



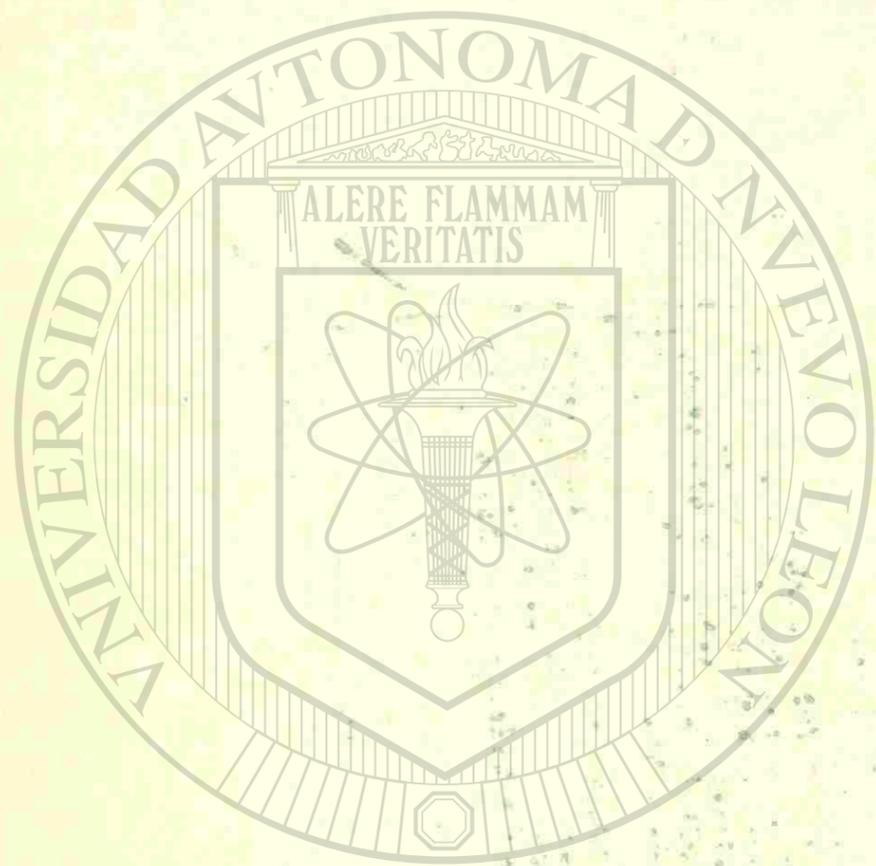
4° simposio internacional sobre
tecnología del concreto **memoria** | superplastificantes

TA680
S57
1979

As simpoosio international sobre
recomendaciones para el desarrollo
de las zonas rurales en America
Latina y el Caribe



1020082531



UANL

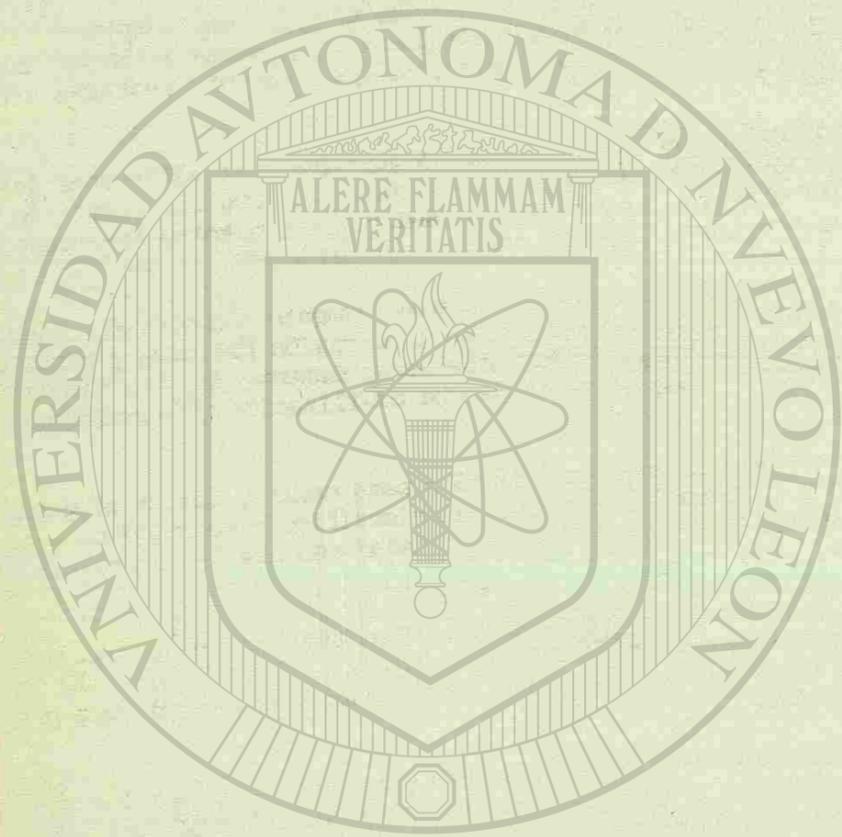
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



FONDO UNIVERSITARIO

57901



JA 680
557
1979

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

PROLOGO

En la ciudad de Monterrey, N. L., durante el mes de Marzo de 1979, se llevó a efecto el 4o. Simposium sobre Tecnología del Concreto, siendo en esta ocasión el tema de Superplastificantes sobre el que se virtió la información que en este libro se publica.

La producción y aplicación de conocimientos para satisfacer las necesidades del hombre son actividades que se asocian a los orígenes mismos de la humanidad. La ciencia (desarrollo y captación del conocimiento) y la tecnología (utilización práctica del mismo) son inherentes a la inteligencia del ser humano.

Nos ha tocado vivir en un mundo esencialmente tecnológico, donde el sistema económico, los factores que inciden en la decisión política y hasta el modo de vivir de un pueblo, se ven influenciados sensiblemente por las nuevas formas de sistemas e instrumentos que emergen de una civilización eminentemente científica.

Pocos indicadores son tan adecuados para medir y ubicar el grado de avance de una sociedad, como el propio nivel científico y tecnológico alcanzado, pues dicho nivel está despojado de la aleatoriedad con que la naturaleza ha provisto a cada país.

El país, la nación o el pueblo que no quiere ajustar su "modus operandi" a las nuevas reglas que enmarcan la era tecnológica y científica es una sociedad que renuncia a lograr las conquistas del saber humano y está condenada a quedar marginada del progreso.

El reconocimiento de la necesidad de conocer nuevos métodos científicos y la de confrontar nuestro desarrollo técnico con el de otras partes del mundo, son factores que han permitido que los simposios como el aquí descrito sean de vital importancia para nuestra Universidad y para todas las Universidades del país.

En la realización de eventos como este 4o. Simposio sobre Tecnología del Concreto, con expresiones específicas en superplastificantes, se ha encontrado una de las formas más prácticas y académicas para dar solución a los problemas que en materia de construcción se enfrentan los profesionales en la rama de ingeniería.

Los trabajos aquí expuestos dan evidentemente un panorama mundial de la tecnología empleada en solucionar los problemas de la construcción y este plurifacetismo permitirá hacer una selección adecuada de lo que sea aplicable a nuestro medio.

Mis felicitaciones al Sr. Director de la Facultad de Ingeniería Civil y mi más profundo reconocimiento por su inquebrantable voluntad de superación al Sr. Director del Instituto de Investigaciones en Ingeniería, sabiendo que una vez más ha sabido demostrar la utilidad del método científico en la solución de los problemas en materia de construcción.

DR. CORANDO SAENZ AGUIRRE
Director General de la Investigación Científica

El IV Simposio Internacional sobre Tecnología del Concreto organizado -- por el Instituto de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León, se celebró en la Ciudad de Monterrey, Nuevo León, México, del día 26 al 27 de Marzo de 1979.

Se presentaron 16 trabajos escritos que fueron expuestos en 4 sesiones, -- dándose un período de tiempo después de la presentación para hacer preguntas al ponente y una conferencia al final de la comida del día 26 de Marzo sobre "Concepto de Porosidad para Ingenieros" por el Sr. Peter Sereña, Jefe de la Sección de Materiales de la División de Investigación para la Construcción del Consejo Nacional -- de Investigación del Canadá.

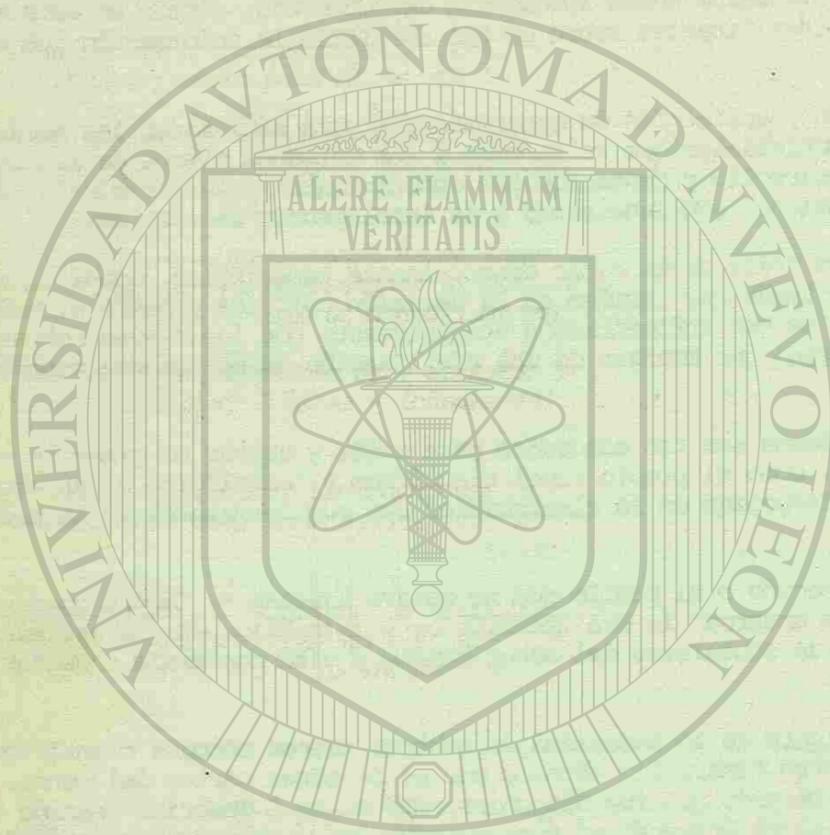
En esta ocasión se trató únicamente sobre Superplastificantes, considerando que estos aditivos están revolucionando la fabricación del concreto en todos aquellos países en los que se ha estado generalizando su uso.

Durante la presentación de los trabajos y su discusión, se contó con las facilidades de traducción simultánea inglés-español y español-inglés según el caso.

La Universidad Autónoma de Nuevo León otorgó un diploma a los asistentes a todas las sesiones y el Comité Organizador les entregó un libro en español con las memorias de todos los trabajos presentados.

Para la realización de este IV Simposio se contó con la valiosa colaboración de las siguientes instituciones y empresas nacionales y extranjeras. A las -- cuales el Comité Organizador les expresó su más amplia gratitud y reconocimiento.

CANMET del Departamento E.M.R. de Canadá
University of Innsbruck, de Australia
Ontario Hydro de Canadá
South Dakota School of Mines and Technology, de U.S.A.
National Research Council of Canada
Kao-Soap Co. Ltd. de Japón
SKW Trostberg de Alemania Occ.
Sternson, Ltd. de Canadá
SIKA Mexicana
Instituto de Ingeniería Civil, F.I.C., U.A.N.L., Monterrey, N.L., México
Concretos Apasco, S. A. de México
University of Calgary, Alberta, Canadá
Technical University of Aachen, Alemania Occ.
Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japón
Cementos Mexicanos, S. A., Monterrey, N. L.
Concretos Procesados, S. A., Monterrey, N. L.
Gobierno Constitucional del Estado de Nuevo León, México



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

COMITE ORGANIZADOR

* DIRECTOR DEL SIMPOSIO

Raymundo Rivera Villarreal

* ASESOR

V. Mohan Malhotra

* COMITE

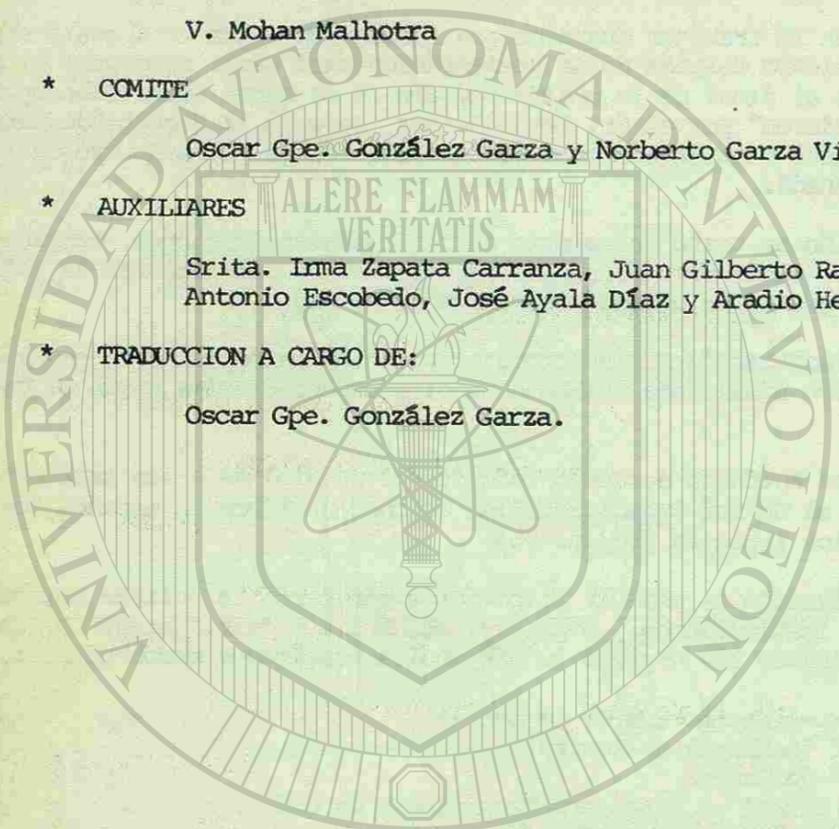
Oscar Gpe. González Garza y Norberto Garza Villarreal.

* AUXILIARES

Srita. Irma Zapata Carranza, Juan Gilberto Ramos, Román Montalvo,
Antonio Escobedo, José Ayala Díaz y Aradio Hernández.

* TRADUCCION A CARGO DE:

Oscar Gpe. González Garza.



UANL

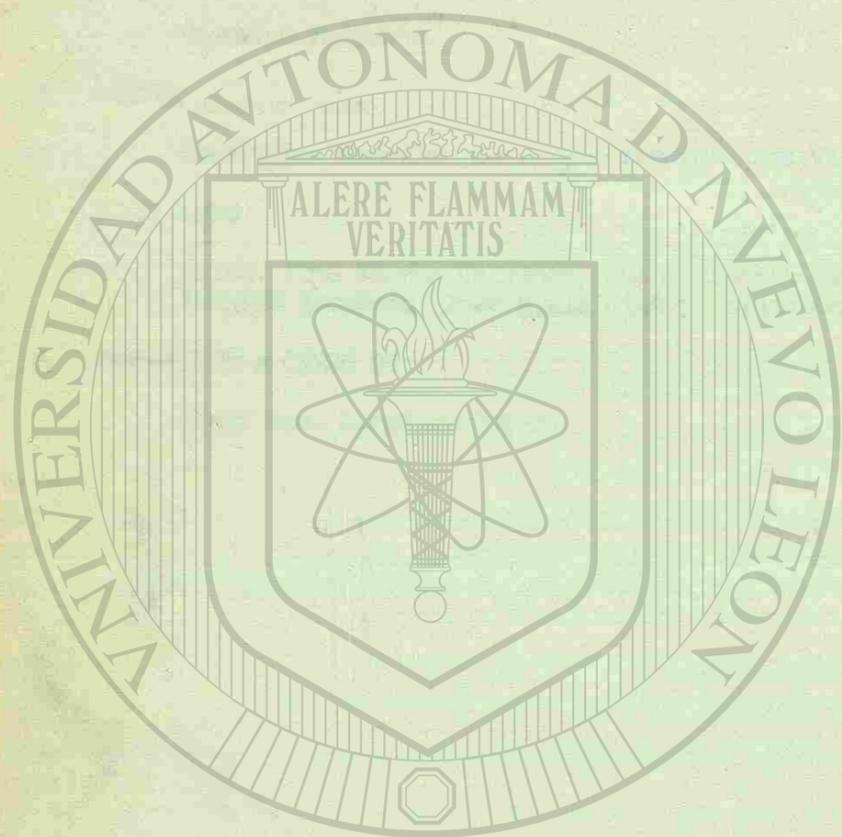
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Derechos de reproducción reservados por los autores y de traducción por la Facultad de Ingeniería Civil de la U.A.N.L. Prohibida la reproducción total o parcial sin el permiso de los arriba nombrados.

Marzo de 1979.



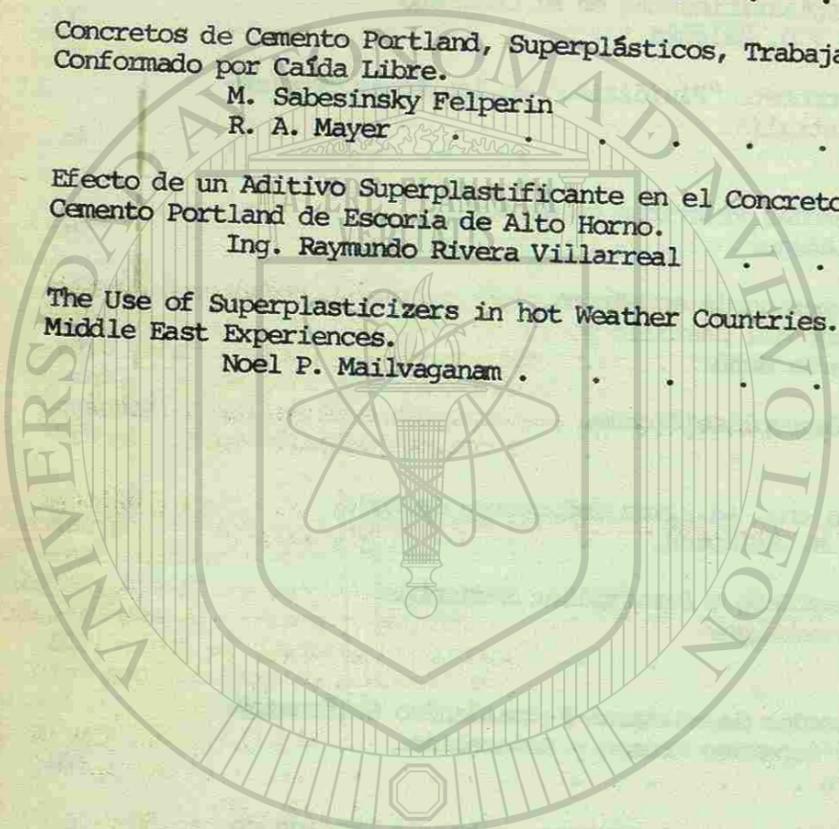
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

C O N T E N I D O

	Pág.
Prólogo.	i
Organización del IV Simposio	iii
Comportamiento de los Superplastificantes en el Concreto V. M. Malhotra y D. Malanka	1
Producción y Control del Concreto "Fluidizado" en las Zonas Tropicales y Sub-Tropicales de Australia. Alex Samarin	43
Superfluidizantes, Experiencias Prácticas en México Juan Rodolfo Laeuger.	57
Concretos Fluidos: Una Experiencia en México. Antonio Santiago del Castillo y José Luis Esparza Muñoz	65
Durabilidad del Concreto Superplastificado. R. J. Schutz	77
Uso de Superplastificantes como Aditivos Reductores de Agua. R. Ghosh y V. M. Malhotra.	99
Melment - Experiencias Prácticas y Desarrollos Recientes. Dr. Alois Aignesberger J. Reichert	121
Efectos del Uso de Condensados de Melamina-Formaldehído Sulfonatado sobre las Propiedades del Concreto Fresco y Endurecido. V. M. Malhotra	131
Efecto del Contenido de Sulfato en el Cemento, sobre la Pérdida de Revenimiento en Concretos que contienen Reductores de Agua de gran Eficiencia (Superplastificantes). S. M. Kalil y M. A. Ward	165
Efecto de las Dosificaciones Repetidas de Aditivo Superplastificante sobre la Manejabilidad, Resistencia y Durabilidad del Concreto. V. M. Malhotra	199
Estudio sobre la Alta Resistencia del Concreto Elaborado con Agregado Precolado. Shigeyoshi Nagataki	229
Control de la Pérdida de Revenimiento Mediante Redosificación con Superplastificante Mighty. Dr. Kenichi Hattori	247
Experiencias de Laboratorio Obtenidas con Morteros Fluidos. Hans Peter PreiSS y H. R. Sasse	277

	Pág.
Tendencia a la Segregación del Concreto con Superplastificante. Dr. Walter Lukas	295
Manejabilidad y Resistencia del Concreto Superplastificado V. Ramakrishnan.	311
Concretos de Cemento Portland, Superplásticos, Trabajables, para Conformado por Caída Libre. M. Sabesinsky Felperin R. A. Mayer	345
Efecto de un Aditivo Superplastificante en el Concreto Fabricado con Cemento Portland de Escoria de Alto Horno. Ing. Raymundo Rivera Villarreal	363
The Use of Superplasticizers in hot Weather Countries. Middle East Experiences. Noel P. Mailvaganam	385



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

AQUI

COMPORTAMIENTO DE LOS SUPERPLASTIFICANTES EN EL CONCRETO. ✓

V. M. Malhotra* y D. Malanka**

RESUMEN

Los aditivos superplastificantes son tipos nuevos de reductores de agua los cuales, cuando se añaden al concreto, causan gran aumento en la manejabilidad. La introducción de estos reductores de agua ha abierto nuevas posibilidades para el concreto en la construcción. Este trabajo proporciona los resultados de una investigación de laboratorio para determinar el comportamiento de los aditivos superplastificantes en concreto de alta resistencia con una relación agua/cemento de 0.42.

Se hicieron series de 15 revolturas de concreto con una relación agua/cemento de 0.42 y un revenimiento de 50 mm (2 pulg). Se añadieron diferentes dosificaciones de los aditivos superplastificantes (Melment L10, Mighty 150 y Mulco-plast CF) a la revolvedora después de completar el mezclado inicial. A esto le siguieron 2 minutos de mezclado adicional. Únicamente el concreto de control no tenía aire incluido. Se registraron los tiempos de fraguado inicial del concreto, aumentos en el revenimiento y su subsecuente pérdida con el tiempo. Fueron colados un número de cilindros y prismas para determinar la resistencia mecánica y la durabilidad al congelamiento y deshielo.

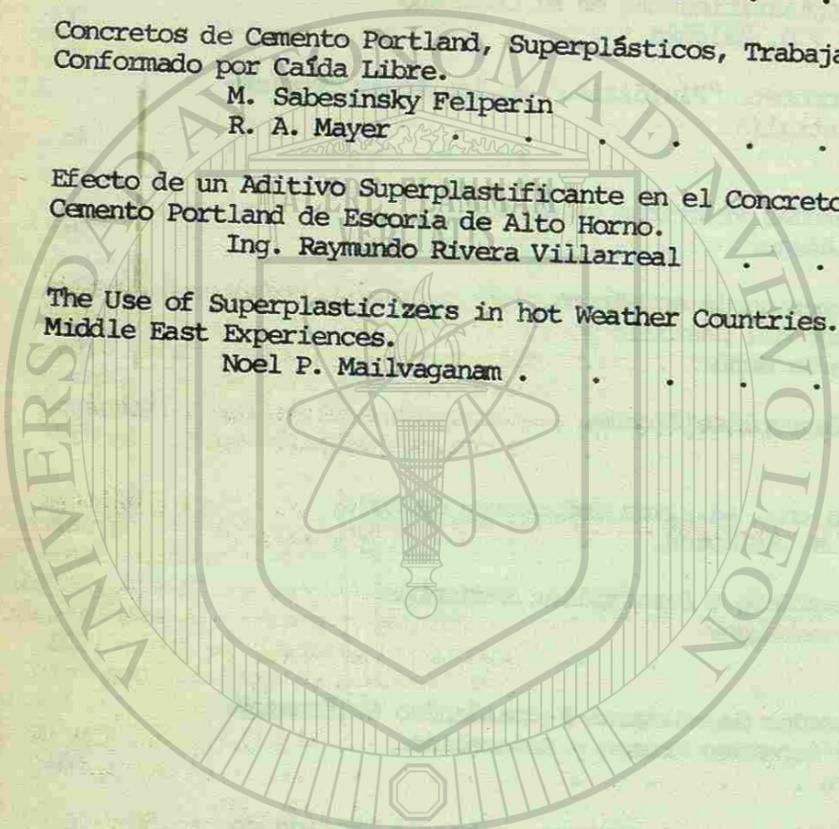
Dependiendo del tipo y dosificación utilizados, la incorporación de superplastificantes demoró el tiempo de fraguado inicial. Se confirmaron grandes aumentos en el revenimiento del concreto superplastificado, sin embargo, el aumento en manejabilidad y su pérdida con el tiempo fueron funciones del tipo de superplastificante empleado.

La resistencia a la compresión y a la flexión de los especímenes de ensaye colados con concretos superplastificados es igual o mayor que las resistencias de los especímenes de control. Los cilindros de ensaye colados sin vibrado externo mostraron resistencias comparables a la de los especímenes con vibrado interno.

En el concreto superplastificado bajo investigación, el factor de espaciamiento entre burbujas de aire varió entre 0.006 y 0.01 comparado con el 0.006 del concreto de referencia. A pesar del aumento en el espaciamiento de las burbujas, no se desmejoró la durabilidad de los prismas de ensaye de concreto superplastificado cuando fueron expuestos a ciclos repetidos de congelamiento en el aire y deshielo en agua.

* Jefe y ** Tecnólogo de la Sección de Materiales de Construcción, CANMET, Depto. de Energía, Minas y Recursos, Ottawa, Canadá.

	Pág.
Tendencia a la Segregación del Concreto con Superplastificante. Dr. Walter Lukas	295
Manejabilidad y Resistencia del Concreto Superplastificado V. Ramakrishnan.	311
Concretos de Cemento Portland, Superplásticos, Trabajables, para Conformado por Caída Libre. M. Sabesinsky Felperin R. A. Mayer	345
Efecto de un Aditivo Superplastificante en el Concreto Fabricado con Cemento Portland de Escoria de Alto Horno. Ing. Raymundo Rivera Villarreal	363
The Use of Superplasticizers in hot Weather Countries. Middle East Experiences. Noel P. Mailvaganam	385



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

AQUI

COMPORTAMIENTO DE LOS SUPERPLASTIFICANTES EN EL CONCRETO. ✓

V. M. Malhotra* y D. Malanka**

RESUMEN

Los aditivos superplastificantes son tipos nuevos de reductores de agua los cuales, cuando se añaden al concreto, causan gran aumento en la manejabilidad. La introducción de estos reductores de agua ha abierto nuevas posibilidades para el concreto en la construcción. Este trabajo proporciona los resultados de una investigación de laboratorio para determinar el comportamiento de los aditivos superplastificantes en concreto de alta resistencia con una relación agua/cemento de 0.42.

Se hicieron series de 15 revolturas de concreto con una relación agua/cemento de 0.42 y un revenimiento de 50 mm (2 pulg). Se añadieron diferentes dosificaciones de los aditivos superplastificantes (Melment L10, Mighty 150 y Mulco-plast CF) a la revoladora después de completar el mezclado inicial. A esto le siguieron 2 minutos de mezclado adicional. Únicamente el concreto de control no tenía aire incluido. Se registraron los tiempos de fraguado inicial del concreto, aumentos en el revenimiento y su subsecuente pérdida con el tiempo. Fueron colados un número de cilindros y prismas para determinar la resistencia mecánica y la durabilidad al congelamiento y deshielo.

Dependiendo del tipo y dosificación utilizados, la incorporación de superplastificantes demoró el tiempo de fraguado inicial. Se confirmaron grandes aumentos en el revenimiento del concreto superplastificado, sin embargo, el aumento en manejabilidad y su pérdida con el tiempo fueron funciones del tipo de superplastificante empleado.

La resistencia a la compresión y a la flexión de los especímenes de ensaye colados con concretos superplastificados es igual o mayor que las resistencias de los especímenes de control. Los cilindros de ensaye colados sin vibrado externo mostraron resistencias comparables a la de los especímenes con vibrado interno.

En el concreto superplastificado bajo investigación, el factor de espaciamiento entre burbujas de aire varió entre 0.006 y 0.01 comparado con el 0.006 del concreto de referencia. A pesar del aumento en el espaciamiento de las burbujas, no se desmejoró la durabilidad de los prismas de ensaye de concreto superplastificado cuando fueron expuestos a ciclos repetidos de congelamiento en el aire y deshielo en agua.

* Jefe y ** Tecnólogo de la Sección de Materiales de Construcción, CANMET, Depto. de Energía, Minas y Recursos, Ottawa, Canadá.

COMPORTAMIENTO DE LOS SUPERPLASTIFICANTES EN EL CONCRETO

INDICE

	Pág.
INTRODUCCION	3
ALCANCE DE LA INVESTIGACION.	3
REVOLTURAS DE CONCRETO.	3
ENSAYE DE LOS ESPECIMENES	10
ESTUDIOS DE DURABILIDAD	10
RESULTADOS DE LOS ENSAYES Y SUS ANALISIS	11
DISCUSIONES	35
COMENTARIOS GENERALES Y CONCLUSIONES	40
REFERENCIAS	42

COMPORTAMIENTO DE LOS SUPERPLASTIFICANTES

INTRODUCCION

Los superplastificantes son nuevos tipos de aditivos que sólo recientemente han sido introducidos a Norteamérica, aunque ya han sido utilizados en Japón desde fines de 1960 y en Europa desde 1972 (1-6). También conocidos como reductores de agua de gran eficiencia, (los superplastificantes pueden ser definidos como aditivos químicos, los cuales cuando se agregan al concreto normal con cemento Portland pueden aumentar enormemente su manejabilidad o hacer posible reducciones en el contenido de agua. Generalmente estos aditivos se venden como soluciones pero también se pueden conseguir como sólidos. Se necesitan grandes dosificaciones para lograr los resultados declarados por los fabricantes, generalmente entre 1 y 2% en peso de cemento, dependiendo de la propiedad requerida. Estos aditivos son caros comparados con los aditivos reductores de agua convencionales.)

Este trabajo describe brevemente los tipos principales disponibles en Canadá y proporciona los resultados de una investigación de laboratorio llevada a cabo para determinar su efecto sobre el concreto.

ALCANCE DE LA INVESTIGACION.

En este estudio se hicieron una revoltura de control de concreto sin aire incluido y 14 revolturas de concreto con aire incluido utilizando una relación agua/cemento de 0.42 y un contenido de cemento de 379 Kg/m³ (639 lbs/yd³). Se elaboraron revolturas de 0.062 m³ (2.2 pies³) en una revolvedora contra corriente para laboratorio. Se incorporaron a las revolturas 3 tipos de superplastificantes generalmente disponibles en el mercado con dosificaciones que variaron desde 0.5 a 3 por ciento en peso de cemento, excepto en un caso en que se utilizó 10% en peso de cemento. Se determinaron las propiedades del concreto fresco y los tiempos de fraguado inicial. A partir de cada revoltura se colaron un número de cilindros de 102 x 203 mm (4 x 8 pulg) con y sin vibrado, para ser ensayados a compresión a los 28 días. También se colaron prismas de 89 x 102 x 406 mm (3.5 x 4 x 16 pulg) para determinar la resistencia a la flexión y la resistencia a ciclos de congelamiento y deshielo. Además se determinaron los parámetros de las burbujas de aire en el concreto endurecido. ®

REVOLTURAS DE CONCRETO

Las revolturas fueron hechas en el laboratorio de CANMET entre enero y marzo de 1977. El tiempo de mezclado inicial para cada revoltura fue de 6 minutos. Inmediatamente después del mezclado se determinaron las propiedades del concreto fresco, enseguida se agregó la dosificación requerida de superplastificante a la revolvedora y el concreto fue mezclado durante dos minutos más.

Materiales.Cemento.

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

Agregados.

Se utilizó como agregado grueso caliza triturada con tamaños menores de 19 mm (3/4 pulg) y arena local como agregado fino. Para mantener la granulometría uniforme en cada revoltura, la arena fue separada en fracciones de tamaños diferentes, las cuales fueron combinadas para obtener una granulometría específica. La granulometría y propiedades físicas del agregado grueso y del fino se proporcionan en las tablas 2 y 3.

Aditivo Inclisor de Aire.

En todas las revolturas se utilizó un aditivo inclisor de aire del tipo hidrocarbano sulfonatado, excepto en la revoltura de control sin aire incluido.

Superplastificantes.

Se utilizaron los siguientes tres tipos de aditivos superplastificantes.

Condensados de Melamina-Formaldehído Sulfonatado.

El aditivo Melment L10 de origen alemán, pertenece a esta categoría. Está siendo vendida en Canadá por Sternson Limited, Brantford, Ontario. Generalmente se consigue como una solución con una densidad de 1100 Kg/m³ (68.6 lb/pie³) y en apariencia va desde clara a ligerante turbia o lechosa. El contenido de cloruro es de 0.005%.

Condensados de Naftaleno-Formaldehído Sulfonatado.

El Mighty 150 de origen japonés cae en esta categoría. Es distribuido en Canadá por Atlas Chemical Industries Canada Ltd, Brantford, Ontario. Generalmente se consigue como una solución al 42% con una densidad de 1200 Kg/m³ (74.9 lbs/pie³) y es de color café oscuro. El contenido de cloruro es insignificante.

Lignosulfonatos Modificados.

El Milcoplast CF es de esta categoría. Es de origen francés pero ahora está siendo fabricado en Montreal por Mulco Inc., St. Hubert, P. Q. Generalmente se consigue como una solución acuosa al 20% con una densidad de 1100 Kg/m³ (68.6 lbs/pie³) y en apariencia es café claro. No contiene cloruros.

TABLA No. 1

TIPO DE ENSAYE		
<u>Ensayos 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 ² /kg
Sanidad - Autoclave		0.04 %
<u>Ensayos Físicos - Resistencia en Mortero</u>		
Resistencia a la Compresión en cubos de 51 mm. a		
	3 días	250 Kg./cm ²
	7 días	300 Kg./cm ²
	28 días	365 Kg./cm ²
<u>Análisis Químico</u>		
Residuo Insoluble		0.28 %
Dióxido de Silicio (SiO ₂)		21.88 %
Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)		4.50 %
Oxido Férrico (Fe ₂ O ₃)		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 %

* INFORMACION PROPORCIONADA POR EL FABRICANTE

TABLA No. 2
GRADUACION DE LOS AGREGADOS

AGREGADO GRUESO		AGREGADO FINO	
TAMAÑO MALLA	% RETENIDO ACUMULADO	TAMAÑO MALLA	% RETENIDO ACUMULADO
3/4 pulg. (19 mm)	33.4	Malla No. 4 (4.75 mm)	0.0
3/8 pulg. (9.5 mm)	66.6	Malla No. 8 (2.36 mm)	10.0
Malla No. 4 (4.75mm)	100.0	Malla No. 16 (1.18 mm)	32.5
		Malla No. 30 (1.40 mm)	57.5
		Malla No. 50 (300 mm)	80.0
		Malla No. 100 (150 mm)	94.0
		BANDEJA	100.0

TABLA No. 3
PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS

	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
Densidad	2.68	2.70
Absorción, %	0.40	0.50

COMPORTAMIENTO DE LOS SUPERPLASTIFICANTES

Todos los superplastificantes interiores están hechos con sulfonatos orgánicos del tipo RSO₃ donde R es un grupo orgánico complejo, frecuentemente de elevado peso molecular (Figura 1).

Proporcionamiento de las Revolturas.

Los agregados grueso y fino, ya graduados, fueron pesados bajo condiciones de laboratorio. El agregado grueso fue sumergido en agua durante 24 horas. Se dejó escurrir el agua en exceso y la cantidad de agua retenida fue determinada por diferencia de pesos. Al agregado fino se le añadió una cantidad predeterminada de agua, y se le dejó reposar durante 24 horas.

Se utilizó una revoltura normal con relación agua/cemento de 0.42, relación agregado/cemento de 4.77 y un contenido de cemento de 379 Kg/m³ (639 lbs/yd³). La dosificación del aditivo inductor de aire fue constante pero el tipo y cantidad de superplastificante se varió como se muestra en la tabla 4.

Propiedades del Concreto Fresco.

Las propiedades del concreto fresco como son temperatura, revenimiento, peso volumétrico y contenido de aire fueron determinadas después del mezclado inicial de 6 minutos, y también después de agregar el superplastificante y mezclar de nuevo durante 2 minutos (tabla 4). También se tomaron mediciones frecuentemente para determinar la rapidez de pérdida de revenimiento.

Tiempo del Fraguado Inicial del Concreto Fresco.

El tiempo de fraguado inicial fue determinado de acuerdo con la norma ASTM C403-70 (1976) "Tiempo de Fraguado para Revolturas de Concreto Mediante Resistencia a la Penetración" para ver si los aditivos superplastificantes retardaban el fraguado del concreto.

PREPARACION Y COLADO DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYE.

Revolturas de Concreto del 1 al 12.

De cada revoltura se colaron seis cilindros de 102 x 203 mm (4 x 8 pulgadas) y seis prismas de 89 x 102 x 406 mm (3.5 x 4 x 16 pulg). Todos los especímenes fueron colados después de añadir el superplastificante, excepto las revolturas 1 y 2, las cuales fueron revolturas de control. Tres cilindros fueron compactados utilizando una mesa vibratoria, los tres cilindros restantes no fueron sujetos a ninguna vibración. Los prismas fueron colados llenando moldes de bronce y compactándolos sobre una mesa vibratoria. Después de colados todos los especímenes fueron cubiertos con arpilleras mojadas y se dejaron durante 24 horas en el cuarto en que fueron preparados a 24 ± 1.3°C (75 ± 3°F) y a 50% de humedad relativa. Posteriormente fueron sacados de los moldes y llevados al cuarto de curado hasta que fueron a ser ensayados.

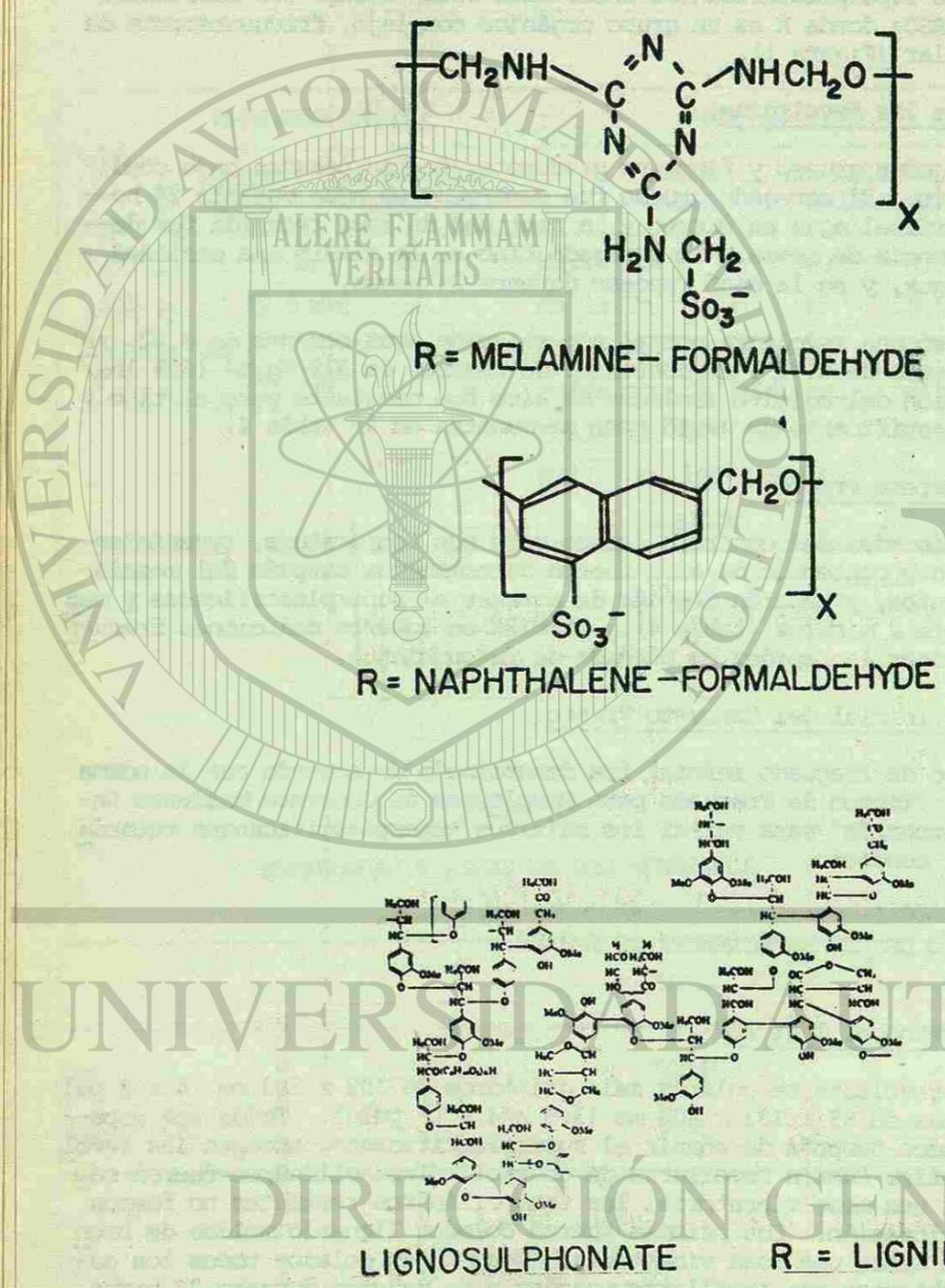


Fig. 1.- Grupo R - orgánico para el melamina-formaldehído, naftalina-formaldehído y lignosulfonato.

TABLA 4
PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

Revolutura Número	Tipo de superplastificante y dosificación en % de peso del cemento.	Después del mezclado inicial de 6 minutos.			Después de incorporar el superplastificante y 2 minutos de mezclado adicional.			
		Temperatura °C	Revenimiento mm	Peso volu-métrico Kg/m ³	Contenido de aire, %	Reveni-miento mm	Peso volu-métrico Kg/m ³	Contenido de aire, %
1	Control sin AIA*	20	45	2417	2.1	-	-	-
2	Control con AIA	22	45	2347	4.8	-	-	5.2
3	Melment L10 - 1%	19	50	2347	5.2	100	2347	5.2
4	Melment L10 - 2%	19	50	2347	5.5	230	2347	4.8
5	Melment L10 - 3%	21	50	2347	5.0	260	2353	5.0
6	Mighty 150 - 0.5%	21.5	50	2359	5.0	90	2353	4.8
7	Mighty 150 - 1.0%	22.5	50	2347	4.8	260	2353	3.4
8	Mighty 150 - 1.5%	20	50	2353	5.0	260	2398	-
9	Mighty 150 - 10%	19	50	2340	5.2	260	2461	6.0
10	Mulcoplast CF - 1%	21	50	2347	5.0	100	2334	6.8
11	Mulcoplast CF - 2%	20	50	2347	5.4	210	2302	6.0
12	Mulcoplast CF - 3%	20	70	2340	5.4	260	2295	4.0
13	Melment L10 - 3%	21	50	2347	5.3	260	2353	3.8
14	Mighty 150 - 1.5%	23	50	2359	4.8	260	2391	-
15	Mulcoplast CF - 3%	19	50	2359	5.0	260	2347	5.0

* Aditivo inductor de aire.

Revolturas de Concreto del 13 al 15.

De cada una de las tres revolturas se colaron 6 cilindros de 102 x 203 mm (4 x 8 pulg): se colaron dos cilindros inmediatamente después del mezclado inicial; dos cilindros después de agregar el superplastificante y mezclado adicional de 2 minutos; y los últimos dos cilindros se colaron después de dejar el concreto en la revoladora durante 120 minutos. Los cilindros se colaron llenando moldes de acero con dos capas aproximadamente iguales, y compactando cada capa sobre una mesa vibratoria.

ENSAYE DE LOS ESPECIMENES.

Revolturas del 1 al 12.

A los 14 días se sacaron del cuarto de curado dos prismas y se ensayaron a flexión de acuerdo a la norma ASTM C78-75 utilizando cargas a los tercios. A los 28 días se sacaron del cuarto de curado cilindros vibrados y no vibrados de cada revoltura, se capearon con una mezcla de azufre y arcilla, y se ensayaron a compresión en una máquina universal de 272,160 Kgs (600,000 lbs) de capacidad.

Revolturas del 13 al 15.

A los 28 días se sacaron del cuarto de curado los tres juegos de cilindros de cada revoltura, se capearon con una mezcla de azufre y arcilla y se ensayaron a compresión.

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 en el espécimen de ensaye que se pueden medir y que pueden indicar deterioro. Las mediciones hechas sobre los especímenes de ensaye después de los ciclos de congelamiento y deshielo proporcionan datos que se pueden utilizar para evaluar la resistencia relativa al congelamiento y deshielo, o su durabilidad.

En esta investigación los prismas de ensaye fueron expuestos a ciclos repetidos de congelamiento en aire y deshielo en agua de acuerdo a la norma ASTM C666-75. La unidad automática de congelamiento y deshielo puede realizar ocho ciclos por 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 cerca de 3 horas. Durante esta investigación la unidad no cumplió con los requisitos de temperatura anteriores. Estuvo variando entre -15 y -11.7°C (5 y 11°F) durante los ciclos de congelamiento.

Al finalizar el período inicial de curado de 14 días, la temperatura

de cada juego de prismas se redujo a $4.4 \pm 1.7^\circ\text{C}$ ($40 \pm 3^\circ\text{F}$) colocándolos en el gabinete para congelamiento y deshielo puesto en la fase de deshielo durante una hora. A esta temperatura se hicieron las mediciones iniciales y todas las subsecuentes de los especímenes de ensaye sujetos a congelamiento y deshielo y a los de referencia. Después de que se tomaron las mediciones iniciales de los prismas de ensaye se colocaron dos prismas de ensaye en el gabinete de congelamiento y deshielo y los dos prismas compañeros fueron regresados al cuarto de curado con el propósito de servir como referencia.

Los especímenes de ensaye sujetos a congelamiento y deshielo fueron examinados visualmente al finalizar cada 50 ciclos. Se midieron sus longitudes, se pesaron; y se ensayaron mediante frecuencia resonante y mediante el método de pulsos ultrasónicos a cada 100 ciclos aproximadamente. El ensaye de congelamiento y deshielo se concluyó a los 700 ciclos, y se ensayaron a flexión tanto los prismas sujetos a congelamiento y deshielo como los de referencia.

Otro índice útil para determinar la durabilidad del concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo es el factor de espaciamiento de burbujas. Este es un índice que se relaciona con la distancia máxima en milímetros (o pulgadas) desde cualquier punto en la pasta de cemento medida de la periferia de una burbuja de aire. El factor de espaciamiento para el concreto bajo investigación fue determinado de acuerdo con la norma ASTM C457-71 utilizando el método modificado de

RESULTADOS DE LOS ENSAYES Y SUS ANALISIS.

En esta investigación fueron ensayados 90 cilindros y 72 prismas. La densidad de todos los especímenes fue determinada a las 24 horas como se muestra en la tabla 5. En la figura 2 se muestran los tiempos de fraguado de los concretos, y en las figuras 3 al 7 se muestra la pérdida de revenimiento con el tiempo. En la figura 8 se muestra un concreto fluido típico. Un resumen de las resistencias a la compresión y a la flexión se proporcionan en las tablas 6 al 8 y los datos están ilustrados en las figuras 9 al 13. En la figura 10 se muestra una comparación de cilindros de ensaye colados sin compactación con aquellos colados utilizando vibración externa. La relación de resistencia a la flexión con la de compresión se muestra en la figura 14.

En las tablas 9 al 12 se muestran los cambios en peso, longitud, velocidad de pulso y frecuencias resonantes de prismas de referencia y prismas sujetos a ciclos de congelamiento y deshielo. En la figura 15 se muestran fotografías típicas de prismas de ensaye antes y después de los ciclos de congelamiento y deshielo.

Los resultados del análisis de burbujas de aire de especímenes de ensaye de concreto endurecido se proporcionan en la tabla 13.

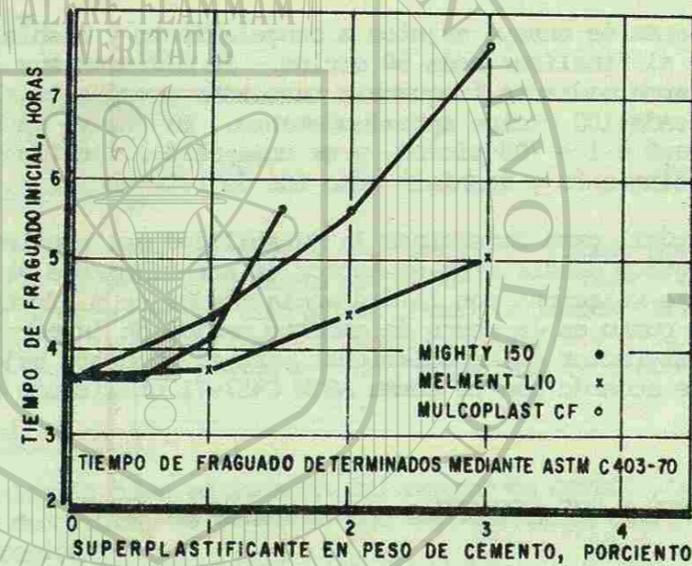


FIG. 2.-EFECTO DE LOS SUPERPLASTIFICANTES SOBRE EL TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL DEL CONCRETO.

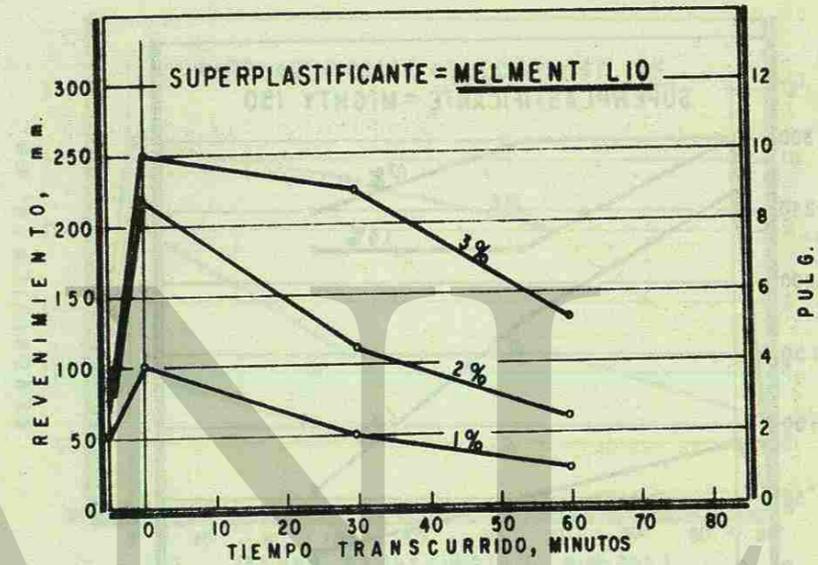


FIG. 3.-PERDIDA DE REVENIMIENTO CON EL TIEMPO-MELMENT L10.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



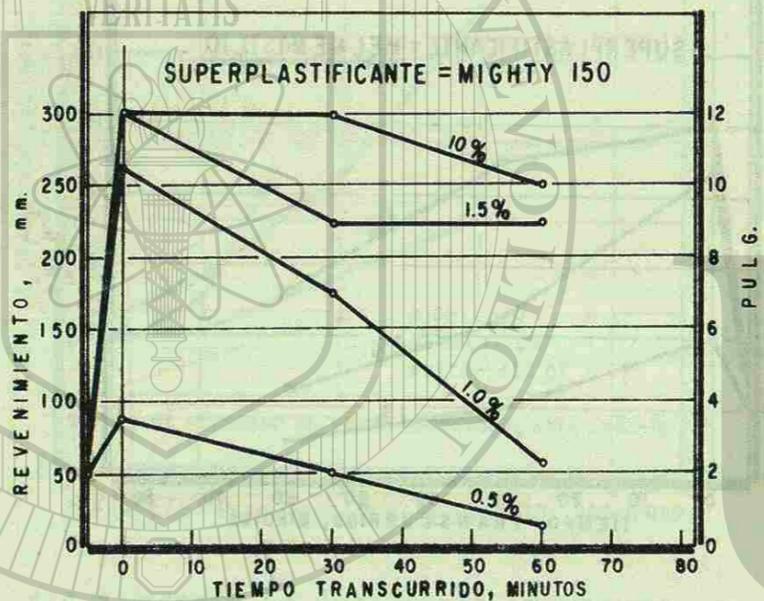


FIG. 4.- PERDIDA DE REVENIMIENTO CON EL TIEMPO
- MIGHTY 150

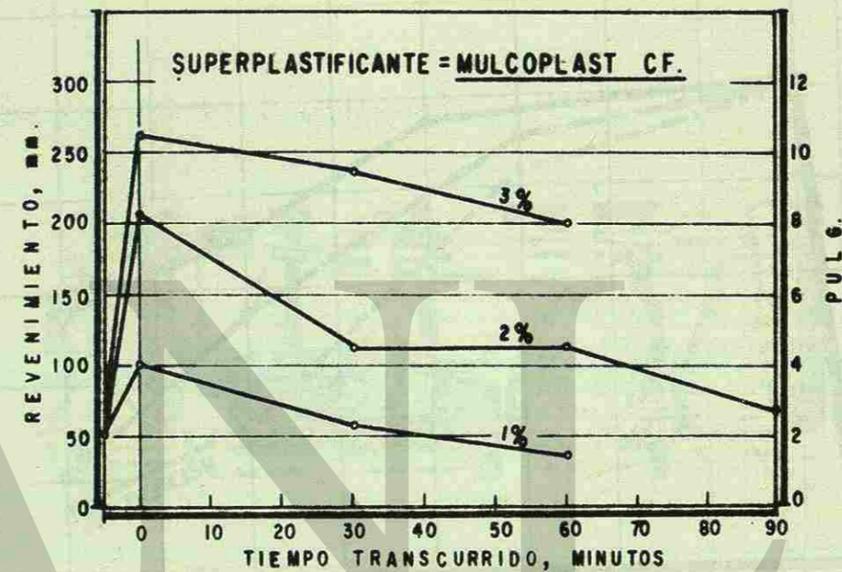


FIG. 5.- PERDIDA DE REVENIMIENTO CON EL TIEMPO
- MULCOPLAST CF

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

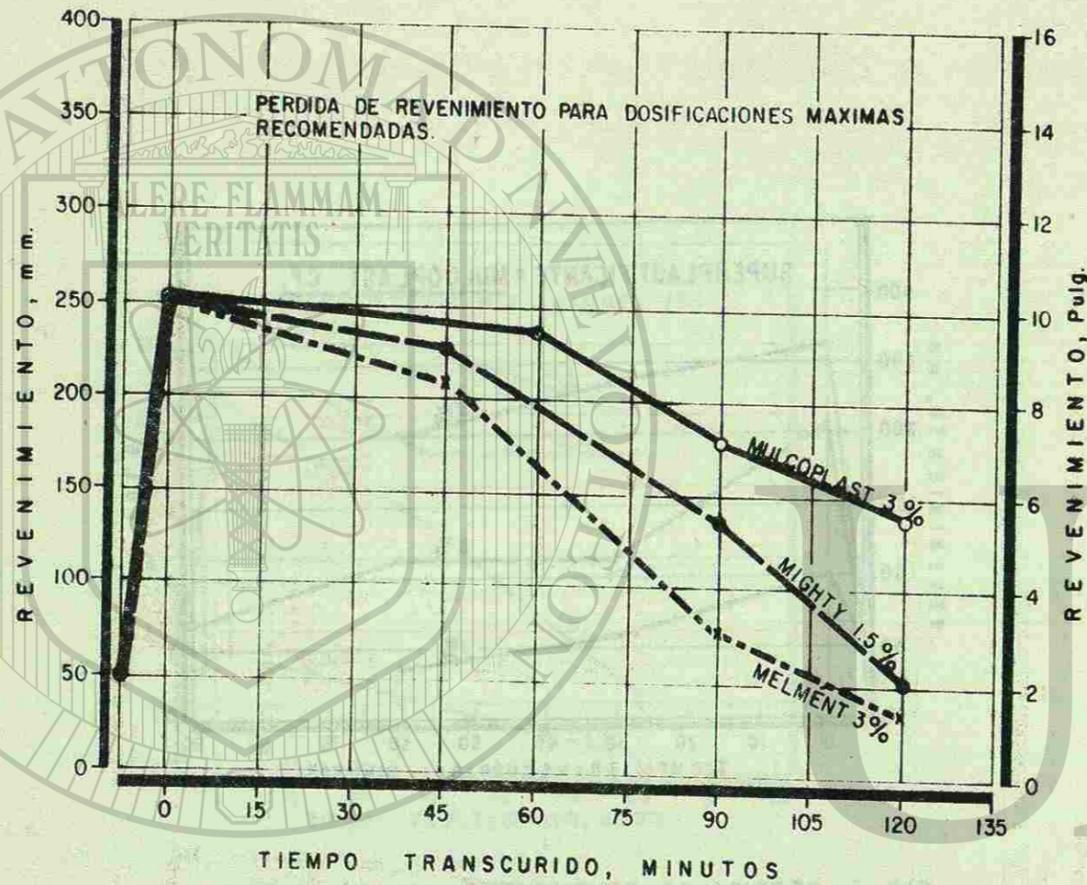


FIG. 6 PERDIDA DE REVENIMIENTO CON EL TIEMPO PARA CONCRETOS SUPERPLASTIFICADOS CON LA DOSIFICACION MAXIMA RECOMENDADA.

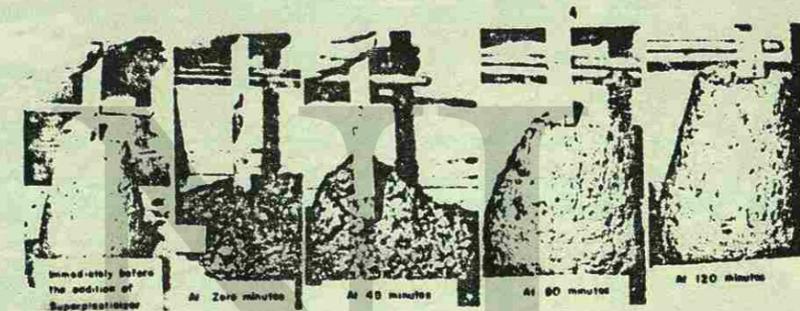


Fig. 7.- Ensayes de revenimiento a varios intervalos de tiempo para concreto al que se le ha incorporado 3% de Melment L10 en peso de cemento.

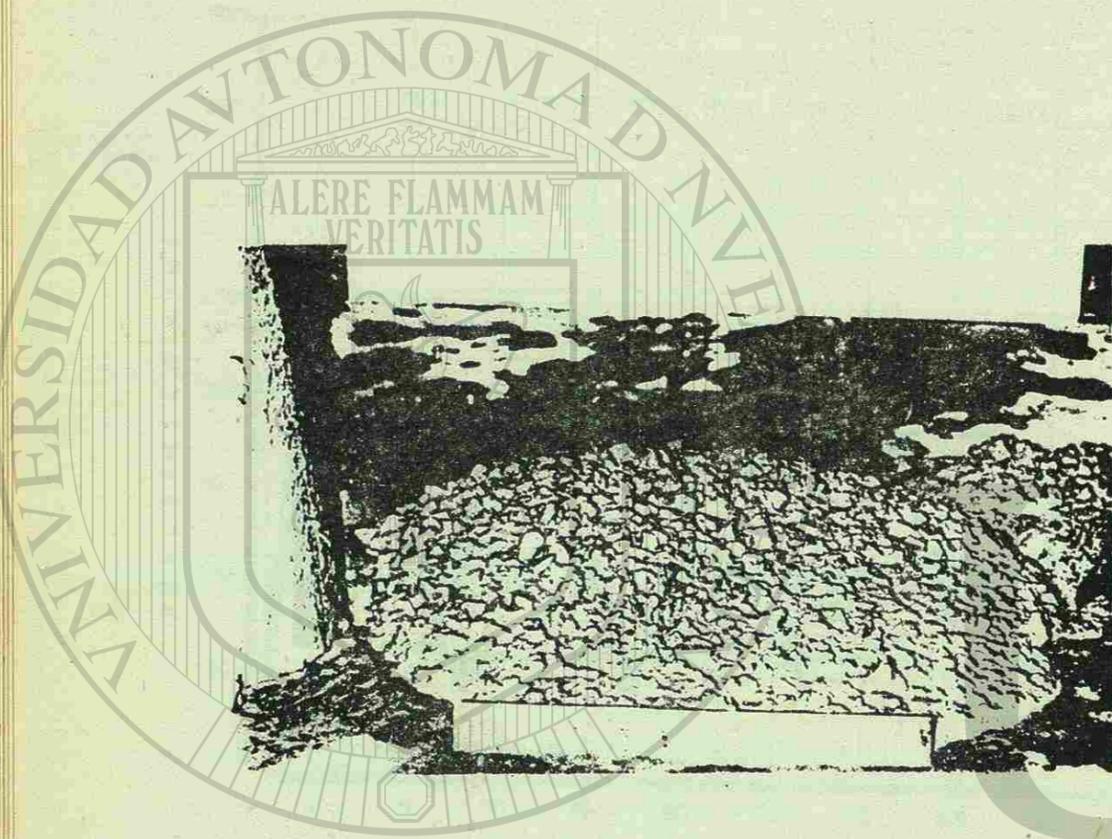


Fig. 8.- Vista de concreto con 1% de Mighty 150 por peso de cemento

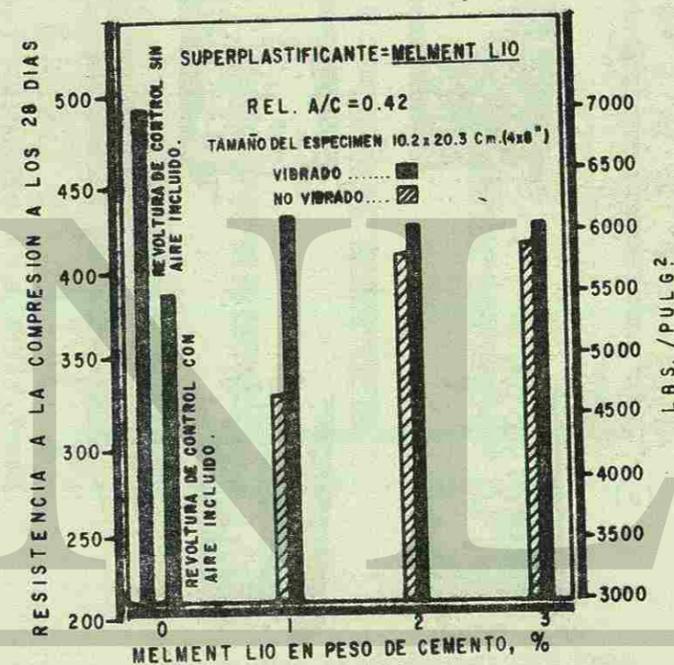


FIG.- 9.- RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA CILINDROS DE ENSAYE A LOS 28 DIAS - MELMENT LIO.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

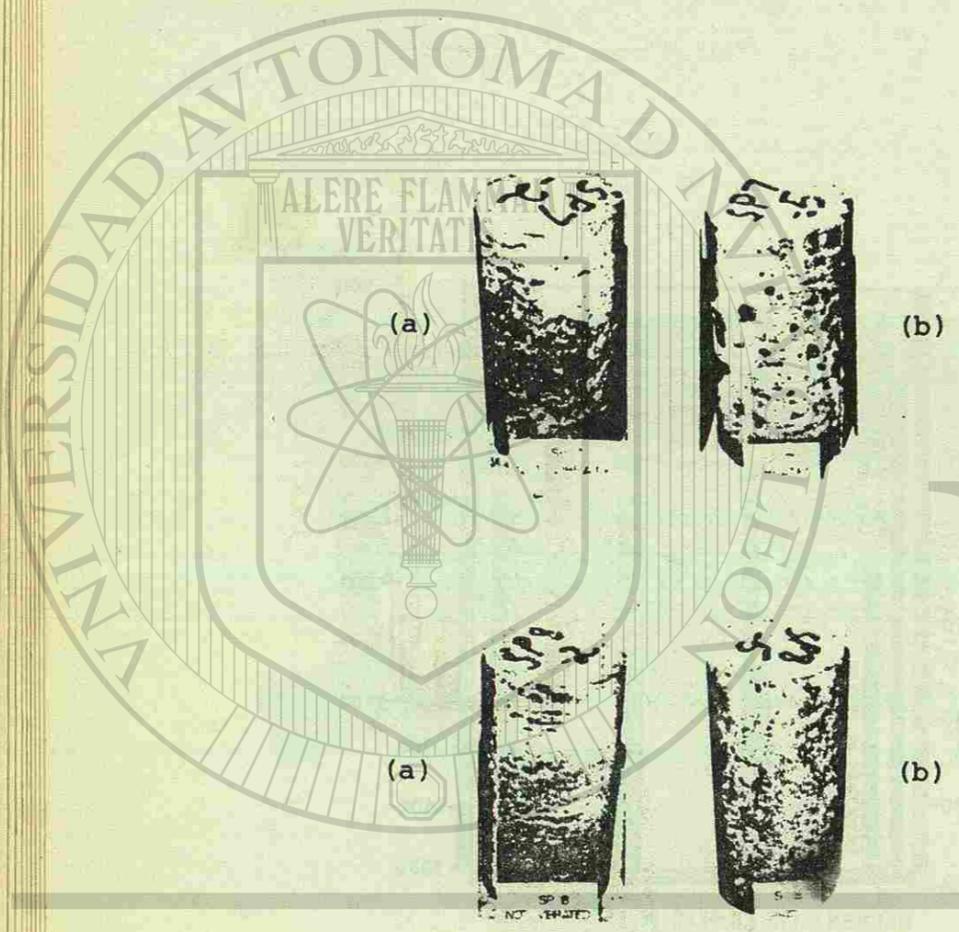


Fig. 10.- Cilindros de Prueba con y sin vibración externa

- a) No-vibrados
- b) Vibrados

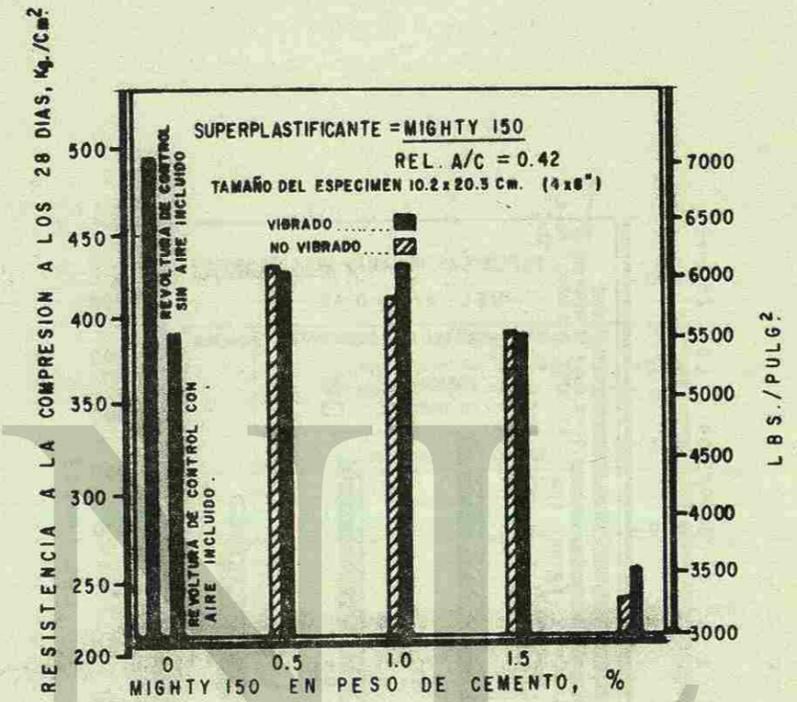


FIG. 11.- RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA CILINDROS DE ENSAYE A LOS 28 DIAS-MIGHTY 150

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

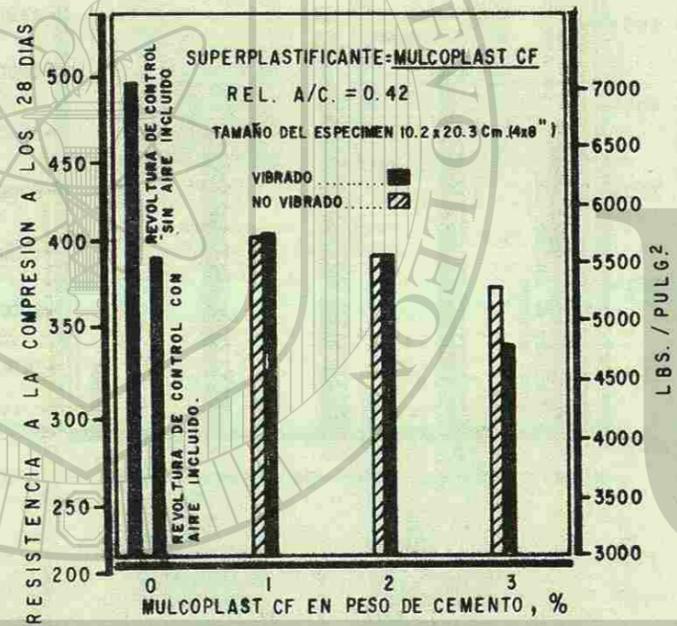


FIG. 12.- RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA CILINDROS DE ENSAYE A LOS 28 DIAS - MULCOPLAST CF.

