicite la hoja de seguridad del producto al 437 7055.

PRESENTACIONES

Balde de 20 kg
Cilindro de 235 kg

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfonos: 437 7055 ó 437 5888.

ADVERTENCIA: La información y en particular, las recomendaciones sobre la aplicación y el uso de los productos Sika son proporcionados de buena fé, en base al conocimiento y experiencia actuales de Sika respecto a sus productos., siempre y cuando estos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados, así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sus tratos y las condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, o de cualquier recomendación escrita o de cualquier otro consejo, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual.

Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetadas.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la venta de productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de Hojas Técnicas de los productos, cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado.





Sika® Fume

ADITIVO PARA CONCRETO Y MORTERO BAJO EL AGUA

Aspecto : Polvo
 Color : Gris
 Densidad : 0.3 kg/l

DESCRIPCION

Sika Fume es un aditivo en polvo compuesto por microsílíce (Sílica Fume) de alta calidad y que acondicionado a la mezcla de concreto o mortero, disminuye el lavado del cemento en el vaciado de la mezcla bajo agua. **Sika Fume** no contiene cloruros y puede utilizarse en concretos y morteros en conjunto con un superplastificante para obtener la fluidez necesaria para la colocación del concreto.

CAMPO DE APLICACION

- En el concreto bajo agua en puertos, puentes, presas, reparaciones, rellenos, entre otros.
- En concretos de alta impermeabilidad y durabilidad.
- En concretos de alta resistencia (mayor a 500 kg/cm²).
- En concretos bombeados y proyectados.
- En morteros y lechadas de inyección.

VENTAJAS

- Disminuye la pérdida de cemento y elementos finos.
- Aumenta la resistencia mecánica.
- Aumenta la impermeabilidad.
- Aumenta la resistencia química.
- Aumenta la adherencia al acero.
- Permite utilizar mezclas altamente fluidas con alta cohesión.
- Aumenta la cohesión y disminuye la exudación de la mezcla fresca.
- Aumenta la durabilidad frente a agentes agresivos.
- Aumenta la resistencia mecánica.
- Aumenta la resistencia a abrasión.

DATOS TECNICOS

| | |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| Blame (superficie específica) | 180 000 – 200 000 cm ² /g |
| Gravedad específica | 2.2 |
| Finura (diámetro promedio) | 0.1 – 0.2 um |
| Porcentaje pasando 45 um | 95 – 100 % |
| Partícula | Esférica |
| Forma | Amorfa |

MODO DE EMPLEO

Sika Fume se puede mezclar con **Sikament FF-86** o **Sikament 10** en dosis de 1% a 2% del peso del cemento. La dosificación del concreto se realiza de acuerdo a la práctica normal para concreto bajo agua o para la aplicación específica que se requiera.

La utilización conjunta de ambos productos asegura las características de cohesión, adherencia y resistencia en el concreto bajo agua.

Sika Fume se adiciona a la mezcladora junto con el cemento o la arena. El aditivo **Sikament** se agrega diluido en el agua de amasado.

CONSUMO

Sika Fume puede utilizarse en dosis de aproximadamente 10 % del peso del cemento. Se recomienda realizar ensayos previos para definir el consumo exacto.

ALMACENAMIENTO

Se puede almacenar durante un año en su envase original cerrado en un lugar fresco y bajo techo.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD**Precauciones**

Durante la manipulación de cualquier producto químico evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Se recomienda el uso de guantes de goma natural o sintética, anteojos de seguridad y mascarilla con filtro para polvo.

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos. Para mayor información, solicite la hoja de seguridad del producto al 437 7055.

PRESENTACIONES

Bolsa de 20 kg

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado.

Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfonos: 437 7055 ó 437 5888.

ADVERTENCIA: La información y en particular, las recomendaciones sobre la aplicación y el uso de los productos Sika son proporcionados de buena fé, en base al conocimiento y experiencia actuales de Sika respecto a sus productos., siempre y cuando estos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados, así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sus tratos y las condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, o de cualquier recomendación escrita o de cualquier otro consejo, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual.

Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetadas.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la venta de productos de Sika Perú S.A.

Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de Hojas Técnicas de los productos, cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado.



CHEMAPLAST

Aditivo plastificante para obtener mayor asentamiento o trabajabilidad del concreto o mortero.

DESCRIPCION

El CHEMAPLAST si bien es básicamente un plastificante, tiene además otras propiedades. Satisface las especificaciones ASTM C-494 tipo A. es un concentrado de color marrón listo para usarse, fabricado a base de agentes dispersantes de alta eficacia estando exento de cloruros, no siendo tóxico ni corrosivo.

Hace posible diseñar mezclas de concreto de fácil colocación con un contenido hasta 10% menor de agua, trayendo a su vez el aumento correspondiente en la resistencia a la compresión y durabilidad del concreto.

USOS

En concretos estructurales de edificaciones y en elementos esbeltos.

En concreto caravista.

En concretos pretensados y postensados.

En concretos para elementos pre-fabricados: postes, buzones, cajas, tuberías, etc.

En concretos para pavimentos y puentes.

En concretos que deben ser desencofrados a temprana edad.

En concretos de reparación en general.

En construcciones frente al mar se recomienda usarlos desde los cimientos y en el mortero de asentamiento y en los de tarrajeo.

En esculturas de concreto.

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS

Peso específico 1.08 gr/cc

Color marrón oscuro

Aspecto líquido

Solubilidad con agua

Efecto fisiológico en contacto con los ojos lavarse con abundante agua.

VENTAJAS

El concreto tratado con CHEMAPLST tendrá las siguientes propiedades:

MEJOR ACABADO: La plastificación permite tener un mejor acabado, por lo tanto, aumenta la durabilidad.

AUMENTA LA TRABAJABILIDAD: y facilidad de colocación del concreto en elementos con alta densidad de armadura sin necesidad de aumentar la relación agua/cemento.

DISMINUCION DE LA CONTRACCION DEBIDO A LA MEJOR RETENCION DEL AGUA: Así como mayor aglomeración interna del concreto en estado plástico.

AUMENTA LA RESISTENCIA A LA COMPRESION: y flexión, mejora la adherencia del fierro de construcción.

AUMENTA LA HERMETICIDAD AL AGUA: impermeabilizándolo y produciendo mayor resistencia a la penetración del humedad y por consiguiente al ataque de sales.

AUMENTA LA DURABILIDAD hasta un 100% adicional, debido a su alto grado de resistencia al salitre, sulfatos y cloruros.

PRECAUCION

Añada el CHEMAPLAST al agua de la mezcla sin combinarla con otros aditivos. Consúltenos sobre su compatibilidad.

DOSIFICACION

Para condiciones promedio, temperaturas, diseño, etc. use:

Como PLASTIFICANTE:

130 A 250 cc por bolsa de cemento Portland en el agua de amasado.

Como IMPERMEABILIZANTE:

250 cc por bolsa de cemento Portland en el agua de amasado.

Como ACELERANTE:

130 cc por bolsa de cemento Portland en el agua de amasado, debiendo realizarse pruebas previas.

ENVASES

01 galón

05 galones (lata)

55 galones (cilindro)

CHEMA PLAST RET

Líquido retardador de fragua del concreto, plastificante, reductor de agua e impermeabilizante con alta ganancia en la resistencia a la compresión.

DESCRIPCION

Es un líquido color marrón que retarda el proceso de fraguado del concreto y mezclas cementosas. Al mismo tiempo permite reducir la cantidad de agua de amasado. Satisface las especificaciones ASTM-494 Tipo D

Debido a la mayor plasticidad que da a las mezclas, produce una mayor conglomeración con el resultado de mayor impermeabilidad y aumento importante de la resistencia a la compresión. Viene listo para usarse, bien sea en la planta de mezcla o directamente en la obra.

NO CONTIENE CLORUROS.

USOS

Fundamentalmente retarda la hidratación del cemento con lo cual es posible alargar los tiempos de fragua de acuerdo con los requisitos de la Obra. Asimismo su efecto plastificante hace posible reducir alrededor de 10% la cantidad de agua de amasado, obteniéndose importante mejoras en las características físicas y mecánicas del concreto.

Con el aumento de plasticidad se mejora la conglomeración que aumenta la impermeabilidad y la resistencia a la compresión y resistencia a la corrosión.

VACIADO DEL CONCRETO EN TIPO CALUROSO

Se utiliza el CHEMA PLAST RET, para evitar fraguados prematuros, regulando el retardo en el tiempo de fragua, se evitará el recalentamiento del concreto por la reacción exotérmica del fraguado normal.

Al usar menor cantidad de agua, también se obtendrá una menor contracción en el fraguado del concreto. Al aumentar el tiempo de fragua se da mayor tiempo para el vaciado evitando juntas frías y también mayor tiempo para dar al concreto el acabado deseado.

CONCRETO PRE-FABRICADO Y PRE-TENSADO

El uso del CHEMA PLAST RET en las mezclas con alto contenido del cemento que se necesita en los concretos para pre-fabricados y pre-tensados da el tiempo necesario para colocar, vibrar y acabar debidamente el concreto, como produce una ganancia temprana de resistencia a la compresión, después del curado con vapor se podrá desmoldar o distensionar antes, lo que permitirá usar nuevamente los moldes y camas.

CONCRETO ESTRUCTURAL

Al usar el CHEMA PLAST RET, en elementos tales como: techos, cubiertas de puentes y ciertas losas se eliminarán las rajaduras producidas por deflexión y contracción que son evitadas por la fragua retardada y controlada por el CHEMA PLAST RET.

En estos casos el CHEMA PLAST RET previene las juntas frías que e podría producir por interrupción en el suministro del concreto a la obra.

VENTAJAS

El CHEMA PLAST RET, da una retardación inicial precisa y controlable.

Mejora la trabajabilidad del concreto.

Permite reducir la cantidad de agua de amasado obteniéndose un concreto de alta densidad, más conglomerado y por lo tanto mayor durabilidad e impermeabilidad.

Produce una ganancia temprana de resistencia a la compresión y una mayor resistencia final.

Disminuye la temperatura de hidratación, dando como resultado un menor cambio de volumen.

Mejora la adherencia del concreto a la armadura metálica.

APLICACIÓN

El CHEMA PLAST RET, se añade directamente al agua de amasado. No debe ser combinado con el cemento puro. Se puede añadir la dosificación de este producto directamente en la planta de mezcla.

DOSIFICACION

Dependerá de las condiciones de trabajo y temperaturas.

Se recomienda las siguientes dosis por bolsa de cemento:

TEMPERATURAS DOSIFICACION

De 18 a 28° C 250 cc.

De 28 a 38° C 450 cc.

RETARDACION

Con la dosificación anteriormente indicada se obtendrá un retardo en el fraguado aproximadamente 33% mayor que el que se obtendrá con el concreto sin ningún tipo de retardador. El valor de la retardación que se obtenga depende del tipo de cemento usado, la relación agua-cemento, o asentamiento, temperaturas de la mezcla y volumen relativo al vaciado. Cuando se añade en la planta de mezcla, en general, se producirá un efecto de retardación de aproximadamente 20% mayor, lo cual significa un aumento del tiempo inicial de fragua de 55% comparado con concreto sin retardador.

El uso excesivo del CHEMA PLAST RET no producirá daños al concreto sino una mayor retardación del fraguado.

DISEÑO DE MEZCLA

Para obtener un asentamiento (slump) dado:

Cuando se usa este producto habrá que reducir el contenido de agua del 10 - 15% a fin de mantener el asentamiento del diseño normal de mezcla. Podrá mantenerse igual si se desea, aumentando el agregado para reemplazar el agua que se ha disminuido.

COMPATIBILIDAD DEL ADITIVO

Consulte con nuestro departamento técnico cuando necesite usarlo con otros aditivos.

ENVASES

01 galón

01 bidón (5 gal)

01 cilindro (55 gal)



Sección 3 - Concreto

ADITIVOS

| FAMILIA DE PRODUCTOS | PROPIEDADES DEL CONCRETO PLASTICO | | | | | | | | | | | | | | PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO | PROPIEDADES ESPECIALES | APLICACION PRINCIPAL | | | | |
|--|-----------------------------------|------------|---------|---------|-------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|----------------------|--------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|---|
| | ASTM - C 494 | 40 o menos | 41 a 45 | 46 a 50 | 2.5 a 10 cm | 12.5 a 20 cm | 20 y 27.5 cm | Retención de asentamiento | Bombabilidad | Facilidad de acabado | Tiempo de fraguado | Reducción de retracción plástica | Reducción de retracción por secado | Durabilidad a hielo/deshielo | | | | Reducción permeabilidad | Resistencia a corrosión | Alta resistencia a sulfatos | Alta resistencia química |
| Aditivos de Agua Adicionales POZZOLITH | A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Concreto comercial, residencial, prefabricado |
| Aditivos de Agua de rango POLYHEED | A & F | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Concreto bombeado, acabado superior del concreto, etc. |
| Reducentes de agua PLASTIFICANTES (BUILD) | F & G | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Estacionamientos, plantas de tratamiento de agua, concreto prefabricado |
| Retardadores POZZOLITH, UTEC 20 | C & E | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Concreto comercial, residencial, prefabricado |
| Retardadores POZZOLITH, HEED | B & D | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Concreto comercial, residencial, prefabricado |
| Incluidores de Aire O AIR, MB AE90, MBVR | ASTM C 260 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Cualquier concreto expuesto a ciclos de hielo/deshielo |
| Resistente al Cloruro SÍLICO (DMAC SF 100) | ASTM C 1240 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Estacionamientos, tableros de puentes, ambientes marinos |
| Resistente a la Corrosión (CRETE 222+) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Estacionamientos, ambientes marinos, etc. |
| Resistente a la Corrosión (CRETE CNI) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Estacionamientos, ambientes marinos, etc. |
| Reducción de Retracción (AGUARD AS20) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Estacionamientos, ambientes marinos, etc. |
| Resistente Bajo el Agua (DMAC UW 450) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Concreto bajo el agua |
| Control de Hidratación (O STABILIZER, DELVO ESC) | B & D | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Concreto devuelto, control de temperatura, agua de lavado |
| Concreto Celular (CELLFILL, CELLFILLHEOFILL) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Repleno fluido concreto ultra ligero |
| Resistente a la Corrosión (RESMESH) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Concreto residencial y comercial |

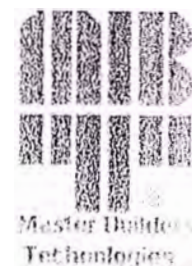
Nota: N = Fraguado normal, A = Acelerador de fraguado, R = Retardador de fraguado. ● = Bueno ▲ = Mejor = En Mejor. Para mayor durabilidad a los ciclos de hielo/deshielo, se recomienda usar siempre aditivos: incluidores de aire, junto con los aditivos reductores de agua.

