

MF : Módulo de finura del agregado fino.
P.U.E.S. : Peso unitario envarillado seco del agregado.
t : Tiempo de vibrado de los especímenes.
v

INTRODUCCION

Los concretos de mediana (CMR) y alta resistencia (CAR) representan un medio para lograr estructuras mas livianas y de menor costo que permiten construcciones mas funcionales. La necesidad de materiales mas resistentes (a los utilizados normalmente) debido a cargas de diseño gravitacionales y sismicas mayores ha sido común en los últimos años y nuestro país no escapa a ello (16).

En países industrializados se han estudiado muchos factores relacionados con la producción de CMR y CAR (2). Lo común de estas investigaciones lleva al empleo de una relación a/c baja, agregado grueso quebrado de buena calidad, contenido de cemento alto, uso de aditivos superplastificantes y un excelente control de calidad (3).

Debido a lo anterior y al constante progreso en la tecnología del concreto, el CMR y el CAR han suplantado a los concretos ordinarios y a otros materiales de construcción (e. g., el acero estructural) en muchas de sus aplicaciones. Así, su empleo se ha extendido desde la industria de la prefabricación hasta las estructuras coladas en sitio (21).

En Costa Rica los concretos con una resistencia a la compresión igual a 50 MPa (7250 psi) son considerados como de muy alta resistencia aún en las plantas de concreto premesclado y de elementos prefabricados de concreto. Por lo tanto es urgente aumentar el nivel de conocimiento sobre nuestros materiales, buscar el proporcionamiento óptimo de los mismos y desarrollar mecanismos de control de calidad que permitan producirlo sistemática y consistentemente (8,17,21).

DEFINICIONES

Concreto de Mediana Resistencia (CMR):

El CMR es aquel concreto de peso normal (*) con una resistencia a la compresión entre 34 y 55 MPa (5000 y 8000 psi), producido con materiales y técnicas convencionales.

Concreto de alta Resistencia (CAR):

El CAR se define como aquel de peso normal con una resistencia a la compresión entre 55 y 83 MPa (8000 y 12000 psi), producido con materiales y técnicas convencionales.

(*) Se considera concreto de peso normal a aquel con una densidad cercana a 2323 kg/m³ (145 pcf).

SELECCION DE MATERIALES PARA CMR Y CAR

Introducción

La producción de CMR y CAR requiere de un análisis muy cuidadoso de los materiales a utilizar; tanto de los agregados, los cuales son el factor de mayor preocupación en una mezcla de concreto, como del cemento que representa junto con los aditivos el factor de mayor costo.

Cemento

Para la producción de CMR y CAR se requiere un alto contenido de cemento y una baja relación a/c (3,7). Así, el control de calidad y la garantía de la industria fabricante del cemento sobre la uniformidad de la producción son dos factores esenciales para un buen producto final. Según recomienda el Comité ACI 363 (7), las variaciones del Silicato Tricálcico (C3S) no deben ser mayores al 4 %, variaciones menores que 0.5 % en la pérdida por ignición, de 37.5 m2/kg en la finura del cemento y el nivel de sulfatos con variaciones menores a 0.2 %.

La ganancia de resistencia a largo plazo es un factor muy importante en la producción de CMR y CAR. Normalmente se recomiendan cementos tipo I (Normal) y tipo II (de acción moderada a los sulfatos).

Agregado grueso

De acuerdo con varios investigadores (2) se ha encontrado que la resistencia última de CMR y CAR depende de la integridad y propiedades físicas del agregado grueso. En este tipo de concretos la piedra ocupa aproximadamente un volumen bruto entre el 35 % y el 45 % del volumen total. Así, la calidad del agregado grueso es un factor muy importante ya que al ser la pasta muy rica su resistencia tiende a acercarse a la de los agregados, por lo que es imprescindible que estos tengan excelentes propiedades mecánicas (10,19). Por ejemplo, Kaplan (18) reportó que el uso de diferentes tipos de agregado grueso en una mezcla de concreto determinada produjo variaciones hasta del 29 % en su resistencia a la compresión.

Si se desea producir concretos con resistencia a la compresión superior a los 34 MPa (5000 psi) deben tomarse en cuenta los factores siguientes:

(a) Resistencia, mineralogía y formación: el agregado deberá tener una resistencia a la fractura por lo menos igual a la de la pasta endurecida. Puesto que la resistencia a la fractura de agregados de buena calidad generalmente es mayor a los 75 MPa (11000 psi) este factor no debe limitar la producción de concreto hasta este valor (11). Entonces, para prevenir la falla del concreto debido al agregado, deben utilizarse agregados de alta resistencia, generalmente rocas ígneas extrusivas que poseen una mayor resistencia que las rocas ígneas intrusivas (10). Se ha observado que conforme aumenta la edad del concreto, aumenta la incidencia de fracturas en el agregado, por lo que su calidad representa un factor significativo en la resistencia del concreto.

(b) Forma y textura de las partículas: el agregado grueso ideal para la producción de CMR y CAR debe cumplir las siguientes condiciones:

- Ser piedra quebrada en su totalidad. Al mantener constantes los demás factores, la piedra quebrada produce concreto de mayor resistencia y mejor trabajabilidad que utilizando piedra redondeada.
- Debe ser anguloso. Esto permite un mejor desarrollo de la adherencia mecánica pasta - agregado.
- Debe ser tenaz.

(c) Tamaño máximo y graduación: varios autores (3,9,11) han determinado que en mezclas de CMR y CAR la relación entre el tamaño máximo y la resistencia a la compresión es inversa. Así pues, el tamaño máximo de la piedra para producir CMR y CAR debe ser de 12.7 mm (1/2 in) y 9.5 mm (3/8 in), respectivamente. Este fenómeno de obtener mayor resistencia al utilizar agregados pequeños se debe al empleo mas eficiente del cemento y a la unión pasta-agregado debido al incremento en el area superficial provista (13). Se recomienda que el agregado grueso cumpla con los requerimientos de calidad y graduación ASTM C 33-85 "Standard Specifications for Concrete Aggregates".

(d) Limpieza: el agregado grueso debe estar libre de materia orgánica y de sustancias deletéreas (sustancias con actividad química, recubrimientos de arcilla, partículas deleznales, partículas pulidas o con variaciones dimensionales por cambios de humedad y temperatura). El lavado de las piezas quebradas puede no ser siempre necesario, pero generalmente es recomendable.

(e) Unión pasta-agregado: debe ser mas fuerte si se desea una mayor resistencia. Esta unión es función de la textura superficial y del contenido mineral del agregado. Un aumento en el tamaño máximo del agregado o un aumento en la relación a/c produce una disminución en la unión pasta-agregado.

Agregado fino

La forma y textura de las partículas de arena es determinante en la resistencia a la compresión del concreto, lo mismo que su graduación. Las partículas con forma redondeada y superficie pulida son mejores para producir CMR y CAR. Se ha encontrado que el uso de arena natural, sea de río o de mar, permite obtener una mayor resistencia mecánica del concreto que cuando se usa polvo de piedra o arena de tajos. Los ME del agregado fino recomendados para CMR y CAR varían entre 2.7 y 3.2 (5), ya que producen mezclas de mejor trabajabilidad y de mayor resistencia mecánica. Finalmente, se debe evitar el uso de arenas con altos contenidos de finos, impurezas orgánicas, y partículas deleznales (13).

Agua

El agua empleada en la producción de CMR y CAR debe ser limpia y estar libre de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otras sustancias que pueden ser perjudiciales para el

ORIGINAL EN MAL ESTADO

concreto o el refuerzo (4). La National Crushed Stone Association (NCSA) recomienda la especificación ASTM C 94-84 para el agua adecuada en la producción de CMB y CAB (20).

Aditivos

Con el empleo de aditivos se pueden conferir propiedades al concreto que mejoren su comportamiento en estado fresco y endurecido. Por lo tanto, al utilizar aditivos el proporcionamiento de las mezclas de concreto pueden sufrir modificaciones significativas. Se debe determinar la compatibilidad de los aditivos con otros componentes del CAR, pues generalmente se usarán con dosificaciones mayores a las recomendadas por sus fabricantes.

Aditivos químicos.