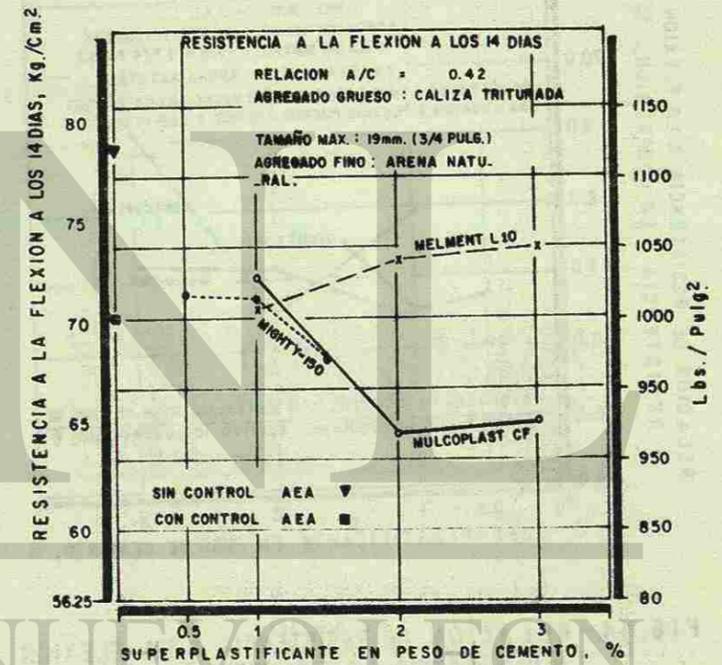


FIG. 13 RESISTENCIA A LA FLEXION DE PRISMAS DE ENSAYE A LOS 14 DIAS.

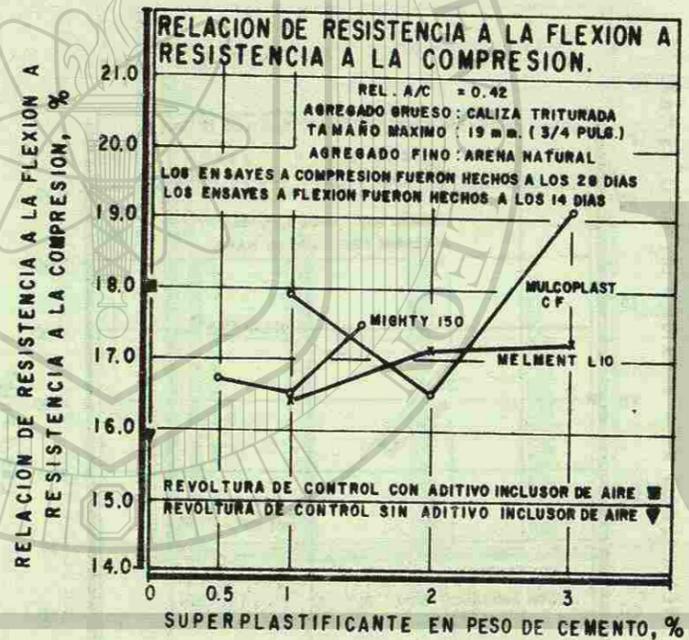
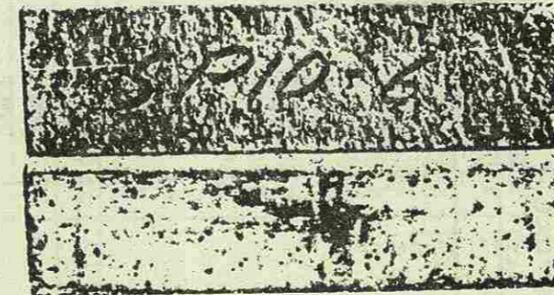


FIG. 14.- RELACION DE RESISTENCIA A LA FLEXION A RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA CONCRETOS SUPERPLASTIFICADOS.



(a)

Arriba: Prisma de referencia.

Abajo: Prisma sujeto a congelamiento y deshielo.



(b)

Arriba: Prisma de referencia.

Abajo: Prisma sujeto a congelamiento y deshielo.

Fig. 15.- Prismas de ensaye antes y después de ciclos de congelamiento y deshielo.

- a) Prismas con 1% de Mulcoplast CF.
- b) Prismas con 2% de Mulcoplast CF.

TABLA No. 5

DENSIDADES DE LOS CILINDROS DE ENSAYE A VARIAS EDADES

Revol- tura Número	Tipo de superplasti- ficante y dosifica- ción expresada en -- porcentaje en peso de cemento.	Cilindros de 102 x 203 mm (4 x 8 pulg)					
		1 día		7 días		28 días	
		Cilindros no vibrados Kg/m ³	Cilindros vibrados Kg/m ³	Cilindros vibra- dos Kg/m ³	Cilindros no vibrados Kg/m ³	Cilindros vibrados Kg/m ³	Cilindros vibrados Kg/m ³
1	Control, sin AIA*	-	2430	2412	-	2407	
2	Control, con AIA	-	2356	2339	-	2336	
3	Melment I10 - 1%	2345	2357	-	2321	2335	
4	2%	2338	2349	-	2317	2327	
5	3%	2367	2383	-	2331	2361	
6	Mighty 150 - 0.5%	2352	2356	-	2332	2336	
7	1.0%	2343	2367	-	2323	2348	
8	1.5%	2384	2415	-	2363	2393	
9	10.0%	2449	2440	-	2424	2420	
10	Mulcoplast CF - 1%	2333	2349	-	2316	2333	
11	2%	2300	2316	-	2280	2295	
12	3%	2314	2340	-	2293	2320	

* Aditivo Incluser de Aire.

NOTAS: 1.- Las densidades a las 24 horas son el promedio de 6 resultados.

2.- Las densidades de los especímenes de ensaye para las revolturas de control 1 y 2 a los 7 y 28 días son el promedio de 3 resultados.

3.- Las densidades de los especímenes de ensaye para los revolturas superplastificadas 3 al 12 son el promedio de 3 resultados.

TABLA No. 6

RESUMEN DE LAS RESISTENCIAS A LA COMPRESION DEL CONCRETO A LOS 7 Y 28 DIAS - REVOLTURAS NUMERO 1 AL 12

Revol- tura Número	Tipo de superplasticante y dosificación en porcen- to en peso de cemento.	Rel. A/c en peso	Resistencia a la compresión*de cilindros de 102 x 203 mm (4 x 8 pulg)		
			Resistencia a la compresión a los 7 días		
			Resistencia a la compresión los 28 días		
			No vibrado	vibrado	
			Kg/cm ²	Kg/cm ²	
1	Control sin AIA	0.42	400	-	496
2	Control con AIA	0.42	333	-	390
3	Melment I10 - 1%	0.42	-	330	432
4	2%	0.42	-	410	427
5	3%	0.42	-	416	428
6	Mighty 150 - 0.5%	0.42	-	429	427
7	1.0%	0.42	-	413	431
8	1.5%	0.42	-	392	390
9	10.0%	0.42	-	233	251
10	Mulcoplast CF - 1%	0.42	-	402	404
11	2%	0.42	-	392	392
12	3%	0.42	-	372	342

* Cada resultado es el promedio de los resultados de tres cilindros.

TABLA No. 7

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYE DE RESISTENCIA A LA COMPRESION - REVOLUTURAS NUMERO 13 AL 15

Revol- tura No.	Tipo de superplastificante y dosificación en porcient- to en peso de cemento.	Relación agua/cemento (en peso)	Resistencia a la compresión* a los 28 días para cilindros de 102 x 203 mm (4 x 8 pulg).	
			Cilindros de control colados antes de in- corporar el super- plastificante.	Cilindros colados inmediatamente -- después de agre- gar el superplas- tificante.
			Kg/cm ²	Kg/cm ²
13	Melment L10 - 3%	0.42	370	421
14	Mighty 150 - 1.5%	0.42	447	425
15	Mulcoplast CF - 3%	0.42	378	382

* Cada resultado es el promedio de los resultados de dos cilindros.

TABLA No. 8

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYE DE RESISTENCIA A LA FLEXION A LOS 14 DIAS Y AL CONCLUIR LOS CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO

Revol- tura No.	Tipo de superplastificante y dosificación en porcient- to en peso de cemento.	Rel. A/c (en peso)	Prismas curadas		Resistencia a la flexión*		Resisten- cia resi- dual en - porciento
			Resisten- cia a los 14 días	Al concluir los ciclos de congela- miento y -- deshielo	Prismas expuestos a ciclos de congelamiento y deshielo	Resistencia de los pris- mas Kg/cm ²	
			Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	
1	Control, sin AIA	0.42	79	86	100	Los prismas se desinte- graron completamente	-
2	Control, con AIA	0.42	70	82	700	113	91.5
3	Melment L10 - 1%	0.42	71	80	700	113	89.5
4	2%	0.42	73	75	700	113	92.5
5	3%	0.42	74	78	700	113	103.0
6	Mighty 150 - 0.5%	0.42	72	79	700	113	97.5
7	1.0%	0.42	71	79	700	113	95.5
8	1.5%	0.42	68	82	700	113	91.5
9	10.0%	0.42	52	58	50	Los prismas se desinte- graron completamente	-
10	Mulcoplast CF - 1%	0.42	72	82	700	113	99.0
11	2%	0.42	65	82	700	113	87.5
12	3%	0.42	65	80	700	113	85.0

* Cada resultado es el promedio de dos prismas, con cargas a los tercios.

** Los ensayos se terminaron a los 700 + 15 ciclos de congelamiento y deshielo.

TABLA No. 9

CAMBIO EN EL PESO DE LOS PRISMAS DE ENSAYE DURANTE LOS CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO

Revol- tura No.	Tipo de superpl- tificante y dosi- ficación en por- ciento en peso de cemento.	Peso de los primas en Kgs.*										Pérdida relati- va en - porcien- to	
		Prismas de referencia					Prismas sujetos a congelamiento y deshielo						Pérdida en %
		W ₁₄ ⁺	W ₂₆	W ₆₂	W ₈₄	W ₁₁₃	Aumento en %	W ₀ ¹	W ₁₀₀ ¹⁺⁺	W ₃₀₀ ¹	W ₅₀₀ ¹		
1	Control sin AIA	8.83	8.85	-	-	-	0.17	8.78	8.77	-	-	-	0.15
2	Control con AIA	8.63	8.64	8.64	8.65	8.65	0.32	8.52	-	8.51	8.51	8.51	0.10
3	Melment L10-1%	8.74	8.75	8.76	8.76	8.77	0.24	8.57	8.56	8.55	8.55	8.55	0.21
4	2%	8.66	8.67	8.67	8.68	8.68	0.25	8.53	8.53	8.52	8.52	8.52	0.16
5	3%	8.72	8.73	8.74	8.75	8.75	0.28	8.70	8.69	8.69	8.68	8.68	0.17
6	Mighty 150-0.5%	8.65	8.66	8.67	8.67	8.67	0.28	8.64	8.63	8.63	8.63	8.63	0.15
7	1.0%	8.62	8.63	8.63	8.64	8.65	0.31	8.63	8.63	8.62	8.63	8.62	0.14
8	1.5%	8.84	8.85	8.87	8.85	8.87	0.35	8.81	8.80	8.79	8.79	8.79	0.19
9	10.0%	8.88	8.88	-	-	-	0.05	8.90	8.46	-	-	-	5.00
10	Mulcoplast CF-1%	8.63	8.63	8.63	8.64	8.65	0.26	8.53	8.51	8.51	8.51	8.52	0.19
11	2%	8.47	8.48	8.49	8.49	8.50	0.29	8.42	8.41	8.41	8.41	8.41	0.08
12	3%	8.51	8.52	8.57	8.52	8.53	0.26	8.54	8.52	8.52	8.52	8.52	0.14

* Cada resultado es el promedio de dos prismas + W₁₄ - peso de los prismas de ensaye a los 14 días.

** Los ensayes se terminaron a los 700 ± 15 ciclos ++ W₁₀₀ - peso de los prismas de ensaye al concluir 100 ciclos de congelamiento y deshielo.

TABLA No. 10

CAMBIO EN LA LONGITUD DE LOS PRISMAS DE ENSAYE DURANTE LOS CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO.

Revol- tura No.	Tipo de superpl- tificante y dosi- ficación en por- ciento en peso de cemento.	Longitud de los prismas** en mm										Cambio relati- vo en %	
		Prismas de referencia					Prismas sometidos a congelamiento y deshielo***						
		L ₁₄ ⁺	L ₂₆	L ₆₂	L ₈₄	L ₁₁₃	Aumento en %	L ₀ ¹	L ₁₀₀ ¹⁺⁺	L ₃₀₀ ¹	L ₅₀₀ ¹		L ₇₀₀ ¹
1	Control sin AIA	2.82	2.83	-	-	-	0.0036	2.49	3.77	-	-	-	+0.3672
2	Control con AIA	2.70	2.72	2.70	2.71	2.72	0.0043	2.48	2.49	2.48	2.47	2.46	-0.0109
3	Melment L10-1%	2.98	2.99	2.97	2.98	2.97	0.0022	2.95	2.94	2.94	2.94	2.93	-0.0066
4	2%	2.50	2.49	2.49	2.56	2.56	0.0146	2.94	2.92	2.91	2.90	2.89	-0.0139
5	3%	3.03	3.05	3.05	3.05	3.05	0.0058	2.80	2.81	2.81	2.83	2.81	+0.0022
6	Mighty 150-0.5%	2.92	2.94	2.95	2.97	2.97	0.0146	2.90	2.91	2.90	2.91	2.90	+0.0015
7	1.0%	2.85	2.86	2.86	2.87	2.88	0.0088	3.06	3.08	3.08	3.07	3.07	+0.0022
8	1.5%	3.29	3.30	3.30	3.31	3.31	0.0051	2.82	2.83	2.82	2.81	2.82	+0.0007
9	10.0%	3.13	3.15	-	-	-	0.0066	2.48	5.12	-	-	-	+0.7593
10	Mulcoplast CF-1%	2.87	2.85	2.86	2.86	2.88	0.0029	2.99	2.86	3.00	3.03	3.04	+0.0116
11	2%	0.64	0.64	0.64	0.64	0.65	0.0015	0.44	0.44	0.45	0.44	0.42	-0.0044
12	3%	2.51	2.51	2.51	2.53	2.53	0.0073	2.93	2.95	2.96	2.95	2.97	+0.0109

* Cada resultado es el promedio de dos prismas, + L₁₄ - longitud de los prismas de ensaye a los 14 días.

** Longitud de calibración = 345 mm (136 pulg).

*** Los ensayes se terminaron a los 700 ± 15 ciclos de congelamiento y deshielo.

TABLA No. 11

CAMBIOS EN LA FRECUENCIA RESONANTE LONGITUDINAL FUNDAMENTAL DURANTE LOS CICLOS DE CONGELACION Y DESHIELO

Revol- tura No.	Tipo de superplas- tificante y dosi- ficación en por- ciento en peso de cemento.	Frecuencia resonante longitudinal fundamental*, N, cps.										pérdida relativa en %				
		Prismas de referencia					Prismas sometidos a conge- lamiento y deshielo**									
		N ⁺ ₁₄	N ₂₆	N ₆₂	N ₈₄	N ₁₁₃	Aumento en %	N ¹ ₀	N ¹⁺⁺ ₁₀₀	N ¹ ₃₀₀	N ¹ ₅₀₀		N ¹ ₇₀₀	Cambio en %		
1	Control sin AIA	5310	5400	-	-	-	1.7	5300	3500	-	-	-	-	-	-34.0	35.7
2	Control con AIA	5100	5200	5250	5350	5350	4.9	5130	-	5130	5170	5200	5200	5200	+ 1.4	3.5
3	Melment L10-1% 2 3%	5180 5190 5230	5270 5250 5300	5310 5280 5400	5340 5340 5430	5400 5400 5460	4.3 3.9 4.5	5200 5200 5250	5150 5190 5230	5200 5200 5250	5190 5230 5300	5210 5210 5300	5210 5210 5300	5210 5210 5300	+ 0.3 + 0.3 + 1.0	4.0 3.6 3.5
6	Mighty 150-0.5% 1.0% 1.5% 10.0%	5200 5210 5300 5260	5280 5300 5380 5330	5340 5400 5400 -	5400 5400 5450 -	5400 5450 5500 -	3.9 4.7 3.8 -	5230 5200 5330 5300	5200 5190 5310 -	5240 5200 5380 -	5250 5210 5390 -	5280 5240 5400 -	5280 5240 5400 -	5280 5240 5400 -	+ 1.0 + 0.7 + 1.4 -	2.9 4.0 2.4 -
10	Mulcoplast CF -1% 2% 3%	5150 5130 5100	5230 5200 5240	5250 5270 5300	5310 5300 5350	5360 5330 5390	4.1 3.9 5.6	5130 5060 5190	5130 5100 5110	5150 5100 5190	5180 5130 5200	5200 5180 5210	5200 5180 5210	5200 5180 5210	+ 1.5 + 2.2 + 0.4	2.6 1.7 5.2

* Cada resultado es el promedio de dos prismas. + N₁₄ - Frecuencia resonante a los 14 días.
 ** Los ensayos se terminaron a los 700 + 15 ciclos ++ N¹₁₀₀ - Frecuencia resonante e al concluir 100
 de congelamiento y deshielo.

TABLA No. 12

CAMBIOS EN LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO PARA PRISMAS DURANTE CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO

Revol- tura No.	Tipo de superplas- tificante y dosi- ficación en por- ciento en peso de cemento.	Velocidad de pulso ultrasónico, V, m/seg														pérdi- da re- lativa en %	
		Prismas de referencia							Prismas sometidos a congelamiento y deshielo								
		V ⁺ ₁₄	V ₂₆	V ₆₂	V ₈₄	V ₁₁₃	Aumento en %	V ¹ ₀	V ¹⁺⁺ ₁₀₀	V ¹ ₃₀₀	V ¹ ₅₀₀	V ¹ ₇₀₀	Cambio en %				
1	Control sin AIA	4,880	4,910	-	-	-	0.64	4,864	3,553	-	-	-	-	-	-	-26.95	27.59
2	Control con AIA	4,611	4,681	4,738	4,767	4,857	5.33	4,653	4,653	4,625	4,618	4,653	4,653	4,653	4,653	+0.01	5.32
3	Melment L10 - 1%	4,702	4,745	4,842	4,819	4,904	4.29	4,709	4,659	4,703	4,619	4,753	4,753	4,753	4,753	+0.94	3.35
4	2%	4,636	4,760	4,804	4,782	4,927	6.29	4,667	4,653	4,674	4,639	4,732	4,732	4,732	4,732	+1.39	4.90
5	3%	4,723	4,842	4,872	4,850	4,990	5.66	4,723	4,731	4,710	4,696	4,738	4,738	4,738	4,738	+0.32	5.34
6	Mighty 150 -0.5%	4,674	4,731	4,819	4,864	4,912	5.09	4,724	4,681	4,666	4,731	4,746	4,746	4,746	4,746	+0.48	4.61
7	1.0%	4,716	4,774	4,804	4,888	4,927	4.47	4,709	4,646	4,652	4,688	4,739	4,739	4,739	4,739	+0.63	3.84
8	1.5%	4,804	4,849	4,857	4,904	4,991	3.88	4,849	4,797	4,775	4,805	4,843	4,843	4,843	4,843	-0.13	4.01
9	10.0%	4,819	-	-	-	-	-	4,827	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Mulcoplast CF-1%	4,590	4,782	4,804	4,888	4,887	6.46	4,625	4,652	4,660	4,674	4,702	4,702	4,702	+1.67	4.79	
11	2%	4,597	4,731	4,745	4,782	4,842	5.32	4,591	4,597	4,590	4,647	4,639	4,639	4,639	+1.06	4.26	
12	3%	4,590	4,782	4,767	4,858	4,864	5.98	4,625	4,639	4,625	4,703	4,717	4,717	4,717	+1.98	4.00	

* Cada resultado es el promedio de dos prismas.
 ** Los ensayos se terminaron a los 700 + 15 ciclos
 de congelamiento y deshielo.

+ V₁₄ - Velocidad de pulso para los prismas de ensaye a los 14 días.

++ V¹₁₀₀ - Velocidad de pulso para los prismas de ensaye al concluir 100 ciclos de congelamiento y deshielo.

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- centaje 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 ²	Factor de es- paciamento de burbujas (mm)
1	Control, sin AIA	1600	2540	27.9	4.9	133	0.15
2	Control, con AIA	1600	2540	27.7	5.8	97	0.18
3	Melment L10 - 1%	1600	2540	27.7	4.3	82	0.25
4	2%	1600	2540	27.7	3.5	136	0.15
5	3%	1600	2540	27.7	4.4	95	0.20
6	Mighty 150 - 0.5%	1600	2540	27.7	4.1	89	0.23
7	1.0%	1600	2540	27.7	2.8	121	0.20
8	1.5%	1550	2464	27.7	-	-	-
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 sería 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/cm² (680 lbs/pulg²) para cilindros colados sin compactación por vibrado, siendo la resistencia a la compresión para los cilindros de control de 390 Kg/cm² (5550 lbs/pulg²). 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/cm² (1050 lbs/pulg²) comparada con los 70 Kg/cm² (1000 lbs/pulg²) 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/cm² (970 lbs/pulg²) en comparación con los 70 Kg/cm² (1000 lbs/pulg²) 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 obtenida 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/cm² (920 lbs/pulg²) 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 repetidos de congelamiento y deshielo fue determinado midiendo su peso, longitud, frecuencia 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 correspondientes 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 descontinuaron 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 estaban muy por abajo del límite de 0.07% establecido por Klieger para concreto durable (7). Las únicas excepciones fueron los prismas de control sin aire incluido y los prismas colados con concreto superplastificado con Mighty 150 con una dosificación del 10%.

Los prismas de control sin aire incluido había mostrado un cambio relativo 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 fueron 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 relativos 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 Deshielo en Agua". La norma ASTM C494-71, Aditivos Químicos, especifica el uso del procedimiento A "Congelamiento Rápido y Deshielo en Agua" para evaluar el concreto al que se le ha incorporado aditivos químicos. Sin embargo, los datos de congelamiento 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 aire incluido se habían desintegrado a los 100 ciclos de congelamiento y deshielo. Datos limitados publicados por Mukherjee y Chojnacki indican que los prismas colados 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 satisfactoria. 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 relacionado con la distancia máxima de cualquier punto en la pasta de cemento desde la periferia de una burbuja de aire. En los concretos superplastificados que se investigaron, 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 control 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 algunos casos. Esto es de gran importancia, y se necesitan investigaciones para explicar 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, investigaciones 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 plazo 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 especímenes de ensaye elaborados con concreto superplastificado muestran un desarrollo --

de la resistencia a la compresión idéntico al que resulta para cilindros de ensaye preparados con concreto de referencia (11). Se están realizando investigaciones adicionales para abrir una gran gama de proporcionamientos y diferentes tipos de superplastificante utilizando el método modificado de hervido.

COMENTARIOS GENERALES Y CONCLUSIONES.

En las investigaciones de laboratorio, los concretos superplastificados mostraron grandes aumentos en el revenimiento sin segregación importante aparente. Por lo tanto, concretos de alta resistencia pueden ser colados en zonas altamente reforzadas e inaccesibles mediante la adición de superplastificante. Los concretos superplastificados sí pierden revenimiento con el tiempo y ésta es una de las limitaciones serias de estos reductores de agua nuevos. Sin embargo, los problemas anteriores pueden reducirse considerablemente, si es que no se eliminan del todo, con la selección juiciosa de la dosificación del superplastificante y el añadir éste al concreto en el lugar de la obra.

Todos los superplastificantes investigados tuvieron un efecto retardante sobre el tiempo del fraguado inicial. Esto puede ser benéfico o perjudicial dependiendo de la naturaleza del trabajo en que se van a utilizar.

Cuando se incorporan los superplastificantes al concreto a la dosificación recomendada por el fabricante, la resistencia a la compresión a los 28 días de los cilindros de ensaye colados con concreto superplastificado es igual o mayor que la correspondiente a cilindros colados con la revoltura de referencia. Esto es cierto para los cilindros colados con y sin compactación por vibrado, implicando que concretos de alta resistencia a los que se les ha incorporado superplastificante se pueden colar en cimbras sin la necesidad de compactación mecánica, lo cual puede resultar en ahorros considerables de tiempo y dinero.

Los datos limitados disponibles acerca de las propiedades elásticas de los concretos superplastificados indican que el módulo de elasticidad de Young no se ve afectado adversamente por el uso de superplastificantes. Se recomienda mayor investigación en esta dirección.

La durabilidad al congelamiento y deshielo de especímenes de ensaye colados con concreto superplastificado se compara favorablemente con aquellos colados con la revoltura de control sin importar el valor del factor de espaciamiento de burbujas en el concreto endurecido.

Hubo algunas diferencias en el comportamiento de los tres superplastificantes con respecto a las resistencias a la compresión y a la flexión y en su pérdida de revenimiento con el tiempo. No se pueden formular conclusiones con respecto al comportamiento relativo entre estos tres aditivos superplastificantes utilizados.

Los resultados presentados en este reporte fueron obtenidos para concreto con una relación agua/cemento de 0.42 y utilizando cemento tipo I (CJA tipo

AQUI

10). Estos superplastificantes pueden o pueden no comportarse como se acaba de reportar en concretos elaborados con otras relaciones agua/cemento y con otros tipos de cemento y agregados.

Los aditivos superplastificantes son más caros que los aditivos reductores de agua comunes y por lo tanto no son económicos para utilizarse en concretos comunes, son ideales cuando se requiera concreto fluidizado con relaciones agua/cemento muy bajas.

REFERENCIAS

1. DIN 1048, Section 1, Clause 312, Deutscher Normenausschuss, Berlin, 1972.
2. Walz, K. and Bonzal, J. "Guidelines for the manufacture and laying of flow concrete"; Beton Herstellungs und Verarbeitend (Dusseldorf); v. 24, no. 1, pp 20-24; Jan. 1974.
3. "Superplasticizing admixtures in concrete"; Report of a Joint working party of the Cement Admixtures Association and the Cement and Concrete Association, London, England; 30 pp; Jan. 1976.
4. "Report on a materials research seminar"; Concrete (London); v. 10, no. 12, pp 24-26; Dec. 1976.
5. Hewlett, Peter and Rixom, Roger. "Superplasticized concrete"; J Am Concr Inst Proc; v. 74, no. 5, pp N6-N11; May 1977.
6. Malhotra, V.M. "Superplasticizers in concrete"; Report MRP/MSL 77-213(J), CANMET, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa; 20 pp; Aug. 1977.
7. Klieger, P. "Studies of the effect of entrained air on the strength and durability of concrete made with various maximum size of aggregates"; Proc, Highway Res Board; v. 31, p 177, Table 15; 1952.
8. Mukherjee, P.K. and Chojnacki, B. "Laboratory performance of a concrete superplasticizing admixture"; Engineering Materials Office, Ontario Ministry of Transportation and Communications, Toronto; May 1977.
9. CSA Standard A 23.1-1973; "Concrete materials and methods of concrete construction"; (Available from: Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario); p 39; 1973.
10. Malhotra, V.M. and Malanka, D. "Performance of superplasticizers in concrete: laboratory investigations - Part II"; CANMET Report, in preparation; Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada; 1977.
11. Seabrook, P. "Progress report on CANMET contract research dealing with the strength development of superplasticized concretes in accelerated strength testing"; Contract No. ISQ76-00170; Aug. 1977.

PRODUCCION Y CONTROL DEL CONCRETO "FLUIDIZADO" EN LAS ZONAS TROPICALES Y SUB-TROPICALES DE AUSTRALIA.

Alex Samarin

RESUMEN

Son bien conocidas las dificultades al fabricar concreto bajo las condiciones climáticas extremas propias de las regiones tropicales y sub-tropicales. En el concreto fresco estos problemas se manifiestan a través de pérdida en la manejabilidad, tiempos de fraguado muy rápidos, agrietamientos en la superficie del concreto, temperaturas elevadas en el concreto debido a la baja rapidez de disipación del calor de hidratación, y a las elevadas temperaturas ambientales. La elevada temperatura y el fraguado rápido del concreto fresco resultan en disminución de la resistencia máxima, y reducción en la durabilidad del concreto endurecido.

Los movimientos térmicos del concreto fresco recién fraguados son los responsables de un porcentaje elevado de todo el agrietamiento, y el problema se puede agravar aún más con la contracción muy rápida del concreto endurecido debido a la gran rapidez de evaporación del agua bajo condiciones tales como temperatura y velocidad de viento elevadas, especialmente cuando la humedad relativa es baja.

En el concreto "fluidizado" producido con los aditivos superplastificantes, algunos de los problemas observados con los concretos convencionales son agravados, y se deben realizar esfuerzos especiales a manera de sobreponerse a estas dificultades. El efecto superplastificante está limitado en su duración, y el tiempo en que se mantiene el concreto en este estado depende en mucho de la temperatura. El procedimiento, particularmente el control de la relación agua/cemento, y el añadir ciertos tipos de retardantes puede ayudar para controlar la rapidez de reducción en la manejabilidad del concreto "fluidizado". El control de la rapidez de sangrado a menudo se convierte de gran importancia bajo condiciones ambientales extremas. La rapidez de pérdida en revenimiento para el concreto "inicial" (antes de añadir el aditivo superplastificante) se puede convertirse de gran importancia. Esto a su vez, se puede asociar estrechamente con la temperatura y proporcionamiento del concreto "fluidizado".

Este trabajo intenta proporcionar algunas respuestas a los problemas anteriores. El trabajo se basa en experiencia de campo, así como de laboratorio.

REFERENCIAS

1. DIN 1048, Section 1, Clause 312, Deutscher Normenausschuss, Berlin, 1972.
2. Walz, K. and Bonzal, J. "Guidelines for the manufacture and laying of flow concrete"; Beton Herstellen und Verarbeiten (Dusseldorf); v. 24, no. 1, pp 20-24; Jan. 1974.
3. "Superplasticizing admixtures in concrete"; Report of a Joint working party of the Cement Admixtures Association and the Cement and Concrete Association, London, England; 30 pp; Jan. 1976.
4. "Report on a materials research seminar"; Concrete (London); v. 10, no. 12, pp 24-26; Dec. 1976.
5. Hewlett, Peter and Rixom, Roger. "Superplasticized concrete"; J Am Concr Inst Proc; v. 74, no. 5, pp N6-N11; May 1977.
6. Malhotra, V.M. "Superplasticizers in concrete"; Report MRP/MSL 77-213(J), CANMET, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa; 20 pp; Aug. 1977.
7. Klieger, P. "Studies of the effect of entrained air on the strength and durability of concrete made with various maximum size of aggregates"; Proc, Highway Res Board; v. 31, p 177, Table 15; 1952.
8. Mukherjee, P.K. and Chojnacki, B. "Laboratory performance of a concrete superplasticizing admixture"; Engineering Materials Office, Ontario Ministry of Transportation and Communications, Toronto; May 1977.
9. CSA Standard A 23.1-1973; "Concrete materials and methods of concrete construction"; (Available from: Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario); p 39; 1973.
10. Malhotra, V.M. and Malanka, D. "Performance of superplasticizers in concrete: laboratory investigations - Part II"; CANMET Report, in preparation; Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada; 1977.
11. Seabrook, P. "Progress report on CANMET contract research dealing with the strength development of superplasticized concretes in accelerated strength testing"; Contract No. ISQ76-00170; Aug. 1977.

PRODUCCION Y CONTROL DEL CONCRETO "FLUIDIZADO" EN LAS ZONAS TROPICALES Y SUB-TROPICALES DE AUSTRALIA.

Alex Samarin

RESUMEN

Son bien conocidas las dificultades al fabricar concreto bajo las condiciones climáticas extremas propias de las regiones tropicales y sub-tropicales. En el concreto fresco estos problemas se manifiestan a través de pérdida en la manejabilidad, tiempos de fraguado muy rápidos, agrietamientos en la superficie del concreto, temperaturas elevadas en el concreto debido a la baja rapidez de disipación del calor de hidratación, y a las elevadas temperaturas ambientales. La elevada temperatura y el fraguado rápido del concreto fresco resultan en disminución de la resistencia máxima, y reducción en la durabilidad del concreto endurecido.

Los movimientos térmicos del concreto fresco recién fraguados son los responsables de un porcentaje elevado de todo el agrietamiento, y el problema se puede agravar aún más con la contracción muy rápida del concreto endurecido debido a la gran rapidez de evaporación del agua bajo condiciones tales como temperatura y velocidad de viento elevadas, especialmente cuando la humedad relativa es baja.

En el concreto "fluidizado" producido con los aditivos superplastificantes, algunos de los problemas observados con los concretos convencionales son agravados, y se deben realizar esfuerzos especiales a manera de sobreponerse a estas dificultades. El efecto superplastificante está limitado en su duración, y el tiempo en que se mantiene el concreto en este estado depende en mucho de la temperatura. El procedimiento, particularmente el control de la relación agua/cemento, y el añadir ciertos tipos de retardantes puede ayudar para controlar la rapidez de reducción en la manejabilidad del concreto "fluidizado". El control de la rapidez de sangrado a menudo se convierte de gran importancia bajo condiciones ambientales extremas. La rapidez de pérdida en revenimiento para el concreto "inicial" (antes de añadir el aditivo superplastificante) se puede convertirse de gran importancia. Esto a su vez, se puede asociar estrechamente con la temperatura y proporcionamiento del concreto "fluidizado".

Este trabajo intenta proporcionar algunas respuestas a los problemas anteriores. El trabajo se basa en experiencia de campo, así como de laboratorio.

PRODUCCION Y CONTROL DEL CONCRETO "FLUIDIZADO EN LAS ZONAS TROPICALES Y SUB-TROPICALES DE AUSTRALIA.

INDICE

RESUMEN

INTRODUCCION.

PROBLEMAS DE COLADO DE CONCRETO EN CLIMA CALIENTE

MANEJABILIDAD - EFECTO DE LA TEMPERATURA

ACABADO DE LA SUPERFICIE.

AGRIETAMIENTO DEL CONCRETO

RESISTENCIA DEL CONCRETO

DURABILIDAD DEL CONCRETO

RESOLVIENDO PROBLEMAS DE CLIMA CALIENTE CON CONCRETO FLUIDIZADO

PERDIDA DE MANEJABILIDAD

PERDIDA DE MANEJABILIDAD

MEJORAMIENTO DEL ACABADO EN CLIMA CALIENTE.

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

PRODUCCION Y CONTROL DEL CONCRETO "FLUIDIZADO"

INTRODUCCION.

La superficie del continente Australiano (incluyendo Tasmania) es de 7;682,300 km², y de acuerdo con el censo de 1976 la población era de 13;546,200 habitantes. Actualmente debe andar arriba de 14;000,000.

Tomando la latitud del Trópico de Capricornio como 23° 30' S., casi el 39% de toda el área de Australia cae en el trópico, por ejemplo Queensland (54% del total es tropical, Australia Occidental (37% del total) y el territorio del Norte (el 81% del área total es tropical).

La costa de Australia tiene una longitud de aproximadamente 36,800 km y la mayoría de las áreas costeras tienen gran precipitación. Darwin (Capital del Territorio del Norte) tiene una precipitación promedio anual de 1,536 mm -- (todo durante la temporada de lluvia) con una temperatura máxima promedio anual de 32.3°C.

En cambio, una gran parte de Australia Central es extremadamente árida, con el desierto Great Sandy y Tanami al norte del Trópico de Capricornio y los desiertos de Gibson, Simpson y Great Victoria al Sur de esta latitud.

La temperatura en alguna de estas zonas a menudo puede exceder los 40°C y, por ejemplo, el 74.2% del Sur de Australia y el 43.5 de Australia Occidental tiene una precipitación anual de menos de 200 mm.

El 52.5% de la totalidad del Continente Australiano tiene una precipitación anual media de menos de 300 mm.

La mayor parte de la población de Australia está concentrada en las áreas costeras del sureste alrededor de Sydney, Melbourne y Adelaide, con concentraciones más pequeñas a lo largo de la costa noreste (desde Brisbane hasta Cairns) y concentraciones aún más pequeñas en el área costera sureste (alrededor de Perth).

La densidad de población en las otras áreas costeras y particularmente en el interior es baja, y los pueblos y asentamientos están muy esparcidos, así que para finales de 1975 la longitud total de caminos abiertos normalmente para tráfico general era de 844,989 km.

En 1978, el grupo Readymix operó en Australia 134 plantas de concreto, 64 pedreras o bancos de arena y grava, y 6 plantas de asfalto.

Los problemas afrontados por el productor de concreto premezclado, fuera de las grandes áreas metropolitanas, eran aquéllos de acceso y comunicación sobre grandes distancias y condiciones climáticas de gran variación.

PROBLEMAS DE COLADO DE CONCRETO EN CLIMA CALIENTE.

Las condiciones del clima caliente se pueden dividir en 2 grupos principales:

- 1.- Mucha humedad (zonas costeras).
- 2.- Poca humedad (áreas desérticas).

Las elevadas temperaturas pueden manifestarse con su efecto sobre:

- 1.- La manejabilidad del concreto fresco (tanto magnitud y duración).
- 2.- El acabado del concreto recién colado.
- 3.- El agrietamiento del concreto (durante el proceso del fraguado y en el estado endurecido).
- 4.- Resistencia del concreto.
- 5.- Durabilidad del concreto (así como la corrosión del acero en el concreto reforzado).

MANEJABILIDAD - EFECTO DE LA TEMPERATURA.

Los cambios en la manejabilidad del concreto fresco pueden ser causados por:

- a) Cambios físicos, por ejemplo, pérdida de la fase líquida de la pasta del cemento debido a la evaporación del agua y a la absorción de agua por el agregado, o cambios en la granulometría debido a trituración mecánica de partículas débiles del agregado.
- b) Cambios físicos químicos, por ejemplo, cambio en la graduación del cemento debido a la formación de capas de etringita sobre las superficies de los granos de cemento y a cambios en la viscosidad de la fase líquida al ser disueltos los álcalis.
- c) Cambios químicos causados por la hidratación del cemento y por formación de uniones químicas moleculares.

La temperatura en sí tiene una influencia bastante fuerte sobre los cambios químicos y físico-químicos, y la temperatura en combinación con la humedad relativa y la velocidad del viento tiene un efecto enorme sobre la rapidez de evaporación del agua de la superficie del concreto.

PRODUCCION Y CONTROL DEL CONCRETO "FLUIDIZADO"

ACABADO DE LA SUPERFICIE.

El arte de producir acabados óptimos en la superficie del concreto no puede ser descrita en un artículo de unas cuantas hojas, pero podemos considerar dos tipos principales de superficie, la de la cimbra y la de formada libre.

Los acabados de cimbra dependen del tipo de cimbra y agente liberador utilizado, de las propiedades reológicas y características de sangrado del concreto y en el grado de consolidación o compactación del concreto.

El efecto de la temperatura está limitada sólo a cambios reológicos y rapidez de sangrado del concreto. El concreto fluidizado diseñado adecuadamente generalmente tiene características reológicas excelentes para acabados de cimbra y se puede esperar un buen acabado siempre y cuando se mantengan estas propiedades durante el colado y consolidación del concreto.

Los acabados de formado libre están afectados primeramente por las técnicas de compactación y acabado, las cuales a su vez están relacionadas estrechamente a las características reológicas del concreto.

El sangrado del concreto, particularmente la rapidez del sangrado, puede afectar el acabado de la superficie.

Se debe reconocer que todo concreto capaz de ser consolidado debe sangrar, pero cuando las condiciones ambientales son tales que la rapidez de evaporación es mayor que la rapidez de sangrado, no es visible ninguna agua sobre la superficie del concreto.

En concretos mal diseñados, las velocidades de sangrado muy altas pueden forzar algo del material ultrafino hasta la superficie. Esto causará la formación de escamas y polvo cuando el cemento endurezca.

En cambio, y particularmente cuando la rapidez de evaporación es grande (por ejemplo, temperatura elevada, baja humedad y vientos fuertes) la falta de sangrado hará que la superficie de concreto se seque formando una costra, la cual estará sujeta a agrietamiento por contracción plástica.

Otro problema que puede surgir cuando la superficie de concreto se está secando muy rápidamente es la formación de pequeñas burbujas.

El uso de "secadores" (o cemento-arena o cemento-polvo puzolánico) para absorber el agua de sangrado a menudo puede agravar este problema. También es posible la formación de burbujas cuando el concreto es colado (en regiones donde la variación de la temperatura del día a la de la noche es alta) sobre una cimentación fresca y después calentado rápidamente en la superficie durante el día.

AGRIETAMIENTO DEL CONCRETO.

Como ya se había mencionado, el secado rápido de la superficie del concreto puede ocasionar agrietamientos por contracción plástica. Ya que la rapidez de evaporación del agua no es solamente dependiente de la temperatura, sino que también de la humedad, el problema para latitudes similares es más prevalente en las zonas áridas (centrales).

La mayor parte del agrietamiento del concreto en el estado fresco es causado por asentamiento del concreto alrededor de las varillas de refuerzo. En la mayoría de los casos se puede eliminar el agrietamiento con una compactación a fondo, recubrimiento adecuado del refuerzo y técnicas correctas en el acabado. El proporcionamiento de la revoltura es importante dado que las propiedades reológicas del concreto afectan estos procedimientos.

Una vez que el concreto empieza a endurecer y desarrollar algo de resistencia a esfuerzos de tensión, la tendencia principal de la formación de grietas se debe a los esfuerzos producidos por movimientos térmicos, excediendo la baja resistencia a la tensión del concreto a esta edad. La contracción por secado en el primer día o dos puede contribuir a este problema, pero no hay duda de que la causa principal sean los esfuerzos por temperatura (1). Es muy frecuente particularmente en algunas partes en el interior de Australia, el de tener variaciones en temperaturas del día a la noche de unos 30°C, y con un coeficiente de una expansión térmica de unos 0.00001 cm/cm por grado centígrado, y la rapidez de cambio en longitud es de unos 0.0003 cm/cm en 12 horas o menos. Esto es más de 10 veces la rapidez de contracción promedio máximo en concretos estructurales. Obviamente, aun bajo las condiciones más extremas, el agrietamiento ocurrirá solamente si el miembro estructural está lo suficientemente restringido y los movimientos causan el desarrollo de esfuerzos de tensión. En miembros continuos largos sin las uniones de expansión y térmicas los esfuerzos de contracción por secado pueden ser los causantes de la mayor parte del agrietamiento, y si la variación de la temperatura en la región es moderada, los movimientos térmicos serán solamente un factor contribuyente.

RESISTENCIA DEL CONCRETO.

Temperaturas iniciales elevadas generalmente aumentan la rapidez inicial de ganancia de resistencia, pero reducen la resistencia última del concreto. A manera de mantener la temperatura del concreto tan baja como sea posible, se ha encontrado que el enfriar el agregado grueso rociándolo con agua, el usar agua fría y hielo triturado para el mezclado, y pintar de colores claros y reflejantes los "trompos" de los camiones revolventes, produce resultados razonables.

DURABILIDAD DEL CONCRETO.

La durabilidad del concreto bajo condiciones tropicales y subtropicales

PRODUCCION Y CONTROL DEL CONCRETO "FLUIDIZADO"

les depende enormemente sobre la densidad, impermeabilidad y resistencia del concreto. Se pueden lograr mejoramiento adicionales mediante la selección adecuada de los ingredientes de la revoltura. Por lo tanto se puede relacionar la influencia predominante de la temperatura sobre la durabilidad con el efecto de la temperatura sobre las propiedades reológicas (su compactabilidad) del concreto, como ya se discutió anteriormente.

RESOLVIENDO PROBLEMAS DE CLIMA CALIENTE CON CONCRETO FLUIDIZADO.

El concreto fluidizado es producido a partir de concreto convencional con proporcionamiento y composición especiales, de consistencia inicial (revenimiento) estrictamente controlado mediante la adición de un aditivo especial (2) (3).

Estos aditivos son conocidos como fluidizantes (en alemán: flissmittel) o superplastificantes, y generalmente están divididos en cuatro tipos básicos:

- A. Condensados de melamina-formaldehído sulfonatado.
- B. Condensados de nagtalen-formaldehído sulfonatado.
- C. Lignosulfonatos modificados.
- D. Otros, tales como ácido sulfúrico o ésteres de carbohidratos.

El efecto superplastificante de cada tipo de aditivo tiene un mecanismo algo diferente y en Readymix el tipo y marca del superplastificante es cuidadosamente seleccionado y ensayado con una combinación particular de ingredientes del concreto.

Concreto fluidizado es producido por Readymix a partir de materiales cuidadosamente seleccionados y correctamente proporcionados, que en su estado fresco tiene gran fluidez y a la vez buena cohesión. No exhibe sangrado excesivo ni segregación, se endurece dentro del tiempo límite especificado por la norma Australiana para un concreto convencional y tiene aire incluido controlado.

Es muy importante la selección de ingredientes compatibles y el proporcionamiento muy cuidadoso y exacto del concreto.

PERDIDA DE MANEJABILIDAD

Ya se ha discutido el mecanismo del efecto de la temperatura sobre la manejabilidad.

El uso en el concreto convencional de aditivos reductores de agua y --

retardantes del fraguado de acuerdo a las normas Australianas 1478 y 1479-1973, Aditivos Químicos para el Concreto (modificaciones del 1 de mayo de 1974 y 2 de julio de 1978), han probado ser benéficos para el control de la manejabilidad. Los requisitos para los aditivos reductores de agua y retardantes del fraguado son casi idénticos a la norma ASTM C-494-77a. Especificación Estándar para Aditivos Químicos del Concreto para aditivos tipo D.

En Australia comúnmente son utilizados tres tipos básicos:

1. Sales de ácidos ligno-sulfónicos tales como lignosulfatos de sodio, calcio o amonio. Estos generalmente contienen hasta un 10% de azúcares reductores.
2. Ácidos hidroxil carboxílicos y sus sales, tales como gluconatos, heptonatos y citratos,
3. Polisacáridos, tales como dextrina y almidones.

La efectividad de estos aditivos depende enormemente de su compatibilidad con el cemento utilizado, y especialmente con el tipo y cantidad de yeso en el cemento. Algunos cementos, cuando son utilizados en combinación con aditivos conteniendo ciertos tipos de mono o disacáridos pueden exhibir un endurecimiento temprano en la pasta (no como el fraguado falso) y a la vez retardar muy severamente el fraguado final. Este problema está restringido a sólo unas cuantas condiciones particularmente desfavorables de aditivos y cementos y aun así parece estar limitado principalmente a cementos que son producidos con yeso sintético.

En el concreto fluidizado, la efectividad de los superplastificantes está limitada en cuanto al tiempo, y la rapidez de pérdida en la manejabilidad (según medido por el revenimiento, mesa de fluidez, etc.), es altamente dependiente de la temperatura. Es por esta razón que en las regiones tropicales y particularmente en las subtropicales, los superplastificantes se deben añadir a la obra, justo antes de ser colado el concreto.

Aún así, a temperaturas elevadas, el tiempo de recuperación puede ser muy corto (5-10 minutos). Esto se aplica particularmente al concreto de alta resistencia (gran contenido de cemento) con revenimiento inicial relativamente bajo.

Para sobrellevar este problema, se debe utilizar un superplastificante especial modificado (retardante) y el proporcionamiento debe permitir, si es posible, un revenimiento inicial de por lo menos 60 mm.

Antes de utilizar estructuralmente un concreto en particular, es esencial evaluar el comportamiento a corto y a largo plazo de una combinación específica de cemento-aditivo-agregado. Aun así, el uso de retardantes inorgánicos, tales como sales de plomo, zinc, cobre, boratos solubles, etc., generalmente no se recomienda en concreto convencional y superplastificado debido al posible comportamiento errático de estos retardantes y su muy inferior comportamiento en

neral, en comparación con los aditivos orgánicos reductores de agua y retardantes. Por supuesto, puede haber algunas circunstancias especiales donde pueden ser requeridos el uso de retardantes inorgánicos (4, 5).

Cuando sea posible, el control de la temperatura del concreto fresco (usando agua enfriada, hielo triturado, etc.) puede producir muy buenos resultados para reducir la rapidez de pérdida de revenimiento en el concreto (5).

MEJORAMIENTO DEL ACABADO EN CLIMA CALIENTE.

Concreto fluidizado diseñado adecuadamente es particularmente benéfico para acabados de cimbra. Se requiere de los requisitos básicos de buena calidad de cimbra y es importante el uso de agentes liberadores adecuados. Sin embargo se requiere de muy poca vibración.

El mejor acabado de la superficie en columnas muy reforzadas o paredes delgadas y altas lo proporcionan los vibradores externos operando a intervalos cortos y a frecuencias altas y amplitudes bajas, y colocados en las esquinas de las cimbras de muro, o en cualquier otro punto de cambio en la geometría de la cimbra. Sin embargo, cuando se esté utilizando concreto plastificado, especialmente con vibrado externo, se debe dar atención especial al diseño de la cimbra. Concreto fluidizado ejerce una presión hidroestática como si fuera una masa líquida de 2,400 kg/m³ en todo el peralte de la cimbra. Consecuentemente la presión desarrollada a una profundidad de h metros abajo de la superficie del concreto está dada por:

$$p = 2400 \times h = 2400 h \text{ k/m}^2$$

Como ya se había mencionado, los acabados en la superficie libre son afectados principalmente por las técnicas de acabado y el momento en que se realizan.

Una vez que el concreto fluidizado se regresa a la consistencia original, se aplican los métodos de acabado convencionales. El uso de aditivos superplastificantes con grados especiales de retardantes pueden ayudar en prolongar los tiempos de fraguado del concreto en clima caliente, pero estos tienen que ser seleccionados cuidadosamente para compatibilidad con los cementos locales.

El momento en que se añade el aditivo tiene una gran influencia sobre las propiedades reológicas del concreto (6) y sobre la duración del efecto superplastificante en el caso del concreto fluidizado (7). Como regla, los aditivos superplastificantes se añaden en la obra, comúnmente 20 a 40 mm. después de que el concreto es mezclado en planta (o en camión revolvedor). En Readymix hemos encontrado que para la combinación de un aditivo en particular y materiales locales, contenido de cemento, etc., hay un tiempo óptimo para añadir el plastificante por ejemplo el momento para añadirlo que produce efecto fluidizante máximo en magnitud y duración para una dosificación de aditivo dada. Este efecto no sola-

mente depende del tiempo sino que también de la temperatura.

Como ya se había mencionado, las irregularidades en la superficie tales como agrietamiento por asentamiento, contracción plástica, depósito de sales en la superficie, formación de escamas y de polvo, pueden ser causadas por la combinación desfavorable de las rapidezces de evaporación de agua causada por elevada temperatura, la de sangrado y del efecto directo de la temperatura sobre ya sea la hidratación del cemento o movimiento térmico del concreto fresco.

Se puede lograr la protección del concreto contra las inclemencias del tiempo en el sitio de la obra mediante la erección de parasoles y rompevientos, y la técnica debe aplicarse a concreto fluidizado así como a concretos convencionales.

Por el otro lado, la producción de un concreto el cual tenga características óptimas de sangrado es la responsabilidad del proveedor. El concreto fluidizado es particularmente sensible al tipo y cantidad de los ingredientes utilizados. El comportamiento reológico del concreto superplastificado depende en gran parte en la forma, textura y granulometría del agregado y de las partículas de cemento. La demanda de agua y sangrado del concreto dependen enormemente en la superficie específica de las partículas de agregado, y la adición de cantidades aun muy pequeñas de material ultrafino pueden alterar dramáticamente estas características. Por ejemplo Joisel (8) dice que la adición de un 3% de arcilla bentonítica con una superficie específica de $200,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ a cemento con una superficie específica de $3000 \text{ cm}^2/\text{g}$, triplica la de todas las partículas, con el resultado de que el sangrado se reduce a una novena parte del sangrado que ocurriría usando sólo cemento. Materiales puzolánicos, tales como arcillas y pizarras calcinadas, tufas volcánicas y pumice, o productos secundarios de la industria tales como cenizas, polvos, partículas de sílica, etc., pueden ser añadidos en varias cantidades dependiendo de su actividad puzolánica (por ejemplo ASTM-C-311), fineza y composición química.

En cuanto al acabado de la superficie del concreto, se debe enfatizar que no hay un proporcionamiento óptimo absoluto. Uno solamente puede diseñar una revoltura óptima que proporcione un acabado perfecto para un conjunto particular de condiciones ambientales. Son de particular importancia la relación entre la rapidez de sangrado y la rapidez de evaporación, y la temperatura en la superficie del concreto.

El problema de la formación de polvo y escama en la superficie puede surgir bajo un rango amplio de condiciones ambientales adversas, y en teoría debería ser posible diseñar una mezcla que de un comportamiento sin problemas para un conjunto dado de condiciones. La relación correcta de adición de materiales ultrafinos y puzolánicos a menudo pueden mejorar el acabado de la superficie de concreto fluidizado bajo condiciones extremas de exposición, pero igual adición de ultra fino en concreto convencional pueden empeorar el problema de formación de polvos en la superficie bajo condiciones ambientales comparables.

Generalmente el concreto fluidizado diseñado adecuadamente se comporta

rá mejor que el concreto convencional bajo condiciones climáticas tropicales y subtropicales, no solamente debido al hecho de que las propiedades reológicas del concreto superplastificado son bastante diferentes que las de revolturas convencionales, sino que también porque el concreto superplastificado es un producto de calidad y requiere cuidado muy especial en su diseño y fabricación.

Un concreto mal diseñado y elaborado al cual se le ha añadido aditivo superplastificante, creará considerablemente más problemas en su manejo y colado, y que en el estado endurecido será un producto de calidad inferior a la de una revoltura convencional.

Aun con concreto fluidizado diseñado adecuadamente, se puede observar un fenómeno interesante bajo un conjunto particular de condiciones ambientales. Es muy susceptible de ocurrir en un día caluroso y con viento cuando la superficie del concreto no ha sido ni reglado ni enrazado, y la temperatura del concreto en el lugar excede a los 40°C . Bajo estas condiciones, y con la mayoría de los aditivos superplastificantes, es posible ver el crecimiento de pequeños "hongos" son arrastrados por el viento, o pueden ser quitados fácilmente tallando o lavándose la superficie del concreto. Un análisis químico indica que estos "hongos" consisten principalmente de sales de potasio y sodio, y aparentemente no tienen efecto permanente en el concreto.

Quizá sea deseable investigar si la formación de los "hongos" lleva a una reducción en la alcalinidad del concreto y por lo tanto menos posibilidad de reacción del álcali con el agregado.

CONCLUSIONES:

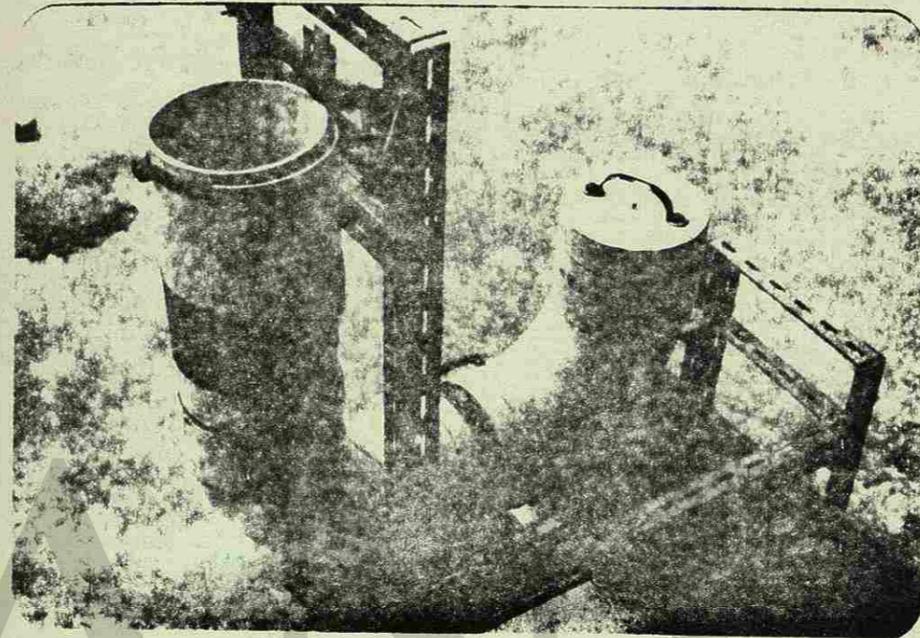
Mucho de los problemas de colar concreto en clima caliente pueden ser resueltos con éxito utilizando concreto superplastificado diseñado adecuadamente y elaborado bajo condiciones estrictamente controladas. Se debe recordar que el concreto superplastificado es un material de primera calidad. Cuesta más para producirlo, pero en muchas ocasiones el costo del concreto colado es realmente menor, y además con muchos beneficios tales como la facilidad en el manejo, mejores acabados, mejores compactaciones y por lo tanto mejores propiedades al endurecerse.

Hay ciertas guías generales que uno puede seguir cuando se está diseñando una mezcla de concreto superplastificado. Sin embargo, un diseño óptimo, particularmente para condiciones de clima caliente, puede ser bastante diferente para regiones con diferentes tipos de agregados, cemento, materiales puzolánicos y ultrafinos disponibles. Es indispensable que en cada región el diseño y refinamiento final de las revolturas sea hecho por laboratorios de investigación y desarrollo competentes, antes de que se le dé luz verde al concreto superplastificado para uso estructural.

REFERENCIAS

1. LEONHARDT, F., Lectures, "Crack Control in Concrete Structures", The Institution of Engineers, Australia, 1977.
2. MALHOTRA, V.M., "Superplasticizers in Concrete", NRMCA, Maryland, 1978.
3. FREESE, D., "Practical Experience in the Use of Superplasticizers in Ready-Mixed Concrete", Proceedings of an International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada, May 1978.
4. COOK, H.K., "Use of Retarding Admixtures in Concrete Bridge Decks in Hot Arid Climates", Proceedings of International RILEM Symposium Concrete and Reinforced Concrete in Hot Countries, Haifa, August 1971.
5. NÚÑEZ, E.H., "Ready-Mixed Concrete in Hot Weather", Proceedings of International RILEM Symposium Concrete and Reinforced Concrete in Hot Countries, Haifa, August 1971.
6. BRUERE, G.M., "Effects of Mixing Sequence on Mortar Consistencies When Using Water-reducing Agents", Symposium on Structure of Portland Cement Paste and Concrete, Highway Research Board Special Report 90, Washington 1966.
7. PERENCHIO, W.F., et al., "Water Reduction, Slump Loss and Entrained Air Void Systems as Influenced by Superplasticizers", Proceedings of the International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada, May 1978.
8. JOISEL, A., "Admixtures for Cement", published by the author, 3 avenue André, 95230 Soisy, France, 1973.

PRODUCCION Y CONTROL DEL CONCRETO "FLUIDIZADO"



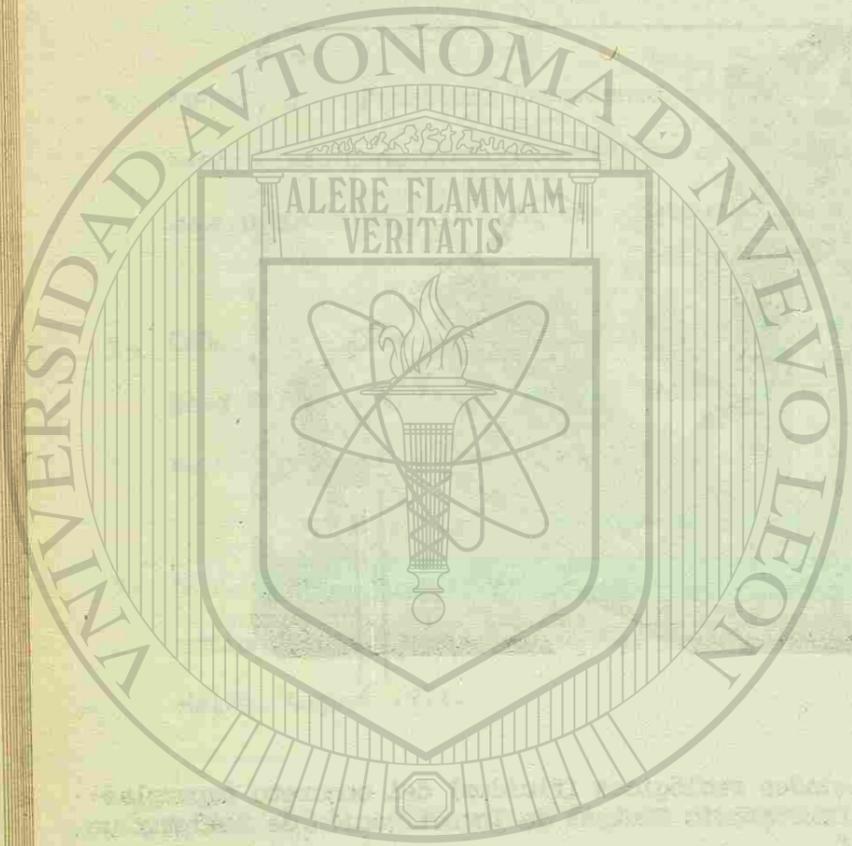
Para medir las propiedades reológicas (fluidez) del concreto superplastificado se desarrolló en el Laboratorio Central de Investigación de Readymix un aparato llamado "tubo de caída".

El tubo se llena con concreto mientras que el extremo inferior está cerrado con la tapa, la cual tiene una válvula para sangrado. Se abre rápidamente la tapa y se deja fluir el concreto bajo la presión hidrostática de la columna de concreto en el extremo más alto del tubo.

La altura de la columna de concreto que queda en el extremo más elevado del tubo es la medida de la fluidez, por ejemplo menor es la columna lo más fluido que resulta ser el concreto.

SUPERFLUIDIZANTES, EXPERIENCIAS PRACTICAS EN MEXICO

Juan Rodolfo Laeuger

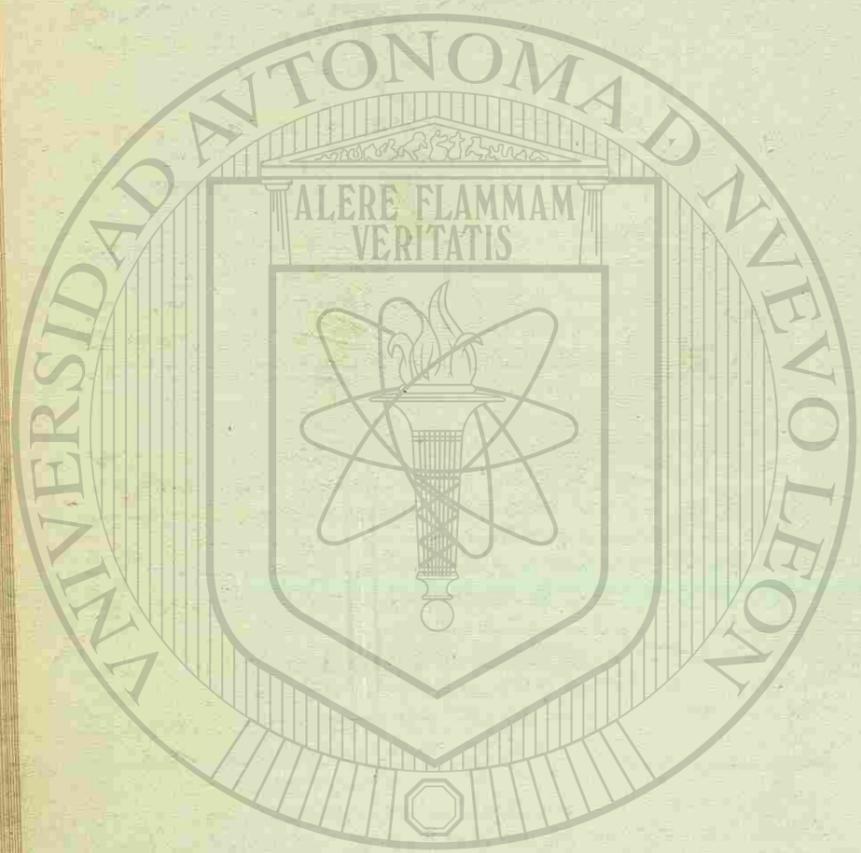


U A N L

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



SUPERFLUIDIZANTES, EXPERIENCIAS PRACTICAS EN MEXICO.

Los señores conferencistas quienes me precedieron aquí, les informaron a ustedes detalladamente sobre las particularidades del comportamiento, propiedades inherentes, así como las maneras de la mejor aplicación de los varios tipos de Superfluidizantes; sus muy amplias ventajas y sus pocas limitaciones.

Desde hace más de tres años la firma Sika Mexicana, S. A. está introduciendo al mercado nacional Superfluidizantes, los primeros dos años bajo la marca Sika - Melment y desde hace un año bajo el nombre registrado SIKAMENT.

En la presente charla quisiera reportar a ustedes una selección de experiencias prácticas, que cada uno tiene en uno u otro aspecto significancia, — confirmando datos que los señores conferencistas anteriores expusieron. Todo lo que ustedes anteriormente oyeron aquí, p. e. sobre la cantidad de finos presente o no presente en un concreto y el efecto del superfluidizante en el uno y otro caso, se confirma ampliamente en la práctica.

No se trata aquí de enumerar de nuevo los detalles del funcionamiento de los Superfluidizantes, pero de preguntarse entre otras cosas: Por qué no se han podido introducir los Superfluidizantes más rápidamente en el ámbito nacional de la construcción si son tan excelentes productos, y a pesar que se comprobó en la práctica mexicana que cada vez que se aplicaron nuestros Superfluidizantes de manera correcta, responden perfectamente, dando resultados impecables.

Hace tres años Superfluidizantes en México eran productos que al cliente potencial le parecían extremadamente caros. Obviamente vivíamos en un tiempo entonces cuando tanto la mano de obra como el precio del cemento se pudo considerar barato. Las firmas constructoras y los precoladores no eran forzados todavía de considerar muy de cerca alta eficiencia y alto rendimiento de su mano de obra. Hoy en día, hechos, en torno, y perspectivas son completamente distintos. Avance rápido de obra, utilización de un mínimo de mano de obra, colocación rápida del concreto mediante bombas, con concreto superfluidado puede aumentar muy sensiblemente la eficiencia de una empresa constructora, cortando costos drásticamente.

El constructor de hoy de obras medianas y grandes, tiene precisamente en un Superfluidizante una herramienta de preferencia para lograr un incremento considerable de eficiencia.

He llegado a la conclusión que el "usuario normal de concreto" ve en un Superfluidizante únicamente "un producto aditivo más para concreto".

