

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.

El concreto alcanzó un revenimiento de cerca de 250 mm (10 pulg) inmediatamente después de añadir la primera dosificación del superplastificante A. Veinticinco minutos después (una hora después de comenzar el mezclado inicial) el concreto superplastificado había perdido mucha manejabilidad y el revenimiento había alcanzado 100 mm (4 pulg). Inmediatamente después de incorporar la segunda dosificación, el revenimiento de nuevo alcanzó 250 mm (10 pulg). Este valor fue sostenido durante cerca de 50 minutos, hasta cuando el concreto empezó a perder revenimiento rápidamente, llegando a un valor de 30 mm (1.25 pulg) 3.5 horas después (figura 2). La adición de una tercera dosificación aumentó el revenimiento a 225 mm (3 pulg), pero el concreto perdió revenimiento rápidamente, alcanzando un valor de 30 mm (1.25 pulg) en sólo una hora 35 minutos.

La dosificación repetida del superplastificante ocasionó la pérdida del aire incluido. El valor inicial del contenido de aire del concreto superplastificado fue de 4.9%, y fue de 3.9, 1.7 y 1.5% después de incorporar cada una de las dosificaciones.

La dosificación repetida del aditivo superplastificante resultó en un aumento en la resistencia a la compresión del concreto. Los cilindros de ensaye colados inmediatamente después del mezclado inicial tuvieron resistencias de 390 Kg/cm<sup>2</sup> (5590 lbs/pulg<sup>2</sup>). Estos valores aumentaron a 435 Kg/cm<sup>2</sup> (6180 lbs/pulg<sup>2</sup>) para los cilindros de ensaye colados inmediatamente después de la tercera dosificación. Este aumento en la resistencia se debe principalmente a la pérdida del aire incluido. La pérdida de resistencia para los cilindros de ensaye colados después de incorporar la segunda dosificación del superplastificante es anómala e inexplicable.

#### Concreto con Superplastificante B.

El concreto con revenimiento de 50 mm (2 pulg) se convirtió en concreto fluido con revenimiento alcanzando un valor de 225 mm (9 pulg) inmediatamente después de añadir la primera dosificación de superplastificante B. Treinta y cinco minutos después (una hora después de comenzar el mezclado inicial) el concreto había perdido gran parte de su aumento en revenimiento, y se había regresado a su revenimiento inicial de 50 mm (2 pulg). La adición de la segunda dosificación aumentó el revenimiento a 250 mm (10 pulg), pero el concreto empezó a perder revenimiento inmediatamente, y 2 horas 15 minutos después, había alcanzado un valor de 37 mm (1.5 pulg). De nuevo, la tercera dosificación aumentó el revenimiento a 225 mm (9 pulg), pero la pérdida de revenimiento fue muy rápida y solamente 65 minutos después, ya se había alcanzado un valor de 30 mm (1.25 pulg). El concreto exhibió poca manejabilidad a pesar del gran revenimiento después de la tercera dosificación.

Las dosificaciones repetidas del superplastificante resultaron en una pérdida constante del aire incluido. El contenido de aire incluido en el concreto superplastificado bajó de un valor inicial de 5% a valores de 4.9, 3.2 y 2.5% después de cada dosificación.

La pérdida del aire incluido resultó en un aumento substancial en la

resistencia a la compresión de los cilindros de ensaye. La resistencia a la compresión a los 28 días de los cilindros de ensaye colados después de la tercera dosificación del superplastificante fue de 463 Kg/cm<sup>2</sup> (6590 lbs/pulg<sup>2</sup>), comparada con la resistencia de 390 Kg/cm<sup>2</sup> (5550 lbs/pulg) para los cilindros de ensaye colados inmediatamente después del mezclado inicial (Figura 3).

#### Concreto con Superplastificante C.

La incorporación de la primera dosificación de superplastificante aumentó el revenimiento del concreto de 37 mm (1.5 pulg) a 238 mm (9.5 pulg). Sin embargo, la pérdida de revenimiento fue rápida, y solamente 20 minutos después, el revenimiento se había regresado a su valor original. La incorporación de la segunda dosificación de nuevo aumentó el revenimiento a 238 mm (9.5 pulg). Este valor fue sostenido durante cerca de 20 minutos, después de los cuales el concreto perdió revenimiento uniformemente pero a una rapidez menor, alcanzando 25 mm (1 pulg) en 2 horas 45 minutos. La incorporación de la tercera dosificación aumentó el revenimiento del concreto a sólo 200 mm (8 pulg) con una pérdida de revenimiento rápida después. Se alcanzó un valor de 25 mm (1 pulg) en sólo un poco más de 1 hora (Figura 4). Este concreto exhibió buena manejabilidad entre la segunda y tercera dosificación del superplastificante, no como los concretos con superplastificante A y B.

Las dosificaciones repetidas con superplastificante C resultaron en una pérdida del aire incluido de solamente 1.3% después de la tercera dosificación. Los valores iniciales y finales del contenido de aire fueron 4.5 y 3.2% respectivamente. Esto es muy diferente a lo encontrado con los concretos con superplastificantes A y B, los cuales tenían pérdidas substanciales del aire incluido después de la tercera dosificación.

