

EFFECTO DE LAS DOSIFICACIONES REPETIDAS DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE SOBRE LA MANEJABILIDAD, RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO.

I N D I C E

	Pág.
RESUMEN. . . . .	177
INTRODUCCION. . . . .	179
ALCANCE DE LA INVESTIGACION. . . . .	179
LAS REVOLTURAS DE CONCRETO . . . . .	179
PREPARACION Y COLADO DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYE . . . . .	181
ENSAYE DE LOS ESPECIMENES . . . . .	182
RESULTADOS DE LOS ENSAYES Y SU ANALISIS . . . . .	182
DISCUSION . . . . .	183
OBSERVACIONES FINALES . . . . .	197

EFFECTO DE LAS DOSIFICACIONES REPETIDAS

INTRODUCCION

Los aditivos superplastificantes, los cuales han sido introducidos recientemente en Norteamérica, están encontrando aceptación lentamente en la industria del concreto. Un número de laboratorios de investigación, tanto en Canadá como en los Estados Unidos, están realizando estudios acerca del uso de estos aditivos y están intentando delinear sus usos y limitaciones (1-5). Un problema con el uso de estos aditivos es que el concreto superplastificado tiende a perder revenimiento muy rápidamente. En operaciones de campo, el colado del concreto a menudo se demora debido a una gran variedad de motivos. Bajo tales condiciones de colado, los concretos superplastificados perderían su ventaja y tendrían que ser retemplados. Hay solamente datos limitados disponibles acerca del efecto del reemplado sobre las propiedades del concreto fresco y del endurecido. Wals y Bonzal (6), aconsejan en contra del uso de los superplastificantes para el reemplado, pero ofrecen poco razonamiento. Esta investigación reporta los resultados de un estudio de laboratorio realizado en CANMET para obtener información sobre el efecto de la dosificación repetida sobre las propiedades del concreto de alta resistencia con cada uno de un número de aditivos superplastificantes.

ALCANCE DE LA INVESTIGACION.

En este estudio se hicieron cuatro revolturas de concreto utilizando una relación agua/cemento de 0.42 y un contenido de cemento de 379 Kg/m<sup>3</sup> (639 lbs/yd<sup>3</sup>). Se hicieron revolturas de 0.062 m<sup>3</sup> (2.2 pies<sup>3</sup>). Cuatro aditivos superplastificantes comúnmente disponibles en el mercado fueron incorporados repetidamente a las revolturas de concreto a la dosificación recomendada por el fabricante. Después de cada dosificación se determinaban las propiedades del concreto fresco y se colaban cilindros de ensaye. También se colaron prismas de ensaye para determinar la resistencia a la flexión y la durabilidad del concreto.

LAS REVOLTURAS DE CONCRETO.

Un total de cuatro revolturas de 0.062 m<sup>3</sup> (2.2 pies<sup>3</sup>) fueron elaboradas en el laboratorio de CANMET en 1977 utilizando una revoladora contracorriente. Los materiales utilizados, el proporcionamiento y el procedimiento para incorporar el superplastificante al concreto fresco fue como sigue:

Materiales

Cemento

Se utilizó cemento Portland normal tipo I. Las propiedades físicas y el análisis químico del cemento se proporcionan en la tabla 1.

### Agregados

Como agregado grueso se utilizó caliza triturada con tamaños menores de 13 mm (3/4 pulg) y arena local como el agregado fino. La arena fue separada en fracciones de diferente tamaño que posteriormente fueron combinadas para obtener una granulometría uniforme para cada una de las revolturas. La granulometría y las propiedades físicas del agregado grueso y del fino se proporcionan en las tablas 2 y 3.

### Aditivo inclusor de aire.

En todas las revolturas se utilizó un aditivo inclusor de aire del tipo hidrocarbano sulfonado.

### Superplastificante

Se utilizaron en las revolturas de concreto los siguientes tres tipos de superplastificantes:

#### Condensados de Naftaleno-Formaldehído Sulfonado.

Los superplastificantes A y C caen en esta categoría. El superplastificante A es de origen estadounidense. Generalmente se consigue como un polvo soluble o como una solución concentrada al 34% con una densidad de 1200 Kg/m<sup>3</sup> (75 lbs/pie<sup>3</sup>) y es de color café oscuro. El contenido de cloruro es insignificante.

El superplastificante C es de origen japonés\*. Generalmente se consigue como una solución concentrada al 42%, con una densidad de 1200 Kg/m<sup>3</sup> (74.9 lbs/pie<sup>3</sup>) y es de color café oscuro. El contenido de cloruro es insignificante.