Señores, ustedes saben ahora, al fin de este Congreso, que nada puede ser más equivocado. Ciertamente, Superfluidizantes son obviamente aditivos para concreto, pero la significancia del concepto "Superfluidéz" tiene implicaciones que no se abren ni al profesionista, si no tiene "visión" o si no quiere llegar al fondo de la apreciación de qué formidable herramienta dispone.

Sin embargo, con el fin que esa herramienta y este concepto "Superfluidéz" trabaje para él, tiene que correctamente organizar secuencia y desarrollo de

los colados, lo que obviamente implica para él inicialmente: más trabajo.

He observado que éste es uno de los obstáculos más grandes para introducir Superfluidizantes en México. Quién quiere trabajar más? Les puedo sin embargo tranquilizarles a ustedes: les afirmo que en todos los casos donde los supervisores de obras tuvieron la experiencia de trabajar inicialmente más, se vieron luego agradablemente sorprendidos; porque una vez establecidos secuencia y desarrollo, el trabajo para todos, salvo la planta de concreto y el equipo de bombas, era decididamente más desahogado.

Ahora quisiera referirme a unas pocas obras que en el curso de los años se hicieron en la República y en la Cd. de México con Superfluidizantes Sika, utilizados sea como Superfluidizante o como Plastificante, Reductor de Cemento y reductor de agua.

En el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México se efectuaron varias obras, siendo las más grandes tres plataformas para aviones, además los fundamentos del edificio del Centro de Mantenimiento de Mexicana de Aviación. El total de Concreto en esas obras suma hasta ahora 7100 m³, todo con Superfluidizante. El concreto, especificado por SAHOP para las plataformas es de 450 Kg/cm² a la compresión, 45 Kg/cm² a la flexión. Inclusiones de aire Sika Aire para un contenido final de aire de 4%. El revenimiento inicial del concreto en cuestión es de 4 a 6 cm. El principal abastecedor de concreto era la firma Preconcreto, S.A. que tiene el concreto superfluido bajo su propia marca "Nivelcreto".

La supervisión y control del concreto se efectuó con la debida y acostumbrada seriedad y severidad por la SAHOP, (antes SOP) sin que hubiese jamás habido problemas en la obra por fallas debido a la superfluidificación del concreto. El revenimiento especificado de 4-6 cm. se verificó por un inspector de la SAHOP para cada olla que llegó de la planta a la obra. Se agregó en la obra entre 1.1 a 1.4% de Sikament, calculado sobre el peso del cemento, se mezcló el concreto en la olla exactamente 3 minutos, obteniéndose un revenimiento final de 16 a 19 cm. SAHOP controló también resistencias de compresión y de flexión de cada olla de concreto superfluidificado al momento de colar las losas. Quisiera hacer aquí hincapié que hubiéramos fácilmente podido lograr revenimientos finales de 22-23 cm. si nos hubiera interesado. Un promedio de 18 cm. de revenimiento final era para nuestros propósitos ampliamente suficiente para una alta rapidez del colado. Se colocaron como 33 m³/hora, lo que resulta ser con un peralte de losa de 0.35 m. una superficie acabada de 94.3 m²/hora. El vibrado se efectuó a lo largo de las cimbras cada 0.7 m. aproximadamente. Se colaron tiras de aproximadamente 5 m. de ancho.

Después de 4 1/2 a 6 horas, al momento cuando la superficie del concreto aguantó la máquina cortadora de juntas se cortaron las juntas transversales a un sexto de profundidad del peralte. Esa manera de proceder aseguró, que las fracturas transversales en el concreto ocurrieron únicamente en las juntas, no habiendo fisuraciones en otros lugares de la superficie del concreto.

Se calculó entre SAHOP, Contratista y Sika, que el tiempo para acabar

las obras se acortó algo como 2,5 veces, y la mano de obra que se requirió durante el tiempo efectivo de la obra era la mitad de lo que hubieron debido emplear, trabajando con el revenimiento original de 4-6 cm., aparte del hecho que la homogeneidad del concreto de 4-6 cm. no hubiera podido compararse con las pruebas finales de SAHOP: Los corazones que sacaron de las losas comprobaron en definitivo la homogeneidad del concreto impecable tanto en que respecta a la distribución de los agregados como a una distribución pareja de la piedra de cemento.

Unas construcciones de edificios que se erigieron en México, D. F. — pueden a ustedes dar la pauta que la eficiencia, rapidez, seguridad, poca mano de obra se convierte en economía para los dueños de construcciones si emplean un superfluidizante como el Sikament.

En ambos casos se trabajó con un revenimiento inicial de 10 cm. para llegar a un 22 cm. de revenimiento final. En ambos casos se trabajó con 1,5% de dosificación de Sikament y con 3 bombas de concreto.

En el caso del colado de Mausoleos del Angel en México, D. F. se colaron muros, traveses y losas, colando continuamente 200 m³ de concreto superfluido en 6 horas.

Hace alrededor de 6 semanas se colaron muros, traveses y losas en una construcción, propiedad de Celanese Mexicana, S. A. en Sn. Angel Inn, México. — Gracias a la excelente coordinación de la premezcladora (Preconcreto, S. A.) con la firma de bombeo y el contratista, se colaron 330 m³ de concreto superfluido en 6 horas sin la menor falla, sin el menor contratiempo, a pesar que hubo lugares bastante difíciles para colocar el concreto. Al descimbrar ambas obras se notó que el concreto aparente es de óptima calidad y que no existen ni oquedades ni otros desperfectos.

Una obra que personalmente no conozco, se encuentra en Mazatlán, Sin. Se trata de tres tanques cilíndricos de concreto. Diámetro de cada tanque: 34 m., altura 13 m. En este caso se utilizó el Sikament como plastificante reductor de agua e impermeabilizante. El sistema de construcción era colado deslizante. Todos los fines que se persiguieron se cumplieron y lograron.

La Comisión Federal de Electricidad, presa la Angostura, tuvo hace — aproximadamente año y medio el siguiente problema: Tubos fuertemente inclinados colocados adentro de ductos tuvieron que ser encamisados con concreto; como de ningún modo se pudo compactar el concreto alrededor de los tubos por falta de espacio, se optó hacer un concreto con revenimiento de 18 cm. pero a base de los procedimientos clásicos. A pesar que utilizaron para lograr su objetivo la cantidad de 540 Kg/m³ de cemento tipo I, el concreto se fisuró severamente por contracción, al enfriarse. Sika les recomendó nuestro Superfluidizante para problemas de esta índole.

Preparando un concreto con 384 Kg/m³ de cemento con un revenimiento inicial de 7,5 cm. se logró un revenimiento final de 20 m. sin dificultad, obteniéndose el F'c deseado.

Debido a la drástica reducción de la cantidad de cemento y reducción de agua se logró un calor de hidratación normal no afectando este concreto con fisuraciones.

En todas las referencias aquí enumeradas no obtuvimos nunca fisuraciones en concreto con superfluidizante. Tengo que agregar y subrayar que en losas y otras partes expuestas al sol y al aire, concretos superfluidos también tienen que curarse como cualquier otro concreto de calidad.

Se observó en todas nuestras experiencias con concreto superfluido que la tendencia a formar fisuras está fuertemente reducida, comparado con concreto normal. Pero eso es únicamente válido si se toman todas las precauciones necesarias, tanto respecto al curado como al cortado de las juntas a su debido tiempo, en caso que se trataría de losas sobre suelo.

Como último y quizás más espectacular ejemplo quisiera presentar a ustedes un caso donde una conocida firma de precolados arquitectónicos en México se está beneficiando en muchos aspectos con el uso del Sikament, siendo el producto en este caso utilizado como reductor de cemento y agua y como plastificante. La firma en cuestión trabajó anteriormente sin utilizar ningún tipo de aditivo para concreto ni utilizaron curado de vapor. A pesar de eso, muchos de los más bellos edificios de la Cd. de México tienen sus fachadas de esa firma, porque calidad se considerará para ellos siempre una propiedad clave del éxito. Originalmente trabajaron su concreto estructural con 388 Kg/m³ de cemento tipo con un revenimiento de 10 cm. Grano máximo de la grava 3/4". El F'c que necesitan es de 200 Kg/cm², pero ustedes se dan inmediatamente cuenta que con este grado de cemento se llega en el peor de los casos a una resistencia a la compresión de 250 Kg/cm². El exceso del cemento utilizaron para poder demoldar a las 42 horas con una resistencia de a lo menos 43 Kg/cm² con el fin de tener una producción que llamaron entonces "adecuada".

El gerente de producción estuvo de acuerdo de hacer primero unos ensayos de laboratorio, reduciendo cemento y agua al mismo tiempo haciendo unas probetas-cilindros. Cuando esos datos eran positivos empezó hacer pruebas de producción.

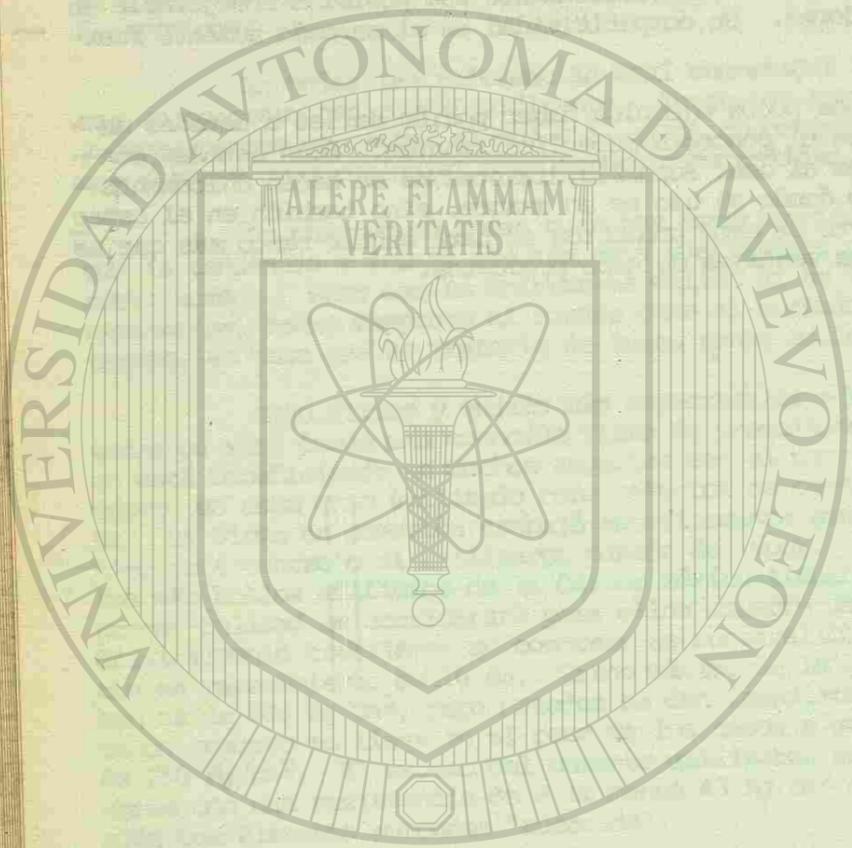
Primero se redujo en el diseño usual de ellos 10% de cemento y un 1% de agua, agregando al final a la mezcla 1% de Sikament. La pieza se demoldó a las 22 horas con 33 Kg/cm² de resistencia a la compresión. Lo sorprendente es que nunca se presentaron ni se presentan fisuraciones alrededor de las armellas por el esfuerzo de los ganchos de la grúa en el momento de demoldar, cuando se trabaja con Sikament, mientras que antes siempre hubo fisuraciones. Los ensayos siguieron, se recomendaron hacer bajo estricta vigilancia del laboratorio más reducciones de cemento y agua, sin que nunca bajaran a menos de 220 Kg/cm² a la compresión. Así se hizo; y hoy esa firma trabaja con 17% menos de cemento que antes, descimbran a las 12 horas y si utilizan 3 horas de vapor, descimbran a las 7 horas. Actualmente tienen una economía efectiva por m³ de concreto de 300 pesos, una producción más que triplicada, calidad impecable de sus piezas; trabajos cosméticos en sus piezas se eliminaron por completo. Ustedes pueden fácilmente deducir que la eficiencia de la empresa aumentó: Con la misma inversión

en instalaciones y moldes y con el mismo personal se produce hoy más que 3 veces más, y al mismo tiempo tiene esa firma prácticamente una posición inmejorable en comparación con sus competidores. Su competitividad en el mercado aumentó fuertemente.

Espero que con esos pocos ejemplos haber podido darles a ustedes un pequeño panorama de lo que es el concepto Superfluidizantes. Sean ustedes conscientes que las implicaciones al usar Superfluidizantes no se hacen únicamente sentir en el aspecto técnico donde su uso es un avance, sino también en el aspecto económico, donde el impacto de esos productos se hará sentir tanto más que se entienden más ampliamente las ventajas de esos productos.

"CONCRETOS FLUIDOS: UNA EXPERIENCIA EN MEXICO"

Antonio Santiago del Castillo y
José Luis Esparza Muñoz

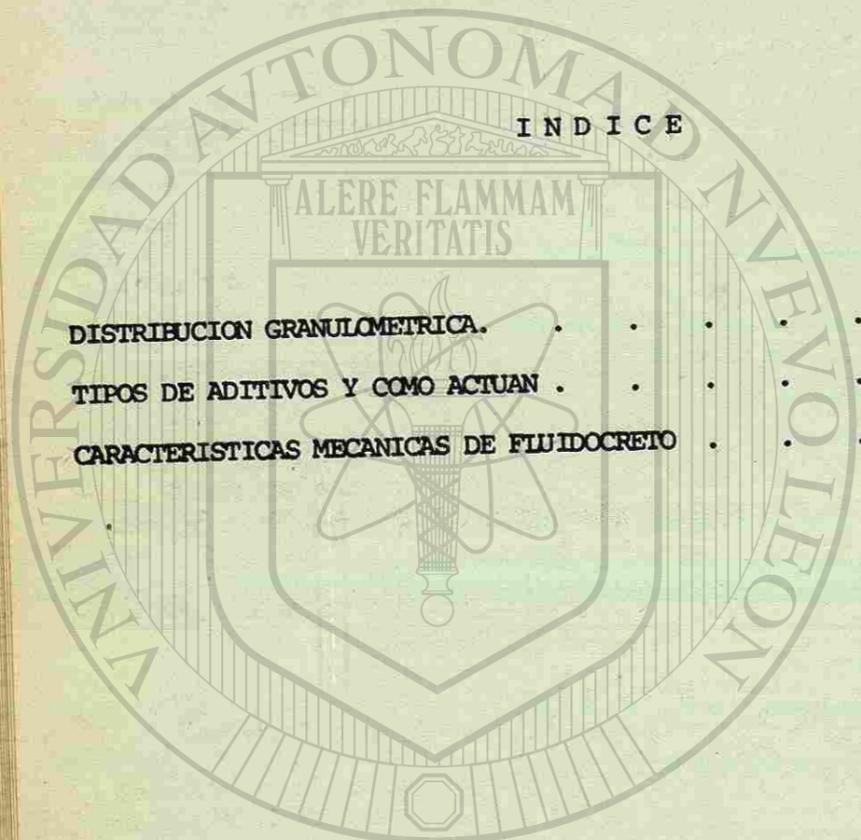


UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





DISTRIBUCION GRANULOMETRICA	68
TIPOS DE ADITIVOS Y COMO ACTUAN	69
CARACTERISTICAS MECANICAS DE FLUIDOCRETO	73

Pág.

1.- Una tendencia generalizada de la industria de la construcción en México, es la de solicitar con creciente reiteración, un concreto:

- Capaz de autonivelarse.
- Que pueda ser colocado rápidamente y con un mínimo de mano de obra.
- Que pueda ser colocado perfectamente en elementos muy esbeltos y/o densamente armados.
- Con el que se logren excelentes acabados aparentes.
- Que sea 100% bombeable a grandes distancias horizontales y verticales.
- Con el que se logren altas resistencias estructurales, incluso a -- cortas edades.

En otras palabras, los constructores exigen un concreto de elevado revenimiento y de buena calidad.

2.- Los procedimientos usuales para obtener concretos de elevado revenimiento son: consumos excesivos de agua y cemento para una mezcla determinada o usar una mezcla convencional y mediante aditivos mejorar su trabajabilidad.

Si se elige el primer procedimiento, se presentan problemas tanto en el concreto fresco como en el concreto endurecido:

- Segregación de los agregados.
- Heterogeneidad en diferentes porciones de una misma mezcla.
- Dificultad para el bombeo.
- El sobreconsumo de cemento, causa excesiva fisuración y reduce el período de fraguado inicial, dificultando la colocación del concreto.
- El alto contenido de agua aumenta la permeabilidad como consecuencia de la gran porosidad de la pasta endurecida.
- El concreto es más vulnerable al ataque de agentes externos: condiciones climáticas, productos químicos, etc.

Cuando se elige el segundo procedimiento, un criterio general de diseño, es el usar una mezcla convencional, a la que se le adiciona un aditivo superfluidizante. Sin embargo, no todos los tipos de concreto pueden ser fluidizados. Por ejemplo: un concreto con bajo contenido de arena, no es adecuado para fluidizarlo y sus componentes se segregan. Por otra parte, los superfluidizantes tienen limitaciones muy serias: su acción plastificante es breve (de 30 a 40 minutos); debe adicionarse al concreto en la obra, para aprovechar al máximo sus efectos de fluidificación; no permiten que el concreto pueda ser depositado en una artesa, constituyendo esto un inconveniente para el pequeño constructor o para obras donde la colocación de concreto por medio de bombeo, no resulta ser un método adecuado.

3.- Los problemas de orden técnico que tienen que resolverse cuando se pre

tende obtener un concreto de elevado revenimiento y buena calidad, y que no adolezca de las limitaciones de los concretos fluidizados a base de agua y cemento o con superfluidizantes, se solucionan básicamente por:

- La obtención de una distribución granulométrica óptima de los agregados.
- La cuidadosa selección, dosificación y combinación de productos químicos aniónicos que proporcionen trabajabilidad extrema al concreto.

DISTRIBUCION GRANULOMETRICA.

4.- La distribución granulométrica de Fluidocreto, permite lograr una elevada fluidez, sin que los materiales se segreguen.

Ya que la segregación es función:

- Del tamaño máximo del agregado.
- De la densidad del agregado en condiciones de mezcla.

Se eligen aquellos materiales que en cuanto a su granulometría, presenten una cohesión tan alta como la del mortero.

Respecto a la densidad, en condiciones de mezcla las partículas que por su tamaño pueden segregarse, presentan en Fluidocreto, una densidad prácticamente igual a la matriz de mortero, en la cual están inmersas, esto es, aproximadamente 2.0 gr/cm^3 .

5.- Características del agregado grueso:

El material es escoria basáltica; en la estructura de estos fragmentos piroclásticos se observa la peculiaridad de que cada partícula constituye en sí misma una unidad autónoma de cristalización, estos cristales no siguen la orientación definida y por lo tanto están entretrejidos.

El material presenta gran cantidad de pequeñas vesículas o burbujas que no se comunican entre sí, dando como resultado un material poroso y ligero, pero no permeable.

La grava tiene un promedio de 1/3 de huecos y 2/3 de basalto.

La absorción de este material es alrededor de 6%, lo cual viene a comprobar que las vesículas no están conectadas entre sí, ya que si lo fueran la absorción debería ser de aproximadamente un 33%.

Además estas vesículas hacen que el material sea aislante, térmico y acústico.

El material es homogéneo y no contiene materia orgánica ni partículas suaves (material deleznable).

El agregado basáltico tiene un pH neutro, por lo que no reacciona con los álcalis del cemento.

Por su textura altamente rugosa, en estos agregados se establece una mejor adherencia entre estos y la matriz de mortero.

6.- Las características propias del agregado grueso y su granulometría, -- permiten:

- La perfecta interrelación de todas las partículas de los agregados, lo que facilita su acomodo dentro de las formas.
- Una más alta eficiencia del cemento (Fig. 1).
- Consecuencia de la más alta eficiencia del cemento, son las elevadas resistencias estructurales que pueden obtenerse.
- Reducción de la permeabilidad del concreto.

TIPOS DE ADITIVOS Y COMO ACTUAN

7.- En la actualidad se encuentran en el mercado 4 tipos de aditivos fluidizantes:

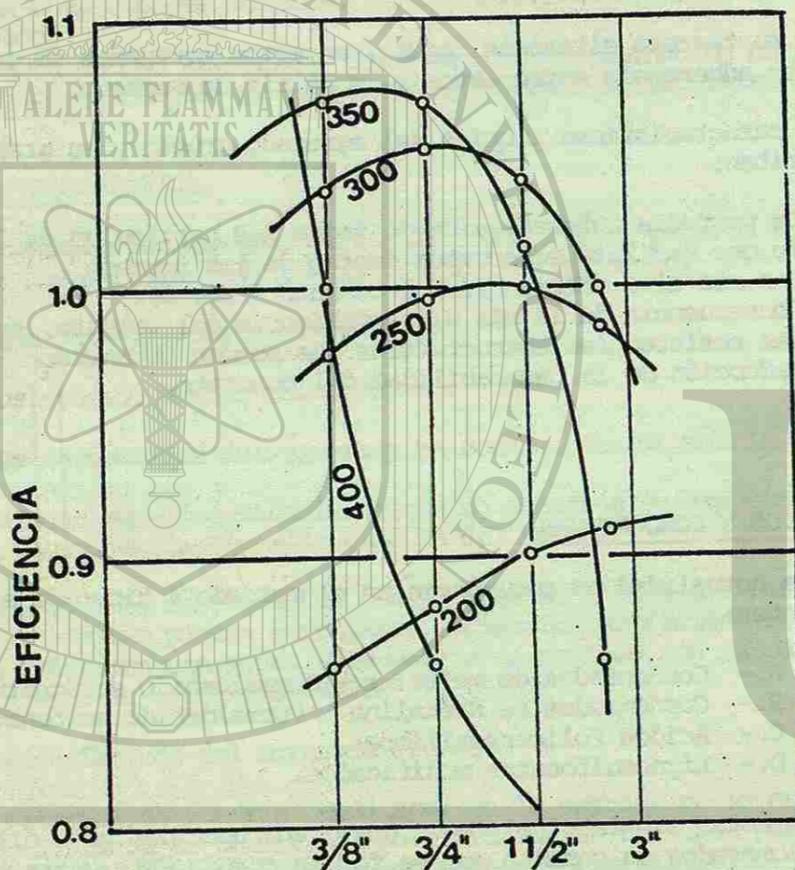
- Tipo A.- Condensados de melamina - formaldehído sulfonatados.
- Tipo B.- Condensados de Naftalina - Formaldehído sulfonatados.
- Tipo C.- Acidos Policarboxílicos.
- Tipo D.- Lignosulfonatos modificados.

Todas estas sustancias poseen una gran capacidad para dispersar los conglomerados de cemento que se forman cuando éste entra en contacto con el agua.

8.- Comportamiento de la mezcla en función del contenido de agua.

Para que exista cohesión entre los materiales de la mezcla en estado fresco, es necesario que se establezca un equilibrio entre las fuerzas de atracción por formación de dipolos en las partículas del sol que forma el cemento al entrar en contacto con el agua, y las fuerzas de tipo electrostático debidas a las cargas superficiales de los agregados.

Una pasta de cemento con poca agua es muy cohesiva porque las partículas están muy cerca una de otra y predominan las fuerzas atractivas. A medida que se incrementa el contenido de agua, las fuerzas residuales



T.M.A.
FIGURA No. 1

de Van Der Walls declinan drásticamente, ya que estas fuerzas disminuyen de acuerdo con la séptima potencia de la distancia que las separa.

Si se incrementa la cantidad de agua, las partículas se alejan entre sí y el concreto tiende a comportarse como un Fluido Newtoniano, (sin ninguna cohesión), con la consiguiente segregación de sus componentes.

Esto es precisamente lo que ocurre cuando por adición de agua, se logra la consistencia fluida en un concreto convencional.

9.- Comportamiento de la mezcla en función de los aditivos fluidizantes.

Los componentes activos de los aditivos, se concentran en la superficie de contacto entre dos fases, modificando las fuerzas fisicoquímicas en la entrecara.

Las fuerzas de Van Der Walls, hacen que los aditivos se absorban en la superficie de las partículas de cemento, confiriéndoles carga negativa, esto provoca que se rechacen entre sí, estabilizando su dispersión.

Al mismo tiempo, las partículas cargadas se solvatan, o sea, que se rodean de moléculas de agua orientadas, esto contribuye a evitar el acercamiento entre los granos de cemento, lo que les da mayor movilidad, de esta manera todos los componentes de la mezcla quedan inmersos en la pasta de cemento.

Por otra parte, cuando el sistema empieza a flocular, el agua que se libera del sistema lubrica la mezcla conservando su trabajabilidad.

10.- La acción de los aditivos, permite:

- Mayor homogeneidad en la resistencia de diferentes porciones de una misma mezcla, ya que el cemento se distribuye uniformemente.
- Eficiente al cemento, ya que por la dispersión de los granos de cemento, la hidratación es prácticamente total en poco tiempo.

Podemos suponer al grano de cemento formado por capas concéntricas, cada una de ellas con la misma composición porcentual de cada uno de los componentes del cemento; obviamente, las capas superficiales se hidratan primero. Se han encontrado granos de cemento que después de varios meses, aún no logran la hidratación completa, permaneciendo inalteradas las capas internas. El aditivo dispersante hace que en poco tiempo la totalidad del grano de cemento quede expuesto a las reacciones de hidratación.

- Puede ser depositado en una artesa sin que pierda revenimiento de manera significativa hasta por una hora, habiendo permanecido en la revolvedora 90 minutos (Fig. 2).
- Menor contracción por secado, ya que al reducir el consumo de agua, se reduce también el número de conductos capitales que al evaporar-

Curva revenimiento - tiempo de FLUIDOCRETO
en artesa, después de 90 minutos dentro de la revoladora.

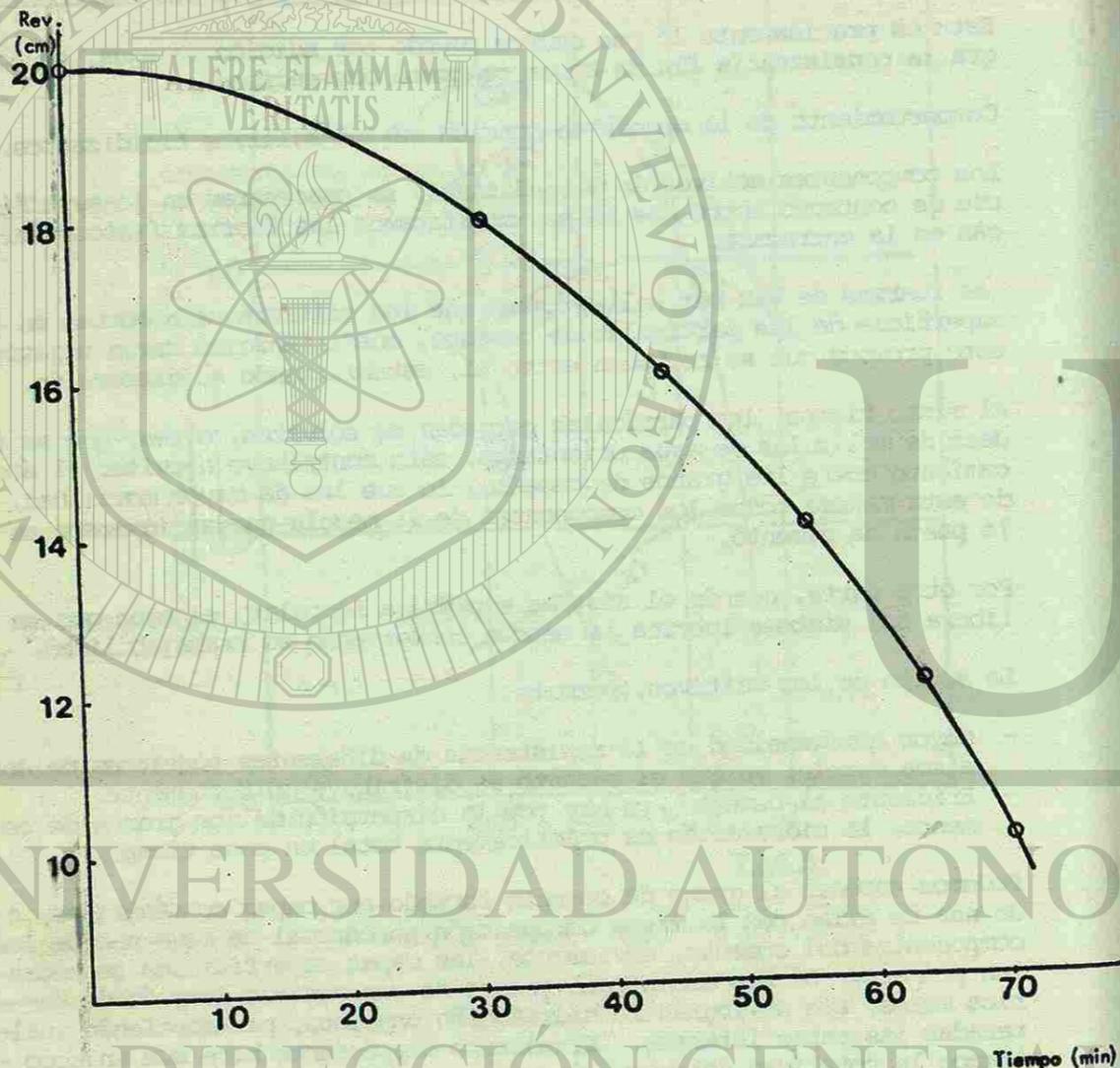


FIGURA No. 2

se deja el agua que no utilizó en la hidratación del cemento (agua libre).

- Se dosifica en planta, lo cual evita problemas en la obra y garantiza un adecuado control.

11.- Cantidad de agua en Fluidocreto.

La cantidad de agua que contiene Fluidocreto, es la necesaria para lograr un revenimiento de 6 - 8 cm.

- Es la granulometría y características de los agregados,
- El empleo de los aditivos adecuados y su dosificación en dosis óptimas.

Lo que permite se logren revenimientos del orden de 20 cm.

CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE FLUIDOCRETO

12.- Resistencia a la compresión.

- Fluidocreto se produce en resistencias que van de 100 kg/cm², hasta 400 kg/cm² (Fig. 3).
- Concretos Apasco, S. A., ha desarrollado un Fluidocreto que a las 24 horas, adquiere una resistencia a la compresión de 120 kg/cm² — (60% f'c = 200 kg/cm², que es la resistencia más comúnmente utilizada en México).

Con este concreto a las 36 horas se tiene una resistencia del orden de 180 kg/cm² (60% de f'c = 300 kg/cm²).

13.- Módulo de elasticidad. (Fig. 4)

- Con Fluidocreto se obtienen módulos elásticos superiores a los del concreto convencional con agregado grueso andesítico (comúnmente — empleado en el D. F.).

$$E_c = 10,200 \quad f'c \quad (\text{FLUIDOCRETO})$$

$$E_c = 8,500 \quad f'c \quad (\text{Agregado grueso andesítico})$$

$$E_c = 10,000 \quad f'c \quad (\text{Según reglamento del D. F.})$$

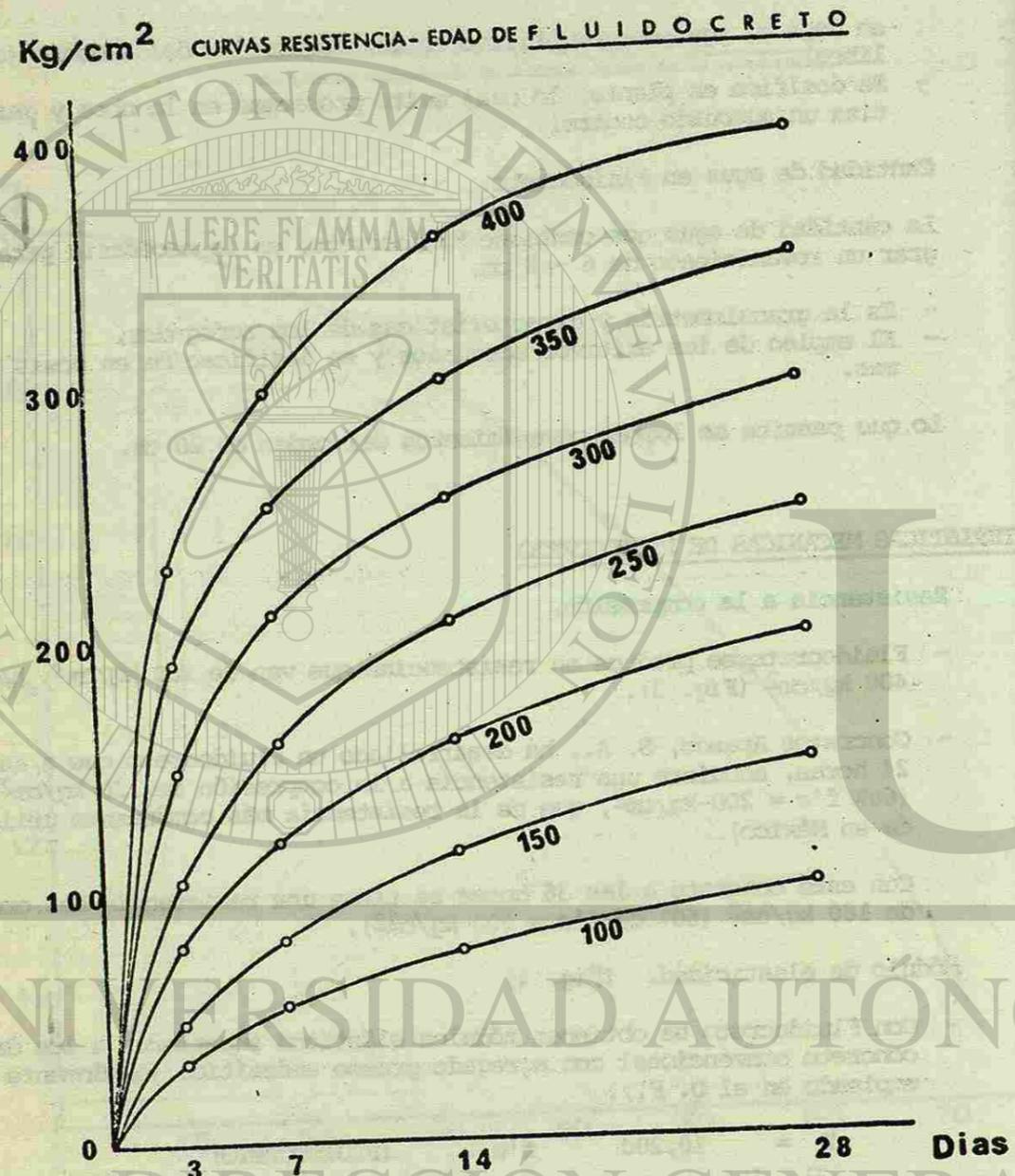


FIGURA No. 3

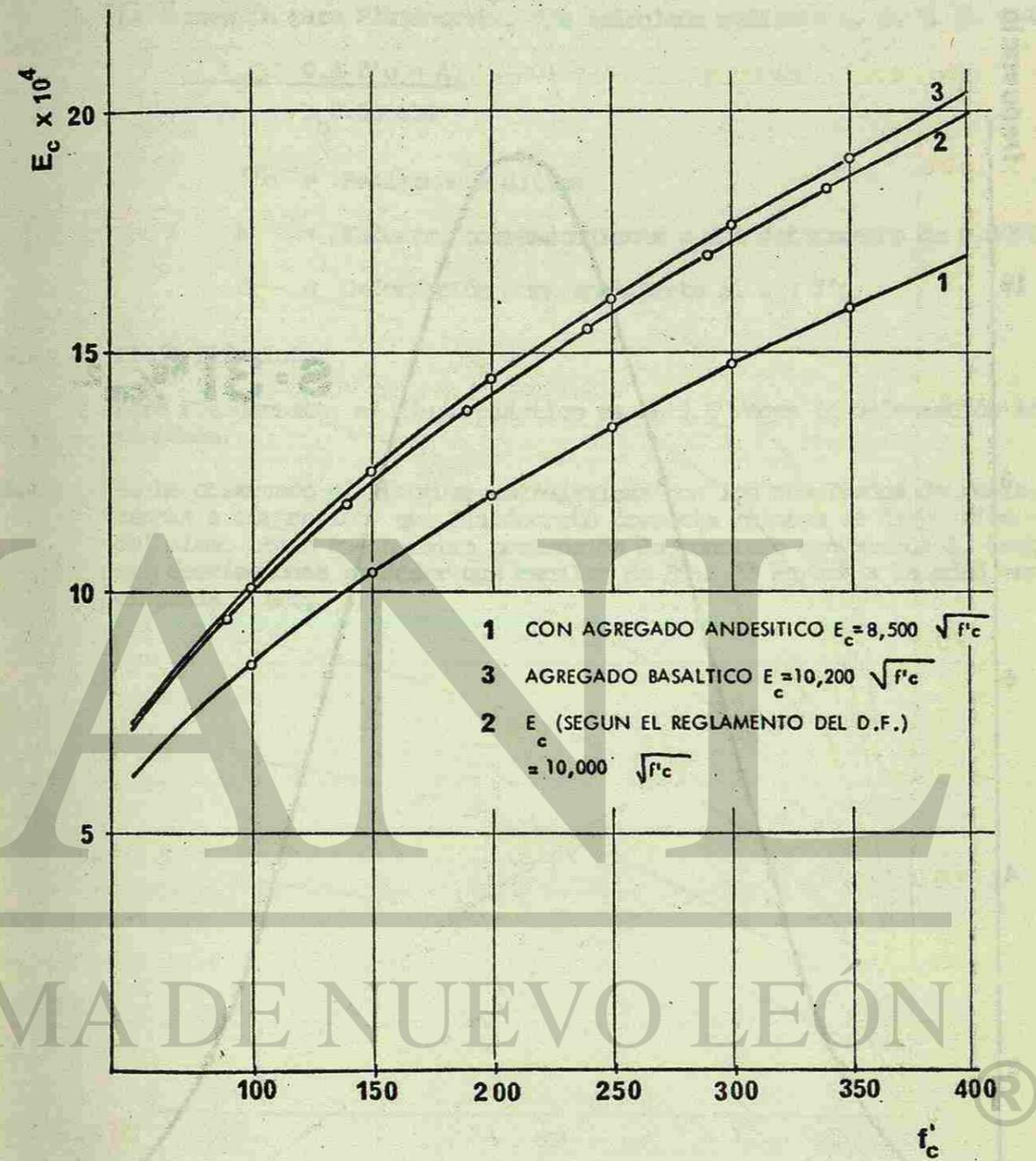
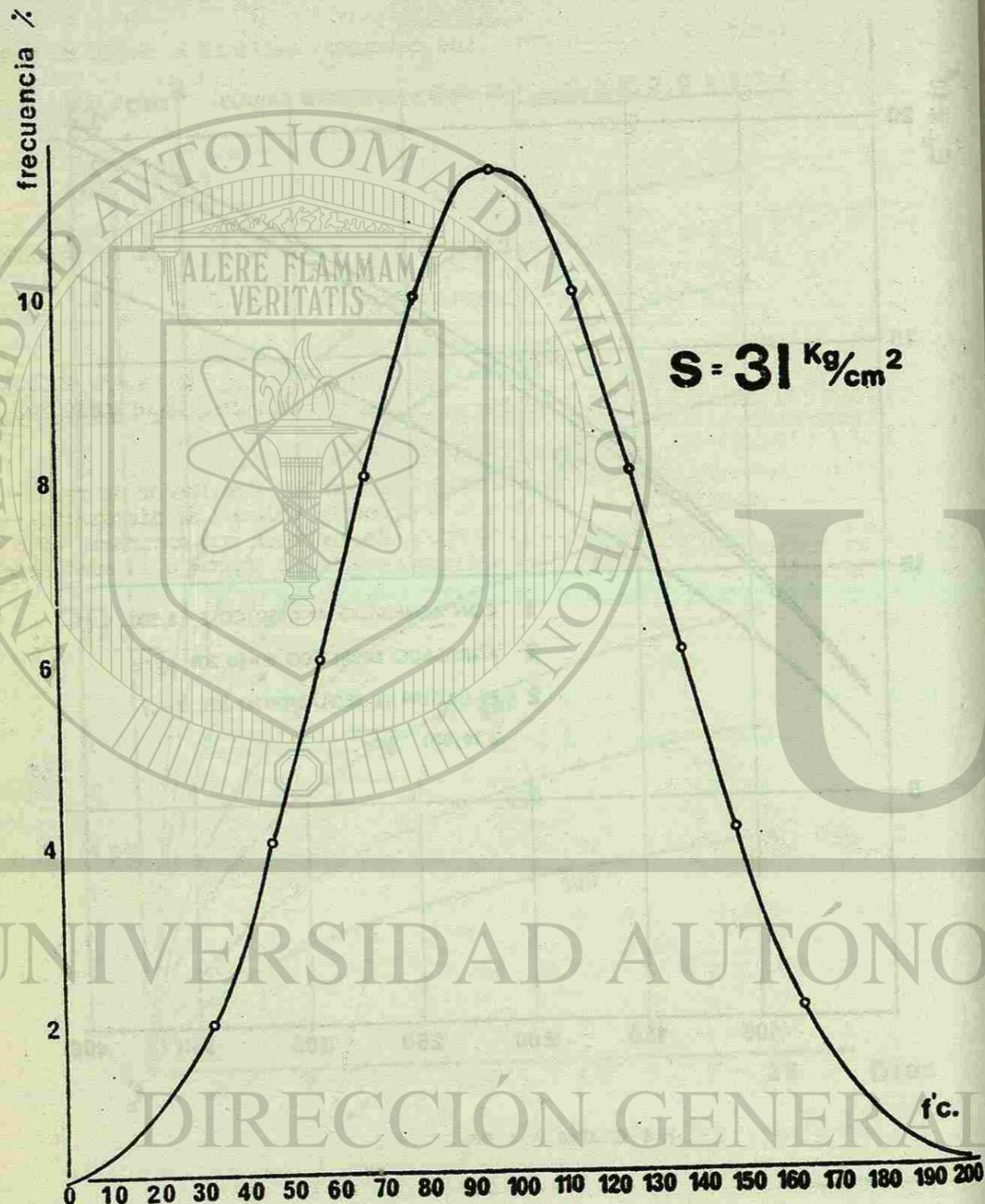


FIGURA No. 4

FIGURA No. 5



La expresión para Fluidocreto, fue calculada mediante A. S. T. M. C-469

$$E = \frac{0.4 f'c - A}{E_b - 0.000050}$$

f'c = Resistencia última.

A = Esfuerzo correspondiente a una deformación de 0.000050

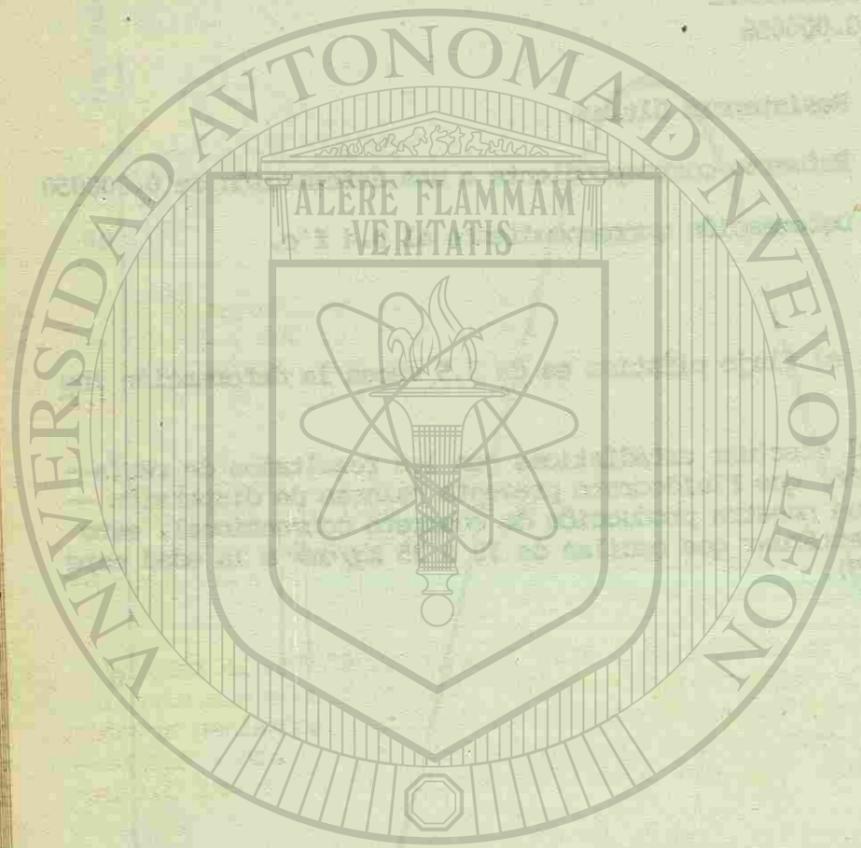
E_b = Deformación correspondiente al 0.4 f'c.

14.- Flujo Plástico.

Para Fluidocreto, el flujo plástico es de 3.5 veces la deformación instantánea.

15.-

Se ha observado al efectuar estadísticas con los resultados de resistencia a compresión, que Fluidocreto presenta valores de dispersión — del mismo orden que nuestra producción de concreto convencional, esto es, desviaciones estándar que oscilan de 30 a 35 kg/cm² a la edad especificada. (Fig. 5).



DURABILIDAD DEL CONCRETO SUPERPLASTIFICADO

R. J. Schutz*

RESUMEN

Este trabajo abarcó la elaboración y ensaye de 28 revolturas de concreto. Estas revolturas se hicieron con dos contenidos de cemento: 308 y 444 kilogramos por metro cúbico (517 y 752 lbs/pie³). Se incluyeron dos niveles de manejabilidad: 64 y 152 mm (2 1/2 pulg y 6 pulg). Se utilizó concreto con y sin aire incluido, así como con y sin superplastificante.

El concreto se ensayó para determinar su resistencia a la compresión y a la flexión, así como su resistencia al congelamiento y deshielo siguiendo la norma ASTM C-666 procedimiento B. Además, se examinó el sistema de burbujas de aire en 8 de las revolturas utilizando el método de ensaye ASTM 457 y mediante —examinación microscópica.

Las resistencias a la compresión y a la flexión siguieron la relación convencional con respecto a la relación agua/cemento. Los concretos sin aire incluido y sin aditivo superplastificante exhibieron la reducción normal en su módulo dinámico cuando fueron sujetas a ciclos de congelamiento y deshielo. Las revolturas de concreto conteniendo los superplastificantes exhibieron buena durabilidad.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



DURABILIDAD DEL CONCRETO SUPERPLASTIFICADO

INDICE

RESUMEN	7
INTRODUCCION.	7
PROGRAMA DE ENSAYES	7
RESULTADOS DE ENSAYES	7
DURABILIDAD	8
COEFICIENTE DE SATURACION	8
SISTEMA DE BURBUJAS DE AIRE.	8
DISCUSION	8
CONCLUSIONES.	9

DURABILIDAD DEL CONCRETO SUPERPLASTIFICADO

INTRODUCCION

Se ha reportado que los concretos elaborados con superplastificante tienen buena durabilidad. Sin embargo, también ha habido reportes de que tales concretos exhiben poca durabilidad. Este programa de ensayos fue planeado para determinar la durabilidad de concretos conteniendo superplastificantes. En el programa se incluyeron dos métodos para añadir el aditivo superplastificante, uno agregándolo al agua de mezclado, y el otro añadiéndolo posteriormente. También se realizó un estudio acerca del sistema de burbujas de aire para determinar el efecto que tienen los superplastificantes sobre esta característica del concreto.

PROGRAMA DE ENSAYES.

Los concretos utilizados en este programa fueron ensayados de acuerdo a la especificación ASTM C494, con la excepción del contenido de cemento y revenimiento. Se utilizaron contenidos de cemento de 308 Kg/m³ (517 lbs/pie³) y 448 Kg/m³ (752 lbs/pie³). Se utilizaron dos revenimientos de 50 a 75 mm y de 127 a 152 mm. (de 2 a 3 pulg y de 5 a 6 pulgs).

Se elaboraron 24 revolturas de concreto añadiendo inmediatamente el aditivo superplastificante de acuerdo con la especificación ASTM C-494. Se hicieron 4 revolturas adicionales en las cuales el aditivo fue incorporado posteriormente. El procedimiento de mezclado para el caso en que el aditivo se añadió posteriormente fue: 15 segundos de mezclado en seco, se añade el agua, 1 1/4 minutos de mezclado, después 30 segundos de mezclado cada 10 minutos durante 30 minutos, en este momento se incorporan el aditivo inclusor de aire y el superplastificante, se sigue el mezclado durante 1 1/4 minutos.

Materiales

- Cemento - ASTM C-150, tipo I.
- Agregados - ASTM C-33
- Aditivo Inclusor de Aire - Solución al 15% de Resina Vinsol Neutralizada.
- Superplastificante - Sal Soluble de Condensados de Naftaleno - Formaldehído Sulfonato.

RESULTADOS DE ENSAYES.

Las características de los concretos ensayados se enlistan en las tablas 1, 2 y 3; incluyendo las resistencias a la compresión y a la flexión a los 1, 7 y 28 días. Los concretos ensayados siguieron una relación normal de resistencia - rel. A/c. como se muestra en las figuras 1 y 2. Se determinaron reduc-

ciones de agua del orden del 8 al 14% para una dosificación del 1% de superplastificante; y del 17 1/2 al 22 1/2% para una dosificación del 2% (Figura 3). La reducción de agua fue una función directa de la dosificación.

DURABILIDAD.

Las tablas 4, 5 y 6 proporcionan el módulo dinámico de elasticidad en intervalos de 50 ciclos cuando fueron ensayados de acuerdo al método de ensaye ASTM C-666 procedimiento B. Las figuras 4 y 5 ilustran los resultados de todas las revolturas de concreto, con y sin aire incluido y conteniendo superplastificantes. Los concretos de control sin aire incluido con revenimiento de 152 mm (6 pulg) exhibieron la menor durabilidad. Le siguieron los concretos sin aire incluido con revenimiento de 62 mm (2 1/2 pulg).

COEFICIENTE DE SATURACION.

Se determinó el coeficiente de saturación (ver figura 6). Los concretos sin aire incluido y conteniendo aditivo superplastificante exhibieron coeficientes de saturación muy elevados. Los concretos con aire incluido, con y sin superplastificante, presentaron coeficientes de saturación en el rango considerado como durable. La excepción fue la revoltura número 24 para la cual el valor resultó elevado. Las revolturas de concreto 9 y 10 sin aire incluido y con superplastificante exhibieron coeficientes de saturación muy elevados.

SISTEMA DE BURBUJAS DE AIRE.

Mediante el método de presión ASTM C231 se determinó el contenido de aire en el concreto fresco, y en el concreto endurecido se determinó mediante el método ASTM C457. Los resultados se grafican en la figura 7. Hay una diferencia de menos de 0.6% entre los resultados obtenidos mediante ambos métodos, presentando ligeramente menor contenido de aire el concreto endurecido que el concreto fresco. Esto indica que hay una pérdida pequeña en el contenido de aire durante la fabricación y curado de los especímenes de ensaye. El sistema de burbujas de aire fue analizado utilizando el método ASTM C-457.

La superficie específica (alfa) de todos los sistemas analizados fue comparada con las recomendaciones del ACI "Práctica Recomendada para la Construcción de Losas de Carretera" (ACI 345-74), la cual indica que la superficie específica debe ser mayor que 23.6 mm^{-1} (600 pulg^{-1}) Ver tabla 7.

El factor de espaciamiento de burbujas en los concretos con aire incluido resultó dentro del rango recomendado por ACI 345-74. El factor de espaciamiento de la revoltura de control con aire incluido número 8 fue de 0.0084,

excediendo ligeramente el límite de 0.0080 fijado por esta "Práctica Recomendada". Los otros concretos con aire incluido estaban dentro del límite fijado por ACI.- En cambio, las revolturas número 9 y 10, sin aire incluido y con superplastificante, cayeron fuera de este límite.

El factor de espaciamiento parece disminuir al aumentar la dosificación del superplastificante. La excepción fue la revoltura número 24 (ver figura 8).

DISCUSION.

Debido al gran número de especímenes para el ensaye de congelamiento y deshielo requeridos en este programa de investigación, y debido a limitaciones de tiempo y equipo, los ensayos de congelamiento y deshielo fueron llevados a cabo utilizando el procedimiento B de la norma ASTM C-666. Este procedimiento consiste en ciclos de congelamiento en el aire y deshielo en el agua.

Algunos investigadores consideran que este procedimiento es menos severo que el procedimiento A, el cual consiste en congelamiento y deshielo en agua. El que el procedimiento B sea o no sea menos severo que el procedimiento A es de poca importancia al evaluar este programa de ensaye dado que los especímenes de control sin aire incluido se desintegraron rápidamente. La revoltura sin aire incluido conteniendo 448 kgs de cemento y con 152 mm (6 pulg) de revenimiento disminuyó su módulo dinámico al 80% en 45 ciclos. En todos los especímenes de concreto sin aire incluido el módulo dinámico disminuyó a menos del 80% en menos de 100 ciclos.

Estos concretos sin aire incluido, y con aire incluido, sin aditivo superplastificante fueron considerados como las revolturas de control.

Los especímenes utilizados para el ensaye de durabilidad fabricados con la revoltura número 24 exhibieron muy buena resistencia al congelamiento y deshielo. El espécimen utilizado para obtener el coeficiente de saturación y para determinar las características del sistema de burbujas de aire quizás no fue un buen espécimen, dado que ambas características no siguieron la tendencia general de los otros concretos. El coeficiente de saturación fue alto, de 0.81, el cual es considerado un valor típico para concreto no-durable. El factor de espaciamiento también fue alto, el cual no concuerda con los resultados del ensaye de congelamiento y deshielo.

Las revolturas de concreto 9 y 10, conteniendo superplastificante y sin aire incluido, exhibieron buena durabilidad a pesar de tener coeficientes de saturación y factores de espaciamiento que normalmente serían considerados típicos de concretos no-durables.

Los ensayos rápidos de congelamiento y deshielo serán continuados hasta los 300 ciclos. Sin embargo, basados sobre la experiencia previa, los resul-

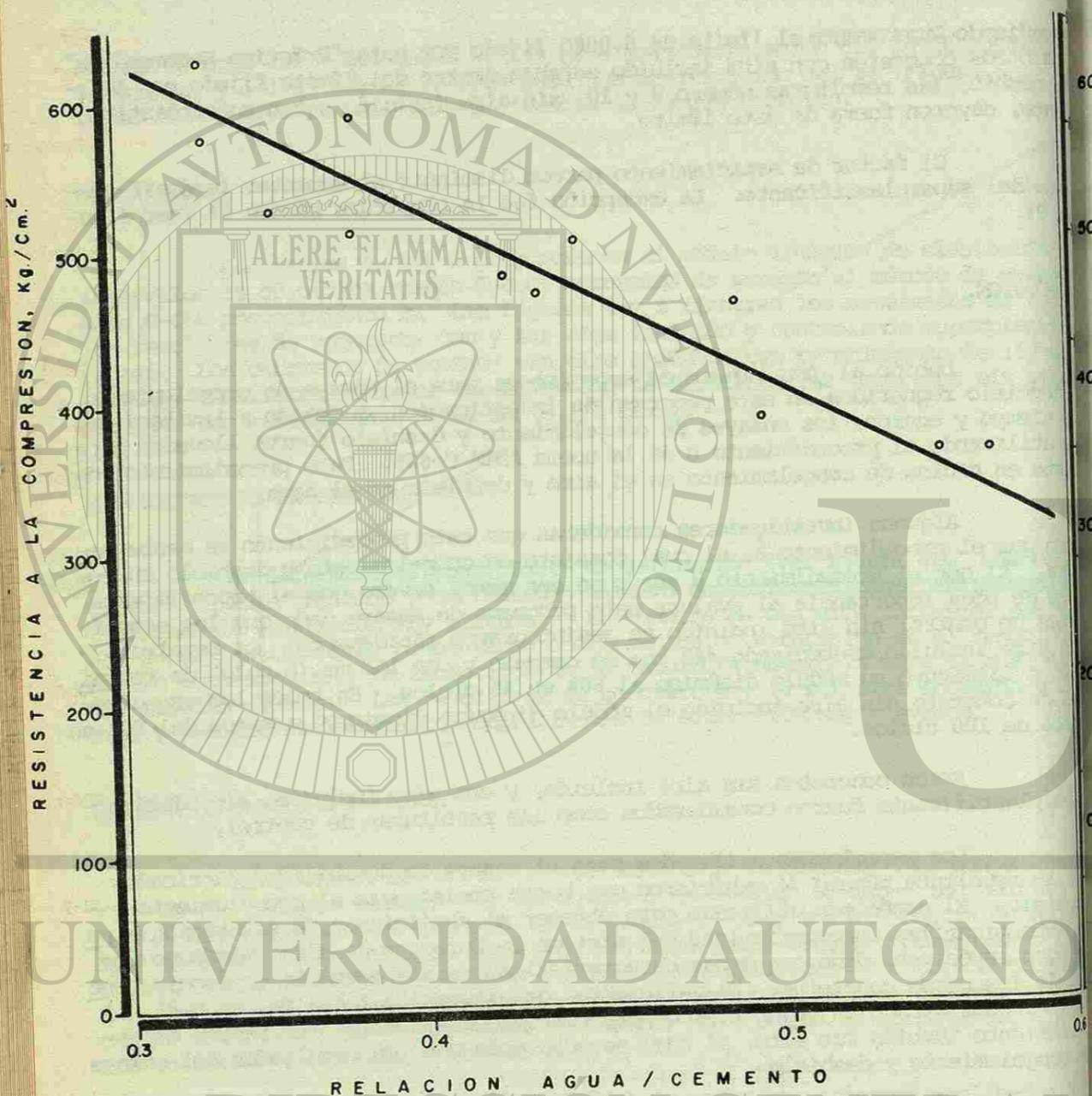
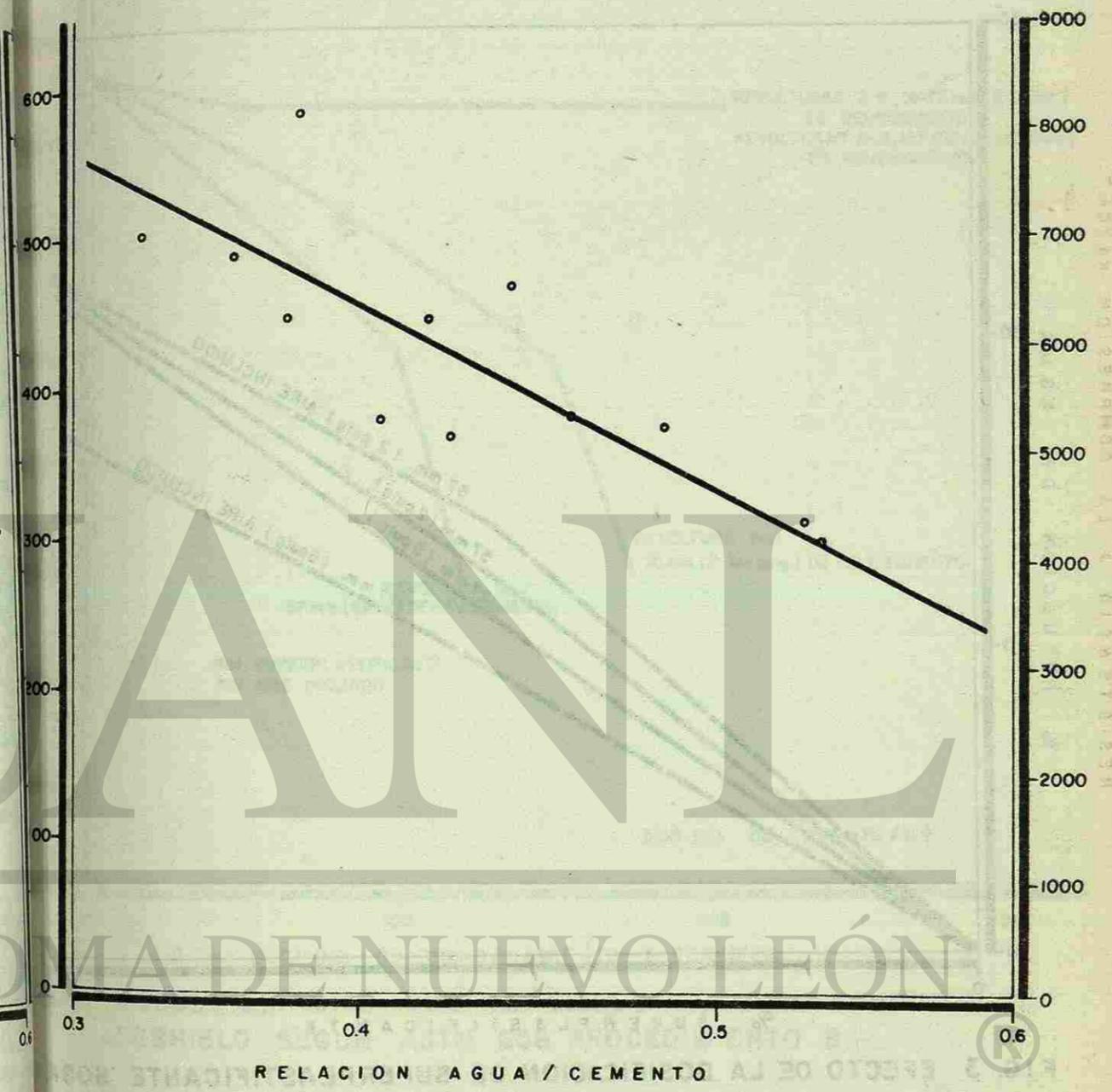


FIG. 1 RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS DE CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO Y CON SUPERPLASTIFICANTE CONTRA RELACION AGUA / CEMENTO.



2 RELACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA CONCRETO CON AIRE INCLUIDO Y CON SUPERPLASTIFICANTE - CONTRA RELACION AGUA / CEMENTO.

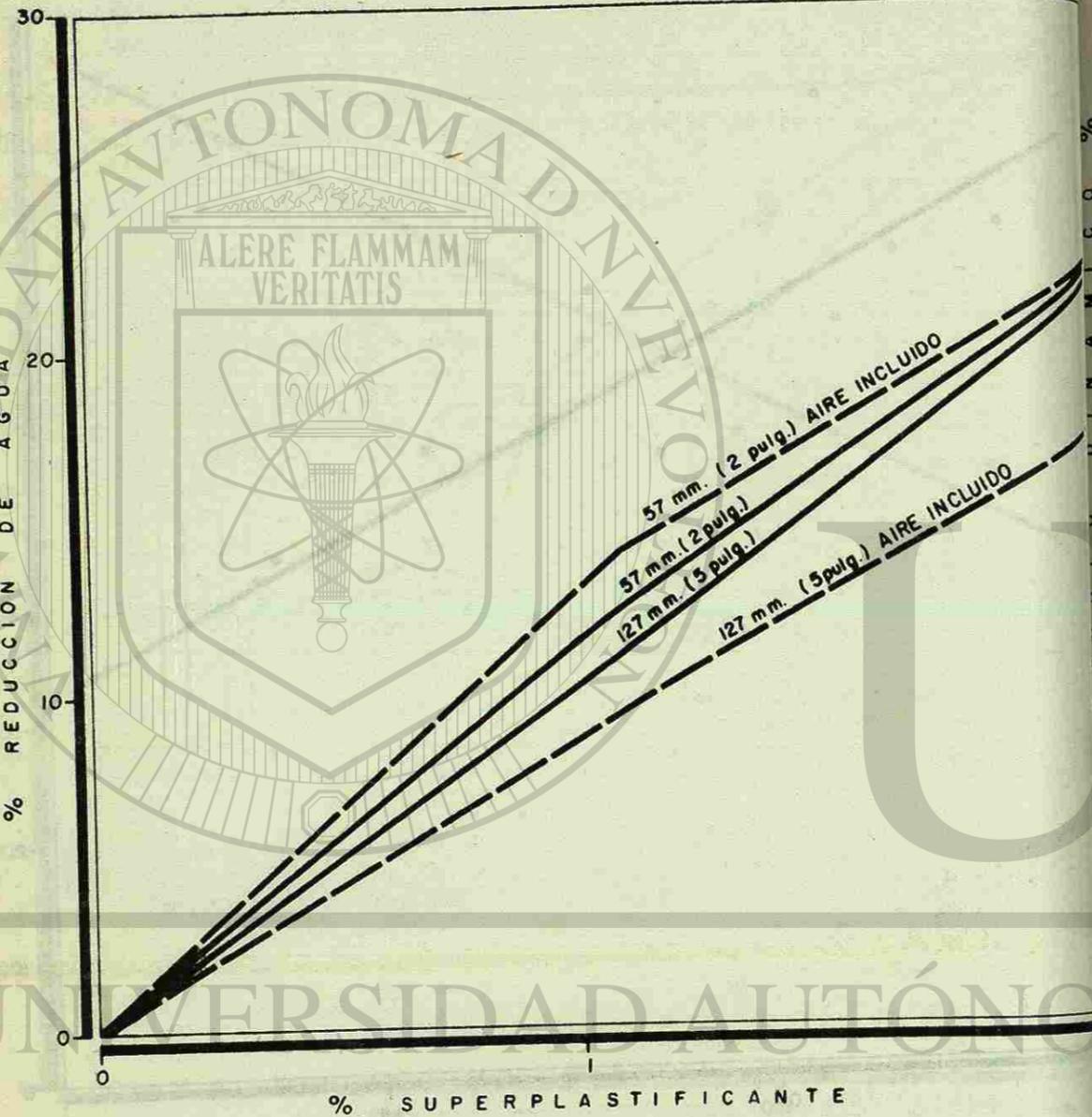


FIG. 3 EFECTO DE LA DOSIFICACION DE SUPERPLASTIFICANTE SOBRE LA REDUCCION DE AGUA.

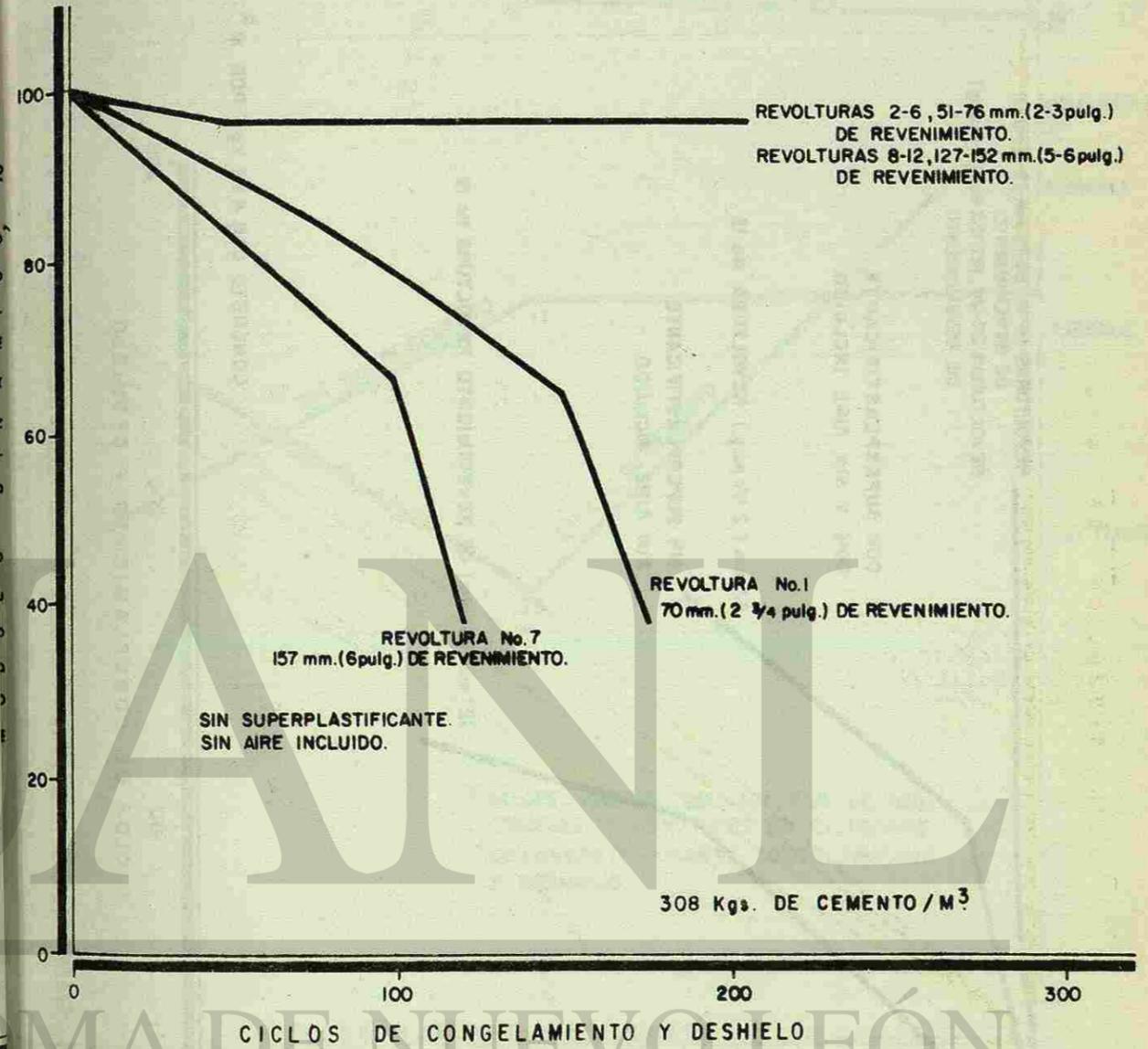


FIG. 4 MODULO DINAMICO CONTRA CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO SEGUN ASTM 666 PROCEDIMIENTO B.

