

TABLA No. 13

RESUMEN DE LA DETERMINACION DE LAS BURBUJAS DE AIRE EN EL CONCRETO ENDURECIDO\*

Revol- tura No.	Tipo de superplas- tificante y dosi- ficación en por- ciento en peso de cemento.	Número de burbujas en el corte	Longitud de la transversal, mm	Contenido de pasta** en %	Aire en el con- creto, %	Superficie específica cm <sup>2</sup>	Factor de es- paciamento de burbujas (mm)
1	Control, sin AIA	1600	2540	27.9	4.9	133	0.15
2	Control, con AIA						
3	Melment L10 - 1%	1600	2540	27.7	5.8	97	0.18
4	2%	1600	2540	27.7	4.3	82	0.25
5	3%	1600	2540	27.7	3.5	136	0.15
6	Mighty 150 - 0.5%	1600	2540	27.7	4.4	95	0.20
7	1.0%	1600	2540	27.7	4.1	89	0.23
8	1.5%	1550	2464	27.7	2.8	121	0.20
9	10.0%	-	-	-	-	-	-
10	Mulcoplast CF-1%	1600	2540	27.7	4.2	143	0.15
11	2%	1575	2515	27.7	7.1	92	0.18
12	3%	1575	2515	27.7	5.1	122	0.15

\* Las determinaciones de las burbujas de aire fueron realizadas por Ontario Hydro utilizando el método modificado de conteo.

\*\* Calculada a partir del proporcionamiento.

COMPORTAMIENTO DE LOS SUPERPLASTIFICANTES

DISCUSION.

Superplastificantes - ¿Es éste el término correcto?

Desde su introducción a Norteamérica, estos aditivos han sido llama-- dos "superplastificantes", "super reductores de agua", "reductores de agua de -- gran eficiencia" y "superfluidizantes". En Alemania éstos son llamados "super-- verflüssiger" (1-2), lo cual traducido literalmente es superfluidizante. Es im-- portante que se llega a un nombre correcto antes de que se aglomere la literatu-- ra técnica con estos nombres diferentes.

Forma en que actúan los aditivos superplastificantes.

Los aditivos superplastificantes actúan dispersando los aglomerados - de cemento. De acuerdo con un reporte por la Asociación del Cemento y Concreto de Londres, su forma de actuar es mejor descrita como sigue(3):

"Se piensa que estos aditivos son absorbidos por las partículas de cemento causándolos a volverse mutuamente repulsivos como un resultado de la naturaleza aniónica del superplastificante, el cual causa que las partículas de cemento se carguen negativamen-- te. Este efecto de absorción y dispersión es similar, en prin-- cipio, al encontrado por los plastificantes aniónicos normales".

Tiempo de Fraguado Inicial del Concreto.

Todos los superplastificantes investigados tuvieron efectos retardan-- tes sobre el tiempo de fraguado inicial del concreto según fue medido por la nor-- ma ASTM C403-70. A las dosificaciones recomendadas de superplastificante\*, el -- tiempo de fraguado inicial fue menos afectado por el Melment L10, seguido por -- Mighty 150 y Mulcoplast CF retardaron el fraguado inicial en cerca de 4 horas, -- ocurriendo el fraguado inicial en el concreto de referencia a las 3 horas 50 mi-- nutos. Esto tal vez se deba a que el Mulcoplast CF es un reductor de agua a ba-- se de lignina. La propiedad del superplastificante para retardar el fraguado -- puede ser ya sea benéfica o perjudicial, dependiendo en que se vaya a utilizar.

Segregación del Concreto Superplastificado.