ADITIVOS PLASTIFICANTES

| FAMILIA DE PRODUCTOS | Consistencia | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|------------------|---------|--------|----------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------|
| | Grout de precisión | Grout de construcción | Agregado metálico | Agregado Mineral | Líquida | Fluida | Plástica | Amplio tiempo de colocación | Remoción temprana del Encofrado | Espesor menor de 2.25 cm | Grout de Canchales |
| STERFLOW | | | | | | | | | | | |
| MORTAR | | | | | | | | | | | |
| VELICO BECO | | | | | | | | | | | |

ADITIVOS PLASTIFICANTES

| FAMILIA DE PRODUCTOS | Resistencia | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------|------------------------|---------------------|--------------------------------|----------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-----------------|
| | Vaciado de Alto Espesor | Espesor de 2.25 cm menor | Base de máquina | Anclaje de pernos | Altas cargas dinámicas | Resistencia química | Adhesión a superficies húmedas | Promedio | Excelente | Buena | Excelente | Buena | Excelente | Area de soporte |
| STERFLOW | | | | | | | | | | | | | | |



RHEOBUILD® 1000

Aditivo para Producir Concreto Rheoplástico

DESCRIPCION:

El RHEOBUILD 1000 es un aditivo reductor de agua de alto rango y es parte de una línea completa de aditivos RHEOBUILD para producir concreto rheoplástico. El concreto rheoplástico fluye fácilmente, manteniendo una alta plasticidad por un período de tiempo inigualable por cualquier otro aditivo superplastificante. Aún así, conserva la baja relación agua/cemento de un concreto sin asentamiento y sin aditivo. Las características de retención de plasticidad del concreto rheoplástico permiten añadir el RHEOBUILD 1000 en la planta de concreto. Este aditivo líquido, listo para usarse, cumple con las especificaciones de las normas ASTM C-494 para aditivos tipo A y F.

CARACTERISTICAS Y BENEFICIOS:

En el concreto plástico:

El RHEOBUILD 1000 ayuda a la producción de concreto con las siguientes características especiales:

- * Rango de plasticidad de 200 a 280 mm
- * Plasticidad mantenida durante un tiempo mayor
- * Tiempo de fraguado controlado
- * Cohesivo y sin segregación
- * Mínimo sangrado.

En el concreto endurecido:

A través de una mejor eficiencia en la hidratación del cemento, menor dependencia de la consolidación de energía y ajustes en las proporciones de la mezcla; el concreto producido con RHEOBUILD 1000 proporciona las siguientes características:

El RHEOBUILD 1000 es compatible con cementos Portland que cumplan las especificaciones ASTM, AASHTO, o CRD. Cuando se requiere de un concreto resistente a ciclos de hielo y deshielo, se recomienda el uso del RHEOBUILD 1000 y un aditivo inclusor de aire de MBT. El RHEOBUILD 1000 puede usarse como un aditivo único o como un componente de un sistema de aditivos de MBT. Sin embargo, cuando se use con otro aditivo, cada uno debe dosificarse por separado en la mezcla.

El RHEOBUILD no promueve la corrosión del acero de refuerzo en el concreto, no daña al concreto presforzado, o el concreto vaciado en sistemas de losas y techos hechos de acero galvanizado. En el proceso de manufactura del RHEOBUILD 1000 no se usa cloruro de calcio ni ningún otro ingrediente a base de cloruros. En todas sus aplicaciones, el RHEOBUILD 1000 contiene menos del límite máximo de iones de cloruro aceptado

- * Se producen mejores resistencias iniciales que con otros aditivos superplastificantes convencionales
- * Mayor resistencia a la compresión
- * Mayor módulo de elasticidad
- * Baja permeabilidad y alta durabilidad
- * Menores retracciones
- * Confiabilidad en la integridad estructural del elemento terminado

Los beneficios económicos son a corto y largo plazo, y se aplican a todos los involucrados en la producción y uso del concreto. El uso del concreto rheoplástico ahorra tiempo en la obra y costos a través de una mayor productividad. La alta resistencia lograda por el concreto rheoplástico permite usar métodos de construcción más rápidos.

Finalmente, el concreto rheoplástico permite cambios en las especificaciones de ingeniería, ya que es factible aumentar los límites de calda libre del concreto fresco, los espesores de vaciados sucesivos y la temperatura del concreto, así como ajustes económicos en las mezclas.

USOS RECOMENDADOS:

El RHEOBUILD 1000 se recomienda en concretos donde se desean características de fraguado normal, alta plasticidad y desarrollo rápido de resistencias.

Como resultado de las características y beneficios anteriores, éste aditivo mejora el desempeño del concreto pretensado, prefabricado y rheoplástico.

MODO DE EMPLEO:

Ya que el RHEOBUILD 1000 incrementa la retención del asentamiento, esto permite que sea dosificado en la planta de concreto, a diferencia de otros aditivos reductores de agua que necesitan dosificarse en la obra.

NOTA: Para aplicaciones específicas del RHEOBUILD 1000, consulte a su representante de MBT.

TIEMPO DE COLOCACION:

El concreto con RHEOBUILD 1000 puede mantener el estado rheoplástico (200-280 mm) hasta por dos horas. La duración exacta de la trabajabilidad depende no solo de la temperatura, sino también del tipo de cemento, la naturaleza de los agregados y el método de transporte del concreto. Se insiste que el concreto sea curado adecuadamente.

VELOCIDAD DE FRAGUADO:

menos del límite máximo de iones de cloruro aceptado por los estándares de la industria.

DOSIFICACION:

El RHEOBUILD 1000 normalmente se recomienda en un rango de .65 a 1.6 litros por cada 100 kg de material cementicio, dependiendo de su aplicación, de la aceleración de la obtención de resistencias requeridas y del incremento en el asentamiento deseado.

La dosificación arriba indicada se aplica a la mayoría de las mezclas de concreto con ingredientes comunes. Sin embargo, las variaciones de las condiciones de la obra y de los ingredientes tales como microsilica, pueden hacer necesarias algunas dosificaciones fuera del rango recomendado.

En estos casos, consulte a su representante de MBT.

El RHEOBUILD 1000 produce un tiempo de fraguado normal a través del rango de dosificación recomendado. El tiempo de fraguado depende de la composición física y química de los ingredientes del concreto, su temperatura y las condiciones climáticas. Deben realizarse ensayos con los materiales locales para determinar la dosificación adecuada para el tiempo de fraguado y resistencias deseadas.

ENVASE:

El RHEOBUILD 1000 se suministra en tambores de 208 litros y a granel.

PRECAUCION:

Si el RHEOBUILD 1000 se congela, llévese a una temperatura de 7 °C o más, y agítese hasta que esté completamente reconstituido. No use aire a presión para agitarlo.

DISTRIBUIDORES:

MBT Argentina

Tel. 54-1-459-5065
Fax. 54-1-459-5066

MBT Brasil

Tel. 55-11-5506-4191
Fax. 55-11-5506-2678

MBT Chile

Tel. 56-2-739-0162
Fax. 56-2-739-0163

MBT Colombia

Tel. 57-1-217-3332
Fax. 57-1-321-7513

MBT México, S.A. de C.V.

Tel. 52-5-557-5544
Fax. 52-5-395-7903

Master Builders, Inc.

Tel. (787) 731-8080
Fax. (787) 731-8040

MBT Venezuela C.A.

Tel. 58-2-762-5471/75
Fax. 58-2-761-7001

GUATEMALA

Tecnomaster S.A.
Tel. 50-2-337-2665

HONDURAS

Mastercon
Tel. 50-4-556-9344

PERU

Unicon
Tel. 51-1-275-2874

ECUADOR

Concretesa
Tel. 59-3-566-011

PANAMA

Refrigas y Aditivos
Tel. 50-7-229-4144

BOLIVIA

ReadyMix S.A.
Tel. 591-2-316-918

COSTA RICA

Balbeck S.A.
Tel. 506-283-1792



Master Builders
Technologies

POLYHEED® RI

Aditivo de agua de rango medio y retardante

DESCRIPCION:

POLYHEED RI es un aditivo retardante, reductor de agua de medio rango, multi-componente y libre de cloruros formulado para producir:

1. Una verdadera reducción de agua de medio rango (5 a 15%) y un excelente desempeño a través de un amplio rango de asentamiento, especialmente el rango difícil de 150 a 200 mm de asentamiento en el concreto.
2. Aumenta el tiempo de fraguado del concreto a lo largo del rango de dosificación recomendado.
3. Mejor calidad en trabajabilidad, bombeabilidad y acabado aún en mezclas de concreto con bajas cantidades de materiales cementicios y/o mezclas que contengan cenizas volantes.
4. Desarrollo de resistencias comparable con los aditivos reductores y retardantes en todas las edades.
5. Mejor desempeño con un amplio rango de cementos, cenizas volantes, escorias granuladas y agregados (incluyendo la grava y las arenas manufacturadas).

POLYHEED RI cumple con los requisitos de la norma ASTM C494 para aditivos retardantes Tipo B y reductores de agua y retardantes Tipo D, específicamente:

- Reduce el contenido de agua para un asentamiento dado.
 - Mejores características del tiempo de fraguado.
 - Incremento en el desarrollo de las resistencias a la compresión y a la flexión en todas las edades.
 - Mejoramiento en la durabilidad del concreto al daño ocasionado por congelamiento y deshielo.
- Reducción de contracciones.

VENTAJAS:

POLYHEED RI ayuda a la producción de un concreto de calidad proporcionando las siguientes ventajas especiales:

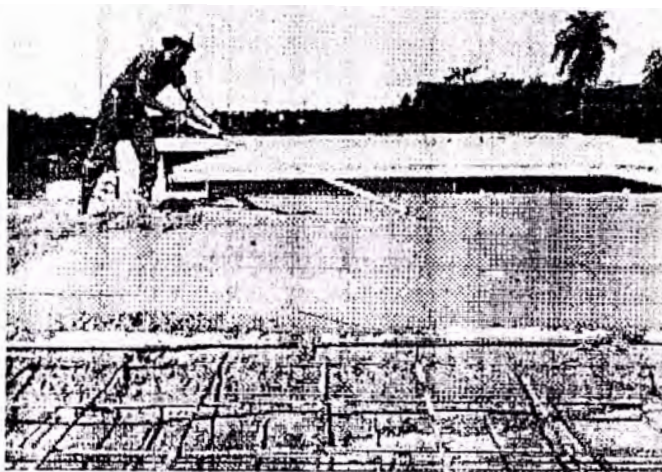
Trabajabilidad y bombeabilidad superior en aplicaciones en clima caluroso.

Reduce la segregación.

Mejores características de acabado en pisos y en cualquier aplicación donde se utilice encofrado.

Desempeño consistente en concretos con asentamiento bajo, medio rango de asentamiento de 150 a 200 mm y alto asentamiento del concreto.

POLYHEED RI resulta efectivo ya sea como un aditivo único o como parte de un sistema de aditivos de MBT.



CARACTERISTICAS DE DESEMPEÑO:

DATOS DE LA MEZCLA:

305 kg de cemento Tipo I por m³. Asentamiento de 114 mm, sin aire incluido. Temperatura del concreto 32 °C, temperatura ambiente 32 °C.

Tiempo de Fraguado¹

| <u>Mezcla</u> | <u>Fraguado</u> <u>Inicial</u> | <u>Diferencia</u> <u>Hrs:Mins</u> |
|---------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| | <u>Hrs:Mins</u> | |
| Normal | 3:44 | |
| POLYHEED RI | | |
| 195 ml/100 kg | 3:55 | +0:11 |
| 390 ml/100 kg | 5:22 | +1:38 |
| 585 ml/100 kg | 8:33 | +4:49 |

Resistencia a la Compresión - 7 Días

| <u>Mezcla</u> | <u>MPa %</u> | | <u>28 Días</u> <u>MPa %</u> | |
|---------------|--------------|----------|--------------------------------|----------|
| | <u>MPa</u> | <u>%</u> | <u>MPa</u> | <u>%</u> |
| Normal | 19.8 | 100 | 28.3 | 100 |
| POLYHEED RI | | | | |
| 195 ml/100 kg | 23.9 | 120 | 29.3 | 111 |
| 390 ml/100 kg | 25.2 | 127 | 31.9 | 121 |
| 585 ml/100 kg | 28.5 | 144 | 35.9 | 137 |

¹ NOTA: Los datos arriba mostrados están basados en pruebas controladas de laboratorio. Se pueden esperar variaciones con respecto a estos resultados por las condiciones de la obra y de los materiales.

Juntos Construyendo el Futuro®

SKW-MBT
CONSTRUCTION CHEMICALS



USOS RECOMENDADOS:

POLYHEED RI se recomienda en todo concreto donde se desee extender el fraguado, trabajabilidad y acabados superiores, especialmente en climas cálidos.

POLYHEED RI es particularmente efectivo en asentamientos de medio rango (150 a 200 mm).

Las pruebas de campo han mostrado un mejoramiento consistente en trabajabilidad, bombeabilidad y acabado en comparación con los aditivos reductores y retardantes convencionales.

Como resultado de los beneficios anteriores, POLYHEED RI mejora el concreto bombeado, reforzado, de peso ligero y el colado convencionalmente. POLYHEED RI puede usarse en concreto arquitectónico y concreto con color.