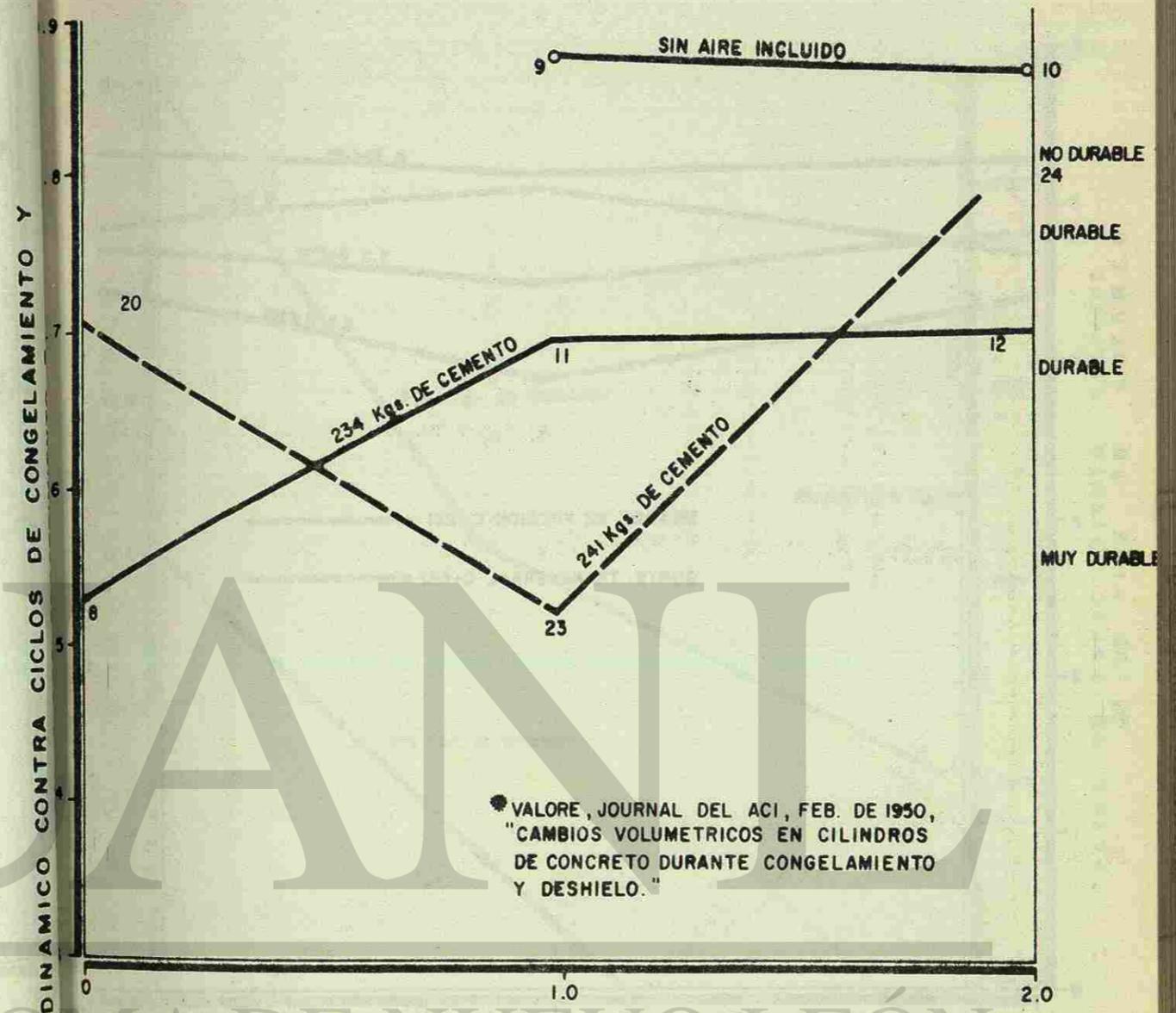
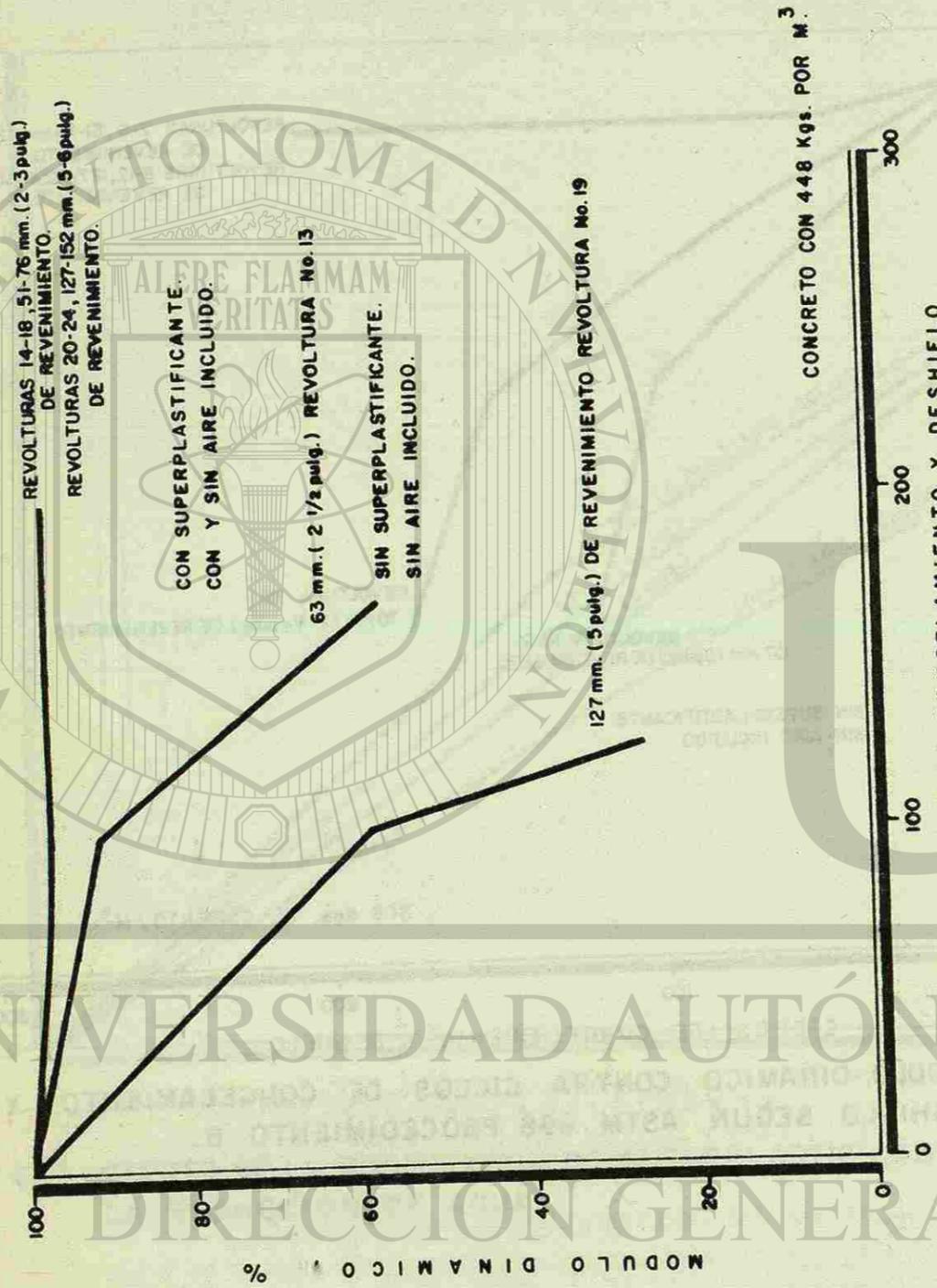


FIG. 5 MODULO DINAMICO CONTRA CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO. COEFICIENTE DE SATURACION CONTRA DOSIFICACION DE SUPERPLASTIFICANTE PARA CONCRETO CON AIRE INCLUIDO.

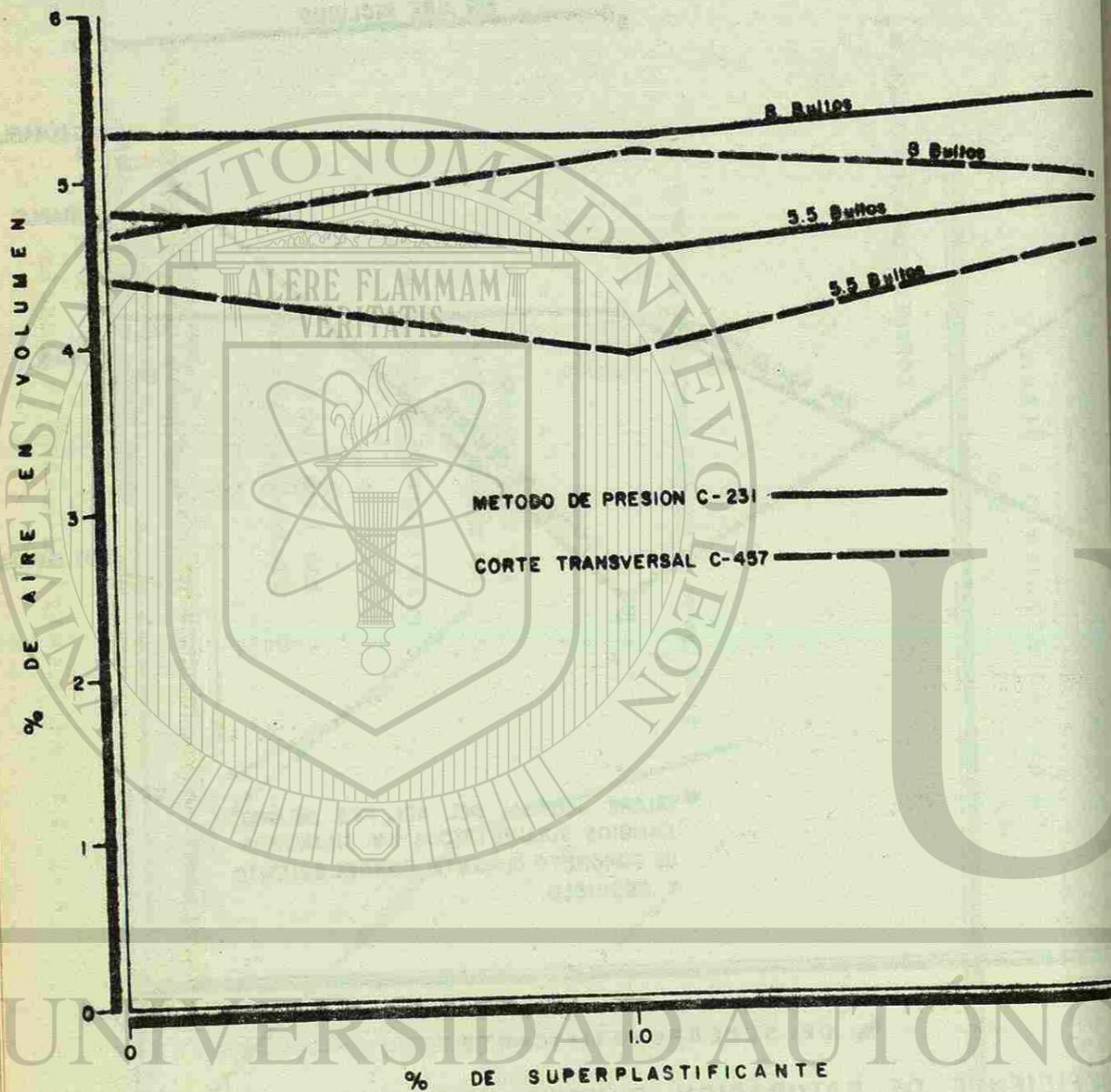


FIG. 7 COMPARACION ENTRE EL CONTENIDO DE AIRE EN CONCRETO FRESCO (METODO DE PRESION C-231) Y CONTENIDO DE AIRE EN CONCRETO ENDURECIDO C-457.

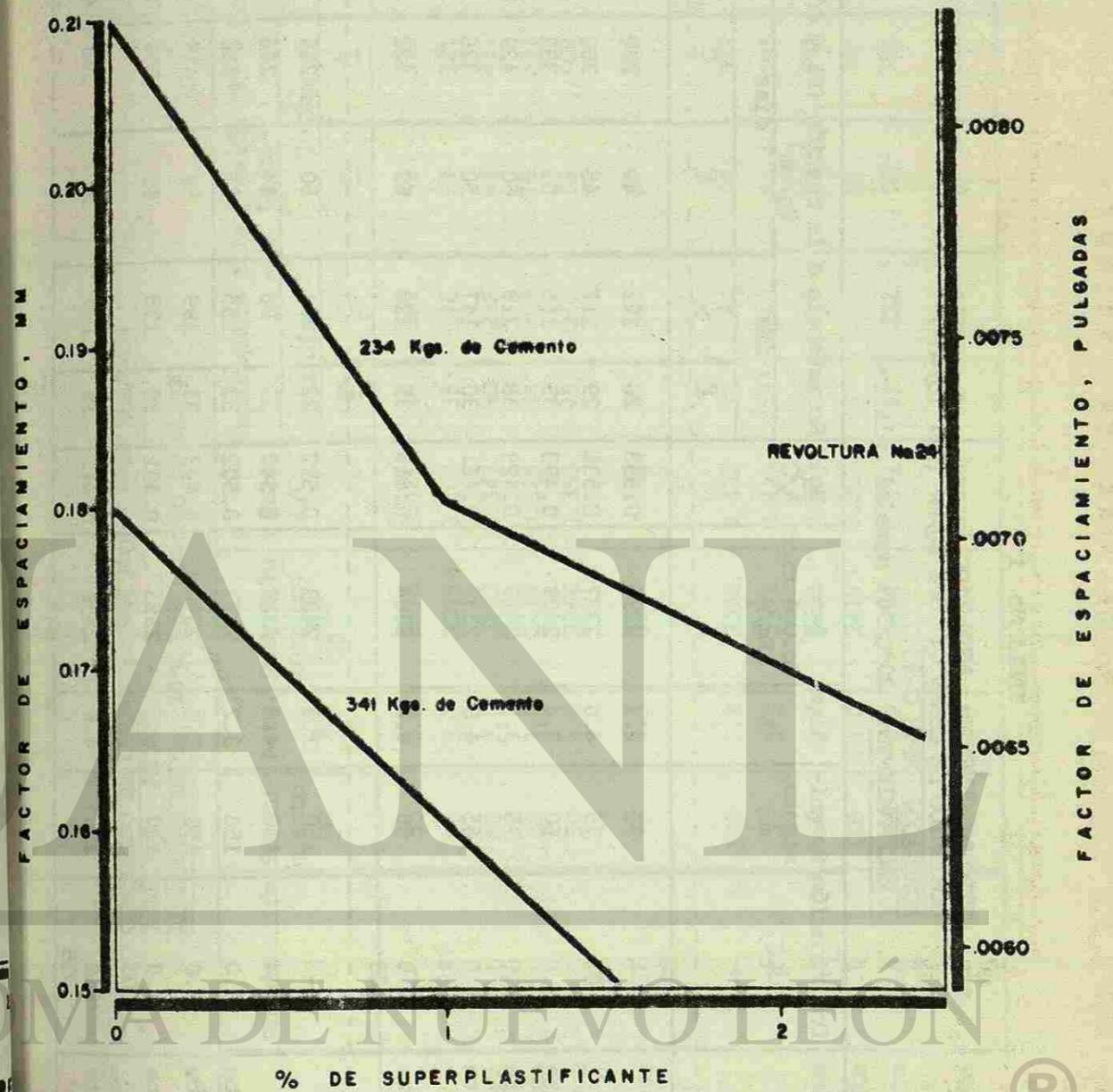


FIG. 8 EFECTO DEL SUPERPLASTIFICANTE EN EL FACTOR DE ESPACIAMIENTO PARA CONCRETO CON AIRE INCLUIDO C-457.

TABLA No. 1

TIPO DE CEMENTO: ASTM Tipo I
 CONTENIDO DE CEMENTO: 308 Kg/m³ (517 lb/yd³)
 AGREGADO: ASTM C-33
 ALMACENAMIENTO: 20°C/96% humedad relativa

Revol- tura No.	Aditivo	Dosificación, %	Reveni- miento, mm	Aire, %	Peso Volumétrico, Kg/m ³	Rel. A/C	Resistencia a la flexión (F) y Compresión (C)					
							1 día		7 días		28 días	
							F	C	F	C	F	C
1	Simple	—	70	2.1	2390	0.553	26	122	43	290	53	352
2	Con Vinsol*	.04	75	4.6	2327	0.535	29	117	45	260	54	302
3	Con Superplastificante	1.0	60	2.4	2409	0.493	33	165	53	352	59	425
4	Con Superplastificante	2.0	75	3.2	2416	0.429	38	218	60	429	61	515
5	Con Superplastificante y Vinsol*	1.0	65	4.8	2339	0.461	30	147	50	326	54	377
6	Con Superplastificante y Vinsol*	2.0	60	4.6	2364	0.415	35	220	62	422	64	436
7	Simple	—	150	1.3	2409	0.572	22	101	50	266	59	329
8	Con Vinsol*	.04	130	4.8	2327	0.540	23	96	44	246	54	298
9	Con Superplastificante	1.0	150	3.2	2377	0.502	33	155	51	336	58	388
10	Con Superplastificante	2.0	150	3.8	2390	0.443	33	199	58	419	66	495
11	Con Superplastificante y Vinsol*	1.0	130	4.5	2353	0.491	30	138	49	304	59	366
12	Con Superplastificante y Vinsol*	2.0	150	4.8	2359	0.443	35	195	57	398	62	457

TABLA No. 2

TIPO DE CEMENTO: ASTM Tipo I
 CONTENIDO DE CEMENTO: 448 Kg/m³ (752 lbs/yd³)
 AGREGADO: ASTM C-33
 ALMACENAMIENTO: 20°C/96% humedad relativa

Revol- tura No.	Aditivo	Dosificación, %	Reveni- miento, mm	Aire, %	Peso Volu- métrico, Kg/m ³	Rel. A/C	Resistencia a la flexión (F) y Compresión (C)					
							1 día		7 días		28 días	
							F	C	F	C	F	C
13	Simple	—	55	1.9	2390	0.421	40	202	66	399	72	432
14	Con Vinsol*	.07	60	5.2	2385	0.406	35	176	53	321	64	368
15	Con Superplastificante	1.0	60	2.8	2403	0.347	50	296	66	431	78	509
16	Con Superplastificante	2.0	65	3.0	2419	0.326	53	368	75	522	87	554
17	Con Superplastificante y Vinsol*	1.0	50	4.2	2366	0.353	45	267	59	408	68	473
18	Con Superplastificante y Vinsol*	2.0	75	5.5	2339	0.323	47	301	63	430	70	488
19	Simple	—	125	1.3	2396	0.432	37	184	54	382	73	428
20	Con Vinsol*	.065	130	5.3	2327	0.423	34	153	50	303	58	358
21	Con Superplastificante	1.0	125	2.2	2419	0.373	44	265	66	443	74	497
22	Con Superplastificante	2.0	150	3.0	2419	0.323	47	345	62	539	95	606
23	Con Superplastificante y Vinsol*	1.0	130	5.2	2339	0.371	42	222	59	391	77	434
24	Con Superplastificante y Vinsol*	2.0	125	5.4	2345	0.326	47	299	67	500	86	510

* Solución de Vinsol al 15%.

TABLA No. 3

TIPO DE CEMENTO: ASTM Tipo I
 CONTENIDO DE CEMENTO: 308 Kg/m³ (517 lb/yd³) Y 448 Kg/m³ (752 lb/yd³)
 AGREGADO: ASTM C-33
 ALMACENAMIENTO: 20°C/96% humedad relativa

Revolutura No.	Aditivo	Dosificación, %	Revenimiento, mm	Reveni-Aire, %	Peso Volu métrico, Kg/m ³	Rel. A/C	Resistencia a la Flexión (F) y Compresión (C)					
							1 día		7 días		28 días	
							F	C	F	C	F	C
25	308 Kg/m ³ Con Superplastificante y Vinsol*	1.0 .05	140	5.3	2335	0.461	30	158	55	342	63	413
26	Con Superplastificante y Vinsol*	2.0 .055	150	5.8	2310	0.406	35	195	56	402	67	485
27	448 Kg/m ³ Con Superplastificante y Vinsol*	1.0 .064	150	5.6	2339	0.347	38	229	66	389	70	449
28	Con Superplastificante y Vinsol*	2.0 .05	150	5.6	2347	0.294	39	307	77	492	79	576

Muestras Números 25-28.

Procedimiento de mezclado: Como fue descrito.

* Solución de Vinsol al 15%.

TABLA No. 4

ENSAYE DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO
 (ASTM C-666, Procedimiento B)
 CONTENIDO DE CEMENTO: 308 Kg/m³ (517 lbs/yd³)

Mezcla No.	Aditivo	Dosificación %	Revenimiento cm/mm	Rel. A/C	Reveni-Aire %	Módulo Dinámico de Elasticidad en %										
						0 Ciclo	50 Ciclos	100 Ciclos	150 Ciclos	200 Ciclos	250 Ciclos	300 Ciclos				
1	Simple	—	70	0.553	2.1	100	90	78	65	D						
2	Con Vinsol	.04	75	0.535	4.6	100	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
3	Con Superplastificante	1.0	60	0.493	2.4	100	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
4	Con Superplastificante	2.0	75	0.429	3.2	100	99.5	99	98	96	96	96	96	96	96	96
5	Con Superplastificante y Vinsol	1.0 .04	65	0.461	4.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	Con Superplastificante y Vinsol	2.0 .03	60	0.415	4.6	100	99	99	98	96	96	96	96	96	96	96
7	Simple	—	150	0.572	1.3	100	82	66	D							
8	Con Vinsol	.04	130	0.540	4.8	100	99.5	99	99	99	99	99	99	99	99	99
9	Con Superplastificante	1.0	150	0.502	3.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
10	Con Superplastificante	2.0	150	0.443	3.8	100	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
11	Con Superplastificante y Vinsol	1.0 .03	130	0.491	4.5	100	99	99	98.5	98.5	98.5	98.5	98.5	98.5	98.5	98.5
12	Con Superplastificante y Vinsol	2.0 .035	150	0.443	4.8	100	98.5	98.5	98	98.5	98	98	98	98	98	98



TABLA No. 5

ENSAYE DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO
(ASTM C-666, Procedimiento B)

CONTENIDO DE CEMENTO: 448 Kg/m³ (752 lbs/yd³)

Mezcla No.	Aditivo	Dosi- fican- ción %	Reveni- miento cm/mm	Rel. A/C	Aire %	Módulo Dinámico de Elasticidad en %						
						0 Ciclo	50 Ciclos	100 Ciclos	150 Ciclos	200 Ciclos	250 Ciclos	300 Ciclos
13	Simple	—	55	0.421	1.9	100	95	91	66			
14	Con Vinsol	.07	60	0.406	5.2	100	98.5	98.5	98.5			
15	Con Superplastificante	1.0	60	0.347	2.8	100	100	99.5	98.5			
16	Con Superplastificante	2.0	65	0.326	3.0	100	99	99	99			
17	Con Superplastificante y Vinsol	1.0 .07	50	0.353	4.2	100	100	99.5	99			
18	Con Superplastificante y Vinsol	2.0 .055	75	0.323	5.5	100	100	99.5	99.5			
19	Simple	—	125	0.432	1.3	100	78	58.5	D			
20	Con Vinsol	.065	130	0.423	5.3	100	99	99	99			
21	Con Superplastificante	1.0	125	0.373	2.2	100	98	96.5	94.5			
22	Con Superplastificante	2.0	150	0.323	3.0	100	100	100	100			
23	Con Superplastificante y Vinsol	1.0 .07	130	0.371	5.2	100	99	99	96			
24	Con Superplastificante y Vinsol	2.0 .05	125	0.326	5.4	100	99	98	96.5			

TABLA No. 6

ENSAYE DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO
(ASTM C-666, Procedimiento B)

CONTENIDO DE CEMENTO: 308 Kg/m³ (517 lbs/yd³)
y 448 Kg/m³ (752 lbs/yd³)

Mezcla No.	Aditivo	Dosi- fican- ción %	Reveni- miento cm/mm	Rel. A/C	Aire %	Módulo Dinámico de Elasticidad en %						
						0 Ciclo	50 Ciclos	100 Ciclos	150 Ciclos	200 Ciclos	250 Ciclos	300 Ciclos
25	308 Kg/m ³ Con Superplastificante y Vinsol	1.0 .05	140	0.461	5.3	100	98	98	98			
26	Con Superplastificante y Vinsol	2.0 .055	150	0.406	5.8	100	99	98.5	96.5			
27	448 Kg/m ³ Con Superplastificante y Vinsol	1.0 .064	150	0.347	5.6	100	100	100	99.5			
28	Con Superplastificante y Vinsol	2.0 .05	150	0.294	5.6	100	100	99	99			

Muestras Números 25-28

Procedimiento de mezclado: Como fue descrito.

TABLA No. 7
 DATOS DE BURBUJAS DE AIRE
 ASTM C-457

Revol- tura No.	Aditivo	Dosificación	Contenido de aire	Superficie Específica		Factor de Espaciamiento L		Coeficiente de Saturación
				mm ⁻¹	Pulg. ⁻¹	mm	Pulg.	
8	AIA		4.38	23.6	600	0.214	0.0084	0.53
9	SP ^I	1%	1.38	36.7	932	0.224	0.0088	0.87
10	SP	2%	2.18	24.95	633	0.263	0.01035	0.86
11	AIA	1%	3.86	29.56	751	0.177	0.0069	0.69
12	SP	2%	4.5	27.6	701	0.17	0.00696	0.70

20	AIA		4.7	33.4	848	0.163	0.0064	0.71
23	AIA SP	1%	5.1	32.6	828	0.156	0.0061	0.52
24	AIA SP	2%	4.9	26.97	685	0.185	0.0073	0.81
				23.6	600	0.203	0.0080	0.70

Recomendaciones: ACI 345-74

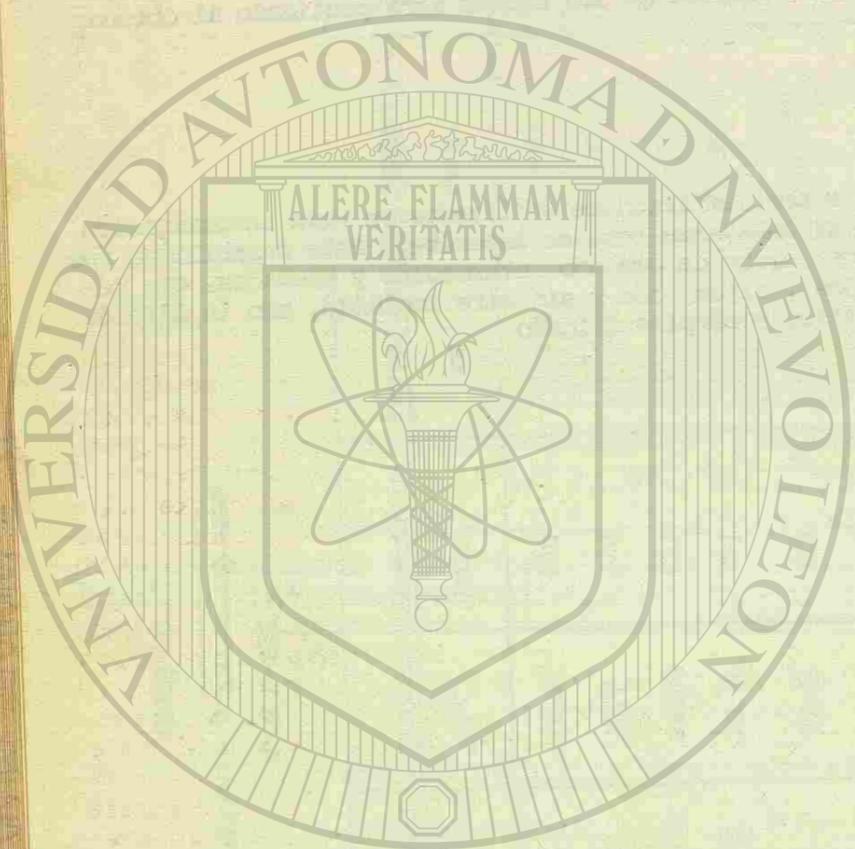
R. Valero

DURABILIDAD DEL CONCRETO SUPERPLASTIFICADO

tados obtenidos hasta la fecha son indicativos de los resultados finales. El módulo dinámico de los especímenes después de 300 ciclos será publicado al obtenerse éste.

CONCLUSIONES.

Los concretos con superplastificante utilizados en esta investigación probaron ser durables cuando se ensayaron como se describe. Esta durabilidad fue exhibida por concretos con contenidos de cemento intermedios y elevados, con revenimientos relativamente bajos y altos, con y sin aire incluido, con la adición inmediata y posterior del aditivo superplastificado



USO DE SUPERPLASTIFICANTES COMO ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA

R. Ghosh* y V. M. Malhotra**

RESUMEN

Este trabajo describe el comportamiento de los superplastificantes utilizados en el concreto como aditivos reductores de agua. Se añadieron a concretos de referencia con aire incluido conteniendo cemento tipo I, tipo II y tipo V diferentes dosificaciones de tres aditivos superplastificantes disponibles en el mercado con el fin de producir un 20% de reducción de agua de mezclado. Se mantuvieron constantes en todas las revolturas el contenido de cemento, revenimiento y contenido de aire. Se determinaron las propiedades mecánicas y elásticas del concreto endurecido y su resistencia al congelamiento y deshielo. Los resultados de los ensayos indican que en todos los casos la resistencia y módulo de elasticidad de los especímenes colados con concreto superplastificado exceden a los especímenes de referencia. Para los concretos hechos con cemento tipo I, el concreto de referencia, en cambio, para todos los otros cementos la contracción del concreto superplastificado es comparable con o menor que el concreto de referencia. El concreto con cemento Portland tipo I conteniendo el superplastificante a base de melamina exhibe el mismo flujo plástico que el concreto de referencia. La resistencia al congelamiento y deshielo del concreto superplastificado conteniendo cemento ya sea tipo I o tipo II parece ser satisfactoria; sin embargo, el concreto hecho con cemento tipo V y agregándole superplastificante muestra relativamente poca resistencia a los ciclos de congelamiento y deshielo.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

* Especialista en diseño, Ontario Hydro, Toronto, Canadá.

** Jefe de la Sección de Materiales de Construcción, CANMET, Depto. de Energía, Minas y Recursos, Ottawa, Ontario.

I N D I C E

RESUMEN	99
INTRODUCCION	101
ALCANCE DE LA INVESTIGACION	101
CONDENSADOS DE MELAMINA FORMALDEHIDO SULFONATADO	102
CONDENSADOS DE NAFTALINA FORMALDEHIDO SULFONATADO	102
REVOLTURAS DE CONCRETO	102
PREPARACION Y COLADO DE LOS ESPECIMENES	103
ENSAYE DE LOS ESPECIMENES	104
RESULTADOS DE ENSAYES Y SUS ANALISIS	105
PROPORCIONAMIENTO DE LA REVOLTURA	105
RESISTENCIA A LA FLEXION Y A LA COMPRESION	106
CONTRACCION POR SECADO Y PERDIDA DE HUMEDAD	106
DEFORMACION POR FLUJO PLASTICO	107
DURABILIDAD AL CONGELAMIENTO Y DESHIELO	107
OBSERVACIONES FINALES	107

R. S. Ghosh y V. M. Malhotra

INTRODUCCION

Los aditivos superplastificantes que recientemente han sido introducidos a Norteamerica, están encontrando cada vez mayor aceptación en la industria de la construcción en general y en la industria de pre-colados en particular. Un número de organizaciones en Norteamerica dedicados a la investigación han iniciado investigaciones con respecto al uso de estos aditivos (1-7) pero la mayoría de los datos publicados hasta la fecha tratan solamente con el aumento en la manejabilidad y su pérdida subsecuente con el tiempo. Hay poca o ninguna información disponible sobre los efectos de su uso para una reducción substancial en el contenido de agua sin disminución en la manejabilidad (reventamientos de 60 a 80 mm). Por lo tanto se llevó acabo esta investigación para establecer el efecto de los superplastificantes sobre las propiedades del concreto cuando se estan utilizando como reductores de agua.

ALCANCE DE LA INVESTIGACION

El programa de ensayos incluyó una evaluación de concretos con aire -- incluido conteniendo cemento tipo I, tipo II y tipo V en combinación con 3 superplastificantes diferentes disponibles en el mercado que fueron añadidos al concreto fresco para lograr una reducción del 20% en el agua. El programa fue dividido en tres series como sigue:

Revolturas Serie A: Para establecer las dosificaciones de los superplastificantes para concretos hechos con cemento tipo I para alcanzar una reducción del 20% de agua.

Revolturas Serie B: Para evaluar las propiedades del concreto fresco y endurecido utilizando los proporcionamientos establecidos en la Serie As

Revolturas Serie C: Para repetir la serie B utilizando cemento Tipo II y Tipo V.

MATERIALES UTILIZADOS

Cementos

Fueron utilizados cementos tipo I, tipo II y tipo V. Las propiedades

físicas y análisis químicos de los cementos se muestran en la tabla 1.

Agregados

Como agregados grueso se utilizó caliza triturada con tamaño máximo de 20 mm, y como agregado fino se utilizó arena natural. La densidad del agregado grueso y fino fue de 2.66 y 2.65 (secado al horno) respectivamente; los valores de absorción correspondientes fueron 1.10 y 1.37%

Aditivo Inclisor de Aire

En todas las revolturas se utilizó un aditivo inclisor de aire del tipo hidrocarburo sulfonado.

Superplastificantes

En las revolturas de concreto fueron utilizados los siguientes tres tipos de superplastificantes.

CONDENSADOS DE MELAMINA FORMALDEIDO SULFONATADO.

El superplastificante M pertenece a esta categoría y es de origen alemán. Generalmente se consigue como una solución al 20% con una densidad de $1,000 \text{ kg/m}^3$ (68.6 lbs/pe^3), y en apariencia va desde clara hasta ligeramente turbia (lechosa). El contenido de cloruro es de 0.005%.

CONDENSADOS DE NAFTALINA FORMALDEIDO SULFONATADO.

El superplastificante N es de origen japonés. Generalmente se consigue como una solución al 42% con una densidad de $1,200 \text{ kg/m}^3$ (74.9 lbs/pe^3), es de color café oscuro. El contenido de cloruro es insignificante.

Lignosulfonatos Modificados

El superplastificante L cae en esta categoría. Es de origen francés pero ahora está siendo elaborado en Montreal, Canadá. Generalmente se consigue como una solución al 20% con una densidad de $1,100 \text{ kg/m}^3$ (68.6 lbs/pe^3), y es de color café claro. No contiene cloruros.

La mayoría de los superplastificantes mencionados consisten principalmente de sulfonatos orgánicos del tipo RSO_3 , donde R es un grupo orgánico como el alquilo, frecuentemente de gran peso molecular (3).

REVOLTURAS DE CONCRETO

El uso de Superplastificantes como reductores de agua.

Revolturas Serie A

La revoltura de referencia tenía una relación agua/cemento de 0.49, una relación agregado/cemento de 6.4, un contenido de cemento tipo I de 300 kg/m^3 , un revenimiento 75 mm y un 5% de aire incluido (tabla 2). El proporcionamiento de la revoltura utilizado para preparar los concretos para los ensayos fue establecido mediante una serie de revolturas de tanteo donde se variaron las cantidades del superplastificante y del aditivo inclisor de aire para obtener una reducción del 20% en el agua mientras se mantenía el mismo revenimiento y contenido de aire que en la revoltura de referencia.

El procedimiento de mezclado para todas las revolturas fue como sigue:

Los agregados grueso y fino, a los cuales se les había añadido como el 60% del total del agua de mezclado, junto con el cemento, fueron colocados en una revoltura y se mezclaron los ingredientes durante 1/2 minuto. Continuando el mezclado, se añadió el agua de mezclado que restaba, el aditivo inclisor de aire y el superplastificante durante los siguientes 1 1/2 minutos. El aditivo inclisor de aire se añadió en 5 segundos, seguido por el superplastificante, de tal manera que ambos aditivos estaban en la revoladora antes de 20 segundos de la primera adición del agua de mezclado que restaba. Una vez que todos los ingredientes estaban en la revoladora, se llevó a cabo el mezclado de acuerdo a la norma ASTM C-192, es decir, se mezcló el concreto durante 3 minutos seguido por 3 minutos de descanso y 2 minutos de mezclado final. Inmediata

Inmediatamente después del mezclado final se determinaron las propiedades del concreto fresco como son el revenimiento, la densidad, y el contenido de aire. (Tabla 2)

Revolturas Serie B

Las revolturas establecidas en la serie A fueron repetidas en la serie B con cambios leves en la cantidad de aditivo inclisor de aire según se requería para mantener un revenimiento de 75 mm. Después de determinar las propiedades del concreto fresco, se colaron cilindros y prismas para usarse en establecer los tiempos de fraguado, resistencia a la compresión y a la flexión, contracción, flujo plástico y la resistencia al congelamiento y deshielo.

PREPARACION Y COLADO DE LOS ESPECIMENES

En total había 4 revolturas: una revoltura de referencia y las tres revolturas conteniendo los diferentes tipos de superplastificantes. Cada revoltura consistía de dos mezclas, elaboradas consecutivamente en la revoladora y cada una lo suficiente para producir 6 cilindros de $150 \times 300 \text{ mm}$. y 4 prismas de $90 \times 100 \times 400 \text{ mm}$. Los especímenes de ensayo fueron compactados en base al procedimiento estandar de varillado. Los cilindros se colaron en moldes de hojalata y los prismas en moldes de acero. Los especímenes para el ensayo de flujo plástico fueron

colados en moldes de fierro.

Después de colarse todos los especímenes, estos fueron cubiertos con arpilleras mojadas y dejados en el cuarto donde se prepararon, durante 24 horas a 23°C y alrededor de 60% de humedad relativa. Posteriormente se sacaron de los moldes y se llevaron a un cuarto de curado estandar hasta que les tocara ser ensayados.

ENSAYE DE LOS ESPECIMENES

A las edades de 7, 28 y 91 días se sacaron del cuarto de curado un cilindro por cada mezcla, se caperon en sus dos extremos y se ensayaron a compresión. Los cilindros de 28 días fueron utilizados para determinar el módulo de elasticidad tangente de acuerdo con la norma ASTM C-469 antes de ser ensayados a compresión.

A los 14 días de edad se sacaron del cuarto de curado dos prismas por cada mezcla. Una prisma de cada mezcla se ensayó a flexión de acuerdo con la norma ASTM C-293; el prisma restante de cada mezcla se sujetó a ciclos de congelamiento y deshielo de acuerdo con la norma ASTM C-666 usando el procedimiento A, congelamiento y deshielo en agua. Los extremos de los prismas usados en los ensayos de flexión fueron utilizados para determinar el contenido de burbujas de aire.

El contenido de burbujas de aire y los parámetros del sistema de burbujas de aire fueron determinados a partir de una sección transversal cortada longitudinalmente corriendo a lo largo de la línea central de, y a ángulo recto con la cara inferior del prisma.

A los 28 días de edad, se sacaron del cuarto de curado dos prismas, uno por cada mezcla y se dejaron en un lugar con 50% de humedad relativa y a temperatura de 23°C para medir los cambios en peso y longitud (Norma ASTM C-157). Los dos prismas restantes se dejaron en el cuarto de curado como especímenes de referencia, y se registraron cambios en la velocidad de pulso, módulo dinámico, peso y longitud.

Revolturas Serie B

Los especímenes originales para el flujo plástico, seis en total, no pudieron utilizarse debido a que no se disponía de marcos para ensayos de flujo plástico. Sin embargo, cuando ya se disponía de 4 marcos para ensayo de flujo plástico, se elaboraron en una fecha posterior los especímenes de ensayo utilizando un proporcionamiento idéntico que para los de referencia y los concretos con superplastificante (tabla 1). Estos proporcionamientos eran similares a los proporcionamientos correspondientes a la serie A, y cada uno consistió de tres revolturas elaboradas consecutivamente en la revolvedora, y suficiente para producir 5 cilindros de 150 X 300 mm.

Los cilindros de ensayo colados de cada revoltura fueron utilizados -- como sigue: Uno para medir la deformación total, uno para control (contracción), y tres para resistencia (28, 83 y 112 días). Los cilindros de control serían -- ensayados a la terminación del ensayo de flujo plástico para determinar su resistencia. Todos los especímenes relacionados con el ensayo de flujo plástico fueron curados de acuerdo con la norma ASTM C-512, esto es, húmedos a 23°C durante los primeros 7 días y posteriormente a una humedad relativa del 50% y una temperatura de 23°C.

Los ensayos de flujo plástico comenzaron a los 28 días de edad. Antes del ensayo, se fijaron puntos de calibración sobre los especímenes para flujo -- plástico y para control. Los puntos de calibración estaban sobre líneas de calibración separadas 120°. A los 28 días, se ensayaron 3 especímenes a compresión, tres se utilizaron para flujo plástico, y tres para control. Cada marco -- para ensayo de flujo plástico acomodaba 3 especímenes, uno de cada revoltura de un proporcionamiento.

Los especímenes para ensayo de flujo plástico fueron cargados en compresión con una relación esfuerzo-resistencia de 0.44 basada en la resistencia a los 28 días de especímenes compañeros. Las deformaciones por contracción fueron medidas sobre los especímenes de control (no cargados).

Revolturas Serie C

Esta serie fué similar a la serie B excepto que no se llevaron a cabo -- ensayos de flujo plástico, y que se usaron cementos tipo II y tipo V en lugar de cemento tipo I. Los proporcionamientos y las propiedades del concreto fresco se presentan en la tabla 2.

RESULTADOS DE ENSAYES Y SUS ANALISIS

En esta investigación fueron ensayados un total de 300 cilindros y -- prismas. En las figuras 1 y 2 se muestra la rapidez de sangrado y los tiempos -- de fraguado del concreto fresco. En la tabla 3 se presenta un resumen de los resultados de ensayos de resistencia, y mediciones del módulo de elasticidad, contracción y flujo plástico. En las tabla 4 y 6 se presentan los resultados del -- ensayo de congelamiento y deshielo sobre especímenes de concreto de referencia y superplastificado. En la tabla 7 se presentan las características de las burbujas de aire en el concreto endurecido. En la figura 3 se presentan gráficas de pérdida de humedad contra contracción para los prismas de ensayo.

PROPORCIONAMIENTO DE LA REVOLTURA

En la etapa inicial de las revolturas Serie A, se pretendía incluir un 7% de aire en las revolturas del concreto utilizando un aditivo inclusor de aire de tipo hidrocarbano sulfonado. Sin embargo, no fue posible incluir esa canti

dad de aire en las revolturas superplastificadas aún con dosificaciones muy elevadas del aditivo inductor de aire. Por lo tanto, se redujo a solo 5% la cantidad de aire incluido. Además, cuando los proporcionamientos establecidos en la serie A, fueron repetidos para los ensayos en la serie B, el revenimiento había aumentado a 125 mm en lugar de los 75 mm especificados. Por lo tanto, se tuvo que reducir la cantidad de aditivo inductor de aire en cerca de 20% en las revolturas conteniendo superplastificantes con tal de alcanzar los 75 mm de revenimiento requerido (tabla 1). También se requirió una reducción del 25% del aditivo inductor de aire en las revolturas para los ensayos de flujo plástico (Serie con superplastificante M, y a las revolturas para los ensayos de sangrado y tiempo de fraguado del concreto fresco.

Se encontró que se redujo considerablemente el sangrado en el concreto fresco cuando se utilizaban los superplastificantes, la excepción fué el concreto hecho con cemento tipo V e incorporado el superplastificante L, para el cual los valores de sangrado eran comparables con los del concreto de referencia. Los cambios máximos en el tiempo de fraguado para el concreto con superplastificantes fueron en cerca de una y media horas.

RESISTENCIA A LA FLEXION Y A LA COMPRESION

Los aumentos en las resistencia a la compresión y a la flexión y en el módulo de elasticidad para el concreto superplastificado en comparación con la revoltura de referencia (tabla 3) se puede atribuir a la relación agua/cemento menor y al mayor grado de hidratación debido a la mayor dispersión de las partículas de cemento bajo la acción de los superplastificantes.

CONTRACCION POR SECADO Y PERDIDA DE HUMEDAD

Las contracciones por secado y la pérdida de humedad fueron observadas solamente hasta un máximo de 112 días. El concreto hecho con cemento tipo I e incorporando superplastificante mostró mayor contracción que el concreto de referencia, en cambio, para los concretos hechos con cemento tipo II y aquellos con tipo V, las contracciones por secado eran comparables o menores que los valores obtenidos para el concreto de referencia. Sin embargo, la pérdida de humedad en los concretos superplastificados era menor (figura 3).

La mayor contracción en los concretos con superplastificante y hechos con cemento tipo I puede ser debida a una mayor madurez lograda mediante la acción de los superplastificantes al promover la hidratación y la ganancia de resistencia. Sin embargo, es posible que con el tiempo, puede ser menor la contracción en el concreto superplastificado que aquella del concreto de referencia debido a que contiene menos agua evaporable.

DEFORMACION POR FLUJO PLASTICO.

Los resultados del ensaye de flujo plástico (tabla 3) muestran que después de 72 días de estar cargados, los concretos hechos con cemento Portland tipo I y cada uno de los concretos superplastificados tenían aproximadamente el mismo flujo plástico que el concreto de referencia.

DURABILIDAD AL CONGELAMIENTO Y DESHIELO

Los factores de durabilidad (FD) para los concretos con cemento Portland tipo K y tipo II y contenido superplastificante M y L fueron mayores o casi iguales a los factores de durabilidad de los concretos de referencia correspondientes. Los valores variaron de 61 a 84 (tabla 4). Los concretos con superplastificante N mostraron un factor de durabilidad menor, por ejemplo, 45 con cemento tipo I, pero un valor ligeramente mejor de 57 con cemento tipo II. Los concretos hechos con cemento tipo V e incorporado superplastificante mostraron muy poca durabilidad. La poca durabilidad generalmente está asociada con valores más elevados del factor de espaciamiento de burbujas de aire. Este es cierto particularmente para concretos con superplastificante N, sin importar el tipo de cemento utilizado.

OBSERVACIONES FINALES

Los superplastificantes, cuando se utilizan como aditivos reductores de agua en el concreto, parecen aumentar la resistencia y propiedades elásticas en comparación con los valores obtenidos para el concreto de referencia. Esto se debe muy probablemente a una relación agua/cemento menor en el concreto superplastificado.

El concreto superplastificado hecho con cemento tipo I muestra mayor contracción que el concreto de referencia, en cambio, para los concretos hechos con cemento tipo II y con tipo V los valores del concreto de referencia.

Concreto con cemento Portland tipo I conteniendo superplastificante mostró propiedades de flujo plástico casi idénticas a las del concreto de referencia.

La durabilidad al congelamiento y deshielo para concretos hechos con cemento tipo I con tipo II, y con aditivo superplastificante es igual a la durabilidad de su concreto de referencia respectivo, excepto para la combinación de cemento tipo I y superplastificante N para el cual la durabilidad fué algo más baja. Para concreto hecho con cemento tipo V y con superplastificante, los factores de durabilidad fueron muy bajos.

Los concretos con superplastificante pierden revenimiento con el tiempo, lo cual impone una limitación al uso de superplastificantes como reductores de

TABLA No. 1

PROPIEDADES FISICAS Y ANALISIS QUIMICOS DE LOS CEMENTOS *

DESCRIPCION DEL ENSAYE	CEMENTO TIPO I	CEMENTO TIPO II	CEMENTO TIPO V
ENSAYES FISICOS - GENERAL			
Tiempo de fraguado (aguja Vicat)			
Inicial:	2hr. 05min.	3hr. 20min.	2hr. 05min.
Final:	4hr. 20min.	6hr. 25min.	4hr. 50min.
Finura: No. 200 (pasa)	97.6%	98.4%	97.4%
Superficie específica	3490 cm ² /g	3690 cm ² /g	3300 cm ² /g
Sanidad (Autoclave)	0.170%	0.026%	0.042%
ENSAYES FISICOS - RESISTENCIA DEL MORTERO			
Resistencia a la compresión de cubos			
de 51 mm. a:			
3 días	211 MPa	179 MPa	149 MPa
7 días	263 MPa	232 MPa	196 MPa
28 días	340 MPa	346 MPa	317 MPa
ANALISIS QUIMICOS			
Residuo insoluble	-	-	-
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	21.0	21.5	23.8
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	5.0	4.7	2.5
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)	2.4	4.0	4.5
Oxido de Calcio (CaO) total	63.2	61.2	64.0
Oxido de Magnesio (MgO)	3.1	2.6	2.5
Trióxido de azufre (SO ₃)	2.9	2.8	1.3
Pérdida por ignición	1.1	1.6	0.5
Otros	1.3	1.6	0.9
CONSTITUYENTES			
Silicato tricalcico (C ₃ S)	52.4	40.0	51.8
Silicato dicalcico (C ₂ S)	21.0	31.0	29.1
Aluminio tricalcico (C ₃ A)	9.0	5.0	0
Aluminato férrico tetracalcico (C ₄ AF)	7.0	12.0	12.9

* Datos de ensayos proporcionados por Ontario Hydro.

TABLA No. 2

PROPORCIONAMIENTO Y PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

SERIE	NUMERO	TIPO DE CEMENTO	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AGUA	REL. A/C*	AIRE INCL. %	REV. mm	DENSIDAD	ADITIVOS	
											TIPO DE SUPERPLASTIFICANTE	ATA**
A	1	I	299	821	1087	148	0.49	4.9	75	2354	-	0.31
	2	I	304	836	1107	120	0.40	5.4	75	2367	N	23.6
	3	I	303	832	1103	120	0.40	5.7	85	2358	N	9.1
	4	I	303	831	1101	120	0.40	5.8	75	2354	L	25.6
B	5	I	298	818	1084	147	0.49	5.2	75	2348	-	0.31
	6	I	303	834	1105	120	0.40	5.6	80	2362	M	23.6
	7	I	302	830	1099	120	0.40	6.0	70	2350	N	9.1
	8	I	303	833	1103	120	0.40	5.6	80	2360	L	25.6
C*	9	II	299	820	1087	147	0.49	4.9	85	2354	-	0.31
	10	II	303	834	1105	120	0.40	5.6	90	2362	M	22.0
	11	II	305	839	1111	121	0.40	5.3	75	2377	N	7.5
	12	II	306	842	1115	121	0.40	4.8	75	2385	L	22.4
	13	V	299	821	1088	144	0.48	5.4	90	2352	-	0.24
	14	V	304	836	1107	117	0.38	5.4	75	2364	M	22.0
	15	V	306	842	1115	118	0.38	5.3	80	2381	N	9.1
	16	V	306	841	1114	118	0.38	5.2	85	2379	L	20.5
B ¹	17	I	298	817	1082	147	0.49	5.3	80	2344	-	0.31
	18	I	304	835	1106	120	0.40	5.4	75	2365	M	23.6
	19	I	303	832	1102	120	0.40	6.0	80	2357	N	9.1
	20	I	305	839	1111	121	0.40	5.4	40	2377	L	25.6

* Relación agua/cemento por peso.
** Aditivo inductor de aire.

TABLA No. 3

PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO - MEDICIONES DEL FLUJO PLASTICO

SERIE	NUEVO	MEDICIONES DE FLUJO PLASTICO *				DEFORMACION TOT. POR FLUJO PLASTICO DES- PUES DE 72 DIAS
		f'c a 28 días kg/cm ²	f'c a 63 días kg/cm ²	ESFUERZO APLICADO kg/cm ²	RELACION ESFUERZO RESISTENCIA	
B1	17	350	381	155	0.44	770
	18	461	518	200	0.43	820
	19	483	521	207	0.43	761
	20	469	496	202	0.43	807

* Todas las mediciones se hicieron sobre cilindros de 150 X 300 mm

TABLA No. 4

PROPIEDAD DEL CEMENTO ENDURECIDO - RESISTENCIA, MODULO DE ELASTICIDAD Y MEDICIONES DE CONTRACCION

SERIE	TIPO DE CONCRETO	RESISTENCIA A LA COMPRESION (f'c) kg/cm ²		RESISTENCIA A LA FLEXION Kg/cm ²	MODULO DE ELASTICIDAD Kg/cm ² X 10 ⁵	MEDICIONES DE CONTRACCION	
		7 DIAS	28 DIAS			ALMACENADO EN LUGAR SECO DURANTE DIAS	CONTRACCION PERDIDA DE HUMEDAD %
B	Referencia (cemento tipo I)	273	334	62	3.3	112	0.037
	Cemento tipo I + SP-N*	380	442	71	3.8	112	0.040
	Cemento tipo I + SP-N	362	400	71	3.8	112	0.042
	Cemento tipo I + SP-L	370	434	67	3.7	112	0.042
C	Referencia (cemento Tipo II)	261	373	61	3.3	112	0.041
	Cemento tipo II + SP-M	370	485	70	3.8	112	0.037
	Cemento tipo II + SP-N	376	485	73	3.8	112	0.038
	Cemento tipo II + SP-L	357	485	74	3.7	112	0.039
D	Referencia (cemento tipo V)	195	328	51	3.3	112	0.040
	Cemento tipo V + SP-M	325	411	63	3.7	112	0.037
	Cemento tipo V + SP-N	336	428	58	3.6	112	0.039
	Cemento tipo V + SP-L	334	432	63	3.6	112	0.039

* Superplastificante

TABLA No. 5

ENSAYES DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO A CONCRETOS DE REFERENCIA Y SUPERPLASTIFICADOS - CEMENTO TIPO I

REV. No.	SUPERPLAS- TIFICANTE	NUMERO DE CICLOS AL CONCLUIR ENSA- YES DE CONGELA- MIENTO Y DESHIELO	MODULO DINAMICO		NUMERO DE CICLOS 60% E ₀	VELOCIDAD DE PULSO		FACTOR DE DURABILIDAD 300 CICLOS	CAMBIO EN PESO, %	CAMBIO DE LONGITUD, %
			E ₀	E _f		V ₀	V _f			
5-1*	-	82	38.9	33.8	88.7	4570	4420	-	-3.41	+0.0561
5-2	-	300	39.9	27.9	71.3	4570	4520	69.9	-3.90	+0.0442
6-1	SP-M	300	43.5	31.3	73.2	4730	4150	71.8	-2.13	+0.1642
6-2	SP-M	300	44.9	28.4	64.4	4730	4370	63.2	-2.44	+0.1404
PROMEDIO		300	44.2	29.9	68.8	4730	4260	67.5	-2.29	+0.1523
7-1	SP-N	245	43.9	24.7	57.2	4730	4370	47.4	-1.22	+0.1165
7-2	SP-N	227	43.6	23.8	55.5	4780	4020	43.0	-1.11	+0.2042
8-1	SP-L	300	42.6	28.3	67.9	4780	4230	66.6	-1.86	+0.1179
8-2	SP-L	300	43.1	22.5	53.2	4730	3870	57.0	-1.69	+0.1635
PROMEDIO		300	42.8	25.4	60.6	4760	4050	61.8	-1.78	+0.1407

* NOTA: Un aumento en la frecuencia resonante fundamental a los 116 ciclos fue causado al quebrarse un pedazo del extremo, por lo tanto, se retiró el espécimen del ensaye.

TABLA No. 6

ENSAJE DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO A CONCRETOS DE REFERENCIA Y SUPERPLASTIFICADOS - CEMENTO TIPO II

REV. No.	SUPERPLAS- TIFICANTE	NUMERO DE CICLOS AL CONCLUIR ENSA- YES DE CONGELA- MIENTO Y DESHIELO	MODULO DINAMICO		NUMERO DE CICLOS 60% E ₀	VELOCIDAD DE PULSO		FACTOR DE DURABILIDAD 300 CICLOS	CAMBIO EN PESO, %	CAMBIO DE LONGITUD, %
			E ₀	E _f		V ₀	V _f			
9-1	-	200	38.4	22.5	60.0	4620	4470	40.0	-3.40	+0.0540
9-2	-	300	37.2	24.1	64.7	4570	4370	64.7	-5.36	+0.0737
10-1	SP-M	300	42.3	36.6	86.5	4370	4620	86.5	-1.40	+0.0582
10-2	SP-M	300	43.4	35.3	81.2	4780	4420	81.2	-1.51	+0.0547
PROMEDIO		300	42.9	36.0	83.9	4760	4520	83.9	-1.46	+0.0565
11-1	SP-N	300	43.8	21.1	48.0	4780	3600	55.0	-1.60	+0.2632
11.2	SP-N	300	43.5	26.2	60.2	4780	4190	60.2	-1.27	+0.1284
PROMEDIO		300	43.7	23.7	54.1	4780	3900	57.6	-1.44	+0.1958
12-1	SP-L	300	42.1	27.2	64.4	4780	4520	64.4	-1.90	+0.0758
12-2	SP-L	300	43.4	24.9	57.4	4730	4420	57.8	-1.90	+0.0723
PROMEDIO		300	42.7	26.1	61.0	4760	4470	61.2	-1.90	+0.0741

TABLA No. 7

ENSAYE DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO A CONCRETOS DE REFERENCIA Y SUPERPLASTIFICADOS - CEMENTO TIPO V

REV. No.	SUPERPLASTIFICANTE	NUMERO DE CICLOS AL CONCLUIR ENSAYES DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO	MODULO DINAMICO $\text{kg/cm}^2 \times 10^4$		E_o , %	NUMERO DE CICLOS 60% E_o	VELOCIDAD DE PULSO		FACTOR DE DURABILIDAD 300 CICLOS	CAMBIO EN PESO, %	CAMBIO DE LONGITUD, %
			E_o	E_f			V_o	V_f			
13-1	-	283	37.4	21.1	56.4	257	4570	4420	51.4	-4.59	+0.0484
13-2	-	300	36.3	21.8	60.1	-	4570	4370	60.1	-5.10	+0.0646
14-3	SP-M	148	43.1	24.7	57.2	144	4780	4470	28.8	-0.17	+0.0870
14-4	SP-M	185	42.1	19.7	46.7	159	4780	4230	31.8	-0.67	+0.1411
15-1	SP-N	204	43.1	25.8	58.5	201	4780	4520	40.2	-0.44	+0.0877
15-2	SP-N	152	44.5	21.7	48.9	126	4840	4420	25.2	-0.22	+0.1165
16-1	SP-L	152	42.6	21.5	50.4	127	4780	4420	25.4	-0.06	+0.0856
16-2	SP-L	175	43.1	21.5	49.9	154	4780	4370	30.8	-0.50	+0.0940

TABLA No. 8

CARACTERISTICAS DE LAS BURBUJAS DE AIRE EN EL CONCRETO ENDURECIDO

REV. No.	SUPERPLASTIFICANTE	NOBRE	ml/kg de CEMENTO	NUMERO DE HUECOS	LONG. DE LA TRANSVERSAL mm	CONVENIO DE PASTA, %	BURBUJAS EN EL CONCRETO, %	SUPERFICIE ESPECIFICA		FACTOR DE ESPACIAMIENTO DE BURBUJAS ***	
								mm^{-1}	in^{-1}	mm^{-1}	in^{-1}
5-1	NINGUNO (CONTROL)		0.0	1734	2743	24.2	5.9	16.451	418	0.258	0.010
5-2	NINGUNO (CONTROL)		0.0	1717	2718	24.2	6.0	16.609	422	0.253	0.010
6-1	SP-M		23.6	1717	2718	21.6	6.5	7.839	199	0.489	0.019
6-2	SP-M		23.6	1717	2718	21.6	5.0	12.257	311	0.353	0.014
7-1	SP-N		9.1	1700	2692	21.6	5.8	9.174	233	0.440	0.017
7-2	SP-N		9.1	1734	2743	21.6	5.6	8.637	219	0.477	0.019
8-1	SP-L		25.6	1616	2565	21.6	5.3	13.661	347	0.308	0.012
8-2	SP-L		25.6	1717	2718	21.6	4.6	15.063	383	0.299	0.012
9-1	NINGUNO (CONTROL)		0.0	1717	2718	24.3	3.7	20.046	509	0.263	0.010
9-2	NINGUNO (CONTROL)		0.0	1734	2743	24.2	4.6	16.352	415	0.290	0.011
10-1	SP-M		22.0	1616	2565	21.6	4.5	9.958	253	0.459	0.018
10-2	SP-M		22.0	1616	2565	21.6	4.5	11.600	295	0.394	0.015
11-1	SP-N		7.5	1616	2565	21.8	4.7	10.559	268	0.424	0.017
11-2	SP-N		7.5	1717	2718	21.8	4.5	8.887	226	0.515	0.020
12-1	SP-L		22.4	1616	2565	21.8	4.3	13.891	353	0.337	0.013
12-2	SP-L		22.4	1632	2591	22.0	5.6	12.989	330	0.318	0.013

* Calculado a partir del proporcionamiento

** Limite mínimo de 23.600 mm^{-1} o 600 pulg^{-1}

*** Limite máximo de 0.200 mm o 0.008 pulg . (Norma CSA A23.1, 9.4.2)

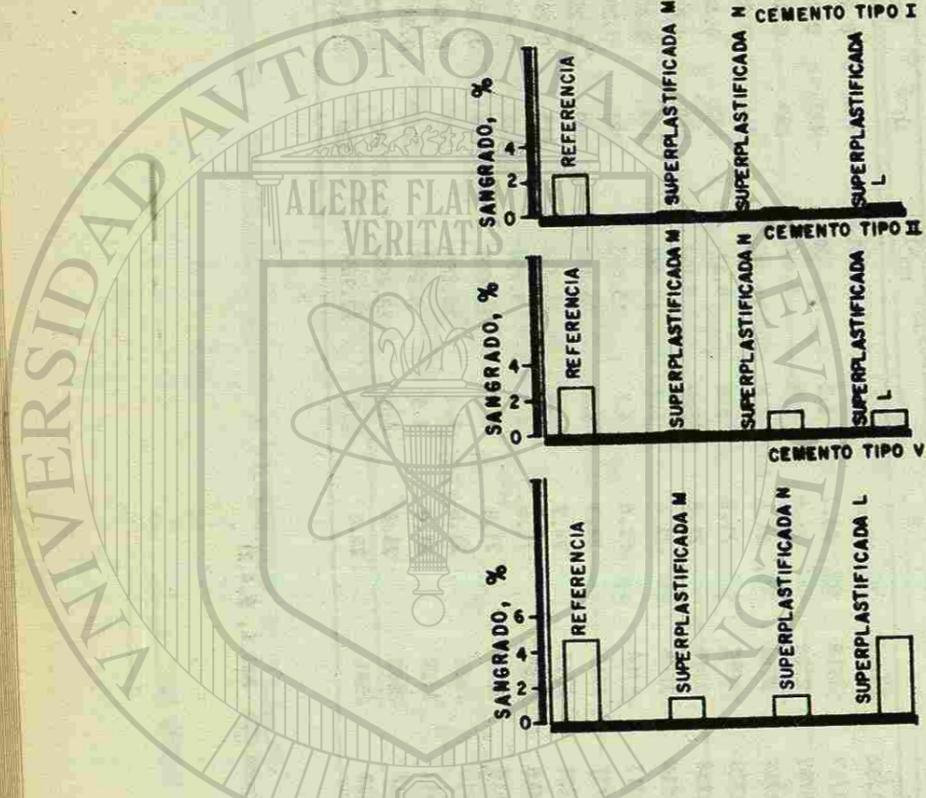


FIGURA 1. CARACTERÍSTICAS DE SANGRADO PARA CONCRETOS DE REFERENCIA Y SUPERPLASTIFICADOS.