#### Condensados de Melamina-Formaldehído Sulfonado.

El superplastificante B pertenece a esta categoría, y es de origen alemán\*\*. Generalmente se consigue como una solución al 20% con una densidad de 1100 Kg/m<sup>3</sup> (68.6 lbs/pie<sup>3</sup>) y en apariencia es de clara a ligeramente turbia (lechosa). El contenido de cloruro es de 0.005%.

#### Lignosulfonatos Modificados.

El superplastificante D cae en esta categoría. Es de origen francés pero ahora está siendo elaborado en Montreal\*\*\*. Generalmente se consigue como una solución al 20%, con una densidad de 1100 Kg/m<sup>3</sup> (68.6 lbs/pie<sup>3</sup>) y es de color café claro. No contiene cloruros.

\* Distribuido en Canadá por Atlas Chemical Industries Canada Ltd., Brantford, Ont.

\*\* Vendida en Canadá por Sternson Ltd, Brantford, Ont.

\*\*\* Mulco Inc. St. Hubert, P. Q.

La mayoría de los superplastificantes anteriores están formados principalmente por sulfonatos orgánicos del tipo RO<sub>3</sub>, donde R es un grupo orgánico complejo (figura 1), frecuentemente de gran peso molecular.

### Proporcionamiento de las revolturas.

El agregado grueso y el agregado fino fueron pesados secos bajo condiciones de laboratorio. El agregado grueso fue sumergido en agua durante 24 horas. Se escurrió el agua en exceso, y el agua retenida por el agregado fue determinada mediante diferencia de pesos. Al agregado fino se le añadió una cantidad predeterminada de agua y se le dejó en reposo durante 24 horas.

Se utilizó una revoltura normal con una relación agua/cemento de 0.42, una relación agregado/cemento de 4.77 y un contenido de cemento de 379 Kgs/m<sup>3</sup> (639 lbs/yd<sup>3</sup>). La dosificación del aditivo inclusor de aire se mantuvo constante, pero la dosificación de cada superplastificante fue de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

### Propiedades del concreto fresco.

Las propiedades del concreto fresco, como son la temperatura, el revenimiento, el peso volumétrico y el contenido de aire, fueron determinadas después del mezclado inicial de los minutos, y de nuevo después de incorporar el aditivo superplastificante y 2 minutos más de mezclado. En seguida de esto se dejó reposar el concreto en la revoladora, pero se continuaron las mediciones del revenimiento y del contenido de aire a intervalos determinados.

Cuando el revenimiento se había regresado a su valor inicial, o después de haber transcurrido una hora aproximadamente, se incorporó una segunda dosificación del superplastificante y el concreto fue mezclado durante otros dos minutos. De nuevo se determinaron las propiedades del concreto fresco. Se tomaron mediciones frecuentemente para determinar la rapidez de pérdida de revenimiento y de contenido de aire. Cuando el revenimiento se había regresado a su valor inicial de 50 mm (2 pulg), se incorporó una tercera dosificación del superplastificante y se siguió el mismo procedimiento de mezclado y muestreo. Las propiedades del concreto fresco se dejaron de ensayar cuando el revenimiento había regresado de nuevo a su valor inicial.

El procedimiento anterior para el mezclado y ensaye del concreto fresco fue repetido incorporando cada uno de los superplastificantes restantes, excepto en el caso del superplastificante D, en el cual los ensayos se terminaron dos horas después de añadir la tercera dosificación.

### PREPARACION Y COLADO DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYE.

Se colaron, de cada una de las cuatro revolturas, doce cilindros de 102 x 203 mm (4 x 8 pulg) y seis prismas de 85 x 102 x 406 mm (3.5 x 4 x 16 pulg).

El procedimiento de colado de los especímenes para cada una de las revolturas -- fue como sigue:

Tres cilindros de 102 x 203 mm (4 x 8 pulg) fueron colados inmediatamente después de concluir el mezclado inicial. Se colaron tres cilindros más -- después de incorporar la primera dosificación del superplastificante. Se siguió este procedimiento después de cada una de las dosificaciones subsecuentes. Además, por cada revoltura se colaron tres prismas de 89 x 102 x 405 mm (3.5 x 4 x 16 pulg) después de la tercera dosificación.

Todos los especímenes fueron compactados utilizando una mesa vibratoria. Después del colado todos los especímenes fueron cubiertos con arpilleras saturadas y se dejaron en el cuarto durante 24 horas a  $24 \pm 13^{\circ}\text{C}$  ( $75 \pm 3^{\circ}\text{F}$ ) y -- 50% de humedad relativa. Posteriormente fueron sacados del molde y llevados al cuarto de curado hasta ser ensayados.