POLYHEED RI puede usarse con aditivos inclusores de aire, siempre que satisfagan las especificaciones ASTM, AASHTO y CRD. Se recomienda utilizar aditivos inclusores de aire MBT. Cuando se vaya a utilizar POLYHEED RI con otro aditivo, cada uno debe dosificarse por separado en la mezcladora.

DOSIFICACION:

POLYHEED RI se recomienda en un rango de 200 a 800 ml por cada 100 kg de cemento, en la mayoría de las mezclas de concreto para clima caluroso.

MBT no recomienda usar dosificaciones fuera del rango establecido sin antes realizar ensayos. Consulte a su representante MBT para determinar el rango de dosificación óptimo.

ENVASE:

POLYHEED RI se suministra en tambores de 208 litros y a granel.

PRECAUCION:

Si POLYHEED RI se congela, llévese a una temperatura se 2°C o más, y agítese hasta que esté completamente reconstituido. No use aire a presión para agitarlo. SIN CLORUROS, SIN CORROSION:

POLYHEED RI no contiene cloruro de calcio añadido ni algún otro agente químico que contenga cloruros. Por lo tanto POLYHEED RI no inicia o provoca la corrosión del acero de refuerzo del concreto.

TIEMPO DE ALMACENAJE:

En su envase original cerrado y almacenado en un sitio fresco y seco, POLYHEED RI mantiene sus propiedades durante un mínimo de 12 meses.

Para mayor información sobre POLYHEED RI dirijase a su representante local MBT.

MBT Argentina

Avenida Vergara 2532
1688 Santos Tesei, Hurlingham
Prov. de Buenos Aires
Argentina
Tel. 54-1-459-5065
Fax. 54-1-459-5066

MBT Brasil

Avenida Eng. Luis Carlos Berrini
1178-12° Floor
CEP 04571-010, Brooklin
Sao Paulo
Tel. 55-11-5506-4191
Fax. 55-11-5506-2678

MBT Chile

Parque Industrial Aeropuerto
Los Coigues 701, Módulo 8
Quilicura, Santiago de Chile
Tel. 56-2-739-0162
Fax. 56-2-739-0163

MBT Colombia

Calle 76 No. 13-27
Santa Fé de Bogotá, D.C.
Tel. 57-1-217-3332
Fax. 57-1-321-7513

MBT México, S.A. de C.V.

Blvd. Manuel Avila Camacho 80
3er. Piso
53390 Naucalpan
Estado de México
Tel. 52-5-557-5544
Fax. 52-5-395-7903

Master Builders, Inc.

Calle Sierra Morena
178 La Cumbre
San Juan, Puerto Rico 00926
Tel. (787) 731-8080
Fax. (787) 731-8040

MBT Venezuela C.A.

Centro Comercial Liberalador, PH-3
entre C. Negrín y Ave. Los Jabillos
Caracas 1050
Tel. 58-2-762-5471/75
Fax. 58-2-761-7001

DISTRIBUIDORES:

GUATEMALA

Tecnomaster S.A.
Tel. 50-2-331-0849

HONDURAS

Mastercon
Tel. 50-4-556-9341

PERU

Unicon
Tel. 50-6-286-0717

ECUADOR

Concretesa
Tel. 59-3-566-011

PANAMA

Refrigas y Aditivos
Tel. 50-7-229-4144

RHEOBUILD® 1000

Aditivo para Producir Concreto Rheoplástico

DESCRIPCION:

El RHEOBUILD 1000 es un aditivo reductor de agua de alto rango y es parte de una línea completa de aditivos RHEOBUILD para producir concreto rheoplástico. El concreto rheoplástico fluye fácilmente, manteniendo una alta plasticidad por un período de tiempo inigualable por cualquier otro aditivo superplastificante. Aún así, conserva la baja relación agua/cemento de un concreto sin asentamiento y sin aditivo. Las características de retención de plasticidad del concreto rheoplástico permiten añadir el RHEOBUILD 1000 en la planta de concreto. Este aditivo líquido, listo para usarse, cumple con las especificaciones de las normas ASTM C-494 para aditivos tipo A y F.

CARACTERISTICAS Y BENEFICIOS:

En el concreto plástico:

El RHEOBUILD 1000 ayuda a la producción de concreto con las siguientes características especiales:

- * Rango de plasticidad de 200 a 280 mm
- * Plasticidad mantenida durante un tiempo mayor
- * Tiempo de fraguado controlado
- * Cohesivo y sin segregación
- * Mínimo sangrado.

En el concreto endurecido:

A través de una mejor eficiencia en la hidratación del cemento, menor dependencia de la consolidación de energía y ajustes en las proporciones de la mezcla; el concreto producido con RHEOBUILD 1000 proporciona las siguientes características:

El RHEOBUILD 1000 es compatible con cementos Portland que cumplan las especificaciones ASTM, AASHTO, o CRD. Cuando se requiere de un concreto resistente a ciclos de hielo y deshielo, se recomienda el uso del RHEOBUILD 1000 y un aditivo inclusor de aire de MBT. El RHEOBUILD 1000 puede usarse como un aditivo único o como un componente de un sistema de aditivos de MBT. Sin embargo, cuando se use con otro aditivo, cada uno debe dosificarse por separado en la mezcla.

El RHEOBUILD no promueve la corrosión del acero de refuerzo en el concreto, no daña al concreto presforzado, o el concreto vaciado en sistemas de losas y techos hechos de acero galvanizado. En el proceso de manufactura del RHEOBUILD 1000 no se usa cloruro de calcio ni ningún otro ingrediente a base de cloruros. En todas sus aplicaciones, el RHEOBUILD 1000 contiene menos del límite máximo de iones de cloruro aceptado

- * Se producen mejores resistencias iniciales que con otros aditivos superplastificantes convencionales
- * Mayor resistencia a la compresión
- * Mayor módulo de elasticidad
- * Baja permeabilidad y alta durabilidad
- * Menores retracciones
- * Confiabilidad en la integridad estructural del elemento terminado

Los beneficios económicos son a corto y largo plazo, y se aplican a todos los involucrados en la producción y uso del concreto. El uso del concreto rheoplástico ahorra tiempo en la obra y costos a través de una mayor productividad. La alta resistencia lograda por el concreto rheoplástico permite usar métodos de construcción más rápidos.

Finalmente, el concreto rheoplástico permite cambios en las especificaciones de ingeniería, ya que es factible aumentar los límites de caída libre del concreto fresco, los espesores de vaciados sucesivos y la temperatura del concreto, así como ajustes económicos en las mezclas.

USOS RECOMENDADOS:

El RHEOBUILD 1000 se recomienda en concretos donde se desean características de fraguado normal, alta plasticidad y desarrollo rápido de resistencias.

Como resultado de las características y beneficios anteriores, éste aditivo mejora el desempeño del concreto pretensado, prefabricado y rheoplástico.

MODO DE EMPLEO:

Ya que el RHEOBUILD 1000 incrementa la retención del asentamiento, esto permite que sea dosificado en la planta de concreto, a diferencia de otros aditivos reductores de agua que necesitan dosificarse en la obra.

NOTA: Para aplicaciones específicas del RHEOBUILD 1000, consulte a su representante de MBT.

TIEMPO DE COLOCACION:

El concreto con RHEOBUILD 1000 puede mantener el estado rheoplástico (200-280 mm) hasta por dos horas. La duración exacta de la trabajabilidad depende no solo de la temperatura, sino también del tipo de cemento, la naturaleza de los agregados y el método de transporte del concreto. Se insiste que el concreto sea curado adecuadamente.

VELOCIDAD DE FRAGUADO:

menos del límite máximo de iones de cloruro aceptado por los estándares de la industria.

DOSIFICACION:

El RHEOBUILD 1000 normalmente se recomienda en un rango de .65 a 1.6 litros por cada 100 kg de material cementicio, dependiendo de su aplicación, de la aceleración de la obtención de resistencias requeridas y del incremento en el asentamiento deseado.

La dosificación arriba indicada se aplica a la mayoría de las mezclas de concreto con ingredientes comunes. Sin embargo, las variaciones de las condiciones de la obra y de los ingredientes tales como microsilica, pueden hacer necesarias algunas dosificaciones fuera del rango recomendado.

En estos casos, consulte a su representante de MBT.

El RHEOBUILD 1000 produce un tiempo de fraguado normal a través del rango de dosificación recomendado. El tiempo de fraguado depende de la composición física y química de los ingredientes del concreto, su temperatura y las condiciones climáticas. Deben realizarse ensayos con los materiales locales para determinar la dosificación adecuada para el tiempo de fraguado y resistencias deseadas.

ENVASE:

El RHEOBUILD 1000 se suministra en tambores de 208 litros y a granel.

PRECAUCION:

Si el RHEOBUILD 1000 se congela, llévese a una temperatura de 7 °C o más, y agítese hasta que esté completamente reconstituido. No use aire a presión para agitarlo.

DISTRIBUIDORES:

MBT Argentina
Tel. 54-1-459-5065
Fax. 54-1-459-5066

MBT Brasil
Tel. 55-11-5506-4191
Fax. 55-11-5506-2678

MBT Chile
Tel. 56-2-739-0162
Fax. 56-2-739-0163

MBT Colombia
Tel. 57-1-217-3332
Fax. 57-1-321-7513

MBT México, S.A. de C.V.
Tel. 52-5-557-5544
Fax. 52-5-395-7903

Master Builders, Inc.
Tel. (787) 731-8080
Fax. (787) 731-8040

MBT Venezuela C.A.
Tel. 58-2-762-5471/75
Fax. 58-2-761-7001

GUATEMALA
Tecnomaster S.A.
Tél. 50-2-337-2665

HONDURAS
Mastercón
Tel. 50-4-556-9344

PERU
Unicon
Tel. 51-1-275-2874

ECUADOR
Concretesa
Tel. 59-3-566-011

PANAMA
Refrigas y Aditivos
Tel. 50-7-229-4144

BOLIVIA
ReadyMix S.A.
Tel. 591-2-316-918

COSTA RICA
Balbeck S.A.
Tel. 506-283-1792

® Registered Trademark MBT Holding A.G. Juntos Construyendo el Futuro®
© 1999. Master Builders Inc.

SKW-MBT
CONSTRUCTION CHEMICALS

RHEOMAC® SF100

(Antes MB-SF)

Aditivo Mineral, Microsílice Compactada

DESCRIPCION:

RHEOMAC SF100 es un aditivo mineral a base de microsilice compactado y seco que produce cualidades especiales en el concreto. Mejora las características del concreto endurecido en dos formas.

Primero, RHEOMAC SF100 es una puzolana que reacciona químicamente con el concreto, de tal manera que incrementa la cantidad de gel de silicatos de calcio, mejorando así la resistencia y reduciendo la permeabilidad del concreto. Como resultado, se obtiene un concreto extremadamente durable.

BENEFICIOS:

El RHEOMAC SF100 microsilice es un componente crítico en la producción de concreto de alto desempeño con las siguientes propiedades de ingeniería:

- Reducción Dramática de la permeabilidad que inhibe el ingreso de humedad, cloruros y otros contaminantes.
- Protección contra la Corrosión efectiva del acero de refuerzo en el concreto
- Concreto muy durable con mayor resistencia a:
 - Corrosión
 - Abrasión/erosión
 - Ataque químico
 - Sulfatos
 - Daños por hielo/deshielo
- Concreto de Alta-Resistencia por encima de 105 MPa
- Altas Resistencias Iniciales que permiten una producción más eficiente y efectiva en costo de concreto prefabricado y pretensado.

USOS RECOMENDADOS:

RHEOMAC SF100 produce un concreto con permeabilidad mínima. Esto limita la penetración de agua, cloruros, sulfatos y otros agentes químicos que provocan la corro-

sión del acero de refuerzo del concreto. Es por esto que RHEOMAC SF100 es el producto ideal para estacionamientos, puentes, estructuras marinas y cualquier construcción que requiera concreto impermeable.

RHEOMAC SF100 también desarrolla muy altas resistencias debido a sus propiedades puzolánicas. Así se puede construir con miembros más esbeltos o de menores dimensiones y se mejora la economía de las estructuras. Como resultado de los beneficios anteriores,

RHEOMAC SF100 mejora el desempeño del concreto pretensado y prefabricado!

* Las resistencias a compresión se pueden lograr cuando la mezcla está optimizada en relación agua/cemento, agregado y otros factores que afectan la resistencia.

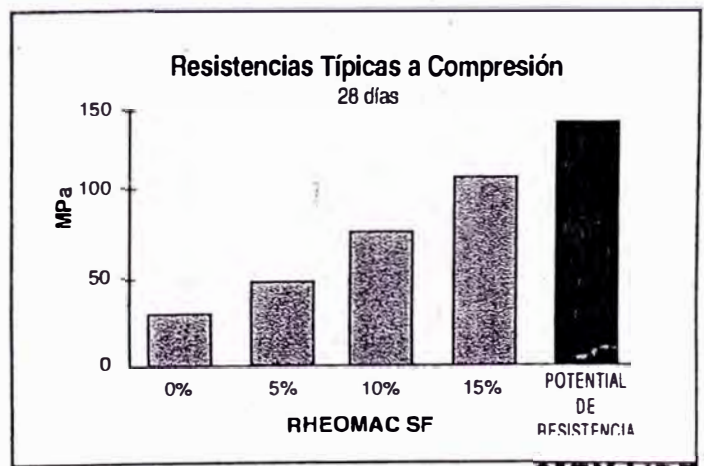
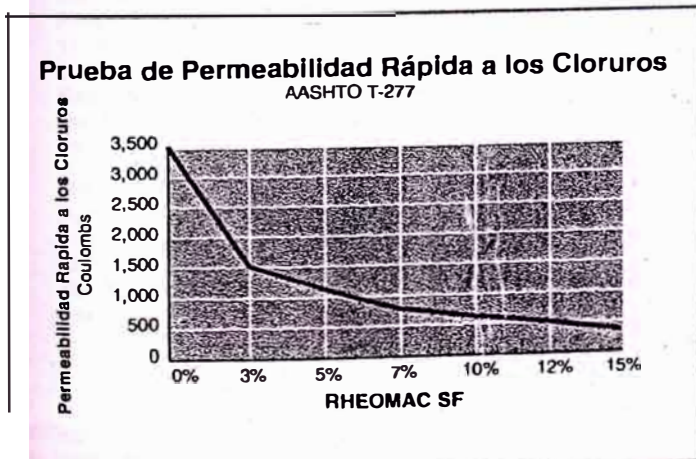
DOSIFICACION:

RHEOMAC SF100 se recomienda en una dosis de 5 a 15% del peso total del cemento utilizado, dependiendo del incremento en resistencias y reducción de la permeabilidad deseadas. La cantidad exacta para una resistencia o durabilidad específica, deberá determinarse por medio de mezclas de prueba.