Cuando los concretos superplastificados fueron examinados a simple -- vista, éstos no mostraron segregación significativa aún cuando se utilizaron a -- las dosificaciones máximas recomendadas. Cuando se utilizó Mighty 150 con dosi-- ficación del 10% en peso de cemento, el agregado grueso se segregó completamente de la matriz de concreto, acompañado con la formación de espuma. Durante un nú--

\* Melment L10 - 2% en peso de cemento.  
Mighty 150 - 1% en peso de cemento.  
Mulcoplast CF - 2% en peso de cemento.

mero de horas el concreto no fraguó. De todos los superplastificantes investigados, el concreto superplastificado con Mulcoplast CF pareció ser el más cohesivo. La segregación del concreto no presenta problemas serios si el concreto superplastificado es colado mediante grúas con "cubetas". Sin embargo, se debe vigilar cuidadosamente la segregación si el concreto es colado mediante sistemas de bandas transportadoras.

#### Aumentos en el Revenimiento y su Pérdida con el Tiempo.

A las dosificaciones recomendadas, los concretos superplastificados exhibieron grandes aumentos en su revenimiento. Los revenimientos alcanzaron 206 mm (8 pulg) o más minutos después de haber añadido el superplastificante y así los concretos con revenimientos bajos se volvieron concretos "fluidos" (figura 3 al 8). No hay señas de segregación seria aún con estos revenimientos elevados. Los concretos mantuvieron estos revenimientos elevados durante los primeros 5 a 10 minutos, después de los cuales hubo una pérdida rápida de revenimiento. Los concretos superplastificados con Melment L10 perdieron revenimiento más rápidamente que el concreto con cualquiera de los otros dos aditivos ensayados. A las dosificaciones recomendadas, los concretos superplastificados se regresaron al revenimiento original de cerca de 50 mm (2 pulg) en menos de 90 minutos bajo temperatura y humedad relativa de laboratorio. Por supuesto, la rapidez varió con la dosificación. A las dosificaciones máximas recomendadas\*, el concreto superplastificado perdió revenimiento con menor rapidez; después de transcurrir dos horas, los concretos superplastificados con Melment L10, Mighty 150 y Mulcoplast CF tenían revenimientos residuales de 38, 50 y 140 mm (1 1/2, 2, 5 pulg) respectivamente.

El concreto debe ser transportado y colado rápidamente para tomar ventaja de estos grandes aumentos en el revenimiento. Esto se puede lograr fácilmente en las plantas de concreto precolado, pero puede crear problemas para el concreto colado en el lugar. A pesar de estas dificultades, los superplastificantes ofrecen oportunidad para colar concreto de alta resistencia en secciones altamente reforzadas sin incurrir a la segregación. Esto parece ser su ventaja principal.

#### Desarrollo de la Resistencia a la Compresión.

##### Concreto Superplastificado con Melment L10

A las dosificaciones investigadas, las resistencias a los 28 días de cilindros compactados con vibración fueron cerca de 10% mayores que la resistencia de cilindros colados de las revolturas de control con aire incluido (figura 9). Esto también fue cierto para los cilindros de ensaye que no fueron vibrados, excepto que para dosificaciones del 2 y 3% la diferencia fue de solamente 5%.

\* Melment L10 - 3% en peso de cemento.  
Mighty 150 - 1.5% en peso de cemento.  
Mulcoplast CF - 3% en peso de cemento.

Para una dosificación del 1%, los cilindros no vibrados presentaron "panales de abejas" lo cual causó que su resistencia resultara muy por abajo en comparación con los cilindros de control (figura 10).

#### Concreto Superplastificado con Mighty 150.

A las dosificaciones investigadas, con la excepción de la dosificación del 10%, la resistencia a la compresión de cilindros colados con concreto superplastificado fueron mayores o iguales que las resistencias correspondientes a cilindros colados con las revolturas de control con aire incluido (Fig. 11). Esto fue cierto para los cilindros vibrados, así como para los no vibrados. La diferencia en resistencia fue ligeramente mayor del 10% para dosificaciones de 0.5 y 1.0%. La resistencia del concreto superplastificado con una dosificación de 1.5% fue igual a la de cilindros colados con la revoltura de control con aire incluido.