- a) Reductores de agua: bajo dosificaciones normales producen un aumento en la resistencia del concreto sin afectar la velocidad de hidratación del cemento.
- b) Reductores de agua de alto nivel: el uso de superplastificantes permite producir mezclas de concreto con una consistencia constante mediante:
 - Disminución de la relación a/c pero manteniéndose constante el contenido de cemento.
 - Disminución del contenido de cemento pero manteniéndose constante la relación a/c.
 - Producción de concreto fluido. (1,12,14,15)

DOSIFICACION, MEZCLADO Y COLADO

Introducción

Un buen concreto debe contener la cantidad de agua mínima compatible con una trabajabilidad conveniente, ya que esto tenderá a mejorar su resistencia y durabilidad (13). La dosificación de una mezcla de concreto se realiza con los siguientes objetivos:

- (a) Brindar a la mezcla la menor consistencia que permita colocarla eficientemente y que en estado fresco posea las características de estabilidad, movilidad y compactibilidad adecuadas.
- (b) Obtener un tamaño máximo de agregado aconsejable y compatible con las dimensiones de la estructura y espaciamiento del refuerzo.
- (c) Producir un concreto de una durabilidad adecuada para resistir la interperie y otros agentes destructivos con una resistencia requerida para soportar con seguridad las cargas que se le impongan, al menor costo posible.

Dosificación

Relación a/c:

El rango típico de la relación a/c para la producción de CMR es de 0.30 a 0.48 (5,6). Para obtener CAR se debe minimizar la relación a/c al máximo. El mínimo contenido de agua será aquel que necesite el cemento para hidratarse completamente, siempre que la reducción de la trabajabilidad en la mezcla de concreto fresca no resulte en una disminución en la resistencia mecánica por defectos en su compactación (10).

Se encontraron valores óptimos de la relación a/c para la producción de CMR en nuestro país. En la Fig. 1 se muestran los resultados obtenidos de resistencia a la compresión con la relación a/c. En los diseños para obtener f'_c de 48 MPa (7000 psi) el valor a/c efectivo que brindó mejores resultados fue de 0.30. Para los diseños hasta 41 MPa (6000 psi) el valor a/c fue 0.40. Para resistencias menores (34 MPa, 5000 psi) un valor a/c de 0.48 es apropiado. La Tabla 1 muestra las relaciones a/c utilizadas para los diseños de mezcla de acuerdo con diversas fuentes de agregados.

Para CAR se realizó un proceso de optimización. Con este proceso se busca determinar la combinación óptima de variables que afectan la resistencia del concreto para producir el concreto de mas alta resistencia a la compresión. En la Tabla 2 se presenta el diseño de las 46 mezclas de CAR realizadas, y en la Tabla 3 se incluye el diseño de la mezcla de concreto que optimizó cada variable estudiada durante el proceso de optimización. En la Fig. 2 se muestra el efecto de la relación a/c en la resistencia a la compresión del CAR. La tendencia que se muestra en esta figura es un aumento en la resistencia a la compresión del concreto con una disminución en la relación a/c, hasta encontrar una relación a/c óptima a partir de la cual un aumento en dicha relación produce una disminución en la resistencia a la compresión del concreto. Esta tendencia es consistente a los 3, 7 y 28 días. La relación a/c óptima para CAR fue 0.21 (ver Tabla 3).

Cemento Portland

El contenido de cemento óptimo de una mezcla de concreto depende de factores tales como el tipo de agregado, el tamaño máximo del agregado grueso, la consistencia, las condiciones de mezclado, el uso o no de aditivos, y el costo. Para la producción de CMR y CAR el contenido de cemento óptimo varía entre 390 y 595 kg por metro cúbico de concreto (7).

Se obtiene un uso mas eficiente del cemento con el uso de agregados gruesos mas pequeños.

En la Fig. 3 se muestra el efecto del contenido de cemento en la resistencia a la compresión de CMR para 3, 7, 14 y 28 días. Se observa un aumento en la resistencia a la compresión conforme se incrementa el contenido de cemento hasta un valor máximo a partir del cual cantidades mayores producen una disminución en la resistencia mecánica. En la Fig. 4 se muestra el efecto del contenido de cemento en la resistencia a la compresión del CAR. Se obtiene una tendencia consistente con el CMR. El contenido de cemento óptimo para CAR fue 550 kg/m³ (927 lb/yd³).

ORIGINAL EN MAL ESTADO

Agregado grueso

El contenido de agregado grueso depende de su tamaño máximo y del módulo de finura del agregado fino (6). La influencia del contenido de agregado grueso en la resistencia a la compresión del CMR se muestra en la Fig. 5. Se encontró un valor óptimo de 1.59 metros cúbicos de piedra por metro cúbico de concreto para la producción de CMR. No se apreció aumento en la resistencia a la compresión del concreto en mezclas con altos contenidos de piedra. La fuente de agregado grueso es un factor de suma importancia en la producción de CMR. Los agregados que brindaron concretos de mayor resistencia mecánica fueron los provenientes de río Reventazón (Orosi) y del Quebrador Zamora (San Antonio de Belén, Heredia). La Fig. 6 muestra la influencia de la fuente de agregado grueso en la resistencia a la compresión del concreto. Además, se puede establecer que a menor porcentaje de pérdida por abrasión de una piedra, mayor es la resistencia del concreto que con ella se produce.

En la Fig. 7 se muestra el efecto del contenido de agregado grueso en la resistencia a la compresión del CAR. La tendencia que se muestra es un aumento en la resistencia a la compresión del concreto con el aumento del contenido de agregado grueso hasta encontrar un contenido óptimo a partir del cual un aumento en dicho contenido produce una disminución en la resistencia mecánica del concreto. La relación AG/A óptima fue de 57 %, o sea, 40% del volumen de concreto fresco. En la Fig. 8 se muestra el efecto del tamaño máximo del agregado grueso en la resistencia a la compresión del CAR. El tamaño óptimo encontrado fue de 9.5 mm (3/8 in).

Agregado fino

En la dosificación de mezclas de concreto es generalmente aceptado que el contenido de agregado fino tiene un mayor impacto en la trabajabilidad de la mezcla de concreto que el agregado grueso. Altos contenidos de agregado fino incrementan la cohesión y vuelven las mezclas difíciles de manejar; asimismo, pueden disminuir la resistencia mecánica.

El efecto del MF en la resistencia mecánica del CMR indica que los valores entre 3.0 y 3.5 son óptimos para estos concretos. La Fig. 9 muestra este efecto. La tendencia que se muestra es un aumento en la resistencia a la compresión del concreto con el aumento del valor del MF.

Combinaciones de agregado grueso y fino

Para CMR las combinaciones óptimas de agregados fueron las siguientes:

- (1) Arena de Caldera con piedra de río Reventazón.
- (2) Arena del tajo La Aduana con piedra del Quebrador Zamora.

Para CAR, la Fig. 10 muestra el efecto de diferentes combinaciones de agregados grueso y fino en la resistencia a la compresión del concreto. La combinación óptima fue arena de Caldera combinada con arena de río Reventazón y piedra de río Reventazón.

Aditivos

Para las mezclas de CMR con relaciones a/c menores a 0.30 se

utilizó aditivo superplastificante Melment L-10, de procedencia alemana.

Para CAR, la Fig. 11 muestra el efecto de diferentes tipos de aditivos superplastificantes en la resistencia a la compresión del concreto. Los superplastificantes Mighty 150, Rheobuild 561 y Rheobuild 1000 fueron dosificados con base en la dosificación mínima recomendada por el fabricante. Los aditivos Pozzoloth 322N y Melment L-10 fueron dosificados con base en la dosificación máxima del fabricante.

El Rheobuild 1000 fue escogido como el superplastificante óptimo, con base en (a) la facultad de compensar la reducción de la trabajabilidad de la mezcla de concreto debida a la reducción de la relación a/c , y (b) su efecto en la resistencia a la compresión del concreto. La dosificación óptima del Rheobuild 1000 se muestra en la Fig. 12, resultando de 1.2 % por peso de cemento.

Mezclado

El siguiente procedimiento de mezclado se utilizó en la elaboración de las diversas mezclas de CMB y CAR:

(a) En forma previa a la realización de la mezcla de concreto, la pared interna del balde de la batidora fue recubierta con una capa delgada y muy poco fluida de mortero (cemento mas arena) fresco ("curado" de la batidora).

(b) Se introdujeron los agregados y aproximadamente el 90 % del agua total de la mezcla de concreto, y se dejó que se revolviera durante 2 minutos.

(c) Se introdujo el cemento sin detener la batidora, y se dejó que se revolviera con los agregados y el agua durante un minuto después de terminar esta última operación.

(d) Se dejó reposar la mezcla durante 2 minutos, cubriéndose la apertura del balde con un paño húmedo para evitar la evaporación del agua.

(e) Después de encender de nuevo la batidora, se introdujo el volumen total del aditivo disuelto en el 10 % del agua restante, y se dejó que se mezclara hasta conseguir una consistencia homogénea en toda la mezcla de concreto (aproximadamente durante 2 minutos).