La dosificación arriba indicada se aplica a la mayoría de las mezclas de concreto con ingredientes promedio. Sin embargo, las variaciones de las condiciones de la obra y de los ingredientes, pueden requerir dosificaciones fuera del rango recomendado. En estos casos, consulte a su representante MBT.

PROTECCION CONTRA LA CORROSION:

Cuando el acero de refuerzo queda embebido en el ambiente alcalino del concreto, una capa protectora natural se forma alrededor de las barras de refuerzo. Sin embargo, pueden destruir ésta capa protectora. Cuando esto ocurre y existe presencia de oxígeno y humedad, puede provocar la corrosión del acero de refuerzo.



RHEOMAC SF100 ayuda a proteger al concreto reforzado contra la corrosión. La baja permeabilidad del concreto producido con RHEOMAC SF100 impide el ingreso de los iones de cloruro al acero de refuerzo, además RHEOMAC SF100 reduce la conductividad eléctrica del concreto, impidiendo el proceso electroquímico de la corrosión.

RHEOMAC SF100 está formado por millones de partículas de microsilice compactados en esferas menores a 1 mm de diámetro. Una vez expuestas a la acción de mezclado del concreto, RHEOMAC SF100 vuelve a tomar su forma precompactado y se dispersa por todo el concreto. Esto origina la baja permeabilidad y la alta resistencia del concreto producido con RHEOMAC SF100.

MODO DE USO:

RHEOMAC SF100 se añade en la planta de concreto en forma similar al cemento u otros materiales cementantes, como la ceniza volante y la escoria granulada. Puede añadirse en la mezcladora control o al camión mezclador. Se recomienda seguir los procedimientos de ASTM C-94 para asegurar una mezcla efectiva y uniforme.

NOTA: Para información sobre el uso adecuado de RHEOMAC SF100 en aplicaciones específicas, consulte a su representante MBT.

FRAGUADO:

El tiempo de fraguado del concreto depende de la composición química y física del cemento y/o del tipo de cemento usado en la producción del concreto. Este tiempo de fraguado también está en relación directa con la temperatura del concreto, las condiciones climáticas y el uso de aditivos químicos. Se recomienda realizar pruebas con los materiales de la obra, con el fin de determinar la dosificación adecuada para lograr un tiempo de fraguado específico.

MBT Argentina

Avenida Vergara 2532
1688 Santos Tesei, Hurlingham
Prov. de Buenos Aires
Argentina
Tel. 54-1-459-5065
Fax. 54-1-459-5066

MBT Brasil

Avenida Eng. Luis Carlos Berrini
1178-12º Floor
CEP 04571-010, Brooklin
Sao Paulo
Tel. 55-11-5506-4191
Fax. 55-11-5506-2678

MBT Chile

Parque Industrial Aeropuerto
Los Coigues 701, Módulo 8
Quilicura, Santiago de Chile
Tel. 56-2-739-0162
Fax. 56-2-739-0163

MBT Colombia

Calle 76 No. 13-27
Santa Fé de Bogotá, D.C.
Tel. 57-1-217-3332
Fax. 57-1-321-7513

MBT México, S.A. de C.V.

Blvd. Manuel Avila Camacho 80
3er. Piso
53390 Naucalpan
Estado de México
Tel. 52-5-557-5544
Fax. 52-5-395-7903

Master Builders, Inc.

Calle Sierra Morena
178 La Cumbre
San Juan, Puerto Rico 00926
Tel. (787) 731-8080
Fax. (787) 731-8040

MBT Venezuela C.A.

Centro Comercial Liberador, PH-3
entre C. Negrín y Ave. Los Jabillos
Caracas 1050
Tel. 58-2-762-5471/75
Fax. 58-2-761-7001

ENVASE:

El RHEOMAC SF100 está disponible en sacos de 22.7 kg. y supersacos de 907 kg.

ALMACENAJE/MANEJO/DOSIFICACION:

El RHEOMAC SF100 se almacena, maneja y dosifica igual que el cemento o cenizas volantes. A granel, el RHEOMAC SF 100 puede almacenarse en silos. El material en sacos puede almacenarse en forma indefinida en un área seca. No se requiere ningún equipo especial para dosificarlo.

GRAVEDAD ESPECIFICA:

La gravedad específica del RHEOMAC SF100 microsilice es de 2.2.

COMPATIBILIDAD:

RHEOMAC SF100 puede usarse con cementos Portland que cumplan con las especificaciones ASTM, AASHTO, o CRD. Es compatible con la mayoría de los aditivos para concreto, incluyendo todos los aditivos de MBT. Se recomienda el uso del RHEOMAC SF100 con aditivos superplastificantes como el RHEOBUILD 1000, para obtener máxima trabajabilidad manteniendo una baja relación agua-cemento.

DISTRIBUIDORES:

GUATEMALA

Tecnomaster S.A.
Tel. 50-2-331-0849

HONDURAS

Mastercon
Tel. 50-4-556-9341

PERU

Unicon
Tel. 50-6-286-0717

ECUADOR

Concretesa
Tel. 59-3-566-011

PANAMA

Refrigas y Aditivos
Tel. 50-7-229-4144

ARCHIVO DE DATOS A3E PARA EL ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA USANDO CONCRETO DE 210kg/cm²

An lisis S;smico Seudo-Tridimensional de Estructura Aporticada de 5 Pisos
5,7,4

3.00,3.30,3.30,3.30,3.30
7.00,6.75,39.87,39.87,1.4,1.35
7.00,6.75,58.42,58.42,1.4,1.35
7.00,6.75,58.42,58.42,1.4,1.35
7.00,6.75,60.07,60.07,1.4,1.35
7.00,6.75,60.07,60.07,1.4,1.35
2E6

1 1,0,0,0,1
2 2,0,4.5,0,1
3 2,0,9,0,1
4 1,0,13.5,0,1
A 3,0,0,90,2
B 4,7,0,90,2
C 3,14,0,90,2

2 ejes 1,4

7.00,7.00
.35,.60,.35,.60
.35,.60,.35,.60
.35,.60,.35,.60
.35,.60,.35,.60
.35,.60,.35,.60
.35,.45,,.30,4.75,,.35,.45
.35,.45,,.30,4.75,,.35,.45
.35,.45,,.30,4.75,,.35,.45
.35,.65,,.30,4.75,,.35,.65
.35,.65,,.30,4.75,,.35,.65

2 eje 2,3

7.00,7.00
.35,.60,.35,.60
.35,.60,.35,.60
.35,.60,.35,.60
.35,.60,.35,.60
.35,.60,.35,.60
.35,.45,,.35,.45,,.35,.45
.35,.45,,.35,.45,,.35,.45
.35,.45,,.35,.45,,.35,.45
.35,.65,,.35,.65,,.35,.65
.35,.65,,.35,.65,,.35,.65

3 ejes A,C

4.5,4.5,4.5
.35,.60,0.0,0.0,.35,.60
.35,.60,.35,.60,.35,.60
.35,.60,.35,.60,.35,.60
.35,.60,.35,.60,.35,.60
.35,.60,.35,.60,.35,.60
.35,.45,,.35,.45,,.35,.45,,.35,.45
.35,.45,,.35,.45,,.35,.45,,.35,.45
.35,.45,,.35,.45,,.35,.45,,.35,.45
.35,.65,,.35,.65,,.35,.65,,.35,.65
.35,.65,,.35,.65,,.35,.65,,.35,.65

2 ejes B

6.75,6.75
.35,.60,.30,.60
.35,.60,.30,.60
.35,.60,.30,.60
.35,.60,.30,.60
.35,.60,.30,.60
.45,.35,,0.3,6.15,,.45,.35
.45,.35,,0.3,6.15,,.45,.35
.45,.35,,0.3,6.15,,.45,.35
.65,.35,,0.3,6.15,,.65,.35
.65,.35,,0.3,6.15,,.65,.35

ARCHIVO DE RESULTADOS A3E PARA LA ESTRUCTURA USANDO CONCRETO DE 210 kg/cm²

Análisis Sísmico Seudo-Tridimensional de Estructura Apoyada de 5 Pisos
{A3se} - versión 1a - H. Scaletti (1995)

03/03/2001 - 13:46

5 pisos
7 pórticos
4 tipo(s)

Alturas de los Entrepisos:

3.00 3.30 3.30 3.30 3.30

Fuerzas y Excentricidades en Cada Nivel:

| nivel | xo | yo | Fx | Fy | ex | ey |
|-------|------|------|-------|-------|------|------|
| 5 | 7.00 | 6.75 | 39.87 | 39.87 | 1.40 | 1.35 |
| 4 | 7.00 | 6.75 | 58.42 | 58.42 | 1.40 | 1.35 |
| 3 | 7.00 | 6.75 | 58.42 | 58.42 | 1.40 | 1.35 |
| 2 | 7.00 | 6.75 | 60.07 | 60.07 | 1.40 | 1.35 |
| 1 | 7.00 | 6.75 | 60.07 | 60.07 | 1.40 | 1.35 |

E = 2.00E+06

G = 8.00E+05

Gm = 8.00E+05

Factor de reducción de rigideces en vigas: .70

Brazos rígidos reducidos en \sim de peralte de viga

Tipo y Ubicación de Cada Pórtico:

| pórtico | tipo | xi | yi | alfa |
|---------|------|-------|-------|-------|
| 1 | 1 | .00 | .00 | .00 |
| 2 | 2 | .00 | 4.50 | .00 |
| 3 | 2 | .00 | 9.00 | .00 |
| 4 | 1 | .00 | 13.50 | .00 |
| A | 3 | .00 | .00 | 90.00 |
| B | 4 | 7.00 | .00 | 90.00 |
| C | 3 | 14.00 | .00 | 90.00 |

Pórtico tipo 1

2 vano(s)

5 piso(s)

Luces de las Vigas:

7.00 7.00

Dimensiones de las Vigas:

.35 .60 .35 .60
.35 .60 .35 .60
.35 .60 .35 .60
.35 .60 .35 .60
.35 .60 .35 .60

Dimensiones de las Columnas:

.35 .45 .30 4.75 .35 .45
.35 .45 .30 4.75 .35 .45
.35 .45 .30 4.75 .35 .45
.35 .65 .30 4.75 .35 .65
.35 .65 .30 4.75 .35 .65

Pórtico tipo 2

2 vano(s)

5 piso(s)

Luces de las Vigas:

7.00 7.00

Dimensiones de las Vigas:

.35 .60 .35 .60
.35 .60 .35 .60
.35 .60 .35 .60
.35 .60 .35 .60
.35 .60 .35 .60

Dimensiones de las Columnas:

.35 .45 .35 .45 .35 .45
 .35 .45 .35 .45 .35 .45
 .35 .45 .35 .45 .35 .45
 .35 .65 .35 .65 .35 .65
 .35 .65 .35 .65 .35 .65

Pórtico tipo 3
 3 vano(s)
 5 piso(s)

Luces de las Vigas:

4.50 4.50 4.50

Dimensiones de las Vigas:

.35 .60 .00 .00 .35 .60
 .35 .60 .35 .60 .35 .60
 .35 .60 .35 .60 .35 .60
 .35 .60 .35 .60 .35 .60
 .35 .60 .35 .60 .35 .60

Dimensiones de las Columnas:

.35 .45 .35 .45 .35 .45 .35 .45
 .35 .45 .35 .45 .35 .45 .35 .45
 .35 .45 .35 .45 .35 .45 .35 .45
 .35 .65 .35 .65 .35 .65 .35 .65
 .35 .65 .35 .65 .35 .65 .35 .65

Pórtico tipo 4

2 vano(s)
 5 piso(s)

Luces de las Vigas:

6.75 6.75

Dimensiones de las Vigas:

.35 .60 .30 .60
 .35 .60 .30 .60
 .35 .60 .30 .60
 .35 .60 .30 .60

.35 .60 .30 .60

Dimensiones de las Columnas:

.45 .35 .30 6.15 .45 .35
 .45 .35 .30 6.15 .45 .35
 .45 .35 .30 6.15 .45 .35
 .65 .35 .30 6.15 .65 .35
 .65 .35 .30 6.15 .65 .35

Efectos Globales - Sismo en la Dirección X

Desplazamientos de Cada Nivel

| nivel | x | y | r |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 5 | 1.098E-02 | 5.769E-10 | 2.999E-04 |
| 4 | 8.434E-03 | 4.429E-10 | 2.312E-04 |
| 3 | 5.769E-03 | 3.030E-10 | 1.588E-04 |
| 2 | 3.176E-03 | 1.668E-10 | 8.768E-05 |
| 1 | 1.057E-03 | 5.554E-11 | 2.949E-05 |

Distorsiones de los Entrepisos

| nivel | x | y | r |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 5 | 2.547E-03 | 1.339E-10 | 6.868E-05 |
| 4 | 2.665E-03 | 1.400E-10 | 7.241E-05 |
| 3 | 2.593E-03 | 1.362E-10 | 7.111E-05 |
| 2 | 2.119E-03 | 1.113E-10 | 5.819E-05 |
| 1 | 1.057E-03 | 5.554E-11 | 2.949E-05 |

Fuerzas Concentradas

| nivel | x | y | r |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 5 | 3.987E+01 | 0.000E+00 | 5.382E+01 |
| 4 | 5.842E+01 | 0.000E+00 | 7.887E+01 |
| 3 | 5.842E+01 | 0.000E+00 | 7.887E+01 |
| 2 | 6.007E+01 | 0.000E+00 | 8.109E+01 |
| 1 | 6.007E+01 | 0.000E+00 | 8.109E+01 |