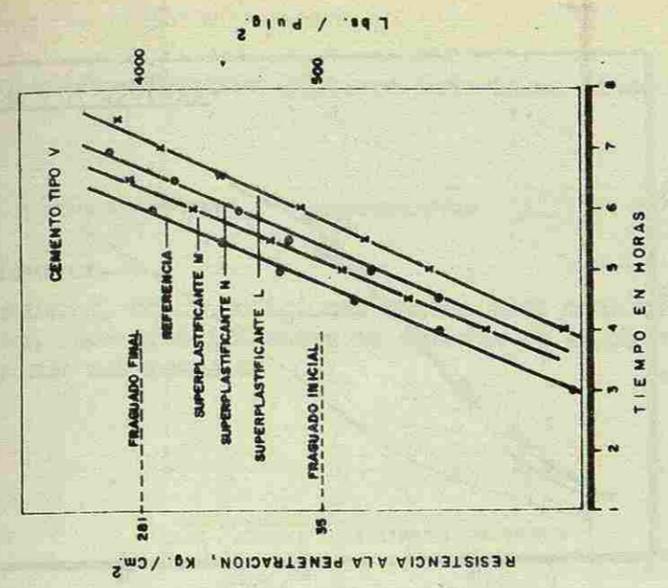
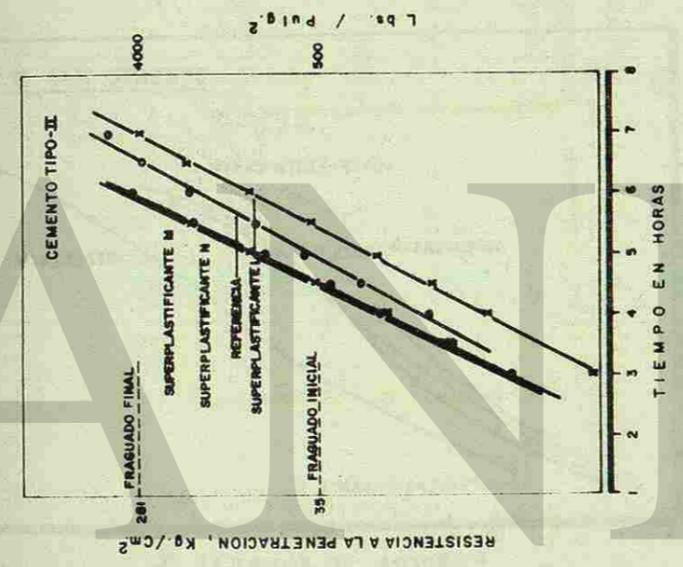
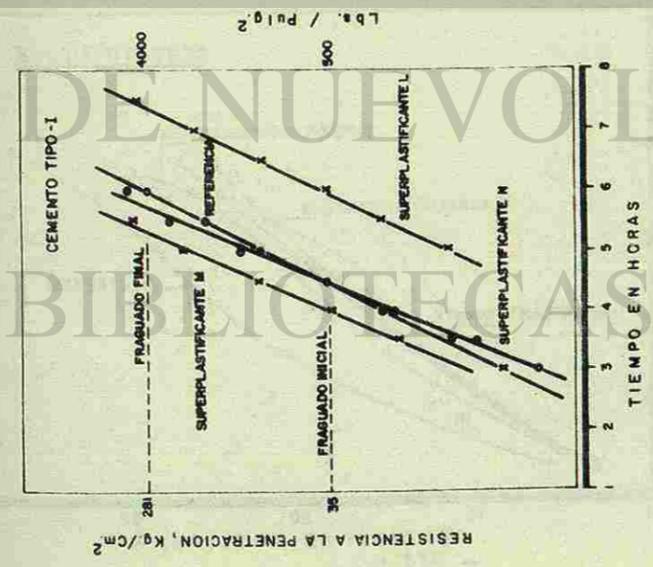
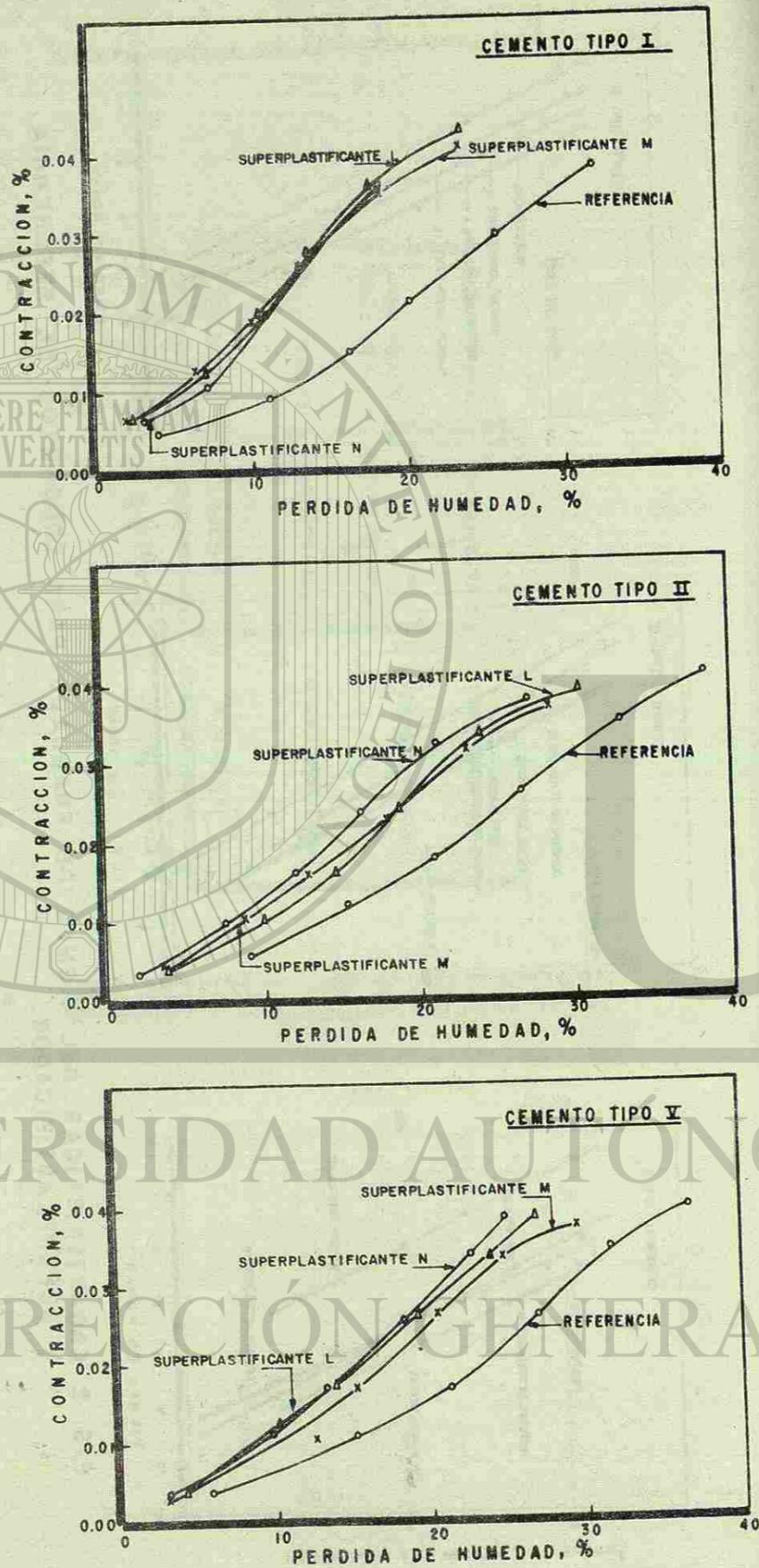


FIG. 2 CARACTERÍSTICAS DEL TIEMPO DE FRAGUADO PARA CONCRETOS DE REFERENCIA Y SUPERPLASTIFICADOS.

FIG. 3.- CONTRACCIÓN CONTRA PERDIDA DE HUMEDAD PARA CONCRETOS DE REFERENCIA Y SUPERPLASTIFICADOS.



agua. Sin embargo, bajo condiciones controladas como es en plantas de precolado o cuando los superplastificantes se agregan en la obra al concreto, el problema anterior puede ser resuelto.

1. Malhotra, V.M. "Superplasticizers in concrete"; Report MRP/MSL 77-213(J), CANMET, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa; 20 pp; August 1977.
2. Malhotra, V.M. and Malanka, D. "Performance of superplasticizers in concrete. Laboratory investigations - part 1"; CANMET Report 77-65, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa; 47 pp; August 1977.
3. Malhotra, V.M. "Performance of superplasticizers in high water to cement ratio concretes"; Report MRP/MSL 78-147 (OP & J), CANMET, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa; 33 pp; July 1978.
4. Malhotra, V.M. "Effect of repeated dosages of superplasticizers on workability, strength and durability of concrete"; Report MRP/MSL 78-40 (OP & J), CANMET, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa; 34 pp; February 1978.
5. Seabrook, P.T. and Malhotra, V.M. "Accelerated strength testing of superplasticized concrete and the effect of repeated doses of superplasticizers on properties of concrete", Proceedings International Symposium on "Superplasticizers in Concrete", Vol. 2, Ottawa, 1978, pp. 609-648; May 1978.
6. Johnston, C.D., Gamble, B.R. and Malhotra, V.M. "Superplasticizers - effects on properties of fresh and hardened concrete"; Paper for presentation at the TRB Meeting, Washington, D.C.; 1978.
7. Malhotra, V.M., Berry, E.E. and Wheat, T.A. (Editors). Proceedings International Symposium on "Superplasticizers in Concrete", Vol. 1 and 2, Ottawa, Canada, 801 pp; May 1978.

/mj

Dr. Alois Aignesberger*
J. Reichert

RESUMEN

APLICACION EN PLANTAS PRECOLADO

La película muestra las cuatro posibilidades principales para la aplicación del "superplastificante".

1.- MEJORAMIENTO EN LA CONSISTENCIA.

Por medio de la adición del superplastificante Melment L10, un concreto inicialmente de consistencia rígida (baja manejabilidad) se mejora a un concreto de consistencia fluida (alta manejabilidad). El concreto fluido se prepara agregando el superplastificante Melment L10 a un concreto inicialmente de consistencia plástica.

2.- INCREMENTO DE RESISTENCIA.

Con dosificaciones elevadas del superplastificante Melment L10, se puede reducir hasta un 30% del agua de mezclado sin cambiar la consistencia.

3.- MEJORAMIENTO EN LA CONSISTENCIA E INCREMENTO DE RESISTENCIA SIMULTANEAMENTE.

De acuerdo a la dosificación es posible obtener ambos efectos, el mejoramiento en la consistencia e incremento de la resistencia, al mismo tiempo.

4.- OPTIMIZACION DEL CEMENTO.

Con el uso del plastificante Melment, es posible optimizar el cemento en el concreto.

* Jefe del Departamento de Investigación y Aplicación Técnica de la SKW Trostberg Aktiengesellschaft.

1. Malhotra, V.M. "Superplasticizers in concrete"; Report MRP/MSL 77-213(J), CANMET, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa; 20 pp; August 1977.
2. Malhotra, V.M. and Malanka, D. "Performance of superplasticizers in concrete. Laboratory investigations - part 1"; CANMET Report 77-65, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa; 47 pp; August 1977.
3. Malhotra, V.M. "Performance of superplasticizers in high water to cement ratio concretes"; Report MRP/MSL 78-147 (OP & J), CANMET, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa; 33 pp; July 1978.
4. Malhotra, V.M. "Effect of repeated dosages of superplasticizers on workability, strength and durability of concrete"; Report MRP/MSL 78-40 (OP & J), CANMET, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa; 34 pp; February 1978.
5. Seabrook, P.T. and Malhotra, V.M. "Accelerated strength testing of superplasticized concrete and the effect of repeated doses of superplasticizers on properties of concrete", Proceedings International Symposium on "Superplasticizers in Concrete", Vol. 2, Ottawa, 1978, pp. 609-648; May 1978.
6. Johnston, C.D., Gamble, B.R. and Malhotra, V.M. "Superplasticizers - effects on properties of fresh and hardened concrete"; Paper for presentation at the TRB Meeting, Washington, D.C.; 1978.
7. Malhotra, V.M., Berry, E.E. and Wheat, T.A. (Editors). Proceedings International Symposium on "Superplasticizers in Concrete", Vol. 1 and 2, Ottawa, Canada, 801 pp; May 1978.

/mj

Dr. Alois Aignesberger*
J. Reichert

RESUMEN

APLICACION EN PLANTAS PRECOLADO

La película muestra las cuatro posibilidades principales para la aplicación del "superplastificante".

1.- MEJORAMIENTO EN LA CONSISTENCIA.

Por medio de la adición del superplastificante Melment L10, un concreto inicialmente de consistencia rígida (baja manejabilidad) se mejora a un concreto de consistencia fluida (alta manejabilidad). El concreto fluido se prepara agregando el superplastificante Melment L10 a un concreto inicialmente de consistencia plástica.

2.- INCREMENTO DE RESISTENCIA.

Con dosificaciones elevadas del superplastificante Melment L10, se puede reducir hasta un 30% del agua de mezclado sin cambiar la consistencia.

3.- MEJORAMIENTO EN LA CONSISTENCIA E INCREMENTO DE RESISTENCIA SIMULTANEAMENTE.

De acuerdo a la dosificación es posible obtener ambos efectos, el mejoramiento en la consistencia e incremento de la resistencia, al mismo tiempo.

4.- OPTIMIZACION DEL CEMENTO.

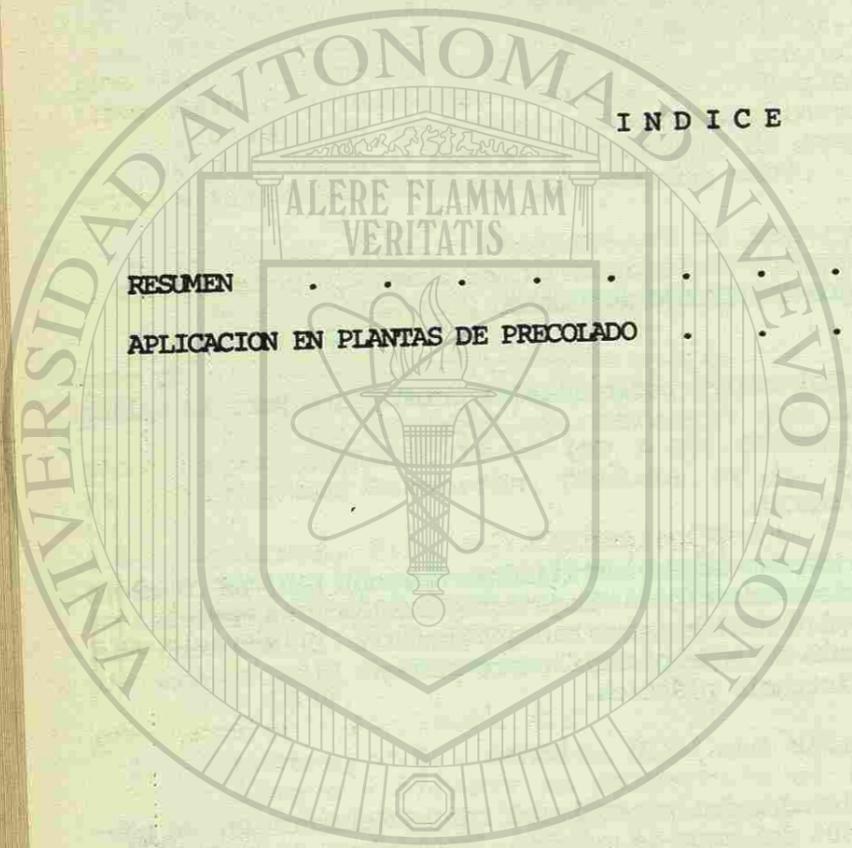
Con el uso del plastificante Melment, es posible optimizar el cemento en el concreto.

* Jefe del Departamento de Investigación y Aplicación Técnica de la SKW Trostberg Aktiengesellschaft.

INDICE

RESUMEN

APLICACION EN PLANTAS DE PRECOLADO



DIRECCIÓN GENERAL DE

APLICACION EN PLANTAS DE PRECOLADO.

La película ha mostrado las posibilidades en las cuales se puede aplicar el aditivo Melment en las plantas de precolado. En la primera transparencia se repiten las tres aplicaciones principales:

- 1.- Gran manejabilidad o consistencia "fluida" a relaciones agua/cemento constante.
- 2.- Grandes reducciones en el contenido de agua para consistencias - constantes.
- 3.- Manejabilidad mayor que la normal a relaciones agua/cemento menores que la normal.

En la segunda transparencia se muestra además de estas tres aplicaciones de Melment, una cuarta posibilidad del uso de Melment: Optimización del cemento.

Dependiendo de la dosificación de Melment, es posible reducir el contenido de cemento del concreto en 30-70 Kg/m³ mientras se mantiene constante la consistencia y la relación agua/cemento. Aún así, se aumentan considerablemente las resistencias a la compresión inicial y final.

Ahora me gustaría hablar acerca de algunos desarrollos recientes relacionados con los problemas de pérdida de revenimiento.

PERDIDA DE REVENIMIENTO.

La pérdida de revenimiento fue un tema muy frecuente en el "Simposio Internacional sobre Superplastificantes en el Concreto" realizado en Ottawa en 1978. Estos problemas son un tema bien conocido en Europa desde hace ya algunos años. Nosotros del Departamento de Investigación y Desarrollo de la Química Aplicada a la Construcción de SKW hemos trabajado intensamente sobre este tema y ahora podemos ofrecerles tres soluciones diferentes. Estas tres posibilidades para prolongar la duración del concreto "fluidizado" y para solucionar la pérdida de revenimiento son:

- 1.- Redosificaciones de Melment L10.
- 2.- Superplastificante Retardante Melcret 3.
- 3.- Superplastificante Granulado Melment FG2.

1.- Redosificación.

Estos experimentos fueron realizados con un concreto normal con 300 Kg/m³ de cemento tipo I. La temperatura del concreto fresco fue de aproximada--

Dr. Alois Aignesberger
J. Reichert

mente 20°C. Los cubos de ensaye con aristas de 20 cm. fueron almacenados a 20°C y 65% de humedad relativa.

En esta serie de experimentos había 3 aplicaciones principales de la redosificación que ahora discutiré:

1.- Producimos concreto "fluido" incorporando una dosificación de 1.5% de Melment L10 al concreto de consistencia suave. Tres redosificaciones que representan una cantidad total de 2.0% de Melment L10 mantuvieron el concreto a consistencia "fluida" durante 2 horas. En la figura 3 se muestra el cambio de revenimiento del concreto con redosificaciones de Melment L10 con el transcurso del tiempo.

2.- En otra serie de experimentos fuimos capaces de comprobar que los concretos en un proceso avanzado de fraguado recuperaban la manejabilidad inicial mediante la incorporación de Melment L10. Por ejemplo, después de 2 ó 4.5 horas un concreto fluido se regresaba a su consistencia inicial añadiendo 1.5% de Melment L10 ó 3% de Melment L10 respectivamente.

3.- Los resultados obtenidos en el laboratorio fueron confirmados mediante experimentos en la práctica. En un camión revolador fuimos capaces de mantener un concreto a consistencia fluida durante un período de más de 2 horas mediante la redosificación repetida de un total de 2.3% de Melment L10.

La resistencia a la compresión de los concretos fue medida a los 1 y 28 días. Los datos se muestran en la Tabla 1.

La redosificación de Melment L10 aumenta significativamente la resistencia a la compresión. Mediante la incorporación de 3% de Melment L10 hasta el concreto al que se le había dejado reposar durante 4.5 horas logró la resistencia a la compresión del concreto de referencia.

2.- Melcret 3.

Como han visto, la redosificación de Melment L10 da la oportunidad de mantener el concreto a una consistencia "fluida" durante un período de tiempo más prolongada. El objetivo del desarrollo del superplastificante Retardante Melcret 3 fue el de ser capaz de producir concretos "fluidos" (empezando con concretos de cualquier consistencia) mediante una sola dosificación y un solo mezclado con el aditivo. Así, el proceso de fraguado se retarda notablemente, lo cual es contrario al Melment L10.

Dependiendo de la dosificación de Melcret 3, es posible mantener el concreto a consistencia fluida hasta dos horas. La figura 4 muestra la pérdida de revenimiento con el tiempo. Como comparación también se muestra la pérdida de revenimiento para el concreto con Melment L10. Aquí la pérdida de revenimiento es notablemente más rápida para el Melment L10.

La adición de Melcret 3 no sólo retarda la pérdida de revenimiento,

sino que también retarda el fraguado y el desarrollo de la resistencia inicial. Sin embargo, antes de los 7 días la resistencia a la compresión es mayor que la correspondiente al concreto de referencia (Tabla 2).

Se realizaron experimentos adicionales con concreto fresco a una temperatura de 40°C. Se obtuvo un concreto con consistencia fluida mediante la incorporación de Melcret 3. El concreto con Melcret 3 mostró buena manejabilidad con una consistencia plástica aún después de 60 minutos. En la tabla 3 se muestran los datos de resistencia a la compresión para el concreto elaborado con una temperatura de 40°C.

En todos los experimentos se utilizó un concreto con 300 Kgs. de cemento tipo I por metro cúbico, similar a aquéllos utilizados para la redosificación de Melment L10. La temperatura del concreto fresco fue de 20 y 40°C. Se colaron cubos de ensaye de 20 x 20 x 20 cm. y se almacenaron a 20°C y 65% de humedad relativa.

3.- Melment FG.

Con el Melment FG hemos desarrollado una serie de productos que permiten al usuario mantener el concreto a una consistencia fluida durante un período de cerca de 2 horas. Contrario al Melcret 3, queríamos obtener altas resistencias iniciales con este Melment FG. Llevamos a cabo experimentos con concretos con 310 Kg/m³ de cemento tipo I. La temperatura del concreto fresco fue de cerca de 18°C. Se colaron cubos de ensaye de 20 cm. de arista y se almacenaron a 20°C y 65% de humedad relativa.

Una dosificación de 0.4% de Melment FG2 en peso de cemento fue suficiente para mantener el concreto a consistencia fluida durante un período de dos horas. La figura 5 muestra la variación del revenimiento dependiendo del tiempo transcurrido para concreto fluido con 0.4% de Melment FG2 y 0.4% de Melment F10.

Los datos de resistencia a la compresión se muestran en la tabla 4. Debe indicarse que con el Melment FG2 se obtienen resistencias a la compresión elevadas a las 24 horas.

En la adición de Melment FG2 a concreto fresco a 42°C de temperatura es posible producir concreto a consistencia fluida durante 1 hora. En este caso utilizamos 350 kg/m³ de cemento tipo V.

También hemos realizado experimentos con concreto premezclado y Melment FG, y se confirman los resultados obtenidos en el laboratorio.

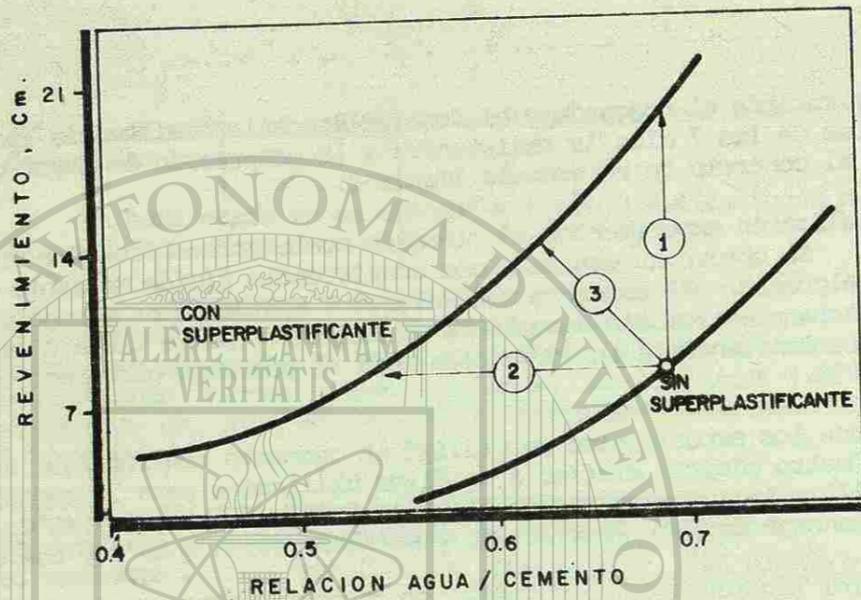


FIG. 1 POSIBILIDADES DEL USO DE SUPERPLASTIFICANTES.

FIG. No. 2

AUMENTO EN LA MANEJABILIDAD Y EN LA RESISTENCIA.

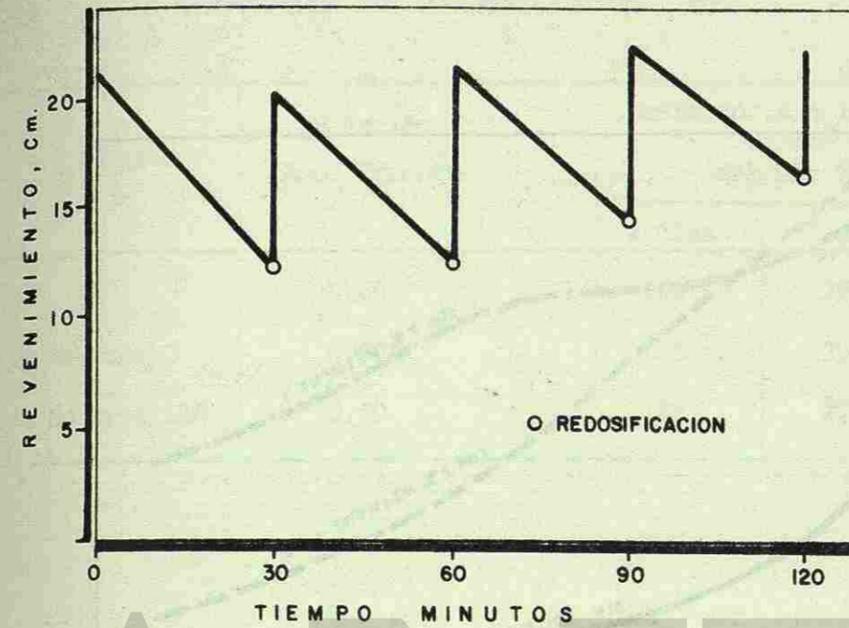
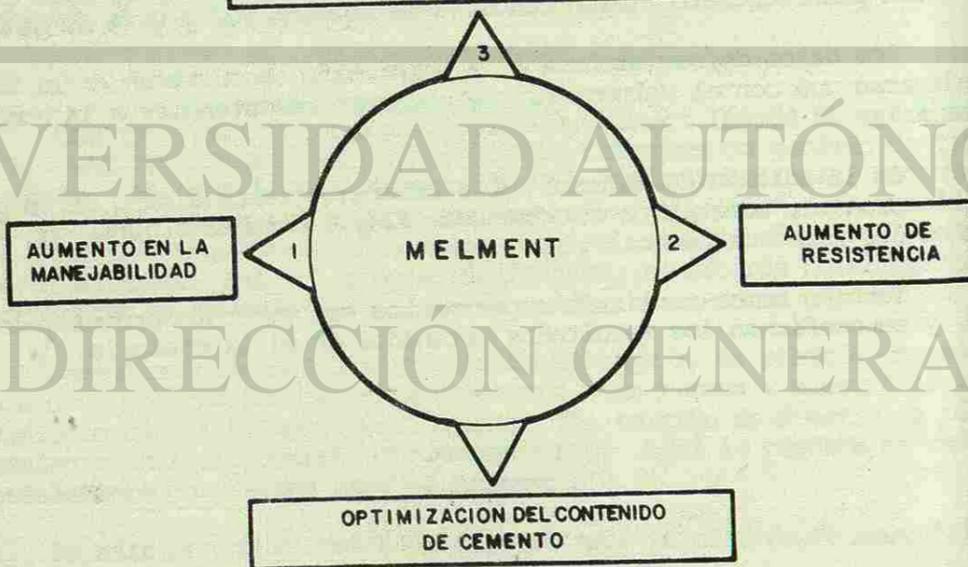


FIG. 3 REDOSIFICACION DE MELMENT L-10

TABLA No. 1

RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO CON REDOSIFICACION DE MELMENT L-10.

Dosificación de Melment L10 % Inmediatamente después de la preparación del concreto.	Redosificación.	Relación agua/cemento -- después de la redosificación.	Edad del concreto fresco hasta cuando fueron colados los cubos de ensaye. minutos	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²) después	
				1 día	28 días
0	0	0,57	0	80	335
1,5	2,4	0,60	120	132	423
1,8	3*)	0,57	270	105	337

* Una sola dosificación después de estar 4.5 horas en reposo.

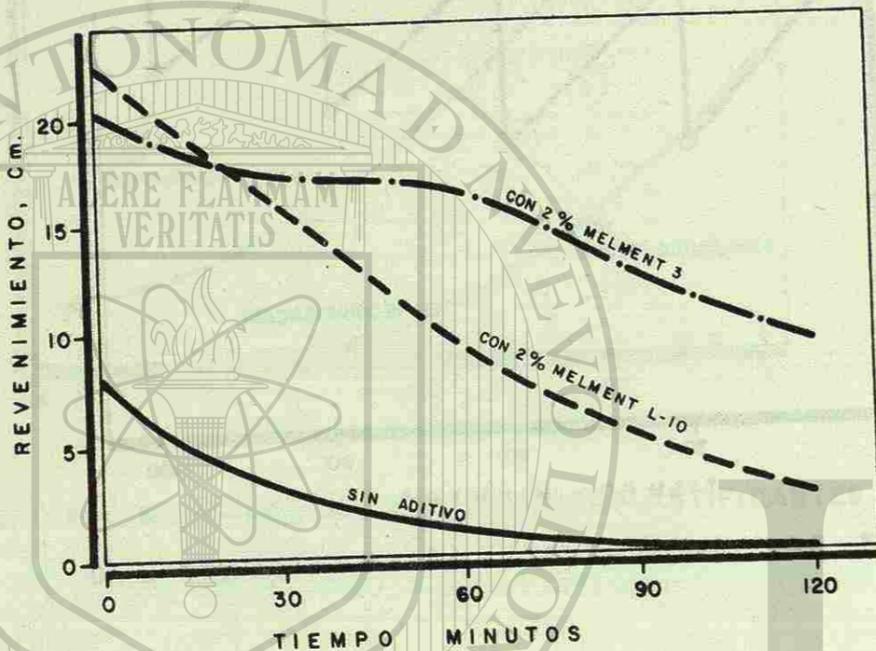


FIG. 4 PERDIDA DE REVENIMIENTO CON Y SIN LA INCORPORACION DE MELMENT L-10 Y MELMENT 3.

TABLA No. 2

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CONCRETO CON MELCRET 3 O MELMENT L10.
TEMPERATURA DEL CONCRETO FRESCO: 20°C.

Aditivo	Rel. Agua/Cemento	Resistencia a la compresión Kg/cm ² después de		
		2 días	7 días	28 días
0	0,60	150	256	311
20% de Melcret 3	0,60	111	282	335
2% de Melment L10	0,60	188	287	348

TABLA No. 3

RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO CON MELCRET 3 O MELMENT L10
TEMPERATURA DEL CONCRETO FRESCO: 40°C

Aditivo	Relación Agua/Cemento	Resistencia a la compresión Kg/cm ² después de		
		2 días	7 días	28 días
0	0,60	160	265	320
2% de Melcret 3	0,60	98	302	347
2% de Melment L10	0,60	188	272	348

TABLA No. 4

RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO CON MELMENT FG 2 O MELMENT F10

Aditivo	Relación Agua/Cemento	Resistencia a la compresión Kg/cm ² después de		
		1 día	2 días	28 días
0	0.55	92	183	352
0.4% de Melment FG2	0.55	110	217	440
0.4% de Melment F10	0.55	90	191	370

Dr. Alois Aignesberger
J. Reichert

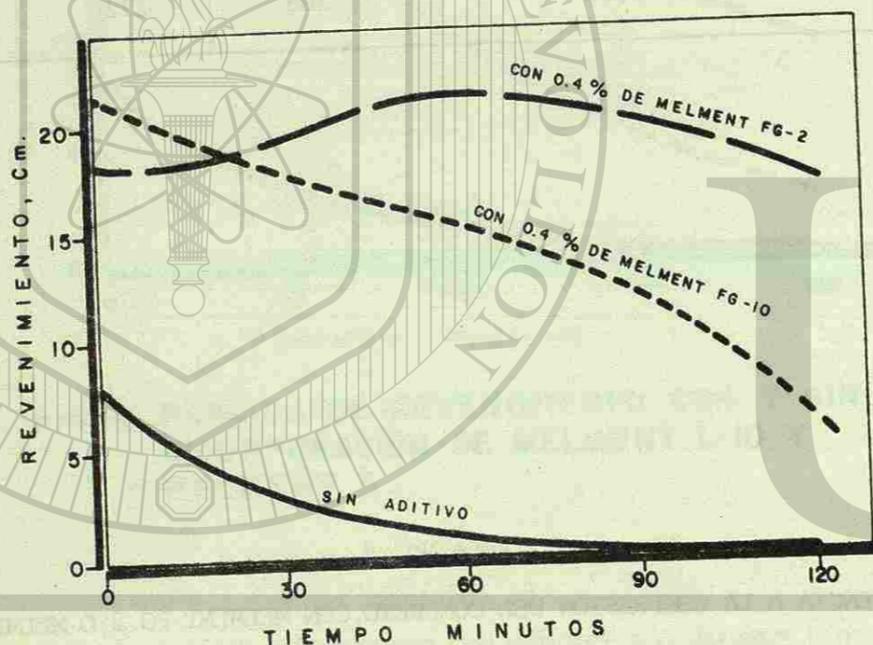


FIG. 5 PERDIDA DE REVENIMIENTO CON O SIN LA ADICION DE MELMENT F-10 Y MELMENT FG-2.

EFFECTOS DEL USO DE CONDENSADOS DE MELAMINA-FORMALDEHIDO SULFONATADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO.
Un resumen de la investigación en Norteamérica.

V. M. Malhotra*

RESUMEN

Los condensados de melamina formaldehído sulfonatado son un tipo nuevo de aditivos, los cuales pueden ser utilizados ya sea como reductores de agua o pueden ser incorporados al concreto para producir lo que se conoce como "concreto fluidizado". Estos fueron introducidos en Norteamérica en 1976 y desde entonces un número de laboratorios dedicados a la investigación han estado desarrollando datos de laboratorio con respecto al efecto que estos aditivos tienen sobre las propiedades del concreto fresco y el endurecido. Este trabajo resume estas investigaciones. Las propiedades del concreto fresco que se resumen incluyen el sangrado y la segregación, aumentos en el revenimiento y su pérdida subsecuente con el tiempo, tiempo del fraguado inicial del concreto, contenido de aire incluido, el efecto de dosificación repetida y los requisitos de vibrado. Las propiedades del concreto endurecido incluyen la resistencia acelerada, propiedades mecánicas y elásticas, la durabilidad al congelamiento y deshielo, y la resistencia a la sal. El resumen indica que estos aditivos han abierto una era nueva en la tecnología del concreto y que ya están siendo utilizados en la industria del concreto precolado. Sin embargo, antes de que su uso se extienda a la industria del concreto premezclado, se deben resolver los problemas asociados con la pérdida de revenimiento. La resistencia al congelamiento y deshielo para el concreto al que se le ha incorporado estos aditivos parece satisfactoria, aunque se han reportado algunas excepciones.

* Jefe de la Sección de Materiales de Construcción, CANMET, Departamento de Energía, Minas y Recursos, Ottawa, Canadá.

Dr. Alois Aignesberger
J. Reichert

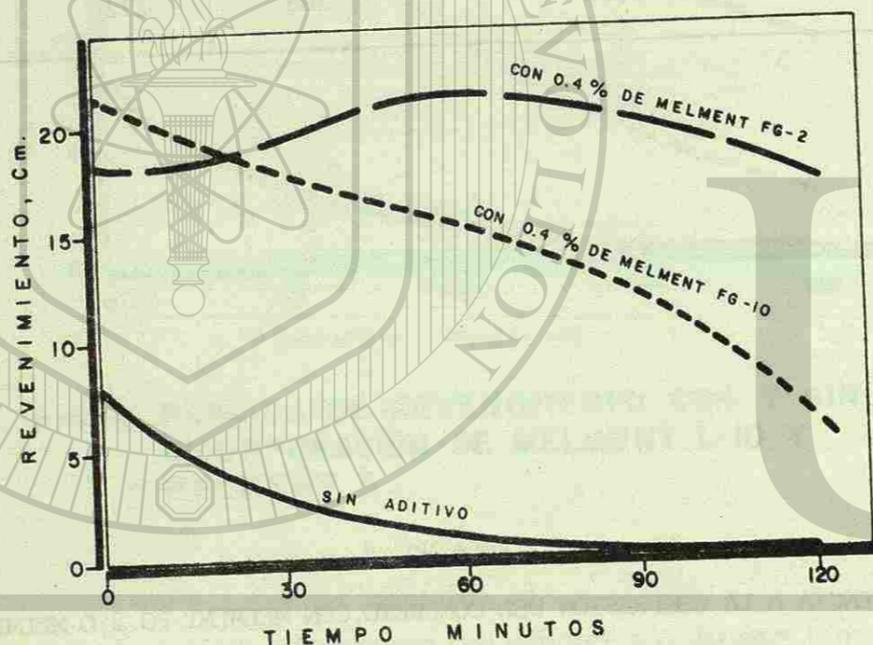


FIG. 5 PERDIDA DE REVENIMIENTO CON O SIN LA ADICION DE MELMENT F-10 Y MELMENT FG-2.

EFFECTOS DEL USO DE CONDENSADOS DE MELAMINA-FORMALDEHIDO SULFONATADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO.
Un resumen de la investigación en Norteamérica.

V. M. Malhotra*

RESUMEN

Los condensados de melamina formaldehído sulfonatado son un tipo nuevo de aditivos, los cuales pueden ser utilizados ya sea como reductores de agua o pueden ser incorporados al concreto para producir lo que se conoce como "concreto fluidizado". Estos fueron introducidos en Norteamérica en 1976 y desde entonces un número de laboratorios dedicados a la investigación han estado desarrollando datos de laboratorio con respecto al efecto que estos aditivos tienen sobre las propiedades del concreto fresco y el endurecido. Este trabajo resume estas investigaciones. Las propiedades del concreto fresco que se resumen incluyen el sangrado y la segregación, aumentos en el revenimiento y su pérdida subsecuente con el tiempo, tiempo del fraguado inicial del concreto, contenido de aire incluido, el efecto de dosificación repetida y los requisitos de vibrado. Las propiedades del concreto endurecido incluyen la resistencia acelerada, propiedades mecánicas y elásticas, la durabilidad al congelamiento y deshielo, y la resistencia a la sal. El resumen indica que estos aditivos han abierto una era nueva en la tecnología del concreto y que ya están siendo utilizados en la industria del concreto precolado. Sin embargo, antes de que su uso se extienda a la industria del concreto premezclado, se deben resolver los problemas asociados con la pérdida de revenimiento. La resistencia al congelamiento y deshielo para el concreto al que se le ha incorporado estos aditivos parece satisfactoria, aunque se han reportado algunas excepciones.

* Jefe de la Sección de Materiales de Construcción, CANMET, Departamento de Energía, Minas y Recursos, Ottawa, Canadá.

EFFECTOS DEL USO DE CONDENSADOS DE MELAMINA-FORMALDEHIDO SULFONATADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO.

I N D I C E

RESUMEN.	131
INTRODUCCION.	133
EFFECTO DEL CONDENSADO DE MELAMINA-FORMALDEHIDO SULFONATADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO .	133
EFFECTO DEL CONDENSADO DE MELAMINA-FORMALDEHIDO SULFONATADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO .	135
OBSERVACIONES FINALES .	136

EFFECTOS DEL USO DE CONDENSADOS DE MELAMINA.

INTRODUCCION.

El uso de aditivos superplastificantes es relativamente nuevo en Norteamérica. Sin embargo, desde que se introdujeron, un número de laboratorios de investigación tanto en Canadá como en Estados Unidos, han estado desarrollando información sobre las propiedades del concreto al cual se le ha incorporado estos aditivos nuevos (1-16). Se ha puesto énfasis especial sobre la investigación de la durabilidad al congelamiento y deshielo del concreto superplastificado. Estos aditivos nuevos están encontrando cada vez mayor aceptación en la industria del concreto precolado, pero los productores de concreto premezclado han sido lentos al aceptarlos debido a la pérdida de revenimiento y al aumento en el costo. Este trabajo presenta información de Norteamérica sobre las propiedades del concreto fresco y endurecido superplastificado con Melment Lio, un condensado de melamina-formaldehído sulfonatado.

EFFECTO DEL CONDENSADO DE MELAMINA-FORMALDEHIDO SULFONATADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

Un número de investigadores, tanto en Canadá y en los Estados Unidos, han investigado los efectos del superplastificante Melment Lio sobre las propiedades del concreto fresco. Alguna de la información más importante se presenta a continuación:

Aumento en el Revenimiento y su Pérdida con el Tiempo.

Los concretos superplastificados exhiben grandes aumentos en el revenimiento, confirmando los datos publicados en Alemania. De las figuras 1 al 3 se presentan algunos de los datos para concretos que tienen relaciones baja y elevada de agua/cemento, y elaborados con diferentes tipos de cementos. La pérdida de revenimiento con el tiempo es una desventaja seria y se necesita investigación en este aspecto para encontrar una solución a este problema.

Segregación y Sangrado del Concreto Fresco.

No hay segregación ni sangrado imprevista en concreto elaborado con superplastificante a la dosificación recomendada. En la figura 4 se presentan datos sobre el sangrado. Se pueden requerir precauciones adicionales y si los concretos superplastificados han de ser colados utilizando bandas transportadoras, las cuales pueden causar la segregación de concretos "fluidizados".

Tiempo de Fraguado del Concreto Fresco.

Un número de investigadores han reportado acerca del efecto que tienen los superplastificantes sobre el tiempo de fraguado del concreto fresco. La figura 5 presenta los resultados de estudios de tiempo de fraguado para concretos superplastificados elaborados con diferentes tipos de cementos.

Contenido de Aire en el Concreto Fresco.

Un gran porcentaje del concreto en Norteamérica tiene aire incluido y se han realizado un número de estudios por varios investigadores para determinar el efecto del uso de Melment Lio sobre el contenido de aire en el concreto fresco. Se ha reportado que a relaciones bajas de agua/cemento, el añadir Melment Lio no afecta notablemente el porcentaje de aire incluido. Sin embargo, a relaciones elevadas de agua/cemento hay una disminución notable en el contenido de aire incluido en el concreto fresco. Las razones no han sido explicadas pero quizá sea el resultado del menor contenido de pasta de cemento. Además, el contenido de aire en el concreto fresco es a veces inestable, y es importante tomar un número de determinaciones del contenido de aire para llegar a un valor satisfactorio. En algunos casos puede ser necesario aumentar el contenido inicial del aire en el concreto para así contrarrestar la pérdida subsecuente. Las tablas 1 y 2 presentan algunos datos sobre este tema.

Efecto de la Dosificación Repetida de Melment Lio.

Cuando se agrega Melment Lio al concreto fresco, este causa aumentos grandes en el revenimiento. Sin embargo, este aumento en revenimiento no es sostenido sobre períodos largos, y dentro de 60 minutos aproximadamente se regresa a su valor original. Puede que sea necesario al aplicar el superplastificante en el campo el añadir dosificaciones adicionales para mantener el aumento en el revenimiento. Los estudios que tratan con la dosificación repetida indican que mediante una dosificación adicional se pueden mantener durante varias horas los grandes incrementos en el revenimiento de concretos superplastificados. Una tercera dosificación se considera indeseable (Fig. 6 y 7).

Requisitos de Vibrado para el Concreto Fresco.

Los estudios canadienses muestran que cuando se agrega Melment Lio al concreto a la dosificación recomendada por el fabricante, la resistencia a la compresión a los 28 días de cilindros de ensaye colados con el concreto superplastificado son iguales a o mayores que las resistencias correspondientes a cilindros colados con la revoltura de referencia. (7-9). Esto es cierto para cilindros colados con y sin compactación mediante vibrado, implicando que concretos de alta resistencia a los que se les han añadido superplastificante se puedan usar en cimbras sin la necesidad de compactación mecánica, lo cual resulta en ahorros considerables de tiempo y dinero. En la figura 8 y 9 se presentan datos de resistencia a la compresión para cilindros de ensaye colados con y sin vibrado.

Dosificación de Melment Lio para Concretos Elaborados con Cemento Portland de Escoria de Alto Horno.

Estudios recientes en Canadá han mostrado que concretos elaborados con cemento Portland de escoria de alto horno requieren cerca de 10% menos superplastificante que concretos de referencia con cemento Portland para obtener la misma manejabilidad (16). Esta reducción quizá se deba a la textura superficial diferente de las partículas de escoria de alto horno granulada.

Cemento con Contenido Elevado de Alumina.

Las pocas investigaciones CANMET, Canadá, han indicado que la adición de Melment Lio a concreto elaborado con cemento con contenido elevado de alumina no resulta en un aumento en el revenimiento (17). Sin embargo, a mayores dosificaciones sí hay un aumento en el revenimiento, pero el concreto no "fluye". Además, el aumento en el revenimiento desaparece en menos de 5 minutos. Se requiere de más investigación en esta área.

EFFECTO DEL CONDENSADO DE MELAMINA-FORMALDEHIDO SULFONATADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO.

Se han acumulado considerable cantidad de datos en Norteamérica acerca de los efectos de Melment Lio sobre las propiedades del concreto endurecido para ser utilizado tanto colado en el lugar como precolado. Debido a las condiciones climáticas severas en Canadá y en el norte de los Estados Unidos, se le ha puesto mucha atención al comportamiento del concreto superplastificado bajo condiciones de congelamiento y deshielo. Los resultados de algunos estudios importantes se presentan a continuación.

Ensayes de Resistencia Acelerada.

Se han reportado varios estudios que tratan con el efecto de Melment Lio sobre la resistencia acelerada del concreto (4, 15, 16). Se ha mostrado que su incorporación al concreto no afecta la relación entre resistencia a la compresión acelerada y resistencia a los 28 días (Fig. 10). El ensaye del hervido modificado fue el ensaye de resistencia acelerada utilizada en los estudios referidos arriba.

Propiedades Mecánicas del Concreto.

Se ha mostrado que se pueden lograr reducciones de agua hasta cerca del 20% en la elaboración de concreto cuando se incorpora Melment Lio como aditivo reductor de agua. El aumento en las propiedades mecánicas del concreto, por ejemplo la resistencia a la compresión y a la flexión, y en el módulo de elasticidad, generalmente están relacionadas con las reducciones en las relaciones agua/cemento. La habilidad para reducir la cantidad de agua y lograr grandes resistencias es de importancia especial para la industria del concreto precolado donde se requieren altas resistencias iniciales para mayor aprovechamiento de las cimbras. Las tablas 3 y 4 presentan datos de resistencia a la compresión para concretos fluidizados y concretos a los que se les ha reducido la cantidad de agua (1, 7, 9).

Determinación de las Burbujas de Aire y de la Durabilidad al Congelamiento y Deshielo de Concreto Endurecido.

Es bien conocido que para una durabilidad satisfactoria del concreto -

la pasta de cemento debe ser protegida con burbujas de aire, logradas mediante la adición de un aditivo inclusor de aire. La protección adecuada requiere que el factor de espaciamento no exceda de 0.20 mm. El factor de espaciamento es un índice relacionado a la distancia máxima de cualquier punto en la pasta de cemento desde la periferia de una burbuja de aire. Las investigaciones desarrolladas por laboratorios de investigación importantes en Norteamérica han indicado que en concretos con Melment Lio el valor anterior generalmente es excedido (1, 7, 8, 11, 12, 13). Sin embargo, a pesar de que se excede el factor de espaciamento, generalmente no se afecta la durabilidad al congelamiento y deshielo del concreto cuando es ensayado de acuerdo con la norma ASTM C666, procedimiento A (Tablas 5-10). Se han reportado algunas excepciones (1, 11). En una investigación en Canadá, el concreto con Melment Lio y elaborado con cemento tipo V se comportó pobremente en un ensaye de congelamiento y deshielo; en otra investigación en los Estados Unidos, el concreto con Melment Lio y elaborado con cemento tipo I no cumplió con los requisitos ASTM para congelamiento y deshielo. Parece que las limitaciones del factor de espaciamento de burbujas estipulado para concreto con aire incluido puede o puede que no sean válidas para concretos con Melment Lio. Se necesita investigación para delinear como pueden ser correlacionados estos parámetros con el comportamiento del concreto bajo ciclos de congelamiento y deshielo.

Contracción y Flujo Plástico del Concreto.

Los datos sobre contracción y flujo plástico del concreto con Melment L10 son limitados. Los datos disponibles indican que la contracción en prismas de ensaye es igual o menor que la contracción en prismas de referencia. Generalmente la contracción de los prismas es muy por abajo del 135% según ASTM C494.

El concreto con cemento Portland tipo I y con Melment L10 exhibe esencialmente el mismo flujo plástico que el concreto de referencia (1).

En las tablas 11 y 12 se muestran algunos datos de contracción y flujo plástico.

Resistencia al Descascamiento debido a Sol.

Los datos limitados disponibles acerca de la resistencia al descascamiento debido a sol, indican que el comportamiento de losas de concreto con Melment L10 es comparable al de las losas de referencia. La pérdida máxima en el peso de 0.05 grs/cm² mostrada en la Fig. 11 está muy por abajo del límite máximo permitido de 0.08 grs/cm² (13).

OBSERVACIONES FINALES.

Generalmente la industria del concreto en Norteamérica es muy conservadora y es lenta en aceptar conceptos e ideas nuevas, especialmente si se han desarrollado en otros lugares. Los condensados de melamina-formaldehído sulfonado fueron desarrollados en Alemania y sólo recientemente han sido introducidos

Norteamérica. Lentamente están encontrando aceptación en la industria del premezclado y eventualmente las investigaciones en varios laboratorios principales en Norteamérica resultarán en su aceptación por parte de la industria del concreto premezclado.

Generalmente las investigaciones desarrolladas en Norteamérica confirman los resultados publicados en Alemania. Debido a que muchas de las especificaciones en Norteamérica generalmente desaniman la adición, en el sitio de la obra, de aditivos a concretos premezclados, se indica que el problema de pérdida de revenimiento debe ser resuelto si los aditivos superplastificantes han de ser aceptados por la industria del concreto premezclado.

El problema de la durabilidad al congelamiento y deshielo del concreto al que se le ha incorporado superplastificante no es tan serio como se pensó alguna vez, aunque se requiere investigación para desarrollar nuevos límites para los parámetros de espaciamento de las burbujas de aire. La compatibilidad entre diferentes tipos de cementos y superplastificantes es otra área que requiere investigación.

Ha habido muy pocos desarrollos importantes en la tecnología del concreto en años recientes. El concepto de aire incluido en 1940 era de: esto ha revolucionado la tecnología del concreto en Norteamérica. Se cree que el desarrollo de los superplastificantes es otro descubrimiento importante, el cual tendrá un efecto muy significativo sobre la producción y uso del concreto en los años por venir.

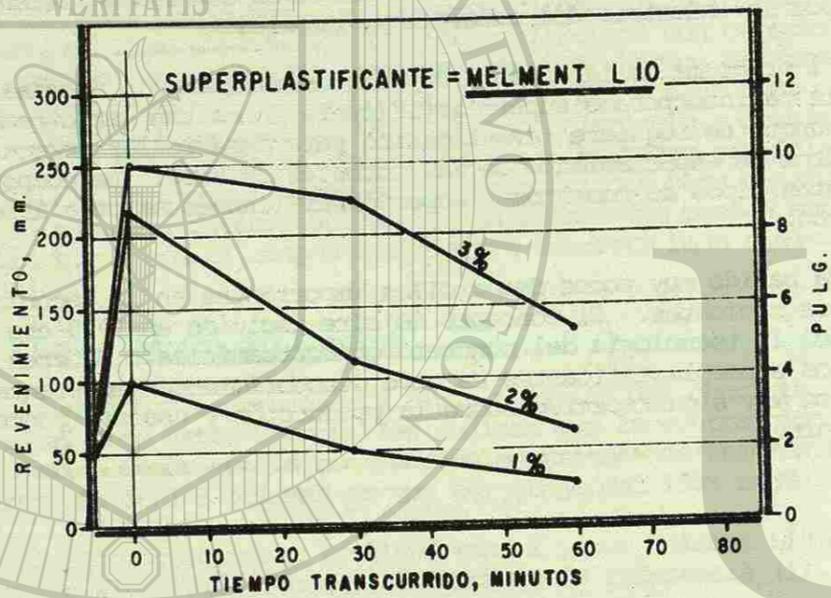


FIG. 1.- PERDIDA DE REVENIMIENTO CON EL TIEMPO
RELACION A/C. = 0.42
DE LA REFERENCIA (7).

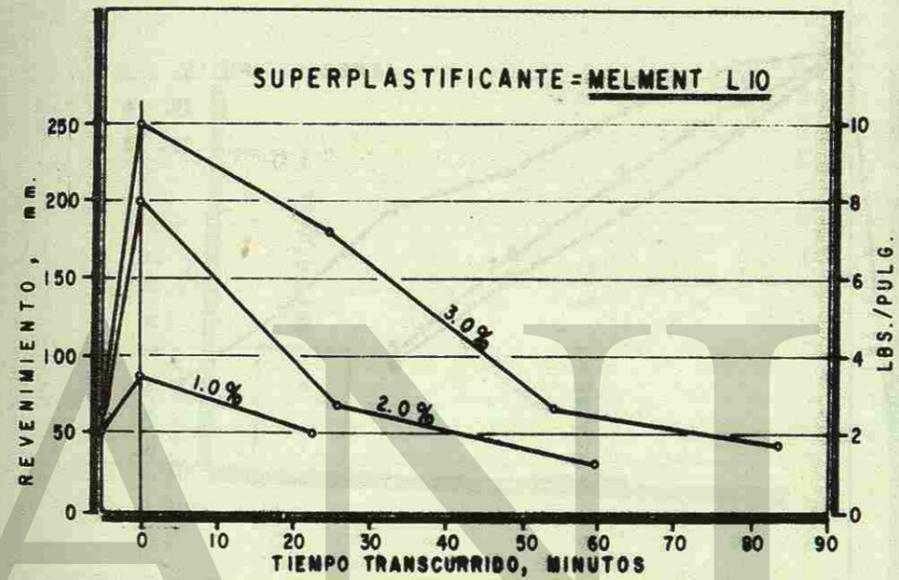


FIG. 2.- PERDIDA DE REVENIMIENTO CON EL TIEMPO
RELACION A/C. = 0.65.
DE LA REFERENCIA (9).

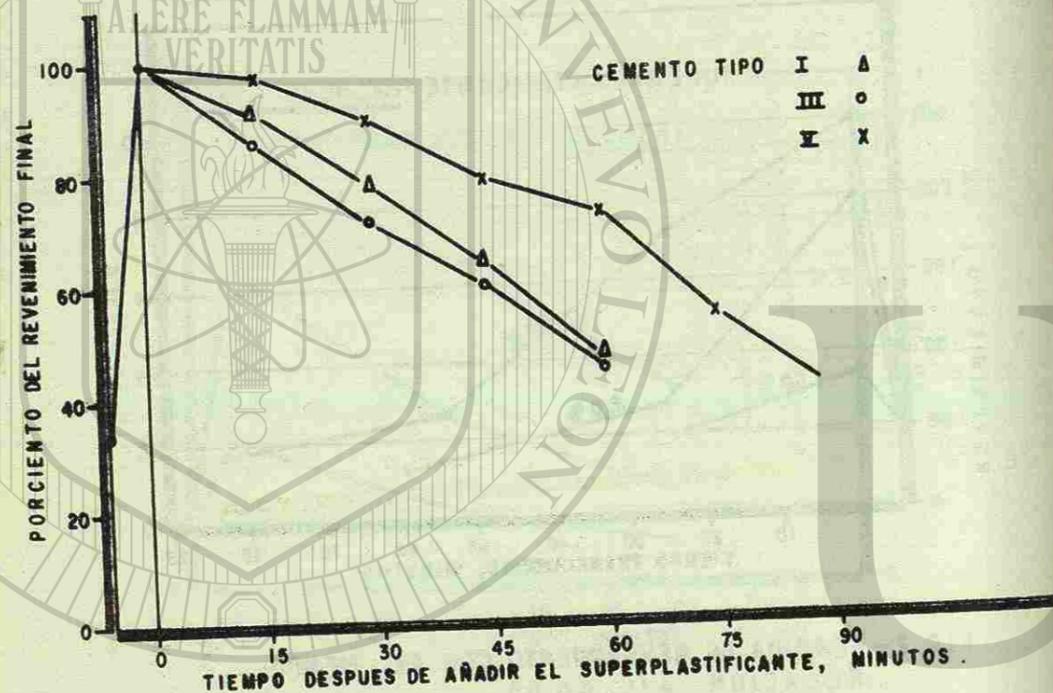


FIG. 3.- EFECTO DEL TIPO DE CEMENTO SOBRE LA PERDIDA DE REVENIMIENTO. DE LA REFERENCIA (6).

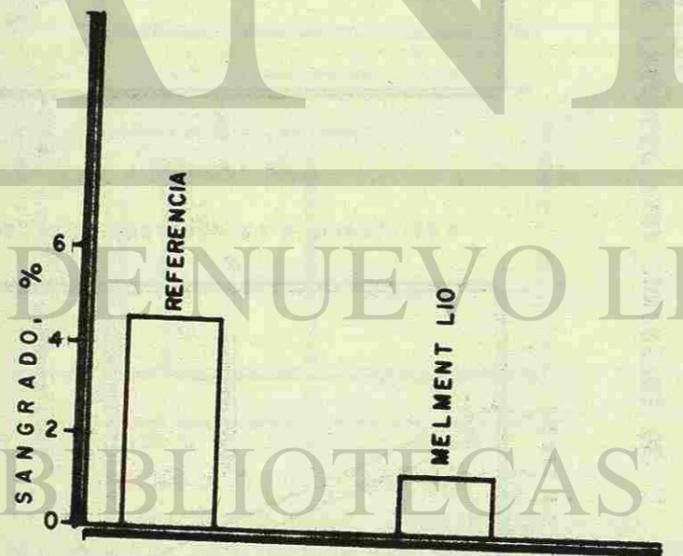
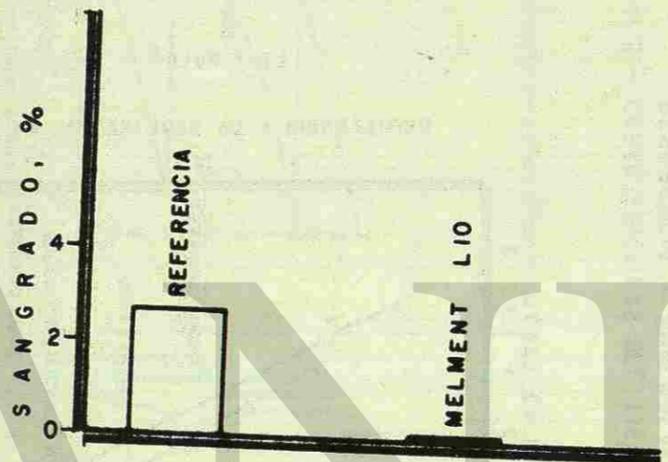
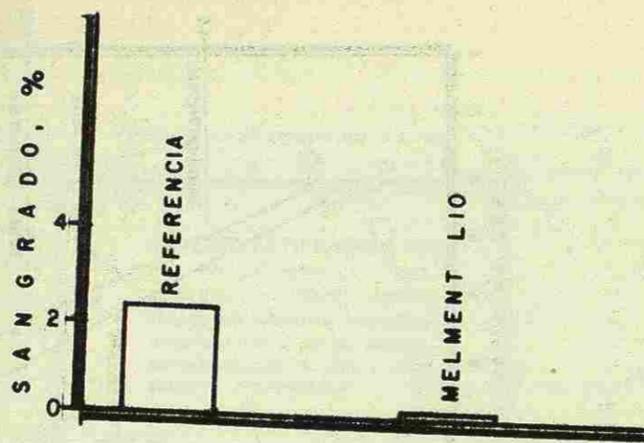
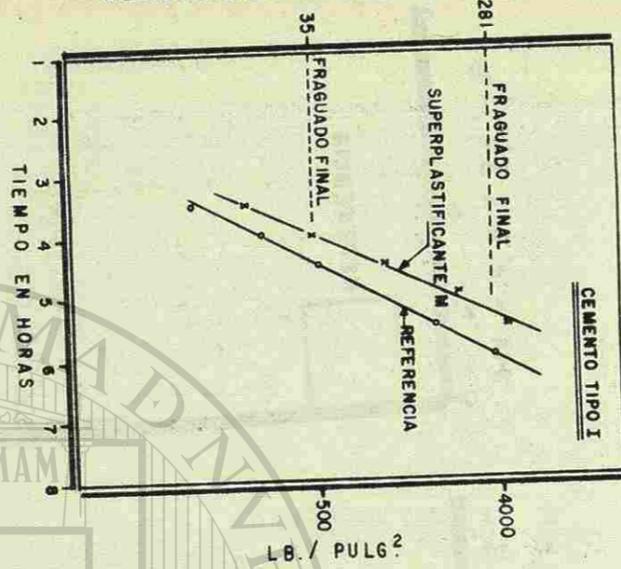
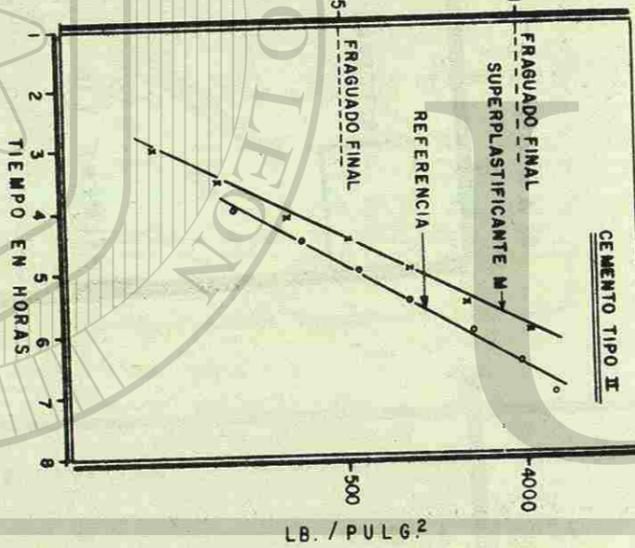


FIG. 4.- CARACTERISTICAS DE SANGRADO PARA LOS CONCRETOS DE REFERENCIA Y SUPERPLASTIFICADOS. DE LA REFERENCIA (1)

RESISTENCIA A LA PENETRACION, Kg./cm²



RESISTENCIA A LA PENETRACION, Kg./cm²



RESISTENCIA A LA PENETRACION, Kg./cm²

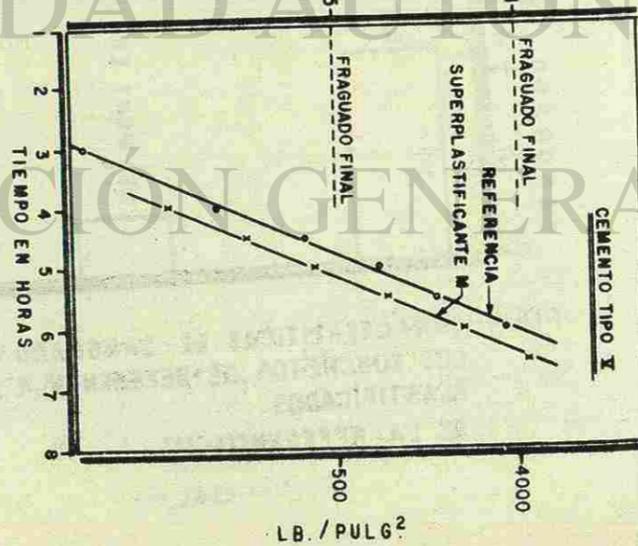


FIGURA 5.- CARACTERISTICAS DEL TIEMPO DE FRAGUADO PARA CONCRETOS DE REFERENCIA Y SUPERPLASTIFICANTES.

TIEMPO TRANSCURRIDO, HORAS

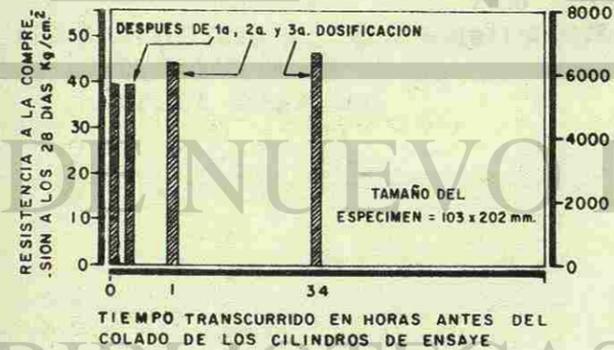
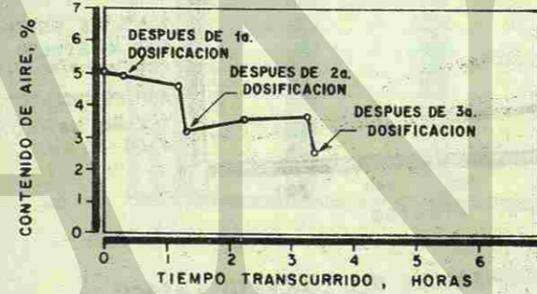
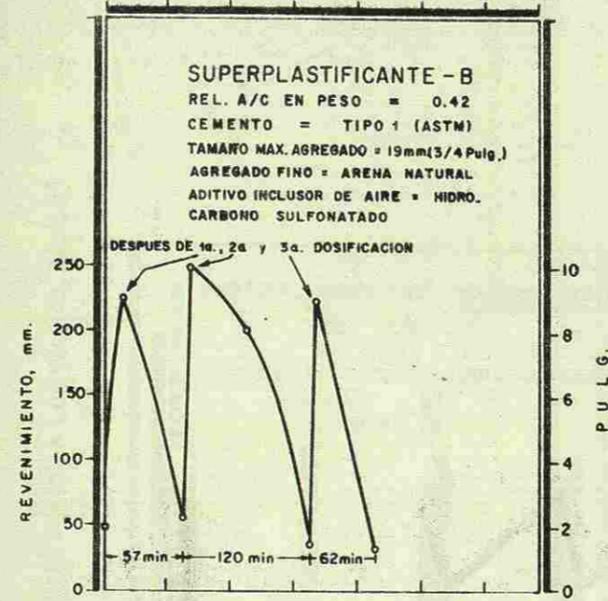


FIG. 6 TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE EL MEZCLADO INICIAL CONTRA REVENIMIENTO, CONTENIDO DE AIRE Y RESISTENCIA A LA COMPRESION. EL SUPERPLASTIFICANTE B SE REFIERE A MELMENT L10. DE LA REFERENCIA (8).

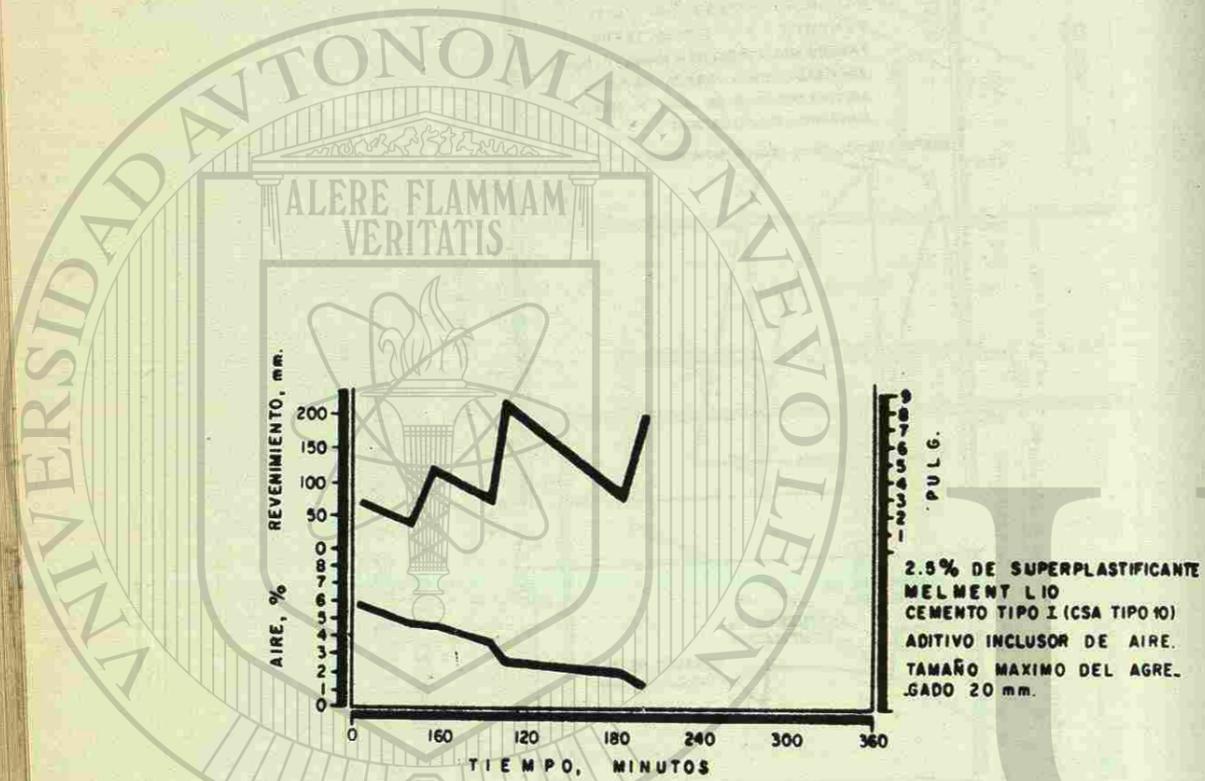


FIG. 7 CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO.
RELACION A/C = 0.55
DE LA REFERENCIA (16)

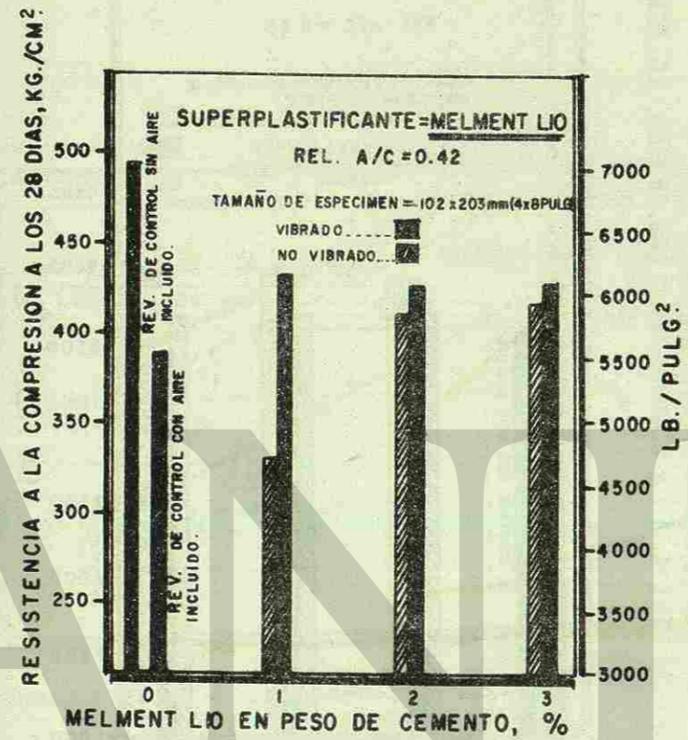


FIG. 8 - RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE ENSAYE A LOS 28 DIAS - REL. A/C. = 0.42 DE LA REFERENCIA (7).