Colado

Todos los especimenes fueron colados en moldes cilíndricos (ver Fig. 13). Se usó aceite para motor de carro como desmoldante. Los moldes se sujetaban a una mesa vibratoria y se llenaban con concreto en forma suelta y luego en capas según se consolidara el material durante el proceso de vibración. El tiempo de vibración se fijó al diseñarse la mezcla de concreto.

COMENTARIOS FINALES

Agregados utilizados para la producción de CMR y CAR (Ver Tablas 6,7,8 y 9)

1) **Piedra del Quebrador Pocamar:**

La granulometría de este agregado indica que es un material uniforme que está dentro de las especificaciones ASTM C 33. El tamaño máximo es de 12.7 mm (1/2 in). No es necesario su lavado debido a la poca cantidad de finos que presenta. Tiene un porcentaje de abrasión de 29 %.

(2) **Piedra del Quebrador El Ruano:**

Presenta gran cantidad de impurezas, recubrimientos de arcilla, limos y mica. La curva granulométrica de este material no sale de la especificación ASTM C 33 en los tamices #4 y #8. Presenta un porcentaje de abrasión de 26 %.

3) **Piedra del Quebrador Ochoмого:**

Presenta algunas fisuras y un porcentaje de abrasión alto (30 %), por lo que no es recomendable para la producción de CMR y CAR.

(4) **Piedra del Rio Reventazón:**

Presenta un porcentaje de abrasión bajo (21 %) y bajo contenido de finos. Sin embargo tiene el inconveniente de contener muchas partículas deleznables (e.g., astillas de madera).

5) **Piedra del Quebrador Zamora:**

Cumple estrictamente la especificación ASTM C 33. Presenta el menor porcentaje de abrasión (18 %). No es necesario su lavado para la producción de CMR y CAR.

(6) **Arena de Caldera:**

Presenta un MF de 2.36. Se sale de especificaciones ASTM C 33 en el tamiz #50. Es una arena muy apropiada para realizar pesclas de agregados finos y lograr un MF lo mas cercano a 3.0.

7) **Polvo Mezcla de El Ruano:**

Presenta un alto contenido de finos y es necesario lavarlo para utilizarlo en la producción de CMR y CAR.

(8) **Arena de Ochoмого:**

Presenta exceso de limos y mica por lo que se hace necesario lavarla antes de usarla en mezclas de concreto. Presenta un MF de 3.3 y está fuera de la especificación ASTM C 33.

9) **Polvo de piedra de Quebrador Zamora:**

Para la producción de CMR solamente fue posible utilizarlo combinado con arena de mar.

10) **Arena del Rio Barranca (Quebrador Pocamar):**

Es un agregado de excelente calidad que utilizandolo en

estado natural cumple las especificaciones ASTM C 33, aunque presenta un alto contenido de finos. Tiene un MF de 3.1 .

(11) Arena del Tajo La Aduana:

Presenta la mayor absorción (14 %), el menor peso unitario (1050 kg/m³) y un MF de 1.99. Tiene un 25 % de material pasando el tamiz #200. Sin embargo, estos finos no son arcillas ni limos que podrían causar disminución en la resistencia mecánica del concreto, sino mas bien pueden tener efectos puzolánicos beneficiosos.

Trabajabilidad de las mezclas de CMR y CAR

Consistencia y Vibración de las mezclas de CMR

De acuerdo con la Tabla 1, entre menor es la relación a/c menor será el revenimiento inicial de la mezcla de concreto. De acuerdo con los datos de consistencia de las mezclas realizadas, la utilización de los CMR queda supeditada a proyectos en donde el tiempo entre la conclusión de la batida y la colocación en el sitio deseado esté muy bien controlada.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el uso del cono de Abrams para medir revenimientos es adecuado para concretos con relaciones a/c superiores a 0.35, ya que para valores menores pueden presentarse revenimientos de valor cero o revenimientos indefinibles (falsos).

La vibración externa no es necesaria en mezclas de CMR con relaciones a/c de 0.35 y mas, ya que pueden densificarse perfectamente por compactación mecánica simple, si la distribución del acero de refuerzo lo permite.

Consistencia y vibración de las mezclas de CAR

El empleo del cono de Abrams no es adecuado por presentarse en la mayoría de los casos revenimientos nulos o falsos debido a la poca cohesión de las mezclas de CAR.

La vibración externa define en última instancia si una mezcla de concreto se puede o no colocar satisfactoriamente. Un exceso en la duración de la vibración externa produce resultados negativos tales como: segregación "húmeda", flujo viscoso del concreto en el molde, y mayor cantidad de aire atrapado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Agregados

(1) Los agregados comercialmente disponibles y óptimos para la producción de CMR y CAR son:

- (a) Agregados gruesos provenientes del Quebrador Zamora (San Antonio de Belén, Heredia), Río Reventazón (Orosí), y del Quebrador Pocamar (río Barranca, Esparza).
- (b) Agregados finos provenientes de Pto. Caldera, Tajo La Aduana (La Garita, Alajuela), Río Reventazón y del Quebrador Pocamar.

(2) Si se dispone de otro tipo de agregado no mencionado anteriormente, este debe cumplir las siguientes condiciones:

- (a) El agregado grueso debe ser piedra quebrada en su

totalidad y debe presentar textura rugosa y forma angulosa para facilitar la unión pasta-agregado. El porcentaje máximo pasando el tamiz # 200 será de 5 %. El porcentaje de pérdida por abrasión no debe exceder el 25 % (Prueba de abrasión por la Máquina de Los Angeles).

(b) El agregado fino debe ser arena natural de río o de mar con un MF entre 3.0 y 3.5 . No debe presentar impurezas orgánicas ni exceso de finos.

(3) Se debe obtener el total de agregados de partidas consecutivas para evitar cambios inesperados en su comportamiento.

(4) Los agregados se deben dosificar por peso y se debe llevar un control diario de la humedad de los mismos para corregir el agua total de la mezcla. Asimismo, deben evitarse altas temperaturas en los agregados antes de dosificarse ya que puede presentarse evaporación y consecuentemente pérdida de trabajabilidad de la mezcla de concreto.

Cementos

(5) El uso de cemento extrafino permitió obtener resistencia tempranas mayores que las mezclas confeccionadas con cemento normal. Además, se observó mayor resistencia a los 28 días.

(6) Se recomienda un contenido de cemento óptimo de 550 kg/m³ para CAR. Para resistencias menores este valor puede disminuirse de acuerdo con la Fig. 3. No se recomiendan valores superiores a 550 kg/m³ debido a que la trabajabilidad del concreto fresco y la resistencia mecánica del concreto endurecido tienden a disminuir.

Proporcionamiento del CAR y método de compactación

(7) El método experimental para el CAR (Proceso de Optimización) permitió:

(a) Optimizar los materiales seleccionados para la producción de CAR como sigue.

- (i) Cemento Portland: Tipo I Extrafino (Blaine, 402 m²/kg).
- (ii) Agregado grueso: la piedra quebrada del Río Reventazón.
- (iii) Agregado fino: la mezcla de la arena de Río Reventazón con la arena de mar de Pto. Caldera.
- (iv) Aditivo superplastificante. Rheobuild 1000.

(b) Optimizar las proporciones de los componentes del concreto de alta resistencia y el método de compactación como sigue:

- (i) Contenido de agregado grueso: relación por peso seco AG/A igual a 57 % (40 % del volumen de la mezcla de concreto fresco).
- (ii) Dosificación del aditivo superplastificante: 1.2 litros por cada 100 kg de cemento.
- (iii) Contenido de cemento : 550 kg/m³ de concreto fresco.
- (iv) Tamaño máximo del agregado grueso : 9.5 mm (3/8

- in)
- (v) Duración de la vibración: 5 minutos.
- (vi) Tiempo transcurrido antes de revibrar los especímenes: no revibrar.
- (vii) MF del agregado fino: 2.88
- (viii) Relación a/c : 0.21 .

Trabajabilidad de las mezclas de concreto

(8) La consistencia de las mezclas de CMR con relaciones a/c mayores o iguales a 0.30 se puede determinar mediante el cono de Abrams (ASTM C 143-78). Para CAR, el uso del cono de Abrams no es adecuado para determinar la consistencia de las mezclas de concreto con relaciones a/c entre 0.28 y 0.19 (con altos contenidos de cemento y aditivos superplastificantes), porque resultan ser poco cohesivas (se desmoronan) o cohesivas pero rígidas.

(9) La densificación por medio de la mesa vibratoria puede causar segregación de las mezclas de CMR con relaciones a/c superiores a 0.40. Para CAR, este tipo de vibración es un método satisfactorio para consolidar las mezclas con consistencias secas a rígida-plásticas. Se recomienda una frecuencia de vibración de 3600 rev/min (60 Hz).