Cortantes Totales en Cada Nivel

| nivel | x | y | r |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 5 | 3.987E+01 | 0.000E+00 | 5.382E+01 |
| 4 | 9.829E+01 | 0.000E+00 | 1.327E+02 |

| | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|
| 3 | 1.567E+02 | 0.000E+00 | 2.116E+02 |
| 2 | 2.168E+02 | 0.000E+00 | 2.927E+02 |
| 1 | 2.769E+02 | 0.000E+00 | 3.737E+02 |

| | | | | |
|---|--------|--------|--------|---------|
| 3 | .00684 | .00307 | 35.493 | 88.312 |
| 2 | .00377 | .00251 | 33.980 | 120.265 |
| 1 | .00126 | .00126 | 36.503 | 156.768 |

Efectos Globales - Sismo en la Direcci3n Y

Desplazamientos de Cada Nivel

| nivel | x | y | r |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 5 | 4.800E-10 | 1.130E-02 | 3.110E-04 |
| 4 | 3.687E-10 | 8.755E-03 | 2.398E-04 |
| 3 | 2.522E-10 | 6.073E-03 | 1.647E-04 |
| 2 | 1.388E-10 | 3.429E-03 | 9.093E-05 |
| 1 | 4.619E-11 | 1.221E-03 | 3.059E-05 |

Distorsiones de los Entrepisos

| nivel | x | y | r |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 5 | 1.113E-10 | 2.541E-03 | 7.123E-05 |
| 4 | 1.165E-10 | 2.683E-03 | 7.510E-05 |
| 3 | 1.133E-10 | 2.643E-03 | 7.375E-05 |
| 2 | 9.261E-11 | 2.208E-03 | 6.034E-05 |
| 1 | 4.619E-11 | 1.221E-03 | 3.059E-05 |

Fuerzas Concentradas

| nivel | x | y | r |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 5 | 0.000E+00 | 3.987E+01 | 5.582E+01 |
| 4 | 0.000E+00 | 5.842E+01 | 8.179E+01 |
| 3 | 0.000E+00 | 5.842E+01 | 8.179E+01 |
| 2 | 0.000E+00 | 6.007E+01 | 8.410E+01 |
| 1 | 0.000E+00 | 6.007E+01 | 8.410E+01 |

Cortantes Totales en Cada Nivel

| nivel | x | y | r |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 5 | 0.000E+00 | 3.987E+01 | 5.582E+01 |
| 4 | 0.000E+00 | 9.829E+01 | 1.376E+02 |
| 3 | 0.000E+00 | 1.567E+02 | 2.194E+02 |
| 2 | 0.000E+00 | 2.168E+02 | 3.035E+02 |
| 1 | 0.000E+00 | 2.769E+02 | 3.876E+02 |

Efectos en el P3rtico del Eje 1

Sismo en la Direcci3n X

Desplazamientos, Distorsiones, Fuerzas y Cortes en Cada Nivel

| nivel | u | e | F | V |
|-------|--------|--------|--------|--------|
| 5 | .01300 | .00301 | 18.833 | 18.833 |
| 4 | .00999 | .00315 | 35.777 | 53.463 |

Momentos Flectores y Cortes en las Vigas

| viga | niv | Mi | Mj | V |
|------|-----|--------|--------|-------|
| 1 | 5 | 7.708 | 11.245 | 4.307 |
| 2 | 5 | 11.245 | 7.708 | 4.307 |
| 1 | 4 | 11.556 | 13.411 | 5.674 |
| 2 | 4 | 13.411 | 11.556 | 5.674 |
| 1 | 3 | 10.965 | 13.067 | 5.462 |
| 2 | 3 | 13.067 | 10.965 | 5.462 |
| 1 | 2 | 11.711 | 12.815 | 5.704 |
| 2 | 2 | 12.815 | 11.711 | 5.704 |
| 1 | 1 | 9.085 | 8.964 | 4.198 |
| 2 | 1 | 8.964 | 9.085 | 4.198 |

Fuerzas Axiales, Momentos y Cortes en las Columnas

| col. | nivel | N | Mt | Mb | V |
|------|-------|--------|---------|----------|---------|
| 1 | 5 | 3.551 | 6.955 | 5.563 | 3.793 |
| 1 | 4 | 8.228 | 4.912 | 5.163 | 3.053 |
| 1 | 3 | 12.730 | 4.771 | 4.338 | 2.760 |
| 1 | 2 | 17.412 | 6.734 | 6.722 | 4.064 |
| 1 | 1 | 20.858 | 1.918 | 7.339 | 3.086 |
| 2 | 5 | .000 | 35.799 | 19.618 | 12.648 |
| 2 | 4 | .000 | 59.012 | 119.871 | 47.873 |
| 2 | 3 | .000 | 80.911 | 340.956 | 82.952 |
| 2 | 2 | .000 | 299.564 | 661.005 | 112.143 |
| 2 | 1 | .000 | 630.517 | 1079.793 | 150.597 |
| 3 | 5 | 3.551 | 6.955 | 5.563 | 3.793 |
| 3 | 4 | 8.228 | 4.912 | 5.163 | 3.053 |
| 3 | 3 | 12.730 | 4.771 | 4.338 | 2.760 |
| 3 | 2 | 17.412 | 6.734 | 6.722 | 4.064 |
| 3 | 1 | 20.858 | 1.918 | 7.339 | 3.086 |

Efectos en el P3rtico del Eje 4

Sismo en la Direcci3n X

Desplazamientos, Distorsiones, Fuerzas y Cortes en Cada Nivel

| nivel | u | e | F | V |
|-------|---|---|---|---|
|-------|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|--------|--------|--------|---------|
| 5 | .01300 | .00301 | 18.833 | 18.833 |
| 4 | .00999 | .00315 | 35.777 | 53.463 |
| 3 | .00684 | .00307 | 35.493 | 88.312 |
| 2 | .00377 | .00251 | 33.980 | 120.265 |
| 1 | .00126 | .00126 | 36.503 | 156.768 |

| | | | | |
|---|--------|--------|-------|-------|
| 5 | .01166 | .00270 | 5.725 | 5.725 |
| 4 | .00895 | .00283 | .786 | 4.952 |
| 3 | .00613 | .00275 | .389 | 4.616 |
| 2 | .00337 | .00225 | 2.755 | 7.359 |
| 1 | .00112 | .00112 | .263 | 7.300 |

Momentos Flectores y Cortes en las Vigas

| viga | niv | Mi | Mj | V |
|------|-----|--------|--------|-------|
| 1 | 5 | 7.708 | 11.245 | 4.307 |
| 2 | 5 | 11.245 | 7.708 | 4.307 |
| 1 | 4 | 11.556 | 13.411 | 5.674 |
| 2 | 4 | 13.411 | 11.556 | 5.674 |
| 1 | 3 | 10.965 | 13.067 | 5.462 |
| 2 | 3 | 13.067 | 10.965 | 5.462 |
| 1 | 2 | 11.711 | 12.815 | 5.704 |
| 2 | 2 | 12.815 | 11.711 | 5.704 |
| 1 | 1 | 9.085 | 8.964 | 4.198 |
| 2 | 1 | 8.964 | 9.085 | 4.198 |

Momentos Flectores y Cortes en las Vigas

| viga | niv | Mi | Mj | V |
|------|-----|-------|-------|-------|
| 1 | 5 | 3.045 | 2.496 | .846 |
| 2 | 5 | 2.496 | 3.045 | .846 |
| 1 | 4 | 4.679 | 4.185 | 1.353 |
| 2 | 4 | 4.185 | 4.679 | 1.353 |
| 1 | 3 | 4.522 | 4.011 | 1.303 |
| 2 | 3 | 4.011 | 4.522 | 1.303 |
| 1 | 2 | 4.993 | 4.650 | 1.519 |
| 2 | 2 | 4.650 | 4.993 | 1.519 |
| 1 | 1 | 4.353 | 4.146 | 1.338 |
| 2 | 1 | 4.146 | 4.353 | 1.338 |

Fuerzas Axiales, Momentos y Cortes en las Columnas

| col. | nivel | N | Mt | Mb | V |
|------|-------|--------|---------|----------|---------|
| 1 | 5 | 3.551 | 6.955 | 5.563 | 3.793 |
| 1 | 4 | 8.228 | 4.912 | 5.163 | 3.053 |
| 1 | 3 | 12.730 | 4.771 | 4.338 | 2.760 |
| 1 | 2 | 17.412 | 6.734 | 6.722 | 4.064 |
| 1 | 1 | 20.858 | 1.918 | 7.339 | 3.086 |
| 2 | 5 | .000 | 35.799 | 19.618 | 12.648 |
| 2 | 4 | .000 | 59.012 | 119.871 | 47.873 |
| 2 | 3 | .000 | 80.911 | 340.956 | 82.952 |
| 2 | 2 | .000 | 299.564 | 661.005 | 112.143 |
| 2 | 1 | .000 | 630.517 | 1079.793 | 150.597 |
| 3 | 5 | 3.551 | 6.955 | 5.563 | 3.793 |
| 3 | 4 | 8.228 | 4.912 | 5.163 | 3.053 |
| 3 | 3 | 12.730 | 4.771 | 4.338 | 2.760 |
| 3 | 2 | 17.412 | 6.734 | 6.722 | 4.064 |
| 3 | 1 | 20.858 | 1.918 | 7.339 | 3.086 |

Fuerzas Axiales, Momentos y Cortes en las Columnas

| col. | nivel | N | Mt | Mb | V |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 5 | .741 | 2.855 | 2.260 | 1.550 |
| 1 | 4 | 1.926 | 2.123 | 2.185 | 1.306 |
| 1 | 3 | 3.066 | 2.051 | 2.071 | 1.249 |
| 1 | 2 | 4.391 | 2.728 | 3.656 | 1.934 |
| 1 | 1 | 5.558 | .578 | 6.044 | 2.201 |
| 2 | 5 | .000 | 4.660 | 4.001 | 2.625 |
| 2 | 4 | .000 | 3.822 | 3.904 | 2.341 |
| 2 | 3 | .000 | 3.592 | 3.397 | 2.118 |
| 2 | 2 | .000 | 5.547 | 5.985 | 3.491 |
| 2 | 1 | .000 | 2.002 | 6.693 | 2.898 |
| 3 | 5 | .741 | 2.855 | 2.260 | 1.550 |
| 3 | 4 | 1.926 | 2.123 | 2.185 | 1.306 |
| 3 | 3 | 3.066 | 2.051 | 2.071 | 1.249 |
| 3 | 2 | 4.391 | 2.728 | 3.656 | 1.934 |
| 3 | 1 | 5.558 | .578 | 6.044 | 2.201 |

Efectos en el Pórtico del Eje 2

Sismo en la Dirección X

Desplazamientos, Distorsiones, Fuerzas y Cortes en Cada Nivel

| nivel | u | e | F | V |
|-------|---|---|---|---|
|-------|---|---|---|---|

Efectos en el Pórtico del Eje 3

Sismo en la Dirección X

Desplazamientos, Distorsiones, Fuerzas y Cortes en Cada Nivel

| nivel | u | ϕ | F | V |
|-------|--------|--------|-------|-------|
| 5 | .01166 | .00270 | 5.725 | 5.725 |
| 4 | .00895 | .00283 | .786 | 4.952 |
| 3 | .00613 | .00275 | .389 | 4.616 |
| 2 | .00337 | .00225 | 2.755 | 7.359 |
| 1 | .00112 | .00112 | .263 | 7.300 |

Momentos Flectores y Cortes en las Vigas

| viga | niv | Mi | Mj | V |
|------|-----|-------|-------|-------|
| 1 | 5 | 3.045 | 2.496 | .846 |
| 2 | 5 | 2.496 | 3.045 | .846 |
| 1 | 4 | 4.679 | 4.185 | 1.353 |
| 2 | 4 | 4.185 | 4.679 | 1.353 |
| 1 | 3 | 4.522 | 4.011 | 1.303 |
| 2 | 3 | 4.011 | 4.522 | 1.303 |
| 1 | 2 | 4.993 | 4.650 | 1.519 |
| 2 | 2 | 4.650 | 4.993 | 1.519 |
| 1 | 1 | 4.353 | 4.146 | 1.338 |
| 2 | 1 | 4.146 | 4.353 | 1.338 |

Fuerzas Axiales, Momentos y Cortes en las Columnas

| col. | nivel | N | Mt | Mb | V |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 5 | .741 | 2.855 | 2.260 | 1.550 |
| 1 | 4 | 1.926 | 2.123 | 2.185 | 1.306 |
| 1 | 3 | 3.066 | 2.051 | 2.071 | 1.249 |
| 1 | 2 | 4.391 | 2.728 | 3.656 | 1.934 |
| 1 | 1 | 5.558 | .578 | 6.044 | 2.201 |
| 2 | 5 | .000 | 4.660 | 4.001 | 2.625 |
| 2 | 4 | .000 | 3.822 | 3.904 | 2.341 |
| 2 | 3 | .000 | 3.592 | 3.397 | 2.118 |
| 2 | 2 | .000 | 5.547 | 5.985 | 3.491 |
| 2 | 1 | .000 | 2.002 | 6.693 | 2.898 |
| 3 | 5 | .741 | 2.855 | 2.260 | 1.550 |
| 3 | 4 | 1.926 | 2.123 | 2.185 | 1.306 |
| 3 | 3 | 3.066 | 2.051 | 2.071 | 1.249 |
| 3 | 2 | 4.391 | 2.728 | 3.656 | 1.934 |
| 3 | 1 | 5.558 | .578 | 6.044 | 2.201 |

Efectos en el Pórtico del Eje A

Sismo en la Dirección Y

Desplazamientos, Distorsiones, Fuerzas y Cortes en Cada Nivel

| nivel | u | ϕ | F | V |
|-------|--------|--------|-------|--------|
| 5 | .01347 | .00304 | 9.923 | 9.923 |
| 4 | .01043 | .00321 | .392 | 10.145 |
| 3 | .00723 | .00316 | .864 | 9.524 |
| 2 | .00407 | .00263 | 7.272 | 16.732 |
| 1 | .00144 | .00144 | 1.414 | 16.433 |