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

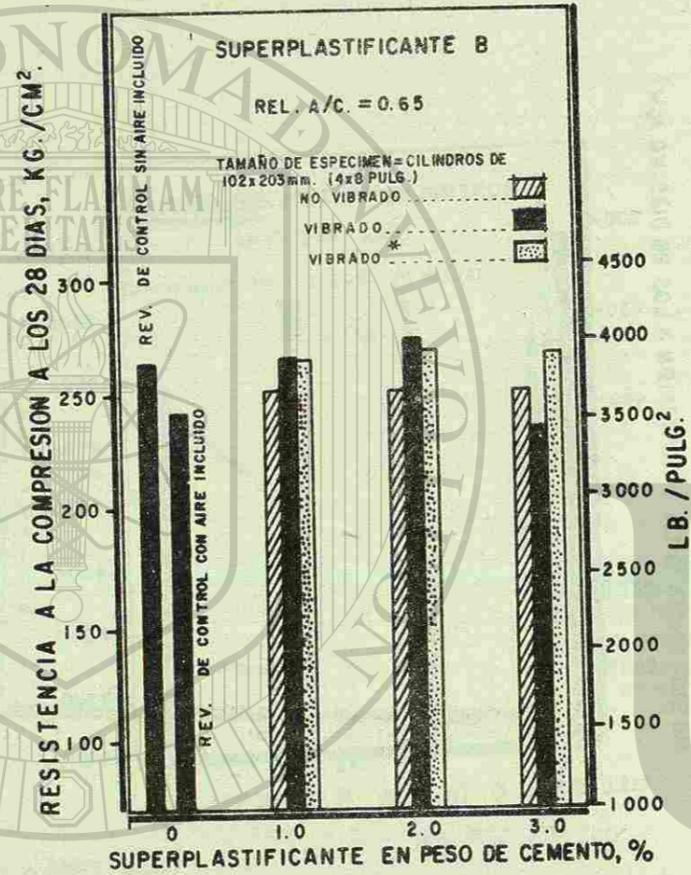


FIG. 9.-RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE ENSAYE A LOS 28 DIAS -REL. A/C=0.65. EL SUPERPLASTIFICANTE B SE REFIERE A MELMENT LIO DE LA REFERENCIA (9)

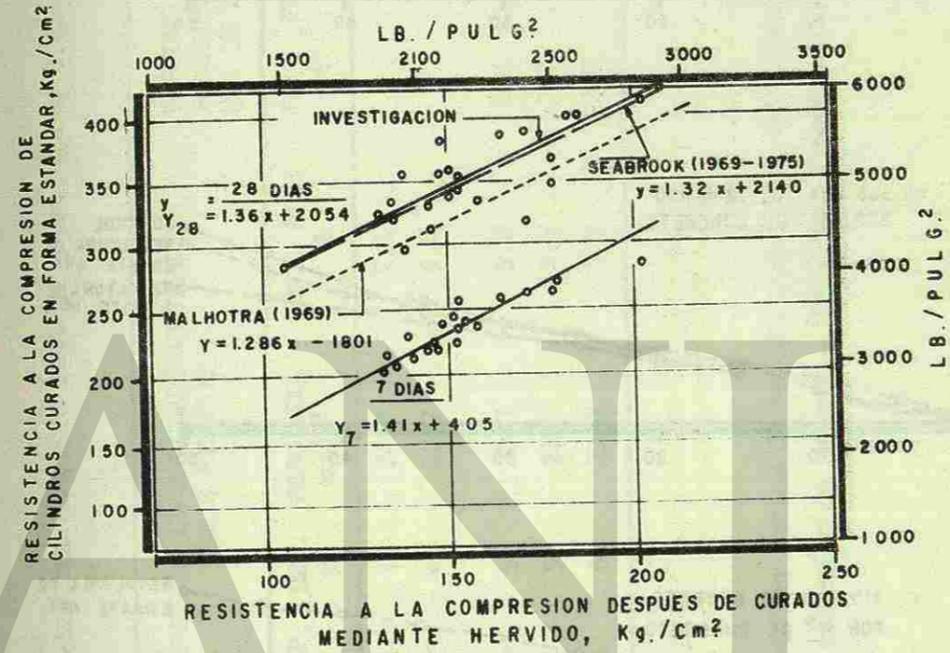


FIG. 10.-RELACION ENTRE RESISTENCIA A LA COMPRESION ACELERADA Y RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 7 Y 28 DIAS PARA CONCRETO SUPERPLASTIFICADO. DE LA REFERENCIA (16).

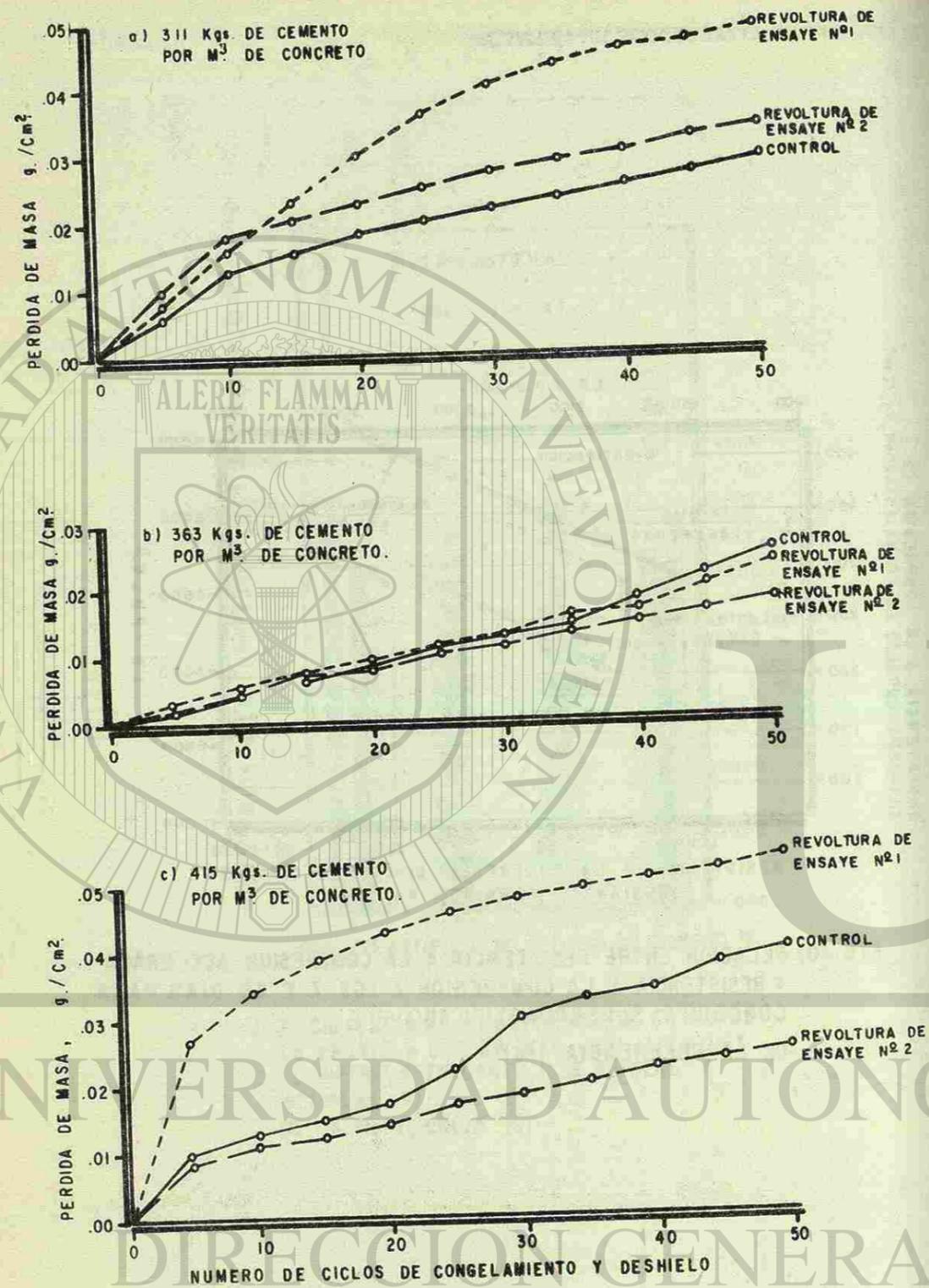


FIG. II.-RESULTADOS DE ENSAYES AL SOMETER LOS ESPECIMENES AL RIEGO DE SAL. DE LA REFERENCIA (13).

EFFECTOS DEL USO DE CONDENSADOS DE MELAMINA

TABLA No. 1

PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO* - REL. A/C = 0.42

REVOLUTURA No.	TIPO DE SUPER-PLASTIFICANTE Y DOSIFICACION EN % EN PESO DE CEMENTO.	DESPUES DE UN MEZCLADO INICIAL DE SEIS MINUTOS			DESPUES DE ANADIR EL SUPER PLASTIFICANTE Y DOS MINUTOS MAS DE MEZCLADO.			
		TEMP. °C	REV. mm	PESO VOL. kg/m ³	CONT. AIRE %	REV. mm	PESO VOL. kg/m ³	CONT. AIRE %
1	Control sin AIA**	20	45	2417	2.1	-	-	-
2	Control con AIA	22	45	2347	4.8	-	-	-
3	Melment LIO-1%	19	50	2347	5.2	100	2347	5.2
4	Melment LIO-2%	19	50	2347	5.5	230	2347	5.2
5	Melment LI-03%	21	50	2347	5.0	260	2347	4.8

* De la referencia (7)

** Aditivo inductor de aire

N OTA: El proporcionamiento para las series de arriba fué: Rel. Agua/Cemento 0.42; Rel. Agregado /Cemento = 4.77 y contenido de cemento .379 k/m³, tamaño máximo del agregado fué - de 19 mm.

TABLA No. 2

PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO * - REL. A/C = 0.65

SERIE REVOLUTURA No.	TIPO DE SUPERPLASTIFICANTE Y DOSIFICACION EN % EN PESO DE CEMENTO.	DESPUES DE UN MEZCLADO INICIAL DE SEIS MINUTOS			DESPUES DE ANADIR EL SUPERPLASTIFICANTE Y DOS MINUTOS MAS DE MEZCLADO			
		TEMP. °C	REV. mm	PESO VOL. kg/tp	CONT. AIRE %	REV. mm	PESO VOL. kg/m ³	CONT. AIRE %
A 1	Control sin AIA**	23	50	2371	2.8	-	-	-
2	Control con AIA	21	50	2333	5.0	-	-	-
B 6	Superplastificante B***	21	50	2340	5.0	90	2345	4.5
7	1%	21	50	2310	5.0	210	2377	3.5
8	3%	21	50	2340	4.6	250	2365	3.5

* De la referencia (9)

** Aditivo inductor de aire

*** El proporcionamiento para las series de arriba fué: Rel. Agua/cemento (en peso) = 0.65, Rel. Agregado/Cemento = 7.76 y contenido de cemento = 246 kg/m³, tamaño máximo del agregado fué de 19 mm.

TABLA No. 3

RESUMEN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO A LOS 7 Y 28 DIAS, REL. A/C = 0.42

REVOLUTURA No.	TIPO DE SUPERPLASTIFICANTE Y DOSIFICACION EN POR-CIENTO EN PESO DE CEMENTO.	REL. A/C (EN PESO)	RESISTENCIA A LA COMPRESION DESPUES DE 7 DIAS, kg/cm ²		RESISTENCIA A LA COMPRESION DESPUES DE 28 DIAS.	
			NO VIBRADO k/cm ²	VIBRADO kg/cm ²	NO VIBRADO k/cm ²	VIBRADO kg/cm ²
1	Control sin AIA +	0.42	400	495	-	495
2	Control con AIA	0.42	332	390	-	390
3	Melment L10 -1%	0.42	-	432	329	432
4	Melment L10 -2%	0.42	-	427	410	427
5	Melment L10 -3%	0.42	-	428	416	428

* De la referencia (7)

** Cada resultado es el promedio de ensaye de tres cilindros.

+ Aditivo inductor de aire

NOTA : Para el proporcionamiento ver Tabla 1

RESUMEN DE LAS RESISTENCIAS A LA COMPRESION DEL CONCRETO A LOS 7 Y A LOS 28 DIAS* REL. A/C = 0.65

REVOLUTURA No.	TIPO DE SUPERPLASTIFICANTE EN % EN PESO DE CEMENTO.	RESISTENCIA A LA COMPRESION** PARA LOS CILINDROS DE 102 X 203 mm					
		7 DIAS		28 DIAS		CILINDROS (VIBRADOS) .*** kg/cm ²	
		CILINDROS (VIBRADOS), kg/cm ²	CILINDROS (NO VIBRADOS), kg/cm ²	CILINDROS (VIBRADOS), kg/cm ²	CILINDROS (NO VIBRADOS), kg/cm ²		
1	Control sin AIA +	--	--	271	--	--	
2	Control con AIA	196	--	249	--	--	
3	Melment L10-1%	--	259	274	273	277	
4	Melment L10-2%	--	260	284	277	276	
5	Melment L10-3%	--	560	243	276	276	

* De la referencia (9)

** La resistencia a la compresión para la revolutura de control

*** Estos cilindros fueron colados después de que el revenimiento se había regresado al valor original.

+ Aditivo inclusor de aire.

NOTA: Referir a la tabla 2 para el proporcionamiento.

TABLA No. 5

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYE DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO PARA CONCRETOS CON SUPERPLASTIFICANTE A LA DOSIFICACION RECOMENDADA - REL. A/C = 0.42

TIPO DE SUPERPLASTIFICANTE Y DOSIFICACION EN % EN PESO DE CONCRETO.	RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYES A CONGELAMIENTO Y DESHIELO										
	A CERO CICLOS					AL COMPLETAR 700 CICLOS					
	PESO kg.	LONGITUD** (mm)	FRECUENCIA RESONANTE LONGITUDINAL Hz	VELOCIDAD DE PULSO ULTRASON. m/seg.	VELOCIDAD DE PULSO ULTRASON. m/seg.	PESO LONG. kg	LONGITUD mm	FRECUENCIA RESONANTE LONGITUDINAL Hz	VELOCIDAD DE PULSO ULTRASON. m/seg.	VELOCIDAD DE PULSO ULTRASON. m/seg.	COMENTARIOS
Control	8.52	3.25	5130	4,653	4,653	9.51	3.22	5200	4,653	4,653	Prismas en condición excelente
Melment L10-2%	8.53	3.70	5200	4,667	4,667	8.52	3.65	5210	4,732	4,732	Prismas en condición excelente

* De la referencia (7)

** Longitud calibrada = 345 mm (13.6 pulg.)

NOTA: Referir la tabla 1 para el proporcionamiento.

TABLA No. 6

RESUMEN DE LA DETERMINACION DE LAS BURBUJAS DE AIRE EN EL CONCRETO ENDURECIDO * - REL. A/C = 0.42

REVOLUTURA No.	TIPO DE SUPERPLASTIFICANTE Y DOSIFICACION EN %, EN PESO DE CEMENTO.	NUMERO DE BURBUJAS	LONG. DE LA TRANSV., mm	CONTENIDO DE PASTA** EN EL CONCRETO, %	SUPERFICIE ESPECIFICA -mm ⁻¹	FACTOR DE ESPACIAMIENTO DE BURBUJAS, mm
1	Control sin AIA**	--	--	--	--	--
2	Control con AIA	1600	2540	27.9	138	0.15
3	Melment L10 - 1%	1600	2540	27.9	100	0.18
4	Melment L10 - 2%	1600	2540	27.7	85	0.25
5	Melment L10 - 3%	1600	2540	27.7	141	0.15

* De la referencia (7)

** Aditivo incluser de aire

*** Calculado a partir del proporcionamiento

NOTA: Referir a la tabla 1 para el proporcionamiento.
Referir a la tabla 5 para los datos de congelamiento y deshielo.

TABLA No. 7

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYE DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO PARA CONCRETOS CON SUPERPLASTIFICANTE A LA DOSIFICACION RECOMENDADA* - REL. A/C = 0.65

TIPO DE SUPERPLASTIFICANTE Y DOSIFICACION EN %, EN PESO DE CEMENTO.	RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYE DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO.				COMENTARIOS				
	AL INICIAR EL ENSAYE	AL COMPLETAR 300 CIL.							
	PESO, kg	FRECUENCIA RESONANTE DE PULSO LONG., Hz	VELOCIDAD DE PULSO ULTRASON, m/seg.	PESO LONG. mm	FRECUENCIA RESONANTE DE PULSO LONG., Hz	VELOCIDAD DE PULSO ULTRASON, m/seg.			
Control sin AIA**	8.75	3.48	4950	4661	--	--	Los prismas se desintegraron completamente al completar 45 ciclos.		
Control con AIA	8.46	3.06	4960	4520	8.48	3.49	4880	4467	Los prismas se desintegraron completamente al completar 45 ciclos.
Superplastificante B+ - 2%	8.63	3.67	5030	4530	8.66	2.53	4990	4488	Los prismas se desintegraron completamente al completar 45 ciclos.

* De la referencia (9)

** Aditivo incluser de aire

+ Melment L10

NOTA: Referir a la tabla 2 para el proporcionamiento.

TABLA No. 8

RESUMEN DE LA DETERMINACION DE LAS BURBUJAS DE AIRE EN EL CONCRETO ENDURECIDO* - REL. A/C = 0.65

TIPO DE SUPERPLASTIFICANTE EN %, EN PESO DE CEMENTO.	CONTENIDO DE PASTA **, %	BURBUJAS EN EL CONCRETO %	FACTOR DE ESPACIAMIENTO DE BURBUJAS mm
Control sin AIA***	27.9	2.2	1.27
Control con AIA	24.0	6.5	0.25
Superplastificante			
B-1%	24.0	5.2	0.25
B-2%	24.0	4.9	0.36
B-3%	24.0	3.6	0.43

* De la referencia (9)

** Calculado a partir del proporcionamiento

*** Aditivo incluser de aire

NOTA: Referir a la tabla 2 para el proporcionamiento.

Referir a la tabla 7 para los datos del ensaye de congelamiento y deshielo.

TABLA No. 9

EFEECTO DE LOS ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES A BASE DE RELACION SOBRE LA RESISTENCIA AL CONGELAMIENTO Y DESHIELO DEL CONCRETO CON AIRE INCLUIDO*

SERIE No.	DOSIFICACION DEL ADITIVO - POR CADA 100 kg DE CEMENTO		CEMENTO TIPO I kg/m ³	AGUA INC. kg/m ³	AIRE REV. INC. kg/m ³	SISTEMA DE BURBUJAS DE AIRE ***		FACTOR DE DURA BILIDAD ****			
	SUPERPLASTIFICANTE A BASE DE ME-LAMINA; ml	ME-LAMINA; kg				A, %	L, cm ⁻¹	FD	FDR		
A	4564 ml	60.6	308	118	5.5	64	4.45	142	323	90	99
	0.0667 kg	57.4	309	138	5.4	57	5.13	185	241	91	100
B	4564 ml	75.0	306	121	8.1	118	6.41	176	193	91	101
	0.0667 kg	69.1	306	148	7.7	197	7.40	210	157	90	100

* Adoptado de la referencia (12)

** Aditivo incluser de aire

*** Método modificado de conteo de burbujas (ASTM C-457)

**** ASTM C-666, procedimiento A

TABLA 10

ENSAYE DE DURABILIDAD AL CONGELAMIENTO Y DESHIELO PARA PRISMAS DE CONCRETO*

REVOLUTURA No.	FACTOR DE DURABILIDAD**, % CONTROL CON SUPERELASTIFICANTE	FACTOR DE DURABILIDAD**, % CONTROL CON SUPERELASTIFICANTE	FACTOR DE DURABILIDAD**, % CONTROL CON SUPERELASTIFICANTE
1	94.4	92.7	98

* Adoptado de la referencia (5)

** Todos los especímenes superplastificados aguantaron 300 ciclos de congelamiento y deshielo en agua de acuerdo con el procedimiento de la Norma ASTM C-666.

NOTA: El proporcionamiento para la revolutura de control fué:

- cenento = 127 kg/m³
- ceniza = 104 kg/m³
- agua = 109 kg/m³
- ag.fino = 601 kg/m³
- ag.grueso= 832 kg/m³ (1.9mm)

En la revolutura de control se utilizó un aditivo reductor de agua convencional con una dosificación de 2.7 cc/kg. de cemento mas medio de ceniza. Se utilizo un aditivo inclusor de aire tanto en las revoluturas de control como en las revoluturas con superplastificant.

TABLA 11

PROPORCIONAMIENTO Y PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO* REVOLUTURAS SERIES B, C Y D

SERIE	REVOLUTURA No.	CEMENTO TIPO ASTM	PROPORCIONAMIENTO, kg/m ³			REL. A/C** %	AIRE INCL. %	REV. mm	DENSIDAD kg/m. ³	MEJLMENT ml/kg. de cemento		
			CEMENTO	AG.FINO	AG.GRUESO						AGUA	
B	5	I	298	818	1084	147	0.49	5.2	75	2348	--	0.31
	6	I	303	834	1105	120	0.40	5.6	80	2362	23.6	1.18
C	9	II	299	820	1087	147	0.49	4.9	85	2354	--	0.31
	10	II	303	834	1105	120	0.40	5.6	90	2362	22.0	1.02
D	13	V	299	821	1088	144	0.48	5.4	90	2352	--	0.24
	14	V	304	836	1107	117	0.38	5.4	75	2364	22.0	1.34

* De la referencia (1)

** Relación agua/cemento en peso

*** Aditivo inclusor de aire

TABLA 11.B

SERIE	TIPO DE CONCRETO	RESISTENCIA A LA COMP. (f'c) kg/cm ²		RESISTENCIA A LA FLEXION kg/cm ²	MODULO DE ELAST. X10 ³ kg/cm ²	MEDICIONES DE CONTRACCION	
		DIAS DE ALMACENAMIENTO EN SECO				DIAS DE ALMACENAMIENTO EN SECO	CONTRACCION PERDIDA DE HUMEDAD %
		7 DIAS	28 DIAS				
B	Referencia (cemento Tipo I)	273	334	62	3.3	112	0.037
	Cemento Tipo I + Melment	380	448	71	3.8	112	0.040
C	Referencia (cemento Tipo II)	261	373	61	3.3	112	0.041
	Cemento Tipo II + Melment	370	485	70	3.8	112	0.037
D	Referencia (cemento Tipo V)	195	328	51	3.3	112	0.040
	Cemento Tipo V + Melment	325	411	63	3.7	112	0.037

* De la referencia (1)

NOTA: Preferir a la tabla 11A para los proporcionamientos

TABLA 12A

PROPORCIONAMIENTO Y PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO - SERIE B'

SERIE	REVOLUERA No.	TIPO DE CEMENTO	PROPORCIONAMIENTO, kg/m ³		REL A/C **	AIRE INCL %	REV. DENSIDAD mm	ADITIVOS	
			CEMENTO	AG. FINO AG. GRUESO AGUA				MEIEMENT	AIA** mL/kg de CEMENTO
B ¹	17	I	298	817	0.49	5.3	80	-	0.31
	18	I	304	835	0.40	5.4	75	23.6	1.18

* De la referencia (1)

** Relación A/C en peso

*** Aditivo inductor de aire

TABLA No. 12B

PROPORCIONAMIENTO Y PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO
MEDICIONES DEL FLUJO PLASTICO.

SERIE	REVOLVURA No.	MEDICIONES DEL FLUJO PLASTICO **				
		f'c a los 28 DIAS kg/cm ²	f'c a los 28 DIAS kg/cm ²	ESFUERZO APLICADO kg/cm ²	RELACION ESFUERZO RESIST.	DEF. UNIT. TOT. POR FLUJO PLAST.A 28 DIAS
B-1	17	350	381	155	0.44	770 X 10 ⁻⁶
	18	461	518	200	0.43	820 X 10 ⁻⁶

* De la referencia (1)

** Todas las mediciones son sobre cilindros de 150 X 300 mm

REFERENCIAS

1. Ghosh, R.S. and Malhotra, V.M. "Use of superplasticizers as water reducers"; CANMET, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada; Report No. MRP/MSL 78-189 (J), 24 pp; October 1978.
2. Holbek, K. and Skrastins, J.I. "Canadian experience with the use of superplasticizers in the precast concrete industry"; Proceedings, International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada, 1978; Vol. 1, pp 183-200.
3. Hyland, E.J. "Use of Melment in precast pipe and tunnel sections"; Proceedings, International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada, 1978; Vol. 1, pp 201-214.
4. Johnson, C.D., Gamble, B.R. and Malhotra, V.M. "Superplasticizers: effects on properties of fresh and hardened concrete"; Paper to be presented at the 1979 TRB annual meeting, Washington, D.C., U.S.A.
5. Lane, R.O. and Best, J.F. "Laboratory studies on the effects of superplasticizers on the engineering properties of plain and fly ash concretes"; Proceedings, International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada, 1978; Vol. 1, pp 379-403.
6. Mailvaganam, N.P. "Slump loss in flowing concrete"; Proceedings, International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada, 1978, Vol. 2, 649-672.
7. Malhotra, V.M. and Malanka, D. "Performance of superplasticizers in concrete: laboratory investigation - Part 1"; Proceedings, International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada, 1978, Vol. 2, pp 673-708.
8. Malhotra, V.M. "Effect of repeated dosages of superplasticizers on workability, strength and durability of concrete"; CANMET, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada; Report No. MRP/MSL 78-40 (OP&J), 34 pp; February 1978.
9. Malhotra, V.M. "Performance of superplasticizers in high water to cement ratio concretes"; CANMET, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada; Report No. MRP/MSL 78-147 (OP&J), 34 pp; July 1978.
10. Malhotra, V.M. "Mechanical properties and freeze-durability of blast furnace slag/portland cement concretes"; Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada; MRP/MSL Report under preparation.

11. Mather, B. "Tests of high-range water-reducing admixtures"; Proceedings, International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada; Vol. 1, pp 325-346.
12. Mielenz, R.C. and Sprouse, J.H. "High range water reducing admixtures: effect on the air-void system in air entrained and non-air-entrained concrete"; Proceedings, International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada; Vol. 1, pp 347-378; 1978.
13. Mukherjee, P.K. and Chojnacki, B. "Laboratory evaluation of a concrete superplasticizing admixture"; Proceedings, International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada; Vol. 1, pp 403-424; 1978.
14. Pistilli, M.F. and Bobrowski, G.S. "Relationship of concrete slump loss and cement chemistry in the presence of admixtures"; Paper to be presented at the 1979 TRB annual meeting in Washington, D.C.
15. Ramakrishnan, V. "Workability and strength of superplasticized concrete"; Proceedings, International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada; Vol. 2, pp 481-514; 1978.
16. Seabrook, P.T. and Malhotra, V.M. "Accelerated strength testing of superplasticized concrete and the effect of repeated doses of superplasticizers on properties of concrete"; Proceedings, International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada; Vol. 2, pp 609-648; 1978.
17. Quon, D. and Malhotra, V.M. "Performance of superplasticizers in high alumina cement concrete"; Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada; MRP/MSL Report under preparation.

EFFECTO DEL CONTENIDO DE SULFATO EN EL CEMENTO, SOBRE LA PERDIDA DE REVENIMIENTO EN CONCRETOS QUE CONTIENEN REDUCTORES DE AGUA DE GRAN EFICIENCIA (SUPERPLASTIFICANTES)

S. M. Kalil* y M. A. Ward **

RESUMEN

A temperaturas normales (22°C), los concretos que contienen superplastificantes pierden mucha de su gran manejabilidad inicial en un lapso aproximado de cuarenta y cinco minutos desde el mezclado inicial. Cuando el concreto está caliente (40°C) este efecto se acelera al grado que la pérdida de manejabilidad (revenimiento) ocurre en treinta minutos.

Ya antes, los autores han demostrado que con aditivos reductores de agua convencionales (a base de ligno-sulfonato de calcio) los grados de la hidratación inicial del cemento pueden ser modificados alterando el contenido de SO₃ del cemento con el resultado de que las resistencias a largo plazo son aumentadas y el flujo plástico y la contracción son disminuidas.

En este trabajo se emplea un calorímetro de conducción para establecer el rango óptimo de contenido de SO₃ del cemento tipo I usado en el estudio, para pastas de cemento con y sin adición de superplastificante y a dos temperaturas, 25°C y 40°C. Los concretos fueron elaborados a ambas temperaturas usando cementos con contenido de SO₃ tal como se determinó en el estudio del calorímetro.

Se concluye que existe un rango óptimo de contenido de SO₃ para el cual, la pérdida de manejabilidad (revenimiento) es minimizada en concretos que contienen superplastificantes tanto a temperatura normal como a temperatura elevada. Por ejemplo, a 40°C, la manejabilidad no es relativamente afectada sino hasta 60 minutos después del mezclado, en mezclas tratadas y no tratadas, mientras que con contenido de SO₃ tal como se recibió, los concretos empezaron a perder manejabilidad en un grado significativo después de 30 minutos. También es de interés que se mejore la resistencia a la compresión a corto y largo plazo (nominalmente 12%) con el contenido óptimo de sulfato.

* Investigadora asociada en el Depto. de Ing. Civil de la Universidad de Calgary, Calgary, Canadá.

** Profesor y Jefe del Depto. de Ing. Civil de la Universidad de Calgary.

11. Mather, B. "Tests of high-range water-reducing admixtures"; Proceedings, International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada; Vol. 1, pp 325-346.
12. Mielenz, R.C. and Sprouse, J.H. "High range water reducing admixtures: effect on the air-void system in air entrained and non-air-entrained concrete"; Proceedings, International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada; Vol. 1, pp 347-378; 1978.
13. Mukherjee, P.K. and Chojnacki, B. "Laboratory evaluation of a concrete superplasticizing admixture"; Proceedings, International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada; Vol. 1, pp 403-424; 1978.
14. Pistilli, M.F. and Bobrowski, G.S. "Relationship of concrete slump loss and cement chemistry in the presence of admixtures"; Paper to be presented at the 1979 TRB annual meeting in Washington, D.C.
15. Ramakrishnan, V. "Workability and strength of superplasticized concrete"; Proceedings, International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada; Vol. 2, pp 481-514; 1978.
16. Seabrook, P.T. and Malhotra, V.M. "Accelerated strength testing of superplasticized concrete and the effect of repeated doses of superplasticizers on properties of concrete"; Proceedings, International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada; Vol. 2, pp 609-648; 1978.
17. Quon, D. and Malhotra, V.M. "Performance of superplasticizers in high alumina cement concrete"; Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada; MRP/MSL Report under preparation.

EFFECTO DEL CONTENIDO DE SULFATO EN EL CEMENTO, SOBRE LA PERDIDA DE REVENIMIENTO EN CONCRETOS QUE CONTIENEN REDUCTORES DE AGUA DE GRAN EFICIENCIA (SUPERPLASTIFICANTES)

S. M. Kalil* y M. A. Ward **

RESUMEN

A temperaturas normales (22°C), los concretos que contienen superplastificantes pierden mucha de su gran manejabilidad inicial en un lapso aproximado de cuarenta y cinco minutos desde el mezclado inicial. Cuando el concreto está caliente (40°C) este efecto se acelera al grado que la pérdida de manejabilidad (revenimiento) ocurre en treinta minutos.

Ya antes, los autores han demostrado que con aditivos reductores de agua convencionales (a base de ligno-sulfonato de calcio) los grados de la hidratación inicial del cemento pueden ser modificados alterando el contenido de SO₃ del cemento con el resultado de que las resistencias a largo plazo son aumentadas y el flujo plástico y la contracción son disminuídas.

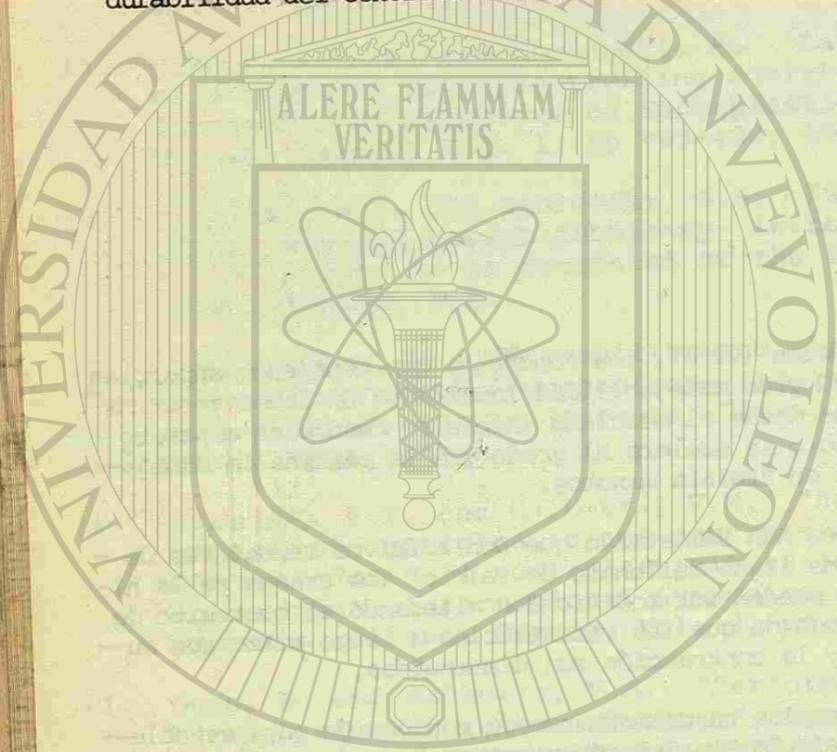
En este trabajo se emplea un calorímetro de conducción para establecer el rango óptimo de contenido de SO₃ del cemento tipo I usado en el estudio, para pastas de cemento con y sin adición de superplastificante y a dos temperaturas, 25°C y 40°C. Los concretos fueron elaborados a ambas temperaturas usando cementos con contenido de SO₃ tal como se determinó en el estudio del calorímetro.

Se concluye que existe un rango óptimo de contenido de SO₃ para el cual, la pérdida de manejabilidad (revenimiento) es minimizada en concretos que contienen superplastificantes tanto a temperatura normal como a temperatura elevada. Por ejemplo, a 40°C, la manejabilidad no es relativamente afectada sino hasta 60 minutos después del mezclado, en mezclas tratadas y no tratadas, mientras que con contenido de SO₃ tal como se recibió, los concretos empezaron a perder manejabilidad en un grado significativo después de 30 minutos. También es de interés que se mejore la resistencia a la compresión a corto y largo plazo (nominalmente 12%) con el contenido óptimo de sulfato.

* Investigadora asociada en el Depto. de Ing. Civil de la Universidad de Calgary, Calgary, Canadá.

** Profesor y Jefe del Depto. de Ing. Civil de la Universidad de Calgary.

Parece que alguna consideración debería ser dada para alterar el contenido de SO_3 de los cementos en clima caliente, particularmente cuando los superplastificantes son usados en la revoltura, procurando que la resistencia y durabilidad del concreto sean adecuadas.



EFFECTO DEL CONTENIDO DE SULFATO EN EL CEMENTO, SOBRE LA PERDIDA DE REVENIMIENTO EN CONCRETOS QUE CONTIENEN REDUCCIONES DE AGUA DE GRAN EFICIENCIA (SUPERPLASTIFICANTES).

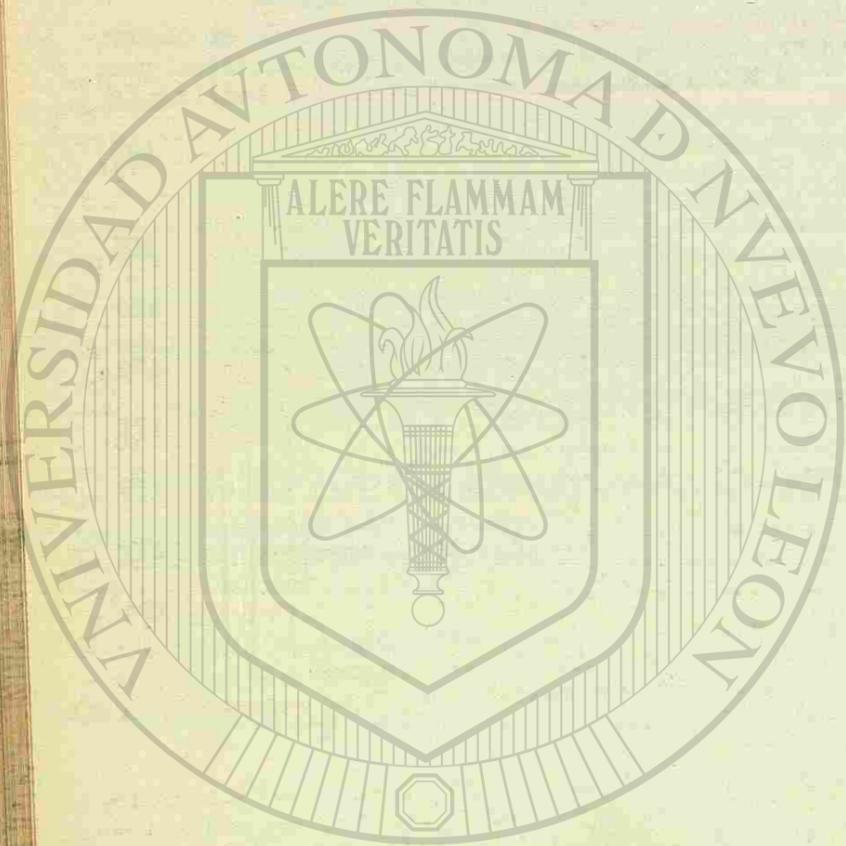
INDICE

	Pág.
RESUMEN.	165
INTRODUCCION.	169
PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	170
RESULTADOS Y DISCUSIONES	171
CONCLUSIONES.	176
RECONOCIMIENTOS	177
REFERENCIAS	194

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





INTRODUCCION

En la década pasada, ha sido introducida una nueva categoría de aditivos en la industria del concreto en América conocidos como "superplastificantes" ó "reductores de agua de gran eficiencia". Cuando estos son añadidos a concretos de manejabilidad normal, el revenimiento es aumentado al grado que el concreto "fluye". Sin embargo, este aumento significativo de revenimiento no perdura por un período largo y en un lapso aproximado de 60 minutos el concreto vuelve a su revenimiento original (1-3). Esta última característica es particularmente aparente en concretos a temperaturas arriba de 35°C (4,5)

Algunos investigadores han intentado relacionar el problema de pérdida de revenimiento con el tipo y composición del cemento. Se ha dado atención especial al contenido de C₃A dado que es el componente que reacciona más rápidamente y de allí que pudiera esperarse que tuviera la mayor influencia potencial en la pérdida de revenimiento (6,7). Hay controversias acerca de los resultados debido a que la reacción del C₃A en el cemento depende en alto grado de la cantidad de yeso añadido al cemento para controlar su fraguado. El C₃A y el yeso pueden influir en la reacción de hidratación de dos maneras diferentes; directamente por la formación de hidrato sufoaluminato, ó, indirectamente afectando la velocidad de hidratación de las fases de silicato ó la calidad del gel que se forma (8). La influencia del C₃A y el yeso sobre las etapas iniciales de hidratación del cemento y la formación de la estructura son de particular importancia debido a su efecto significativo sobre la manejabilidad y subsecuentemente, sobre las propiedades del concreto resultante.

Durante las primeras 2 ó 3 horas después del mezclado, las reacciones de hidratación y las formaciones estructurales en las suspensiones de cemento portland son definidas, básicamente por la reacción del aluminato tricálcico (9,10). El C₃A sirve como una base para el desarrollo de una estructura coagulada suelta. Con el tiempo, este proporciona un desarrollo rápido de la estructura cristalina de etringita (10,11), la cual eventualmente cubre por completo el sistema. Esta estructura puede ser destruída, y usualmente es destruída, a través de una acción mecánica. Esto resulta en la formación de pequeños cristales libres de etringita, lo cual determina los requerimientos del agua, los cuales a su vez están relacionados con la "manejabilidad" (11). Las reacciones comparativamente lentas del silicato, las cuales determinan la resistencia de la pasta de cemento en morteros y concreto endurecidos, se desarrollan apoyándose en las reacciones del aluminato.

Parece razonable creer que la extensión de la formación de etringita y su forma cristalina, bajo diferentes condiciones del colado, tuviera un efecto importante en la manejabilidad del concreto y su pérdida con el tiempo. El control de estas reacciones es posible mediante la optimización del yeso, aditivos, y vibración mecánica. Los problemas tecnológicos fundamentales son (1) retardar el estado inicial para preservar la manejabilidad para el colado del concreto y (2) intensificar el proceso de endurecimiento después de su colado.

En el presente trabajo, la velocidad de la generación o desarrollo de calor y el calor total generado durante los primeros tres días de hidratación, con y sin superplastificante, fueron medidos a dos temperaturas; 25 y 40°C. También fue estudiada la optimización de las reacciones iniciales a través de la adición de yeso. Los resultados fueron relacionados con la pérdida de revenimiento del concreto y el desarrollo de resistencia.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Estudios de Hidratación

En este estudio fue empleado un calorímetro de conducción isotérmica, similar al descrito por Monfore y Ost (12), el cual se modificó para permitir la instalación de un baño de temperatura controlada. La transmisión de calor en este método es monitoreado por una termopila, construida con conexiones de un termocople alternado sobre caras opuestas de un disco de plástico (13). La velocidad de la generación de calor es obtenida de las lecturas registradas de la termopila. El calor total desarrollado en cualquier tiempo es simplemente el área bajo la curva de velocidad para el tiempo considerado.

Se usó un cemento tipo I producido comercialmente. El clinker de la misma hornada fue usado también después de ser molido a la misma finura que el cemento comercial. El análisis y la composición químicas del cemento y el clinker asociado están dadas en la Tabla 1.

El cemento y el clinker molido fueron mezclados para preparar muestras de cemento con contenidos variables de SO_3 . El rango de variación fue de 1.65 a 6.15 por ciento. Para producir revolturas de cemento con 1.65 por ciento de SO_3 , fue añadida una gran cantidad de yeso natural (13) al clinker. Las mezclas de cemento con contenido de SO_3 mayor que el del cemento comercial fueron obtenidas con adición de yeso al cemento.

El superplastificante usado es un condensado de naftaleno-formaldehído sulfonatado, producido por Kao Soap Company con el nombre comercial de "reductor de agua Mighty 150". Se empleó una dosificación de 1.2% en peso del cemento, que es la recomendada por el fabricante.

Las pastas con y sin aditivo fueron preparadas con 8 gramos de cemento y 4 gramos de la solución. La generación de calor fue ensayada a dos temperaturas; 25 y 40°C.

Estudios de pérdida de revenimiento

Para cada temperatura especificada, las revolturas de concreto con y sin aditivo fueron designadas como: IM-25, IM-40, I-25 e I-40, respectivamente. Las revolturas con contenidos ajustados de SO_3 fueron designadas como: IMO-25,

IM)-40, IO-25 e IO-40. El cemento comercial (revoltura I-25) contenía prácticamente el contenido óptimo de SO_3 para esa temperatura, con el resultado de que únicamente tres revolturas de concreto necesitaron ser coladas a esa temperatura. La Tabla 2 da un resumen de las revolturas de concreto. También da el nivel de SO_3 y el contenido óptimo de SO_3 del cemento a cada temperatura especificada.

Los proporcionamientos de concreto fueron seleccionados de acuerdo a: "Práctica recomendada para la selección de proporcionamientos de concreto de peso normal" (A.C.I. 211-1-70). Los agregados fueron obtenidos de una grava heterogénea de río local, la cual consiste principalmente de cuarzita y caliza. El proporcionamiento empleado para todas las revolturas fue el siguiente: Cemento 340 kg/m^3 , Agregado grueso de 13 mm 873 kg/m^3 y Agregado fino 958 kg/m^3 . La relación agua-cemento fue conservada constante para todas las revolturas y fue igual a 0.58.

Se hicieron aproximadamente 0.06 m^3 de concreto en una revoladora de tambor inclinado de acuerdo con ASTM C-192. La revoladora y todos los ingredientes de la revoltura se mantuvieron al menos durante 24 horas antes del mezclado a la temperatura especificada de ensaye en un cuarto con temperatura controlado tipo Webber. La boca de la revoladora fue cubierta con una tapa hermética durante el mezclado y los períodos de reposo para evitar la evaporación. El mezclado fue iniciado con un período de 3 minutos de mezclado tipo caído libre, seguido por un reposo de 5 minutos. El reposo fue seguido por un mezclado final de 2 minutos, después del cual se realizó el primer ensaye de revenimiento. El revenimiento se volvió a medir cada 10 minutos desde el mezclado inicial, después cada 15 minutos hasta que se terminó el ensaye a las 2 horas. El concreto fue remezclado durante un minuto antes de la medición del revenimiento a cada intervalo. El concreto empleado para determinar el revenimiento fue reincorporado a la revoladora.

Al final del mezclado, se obtuvieron nueve cilindros de 152 X 304 mm. (6" X 12") de cada una de las siete revolturas de concreto. Los especímenes fueron curados durante 24 horas en el cuarto Webber, a la temperatura especificada. Se tomaron las precauciones necesarias para evitar la evaporación de los especímenes durante este período. Los especímenes fueron sacados del molde y tres fueron ensayados a compresión los seis cilindros restantes fueron transferidos a un cuarto húmedo a 22°C. De este grupo de especímenes, se ensayaron a compresión y 3 a 28 días.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Influencia del contenido de SO_3 en la velocidad de la generación (25°C) Los resultados del calorímetro de conducción para las primeras 36 horas de reacción de cada revoltura se muestran en la Figura 1.

Tan pronto como se realiza el contacto entre el cemento y el agua, la velocidad a la cual el calor es generado aumenta rápidamente y alcanza un pico agudo. Este pico ha sido atribuido a la reacción rápida de los componentes --

C_3A y C_3S (14). Comparados con los silicatos los aluminatos son generalmente más reactivos en reactividad y reaccionan muy rápidamente debido a la alta solubilidad de los estados hidratado y no-hidratado. Esta característica llevó a Seligmann y a Greening (15) a concluir que la hidratación inicial implica principalmente al C_3A , ferrito y SO_3 . Las fases de silicato de calcio son relativamente inertes durante este estado inicial, y actúan únicamente como una fuente de $Ca(OH)_2$. La velocidad de reacción del C_3A es fuertemente reducida por la formación de sulfato de aluminio (etringita) (16). Durante la hora siguiente, la velocidad de reacción permanece baja, descendiendo a menos de una caloría/gramo/hora. Después es observado un aumento en la reacción, marcando así el final del segundo estado. Durante el tercer estado, el desarrollo de calor aumenta y alcanza un máximo. Este segundo pico es atribuido a la hidratación del C_3S . Es durante este estado que las características principales de la pasta de cemento endurecida son establecidos (17,18).

Es claro que estas reacciones de hidratación tempranas son muy afectadas por el contenido de SO_3 . En el cemento, si se presenta una cantidad adecuada, el SO_3 tiene una función doble, retarda la hidratación del aluminato y acelera la hidratación de los silicatos (19, 20). Cuando el contenido de SO_3 es bajo, la reacción del aluminato ocurrirá antes que las reacciones normales del silicato (21). Bajo estas circunstancias, la reacción normal del silicato es retardada severamente (19,21). Este es el caso para el cemento que contiene 1.65% de SO_3 . Cuando el contenido de SO_3 es alto, las reacciones de aluminato continuarán mucho después del fraguado (19,21), causándose una continua expansión de la estructura de la pasta que afecta el desarrollo de la resistencia de la pasta.

Influencia del contenido de SO_3 sobre la velocidad de generación de calor de cementos conteniendo el aditivo (temp. 25°C)

Quando se emplea una dosificación normal de aditivo, se observa un ligero retardo en el tiempo necesario para todos los estados de reacción; comparemos la Figura 2 con la Figura 1. Puede observarse que bajo la presencia del aditivo, la velocidad de la generación de calor en el primer piso es sostenida por un tiempo mayor, indicando que ha ocurrido una mayor reacción entre el C_3A y el yeso. Como un resultado, se desarrolla más calor en las primeras horas comparada con la muestra exenta de aditivo. Resultados similares han sido reportados por los autores (22) con un aditivo reductor de agua a base de lignina. Suzuki y Nishida (23) han observado también resultados similares. Ellos han reportado que los retardantes orgánicos pueden incrementar la reacción del cemento Portland en el primer contacto con el agua. Este desprendimiento de calor temprano es seguido de un retardo de fraguado significativo. Para el cemento que contiene 1.65% de SO_3 , el momento al cual se inicia el tercer estado es demorado de 3 a 9 horas, lo cual ilustra claramente el efecto retardante. El segundo pico de la reacción ocurre después de 28 horas. Un aumento en el contenido de SO_3 modifica las reacciones, inmediata y del tercer estado, con el segundo pico ocurriendo después de 14 horas.

Los datos de la Tabla 3 demuestran la efectividad del aditivo en el

retardo del desarrollo de calor durante las primeras horas para el cemento que contiene 1.65% de SO_3 . Para este cemento la cantidad de calor generado es reducido en un 63% en comparación con la muestra de control. Aumentando el contenido de SO_3 a 3.15%, la reducción correspondiente es únicamente de 16%. Este retardo es la generación de calor en las primeras 24 horas es compensada después, de tal manera que el calor total desarrollado a los 3 días de edad es prácticamente el mismo que la muestra sin aditivo.

Influencia del contenido de SO_3 sobre la velocidad de generación de calor (temp 40°C)

Un aumento en la temperatura de curado acelera las reacciones inmediatas y del tercer estado en todas las mezclas de cemento; comparemos la figura 3 con la figura 1. Para el cemento que contiene 2.15% de SO_3 , la reacción del aluminato (17,21), la cual se realiza cuando la concentración de la solución de SO_3 es disminuida, ocurre aparentemente en el pico o cerca del pico de la reacción de la hidratación del silicato. La velocidad de la generación de calor alcanzada es de 7 Cal/gr/hr. Con el contenido mayor de SO_3 la reacción del aluminato es modificada y retardada considerablemente, y aparece después del pico de la reacción del silicato como una pequeña joroba en los estados posteriores de la curva de generación de calor. Este comportamiento en la velocidad de la generación de calor demuestra que aumentando la temperatura, aumenta la velocidad de reacción de los productos con SO_3 . Lawrence (24) investigó la velocidad de la combinación de iones de sulfato, usando varios cementos, en el rango de temperatura de 15 a 45°C. El concluyó que la velocidad de combinación fué duplicada elevando la temperatura en 13°C. El trabajo de Feldman y Ramachandran (25) sobre la influencia del yeso en la hidratación de C_3A demostró que un incremento en la temperatura en el rango de 2 a 52°C resultó en un incremento en la velocidad de formación de hidrosulfo de aluminato. Kalowser y Adams (26) reportaron que aumentando la temperatura de 25 a 50°C la cantidad máxima de trisulfato ocurrió entre 3 y 4 horas. Esto indicaría que el contenido óptimo de SO_3 es más alto a mayor temperatura de curado que a temperaturas normales. De hecho, los resultados de este trabajo demostraron este punto. El SO_3 requerido para el retardo adecuado (27) es aumentado al aumentar la temperatura de curado. (El contenido óptimo de SO_3 en este estudio es definido usando el concepto Lerch (27)).

Los resultados en la Tabla 4 y en la Figura 4 revelan el aumento constante en la generación de calor del cemento con edad hasta de 3 días y la fuerte influencia de la temperatura en la aceleración de la velocidad de reacción. La comparación de los datos obtenidos en la generación de calor a 25 y 40°C indican que la cantidad de calor desarrollado en el cemento comercial después de 12 horas es igual a 29.2 y 53.7 Cal/gr respectivamente, una diferencia de 85%. Optimizando el contenido de SO_3 del cemento modificó grandemente la generación de calor resultando una diferencia de únicamente 61%. Esta diferencia es reducida a medida que el tiempo de curado aumenta, indicando que el efecto de la temperatura no persiste a edades mayores. De hecho, los resultados de generación de calor reportados por Carlson y Forhrich (28) y 90 días indican igual cantidad de calor a una edad mayor.

Influencia del contenido de SO_3 en la velocidad de generación de calor de cementos conteniendo aditivos (Temp. $40^\circ C$)

Cuando se usa una dosificación normal de aditivo, se observó otra vez un pequeño retardo en el tiempo requerido en todos los estados de reacción; comparar Figura 5 con Figura 3. Un aumento en la generación de calor durante la reacción inmediata es también notado, el cual es similar al aumento en reactividad observado antes a la temperatura de curado de $25^\circ C$. Esta reactividad mejorada, entre el C_3A y el yeso, puede ser referida al efecto de absorción/dispersión del aditivo, el cual siempre conduce al nacimiento de nuevas superficies y por lo tanto se manifiesta en un incremento de la velocidad de las reacciones iniciales. En principio, esto es similar a lo encontrado en plastificantes normales (25). Ajustando el contenido de SO_3 de la revoltura resultó en una modificación de las reacciones inmediata y del tercer estado.

El efecto de incrementar (a temperatura de 25 a $40^\circ C$) es reducir el periodo de inducción y el de aumentar la velocidad de generación de calor. Tal como se ve en la Figura 5 este efecto se manifiesta en un desplazamiento del segundo pico hacia tiempo cero con un aumento concomitante a la altura del pico.

Los datos en la Tabla 4 demuestran el gran aumento en la generación de calor durante los estados iniciales de reacción producidos por el incremento de temperatura. Este aumento es más pronunciado, comparado con la muestra sin aditivo. Por ejemplo, la comparación de los datos obtenidos sobre la generación de calor a 25 y a $40^\circ C$ indican que la cantidad de calor generado por el cemento comercial después de 12 horas es igual a 20.8 y 45.8 Cal/gr. respectivamente, una diferencia de 120%. Este porcentaje es reducido significativamente a una edad de 3 días.

Efecto de las reacciones iniciales de hidratación sobre la manejabilidad (revenimiento) del concreto.

La mayoría de los aditivos normales reductores de agua y los superplastificantes son también retardantes ya que aumentan el tiempo requerido para alcanzar el límite de vibración (30). Es normalmente asumido que estos aditivos también reducen ó posponen la pérdida de revenimiento. Desafortunadamente, esto no es el caso (30, 31).

La pérdida de revenimiento del concreto puede ser correlacionada, en parte, con la extensión de la hidratación durante el período plástico. El período plástico, es importante diferencia las reacciones rápidas iniciales, las cuales ocurren en los primeros 30 minutos cuando el agua es añadida al cemento y el período llamado latente, de baja actividad. Los resultados de este trabajo demuestran que ocurre un aumento en la reactividad, en la reacción inmediata, aun cuando la presencia del aditivo extendió el tiempo de fraguado. Dado que la generación de calor es una medida de la reacción total, entonces es razonable pensar que la revoltura que tiene la mayor generación de calor, a cualquier tiempo dado, mostraría la mayor pérdida de manejabilidad. Los datos sobre la gene-

ración de calor del cemento y sobre el revenimiento del concreto durante las primeras 2 horas estan dados en la Tabla 5 y 6.

La mayor parte del calor generado durante las primeras 2 horas es probablemente atribuible a la formación de etringita del C_3A y SO_3 . Una optimización de esta reacción a través de la adición de yeso a las 2 temperaturas especificadas dió por resultado la modificación de esta reacción inmediata. Los resultados a 25 y $40^\circ C$ son mostrados en las Figuras 6 y 7 respectivamente.

Cuando se añade una dosificación normal de aditivo al agua de mezclado del concreto, se han reconocido dos efectos marcados: (1) un aumento inmediato y significativo en la manejabilidad de la revoltura de concreto, debido a la acción fluidificante del aditivo y (2) una pérdida rápida de esta manejabilidad adicional con el tiempo, mientras el concreto está todavía plástico. El efecto fué particularmente obvio para el concreto mezclado a $40^\circ C$. Optimizando el contenido de SO_3 de la revoltura de concreto, a las 2 temperaturas especificadas, resultó en una prolongación significativa en la manejabilidad aumentada obtenida por el uso del aditivo. Por ejemplo, en la Figura 8, se ve claro que después de 30 minutos y hasta 75 minutos, a ambas temperaturas, las revolturas que contienen el aditivo y el contenido ajustado de SO_3 retuvieron una misma o una mayor manejabilidad que las revolturas conteniendo los niveles no ajustados de SO_3 durante 20 minutos más.

Los dos efectos del aditivo sobre el revenimiento son claramente revelados a través de su acción sobre la cinética de la generación de calor, mostrado en la Figura 9. Al empezar la hidratación, el aditivo produce una reducción en la generación de calor, por ejemplo un retardo en el proceso de hidratación. Con el tiempo, debido a la dispersión de las partículas de cemento las cuales exponen superficies adicionales de los granos de cemento, el proceso de hidratación se acelera y ocurre un aumento en la generación de calor. Optimizando el contenido de SO_3 de la revoltura se retarda grandemente la hidratación y se extiende esta transición sobre un período mayor de tiempo. Este fenómeno es más pronunciado para el cemento curado a $25^\circ C$.

Los resultados de la generación de calor y la pérdida de revenimiento durante las primeras 2 horas demuestran la importancia de las reacciones de hidratación y la formación de la estructura durante este período. Los procesos pueden ser identificados en dos fases.

FASE I: Una reacción inmediata rápida resultando en la formación de una estructura coagulada de partículas de cemento primario y los productos de la hidratación de estas reacciones iniciales.

FASE II: La aparición de una estructura cristalina de etringita como el producto de la reacción del C_3A y el yeso. Esta estructura aparece para causar un fenómeno negativo; un alto requerimiento de agua debido a la cantidad de agua libre retenida en la estructura de etringita, por ejemplo una aparente pérdida de manejabilidad.

La adición del aditivo al agua de mezclado parece afectar un número de aspectos del proceso de hidratación y la formación de la estructura. Al ser absorbidos el aditivo en las partículas de cemento (29), inhibe la reacción del cemento con el agua, con el resultado que retarda la formación de material cristalino nuevo. Consiguientemente, la Fase I se vuelve apreciablemente prolongada. Sin embargo, como la segunda fase comienza la formación continua de la estructura fina de etringita común a las revolturas con aditivo (32), rápidamente observa el agua de la mezcla dando por resultado una mayor pérdida de manejabilidad comparada con las mezclas que no contienen el aditivo. La cantidad y el tamaño de la etringita cristalina formada, bajo diferentes condiciones, depende de la cantidad de yeso presente en el sistema (11). Los resultados de este trabajo demuestran que optimizado el contenido de SO_3 del cemento se modifican las reacciones de hidratación y la formación de la estructura con el resultado que la pérdida de revenimiento es marcadamente mejorada.

Efecto de la optimización del contenido de SO_3 sobre la resistencia del concreto.

La relación entre la temperatura del curado temprano y la resistencia a la compresión del concreto hasta 28 días es presentada en la Tabla 7. A las dos temperaturas especificadas, la resistencia a la compresión es más alta para las revolturas ajustadas. El efecto del contenido óptimo de SO_3 es más pronunciado a la edad de 28 días (1 día a la temperatura especificada y 27 días de curado normal) que a la edad de 1 día. Reinsdorf (33) fué quizás el primer investigador en realizar una investigación intensiva sobre los requerimientos de yeso de cementos usados en concretos con curado acelerado. Sus resultados muestran que un aumento en la temperatura de curado aumentan los requerimientos de yeso de un cemento. Los resultados confirman esto.

El aumento en la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días, con 1 día curado acelerado más 27 días de curado normal, es cerca de 9% cuando el contenido de SO_3 del cemento es aumentado de 2.15 a 5.65%. Es interesante hacer notar que esta resistencia es casi la misma que la resistencia del concreto curado a 25°C. Podría argumentarse que la falla del concreto calentado para alcanzar una resistencia a la compresión a edades mayores igual a la del concreto curado a 20°C podría atribuirse a una deficiencia del SO_3 en el cemento. Bajo la presencia del aditivo, el aumento en la resistencia a la compresión del concreto para mezcla ajustada es más pronunciados alcanzando 12%.

CONCLUSIONES

(1) Con el cemento y el aditivo usados en este estudio ha sido demostrado, usando el criterio de Lerch (27), que hay un rango óptimo en el contenido de SO_3 para manejabilidad y resistencia. Para pastas de cemento curados a 25°C el contenido óptimo de SO_3 con el aditivo parece ser 1% más alto (3.15%) que el correspondiente al cemento comercial (2.15%). A 40°C el rango óptimo es 3.5% más alto (5.65%).

(2) Los concretos que poseen estos contenidos incrementados de SO_3 mostraron una significativa retención de la manejabilidad a ambas temperaturas. Después de 30 minutos y hasta 75 minutos después del mezclado, las revolturas ajustadas retuvieron durante 20 minutos más misma o más alta manejabilidad que las revolturas conteniendo cementos no ajustados. Las anteriores también dieron resistencia a la compresión a los 28 días de edad 12% más altos que las de las revolturas de control conteniendo los cementos no-ajustados.

(3) En base a (1) y (2) se considera provechoso seguir estudiando la posibilidad comercial de ajustar los contenidos de SO_3 de los cementos que van a usarse con aditivos superplastificantes. Una preocupación a ser resuelta podría ser la durabilidad potencial de los concretos conteniendo los cementos ajustados en el caso de congelamiento y deshielo y en suelos conteniendo sulfatos.

RECONOCIMIENTOS

Los autores están muy agradecidos por el apoyo financiero otorgado por la National Research Council of Canada (NSERC) y la Universidad de Calgary.

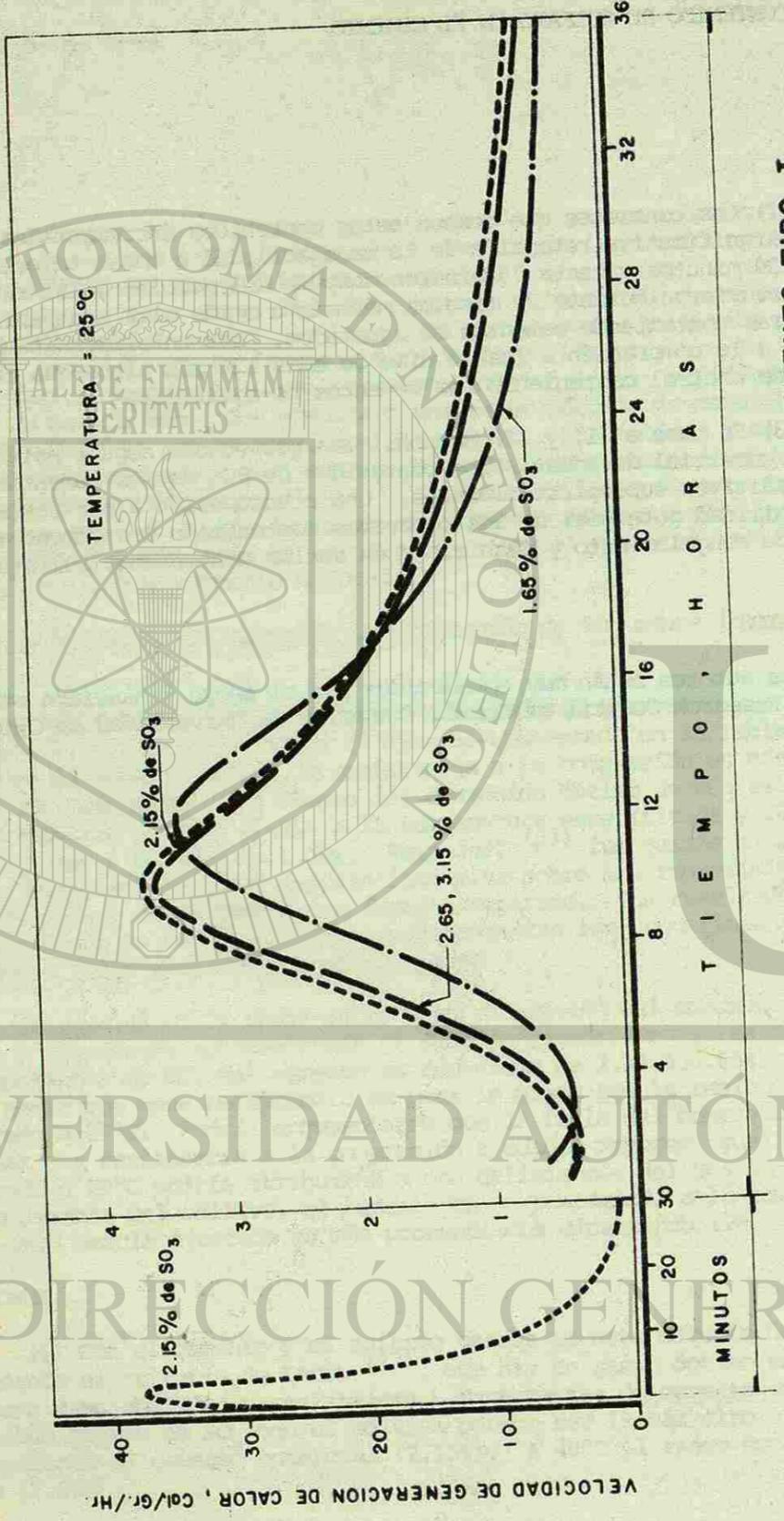


FIG. 1 VELOCIDAD DE GENERACION DEL CALOR, CEMENTO TIPO I

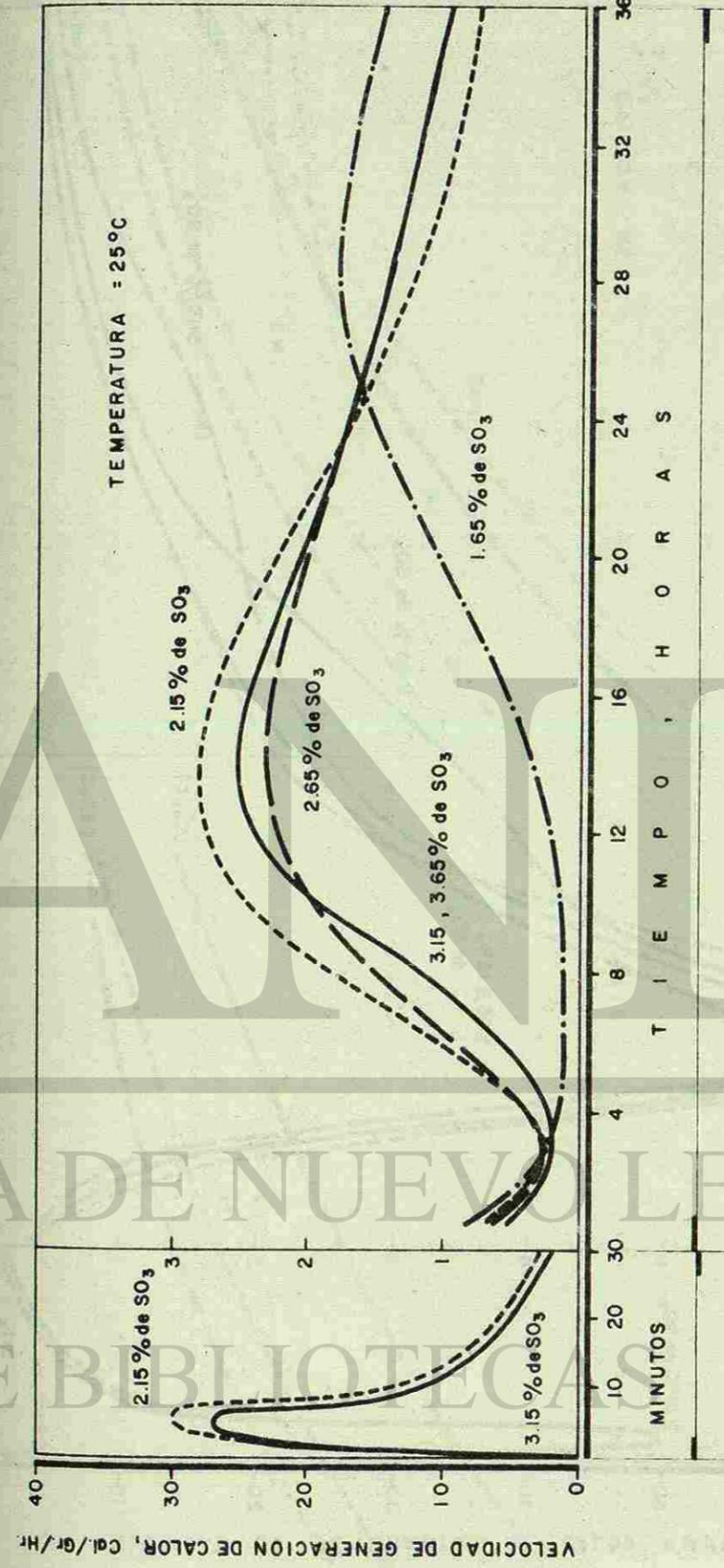


FIG. 2 VELOCIDAD DE GENERACION DEL CALOR, CEMENTO TIPO I CON ADITIVO.