(10) Las mezclas de CAR con altos contenidos de cemento (mayores que 550 kg/m³ (927 lb/yd³)), o con altos contenidos de agregado fino (mayores que el 37 % del volumen total de la mezcla de concreto fresco), o con bajos MF (menores que 2.67), o con muy altos contenidos de aditivo superplastificante (e.g., mayores que 1.2 % en el caso del Rheobuild 1000), o con los tamaños de agregado grueso mas pequeños (menores que 12.7 mm (1/2 in)), resultaron ser mezclas de concreto "pegajosas" y difíciles de manejar.

(11) Conforme el tamaño máximo del agregado grueso disminuye, mejora la trabajabilidad de la mezcla de concreto en el sentido que facilita su movilidad durante su vibración (consolidación).

(12) Se observó una pérdida mas lenta de trabajabilidad en las mezclas de CAR en las que se utilizó aditivo superplastificante condensado con base en naftalina y formaldehidos (Rheobuild 1000) y cemento Tipo I Normal, que las que se usó el mismo tipo de aditivo y cemento Tipo I Extrafino.

(13) Conforme disminuye la temperatura de la mezcla de concreto aumenta el requerimiento del aditivo superplastificante necesario para obtener una trabajabilidad determinada.

(14) La relación a/c es el parámetro que mas influye en las propiedades reológicas (trabajabilidad) de las mezclas de concreto.

REFERENCIAS

- 1) Aignesberger, A., and Kern, A., "Use of Melamine-Based Superplasticizer as a Water Reducer", Developments in the Use of Superplasticizers, SP-68, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, USA, 1981, 561 pp.
- 2) Ahmad, S., "Optimization of Mix Design for High-Strength Concrete", Department of Civil Engineering, North Carolina State University of Raleigh, 1982.
- 3) Aitcin, P.C., "How to produce High-Strength Concrete", Concrete Construction, Vol. 25, No. 3, March 1980, pp. 222-230.
- 4) American Concrete Institute Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete" (ACI 318-83), American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1983, 589 pp.
- 5) American Concrete Institute Committee 211-D, "Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete", American Concrete Institute, Detroit, Michigan, July 1986, 61 pp. (Recop. Dr. R.L. Carrasquillo).
- 6) American Concrete Institute Committee 211.1, "Recommended Practice for Selecting Proportions for Normal and Heavyweight Concrete", American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1983, 20 pp.
- 7) American Concrete Institute Committee 368, "State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete", Journal of the American Concrete Institute, Vol. 81, No. 6, July-Aug. 1984, pp. 364-411.
- 8) Burgess, A.J., "High Strength Concrete For the Willows Bridge", Journal of the American Concrete Institute, Vol. 67, No. 6, August 1970, pp. 611-619.
- 9) Carrasquillo, R.L., Nilson, A.H., Slate, F.O., "Microcracking and Engineering Properties of High Strength Concrete", Department Report No. 80-1, Structural Engineering Department, Cornell University, New York, Feb. 1980, 254 pp.
- 10) Carrasquillo, R.L., Nilson, A.H., Slate, F.O., "The Production of High Strength Concrete", Department Report No. 78-1, Structural Engineering Department, Cornell University, New York, May 1978, 91 pp.
- 11) Concrete Institute, Proceedings, Vol. 72, No. 4, April 1975, pp. 138-140.
- 12) De Neymet, A., "Aditivos para Concretos", Talleres Gráficos Victoria S.A., México D.F., 1965, 206 pp.

(13) Herrera, E., "Apuntes del curso Materiales de Construcción", Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 1984.

(14) Hester, W., "High Strength Air-Entrained Concrete", Concrete Construction, Vol. 22, No. 2, February 1977, pp. 77-82.

(15) Anon., "High Strength Concrete in Chicago High-Rise Buildings", Task Force Report No. 5, Chicago Committee on High-Rise Buildings, feb. 1977, 63 pp.

(16) Holbeck, K., "Some Experience with the Use of Superplasticizers in the Precast Concrete Industry in Canada", Superplasticizers in Concrete, SP-62, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1979, 427 pp.

(17) Hollister, S.C., "Urgent Need for Research in High-Strength Concrete", Journal of the American Concrete Institute, Vol. 73, No. 3, March 1976, pp. 136-137.

(18) Jobse, H.J., "Applications of High-Strength Concrete for Highway Bridges", Journal of the American Concrete Institute, Vol. 29, No. 3, March 1984, pp. 44-73.

(19) Mielenz, R.C., "High-Range Water-Reducing Admixtures", Superplasticizers in Concrete, SP-62, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, USA, 1979, 427 pp.

(20) National Crushed Stone Association, "High Strength Concrete", Washington DC, USA, Sep. 1976.

(21) Roberts, M.H., "Test on superplasticizing admixtures for concrete", Magazine of Concrete Research, Vol. 35, No. 123, June 1983, pp. 86-98.

(22) Camacho, A., "Producción de Concretos de Alta Resistencia en Costa Rica", Informe de Proyecto Final para Graduación, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, diciembre 1985, 190 pp.

(23) Meseguer, L., "Producción de Concretos de Mediana Resistencia en Costa Rica", Informe de Proyecto Final para Graduación, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, diciembre 1987, 175 pp.

Tabla 1: Características de las mezclas de CBR.

No. Mezcl	Agregado Grueso de	Agregado Fino de	Tip Cem	s/c	Prop. Pesa Seco	AG/A m ³ /m ³	Con. Cem kg/m ³	Rev. cm	Aire %	lv seg.	Aditivo
1	D. El Ruano	D. El Ruano	N	0.48	1:1.89:2.02	0.530	416.67	3.5	1.3	60	---
2	D. El Ruano	D. El Ruano	EF	0.41	1:1.88:1.35	0.414	487.80	2.0	1.8	30	---
3	D. El Ruano	D. El Ruano	EF	0.40	1:1.43:2.34	0.450	442.50	1.0	1.4	45	---
4	D. Ochozogo	D. Ochozogo	N	0.48	1:1.78:1.89	0.530	416.67	3.5	1.3	60	---
5	D. Ochozogo	D. Ochozogo	EF	0.41	1:1.49:1.52	0.501	487.80	1.5	2.0	30	---
6	D. Ochozogo	D. Ochozogo	EF	0.40	1:1.34:2.21	0.440	442.50	0.5	1.4	45	---
7	D. Pocamar	D. Pocamar	N	0.48	1:1.97:2.03	0.570	416.67	0.0	1.3	120	---
8	D. Pocamar	D. Pocamar	EF	0.41	1:1.57:1.73	0.570	487.80	3.0	1.0	120	---
9	D. Pocamar	D. Pocamar	EF	0.40	1:1.44:2.35	0.700	442.50	3.5	1.3	30	---
10	D. Unidos	D. Unidos	N	0.48	1:2.10:1.94	0.520	416.67	1.5	1.8	30	---
11	D. Unidos	D. Unidos	EF	0.41	1:1.47:1.44	0.520	487.80	1.5	2.0	30	---
12	D. Unidos	D. Unidos	EF	0.30	1:0.89:1.75	0.645	590.00	1.5	1.8	30	---
13	D. Pocamar	Pto. Caldera	N	0.48	1:1.90:2.10	0.590	416.67	5.5	2.0	30	---
14	D. Pocamar	Pto. Caldera	EF	0.41	1:1.51:1.79	0.590	487.80	4.0	1.4	30	---
15	D. Pocamar	Pto. Caldera	EF	0.78	1:0.84:1.60	0.680	632.14	0.0	1.5	60	---

1 Relación Agua/Cemento efectiva por peso.

22 Cemento:Agregado Fino:Agregado Grueso

Tabla 1: Continuación.