#### Concreto Superplastificado con Mulcoplast CF.

Con dosificaciones del 1 y 2%, la resistencia a la compresión de los cilindros fue igual o ligeramente mayor que la resistencia de cilindros colados con la revoltura de control con aire incluido (figura 12). Sin embargo, a la dosificación del 3%, la resistencia de los cilindros fue notablemente menor que la de los cilindros de la revoltura de control. La diferencia fue de 47.8 Kg/cm<sup>2</sup> (680 lbs/pulg<sup>2</sup>) para cilindros colados sin compactación por vibrado, siendo la resistencia a la compresión para los cilindros de control de 390 Kg/cm<sup>2</sup> (5550 lbs/pulg<sup>2</sup>). La revoltura de concreto superplastificado con Mulcoplast CF incluyó mayores cantidades de aire que la revoltura de control, esto tal vez explique el por qué la resistencia de los cilindros colados con la revoltura superplastificada no mostró ningún aumento en comparación con los cilindros de control, igual como sucedió con Melment L10 y Mighty 150.

Con una dosificación del 3%, no se pudo explicar la resistencia mayor de los cilindros comparados con los cilindros vibrados.

#### Revolturas de Concreto Números 13 al 15.

Los cilindros de ensaye colados inmediatamente antes de añadir el superplastificante no mostraron diferencia notoria en resistencia que con la de los colados inmediatamente después de haber añadido el superplastificante y mezclado durante 2 minutos (tabla 7). Sin embargo, los cilindros de ensaye colados 120 minutos después de añadir el superplastificante mostraron aumentos notorios en su resistencia.

#### Resistencias a la Flexión.

En general, la resistencia a la flexión a los 14 días para los prismas de ensaye colados con los concretos superplastificados a las dosificaciones recomendadas, fue casi igual que la resistencia de los prismas de control, excepto para los concretos superplastificados con Mulcoplast CF, para los cuales la

resistencia bajó en cerca del 10% (figura 13).

Los prismas colados con concreto superplastificado con Melment L10 -- mostraron un aumento constante en su resistencia al aumentar la dosificación del superplastificante. La resistencia a la flexión para prismas de ensaye con una dosificación del 3% fue de 74 Kg/cm<sup>2</sup> (1050 lbs/pulg<sup>2</sup>) comparada con los 70 Kg/cm<sup>2</sup> (1000 lbs/pulg<sup>2</sup>) para los prismas de ensaye colados con el concreto de control -- con aire incluido.

Los prismas colados con concreto superplastificado con Mighty 150 a -- dosificaciones del 0.5 y 1.0% mostraron aumentos ligeros en su resistencia en -- comparación con los prismas de control, pero con una dosificación del 3.0% la re -- sistencia bajó hasta un valor de 68 Kg/cm<sup>2</sup> (970 lbs/pulg<sup>2</sup>) en comparación con los 70 Kg/cm<sup>2</sup> (1000 lbs/pulg<sup>2</sup>) para los prismas de control. Esto no se considera -- significativo.

Los prismas colados con concreto superplastificado con Mulcoplast CF al 1.0% mostraron aumentos ligeros en su resistencia en comparación con la obte -- nida con los prismas de control. Con dosificaciones del 2 y 3%, las resisten -- cias de los prismas bajaron marcadamente. Se alcanzó un valor de 65 Kg/cm<sup>2</sup> (920 lbs/pulg<sup>2</sup>) con una dosificación del 2%, esta disminución es inexplicable debido a que la resistencia a la compresión en cilindros compañeros no descendieron.

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

La durabilidad de los prismas de concreto expuestos a ciclos repeti -- dos de congelamiento y deshielo fue determinado midiendo su peso, longitud, fre -- cuencia resonante y velocidad de pulso antes y después de estar expuestos a los ciclos de congelamiento y deshielo, y comparar estos valores con los valores co -- rrespondientes de los prismas de referencia.

En general, no hubo cambios significativos en la condición de los -- prismas de ensaye después de alrededor de 700 ciclos, que fue cuando se desconti -- nuaron los ensayos de congelamiento y deshielo (tablas 8-12). Los cambios en la longitud de los prismas después de 300 ciclos de congelamiento y deshielo esta -- ban muy por abajo del límite de 0.07% establecido por Klieger para concreto dura -- ble (7). Las únicas excepciones fueron los prismas de control sin aire incluido y los prismas colados con concreto superplastificado con Mighty 150 con una dosi -- ficación del 10%.