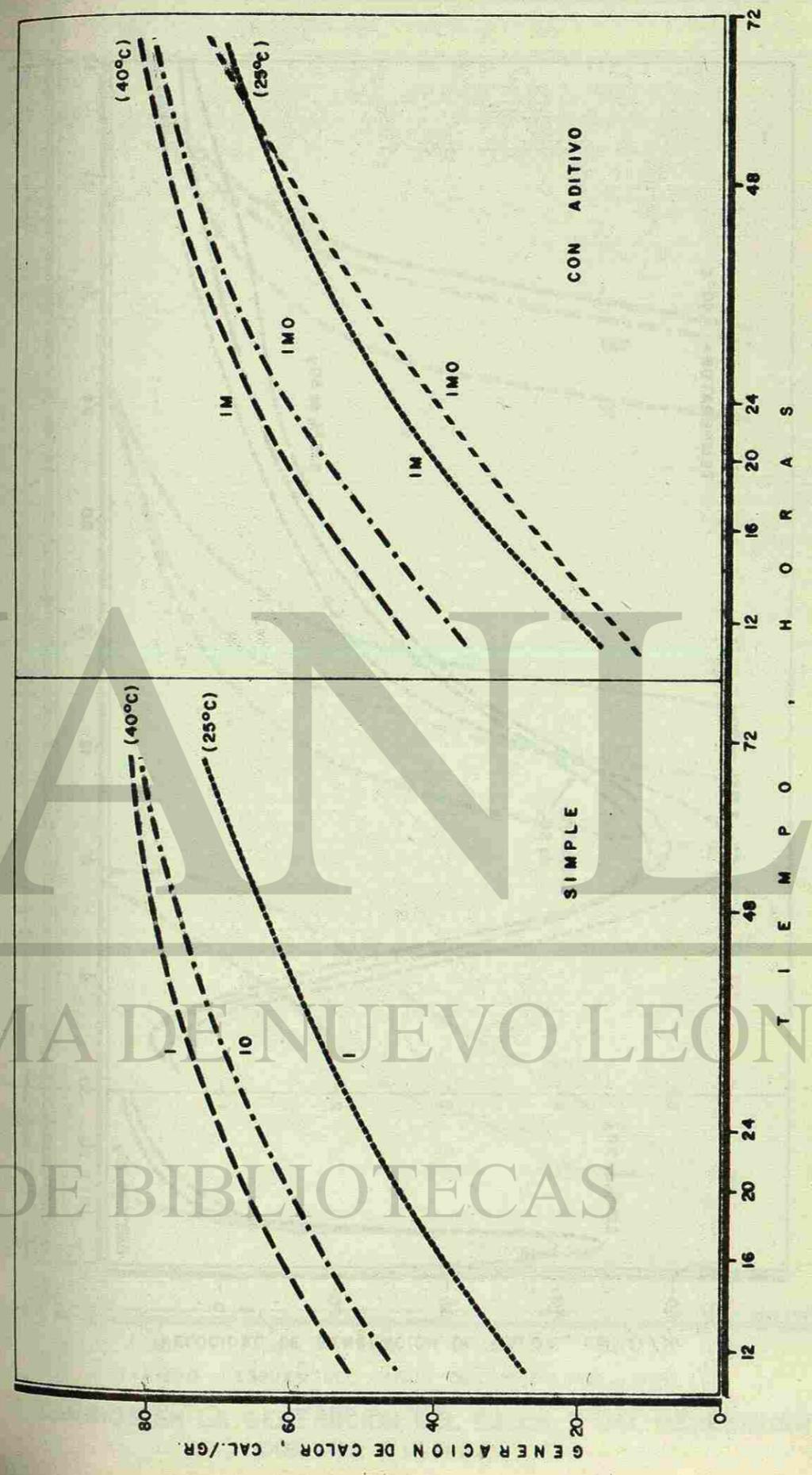
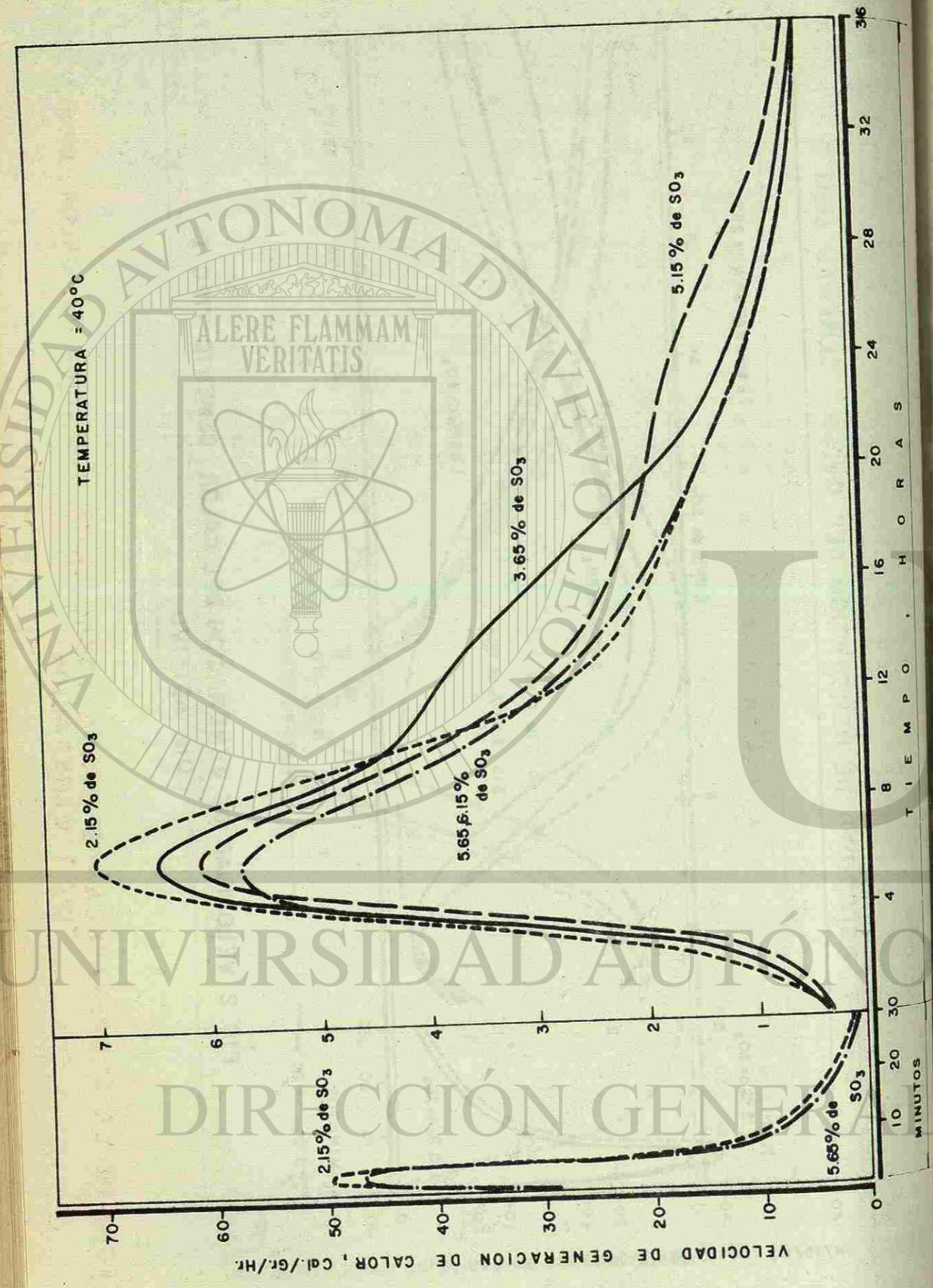


FIG. 4 EFECTO DE LA TEMPERATURA DE CURDO SOBRE LA GENERACION DEL CALOR, CEMENTO TIPO I GENERACION.

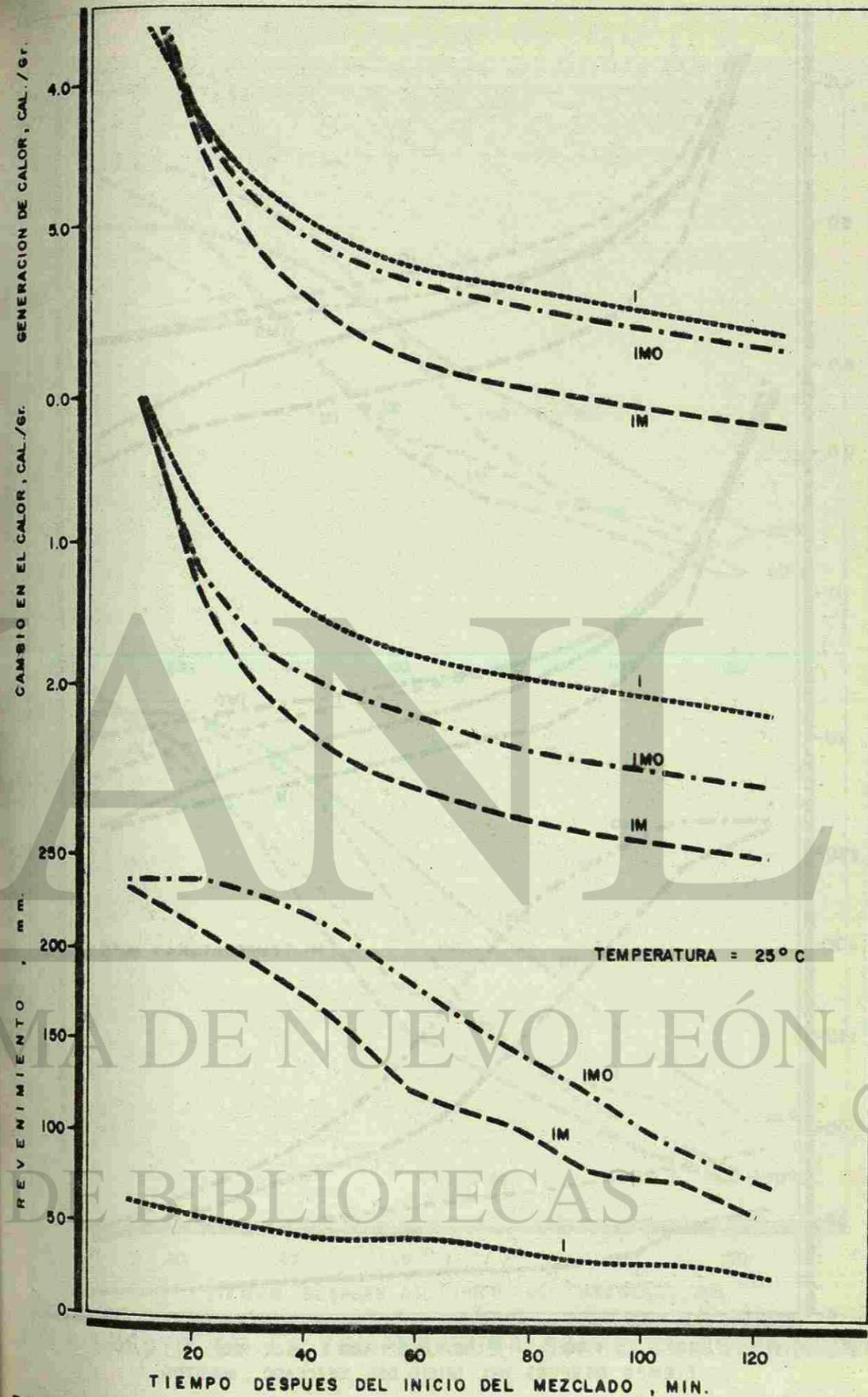
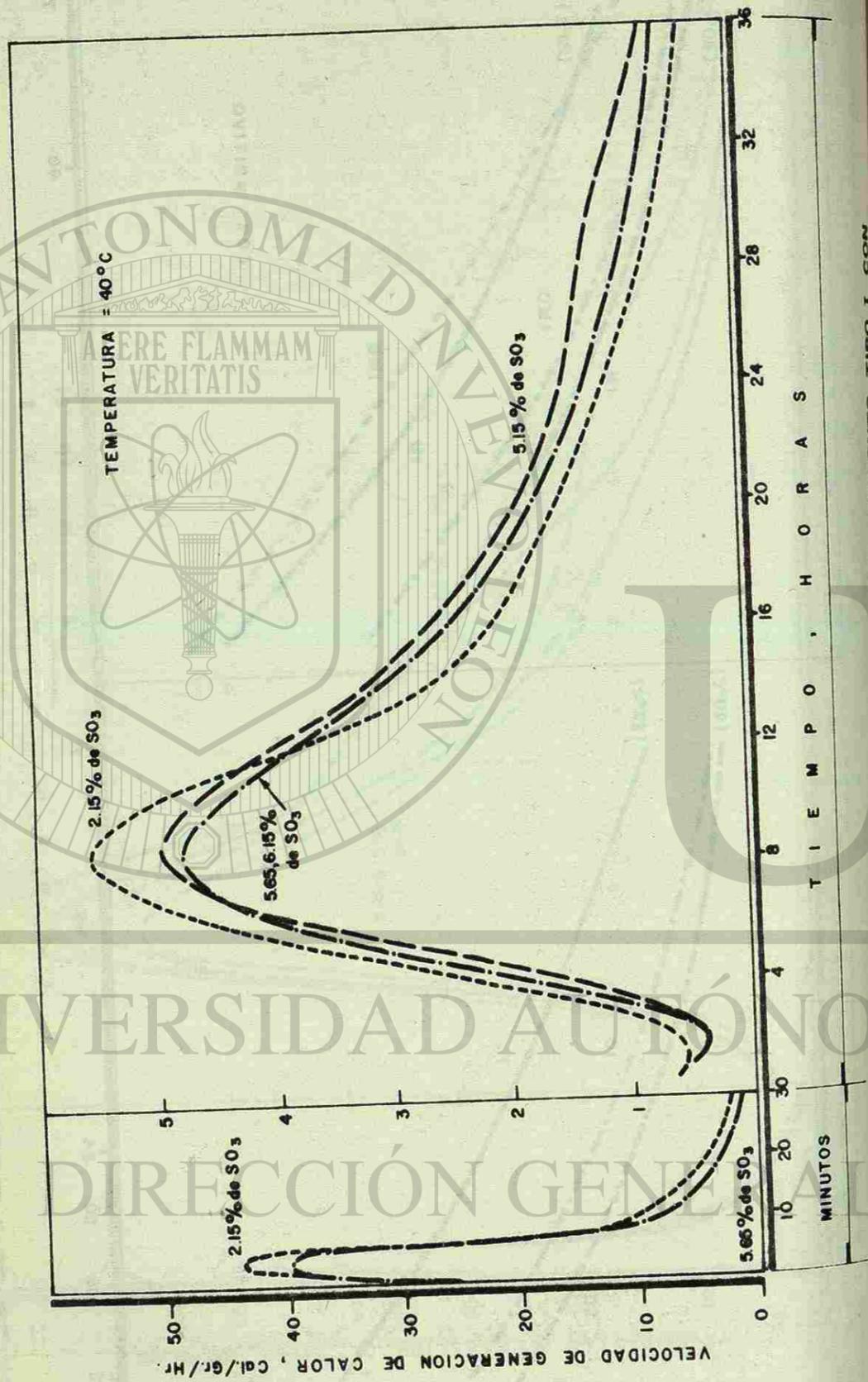


FIG. 6 CAMBIOS EN LA GENERACION DEL CALOR Y DEL REVENIMIENTO CON EL TIEMPO.

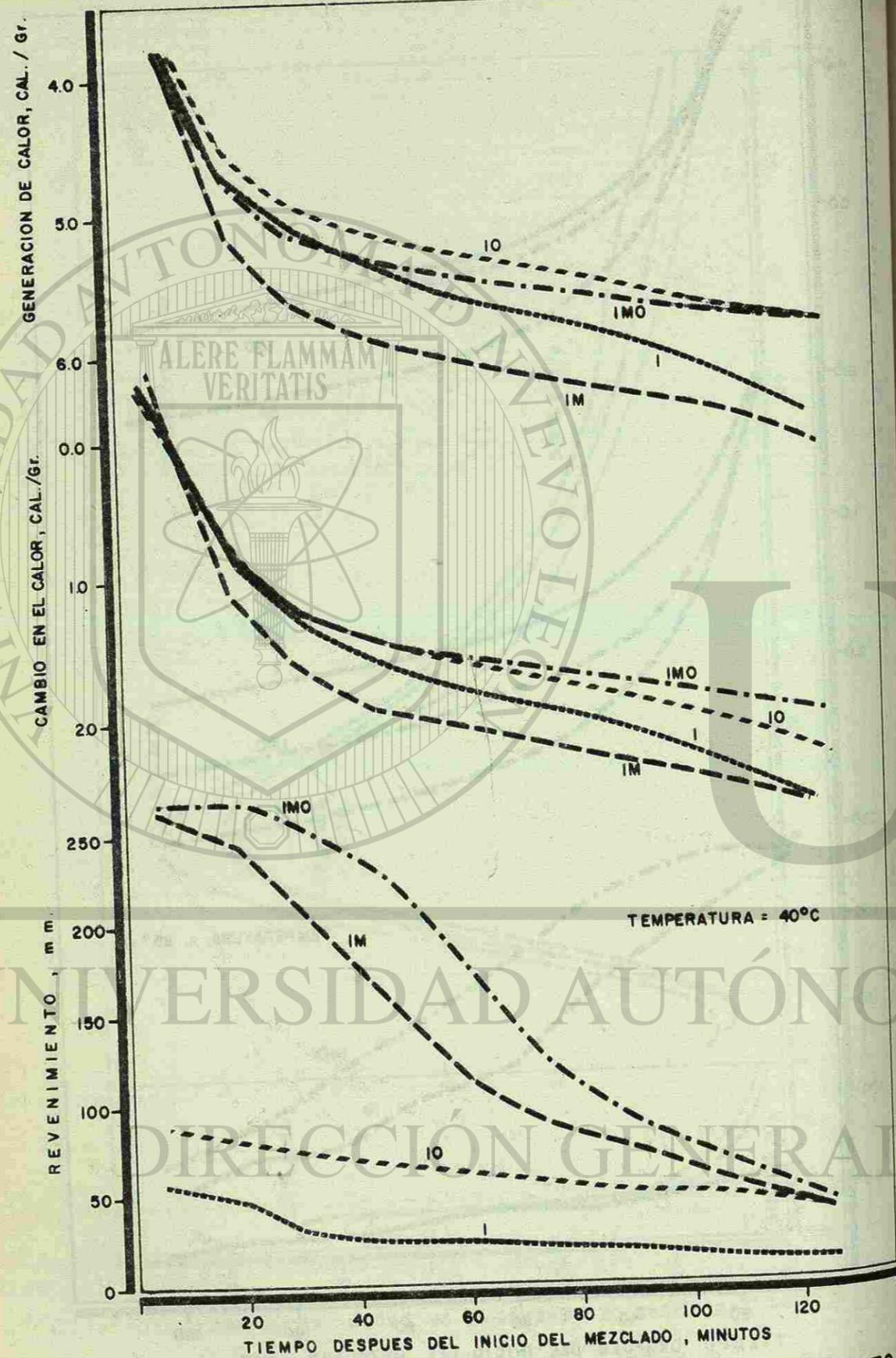


FIG. 7 CAMBIOS EN LA GENERACION DEL CALOR Y DEL REVENIMIENTO CON EL TIEMPO.

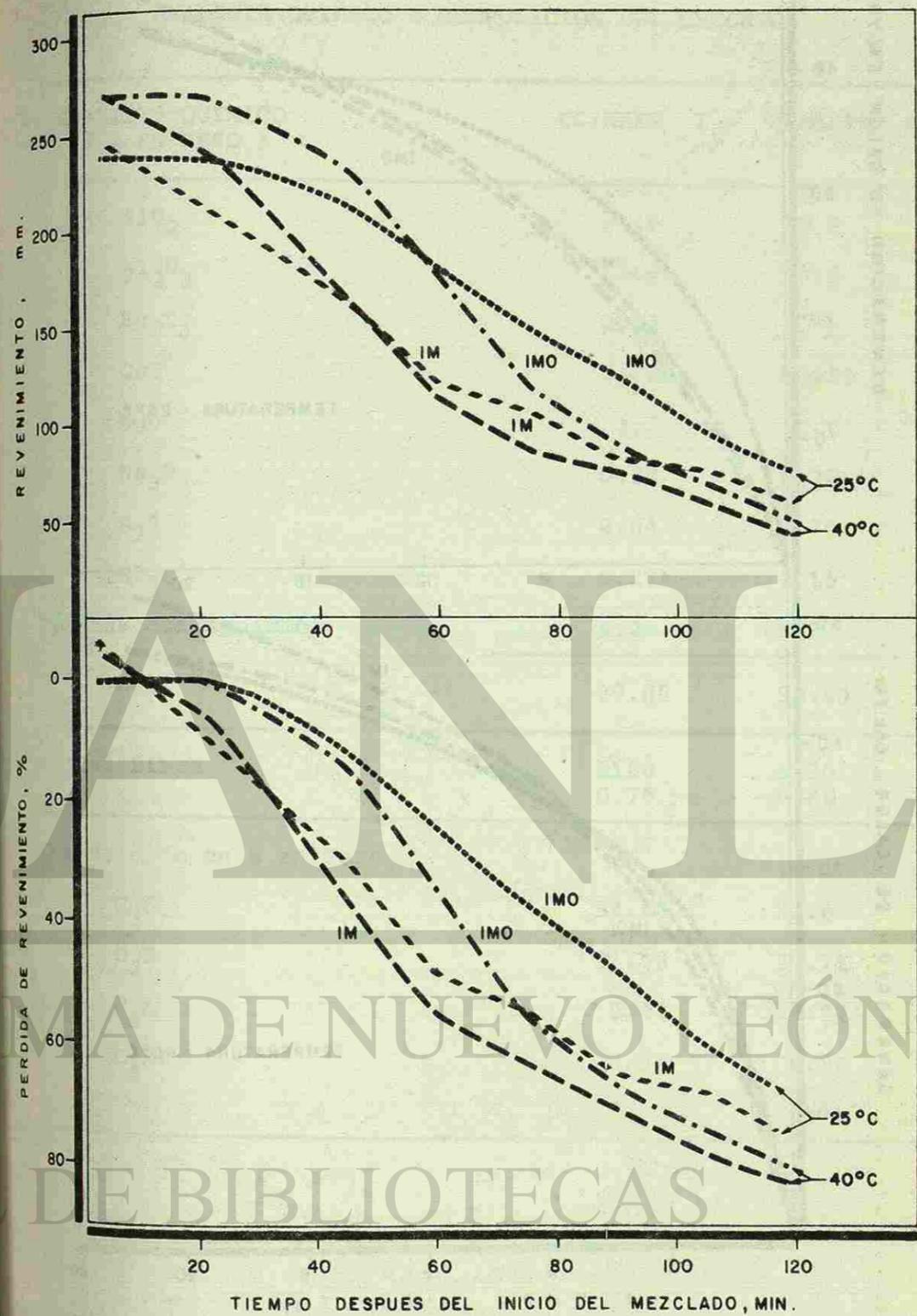


FIG. 8 EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE EL REVENIMIENTO.

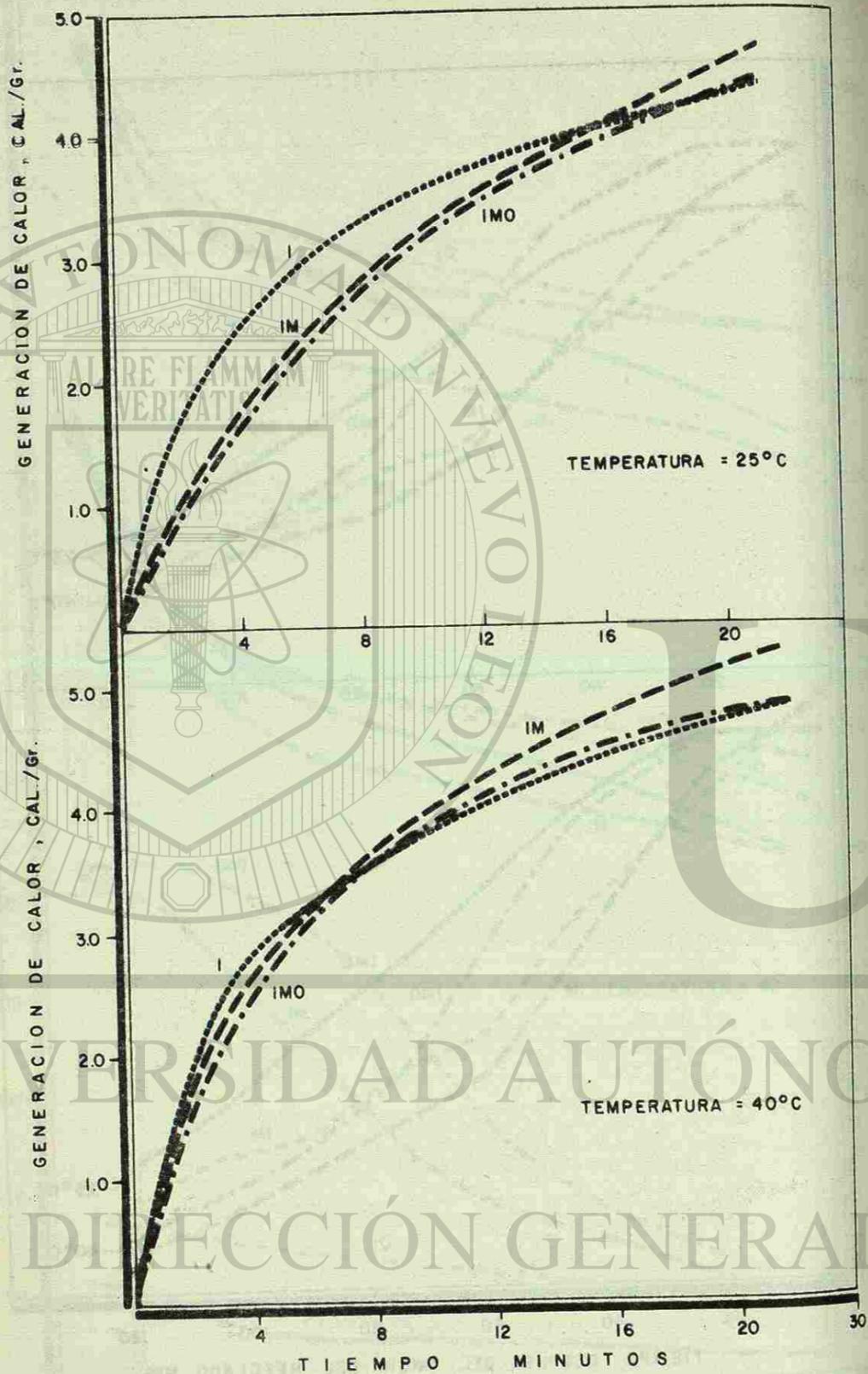


FIG. 9 EFECTO DEL ADITIVO Y DEL YESO SOBRE EL CALOR GENERADO.

TABLA 1

ANALISIS QUIMICO Y COMPOSICION DEL CEMENTO

ANALISIS QUIMICO (% EN PESO)	CLINKER I	CEMENTO I
SiO ₂	21.6	20.9
Al ₂ O ₃	5.6	5.3
Fe ₂ O ₃	2.93	2.92
CaO	64.20	63.30
MgO	3.2	2.8
Na ₂ O	0.24	0.26
K ₂ O	0.64	0.70
SO ₃	0.27	2.15
Pérdida por ignición	1.2	1.3
Total	99.88	99.63
Cal Libre	3180 0.75	3130 0.84
Composición en % en Peso		
C ₃ S	54.40	52.0
C ₂ S	21.08	21.11
C ₃ A	9.94	9.22
C ₄ AF	8.91	8.88

TABLA 2

PROPORCIONAMIENTOS UTILIZADOS EN LOS ESTUDIOS DEL CONCRETO

Temp.	Clave de la Revoltura	Cemento	% de SO ₃
25 °C	I-25	Cemento tipo	2.15 *
	IM-25	Cemento tipo I + Aditivo	2.15
	IMO-25	Cemento tipo I + Aditivo	3.15 *
	I-40	Cemento tipo I	2.15
40 °C	IO-40	Cemento tipo I	5.65 *
	IM-40	Cemento tipo I + Aditivo	2.15
	IMO-40	Cemento tipo I + Aditivo	2.65 *

* Dentro del rango de contenidos optimos de sulfatos según fué determinado en los estudios de generación de color.

EFEECTO DEL CONTENIDO DE SO₃ SOBRE LA GENERACION DE COLOR TEMP = 25 °C

GENERACION DE CALOR EN CAL/gm PARA EL PERIODO INDICADO

% DE SO ₃	GENERACION DE CALOR EN CAL/gm PARA EL PERIODO INDICADO							
	4 horas	8 horas	12 horas	16 horas	20 horas	24 horas	48 horas	72 horas
1.65	6.2	11.0	23.5	34.0	40.0	43.3	54.7	63.8
2.15	7.1	15.7	29.2	38.5	45.2	50.0	63.7	71.5
2.65	6.3	14.0	27.2	36.1	42.8	47.9	64.3	71.2
3.15	6.31	13.9	27.2	36.1	42.7	47.8	64.1	70.9
CEMENTO CON ADITIVO								
1.65	5.1	5.5	6.1	7.5	10.7	16.2	47.5	59.0
2.15	6.8	10.8	20.8	32.0	40.7	46.2	62.7	70.6
2.65	6.5	10.0	17.8	26.4	33.2	39.5	61.1	69.4
3.15	6.3	8.7	16.3	26.0	33.7	40.2	61.7	71.3

TABLA 4

EFFECTO DEL CONTENIDO DE SO₃ SOBRE LA GENERACION DE CALOR, TEMP 40 °C

% DE SO ₃	GENERACION DE CALOR EN CAL/gm PARA EL PERIODO INDICADO							
	4 horas	8 horas	12 horas	16 horas	20 horas	24 horas	48 horas	72 horas
2.15	12.0	37.8	53.7	61.1	66.5	70.3	79.4	82.1
5.15	10.1	32.6	47.5	56.0	62.7	68.6	80.6	83.6
5.65	11.5	33.2	47.0	55.1	60.6	64.5	75.5	81.1
6.15	11.4	32.5	46.1	53.9	59.3	63.8	74.4	79.9

CEMENTO CON ADITIVO

2.15	9.5	26.6	45.8	55.5	61.8	66.4	77.5	81.1
5.15	7.4	22.0	38.9	51.4	59.1	64.8	78.3	82.8
5.65	7.6	22.7	38.9	49.7	56.3	62.0	74.6	80.3
6.15	7.5	22.4	38.6	48.4	55.5	61.5	74.1	79.3

TABLA 5

GENERACION DE CALOR Y REVENIMIENTO F TEMP 25 °C

GENERACION DE CALOR EN CAL/gm PARA EL PERIODO INDICADO
REL A/C PARA LA PASTA = 0.5

REVOLUTURA	% DE SO ₃	% DE ADITIVO	REVENIMIENTO EN EL CONCRETO EN mm											
			10 minutos	20 minutos	30 minutos	45 minutos	60 minutos	75 minutos	90 minutos	105 minutos	120 minutos			
I	2.15	—	3.5	4.3	4.7	5.1	5.3	5.4	5.4	5.5	5.6	5.7		
IM	2.15	1.2	3.2	4.5	5.2	5.7	5.9	6.1	6.1	6.2	6.3	6.4		
IMO	3.15	1.2	3.1	4.3	4.8	5.2	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7	5.8		

REVENIMIENTO EN EL CONCRETO EN mm

REL A/C = 0.58

I	2.15	—	65	55	50	45	45	40	30	30	25
IM	2.15	1.2	235	215	195	165	120	110	80	75	55
IMO	3.15	1.2	240	240	235	215	185	150	125	95	75

TABLA 6

GENERACION DE CALOR Y REVENIMIENTO, TEMP = 40 °C

REVOLTIURA	% DE S ₀₃	% DE ASITIVO	GENERACION DE CALOR EN CAL/gm PARA EL PERIODO INDICADO											
			REL A/C PARA LA PASTA = 0.5											
			10 minutos	20 minutos	30 minutos	45 minutos	60 minutos	75 minutos	90 minutos	105 minutos	120 minutos			
I	2.15	---	3.8	4.7	5.1	5.4	5.6	5.7	5.9	6.1	6.4			
10	5.65	---	3.7	4.5	4.9	5.2	5.3	5.4	5.6	5.7	5.9			
IM	2.15	1.2	4.0	5.1	5.6	5.9	6.1	6.2	6.3	6.4	6.6			
IMO	5.65	1.2	3.9	4.7	5.1	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8			

REVENIMIENTO DEL CONCRETO EN mm

REL A/C = 0.58

I	2.15	---	55	50	30	25	25	20	20	15	15
10	5.65	---	90	85	75	70	65	55	50	50	45
IM	2.15	1.2	260	250	215	165	115	95	75	55	45
IMO	5.65	1.2	275	275	260	235	180	120	90	70	50

TABLA 7

RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

REVOLTIURA	% DE S ₀₃	% DE ADITIVO	% DE CONDICIONES DE MEZCLADO Y DE CURADO	RESISTENCIA A LA COMPRESION Kg/cm ²		
				1 DIA	7 DIAS	28 DIAS
I-25	2.15	---	Mezclado y colado y de jado a 25°C durante 24 horas .	104	257	359
IM-25	2.15	1.2	Posteriormente curados a 22 °C	83	241	320
IMO-25	3.15	1.2		79	249	332
I-40	2.15	---	Mezclado, colado y deja do a 40 °C durante 24- horas	158	239	330
10-40	5.65	---		167	249	358
IM-40	2.15	1.2	Posteriormente curado a 22 °C	156	222	301
IMO-40	5.65	1.2		165	241	337

REFERENCIAS

1. HEWLETT, P. C., "Experiences in the Use of Superplasticizers in England", Proceedings of an International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Vol. I, Ottawa 1978, pp. 249-277.
2. RAMAKRISHNAN, V., "Workability and Strength of Superplasticized Concrete", Proceedings of an International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Vol. II, Ottawa 1978, pp. 481-513.
3. MALHOTRA, V. M. and MALANKA, D., "Performance of Superplasticizers in Concrete: Laboratory Investigation - Part I", Proceedings of an International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Vol. II, Ottawa 1978, pp. 673-707.
4. RYAN, W. G. and MUNN, R. L., "Some Recent Experiences in Australia on Superplasticizing Admixtures", Proceedings of an International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Vol. I, Ottawa 1978, pp. 279-293.
5. MAILVAGANAM, N. P., "Slump Loss in Flowing Concrete", Proceedings of an International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Vol. II, Ottawa 1978, pp. 649-671.
6. HERSEY, A. T., "Slump Loss Caused by Admixtures", ACI Journal, Proceedings, Vol. 72, No. 10, October 1975, pp. 526-528.
7. YOUNG, F. J., Discussion of, "Slump Loss Caused by Admixtures", by Hersey, ACI Journal, Proceedings, Vol. 73, No. 4, April 1976, pp. 21-22.
8. BUDNIKOV, P. P., "Role of Gypsum in the Hardening of Hydraulic Cement", Proceedings of the Fourth International Symposium on Chemistry of Cement, Washington 1960, pp. 469-477.
9. COPLAND, L. E. and KANTRO, D. L., "Hydration of Portland Cement", International Symposium on Chemistry of Cement, Tokyo 1968, pp. 1-4.
10. REHBINDER, P. A., "Physico-Chemical Concepts of the Mechanism of Setting and Hardening of Mineral Binders", Symposium on the Chemistry of Cement, Moscow 1956, pp. 125-137.
11. SEGALOVA, E. E. and SOLOVYEVA, E. S., "Study of the Mechanism of Structure Formation in Cement Suspensions and Effect of Admixture of Hydrophilic Plasticizers (Sulfite Liquor) on these Processes", Symposium on the Chemistry of Cement, Moscow 1956, pp. 138-153.
12. MONFORE, G. E. and OST, B., "An Isothermal Conduction Calorimeter for Study of the Early Hydration Reactions of Portland Cements", PCA Journal, Vol. 8, No. 2, May 1966, pp. 13-20.
13. KHALIL, S. M., "Hydration and Volume Stability of Concrete Materials Containing a Lignin Admixture", Ph.D. Thesis, University of Calgary, 1972, pp. 210.
14. STEIN, H. N., "Influence of Some Additives on Hydration Reactions of Portland Cement", I. Non-Ionic Organic Additives, Journal of Applied Chemistry, Vol. 11, 1961, pp. 474-492.
15. SELIGMANN, P. and GREENING, N. R., "Studies of Early Hydration Reactions of Portland Cement by X-ray Diffraction", Highway Research Record, No. 62, 1963, pp. 80-105.
16. SCHWIETE, H. E. and NIEL, E. M. G., "Formation of Ettringite Immediately after Gaging of Portland Cement", Journal American Ceramic Society, Vol. 48, No. 1, 1965, pp. 12-14.
17. SMITH, M. A. and MATTHEWS, J. D., "Conduction Calorimetric Studies of the Effect of Sulphate on the Hydration Reactions of Portland Cement", Cement and Concrete Research, Vol. 4, No. 1, 1974, pp. 45-55.

18. ADAMS, L. D., "The Measurement of Very Early Hydration Reactions of Portland Cement Clinker by a Thermoelectric Conduction Calorimeter", *Cement and Concrete Research*, Vol. 6, No. 2, 1976, pp. 293-307.
19. COPLAND, L. E. and KANTRO, D. L., "Hydration of Portland Cement", *Fifth International Symposium on Chemistry of Cement, Tokyo 1968*, pp. 84.
20. MANABA, T. and KAWADA, N., "Effect of Calcium Lignosulfonate Addition on the Properties of Portland Cement Paste at Initial Hydration Period", *Rev. 13th Meeting, Japan Cement Engineering Assoc.*, Vol. 13, 1959, pp. 40-46.
21. VERBECK, G., "Cement Hydration Reactions at Early Ages", *PCA Bulletin* 189, 1965, pp. 7.
22. KHALIL, S. M. and WARD, M. A., "Influence of SO_3 and C_3A on the Early Reaction Rates of Portland Cement in the Presence of Calcium Lignosulfonate", *American Ceramic Society Bulletin*, Vol. 57, No. 2, Dec. 1978, pp. 1116-1118.
23. SUZUKI, S. and NISHI, S., "The Effect of Saccharides and Other Organic Compounds on the Hydration of Cement", *Semento, Gijutsu Nenpo (Tokyo)*, Vol. 13, 1959, pp. 160.
24. LAWRENCE, C. D., "Changes in the Composition of the Aqueous Phase During the Hydration of Cement Pastes and Suspensions", SP No. 90, in *Symposium on the Structure of Portland Cement Paste and Concrete*, Highway Research Board, Washington, D.C., 1966, pp. 378-391.
25. FELDMAN, R. F. and RAMACHANDRAN, V. S., "The Influence of $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ Upon the Hydration Character of $3CaO \cdot Al_2O_3$ ", *Magazine of Concrete Research*, Vol. 18, No. 57, Dec. 1966, pp. 185-196.
26. KALOUSEK, G. and ADAMS, M., "Hydration Products Formed in Cement Pastes at 25 to 175°C", *ACI Journal, Proceedings*, Vol. 48, No. 1, 1951, pp. 77-92.
27. LERCH, W., "The Influence of Gypsum on the Hydration and Properties of Portland Cement Pastes", *PCA Bulletin No. 12*, 1946, pp. 41.
28. CARLSON, R. W. and FORBRICH, L. R., "Correlation of Methods for Measuring Heat of Hydration of Cement", *Industrial Engineering Chemistry, Analytical Edition*, Vol. 10, 1938, pp. 382-386.
29. CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION, "Superplasticizing Admixtures in Concrete", Report of joint working party of the Cement Admixtures Association and the Cement and Concrete Association, Publication No. 45.030, Jan. 1976, pp. 32.
30. TUTHILL, L. H., ADAMS, R. F. and HEMME, J. M. Jr., "Observations in Testing and Use of Water-Reducing Retarders", *Symposium on Effect of Water-Reducing Admixtures and Set-Retarding Admixtures on Properties of Concrete*, STP-266, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1960, pp. 97-117.
31. PREVITE, R. W., "Concrete Slump Loss", *ACI Journal, Proceedings*, Vol. 74, No. 8, August 1977, pp. 361-367.
32. MEYER, L. M. and PERENCHIO, W. F., "Theory of Concrete Slump Loss as Related to the Use of Chemical Admixtures", *Concrete International Design and Construction, ACI*, Vol. 1, No. 1, Jan. 1979, pp. 36-43.
33. REINSDORF, Z., "Influence of Composition of Portland Cement on the Results of Steam Curing", *Proceedings of the International Conference on the Problems of Accelerated Curing of Concrete in Manufacturing Precast Reinforced Concrete Units*, RILEM, Moscow 1964.

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

V. M. Malhotra*

RESUMEN

Cuando se incorporan los superplastificantes al concreto fresco, estos causan grandes aumentos en su revenimiento. Sin embargo, este aumento del revenimiento no es sostenido durante largos períodos de tiempo, y dentro de 60 minutos aproximadamente, el concreto regresa a su revenimiento original. En aplicaciones de superplastificante en el campo, puede ser necesario incorporar dosificaciones adicionales para mantener ese aumento en el revenimiento. Este trabajo proporciona los resultados de una investigación de laboratorio para determinar el efecto de la dosificación repetida sobre la manejabilidad, resistencia y durabilidad del concreto.

Se prepararon una serie de revolturas de concreto con aire incluido -- utilizando una relación agua/cemento de 0.42 y con un revenimiento de 50 mm (2 pulg). Se incorporaron repetidamente, después del mezclado inicial, y a la dosificación recomendada por el fabricante, cuatro tipos de superplastificante comúnmente disponibles en el mercado. Esto fue seguido por dos minutos de mezclado adicional. Se determinaron las propiedades del concreto fresco y se colaron cilindros de ensaye después de la incorporación de cada dosificación. También se colaron prismas de ensaye después de la última dosificación para estudios de resistencia y durabilidad.

Los resultados de los ensayos indican que se pueden mantener grandes -- revenimientos durante varias horas mediante la incorporación de una segunda dosificación. Excepto en un caso, la tercera dosificación no se consideró deseable.

Las dosificaciones repetidas de superplastificante a base de melamina y de naftaleno-sulfonato causaron pérdidas substanciales en el contenido del -- aire incluido. Sin embargo, para el concreto con superplastificante a base de -- lignosulfonato ocurrió todo lo contrario. La pérdida del aire incluido afecta -- adversamente el comportamiento del concreto en los ensayos de congelamiento y -- deshielo.

* Jefe de la Sección de Materiales de Construcción, CANMET, Departamento de -- Energía, Minas y Recursos, Ottawa, Canadá.

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

INDICE

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	181
RESULTADOS DE LOS ENSAYES Y SU ANALISIS	181
DISCUSION	181
OBSERVACIONES FINALES	181

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/m³ (639 lbs/yd³). Se hicieron revolturas de 0.062 m³ (2.2 pies³). 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 m³ (2.2 pies³) fueron elaboradas en el laboratorio de CANMET en 1977 utilizando una revolvedora 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/m³ (75 lbs/pie³) 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/m³ (74.9 lbs/pie³) 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/m³ (68.6 lbs/pie³) 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/m³ (68.6 lbs/pie³) y es de color café claro. No contiene cloruros.

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

** Vendida en Canada 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 RO₃, 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/m³ (639 lbs/yd³). 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 revenimiento 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 ensayo 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 ESPECÍMENES.

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°C (5 y 11°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 ensayo colados inmediatamente después del mezclado inicial tuvieron resistencias de 390 Kg/cm² (5590 lbs/pulg²). Estos valores aumentaron a 435 Kg/cm² (6180 lbs/pulg²) para los cilindros de ensayo 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 ensayo 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 ensayo. La resistencia a la compresión a los 28 días de los cilindros de ensayo colados después de la tercera dosificación del superplastificante fue de 463 Kg/cm² (6590 lbs/pulg²), comparada con la resistencia de 390 Kg/cm² (5550 lbs/pulg²) para los cilindros de ensayo 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 ensayo colados inmediatamente después de la adición de la tercera dosificación del superplastificante fue de 488 Kg/cm² (6950 lbs/pulg²) comparada con una resistencia de 404 Kg/cm² (5750 lbs/pulg²) para los cilindros colados inmediatamente después del mezclado inicial del concreto (Figura 3). Esto es un aumento de 84 Kg/cm² (1200 lbs/pulg²) 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/cm² (5040 lbs/pulg²). 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 ² /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 ²
	7 días	300 Kg/cm ²
	28 días	365 Kg/cm ²
<u>Análisis Químico</u>		
Residuo Insoluble		0.28%
Dióxido de Silicio (SiO ₂)		21.88%
Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)		4.50%
Oxido Férrico (Fe ₂ O ₃)		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 ₂ S		46.22
C ₃ S		27.95
C ₃ A		8.27
C ₄ AF		6.57

* Información proporcionada por el Fabricante.

TABLA No. 2
GRADUACION DE LOS AGREGADOS

AGREGADO GRUESO		AGREGADO FINO	
TAMAÑO MALLA	% RETENIDO ACUMULADO	TAMAÑO MALLA	% RETENIDO ACUMULADO
3/4 pulg. (19 mm)	33.4	Malla No. 4 (4.75 mm)	0.0
3/8 pulg. (9.5 mm)	66.6	Malla No. 8 (2.36 mm)	10.0
Malla No. 4 (4.75 mm)	100.0	Malla No. 16 (1.18 mm)	32.5
		Malla No. 30 (1.40 mm)	57.5
		Malla No. 50 (300 mm)	80.0
		Malla No. 100 (150 mm)	94.0
		BANDEJA	100.00

TABLA No. 3
PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS

	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
Densidad	2.68	2.70
Absorción, %	0.40	0.50

TABLA No. 4

PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

Tipo de Superplastificante	Rel. A/C	Después del mezclado inicial de 6 minutos.		Después de la primera dosificación de superplastificante*		Después de la segunda dosificación de superplastificante**		Después de la tercera dosificación de superplastificante***	
		Temp. °C	Peso Volúmico Kg/m ³	Temp. °C	Peso Volúmico Kg/m ³	Temp. °C	Peso Volúmico Kg/m ³	Temp. °C	Peso Volúmico Kg/m ³
A	1.5	0.42	2377	24	2409	23	2435	22	2449
B	2.0	0.42	2365	23	2358	24	2409	24	2409
C	1.0	0.42	2377	24	2384	23	2403	22	2415
D	2.0	0.42	2358	24	2313	24	2307	22	2384

* La primera dosificación se incorporó después de cerca de 30 minutos del mezclado inicial, tiempo durante el cual el concreto se dejó cubierto y quieto en la revolvente.

** La segunda dosificación se incorporó después de que el revenimiento se había regresado al valor inicial.

*** La tercera dosificación se incorporó después de que el revenimiento se había regresado al valor inicial.

TABLA No. 5

DENSIDAD DE LOS CILINDROS DE ENSAYE A LAS 24 HORAS

Tipo de Superplastificante	Dosificación del superplastificante en % en peso de cemento	Densidad de cilindros* de 102 x 203 mm, Kg/m ³			
		Después del mezclado inicial, Kg/m ³	Después de incorporar la		
			1a. dosificación	2a. dosificación	3a. dosificación
A	1.5	2365	2399	2452	2446
B	2.0	2348	2349	2400	2411
C	1.0	2384	2391	2425	2419
D	2.0	2344	2287	2315	2366

* Cada valor es el promedio de 3 resultados de ensaye.

TABLA No. 6

RESUMEN DE LAS RESISTENCIAS A LA COMPRESION Y A LA FLEXION DEL CONCRETO

Tipo de Superplastificante	Dosificación	Rel. A/C++	Resistencia a la flexión a los 14 días* para prismas de 89 x 102 x 406 mm	Resistencia a la compresión a los 28 días para cilindros de 102 x 203 mm.**	
				Colados inmediatamente después de incorporar la	Colados inmediatamente después de incorporar la
			Kg/cm ²	Colados inmediatamente después de incorporar la	Colados inmediatamente después de incorporar la
				1a. dosificación	2a. dosificación
				Kg/cm ²	Kg/cm ²
A	1.5	0.42	70	415	368
B	2.0	0.42	80	400	444
C	1.0	0.42	84	431	477
D	2.0	0.42	70	321	295

+ La dosificación es en % en peso de cemento.

++ Relación agua/cemento en peso.

* Cada resultado es el promedio de los resultados de 2 prismas.

** Cada resultado es el promedio de los resultados de 3 cilindros.

TABLA No. 7

CAMBIOS EN EL PESO DE LOS PRISMAS DE ENSAYE DURANTE LOS CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO

Tipo de Dosificación del superplastificante en % en peso de cemento	Peso de los prismas* en Kgs.										Cambio relativo, %			
	Prismas de referencia					Prismas sujetos a congelamiento y deshielo**								
	W ₁₄ ⁺	W ₂₉	W ₅₂	W ₈₂	W ₉₈	W ₁₇₀	% de aumento	L ₀	L ₁₀₉ ⁺⁺	L ₃₀₀		L ₅₀₀	L ₆₄₃	L ₈₃₀
A	1.5	8.857	8.865	--	--	--	0.09	8.970	8.995	--	--	--	--	+0.28
B	2.0	9.083	9.068	9.076	9.080	--	0.18	8.879	8.865	8.859	8.877	--	--	-0.02
C	1.0	8.872	8.881	8.887	8.893	8.892	0.23	8.894	8.889	8.887	8.896	8.916	--	+0.26
D	2.0	8.714	8.727	8.722	8.725	--	0.24	8.666	8.651	8.645	8.643	--	8.67	+0.06

+ W₁₄ - peso de los prismas de ensaye a los 14 días.

++ W₁₀₉ - peso de los prismas de ensaye al completar 109 ciclos de congelamiento y deshielo.

* Cada resultado es el promedio de los resultados de 2 prismas.

** Los ensayes se terminaron a los 700 ciclos.

TABLA No. 8

CAMBIOS EN LA LONGITUD* DE LOS PRISMAS DE ENSAYE DURANTE LOS CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO

Tipo de Dosificación del superplastificante en % en peso de cemento	Longitud de los prismas**, mm													Cambio relativo, %
	Prismas de referencia					Prismas sujetos a congelamiento y deshielo***								
	L ₁₄ ⁺	L ₂₉	L ₅₂	L ₈₂	L ₉₈	L ₁₇₀	% de aumento	L ₀	L ₁₀₉ ⁺⁺	L ₃₀₀	L ₅₀₀	L ₆₄₃	L ₈₃₀	
A	1.5	2.926	2.926	--	--	--	0	3.048	3.579	--	--	--	--	0.152
B	2.0	2.957	2.957	2.969	2.972	--	0.004	3.103	3.109	3.104	3.388	--	--	--
C	1.0	2.614	2.609	2.626	2.634	2.639	0.007	2.964	2.990	2.979	3.109	3.541	--	--
D	2.0	3.261	3.256	3.269	3.274	3.266	--	3.172	3.109	3.134	3.162	3.447	0.079	+0.078

+ L₁₄ - Longitud de los prismas de ensaye a los 14 días.

++ L₁₀₉ - Longitud de los prismas de ensaye al completar 109 ciclos de congelamiento y deshielo.

* Cada resultado es el promedio de los resultados de 2 prismas.

** Longitud calibrada = 345 mm (136 pulg).

*** Los ensayes se terminaron a los 700 ciclos.

TABLA No. 9

CAMBIO EN LA FRECUENCIA FUNDAMENTAL DE RESONANCIA LONGITUDINAL DURANTE LOS CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO

Tipo de superplasticificante en % en peso de cemento	Frecuencia fundamental de resonancia longitudinal*, N, cps.										Cambio relativo, %			
	Prismas de referencia					% de cemento	Prismas sujetos a ciclos de congelamiento y deshielo**							
	N ₁₄ ⁺	N ₂₉	N ₅₂	N ₈₂	N ₉₈		N ₁₇₀	N ₀ ¹	N ₁₀₉ ⁺⁺	N ₃₀₀ ¹		N ₅₀₀ ¹	N ₆₃₄ ¹	N ₈₃₀ ¹
A	5200	5300	---	---	---	---	1.92	5210	4480	---	---	---	14.06	15.98
B	5200	5290	5370	5390	---	---	3.65	5190	5150	5150	4910	---	5.39	9.64
C	5240	5310	5390	5400	5400	---	3.05	5270	5250	5290	4050	---	23.23	26.28
D	5120	5200	5270	5320	?	5390	5.07	5220	5170	5190	5200	4990	4.54	9.61

+ N₁ - Frecuencia resonante a los 14 días.

++ N₁₀₉ - Frecuencia resonante al completar 109 ciclos de congelamiento y deshielo.

* Cada resultado es el promedio de los resultados de 2 prismas.

** Los ensayos se terminaron a los 700 ciclos.

TABLA No. 10

CAMBIO EN LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO DE LOS PRISMAS DE ENSAYE DURANTE LOS CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO*

Tipo de superplasticificante en % en peso de cemento	Velocidad del pulso ultrasónico, V, m/seg														Cambio relativo, %	
	Prismas de referencia							% de cemento	Prismas sujetos a ciclos de congelamiento y deshielo**							
	V ₁₄	V ₂₉	V ₅₂	V ₈₂	V ₉₈	V ₁₇₀	V ₀ ¹		V ₁₀₉ ⁺⁺	V ₃₀₀ ¹	V ₅₀₀ ¹	V ₆₃₄ ¹	V ₈₃₀ ¹	% de pérdida		
A	4,764	4,852	---	---	---	---	2.00	4,782	4,002	---	---	---	---	-16.32	18.37	
B	4,743	4,846	4,855	4,913	---	---	3.60	4,666	4,672	4,645	4,164	---	---	-10.78	14.38	
C	4,764	4,813	4,916	4,993	4,977	---	4.48	4,800	4,800	4,782	4,712	4,042	---	-15.81	20.25	
D	4,679	4,801	4,815	4,877	---	4,929	5.34	4,737	4,712	4,700	4,712	4,462	---	- 5.76	11.10	

+ V₁₄ - Velocidad de pulso de los prismas de ensaye a los 14 días.

++ V₁₀₉ - Velocidad de pulso de los prismas de ensaye al completar 109 ciclos de congelamiento y deshielo.

* Cada resultado es el promedio de los resultados de 2 prismas.

** Los ensayos se terminaron a los 700 ciclos de congelamiento y deshielo.

TABLA No. 11
RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION A LOS 14 DIAS Y AL CONCLUIR LOS CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO

Tipo de superplasticante	Dosificación del superplasticante en % en peso de cemento	Rel. A/C en peso	Prismas curados estandar		Resistencia a la flexión*			Observaciones
			Resistencia a los 14 días Kg/cm ²	Al concluir los ciclos c y d. Kg/cm ²	Número de ciclos de c y d	Edad en días al concluir los ciclos de c y d.	Resistencia de los prismas Kg/cm ²	
A	1.5	0.42	71	75	109	29	30**	Los prismas exhibieron daño considerable cerca de los extremos.
B	2.0	0.42	80	85	500	52	54**	Los prismas exhibieron daño considerable cerca de los extremos.
C	1.0	0.42	84	90	643	98	43**	Los prismas exhibieron daño considerable cerca de los extremos.
D	2.0	0.42	70	79	830	170	74	Los prismas se fracturaron dentro del tercio medio.

* Cada resultado es el promedio de los resultados de dos prismas. Los ensayos se efectuaron con cargas a los tercios. PL aunque la fractura ocurrió en la cara de tensión fuera del tercio medio.

** Los valores de la resistencia se calcularon con la fórmula $R = \frac{PL}{bd^2}$

EFFECTO DE LAS DOSIFICACIONES REPETIDAS

con este concreto se comportaron pobremente bajo los ciclos de congelamiento y -deshielo y sufrieron daño excesivo después de solamente 109 ciclos. Los concretos con superplastificantes B y C tenían un contenido de aire residual de 2.5 y 3.2% respectivamente. Los prismas de ensaye colados con estos concretos se comportaron relativamente bien en el ensaye de congelamiento y deshielo. El ensaye con estos prismas se tuvo que interrumpir después de 500 y 634 ciclos respectivamente, cuando los prismas mostraron deformación longitudinal excesiva. El concreto con superplastificante D tenía un contenido de aire residual de 4.0%, y los prismas colados con este concreto todavía estaban en condición excelente después de 700 ciclos de congelamiento y deshielo, pero empezaron a exhibir deterioro después de 830 ciclos, que fue cuando se terminó el ensaye.

Cabe señalarse que los ensayos de congelamiento y deshielo fueron realizados utilizando la norma ASTM C-666-76, procedimiento B "Congelamiento en Aire y Deshielo en Agua". La norma ASTM C 494-71 "Aditivos Químicos" especifica el uso del procedimiento A "Congelamiento y Deshielo Rápido en Agua" para la evaluación de los concretos con aditivos químicos. A pesar de lo anterior, se considera que los datos reportados sobre el comportamiento al congelamiento y deshielo son válidos debido a que este tipo de ensaye es un ensaye comparativo, haciéndose la comparación con los especímenes colados con las revolturas de control. Para la investigación que se reporta aquí, los prismas de ensaye colados con la revoltura de control sin aire incluido se habían desintegrado completamente en menos de 100 ciclos de congelamiento y deshielo. En esta investigación no se determinó el sistema de burbujas de aire en el concreto endurecido.

OBSERVACIONES FINALES.

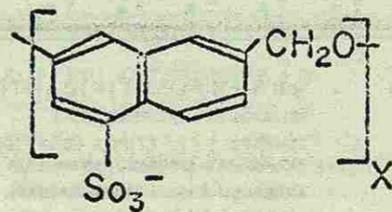
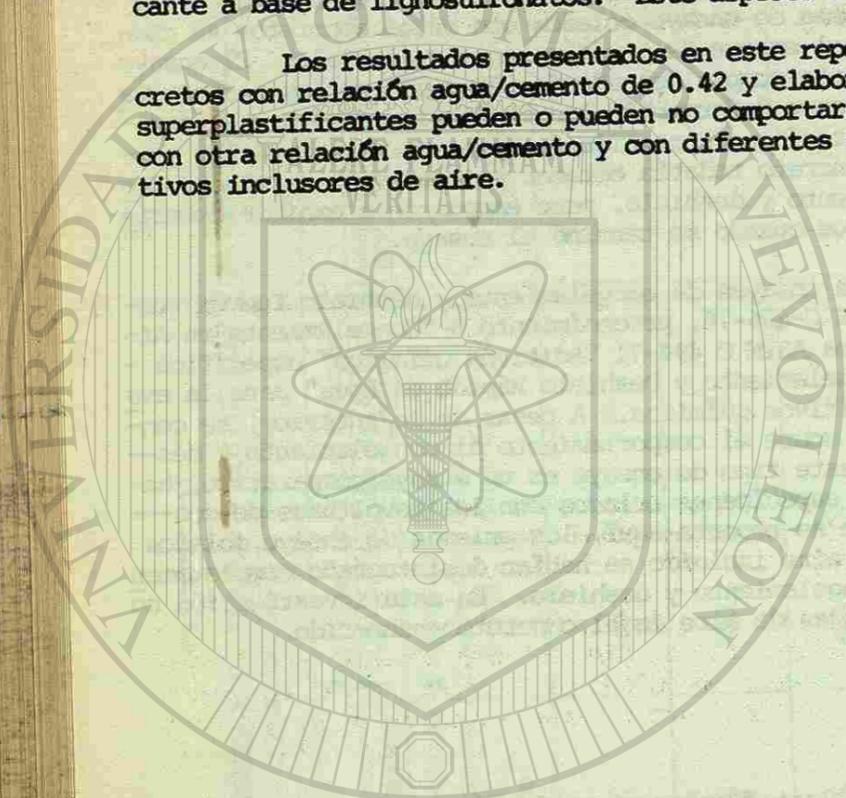
En los concretos superplastificados se pueden mantener grandes aumentos en el revenimiento durante varias horas mediante la incorporación de una segunda dosificación de un superplastificante. No se consideró deseable una tercera dosificación.

Las dosificaciones repetidas de superplastificante a base de melamina y naftaleno-sulfonato causaron pérdidas substanciales en el contenido de aire incluido en el concreto. Sin embargo, para el concreto con superplastificante a base de lignosulfonato, ocurrió todo lo contrario. La pérdida de aire incluido afecta adversamente el comportamiento del concreto en los ensayos de congelamiento y deshielo. Se necesita mayor cantidad de datos de investigaciones de laboratorio antes de que se pueda recomendar el uso de la dosificación repetida en concreto con aire incluido.

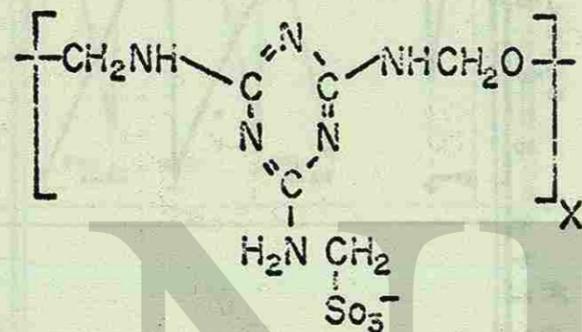
La resistencia a la compresión de los cilindros de ensaye colados después de la segunda y tercera dosificaciones de superplastificante a base de melamina y naftaleno-sulfonato fue mayor que la resistencia de cilindros colados inmediatamente después del mezclado inicial. Para el concreto con superplastificante a base de lignosulfonato ocurrió todo lo contrario.

El uso de dosificaciones repetidas puede afectar adversamente el tiempo del fraguado inicial del concreto, particularmente aquéllos con superplastificante a base de lignosulfonatos. Este aspecto requiere de mayor investigación.

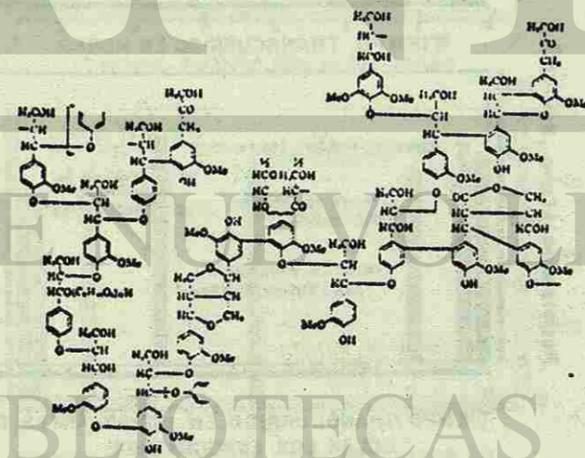
Los resultados presentados en este reporte fueron obtenidos para concretos con relación agua/cemento de 0.42 y elaborados con cemento tipo I. Los superplastificantes pueden o pueden no comportarse como se reporta en concretos con otra relación agua/cemento y con diferentes tipos de cemento, agregados y aditivos inclusores de aire.



R = NAPHTHALENE-FORMALDEHYDE



R = MELAMINE-FORMALDEHYDE



LIGNOSULPHONATE R = LIGNIN

Fig. 1.- Grupo R-Orgánico para neftaleno-formaldehído, melamina-formaldehído y lignosulfonato.

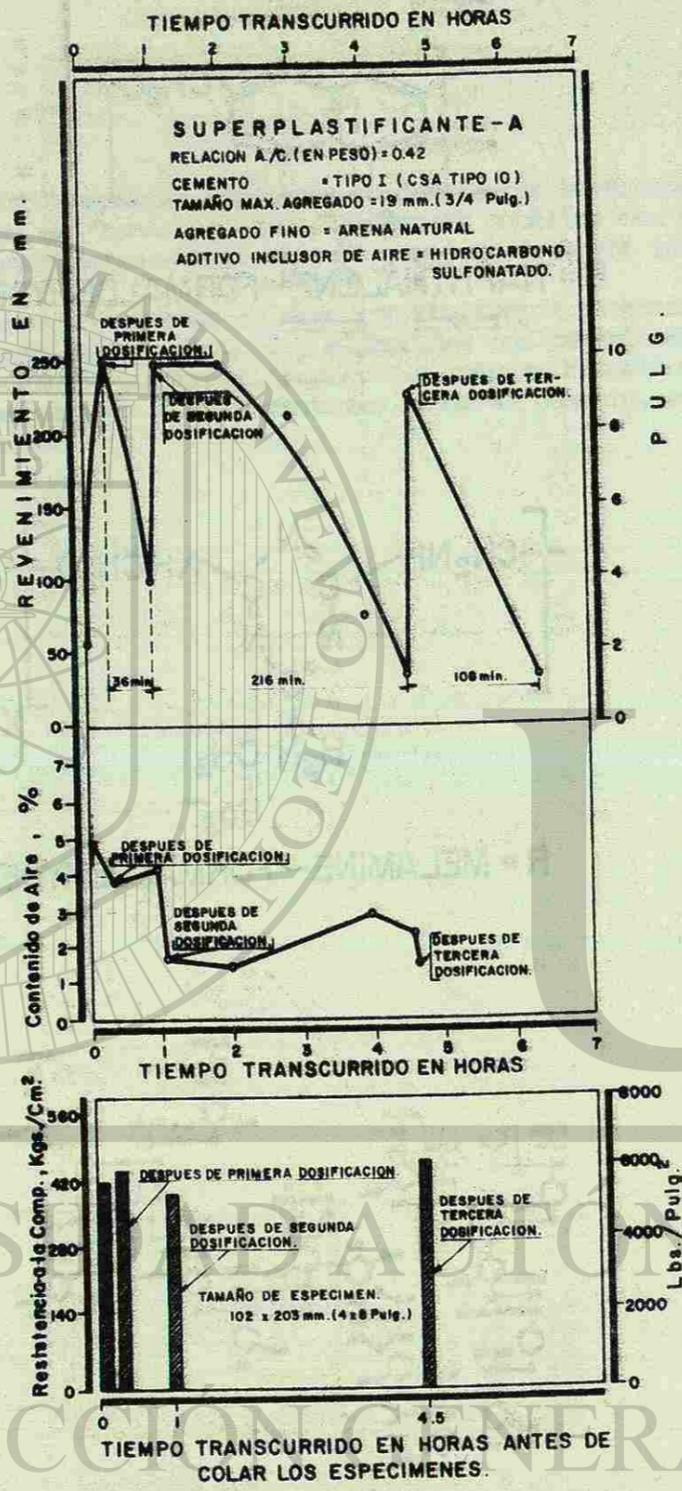


FIG. 2 TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE EL MEZCLADO INICIAL CONTRA REVENIMIENTO, CONTENIDO DE AIRE Y RESISTENCIA A LA COMPRESION SUPERPLASTIFICANTE - A.