No. Mezcl	Agregado Grueso de	Agregado Fino de	Tip Cem	s/c	Prop. Pesa Seco	AG/A m ³ /m ³	Con. Cem kg/m ³	Rev. cm	Aire %	lv seg.	Aditivo
16	T. Zamora	T. La Aduana	N	0.48	1:1.27:2.22	0.630	416.67	0.5	2.2	30	---
17	T. Zamora	T. La Aduana	EF	0.41	1:1.00:1.89	0.630	487.80	0.5	2.5	30	---
18	T. Zamora	T. La Aduana	EF	0.40	1:1.05:2.35	0.710	442.50	0.0	2.0	45	---
19	T. Zamora	Zam. y Cald.	N	0.48	1:2.01:1.93	0.550	416.67	4.0	1.6	30	---
20	T. Zamora	Zam. y Cald.	EF	0.4	1:1.60:1.45	0.550	487.80	2.0	1.4	30	---
21	T. Zamora	Zam. y Cald.	EF	0.40	1:1.58:2.22	0.670	442.50	0.0	1.0	45	---
22	D. Unidos	Pto. Caldera	N	0.48	1:1.71:2.20	0.590	416.67	7.0	2.0	15	---
23	D. Unidos	Pto. Caldera	EF	0.35	1:1.03:1.61	0.590	571.43	4.5	1.8	30	---
24	D. Unidos	Pto. Caldera	EF	0.30	1:0.77:1.85	0.700	590.00	0.0	2.4	45	---
70	D. Pocamar	D. Pocamar	EF	0.41	1:1.57:1.73	0.570	487.80	4.0	2.2	15	---
80	D. Pocamar	D. Pocamar	EF	0.35	1:1.22:1.48	0.570	571.43	1.0	1.5	30	---
90	D. Pocamar	D. Pocamar	EF	0.30	1:0.90:1.74	0.700	590.00	3.5	1.4	30	Meiment L10
150	D. Pocamar	Pto. Caldera	EF	0.41	1:1.51:1.79	0.590	487.80	2.0	1.4	15	---
180	T. Zamora	T. La Aduana	EF	0.30	1:0.45:1.74	0.710	590.00	0.0	2.5	45	Meiment L10
60	D. Ochozogo	Pto. Caldera	EF	0.30	1:0.86:1.74	0.700	590.00	2.0	2.4	15	Meiment L10
110	D. Unidos	D. Unidos	EF	0.35	1:1.29:1.42	0.520	571.43	0.0	1.5	60	---

1 Relación Agua/Cemento efectiva por peso.

22 Cemento:Agregado Fino:Agregado Grueso

Tabla 2: Características de las mezclas de CAR.

Mescla Numero	Volumen Cenaa to	bruto A. P.	Proporcion A. G.	Ag. por peso seco	Ag. Gr.	AG/ Pl.	Ce- A	Cont Cen.	Agit to	d a	a/c	tv (min)	trv (min)	Edad al revibrar(hr)	
1	16	30	40	1:1.35:2.02	Canas	Urraca	58	N	500	Rh	561	1.2	0.28	2	-
2	16	30	40	1:1.51:2.04	Barr	Rev	60	N	500	Rh	561	0.8	0.28	2	-
3	16	30	40	1:1.35:2.04	Barr	Urraca	58	N	500	Rh	561	0.8	0.28	2	-
4	16	30	40	1:1.46:2.04	Barr	N 1.1	59	N	500	Rh	561	0.8	0.28	3.5	-
5	16	30	40	1:1.44:2.04	Barr	N 2	57	N	500	Rh	561	0.8	0.28	3.5	-
6	16	30	40	1:1.51:2.02	Canas	Rev	60	N	500	Rh	561	0.8	0.28	2	-
7	16	30	40	1:1.35:2.02	Canas	Urr	58	N	500	Rh	561	0.8	0.28	3.5	-
8	16	30	40	1:1.46:2.02	Canas	N 1.1	58	N	500	Rh	561	0.8	0.28	3.5	-
9	16	30	40	1:1.44:2.02	Canas	N 2	58	N	500	Rh	561	0.8	0.28	3.5	-
10	16	30	40	1:1.51:2.07	Rev	Rev	61	N	500	Rh	561	0.8	0.28	2	-
11	16	30	40	1:1.35:2.02	Rev	Urr	59	N	500	Rh	561	0.8	0.28	2	-
12	16	30	40	1:1.46:2.07	Rev	N 1.1	59	N	500	Rh	561	0.8	0.28	3.5	-
13	16	30	40	1:1.44:2.07	Rev	N 2	57	N	500	Rh	561	0.8	0.28	3.5	-
14	16	32	40	1:1.56:2.07	Rev	Rev	57	EF	500	N 150	1	0.25	3	-	
15	16	32	40	1:1.56:2.07	Rev	Urr	57	EF	500	Rh	561	0.8	0.25	3	-
16	16	32	40	1:1.56:2.07	Rev	N 1.1	57	EF	500	Rh	10000.8	0.25	3	-	
17	16	32	40	1:1.56:2.07	Rev	N 2	57	EF	500	N L 10	3	0.25	3	-	
18	16	32	40	1:1.56:2.07	Rev	N 1.1	64	EF	500	P 322	N0.4	0.25	3	-	
19	16	27	45	1:1.31:2.33	Rev	N 1.1	50	EF	500	Rh	10000.8	0.25	3	-	
20	16	37	35	1:1.8:1.81	Rev	N 1.1	43	EF	500	Rh	10000.8	0.25	3	-	
21	16	42	30	1:2.04:1.55	Rev	N 1.1	62	EF	600	Rh	10000.8	0.25	3	-	
22	19	26	40	1:1.06:1.74	Rev	N 1.1	60	EF	550	Rh	10000.8	0.25	3	-	
23	17.5	28.7	40	1:1.28:1.89	Rev	N 1.1	55	EF	450	Rh	10000.8	0.25	3	-	
24	14.3	34.4	40	1:1.87:2.31	Rev	N 1.1	57	EF	500	Rh	10000.8	0.25	3.5	-	
25	16	32	40	1:1.56:2.07	Rev	N 1.1	57	EF	500	Rh	10001.2	0.25	3	-	
26	16	32	40	1:1.56:2.07	Rev	N 1.1	57	EF	500	Rh	10002.5	0.25	1	-	
27	16	32	40	1:1.56:2.07	Rev	N 1.1	60	EF	550	Rh	1000	5	0.25	----	-
28	17.5	28.7	40	1:1.28:1.92	Rev	N 1.1	60	EF	550	Rh	10001.2	0.25	3	-	
29	17.5	28.7	40	1:1.28:1.89	Rev	N 1.1	59	EF	550	Rh	10001.2	0.25	3	-	
30	17.5	28.7	40	1:1.28:1.86	Rev	N 1.1	59	EF	550	Rh	10001.2	0.25	3.5	-	
31	17.5	28.7	40	1:1.28:1.86	Rev	N 1.1	59	EF	550	Rh	10001.2	0.25	15	-	
32	17.5	28.7	40	1:1.28:1.86	Rev	N 1.1	59	EF	550	Rh	10001.2	0.25	10	-	
33	17.5	28.7	40	1:1.28:1.86	Rev	N 1.1	59	EF	550	Rh	10001.2	0.25	5	-	
34	17.5	28.7	40	1:1.28:1.86	Rev	N 1.1	59	EF	550	Rh	10001.2	0.25	5	5	1
35	17.5	28.7	40	1:1.28:1.86	Rev	N 1.1	59	EF	550	Rh	10001.2	0.25	5	5	1.5
36	17.5	28.7	40	1:1.28:1.86	Rev	N 1.1	59	EF	550	Rh	10001.2	0.25	5	5	2
37	17.5	29.8	40	1:1.32:1.86	Rev	N 1.1	57	EF	550	Rh	10001.2	0.25	5	-	-
38	17.5	30.9	40	1:1.37:1.86	Rev	N 1.1	57	EF	550	Rh	10001.2	0.25	7	-	-
39	17.5	32	40	1:1.42:1.86	Rev	N 1.1	59	EF	550	Rh	10001.2	0.23	7	-	-
40	17.5	28.7	40	1:1.31:1.86	Rev	N 1.2	59	EF	550	Rh	10001.2	0.21	5	-	-
41	17.5	28.7	40	1:1.30:1.86	Rev	N 1.3	58	EF	550	Rh	10001.2	0.19	5	-	-
42	17.5	30.9	40	1:1.37:1.86	Canas	N 1.1	58	EF	550	Rh	10001.2	0.25	5	-	-
43	17.5	30.9	40	1:1.37:1.86	Barr	N 1.1	57	EF	550	Rh	10001.2	0.25	7	-	-
44	17.5	30.9	40	1:1.37:1.86	Revent	N 1.1	60	N	550	Rh	10001.2	0.21	7.5	-	-
45	17.5	30.9	40	1:1.37:1.86	Barr	Urr	57	EF	550	Rh	10001.2	0.21	7	-	-
46	17.5	30.9	40	1:1.37:1.86	Revent	N 1.1	57	EF	550	Rh	10001.2	0.21	7	-	-

Volumen bruto: el que ocupa cada componente en un metro cubico de concreto
 Proporción por peso seco: Cemento: Agregado Fino: Agregado Grueso.

Tabla 3: Características de las mezclas de concreto que optimizaron cada paso del proceso de optimización para GAF.