Los prismas de control sin aire incluido había mostrado un cambio re -- lativo en longitud del 0.36% después de 100 ciclos de congelamiento y deshielo, -- las pérdidas relativas en la frecuencia resonante longitudinal y en la velocidad de pulso ultrasónica fueron del 35.7 y 27.6% respectivamente. Los prismas fue -- ron dañados a tal extensión al finalizar 100 ciclos de congelamiento y deshielo que no fue posible llevar a cabo ensayos de flexión.

Los prismas colados con concreto superplastificado con Mighty 150 con

una dosificación del 10% se desintegraron completamente al finalizar 60 ciclos -- de congelamiento y deshielo, evitando así la determinación de los cambios relati -- vos en la frecuencia resonante, velocidad de pulso y longitud.

Los ensayos de congelamiento y deshielo fueron realizados utilizando el procedimiento B de la norma ASTM C666-76 "Congelamiento Rápido en Aire y Des -- hielo en Agua". La norma ASTM C494-71, Aditivos Químicos, especifica el uso del procedimiento A "Congelamiento Rápido y Deshielo en Agua" para evaluar el concre -- to al que se le ha incorporado aditivos químicos. Sin embargo, los datos de con -- gelamiento y deshielo reportados se consideran válidos debido a que el ensaye de congelamiento y deshielo es un ensaye comparativo llevado a cabo junto con los -- especímenes colados con las revolturas de control. Para la investigación que se reporta aquí, los prismas de ensaye colados con las revolturas de control sin ai -- re incluido se habían desintegrado a los 100 ciclos de congelamiento y deshielo. Datos limitados publicados por Mukherjee y Chojnacki indican que los prismas co -- lados con concretos superplastificados se comportan satisfactoriamente cuando se exponen a congelamiento y deshielo rápido en agua de acuerdo al procedimiento A de la norma ASTM C494-71 (8).

#### Determinación del Sistema de Burbujas de Aire en el Concreto Endurecido.

La determinación microscópica del contenido de burbujas de aire, y -- los parámetros del sistema de burbujas de aire en el concreto endurecido, fue de acuerdo a la norma ASTM C457-71. Se ha encontrado que la pasta de cemento debe estar protegida con burbujas de aire para que presente una durabilidad satisfac -- toria. Una protección adecuada requiere que el factor de espaciamiento no exceda 0.20 mm (0.008 pulg) (9). El factor de espaciamiento es un índice relaciona -- do con la distancia máxima de cualquier punto en la pasta de cemento desde la pe -- riferia de una burbuja de aire. En los concretos superplastificados que se in -- vestigaron, el factor de espaciamiento de burbujas varió entre 0.152 y 0.254 mm. (0.006 y 0.01 pulg) comparado con 0.152 mm (0.006 pulg) para el concreto de con -- trol con aire incluido (Tabla 13). A pesar del aumento en espaciamiento de las burbujas, la durabilidad de los especímenes de ensaye no se vió afectada en algu -- nos casos. Esto es de gran importancia, y se necesitan investigaciones para ex -- plicar este fenómeno.

#### Propiedades Elásticas del Concreto Superplastificado.

En esta investigación no se realizaron ensayos para determinar las -- propiedades elásticas de los concretos superplastificados, sin embargo, investi -- gaciones posteriores en CANMET indican que el modelo de elasticidad de Young no se ve afectado debido a la adición de superplastificantes (10). Actualmente se están realizando investigaciones para determinar las características a largo pla -- zo del flujo plástico del concreto superplastificado. No se puede concluir a -- partir de los datos limitados publicados (3, 4).

#### Concreto Superplastificado y los Ensayos de Resistencia Acelerada.

Los ensayos limitados de resistencia acelerada realizados a especíme -- nes de ensaye elaborados con concreto superplastificado muestran un desarrollo --