Momentos Flectores y Cortes en las Vigas

| viga | niv | Mi | Mj | V |
|------|-----|-------|-------|-------|
| 1 | 5 | 4.525 | 4.886 | 2.324 |
| 3 | 5 | 4.886 | 4.525 | 2.324 |
| 1 | 4 | 6.754 | 5.504 | 3.027 |
| 2 | 4 | 5.723 | 5.723 | 2.826 |
| 3 | 4 | 5.504 | 6.754 | 3.027 |
| 1 | 3 | 6.692 | 5.671 | 3.052 |
| 2 | 3 | 5.801 | 5.801 | 2.865 |
| 3 | 3 | 5.671 | 6.692 | 3.052 |
| 1 | 2 | 8.111 | 7.290 | 4.000 |
| 2 | 2 | 7.227 | 7.227 | 3.754 |
| 3 | 2 | 7.290 | 8.111 | 4.000 |
| 1 | 1 | 7.853 | 7.281 | 3.931 |
| 2 | 1 | 7.082 | 7.082 | 3.679 |
| 3 | 1 | 7.281 | 7.853 | 3.931 |

Fuerzas Axiales, Momentos y Cortes en las Columnas

| col. | nivel | N | Mt | Mb | V |
|------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 1 | 5 | 1.886 | 4.076 | 3.178 | 2.198 |
| 1 | 4 | 4.343 | 2.932 | 3.052 | 1.813 |
| 1 | 3 | 6.821 | 2.998 | 2.967 | 1.808 |
| 1 | 2 | 10.037 | 4.649 | 5.262 | 2.997 |
| 1 | 1 | 13.197 | 2.185 | 8.386 | 3.523 |
| 2 | 5 | 1.886 | 4.413 | 4.707 | 2.764 |
| 2 | 4 | 2.049 | 5.402 | 5.353 | 3.259 |
| 2 | 3 | 2.201 | 4.980 | 4.770 | 2.954 |
| 2 | 2 | 2.399 | 8.876 | 8.900 | 5.384 |
| 2 | 1 | 2.601 | 4.606 | 9.473 | 4.693 |
| 3 | 5 | 1.886 | 4.413 | 4.707 | 2.764 |
| 3 | 4 | 2.049 | 5.402 | 5.353 | 3.259 |

| | | | | | |
|---|---|--------|-------|-------|-------|
| 3 | 3 | 2.201 | 4.980 | 4.770 | 2.954 |
| 3 | 2 | 2.399 | 8.876 | 8.900 | 5.384 |
| 3 | 1 | 2.601 | 4.606 | 9.473 | 4.693 |
| 4 | 5 | 1.886 | 4.076 | 3.178 | 2.198 |
| 4 | 4 | 4.343 | 2.932 | 3.052 | 1.813 |
| 4 | 3 | 6.821 | 2.998 | 2.967 | 1.808 |
| 4 | 2 | 10.037 | 4.649 | 5.262 | 2.997 |
| 4 | 1 | 13.197 | 2.185 | 8.386 | 3.523 |

Efectos en el Pórtico del Eje C

Sismo en la Dirección Y

Desplazamientos, Distorsiones, Fuerzas y Cortes en Cada Nivel

| nivel | u | e | F | V |
|-------|--------|--------|-------|--------|
| 5 | .01347 | .00304 | 9.923 | 9.923 |
| 4 | .01043 | .00321 | .392 | 10.145 |
| 3 | .00723 | .00316 | .864 | 9.524 |
| 2 | .00407 | .00263 | 7.272 | 16.732 |
| 1 | .00144 | .00144 | 1.414 | 16.433 |

Momentos Flectores y Cortes en las Vigas

| viga | niv | Mi | Mj | V |
|------|-----|-------|-------|-------|
| 1 | 5 | 4.525 | 4.886 | 2.324 |
| 3 | 5 | 4.986 | 4.525 | 2.324 |
| 1 | 4 | 6.754 | 5.504 | 3.027 |
| 2 | 4 | 5.723 | 5.723 | 2.826 |
| 3 | 4 | 5.504 | 6.754 | 3.027 |
| 1 | 3 | 6.692 | 5.671 | 3.052 |
| 2 | 3 | 5.801 | 5.801 | 2.865 |
| 3 | 3 | 5.671 | 6.692 | 3.052 |
| 1 | 2 | 8.111 | 7.290 | 4.000 |
| 2 | 2 | 7.227 | 7.227 | 3.754 |
| 3 | 2 | 7.290 | 8.111 | 4.000 |
| 1 | 1 | 7.853 | 7.281 | 3.931 |
| 2 | 1 | 7.082 | 7.082 | 3.679 |
| 3 | 1 | 7.281 | 7.853 | 3.931 |

Fuerzas Axiales, Momentos y Cortes en las Columnas

| col. | nivel | N | Mt | Mb | V |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 5 | 1.886 | 4.076 | 3.178 | 2.198 |
| 1 | 4 | 4.343 | 2.932 | 3.052 | 1.813 |
| 1 | 3 | 6.821 | 2.998 | 2.967 | 1.808 |

| | | | | | |
|---|---|--------|-------|-------|-------|
| 1 | 2 | 10.037 | 4.649 | 5.262 | 2.997 |
| 1 | 1 | 13.197 | 2.185 | 8.386 | 3.523 |
| 2 | 5 | 1.886 | 4.413 | 4.707 | 2.764 |
| 2 | 4 | 2.049 | 5.402 | 5.353 | 3.259 |
| 2 | 3 | 2.201 | 4.980 | 4.770 | 2.954 |
| 2 | 2 | 2.399 | 8.876 | 8.900 | 5.384 |
| 2 | 1 | 2.601 | 4.606 | 9.473 | 4.693 |
| 3 | 5 | 1.886 | 4.413 | 4.707 | 2.764 |
| 3 | 4 | 2.049 | 5.402 | 5.353 | 3.259 |
| 3 | 3 | 2.201 | 4.980 | 4.770 | 2.954 |
| 3 | 2 | 2.399 | 8.876 | 8.900 | 5.384 |
| 3 | 1 | 2.601 | 4.606 | 9.473 | 4.693 |
| 4 | 5 | 1.886 | 4.076 | 3.178 | 2.198 |
| 4 | 4 | 4.343 | 2.932 | 3.052 | 1.813 |
| 4 | 3 | 6.821 | 2.998 | 2.967 | 1.808 |
| 4 | 2 | 10.037 | 4.649 | 5.262 | 2.997 |
| 4 | 1 | 13.197 | 2.185 | 8.386 | 3.523 |

Efectos en el Pórtico del Eje B

Sismo en la Dirección Y

Desplazamientos, Distorsiones, Fuerzas y Cortes en Cada Nivel

| nivel | u | e | F | V |
|-------|--------|--------|--------|---------|
| 5 | .01130 | .00254 | 23.281 | 23.281 |
| 4 | .00876 | .00268 | 58.043 | 81.325 |
| 3 | .00607 | .00264 | 59.458 | 140.782 |
| 2 | .00343 | .00221 | 48.022 | 188.804 |
| 1 | .00122 | .00122 | 59.849 | 248.653 |

Momentos Flectores y Cortes en las Vigas

| viga | niv | Mi | Mj | V |
|------|-----|--------|--------|-------|
| 1 | 5 | 6.665 | 12.230 | 5.399 |
| 2 | 5 | 10.915 | 6.322 | 4.925 |
| 1 | 4 | 10.915 | 14.560 | 7.279 |
| 2 | 4 | 12.991 | 10.134 | 6.607 |
| 1 | 3 | 10.494 | 14.241 | 7.067 |
| 2 | 3 | 12.665 | 9.706 | 6.392 |
| 1 | 2 | 10.235 | 13.003 | 6.639 |
| 2 | 2 | 11.522 | 9.384 | 5.973 |
| 1 | 1 | 7.828 | 8.830 | 4.759 |

2 1 7.815 7.127 4.269

Fuerzas Axiales, Momentos y Cortes en las Columnas

| col. | nivel | N | Mt | Mb | V |
|------|-------|--------|----------|----------|---------|
| 1 | 5 | 4.256 | 5.630 | 4.878 | 3.184 |
| 1 | 4 | 9.994 | 4.489 | 4.574 | 2.746 |
| 1 | 3 | 15.565 | 4.425 | 4.255 | 2.630 |
| 1 | 2 | 20.799 | 4.545 | 4.241 | 2.663 |
| 1 | 1 | 24.551 | 2.520 | 3.093 | 1.871 |
| 2 | 5 | .373 | 43.946 | 12.449 | 17.089 |
| 2 | 4 | .903 | 43.363 | 207.566 | 76.039 |
| 2 | 3 | 1.435 | 153.285 | 601.147 | 135.716 |
| 2 | 2 | 1.960 | 550.914 | 1157.161 | 183.711 |
| 2 | 1 | 2.347 | 1122.041 | 1857.126 | 245.028 |
| 3 | 5 | 3.882 | 5.359 | 4.567 | 3.008 |
| 3 | 4 | 9.091 | 4.144 | 4.236 | 2.539 |
| 3 | 3 | 14.130 | 4.101 | 3.939 | 2.436 |
| 3 | 2 | 18.839 | 4.141 | 3.879 | 2.430 |
| 3 | 1 | 22.204 | 2.282 | 2.979 | 1.754 |

ARCHIVO DE DATOS A3E CONSIDERANDO CONCRETO DE 640 kg/cm² Y DIMENSIONES DE COLUMNAS QUE APORTAN LA MISMA RIGIDEZ QUE LAS CORRESPONDIENTES A LA ESTRUCTURA DE SOLO 210 kg/cm²

An lisis Sismico Seudo-Tridimensional de Estructura Aporticada de 5 Pisos

5,7,4

3.30,3.30,3.30,3.30,3.30

7.00,6.75,39.87,39.87,1.4,1.35

7.00,6.75,58.42,58.42,1.4,1.35

7.00,6.75,58.42,58.42,1.4,1.35

7.00,6.75,60.07,60.07,1.4,1.35

7.00,6.75,60.07,60.07,1.4,1.35

3.3E6

1 1,0,0,0,1

2 2,0,4.5,0,1

3 2,0,9,0,1

4 1,0,13.5,0,1

A 3,0,0,90,2

B 4,7,0,90,2

C 3,14,0,90,2

2

ejes 1,4

7.00,7.00

.35,.60,.35,.60

.35,.60,.35,.60

.35,.60,.35,.60

.35,.60,.35,.60

.35,.60,.35,.60

.27,.37,,.30,3.9,,.27,.37

.27,.37,,.30,3.9,,.27,.37

.27,.37,,.30,3.9,,.27,.37

.27,.57,,.30,3.9,,.27,.57

.27,.57,,.30,3.9,,.27,.57

2

ejes 2,3

7.00,7.00

.35,.60,.35,.60

.35,.60,.35,.60

.35,.60,.35,.60

.35,.60,.35,.60

.35,.60,.35,.60

.27,.37,,.27,.37,,.27,.37

.27,.37,,.27,.37,,.27,.37

.27,.37,,.27,.37,,.27,.37

.27,.57,,.27,.57,,.27,.57

.27,.57,,.27,.57,,.27,.57

3

ejes A,C

4.5,4.5,4.5

.35,.60,0.0,0.0,.35,.60

.35,.60,.35,.60,.35,.60

.35,.60,.35,.60,.35,.60

.35,.60,.35,.60,.35,.60

.35,.60,.35,.60,.35,.60

.27,.37,,.27,.37,,.27,.38,,.27,.37

.27,.37,,.27,.37,,.27,.38,,.27,.37

.27,.37,,.27,.37,,.27,.38,,.27,.37

.27,.57,,.27,.57,,.27,.58,,.27,.57

.27,.57,,.27,.57,,.27,.58,,.27,.57

2

eje B

6.75,6.75

.35,.60,.35,.60

.35,.60,.35,.60

.35,.60,.35,.60

.35,.60,.35,.60

.35,.60,.35,.60

.27,.37,,.30,5.05,,.27,.37

.27,.37,,.30,5.05,,.27,.37

.27,.37,,.30,5.05,,.27,.37

.27,.57,,.30,5.05,,.27,.57

.27,.57,,.30,5.05,,.27,.57

**ARCHIVO DE SALIDA A3E PARA, RESULTADOS DE ANALISIS DE LA ESTRUCTURA
CON CONCRETO DE 640 kg/cm², Y DIMENSIONES DE VIGAS Y COLUMNAS QUE NO APORTAN MAS
RIGIDEZ QUE LAS CORRESPONDIENTES A LA ESTRUCTURA DE 210 kg/cm²**

An lisis S;smico Seudo-Tridimensional de Estructura Aporticada de 5
Pisos

{A3se} - versi#n 1a - H. Scaletti (1995)

03/03/2001 - 16:42

5 pisos
7 p#rticos
4 tipo(s)

Alturas de los Entrepisos:

3.30 3.30 3.30 3.30 3.30

Fuerzas y Excentricidades en Cada Nivel:

| nivel | xo | yo | Fx | Fy | ex | ey |
|-------|------|------|-------|-------|------|------|
| 5 | 7.00 | 6.75 | 39.87 | 39.87 | 1.40 | 1.35 |
| 4 | 7.00 | 6.75 | 58.42 | 58.42 | 1.40 | 1.35 |
| 3 | 7.00 | 6.75 | 58.42 | 58.42 | 1.40 | 1.35 |
| 2 | 7.00 | 6.75 | 60.07 | 60.07 | 1.40 | 1.35 |
| 1 | 7.00 | 6.75 | 60.07 | 60.07 | 1.40 | 1.35 |

E = 3.30E+06

G = 1.32E+06

Gm = 1.32E+06

Factor de reducci#n de rigideces en vigas: .70
Brazos r#gidos reducidos en ~ de peralte de viga