[illegible]

① Edad de la mezcla al recibir

Table 4: Continuation.

No do Meczi	Cilindros 102x203 mm *					15. x303. cm	Keriat. Normel
	3 dias	7 dias	14 dias	20 dias	28 dias **		
1	12.42	22.72	26.18	29.76	33.99	34.0	
2	29.21	30.22	32.30	45.71	39.33	41.0	
3	29.27	32.12	35.11	45.26	40.42	48.0	
4	16.72	22.51	26.98	31.67	31.82	34.0	
5	27.07	30.26	30.99	42.09	37.99	41.0	
6	24.33	30.76	34.20	41.81	41.60	48.0	
7	20.51	24.45	28.90	27.27	27.40	34.0	
8	23.47	29.55	31.67	36.02	34.15	41.0	
9	19.21	22.47	28.16	33.16	30.60	48.0	
10	21.25	26.23	30.67	34.02	32.47	34.0	
11	26.00	31.94	35.38	37.10	34.64	41.0	
12	27.77	36.02	39.37	48.66	41.28	48.0	
13	18.68	22.76	25.57	27.45	27.70	34.0	
14	28.41	35.79	39.19	44.22	39.86	41.0	
15	32.93	45.76	45.80	49.20	43.77	48.0	

** Promedia de 4 cilindros.

No de Nezel	Cilindros 102x203 mm -					152x305mm	Presist.
	3 dias	7 dias	14dias	28dias	20dias **	Nominal	
16	21.21	24.25	31.21	35.11	34.13	34.0	
17	29.74	35.43	35.25	48.75	39.61	41.0	
18	23.15	32.39	34.93	37.92	38.31	48.0	
19	20.95	24.93	26.91	32.60	31.78	34.0	
20	27.18	33.07	36.70	40.18	36.65	41.0	
21	25.78	31.98	34.02	46.34	36.53	48.0	
22	21.34	27.45	28.09	36.70	33.20	34.0	
23	28.72	36.74	43.54	46.07	41.20	41.0	
24	30.84	38.42	44.71	51.01	48.15	48.0	
70o	-	-	-	-	37.38	34.0	
80o	-	-	-	-	42.23	41.0	
90o	-	-	-	-	48.50	48.0	
130o	-	-	-	-	37.91	34.8	
180o	-	-	-	-	49.88	48.0	
80o	-	-	-	-	47.41	48.0	
110o	-	-	-	-	44.18	41.0	

¹⁰ Promedio de 4 cilindros.

ORIGINAL EN MAL ESTADO

Tabla 5: Resistencia a la compresión uniaxial de las mezclas de CAR, en MPa.

Mezcla	Resistencia a la compresión uniaxial f_c , MPa					
	Cilindros 102 x 203 mm					Cilindros 152 x 305 mm
	Edad, días **					Edad, días **
	3	7	28	56	95	28
1	32.68	41.91	44.64	-	-	48.57
2	39.96	46.63	59.88	-	-	57.43
3	41.08	45.11	53.66	-	-	60.94
4	40.77	48.33	62.88	-	74.75	62.95
5	43.06	53.63	65.53	72.54	77.93	63.91
6	35.73	46.26	50.53	-	-	54.41
7	33.55	43.68	52.81	-	-	55.90
8	41.83	49.90	59.66	-	-	60.95
9	41.54	50.46	62.12	-	-	65.13
10	40.75	48.91	62.59	-	-	57.98
11	36.26	41.96	50.97	-	-	52.96
12	46.52	52.90	63.06	-	-	60.52
13	36.77	48.42	52.63	60.39	62.62	54.99
14	43.28	51.54	63.24	70.10	-	65.77
15	44.08	54.01	65.31	-	-	67.34
16	46.12	53.49	68.52	-	-	61.82
17	42.08	48.03	61.23	-	-	58.37
18	48.88	58.28	71.70	-	-	73.97

Continúa

Continuación Tabla 5

Mezcla	Resistencia a la compresión uniaxial f_c , MPa					
	Cilindros 102 x 203 mm					Cilindros 152 x 305 mm
	Edad, días **					Edad, días **
	3	7	28	56	95	28
19	42.59	47.23	64.44	-	-	61.60
20	42.39	52.63	63.20	-	-	59.83
21	39.59	47.28	60.23	-	-	54.68
22	45.22	52.46	66.50	-	-	61.07
23	52.18	58.06	71.04	-	-	66.32
24	46.83	55.54	65.39	-	-	59.53
25	52.97	62.63	72.79	-	-	69.03
26	40.34	51.29	61.92	-	-	61.32
27	10.08	38.61	48.66	-	-	50.59
28	55.25	68.07	71.49	78.39	85.13	-
29	53.13	62.51	64.74	69.77	-	67.91
30	59.21	68.26	75.16	77.26	89.53	64.97
31	55.68	64.53	73.04	74.94	86.47	-
32	54.87	64.15	72.39	72.83	-	-
33	56.50	68.34	76.66	77.01	91.03	-
34	54.38	61.92	67.00	-	-	-
35	54.54	62.79	65.92	-	-	64.90
36	51.27	58.28	61.54	-	-	67.49
37	65.51	80.45	88.57	-	-	-
38	70.56	81.37	89.52	-	-	-

Continúa

Continuación Tabla 5.

Mezcla	Resistencia a la compresión uniaxial f_c , MPa					
	Cilindros 102 x 203 mm					Cilindros 152 x 305 mm
	Edad, días **					Edad, días **
	3	7	28	56	95	28
39	67.36	75.74	86.39	-	-	-
40	56.24	65.25	75.52	-	-	-
41	55.28	65.41	75.34	-	-	-
42	68.26	74.53	77.31	-	-	-
43	69.49	73.58	79.56	-	-	-
44	57.11	69.73	80.50	-	-	-
45	-	-	76.07	-	-	67.83
46	-	-	69.53	-	-	60.45

* Promedio de la resistencia de 3 especímenes.

** Los valores que no aparecen corresponden a cilindros con f_c mayores que 1,135 kN (300,000 lb).

Tabla 6: Distribucion granulometrica de los agregados gruesos en estado natural (Porcentaje pasando por peso)

Tamiz	Agregado Grueso					Especific. ASTM C 33
	Q. Pocamar	Q. El Ruano	Q. Ochozogo	Q. Unidos	Q. Ninos Zamora	
19 35mm (3/4 in)	100.0	99.4	97.4	100.0	99.9	100
12 75mm (1 1/2 in)	99.7	67.3	73.1	100.0	95.3	90 - 100
9 50mm (3/8 in)	77.2	41.7	44.2	87.8	61.1	40 - 70
4 75mm (No. 4)	7.5	24.3	12.2	29.3	9.2	0 - 15
2 30mm (No. 8)	2.5	19.2	9.2	8.1	4.3	0 - 5
*0 075mm (No. 200)	0.7	4.6	2.6	8.1	1.8	0

* Tolerancia de hasta 5% pasando por peso.

Tabla 7: Pesos especificos, absorcion, pesos unitarios secos, y abrasion de los agregados gruesos.

Caracteristica		Agregado Grueso				
		Q. Pocamar	Q. El Ruano	Q. Ochozogo	Q. Unidos	Q. Ninos Zamora
Tam. máxima (mm)		12.7	12.7	12.7	12.7	12.7
P. E s o.	G s	2.83	2.73	2.68	2.77	2.74
	G bs	2.61	2.52	2.47	2.51	2.56
	G bss	2.69	2.59	2.55	2.60	2.63
Absorcion %		2.93	3.13	3.16	3.76	2.51
P.U. Suel (kg/m ³)**		1335	1414	1304	1429	1305
P.U. Env (kg/m ³)**		1483	1591	1482	1557	1465
Abrasión (%)**		29.2	26.0	30.7	21.3	18.0

s Segun la prueba ASTM C 127-84

ss Segun la prueba ASTM C 29-78

sss Segun la prueba ASTM C 131-81

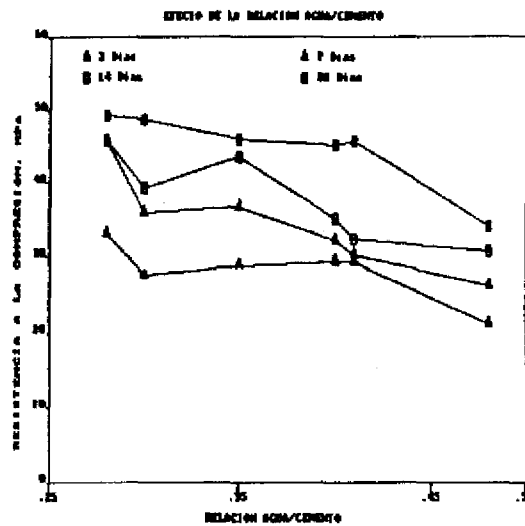


Figura 1: Influencia de la relacion a/c en mezclas de CAR

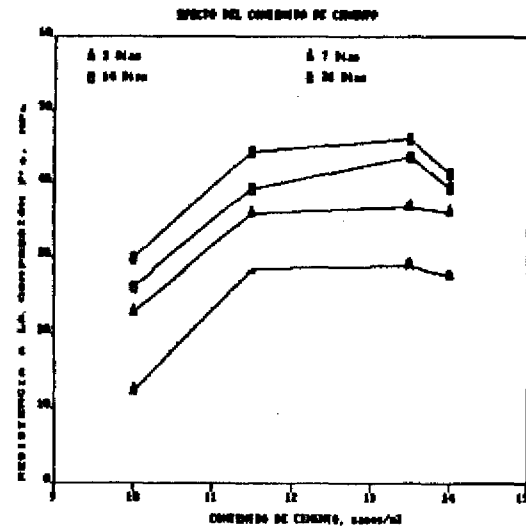


Figura 3: Influencia del contenido de cemento en mezclas de CAR.