La resistencia a la compresión a los 28 días para los cilindros de ensaye colados inmediatamente después de la adición de la tercera dosificación del superplastificante fue de 488 Kg/cm<sup>2</sup> (6950 lbs/pulg<sup>2</sup>) comparada con una resistencia de 404 Kg/cm<sup>2</sup> (5750 lbs/pulg<sup>2</sup>) para los cilindros colados inmediatamente después del mezclado inicial del concreto (Figura 3). Esto es un aumento de 84 Kg/cm<sup>2</sup> (1200 lbs/pulg<sup>2</sup>) y que no se puede explicar a través del 1.3% de pérdida de aire incluido. El mecanismo exacto para este aumento en resistencia es desconocido, pero se puede deber a algunas propiedades especiales impartidas al concreto por el superplastificante.

#### Concretos con Superplastificante D.

Las propiedades del concreto fresco al que se le había incorporado superplastificante D fueron completamente diferentes a las de los concretos con superplastificantes A, B y C (Figura 5). La primera dosificación aumentó el revenimiento de 50 mm a 215 mm (2 a 8.5 pulg). El concreto todavía tenía un revenimiento de 125 mm (5 pulg) después de 45 minutos. La segunda dosificación aumentó el revenimiento a 250 mm (10 pulg). Este revenimiento elevado fue sostenido durante cerca de una hora, después de la cual hubo una pérdida gradual, alcanzando el revenimiento en valor de 63 mm (2.5 pulg) en 4 horas 30 minutos después de

la incorporación de la segunda dosificación. La tercera dosificación aumentó de nuevo el revenimiento a 250 mm (10 pulg), y 2.5 horas después, el concreto todavía tenía un revenimiento de 215 mm (8.5 pulg).

El contenido de aire incluido en el concreto aumentó de 5.2 a 7.2% después de la primera dosificación. Esto es contrario a lo exhibido por los concretos con superplastificantes A, B y C, los cuales exhibían pérdida de aire incluido. Después de la segunda dosificación, el contenido de aire era de 6%, todavía mayor que el valor inicial de 5.2%. El concreto tenía un 4% de contenido de aire después de la tercera dosificación, una pérdida de solamente 1.2% a partir del valor inicial.

La resistencia a la compresión de los cilindros de ensaye colados después de la incorporación del superplastificante mostraron pérdida en resistencia en comparación con la resistencia de los cilindros de ensaye colados inmediatamente después del mezclado inicial (Figura 5). La pérdida en resistencia varió desde un 9.5% para cilindros colados después de la primera dosificación a 16.8% para cilindros colados después de la segunda dosificación. La resistencia del concreto sin superplastificante fue de 354 Kg/cm<sup>2</sup> (5040 lbs/pulg<sup>2</sup>). La pérdida de resistencia para el concreto con superplastificante D es muy contrario al aumento en resistencia para los concretos con superplastificante A, B y C. La razón parece ser que el concreto con superplastificante D incluyó mayores cantidades de aire que los otros concretos.

Efecto de la Dosificación repetida sobre el Tiempo de Fraguado Inicial del Concreto.

No se realizaron ensayos para determinar el efecto de la dosificación repetida sobre el tiempo de fraguado inicial del concreto. Investigaciones anteriores en CANMET (3) habían indicado que los superplastificantes B, C y D tenían un efecto retardante sobre el tiempo del fraguado inicial del concreto medido de acuerdo a la norma ASTM C403-70. El grado del retardo dependía del tipo de superplastificante utilizado. El uso de dosificaciones repetidas puede retardar aún más el fraguado inicial del concreto. Tendría que determinarse este efecto para hacer uso adecuado de las dosificaciones repetidas en el lugar de la obra.

Durabilidad de los Prismas de Concreto Expuestos a Ciclos Repetidos de Congelamiento y Deshielo.

La durabilidad del concreto expuesto a ciclos repetidos de congelamiento y deshielo fue determinada midiendo el peso, longitud, frecuencia resonante y velocidad de pulso de los prismas antes y después del ensaye, y comparando estos valores con los valores correspondientes de prismas de referencia. Los prismas se ensayaron a flexión después de concluir el ensaye de congelamiento y deshielo. Los datos del ensaye indican que el comportamiento de los prismas en el ensaye de congelamiento y deshielo fue una función directa del contenido de aire incluido en el concreto después de la tercera dosificación del superplastificante. El concreto con superplastificante A tenía un contenido de aire residual de solamente 1.5% después de que se añadió la tercera dosificación. Los prismas colados

TABLA No. 1

TIPO DE ENSAYE		
<u>Ensayes Físicos - General</u>		
Tiempo de Fraguado (Aguja Vicat):	Inicial	2 hr 00 min
	Final	3 hr 50 min
Fineza: No. 200 (pasando)		96.2%
Superficie Específica, Blaine		373 m <sup>2</sup> /Kg
Sanidad - Autoclave		0.04%
<u>Ensayes Físicos - Resistencia en Mortero</u>		
Resistencia a la Compresión en cubos de 51 mm. a		
	3 días	250 Kg/cm <sup>2</sup>
	7 días	300 Kg/cm <sup>2</sup>
	28 días	365 Kg/cm <sup>2</sup>
<u>Análisis Químico</u>		
Residuo Insoluble		0.28%
Dióxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> )		21.88%
Oxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		4.50%
Oxido Férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		2.16%
Oxido de Calcio (CaO) total		62.67%
Oxido de Magnesio (MgO)		2.50%
Trióxido de Azufre		3.24%
Pérdida por Ignición		1.22%
Otros		1.55%
C <sub>2</sub> S		46.22
C <sub>3</sub> S		27.95
C <sub>3</sub> A		8.27
C <sub>4</sub> AF		6.57

\* Información proporcionada por el Fabricante.