Tipo y Ubicaci#n de Cada P#rtico:

| p#rtico | tipo | xi | yi | alfa |
|---------|------|-------|-------|-------|
| 1 | 1 | .00 | .00 | .00 |
| 2 | 2 | .00 | 4.50 | .00 |
| 3 | 2 | .00 | 9.00 | .00 |
| 4 | 1 | .00 | 13.50 | .00 |
| A | 3 | .00 | .00 | 90.00 |
| B | 4 | 7.00 | .00 | 90.00 |
| C | 3 | 14.00 | .00 | 90.00 |

P#rtico tipo 1
2 vano(s)
5 piso(s)

Luces de las Vigas:

7.00 7.00

Dimensiones de las Vigas:

.35 .60 .35 .60
.35 .60 .35 .60
.35 .60 .35 .60
.35 .60 .35 .60
.35 .60 .35 .60

Dimensiones de las Columnas:

.27 .37 .30 3.90 .27 .37
.27 .37 .30 3.90 .27 .37
.27 .37 .30 3.90 .27 .37
.27 .57 .30 3.90 .27 .57
.27 .57 .30 3.90 .27 .57

P#rtico tipo 2

2 vano(s)

5 piso(s)

Luces de las Vigas:

7.00 7.00

Dimensiones de las Vigas:

.35 .60 .35 .60
.35 .60 .35 .60
.35 .60 .35 .60
.35 .60 .35 .60
.35 .60 .35 .60

Dimensiones de las Columnas:

.27 .37 .27 .37 .27 .37
.27 .37 .27 .37 .27 .37
.27 .37 .27 .37 .27 .37
.27 .57 .27 .57 .27 .57
.27 .57 .27 .57 .27 .57

P#rtico tipo 3

3 vano(s)

5 piso(s)

Luces de las Vigas:

4.50 4.50 4.50

Dimensiones de las Vigas:

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| .35 | .60 | .00 | .00 | .35 | .60 |
| .35 | .60 | .35 | .60 | .35 | .60 |
| .35 | .60 | .35 | .60 | .35 | .60 |
| .35 | .60 | .35 | .60 | .35 | .60 |
| .35 | .60 | .35 | .60 | .35 | .60 |

Dimensiones de las Columnas:

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| .27 | .37 | .27 | .37 | .27 | .38 | .27 | .37 |
| .27 | .37 | .27 | .37 | .27 | .38 | .27 | .37 |
| .27 | .37 | .27 | .37 | .27 | .38 | .27 | .37 |
| .27 | .57 | .27 | .57 | .27 | .58 | .27 | .57 |
| .27 | .57 | .27 | .57 | .27 | .58 | .27 | .57 |

Pórtico tipo 4

2 vano(s)
5 piso(s)

Luces de las Vigas:

6.75 6.75

Dimensiones de las Vigas:

| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| .35 | .60 | .35 | .60 |
| .35 | .60 | .35 | .60 |
| .35 | .60 | .35 | .60 |
| .35 | .60 | .35 | .60 |
| .35 | .60 | .35 | .60 |

Dimensiones de las Columnas:

| | | | | | |
|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| .27 | .37 | .30 | 5.05 | .27 | .37 |
| .27 | .37 | .30 | 5.05 | .27 | .37 |
| .27 | .37 | .30 | 5.05 | .27 | .37 |
| .27 | .57 | .30 | 5.05 | .27 | .57 |
| .27 | .57 | .30 | 5.05 | .27 | .57 |

Efectos Globales - Sismo en la Dirección X

Desplazamientos de Cada Nivel

| nivel | x | y | r |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 5 | 1.161E-02 | 6.102E-10 | 3.165E-04 |
| 4 | 8.916E-03 | 4.685E-10 | 2.438E-04 |
| 3 | 6.114E-03 | 3.212E-10 | 1.677E-04 |
| 2 | 3.392E-03 | 1.782E-10 | 9.326E-05 |
| 1 | 1.171E-03 | 6.154E-11 | 3.258E-05 |

Distorsiones de los Entrepisos

| nivel | x | y | r |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 5 | 2.694E-03 | 1.417E-10 | 7.268E-05 |
| 4 | 2.802E-03 | 1.473E-10 | 7.607E-05 |
| 3 | 2.722E-03 | 1.430E-10 | 7.448E-05 |
| 2 | 2.221E-03 | 1.167E-10 | 6.067E-05 |
| 1 | 1.171E-03 | 6.154E-11 | 3.258E-05 |

Fuerzas Concentradas

| nivel | x | y | r |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 5 | 3.987E+01 | 0.000E+00 | 5.382E+01 |
| 4 | 5.842E+01 | 0.000E+00 | 7.887E+01 |
| 3 | 5.842E+01 | 0.000E+00 | 7.887E+01 |
| 2 | 6.007E+01 | 0.000E+00 | 8.109E+01 |
| 1 | 6.007E+01 | 0.000E+00 | 8.109E+01 |

Cortantes Totales en Cada Nivel

| nivel | x | y | r |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 5 | 3.987E+01 | 0.000E+00 | 5.382E+01 |
| 4 | 9.829E+01 | 0.000E+00 | 1.327E+02 |
| 3 | 1.567E+02 | 0.000E+00 | 2.116E+02 |
| 2 | 2.168E+02 | 0.000E+00 | 2.927E+02 |
| 1 | 2.769E+02 | 0.000E+00 | 3.737E+02 |

Efectos Globales - Sismo en la Dirección Y

Desplazamientos de Cada Nivel

| nivel | x | y | r |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 5 | 5.075E-10 | 1.172E-02 | 3.282E-04 |
| 4 | 3.897E-10 | 9.041E-03 | 2.528E-04 |
| 3 | 2.673E-10 | 6.245E-03 | 1.739E-04 |
| 2 | 1.483E-10 | 3.517E-03 | 9.671E-05 |
| 1 | 5.120E-11 | 1.284E-03 | 3.379E-05 |

Distorsiones de los Entrepisos

| nivel | x | y | r |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 5 | 1.178E-10 | 2.681E-03 | 7.537E-05 |
| 4 | 1.225E-10 | 2.796E-03 | 7.889E-05 |
| 3 | 1.190E-10 | 2.728E-03 | 7.724E-05 |
| 2 | 9.707E-11 | 2.233E-03 | 6.292E-05 |
| 1 | 5.120E-11 | 1.284E-03 | 3.379E-05 |

Fuerzas Concentradas

| nivel | x | y | r |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 5 | 0.000E+00 | 3.987E+01 | 5.582E+01 |
| 4 | 0.000E+00 | 5.842E+01 | 8.179E+01 |
| 3 | 0.000E+00 | 5.842E+01 | 8.179E+01 |
| 2 | 0.000E+00 | 6.007E+01 | 8.410E+01 |
| 1 | 0.000E+00 | 6.007E+01 | 8.410E+01 |

Cortantes Totales en Cada Nivel

| nivel | x | y | r |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 5 | 0.000E+00 | 3.987E+01 | 5.582E+01 |
| 4 | 0.000E+00 | 9.829E+01 | 1.376E+02 |
| 3 | 0.000E+00 | 1.567E+02 | 2.194E+02 |
| 2 | 0.000E+00 | 2.168E+02 | 3.035E+02 |
| 1 | 0.000E+00 | 2.769E+02 | 3.876E+02 |

Efectos en el Pórtico del Eje 1

Sismo en la Dirección X

Desplazamientos, Distorsiones, Fuerzas y Cortes en Cada Nivel

| nivel | u | ε | F | V |
|-------|--------|--------|--------|---------|
| 5 | .01375 | .00319 | 18.461 | 18.461 |
| 4 | .01056 | .00332 | 35.504 | 52.772 |
| 3 | .00725 | .00323 | 35.795 | 87.889 |
| 2 | .00402 | .00263 | 32.154 | 116.658 |
| 1 | .00139 | .00139 | 41.226 | 157.729 |

Momentos Flectores y Cortes en las Vigas

| viga | niv | Mi | Mj | V |
|------|-----|--------|--------|-------|
| 1 | 5 | 7.678 | 14.494 | 4.557 |
| 2 | 5 | 14.494 | 7.678 | 4.557 |
| 1 | 4 | 12.769 | 17.396 | 6.200 |
| 2 | 4 | 17.396 | 12.769 | 6.200 |
| 1 | 3 | 12.071 | 17.088 | 5.994 |
| 2 | 3 | 17.088 | 12.071 | 5.994 |
| 1 | 2 | 14.754 | 17.614 | 6.793 |
| 2 | 2 | 17.614 | 14.754 | 6.793 |
| 1 | 1 | 12.308 | 12.989 | 5.309 |
| 2 | 1 | 12.989 | 12.308 | 5.309 |

Fuerzas Axiales, Momentos y Cortes en las Columnas

| col. | nivel | N | Mt | Mb | V |
|------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 1 | 5 | 3.822 | 6.793 | 5.919 | 3.852 |
| 1 | 4 | 9.021 | 5.512 | 5.680 | 3.392 |
| 1 | 3 | 14.048 | 5.113 | 4.535 | 2.924 |

| | | | | | |
|---|---|--------|---------|----------|---------|
| 1 | 2 | 19.725 | 9.263 | 8.706 | 5.445 |
| 1 | 1 | 24.162 | 2.809 | 6.467 | 2.811 |
| 2 | 5 | .000 | 39.918 | 25.240 | 12.196 |
| 2 | 4 | .000 | 69.460 | 105.250 | 46.589 |
| 2 | 3 | .000 | 61.297 | 317.546 | 82.236 |
| 2 | 2 | .000 | 268.172 | 607.492 | 105.834 |
| 2 | 1 | .000 | 569.151 | 1067.204 | 152.107 |
| 3 | 5 | 3.822 | 6.793 | 5.919 | 3.852 |
| 3 | 4 | 9.021 | 5.512 | 5.680 | 3.392 |
| 3 | 3 | 14.048 | 5.113 | 4.535 | 2.924 |
| 3 | 2 | 19.725 | 9.263 | 8.706 | 5.445 |
| 3 | 1 | 24.162 | 2.809 | 6.467 | 2.811 |

Efectos en el Pórtico del Eje 4

Sismo en la Dirección X

Desplazamientos, Distorsiones, Fuerzas y Cortes en Cada Nivel

| nivel | u | ε | F | V |
|-------|--------|--------|--------|---------|
| 5 | .01375 | .00319 | 18.461 | 18.461 |
| 4 | .01056 | .00332 | 35.504 | 52.772 |
| 3 | .00725 | .00323 | 35.795 | 87.889 |
| 2 | .00402 | .00263 | 32.154 | 116.658 |
| 1 | .00139 | .00139 | 41.226 | 157.729 |

Momentos Flectores y Cortes en las Vigas

| viga | niv | Mi | Mj | V |
|------|-----|--------|--------|-------|
| 1 | 5 | 7.678 | 14.494 | 4.557 |
| 2 | 5 | 14.494 | 7.678 | 4.557 |
| 1 | 4 | 12.769 | 17.396 | 6.200 |
| 2 | 4 | 17.396 | 12.769 | 6.200 |
| 1 | 3 | 12.071 | 17.088 | 5.994 |
| 2 | 3 | 17.088 | 12.071 | 5.994 |
| 1 | 2 | 14.754 | 17.614 | 6.793 |
| 2 | 2 | 17.614 | 14.754 | 6.793 |
| 1 | 1 | 12.308 | 12.989 | 5.309 |
| 2 | 1 | 12.989 | 12.308 | 5.309 |

Fuerzas Axiales, Momentos y Cortes en las Columnas

| col. | nivel | N | Mt | Mb | V |
|------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 1 | 5 | 3.822 | 6.793 | 5.919 | 3.852 |
| 1 | 4 | 9.021 | 5.512 | 5.680 | 3.392 |
| 1 | 3 | 14.048 | 5.113 | 4.535 | 2.924 |

| | | | | | |
|---|---|--------|---------|----------|---------|
| 1 | 2 | 19.725 | 9.263 | 8.706 | 5.445 |
| 1 | 1 | 24.162 | 2.809 | 6.467 | 2.811 |
| 2 | 5 | .000 | 39.918 | 25.240 | 12.196 |
| 2 | 4 | .000 | 69.460 | 105.250 | 46.589 |
| 2 | 3 | .000 | 61.297 | 317.546 | 82.236 |
| 2 | 2 | .000 | 268.172 | 607.492 | 105.834 |
| 2 | 1 | .000 | 569.151 | 1067.204 | 152.107 |
| 3 | 5 | 3.822 | 6.793 | 5.919 | 3.852 |
| 3 | 4 | 9.021 | 5.512 | 5.680 | 3.392 |
| 3 | 3 | 14.048 | 5.113 | 4.535 | 2.924 |
| 3 | 2 | 19.725 | 9.263 | 8.706 | 5.445 |
| 3 | 1 | 24.162 | 2.809 | 6.467 | 2.811 |

Efectos en el Pórtico del Eje 2

Sismo en la Dirección X
Desplazamientos, Distorsiones, Fuerzas y Cortes en Cada Nivel

| nivel | u | ë | F | V |
|-------|--------|--------|-------|--------|
| 5 | .01232 | .00286 | 6.175 | 6.175 |
| 4 | .00946 | .00297 | .481 | 5.707 |
| 3 | .00649 | .00289 | .650 | 5.086 |
| 2 | .00360 | .00236 | 5.308 | 10.394 |
| 1 | .00124 | .00124 | 3.999 | 6.520 |

Momentos Flectores y Cortes en las Vigas

| viga | niv | Mi | Mj | V |
|------|-----|-------|-------|-------|
| 1 | 5 | 3.347 | 2.467 | .877 |
| 2 | 5 | 2.467 | 3.347 | .877 |
| 1 | 4 | 5.667 | 4.569 | 1.544 |
| 2 | 4 | 4.569 | 5.667 | 1.544 |
| 1 | 3 | 5.419 | 4.376 | 1.477 |
| 2 | 3 | 4.376 | 5.419 | 1.477 |
| 1 | 2 | 6.904 | 6.084 | 2.020 |
| 2 | 2 | 6.084 | 6.904 | 2.020 |
| 1 | 1 | 6.304 | 5.774 | 1.878 |
| 2 | 1 | 5.774 | 6.304 | 1.878 |