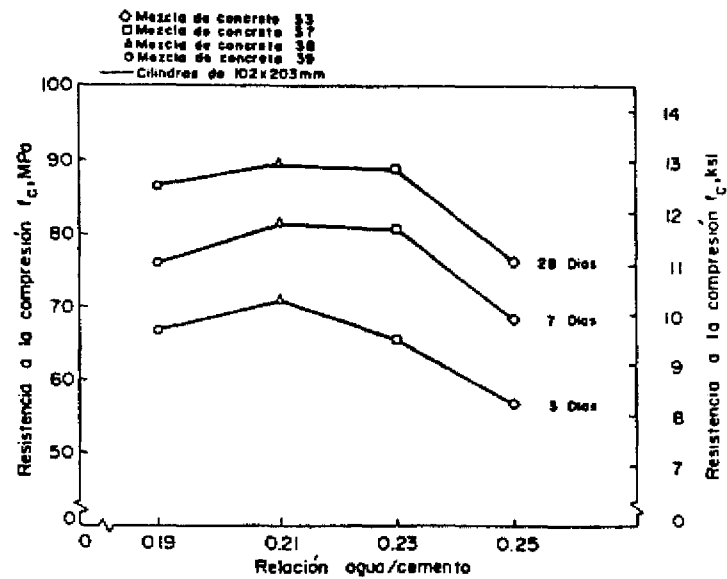


Figura 2: Efecto de la relacion a/c en la resistencia a la compresion del CAR.

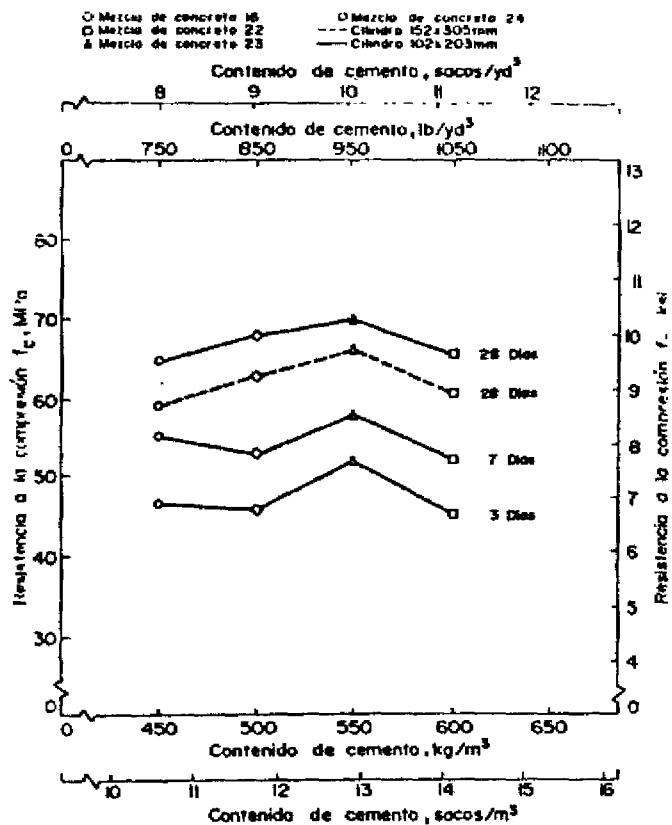


Figura 4: Efecto del contenido de cemento en la resistencia a la compresión del CAR.

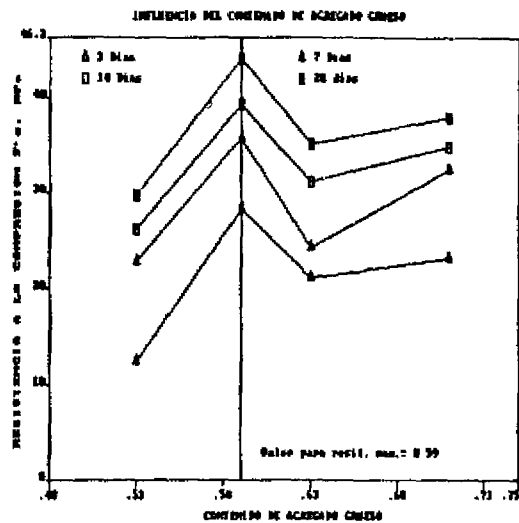


Figura 5: Influencia del contenido de agregado grueso en la resistencia a la compresión del CAR.

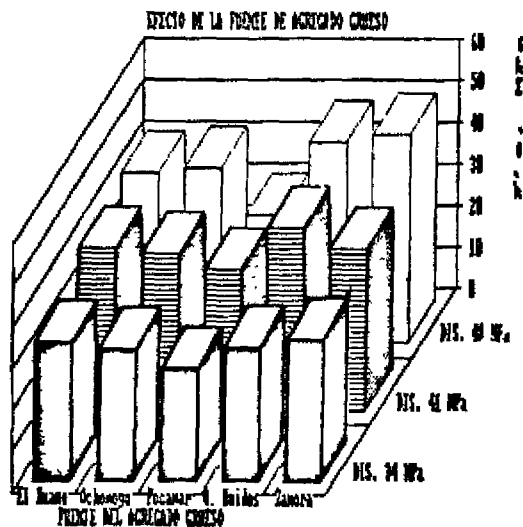


Figura 6: Influencia de la fuente de agregado grueso en la resistencia a la compresión de CAR.

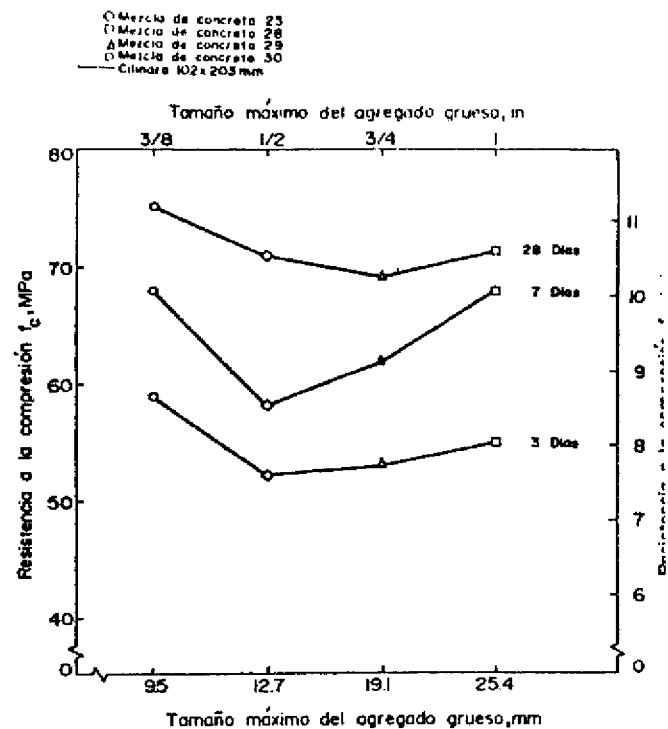
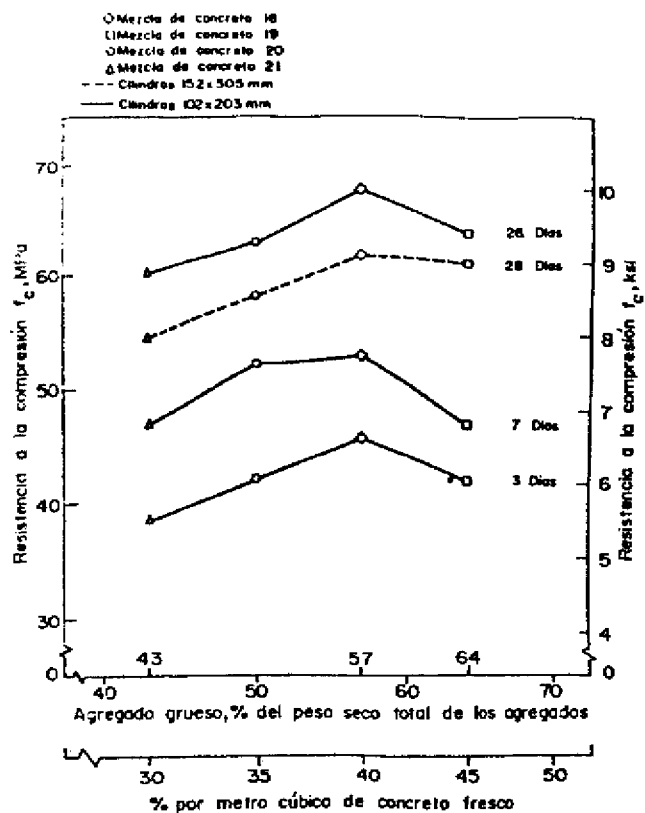