#### ENSAYE DE LOS ESPECIMENES.

A los 14 días se sacaron dos prismas del cuarto de curado y se ensayaron a flexión de acuerdo a la norma ASTM C78-75 utilizando cargas a los tercios. A los 28 días se sacaron todos los cilindros y se capearon con una mezcla de azufre y arcilla y se ensayaron a compresión en una máquina universal con capacidad para 272, 160 kgs (600,000 lbs).

#### RESULTADOS DE LOS ENSAYES Y SU ANALISIS.

En esta investigación se ensayaron un total de 48 cilindros y 32 prismas. Las densidades de los cilindros se tomaron a las 24 horas y se muestran en la tabla 5. En la tabla 6 se muestra un resumen de las resistencias a la compresión y a la flexión. Los datos de los ensayos a compresión se muestran en las -- figuras 2 al 5 junto con los datos de revenimiento y contenido de aire.

En las tablas 7 al 10 se muestran los cambios en peso, longitud, velocidad de pulso y frecuencia resonante para prismas de referencia y prismas sujetos a ciclos de congelamiento y deshielo.

#### Estudios de Durabilidad

Aunque la durabilidad no se puede medir directamente, la exposición -- prolongada del concreto a ciclos repetidos de congelamiento y deshielo produce -- cambios medibles en los especímenes de ensaye que pueden indicar deterioro. Las mediciones tomadas sobre los especímenes de ensaye después de estar expuestos a ciclos de congelamiento y deshielo proporcionan datos que pueden ser útiles para evaluar la resistencia relativa al congelamiento y deshielo o durabilidad.

En esta investigación los prismas fueron expuestos a ciclos repetidos -- de congelamiento en aire y deshielo en agua de acuerdo con la norma ASTM C666-75. La unidad automática\* puede realizar ocho ciclos al día. Un ciclo completo de --  $4.4 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$  a  $-17.8 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$  ( $40 \pm 3^{\circ}\text{F}$  a  $0 \pm 3^{\circ}\text{F}$ ) y de nuevo a  $4.4 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$  ( $40 \pm 3^{\circ}\text{F}$ ) requiere de cerca de 3 horas. Durante esta investigación, la unidad automática de congelamiento y deshielo no cumplió completamente con los requisitos de -- temperatura anteriores durante los ciclos de congelamiento. Durante los ciclos -- de congelamiento estuvo fluctuando entre  $-15$  y  $-11.7^{\circ}\text{C}$  ( $5$  y  $11^{\circ}\text{F}$ ).

Con concluir los prismas 14 días en el cuarto de curado, la temperatura de cada conjunto de prismas se redujo a  $4.4 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$  ( $40 \pm 3^{\circ}\text{F}$ ) colocándolos durante una hora en el gabinete de congelamiento y deshielo puesto en la fase de deshielo. Las mediciones iniciales y todas las subsecuentes de los especímenes de ensaye de referencia y los sujetos a ciclos de congelamiento y deshielo se hicieron a esta temperatura. Después de que se tomaron las mediciones iniciales de los prismas de ensaye, se colocaron dos prismas en la unidad de congelamiento y deshielo y los dos prismas compañeros se colocaron en el cuarto de curado para que sirvieran de referencia.

Los especímenes sujetos a congelamiento y deshielo fueron examinados visualmente a intervalos frecuentes. Al concluir cada intervalo de 100 ciclos aproximadamente, se midieron sus longitudes, se pesaron y se ensayaron para determinar la frecuencia resonante y la velocidad de pulso ultrasónico. Los ensayos de congelamiento y deshielo fueron concluidos cuando los prismas de ensaye habían -- mostrado una expansión de más de 0.07%, o sea cuando se había completado 800 ciclos aproximadamente (Figuras 6 y 7).

#### DISCUSION

##### Segregación del Concreto

De todos los superplastificantes investigados, el concreto con superplastificante D fue el más cohesivo y manejable, seguido por los concretos con superplastificante C, B y A, en ese orden. Las razones para esto no son claras. -- El primer concreto también incluía más aire que los demás. En el caso del concreto con superplastificante A, hubo una segregación completa entre la matriz de cemento y el agregado.

##### Efecto de la Dosificación Repetida sobre el Revenimiento, Contenido de Aire y Resistencia a la Compresión del Concreto.

##### Concreto con Superplastificante A.

\* Fabricada por la Canadian Ice Machine Company Ltd, Toronto, Ontario.