Fuerzas Axiales, Momentos y Cortes en las Columnas

| col. | nivel | N | Mt | Mb | V |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 5 | .769 | 3.112 | 2.690 | 1.758 |
| 1 | 4 | 2.123 | 2.574 | 2.632 | 1.578 |
| 1 | 3 | 3.418 | 2.401 | 2.274 | 1.417 |
| 1 | 2 | 5.183 | 4.293 | 4.868 | 2.774 |
| 1 | 1 | 6.823 | 1.135 | 5.142 | 1.902 |
| 2 | 5 | .000 | 4.541 | 4.231 | 2.658 |
| 2 | 4 | .000 | 4.195 | 4.225 | 2.552 |

| | | | | | |
|---|---|-------|-------|-------|-------|
| 2 | 3 | .000 | 3.845 | 3.589 | 2.253 |
| 2 | 2 | .000 | 7.979 | 8.014 | 4.846 |
| 2 | 1 | .000 | 2.965 | 5.997 | 2.716 |
| 3 | 5 | .769 | 3.112 | 2.690 | 1.758 |
| 3 | 4 | 2.123 | 2.574 | 2.632 | 1.578 |
| 3 | 3 | 3.418 | 2.401 | 2.274 | 1.417 |
| 3 | 2 | 5.183 | 4.293 | 4.868 | 2.774 |
| 3 | 1 | 6.823 | 1.135 | 5.142 | 1.902 |

Efectos en el Pórtico del Eje 3

Sismo en la Dirección X

Desplazamientos, Distorsiones, Fuerzas y Cortes en Cada Nivel

| nivel | u | ë | F | V |
|-------|--------|--------|-------|--------|
| 5 | .01232 | .00286 | 6.175 | 6.175 |
| 4 | .00946 | .00297 | .481 | 5.707 |
| 3 | .00649 | .00289 | .650 | 5.086 |
| 2 | .00360 | .00236 | 5.308 | 10.394 |
| 1 | .00124 | .00124 | 3.999 | 6.520 |

Momentos Flectores y Cortes en las Vigas

| viga | niv | Mi | Mj | V |
|------|-----|-------|-------|-------|
| 1 | 5 | 3.347 | 2.467 | .877 |
| 2 | 5 | 2.467 | 3.347 | .877 |
| 1 | 4 | 5.667 | 4.569 | 1.544 |
| 2 | 4 | 4.569 | 5.667 | 1.544 |
| 1 | 3 | 5.419 | 4.376 | 1.477 |
| 2 | 3 | 4.376 | 5.419 | 1.477 |
| 1 | 2 | 6.904 | 6.084 | 2.020 |
| 2 | 2 | 6.084 | 6.904 | 2.020 |
| 1 | 1 | 6.304 | 5.774 | 1.878 |
| 2 | 1 | 5.774 | 6.304 | 1.878 |

Fuerzas Axiales, Momentos y Cortes en las Columnas

| col. | nivel | N | Mt | Mb | V |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 5 | .769 | 3.112 | 2.690 | 1.758 |
| 1 | 4 | 2.123 | 2.574 | 2.632 | 1.578 |
| 1 | 3 | 3.418 | 2.401 | 2.274 | 1.417 |
| 1 | 2 | 5.183 | 4.293 | 4.868 | 2.774 |
| 1 | 1 | 6.823 | 1.135 | 5.142 | 1.902 |
| 2 | 5 | .000 | 4.541 | 4.231 | 2.658 |
| 2 | 4 | .000 | 4.195 | 4.225 | 2.552 |
| 2 | 3 | .000 | 3.845 | 3.589 | 2.253 |
| 2 | 2 | .000 | 7.979 | 8.014 | 4.846 |
| 2 | 1 | .000 | 2.965 | 5.997 | 2.716 |
| 3 | 5 | .769 | 3.112 | 2.690 | 1.758 |

| | | | | | |
|---|---|-------|-------|-------|-------|
| 3 | 4 | 2.123 | 2.574 | 2.632 | 1.578 |
| 3 | 3 | 3.418 | 2.401 | 2.274 | 1.417 |
| 3 | 2 | 5.183 | 4.293 | 4.868 | 2.774 |
| 3 | 1 | 6.823 | 1.135 | 5.142 | 1.902 |

Efectos en el Pórtico del Eje A

Sismo en la Dirección Y
Desplazamientos, Distorsiones, Fuerzas y Cortes en Cada Nivel

| nivel | u | ε | F | V |
|-------|--------|--------|--------|--------|
| 5 | .01402 | .00321 | 10.248 | 10.248 |
| 4 | .01081 | .00335 | .408 | 10.531 |
| 3 | .00746 | .00327 | 1.023 | 9.660 |
| 2 | .00419 | .00267 | 11.797 | 21.457 |
| 1 | .00152 | .00152 | 7.946 | 14.038 |

Momentos Flectores y Cortes en las Vigas

| viga | niv | Mi | Mj | V |
|------|-----|--------|--------|-------|
| 1 | 5 | 4.569 | 4.995 | 2.316 |
| 3 | 5 | 5.209 | 4.607 | 2.380 |
| 1 | 4 | 7.561 | 5.384 | 3.134 |
| 2 | 4 | 5.866 | 6.047 | 2.888 |
| 3 | 4 | 5.671 | 7.638 | 3.226 |
| 1 | 3 | 7.356 | 5.517 | 3.117 |
| 2 | 3 | 5.834 | 6.017 | 2.873 |
| 3 | 3 | 5.814 | 7.435 | 3.212 |
| 1 | 2 | 10.231 | 8.583 | 4.787 |
| 2 | 2 | 8.402 | 8.539 | 4.316 |
| 3 | 2 | 8.830 | 10.322 | 4.879 |
| 1 | 1 | 10.202 | 8.982 | 4.881 |
| 2 | 1 | 8.565 | 8.653 | 4.387 |
| 3 | 1 | 9.157 | 10.279 | 4.952 |

Fuerzas Axiales, Momentos y Cortes en las Columnas

| col. | nivel | N | Mt | Mb | V |
|------|-------|--------|--------|--------|-------|
| 1 | 5 | 1.887 | 4.047 | 3.470 | 2.278 |
| 1 | 4 | 4.441 | 3.291 | 3.383 | 2.022 |
| 1 | 3 | 6.981 | 3.189 | 3.061 | 1.894 |
| 1 | 2 | 10.845 | 6.399 | 6.738 | 3.981 |
| 1 | 1 | 14.785 | 2.694 | 6.891 | 2.904 |
| 2 | 5 | 1.887 | 4.445 | 4.710 | 2.774 |
| 2 | 4 | 2.088 | 5.224 | 5.206 | 3.161 |
| 2 | 3 | 2.288 | 4.826 | 4.610 | 2.859 |
| 2 | 2 | 2.669 | 11.083 | 10.941 | 6.674 |
| 2 | 1 | 3.069 | 5.271 | 8.095 | 4.050 |
| 3 | 5 | 1.939 | 4.647 | 4.922 | 2.900 |

| | | | | | |
|---|---|--------|--------|--------|-------|
| 3 | 4 | 2.214 | 5.465 | 5.444 | 3.306 |
| 3 | 3 | 2.490 | 5.051 | 4.835 | 2.996 |
| 3 | 2 | 2.945 | 11.249 | 11.157 | 6.790 |
| 3 | 1 | 3.401 | 5.337 | 8.417 | 4.168 |
| 4 | 5 | 1.939 | 4.076 | 3.500 | 2.296 |
| 4 | 4 | 4.567 | 3.323 | 3.417 | 2.042 |
| 4 | 3 | 7.183 | 3.219 | 3.086 | 1.911 |
| 4 | 2 | 11.121 | 6.456 | 6.784 | 4.012 |
| 4 | 1 | 15.116 | 2.718 | 6.902 | 2.915 |

Efectos en el Pórtico del Eje C

Sismo en la Dirección Y
Desplazamientos, Distorsiones, Fuerzas y Cortes en Cada Nivel

| nivel | u | ε | F | V |
|-------|--------|--------|--------|--------|
| 5 | .01402 | .00321 | 10.248 | 10.248 |
| 4 | .01081 | .00335 | .408 | 10.531 |
| 3 | .00746 | .00327 | 1.023 | 9.660 |
| 2 | .00419 | .00267 | 11.797 | 21.457 |
| 1 | .00152 | .00152 | 7.946 | 14.038 |

Momentos Flectores y Cortes en las Vigas

| viga | niv | Mi | Mj | V |
|------|-----|--------|--------|-------|
| 1 | 5 | 4.569 | 4.995 | 2.316 |
| 3 | 5 | 5.209 | 4.607 | 2.380 |
| 1 | 4 | 7.561 | 5.384 | 3.134 |
| 2 | 4 | 5.866 | 6.047 | 2.888 |
| 3 | 4 | 5.671 | 7.638 | 3.226 |
| 1 | 3 | 7.356 | 5.517 | 3.117 |
| 2 | 3 | 5.834 | 6.017 | 2.873 |
| 3 | 3 | 5.814 | 7.435 | 3.212 |
| 1 | 2 | 10.231 | 8.583 | 4.787 |
| 2 | 2 | 8.402 | 8.539 | 4.316 |
| 3 | 2 | 8.830 | 10.322 | 4.879 |
| 1 | 1 | 10.202 | 8.982 | 4.881 |
| 2 | 1 | 8.565 | 8.653 | 4.387 |
| 3 | 1 | 9.157 | 10.279 | 4.952 |

Fuerzas Axiales, Momentos y Cortes en las Columnas

| col. | nivel | N | Mt | Mb | V |
|------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 1 | 5 | 1.887 | 4.047 | 3.470 | 2.278 |
| 1 | 4 | 4.441 | 3.291 | 3.383 | 2.022 |
| 1 | 3 | 6.981 | 3.189 | 3.061 | 1.894 |
| 1 | 2 | 10.845 | 6.399 | 6.738 | 3.981 |
| 1 | 1 | 14.785 | 2.694 | 6.891 | 2.904 |
| 2 | 5 | 1.887 | 4.445 | 4.710 | 2.774 |
| 2 | 4 | 2.088 | 5.224 | 5.206 | 3.161 |
| 2 | 3 | 2.288 | 4.826 | 4.610 | 2.859 |

| | | | | | |
|---|---|--------|--------|--------|-------|
| 2 | 2 | 2.669 | 11.083 | 10.941 | 6.674 |
| 2 | 1 | 3.069 | 5.271 | 8.095 | 4.050 |
| 3 | 5 | 1.939 | 4.647 | 4.922 | 2.900 |
| 3 | 4 | 2.214 | 5.465 | 5.444 | 3.306 |
| 3 | 3 | 2.490 | 5.051 | 4.835 | 2.996 |
| 3 | 2 | 2.945 | 11.249 | 11.157 | 6.790 |
| 3 | 1 | 3.401 | 5.337 | 8.417 | 4.168 |
| 4 | 5 | 1.939 | 4.076 | 3.500 | 2.296 |
| 4 | 4 | 4.567 | 3.323 | 3.417 | 2.042 |
| 4 | 3 | 7.183 | 3.219 | 3.086 | 1.911 |
| 4 | 2 | 11.121 | 6.456 | 6.784 | 4.012 |
| 4 | 1 | 15.116 | 2.718 | 6.902 | 2.915 |

| | | | | | |
|---|---|--------|----------|----------|---------|
| 1 | 2 | 24.198 | 9.688 | 8.656 | 5.559 |
| 1 | 1 | 29.797 | 3.624 | 6.449 | 3.052 |
| 2 | 5 | .000 | 49.946 | .086 | 15.161 |
| 2 | 4 | .000 | 62.869 | 181.079 | 73.924 |
| 2 | 3 | .000 | 119.816 | 564.388 | 134.719 |
| 2 | 2 | .000 | 498.006 | 1058.641 | 169.889 |
| 2 | 1 | .000 | 1007.621 | 1822.426 | 246.911 |
| 3 | 5 | 4.682 | 6.634 | 5.878 | 3.791 |
| 3 | 4 | 11.035 | 5.523 | 5.660 | 3.389 |
| 3 | 3 | 17.170 | 5.123 | 4.561 | 2.934 |
| 3 | 2 | 24.198 | 9.688 | 8.656 | 5.559 |
| 3 | 1 | 29.797 | 3.624 | 6.449 | 3.052 |

Efectos en el Pórtico del Eje B

Sismo en la Dirección Y

Desplazamientos, Distorsiones, Fuerzas y Cortes en Cada Nivel

| nivel | u | e | F | V |
|-------|--------|--------|--------|---------|
| 5 | .01172 | .00268 | 22.744 | 22.744 |
| 4 | .00904 | .00280 | 57.958 | 80.702 |
| 3 | .00625 | .00273 | 59.886 | 140.587 |
| 2 | .00352 | .00223 | 40.419 | 181.007 |
| 1 | .00128 | .00128 | 72.009 | 253.016 |

Momentos Flectores y Cortes en las Vigas

| viga | niv | Mi | Mj | V |
|------|-----|--------|--------|-------|
| 1 | 5 | 7.691 | 15.622 | 5.771 |
| 2 | 5 | 15.622 | 7.691 | 5.771 |
| 1 | 4 | 13.015 | 18.613 | 7.829 |
| 2 | 4 | 18.613 | 13.015 | 7.829 |
| 1 | 3 | 12.325 | 18.224 | 7.561 |
| 2 | 3 | 18.224 | 12.325 | 7.561 |
| 1 | 2 | 15.424 | 18.867 | 8.703 |
| 2 | 2 | 18.867 | 15.424 | 8.703 |
| 1 | 1 | 13.287 | 14.029 | 6.933 |
| 2 | 1 | 14.029 | 13.287 | 6.933 |

Fuerzas Axiales, Momentos y Cortes en las Columnas

| col. | nivel | N | Mt | Mb | V |
|------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 1 | 5 | 4.682 | 6.634 | 5.878 | 3.791 |
| 1 | 4 | 11.035 | 5.523 | 5.660 | 3.389 |
| 1 | 3 | 17.170 | 5.123 | 4.561 | 2.934 |