Figura 7: Efecto del contenido de agregado grueso en la resistencia a la compresión del CAR. Figura 8: Efecto del tamaño máximo del agregado grueso en la resistencia a la compresión del CAR.

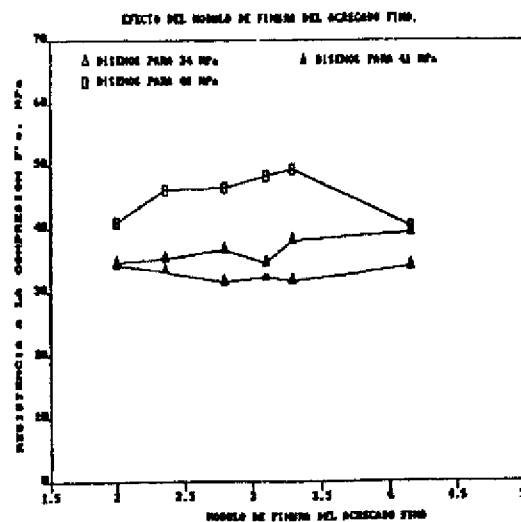


Figura 9: Efecto del módulo de finura del agregado fino en la resistencia a la compresión de CAR.

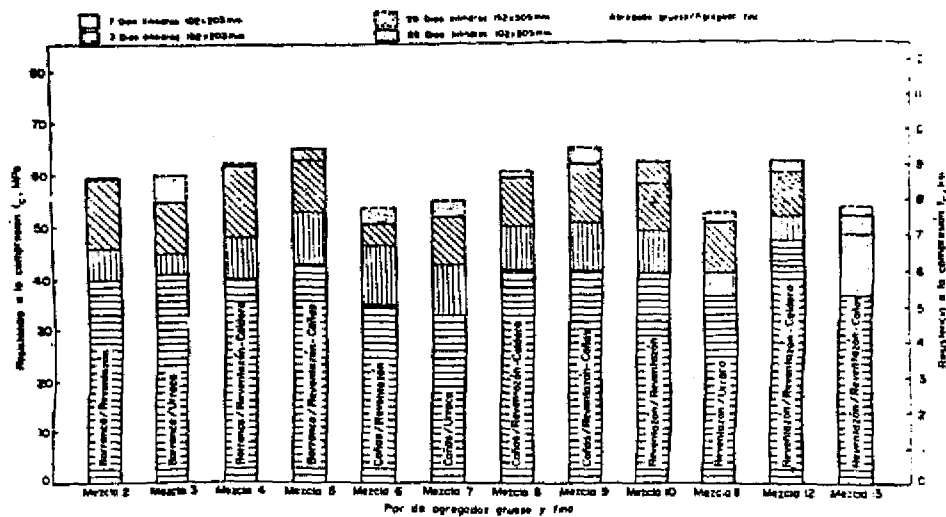


Figura 10: Efecto de diferentes combinaciones de agregado grueso /agregado fino en la resistencia a la compresión del CAR.

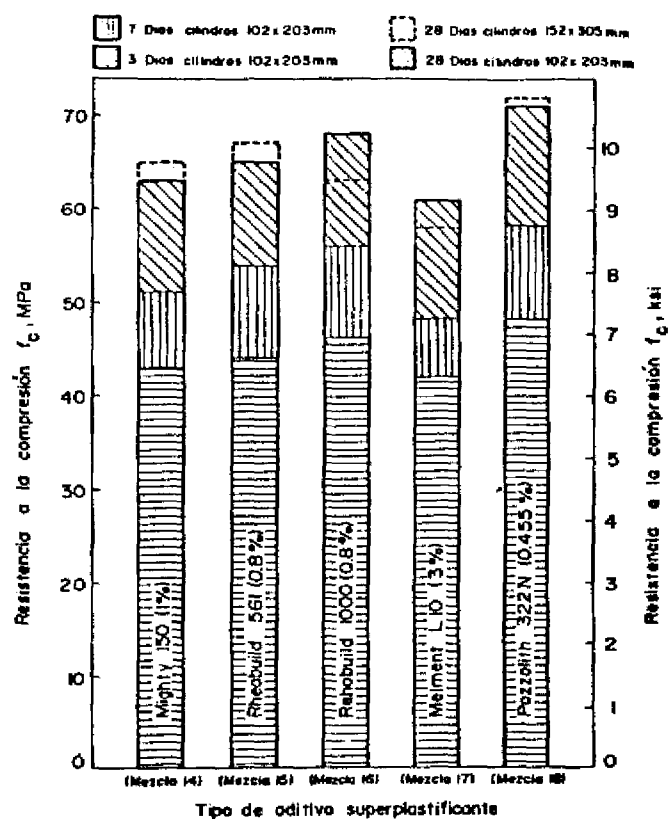


Figura 11: Efecto de diferentes tipos de aditivo superplastificante en la resistencia a la compresión del CAR.

**ORIGINAL EN
MAL ESTADO**

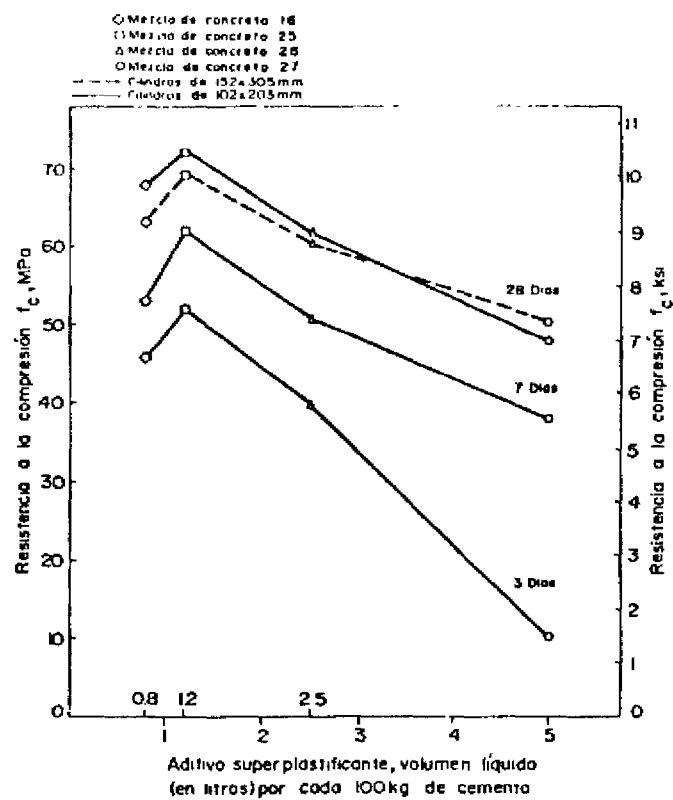


Figura 12: Efecto del aditivo superplastificante en la resistencia a la compresión del CAR

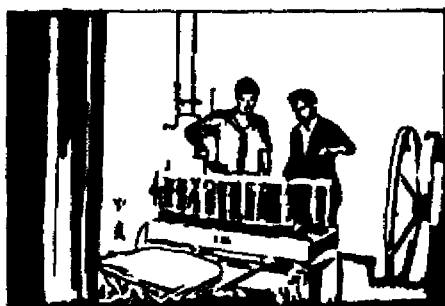


Figura 13. Mueles cilíndricos y proceso de colado.