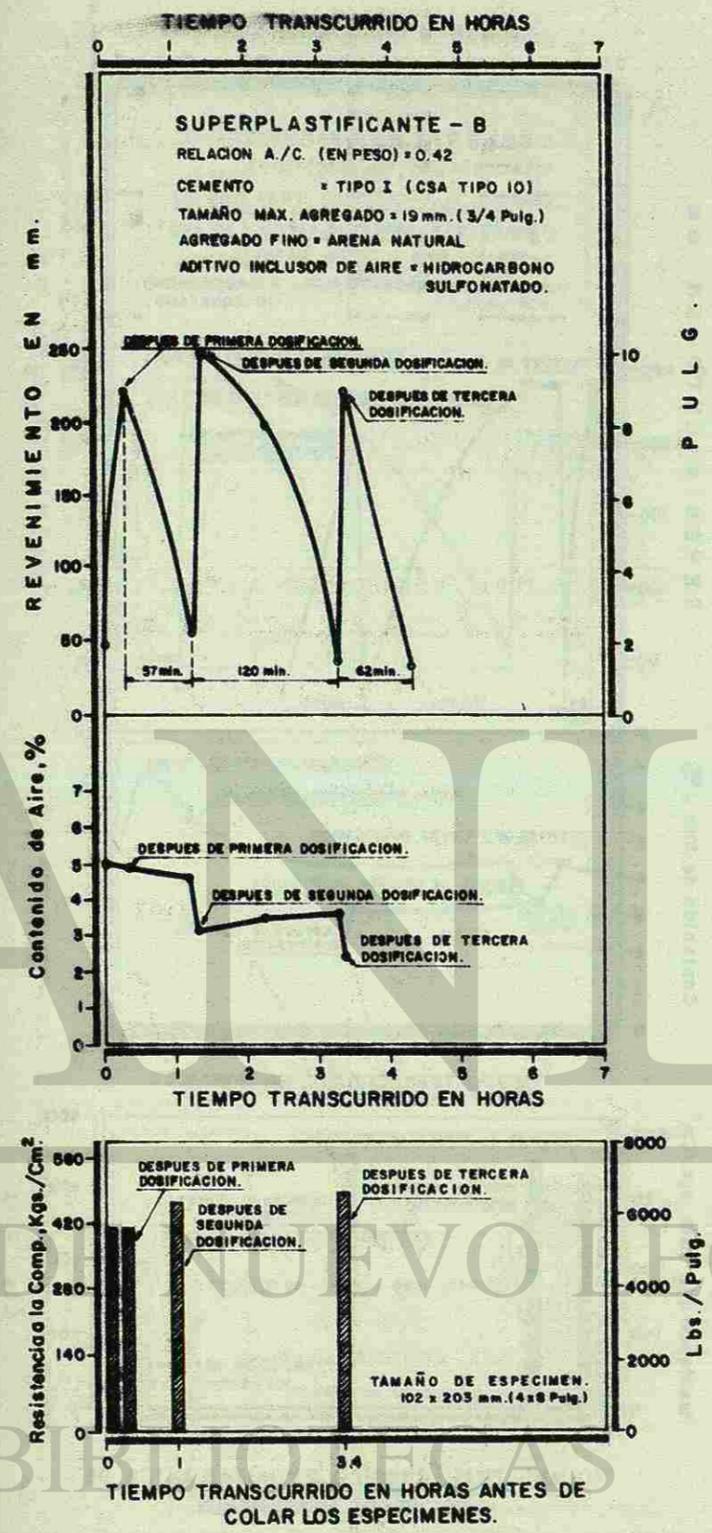


FIG. 3 TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE EL MEZCLADO INICIAL CONTRA REVENIMIENTO, CONTENIDO DE AIRE Y RESISTENCIA A LA COMPRESION SUPERPLASTIFICANTE - B

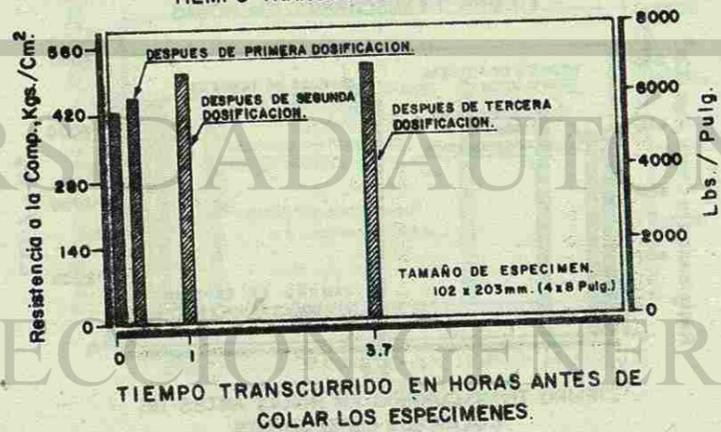
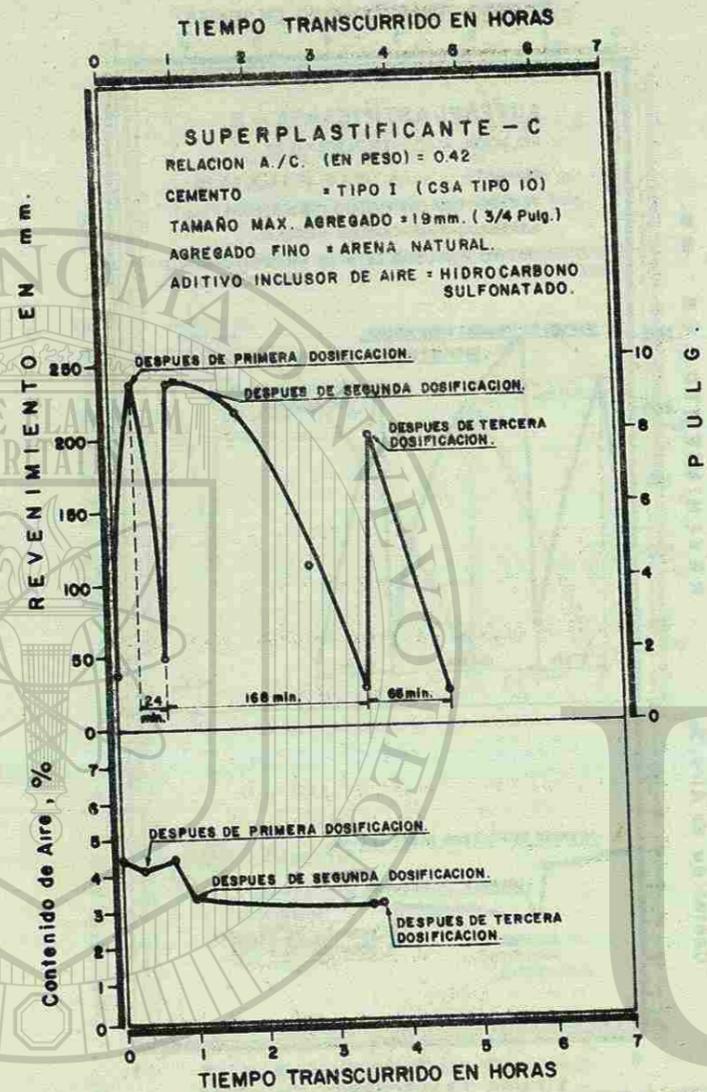


FIG. 4 TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE EL MEZCLADO INICIAL CONTRA REVENIMIENTO, CONTENIDO DE AIRE Y RESISTENCIA A LA COMPRESION SUPERPLASTIFICANTE - C.

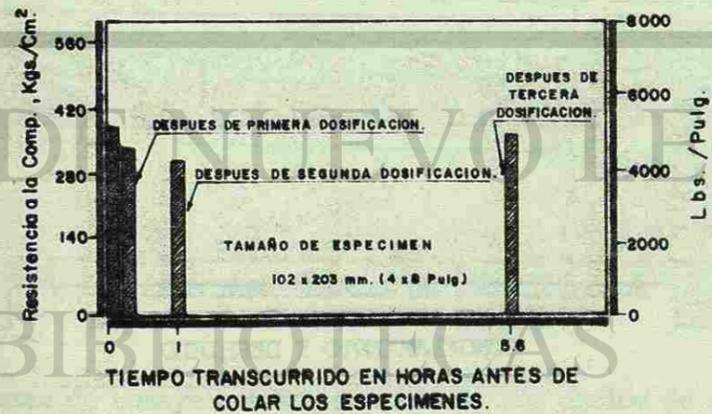
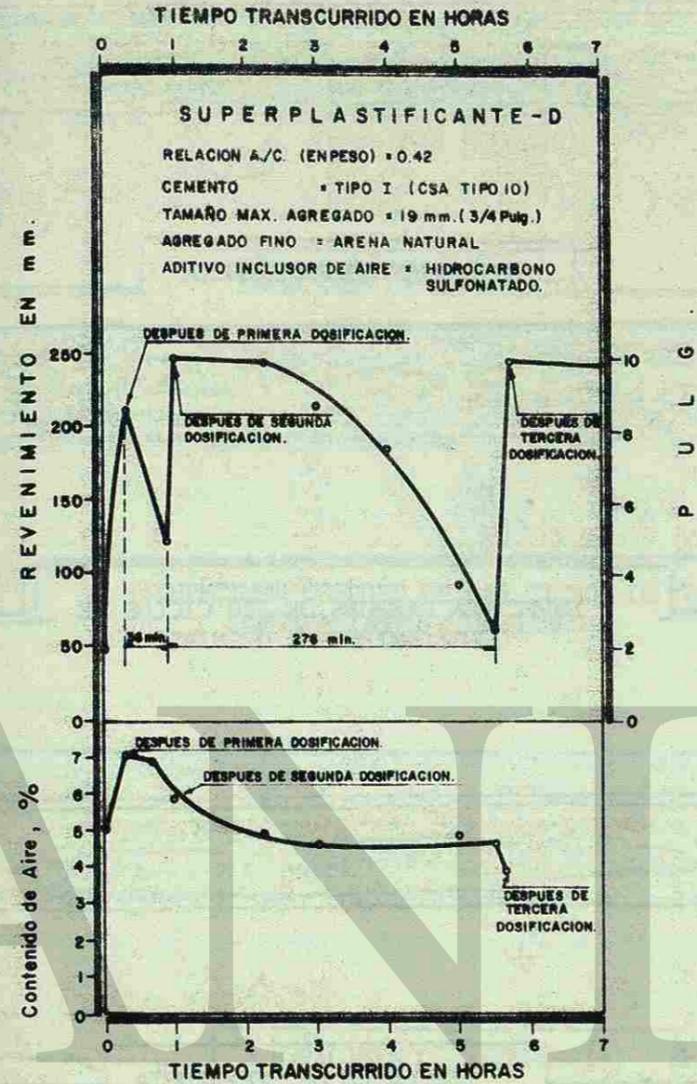


FIG. 5 TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE EL MEZCLADO INICIAL CONTRA REVENIMIENTO, CONTENIDO DE AIRE Y RESISTENCIA A LA COMPRESION SUPERPLASTIFICANTE - D.

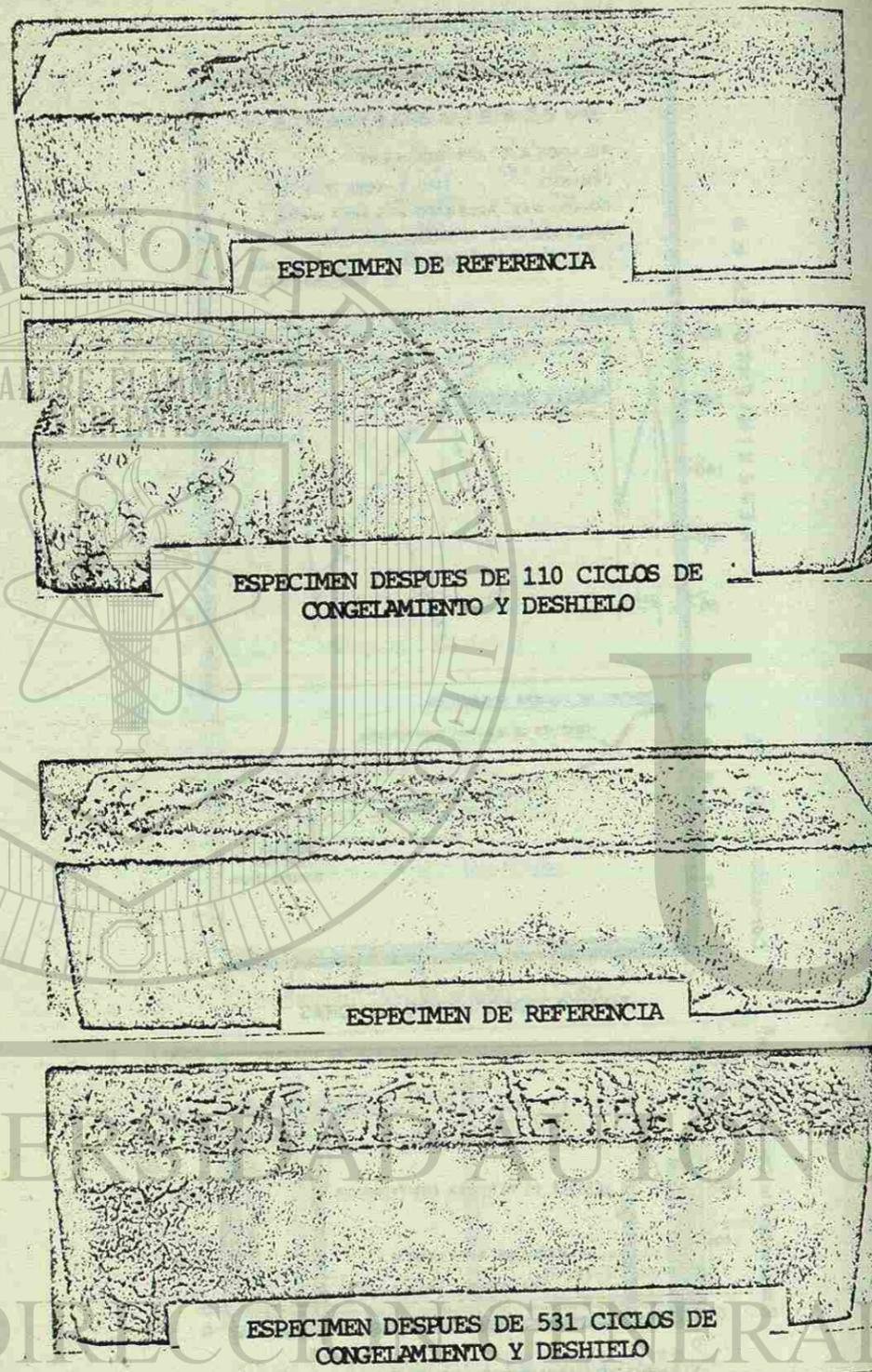


Fig. 6.- Prismas de ensaye antes y después de los ciclos de congelamiento y deshielo para los superplastificantes A y B.

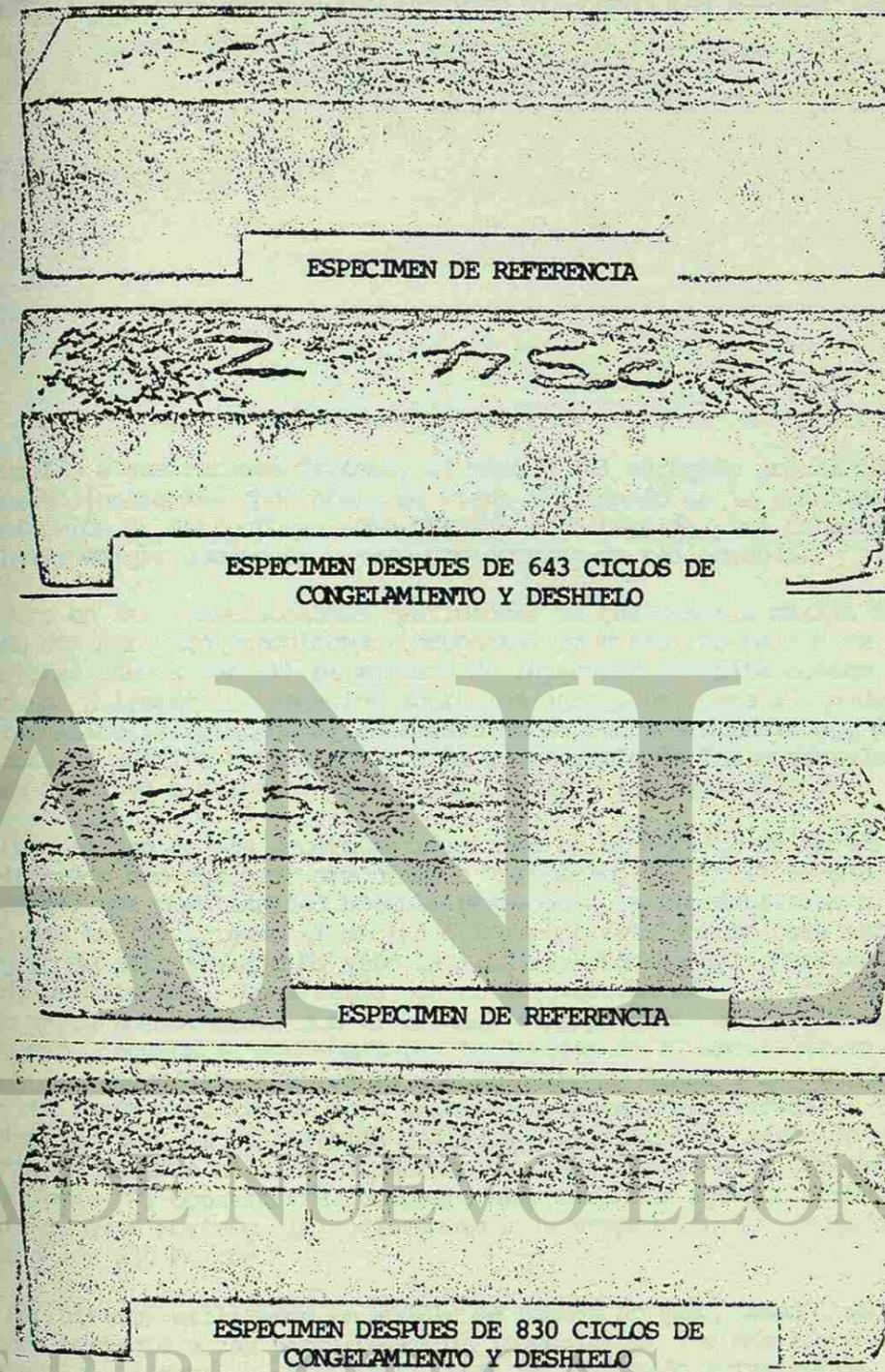
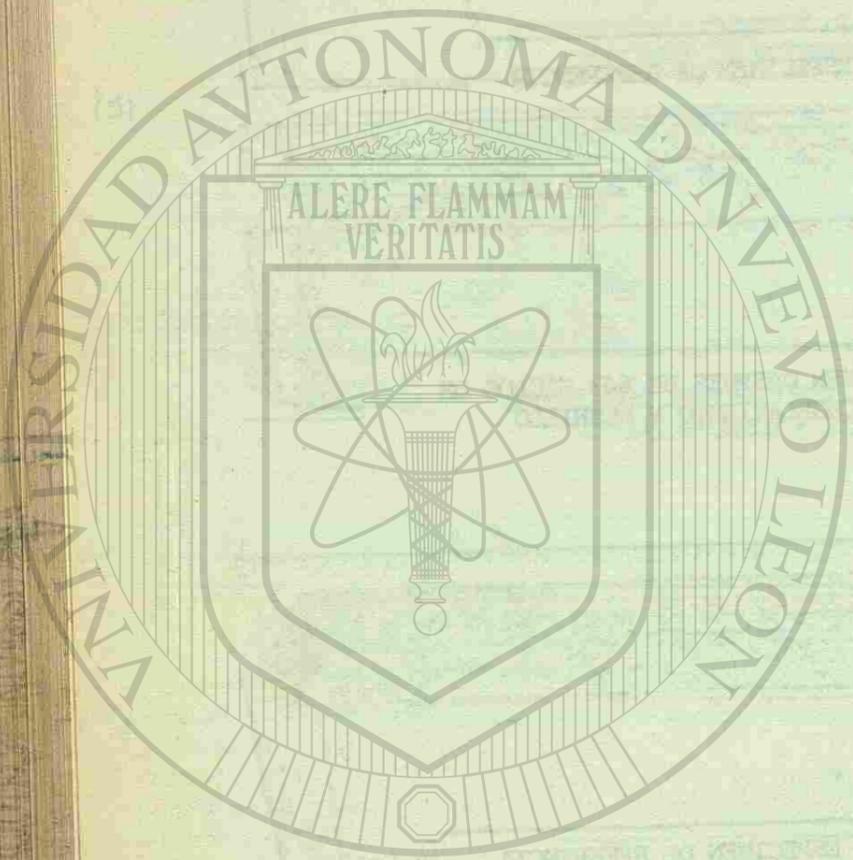


Fig. 7.- Prismas de ensaye antes y después de los ciclos de congelamiento y deshielo para los superplastificantes C y D.



DIRECCIÓN GENERAL

Shigeyoshi Nagataki*

RESUMEN

Debido a sus características, el método del agregado precolado para fabricar concreto (prepacked concrete), se viene utilizando en la práctica, no sólo en la construcción de estructuras subacuáticas sino también para concreto de alta densidad (heavy weight concrete) y como protectores de radiaciones.

Pero en las construcciones realizadas, la resistencia máxima del concreto elaborado con agregado precolado (prepacked concrete) no pasaba de los 300 Kg/cm². Esto se debe a que (1) el mortero de inyección necesita poseer una fluidez adecuada para llenar los espacios entre los agregados, pero a fin de satisfacer dicho requisito la relación agua-cemento no se puede disminuir por debajo del 50% utilizando el aditivo actual y (2) a la segregación de los materiales del mortero durante su flujo a través de los espacios entre los agregados.

Como el uso de los superplastificantes en el mortero de inyección del concreto elaborado con agregado precolado (prepacked concrete) ha dado indicaciones de poseer una peculiaridad notable respecto a la fluidibilidad y a la alta resistencia, se ha investigado el mérito del superplastificante para este método. Así, el objeto de este trabajo ha sido la alta resistencia del concreto elaborado con agregado precolado. De acuerdo con esta investigación, la propiedad respecto al flujo varía notablemente con el uso del superplastificante. Tal que, aún con una relación pequeña de agua-cemento, la tensión de fluencia que se obtiene es pequeña y la viscosidad plástica es aproximadamente igual a la del mortero con el aditivo utilizado actualmente (con relación agua-cemento elevada). En cuanto a la resistencia, como la utilización del superplastificante reduce la relación agua-cemento, el mortero en sí ha alcanzado una resistencia a la compresión de 600 a 700 Kg/cm². Al construir el concreto elaborado con agregado precolado con la inyección de este mortero, la resistencia a la compresión del espécimen ha sido superior a los 500 Kg/cm².

Por último, utilizando un modelo de ensaye de gran tamaño, se han hecho observaciones respecto a las propiedades de inyección de los dos tipos de mortero; uno con superplastificante y otro con el aditivo utilizado actualmente. Según este ensaye, el uso del superplastificante en el mortero mejora la inyectabilidad. También los ensayos de resistencia que fueron efectuados con muestras extraídas del modelo de prueba, luego del proceso de curado, han indicado valores superiores a los 500 Kg/cm² y además se ha logrado minimizar la variación de las resistencias. Estos resultados amplía la aplicabilidad del concreto elaborado con agregado precolado, concreto pretensado, etc.

* Doctor en Ingeniería y Profesor Asociado del Depto. de Ingeniería Civil del Instituto Tecnológico de Tokio.

I N D I C E

RESUMEN.	229
INTRODUCCION.	231
ENSAYE DE LA FLUIDEZ DEL MORTERO DE INYECCION	231
LA UTILIZACION DE LOS SUPERPLASTIFICANTES EN EL MORTERO DE INYECCION, SU APLICACION EN EL CONCRETO ELABORADO CON AGREGADO PRECOLADO Y PROPIEDADES DE SUS RESISTENCIAS.	236
PROPIEDADES DE INYECCION DEL CONCRETO ELABORADO CON AGREGADO PRECOLADO DE ALTA RESISTENCIA. DISTRIBUCION DE LAS RESISTENCIAS.	240
CONCLUSION	241
AGRADECIMIENTO	244
REFERENCIAS	245

INTRODUCCION

El método del concreto elaborado con agregado precolado (Prepacked concrete) no sólo se aplica a la construcción de concreto masivo, y en la reparación de estructuras, sino que también en obras sub-acuáticas importantes: tales como obras submarinas, estructuras portuarias, unión bajo el agua de elementos precolados. Debido a sus características, el concreto elaborado con agregado precolado viene siendo actualmente utilizado en la práctica en aplicaciones donde se exige un concreto de alta densidad (heavy weight concrete) tal como en los reactores nucleares o bien como protectores de radiaciones.

La característica de este método consiste en inyectar el mortero en el espacio libre entre los agregados gruesos, los cuales son colocados de antemano. Para que sea posible la inyección es condición principal que el mortero tenga una fluidez adecuada. Hasta el momento, en lo referente al método del concreto elaborado con agregado precolado, para satisfacer con la fluidez necesaria la relación agua-cemento del mortero estaba cerca del 50%. Pero la resistencia a la compresión del concreto elaborado con agregado precolado que se obtenía a los 28 días, no pasaba de los 300 Kg/cm². Además, durante la inyección (según resultados de ensayos con el método existente), la zona más distante al tubo de inyección presentaba una caída en la superficie de ascenso del mortero. Este fenómeno se debe a la existencia de un gradiente de flujo. La resistencia del concreto disminuía debido a que entre el mortero inyectado y el agua con que se inunda el encofrado se producía un disturbio. Como consecuencia, el no poder elevar la resistencia constituye un motivo de preocupación para realizar el cálculo de estructuras con concreto elaborado con agregado precolado. Esta limitación se debe: (1) a la restricción de la relación agua-cemento desde el punto de vista de la fluidez y (2) al fenómeno de la disminución de la resistencia por la existencia del gradiente de flujo (1,2). Por lo tanto, ha sido objeto de este trabajo estudiar el mérito de los superplastificantes para el logro de la alta resistencia del concreto elaborado con agregado precolado. Durante la realización de este trabajo fue comprobado que el método de determinación del flujo (3) mediante el cono de fluidez "Cuerpo de Ingenieros. Procedimiento de Ensaye CRD-079-58", no constituye lo más adecuado en el caso de utilizar los superplastificantes. Para solucionar este inconveniente, en los ensayos se utilizaron un dispositivo de medición proyectado y construido por el autor, y el viscosímetro de rotación (Rotation viscometers) tipo Couette. Los resultados de los dos tipos de medición son discutidos y presentados en este trabajo.

2.- ENSAYE DE LA FLUIDEZ DEL MORTERO DE INYECCION.

Como se sabe, en el concreto elaborado con agregado precolado, la fluidez del mortero se determina por el tiempo de flujo del cono de fluidez (flow cone), es decir, el tiempo que necesita los 1725 ml de mortero en fluir del embudo. Al momento, en construcciones de concreto elaborado con agregado precolado, el tiempo de flujo que se considera como patrón oscila entre los 16

a 20 segundos. Esto se debe: (1) a la notable segregación de los materiales cuando el tiempo es inferior a los 16 segundos y (2) la dificultad en colmar los espacios entre los agregados cuando el tiempo es superior a los 20 segundos.

Años atrás, al mezclar el plastificante y polvo de aluminio al mortero, el límite del tiempo de flujo medido en el cono de fluidez (flow cone) estaba entre los 30 a 40 segundos. Al pasar este tiempo se hacía difícil su medición por darse obstruido dentro del cono. Más, al utilizar el superplastificante en el mortero de inyección, su fluidibilidad cambiaba notablemente, siendo posible su medición en el cono de fluidez (flow cone) aún con 60 a 90 segundos de tiempo de flujo. También ha sido factible construir el concreto elaborado con agregado colocado con este tipo de mortero ya que se ha podido inyectar y llenar los espacios entre los agregados; los cuales han sido colocados previamente dentro del cofrado. A fin de esclarecer estos fenómenos se realizaron los ensayos de fluidez, cuyos resultados son presentados en este capítulo.

Uno de los resultados del ensayo de fluidez se representa en la figura 1. Este ensayo fue realizado con mortero con distintas dosificaciones y mediciones en el viscosímetro de rotación (Rotación viscometers) tipo Couette. En el eje X (horizontal) se representa la tensión de corte y en el eje Y (vertical) la velocidad de corte. La curva representada es la llamada curva de consistencia e inercia de corte. La curva representada es la llamada curva de consistencia e inercia de fluidez del mortero. Al considerar a esta curva como "Bingham body", la viscosidad plástica estará dada por la inversa de la pendiente a la curva y la tensión de fluencia por la intersección de la curva con el eje X. Por lo tanto, la viscosidad se hace mayor cuanto menor es la pendiente y la tensión de fluencia se hace mayor cuanto más se traslada a la derecha el punto de intersección de la curva con el eje X. En la figura 1 se puede observar la influencia de la relación agua-cemento en la curva de consistencia y a la vez el grado de influencia del uso del superplastificante. Según se indica en ella, las curvas de consistencia (con distintas relaciones de agua-cemento) varían esencialmente con el empleo de los superplastificantes. Así, en el caso del mortero simple (plain mortar), la variación de la relación agua-cemento parece influir más a la tensión de fluencia que a la pendiente. En cuanto al uso del superplastificante, parece influir más a la pendiente que a la tensión de fluencia. Aunque no se ha incluido en la figura los datos de plastificantes comunes, se sabe que al utilizar el plastificante base lignina el resultado es similar al del mortero simple.

A partir de la curva de consistencia, se ha tratado de obtener la fluidez del mortero (con diferentes dosificaciones) desde el punto de vista cuantitativo. Y en la figura 2 superior se ha indicado la relación cemento-agua con respecto a la viscosidad cinemática (cociente de dividir la viscosidad plástica por el peso específico) y en la figura 2-inferior la relación cemento-agua con respecto a la tensión de fluencia. Según estas gráficas, se puede concluir que: (1) respecto a la viscosidad cinemática, los morteros con superplastificantes poseen forma aproximadamente similar a los morteros simples, con valores trasladados solamente al eje de cemento-agua. Por ejemplo; el valor del mortero simple con relación cemento-agua 1,8 (relación agua-cemento 55%) y el valor del mortero con superplastificante con relación cemento-agua 3,1 (relación agua-cemento 32%) poseen valores aproximadamente iguales, (2) respecto a la tensión de fluencia, en

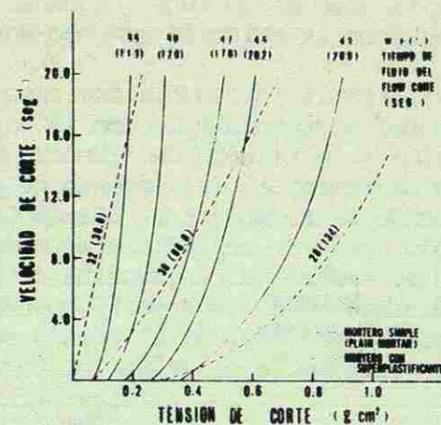


Fig. 1.- Curvas de consistencia con distintas relaciones de agua-cemento. (Ensayo realizado con "Viscosímetros de Rotación" tipo Couette).

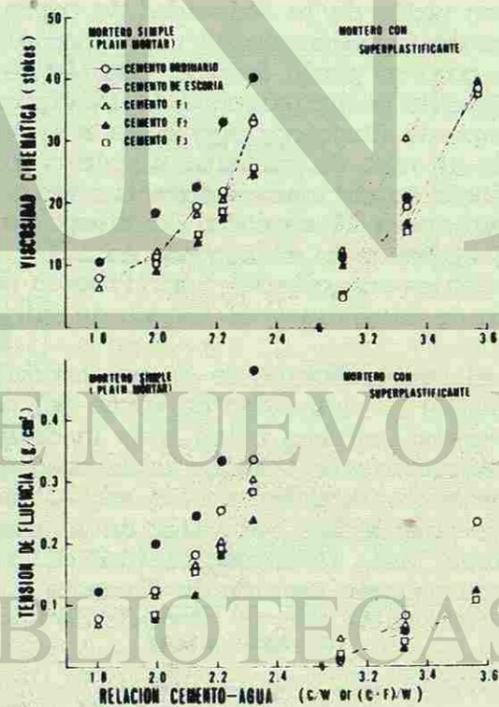


Fig. 2.- Relación entre el "Número Reológico" del mortero de cemento y relación cemento-agua.

ral, con el uso del superplastificante se obtienen pequeñas tensiones de fluencia y ésta se aproxima a cero cuando la relación cemento-agua es inferior a 3,1.

La figura 2 también indica la influencia del tipo de cemento utilizado en el ensaye. Así, en el caso del mortero simple con la misma relación de agua-cemento, la viscosidad cinemática y la tensión de fluencia van decreciendo de acuerdo a los siguientes tipos de cemento: (a) Cemento de alto horno (b) Cemento Portland (c) Cemento F1 (cuando se reemplaza el 30% de Cemento Portland por la ceniza fina (fly ash) de 2510 cm²/g de superficie específica, en el método Blaine) (d) Cemento F3 (cuando se emplea la ceniza fina de 3340 cm²/g de superficie específica, en el método Blaine) y (e) Cemento F2 (cuando se emplea la ceniza fina de 2920 cm²/g de superficie específica, en el método Baline). Más, al utilizar el superplastificante, la influencia de la variación del tipo de cemento se hace insignificante.

Para definir lo establecido hasta el presente sobre el significado físico de los valores obtenidos en el "cono de fluidez" se representa en la figura 3 y 4 la relación de la viscosidad cinemática y la tensión de fluencia con respecto al tiempo de flujo. Se admite una correlación entre el tiempo de flujo y la viscosidad cinemática, más, el estilo es bien diferente entre el mortero simple y el mortero con superplastificante. En cuanto al tiempo de flujo y la tensión de fluencia no existe correlación alguna. Todo esto se puede explicar de la siguiente forma: En el caso del "cono de fluidez", cuando el tiempo de flujo es de 20 segundos, el valor medio de la velocidad de corte es de 430 seg⁻¹ y cuando el tiempo de flujo sea de 60 segundos, le corresponde una velocidad media de 143 seg⁻¹. Por lo tanto, como se puede deducir también de la curva de consistencia, el tiempo de flujo depende principalmente de la viscosidad cinemática. Más, en valor absoluto, el tiempo de flujo no representa a la viscosidad cinemática, por el hecho de que, según el tipo de mortero: simple o con superplastificante, para un mismo tiempo de flujo se obtienen diferentes valores de la viscosidad cinemática. Así, por ejemplo, para 20 segundos de tiempo de flujo corresponde en el primer caso de 15 a 25 stokes y en el segundo de 1,5 a 5 stokes. La velocidad de corte con este método es muy grande, justificando naturalmente la no correlación entre la tensión de fluencia y el tiempo de flujo.

Ahora bien, en el caso práctico de la construcción del concreto elaborado con agregado precolocado, la velocidad de corte del mortero de inyección estará influenciada por diversos factores tales como la dimensión de los agregados, la velocidad de ascenso del mortero, etc. Según estas condiciones, un cálculo aproximado da una velocidad de corte inferior a 0,05 seg⁻¹. Desde este punto de vista, la fluidez del mortero depende más del valor de la tensión de fluencia que de la viscosidad cinemática. Así, la inyectabilidad del mortero con superplastificante estaría dada por su pequeña tensión de fluencia y como consecuencia, se da la conveniencia de contar con un método adecuado de ensaye que permita su medición.

La figura 5 representa el Modelo de medición, proyectado y construido por el autor, a fin de realizar la medición de la fluidez del mortero cuando la velocidad de corte es pequeña. Según este método, el valor medio de la velocidad de corte correspondiente a los 20 segundos del tiempo de flujo es del orden

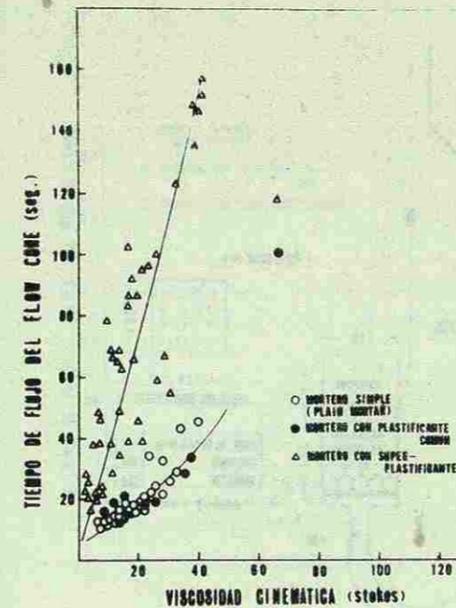


Fig. 3.- Relación entre la viscosidad cinemática y el tiempo de flujo (flow cone)

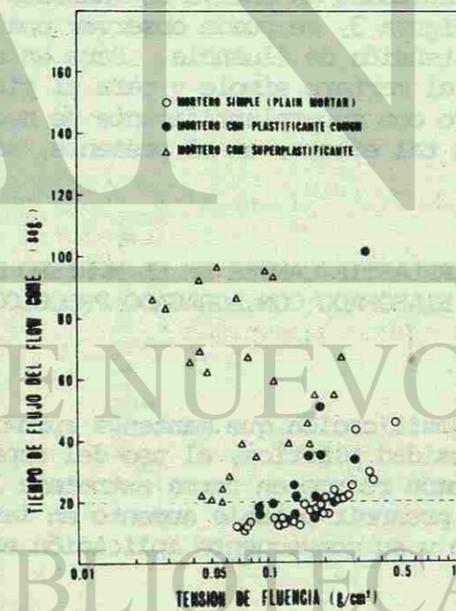


Fig. 4.- Relación entre la tensión de fluencia y el tiempo de flujo (cono de fluencia).

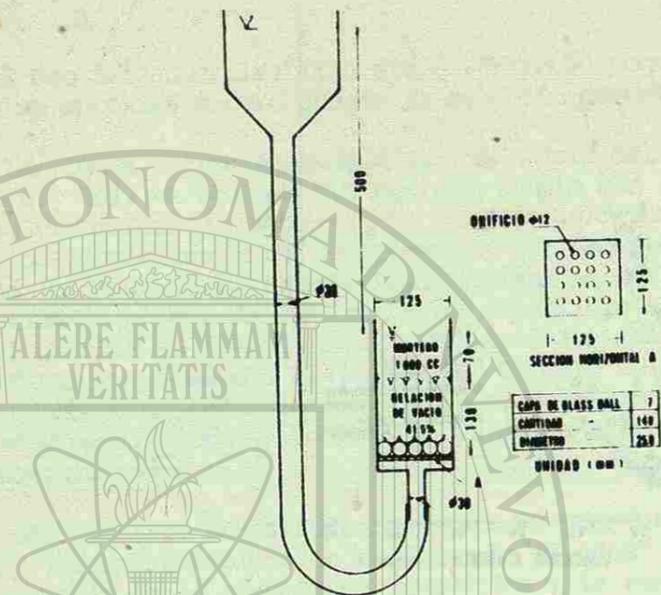


Fig. 5.- Modelo para el ensaye de fluidez

de los 8 seg⁻¹. Uno de los resultados de ensaye es indicado en la figura 6. Al comparar dicha figura con la figura 3, se puede observar una cierta correlación entre el tiempo de flujo y la tensión de fluencia. Pero en este caso también, la correlación se admite para el mortero simple y para el plastificante ordinario, siendo que para el mortero con superplastificante se necesita mejorar aún más el método de ensaye y para tal efecto, en el presente, se está efectuando la correspondiente investigación.

3.- LA UTILIZACION DE LOS SUPERPLASTIFICANTES EN EL MORTERO DE INYECCION, SU APLICACION EN EL CONCRETO ELABORADO CON AGRAGADO PRECOLOCADO Y PROPIEDADES DE SUS RESISTENCIAS.

Al seleccionar una dosificación que mantenga aproximadamente una misma tensión de fluencia o de viscosidad plástica, el uso del superplastificante con respecto a un plastificante común reduce en forma extremada la relación agua-cemento del mortero. Esto hace presumir notable aumento en las resistencias del mortero con superplastificante y su consecuente aplicación en el concreto elaborado con agregado precolocado.

Para su comprobación se han efectuado ensayos, cuyos resultados son indicados en las figuras 7, 8 y 9. La figura 7 indica el resultado de la prueba de resistencia del mortero. Si bien, la utilización de la ceniza fina como aditivo hace variar un tanto la tendencia de esta relación, la resistencia del mortero aumenta notablemente con la disminución de la relación agua-cemento.

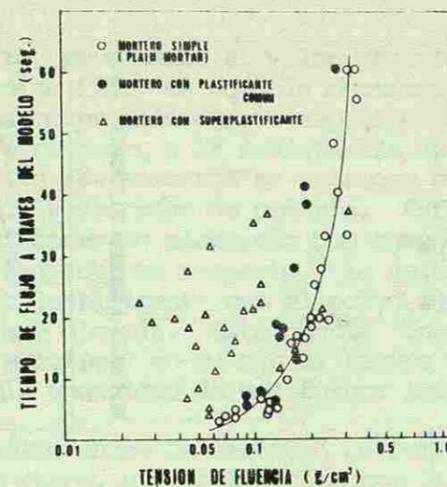


Fig. 6.- Relación entre el tiempo de flujo a través del modelo y tensión de fluencia.

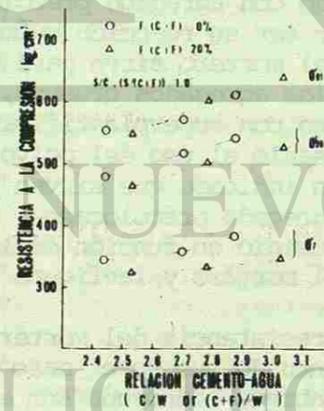


Fig. 7.- Relación entre la resistencia a la compresión y C/A del mortero de inyección.

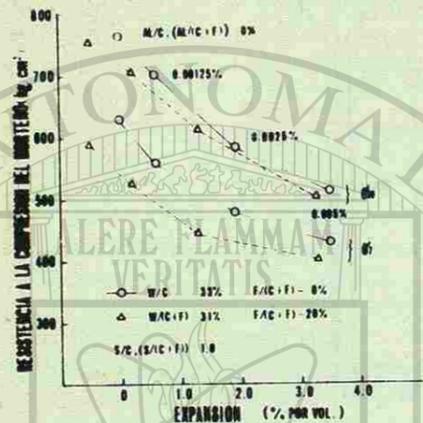


Fig. 8.- Resistencia a la compresión del mortero y su expansión.

se han obtenido valores que sobrepasan los 600 kg/cm². Este valor es aproximadamente 1,5 veces la resistencia máxima del mortero de inyección utilizado actualmente de unos 400 Kg/cm². También se puede observar en la figura 7 que a largo plazo, la ceniza fina contribuye al aumento de la resistencia y a los 91 días, con o sin ceniza fina, la relación entre la resistencia y la relación cemento-agua tiende a confundirse en una sola línea.

En el concreto elaborado con agregado precolocado, se hace necesario el uso del polvo de aluminio, por ser su reacción química de carácter expansivo. La presión debida la expansión del mortero sirve para eliminar la concentración del agua en la cara inferior de los agregados gruesos, durante el proceso de sangrado. El sangrado del mortero con superplastificante es casi nulo y desde este punto de vista sería innecesario el uso del polvo de aluminio. Pero, los resultados de ensayos previos han indicado que sirven para aumentar la resistencia del concreto elaborado con agregado precolocado. Se ha investigado la influencia del uso del polvo de aluminio en función de la expansión, así, la figura 8 la relaciona con respecto al mortero y la figura 9 con el concreto.

Según la figura 8, la resistencia del mortero disminuye en forma continua y este fenómeno es más acentuado que en el caso del mortero utilizado actualmente. En general, en el concreto elaborado con agregado precolocado, se establece como expansión del mortero de 5 a 10%. Pero esta determinación se debe efectuar más que nada, teniendo en cuenta el sangrado y como éste es muy pequeña en el mortero con superplastificante, sería conveniente que la expansión en este tipo de mortero sea dada en forma reducida.

Según la figura 9, la resistencia del concreto es baja cuando no se

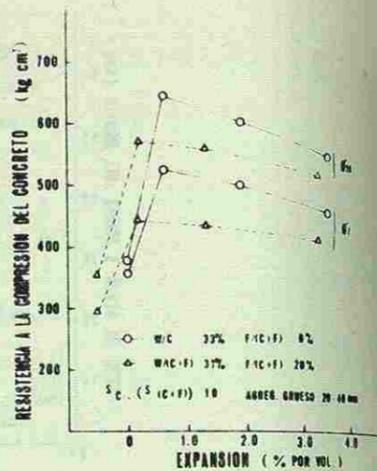


Fig. 9.- Resistencia a la compresión del concreto y expansión del mortero de inyección.

usa el polvo de aluminio, se obtiene el valor máximo entre el 0 y 1% de expansión adecuada, con o sin ceniza fina, es posible obtener resistencias superiores a los 500 Kg/cm². Esto se ha comprobado con un espécimen circular de 15 x 30 y constituye un aumento del 50% respecto a la resistencia del usado actualmente. Según este ensayo, la expansión más adecuada se consigue cuando la cantidad del polvo de aluminio es el 0,00125% del peso de cemento. Esta cantidad, comparada con la usada actualmente en el concreto elaborado con agregado precolocado es bastante pequeña. Pero existe un problema respecto a la velocidad de expansión. En el caso de utilizar el superplastificante con el polvo de aluminio se ha comprobado que esta velocidad es muy elevada. Esto podría constituir un inconveniente para la construcción en la práctica, en cuanto al tiempo entre el mezclado y la inyección. Es de suponer, la necesidad de una futura investigación al respecto.

Como la relación entre la cantidad de polvo de aluminio y la resistencia a la tensión del mortero, y la relación entre la cantidad de polvo de aluminio y la resistencia del concreto elaborado con agregado precolocado presentaba similitud, en la figura 10 se ha indicado la relación entre las resistencias a la tensión del mortero y a la compresión del concreto. Existe una correlación significativa entre las dos resistencias, aunque es de mencionarse que los valores indicados en la parte inferior, donde las resistencias son pequeñas, se han obtenido de publicaciones⁴⁾ recientes. Como la resistencia del concreto elaborado con agregado precolocado depende principalmente de la resistencia a la adherencia del mortero y los agregados gruesos, se puede considerar como apropiado el resultado de la figura 10.

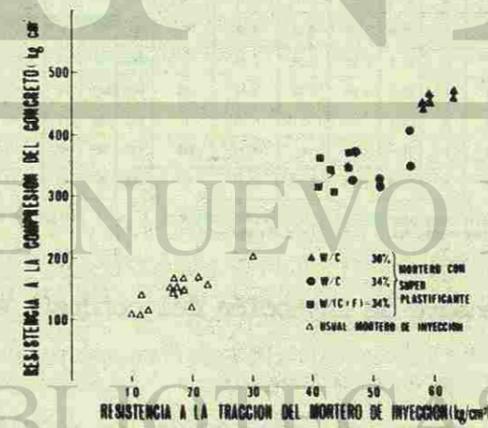


Fig. 10.- Relación entre la resistencia a la compresión del concreto y resistencia a la tensión del mortero de inyección.

4.- PROPIEDADES DE INYECCION DEL CONCRETO ELABORADO CON AGREGADO PRECOLOCADO DE ALTA RESISTENCIA.
DISTRIBUCION DE LAS RESISTENCIAS.

A fin de investigar las propiedades de inyección del mortero con superplastificante, en el espacio entre los agregados gruesos, se ha utilizado un encofrado con las siguientes dimensiones como se indica en la figura 11: 120 cm de alto, 160 cm de ancho y 20 cm de espesor. Una vez colocados los agregados gruesos de 20 a 40 mm se inyectó el mortero. Se ha investigado sobre 20 dosificaciones diferentes y esta selección fue hecha en base a ensayos anteriores. En la tabla 1 figuran las 10 dosificaciones, sobre las cuales se efectuaron los ensayos de resistencia. En cuanto a la cantidad de polvo de aluminio, previendo la duración del proceso de inyección, se ha aumentado respecto al ensayo del capítulo de tal modo que la expansión del mortero que figura en la tabla 1 también presenta mayor valor. La altura de inyección ha sido de 3 m. y se ha inyectado a partir del fondo del encofrado con un tubo de 30 mm de diámetro. La velocidad de inyección se mantuvo en 6 ltg/min. (al convertir a velocidad de ascenso del mortero equivale a 2,5 m/hora). Como la cara frontal del encofrado estaba hecho de una lámina de acrílico, a través de ella se ha observado la superficie de ascenso del mortero.

NO.	SIMBOL	M/C (M/C/F)	F/C (M/C/F)	FLOW TIME (seg)	EXPANSION (%vol)	ALONGAMIENTO	GRADIENTE DE FLUJO	EDAD DE 28 DIAS RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm ²)					
								STANDARD SPECIFICATION	ave	std	COEF. DE VARIACION DEL		
1	PO 1-47	47.0	0	17.0	5.67	1.62	0.45	394	381	422	310	11.5	3.3
2	PO 1-46	46.0	0	16.7	2.70	0.99	0.64	367	381	461	319	41.8	11.7
3	N 14	14.0	0	14.0	1.94	0	0.23	557	587	651	621	19.0	6.4
4	N 11	11.5	0	17.0	0	0	0.31	496	487	536	451	24.2	7.0
5	MI 1-40	40.0	30	29.0	7.25	0.50	0.32	447	444	499	399	27.2	6.1
6	MI 45	45.0	0	16.2	2.97	0.75	0.41	343	391	320	320	25.0	7.3
7	MI 47	47.0	0	15.0	5.05	0.66	0.40	421	440	521	326	53.3	12.1
8	M-S-14	14.0	0	58.0	1.56	0	0.23	512	551	477	477	20.1	3.9
9	M-S-14	14.0	0	55.0	0	0	0.25	491	499	528	467	26.6	5.3
10	MI-M-S-46	46.0	0	15.0	7.60	0.41	0.37	397	366	395	335	19.5	5.1

PO : PLASTIFICANTE ORDINARIO
S : CEMENTO DE ESCORIA
MI : SUPERPLASTIFICANTE
F : FLY ASH
M : BLEEDING-REDUCING AGENT

Tabla 1.- Resultado del ensayo de inyección del concreto elaborado con agregado precolocado.

En la figura 12 se ha indicado uno de los resultados del ensayo. En el mortero con plastificante común, la superficie del mortero asciende manteniendo el gradiente de flujo inicial. En cambio, el mortero con superplastificante, en los 5-10 minutos del inicio de la inyección, presenta una suave pendiente y la superficie del mortero asciende manteniendo una horizontalidad aproximada. Además para su ascenso empuja el agua y no se observa el fenómeno del disturbio en la

superficie de contacto del mortero con el agua.

El valor del gradiente de flujo que se indica en la tabla 1 se ha obtenido cuando el mortero inyectado alcanza el 80% en relación de volumen y una vez que el gradiente de flujo se haya vuelto estable. Además, entre el tiempo de flujo del cono de fluidez y el gradiente de flujo existe muy poca correlación. Esto indica que con los valores medidos en el cono de fluidez no se pueden determinar a fondo las propiedades de inyección del concreto elaborado con agregado precolocado. Se hace necesario un dispositivo de medición que indique la influencia de la tensión de fluencia o de la viscosidad respecto a la velocidad real del mortero de inyección. Si se compara el mortero con superplastificante con respecto a uno con plastificante común, el uso del superplastificante aumenta el tiempo de flujo del cono de fluidez pero en cambio disminuye el gradiente de flujo. Esto se explicaría por el hecho de que el mortero con superplastificante se aproxima más al flujo de Newton (Newton body) por su pequeña tensión de fluencia. El aumento de la relación agua-cemento del mortero con superplastificante produce una notable segregación de los materiales. Por tal razón, en este ensayo se ha usado un agente reductor del sangrado (bleeding-reducing agent) como se indica en la tabla 1 (dosificaciones No. 6, 7 y 10) con sus resultados correspondientes. Así, en cuanto al gradiente de flujo no existe gran diferencia con el caso de utilizar el plastificante común.

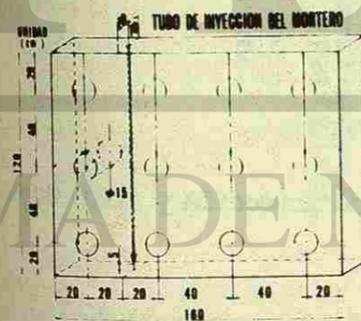


Fig. 11.- Posición de extracción de la muestra

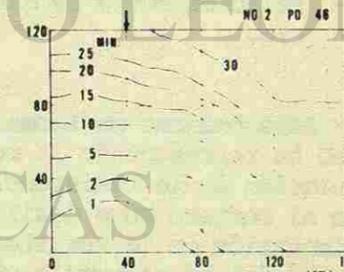
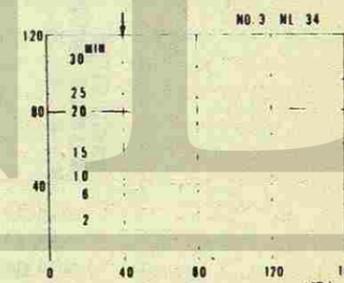


Fig. 12.- Uno de los resultados del ensayo de inyección

Una vez finalizada la inyección del modelo utilizado como espécimen, se llevó a cabo el proceso de curado al aire libre durante 28 días. Luego, como se indica en la figura 11, se ha extraído muestras de 15 cm de diámetro en dirección perpendicular a la inyección. Estas muestras constituyen los núcleos de cuadros de 40 x 40 cm. Una vez realizado el curado en agua de las muestras, hasta la edad de 91 días, se han efectuado ensayos de resistencia cuyos resultados son indicados en la tabla 1.

En la figura 13 se indica la proporción en que disminuye la resistencia del concreto respecto a la distancia de la boca de inyección. Para mayor facilidad, se ha indicado solamente la relación de disminución de la resistencia en la dirección horizontal y vertical pero se puede observar claramente que a medida que crece la distancia de flujo, la resistencia disminuye. Además, la disminución de la resistencia en un mortero con plastificante común (con mayor gradiente de flujo) es más notable que en el caso del mortero con superplastificante (con menor gradiente de flujo).



Fig. 13.- Relación entre la distancia a la boca de inyección y razón de resistencia.

Para indicar en forma cuantitativa los fenómenos antes dichos, en la figura 14 se ha representado la relación entre el gradiente de flujo y el coeficiente de variación de la resistencia a la compresión. Este gradiente de flujo corresponde al mortero cuya dosificación se indica en la tabla 1. Según esta figura, la dispersión de la resistencia es mayor cuanto mayor es el gradiente de flujo y esta tendencia se cumple aún en el caso de utilizar en el mortero el superplastificante y el agente reductor del sangrado (bleeding-reducing agent). Es decir, si el gradiente de flujo es pequeño en este tipo de mortero, también la dispersión de la resistencia se hace pequeña. Todo esto indica que la propiedad de distribución de la resistencia en el concreto elaborado con agregado precolocado se encuentra

estrechamente con el gradiente de flujo. La razón estaría dada por lo siguiente: Cuando el gradiente de flujo es grande, parte del mortero durante su traslado horizontal fluye hacia abajo siguiendo el gradiente de flujo y da lugar a la caída del mortero dentro del agua. Esto constituye en un arrastre de agua que aumenta la relación agua-cemento y al mismo tiempo la segregación de la pasta de cemento y el agregado fino. Como consecuencia la calidad del mortero disminuye. En el caso del mortero con superplastificante, por ser su gradiente de flujo pequeño, la disminución de la calidad debido al fenómeno antes dicho se hace menor. Y por ser pequeña la relación agua-cemento, aunque haya agua que tienda a aumentar dicha relación, es posible restringir al mínimo la disminución de la resistencia.

De todos modos, el resultado de la tabla 1 indica muy claramente que al utilizar el superplastificante en el concreto elaborado con agregado precolocado, es posible alcanzar los 500 Kg/cm² de resistencia. De este modo el método del concreto elaborado con agregado precolocado tendría su aplicación no sólo en el concreto masivo utilizado actualmente, sino también en concreto precolado, concreto pretensado y en numerosas obras terrestres.

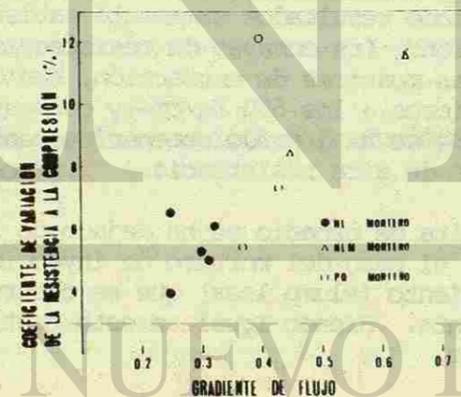


Fig. 14.- Relación entre el coeficiente de variación de la resistencia a la compresión y el gradiente de flujo.

5.- CONCLUSION.

El objeto de este trabajo ha sido investigar experimentalmente la obtención de la alta resistencia del concreto elaborado con agregado precolocado por medio del superplastificante. En lo referente a esta investigación se puede concluir:

- 1.- La propiedad de fluidez del mortero con superplastificante presenta marcada diferencia respecto al mortero utilizando actualmente. Esta característica consiste en que, aún con una relación de agua-cemento-pequeña se obtiene una pequeña tensión de fluencia y una viscosidad cinemática aproximadamente igual a un mortero ordinario.
- 2.- Hasta el momento, la medición del flujo del mortero de inyección para el concreto elaborado con agregado precolocado ha venido efectuándose por medio del cono de fluidez, más, la velocidad media de corte correspondiente a 20 segundos de tiempo de flujo es de 430 seg^{-1} , es decir, se está valuando la fluidez en torno a una gran velocidad de corte. Siendo que, en la práctica, en la construcción del concreto elaborado con agregado precolocado, la velocidad de corte que recibe el mortero con superplastificante en el cono de fluidez se está obteniendo un resultado erróneo.
- 3.- En el caso del empleo del superplastificante, también se necesita utilizar el polvo de aluminio. Pero la cantidad que se utiliza es menor, comparada con el mortero utilizado actualmente. Además, desde el punto de vista de la resistencia, la expansión más adecuada estaría dada entre 1 y 2%.
- 4.- Según los resultados de los ensayos con el modelo de gran tamaño, la reducción de la relación agua-cemento por la utilización del superplastificante ha dado resultados sumamente satisfactorios en las propiedades de inyección. Los ensayos de resistencia que se efectuaron una vez endurecidas las muestras de extracción, han dado como resultado resistencias superiores a los 500 Kg/cm^2 y con muy pequeña variación. Se puede decir que se ha logrado obtener un concreto elaborado con agregado precolocado de alta resistencia.
- 5.- Aunque por falta de espacio se ha dejado de incluir los correspondientes datos, en el caso del mortero de inyección no se observa la pérdida de revenimiento (slump loss) que se observa en el concreto con superplastificante. Siendo igual en este sentido con el mortero utilizado actualmente.

AGRADECIMIENTO.

Este trabajo ha sido el resultado de la investigación experimental efectuado durante varios años bajo la orientación del autor.

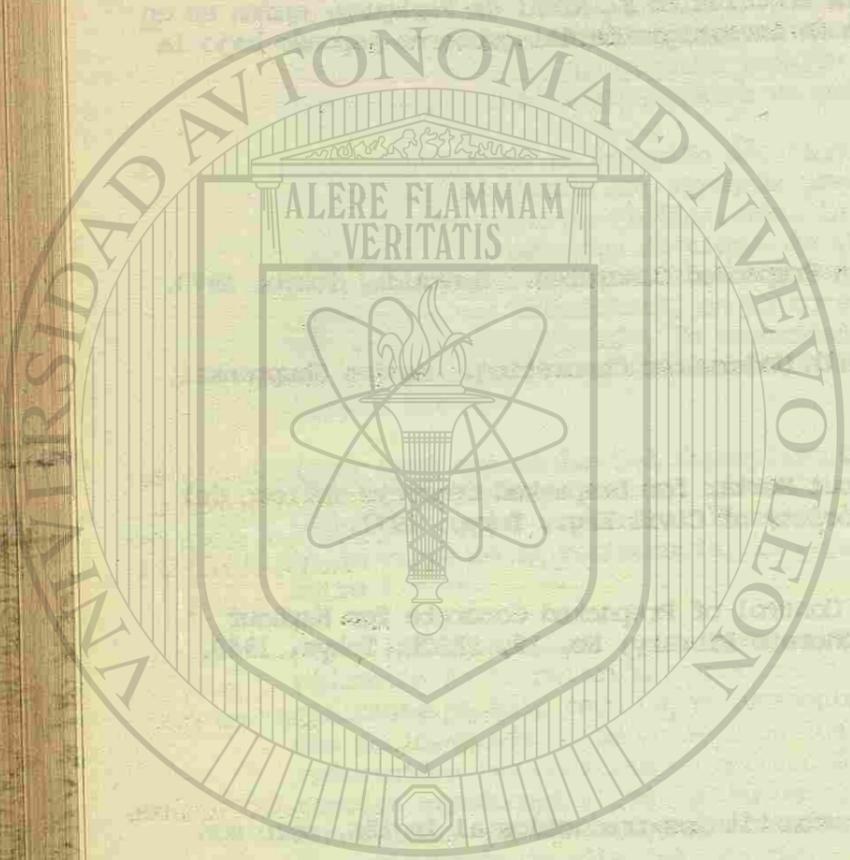
Especial reconocimiento a H. Moon, T. Kawai, H. Nagase quienes colaboraron en la investigación. A NISSO MASTER BUILDERS CO., LTD. y KAO SOAP CO., por su colaboración en la disposición de los materiales y en el ensayo del modelo de gran dimensión.

Al final, un agradecimiento especial por haber hecho la traducción al español del presente trabajo a la Ing. Yukiko F. Kishi de Paraguay, quien se encuentra al presente con una beca de investigación del gobierno japonés bajo la orientación del autor.

REFERENCIAS.

- 1.- Niimi, Y., Takegawa, K.
Construction Works with Prepacked Concretes. Sankaido, Tokyo, 1973.
- 2.- Akatsuka, Y., Seki, H.
Construction Methods with Underwater Concreting. Kajima Shuppankai, Tokyo, 1975.
- 3.- JSCE Concrete Standard.
Consistency Test of Grout Mortar for Prepacked Concrete (Método del "flow cone"). Japan Society of Civil Eng., Tokyo, 1977.
- 4.- Akatsuka, Y.
Basic Study on Quality Control of Prepacked Concrete for Harbour Construction Works. Concrete Library, No. 19, JASCE, Tokyo, 1968.

NOTA: Las bibliografías están con títulos traducidos al Inglés, pero son editados en japonés.



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CONTROL DE LA PERDIDA DE REVENIMIENTO MEDIANTE REDOSIFICACION CON SUPERPLASTIFICANTE MIGHTY.

Dr. Kenichi Hattori*

RESUMEN

"MIGHTY" es el nombre comercial dado a una serie de aditivos superplastificantes que fueron inventados por el autor en 1962 e introducidos al mercado por Kao Soap Co., Ltd. en 1964. Los productos "MIGHTY" proporcionan una gran manejabilidad al concreto fresco con efectos leves o nulos sobre retardo en el fraguado, inclusión de aire, y corrosión al acero de refuerzo.

En este trabajo se presentan los temas siguientes:

- 1.- Discu 1.- Discusión del mecanismo de pérdida en revenimiento tomando en consideración la teoría de coagulación de Smoluchowski.
- 2.- Mecanismo y efectividad de la redosificación de superplastificantes "MIGHTY" para el control de pérdida en revenimiento.
- 3.- Propiedades físicas del concreto endurecido obteniendo mediante redosificación con superplastificantes MIGHTY.
- 4.- Ejemplos de una prueba de campo con un camion revolvedor para el control automático del revenimiento mediante la redosificación con superplastificantes "MIGHTY"

* Director y químico investigador titular de la Kao Soap Co., Ltd.

CONTROL DE LA PERDIDA DE REVENIMIENTO MEDIANTE REDOSIFICACION CON SUPERPLASTIFICANTE MIGHTY.

INDICE

RESUMEN.	247
INTRODUCCION.	249
DISCUSION SOBRE EL MECANISMO DE PERDIDA DE REVENIMIENTO	250
ESTADOS DE DISPERSION DE LAS PARTICULAS DE CEMENTO ANTES Y DESPUES DE LA DOSIFICACION CON MIGHTY A INTERVALOS DE UNA HORA	253
CONTROL DEL REVENIMIENTO DURANTE 4 HORAS Y A TEMPERATURAS VARIABLES CON SUPERPLASTIFICANTE MIGHTY (ENSAYES DE LABORATORIO (10))	253
PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO SUJETO A REDOSIFICACIONES	254
ENSAYE DE CAMPO DEL CONTROL DEL REVENIMIENTO	256
CONCLUSIONES.	257
AGRADECIMIENTO	275
REFERENCIAS	275

CONTROL DE LA PERDIDA DE REVENIMIENTO

INTRODUCCION

La serie de productos MIGHTY son aditivos superplastificantes que fueron inventados por el autor en 1962⁽¹⁾ y que fueron introducidos al mercado por la Kao Soap Company, Ltd. en 1964. Los productos MIGHTY ofrecen una gran manejabilidad al concreto fresco en poco o ningún efecto sobre el retardo del fraguado, inclusión de aire, y corrosión al acero de refuerzo. Mediante la incorporación de estos productos, se han vuelto comerciales los concretos de alta resistencia de mas de 800 kg/cm² de resistencia a la compresión, y mas de 30 millones de metros cúbicos de concreto conteniendo superplastificantes MIGHTY han sido producidos en Japón principalmente para productos de concreto prefabricados tales como postes, pilotes, armaduras, vigas, durmientes, etc.

Su campo de aplicación se ha extendido a la construcción de puentes ferroviarios de grandes claros utilizando concreto de alta resistencia de 950 kg/cm². En tales aplicaciones, los reductores de agua convencionales tales como el lignosulfonato no han sido lo suficientemente efectivos por razones de baja capacidad de dispersión, gran inclusión de aire, y retardar el fraguado (2).

Al expandirse el campo de aplicación y al aumentar los requisitos para los superplastificantes MIGHTY, empezó a ser observada la rapidez de pérdida de revenimiento del concreto al que se le halla reducida una gran cantidad de agua mediante productos MIGHTY. La mayoría de estas observaciones eran basadas en experiencias anteriores con concepto simple o con revolturas conteniendo sales convencionales de lignosulfonato, y casi ninguna de ellas fueron respaldadas con ensayos comparativos validos.

Bajo tales circunstancias, el autor y sus asistentes iniciaron el trabajo de investigación con la finalidad de encontrar una solución práctica a la pérdida de revenimiento y la de entender teoricamente este fenómeno mediante la ayuda de la química coloidal.

En 1971 el autor y sus asistentes desarrollaron la técnica de dosificación con superplastificantes MIGHTY como un método práctico para resolver el problema de pérdida de revenimiento. Casi al mismo tiempo, fue desarrollada independientemente en la República Federal Alemana la técnica del "concreto fluido" o "fliessbeton" (4), (5) y (6). La técnica "fliessbeton" también es útil para disminuir el problema de la pérdida de revenimiento. Se encontró que la técnica "fliessbeton" era efectiva para mejorar la manejabilidad para un colado eficiente con concreto convencional de consistencia rígida. Por el otro lado, la técnica de dosificación utilizando productos MIGHTY volvió facil el colado en la obra del concreto de alta resistencia con una gran tendencia a perder revenimiento. Ambas técnicas son iguales en cuanto a la idea de convertir los concretos de consistencia rígida a revolturas que se puedan colar facilmente y mediante nuestros experimentos (7), se ha confirmado que los superplastificantes MIGHTY son uno de los aditivos mas efectivos para ambas técnicas.

Al autor le gustaría presentar en este trabajo su hipótesis acerca del mecanismo de pérdida de revenimiento y del efecto de la redosificación, y además acerca de las propiedades de los concretos endurecidos a los que se les ha redosificado, así como acerca de su experiencia en el ensaye de campo utilizando dosificaciones con MIGHTY.

DISCUSION SOBRE EL MECANISMO DE PERDIDA DE REVENIMIENTO

La pérdida de revenimiento del concreto puede atribuirse a cambios químicos y físicos en la pasta de cemento del concreto fresco y a la sedimentación del agregado grueso y del fino en el sistema. En esta última pueda que no sea importante cuando se está realizando el mezclado. Muchas interpretaciones presentadas en el pasado acerca del mecanismo de pérdida de revenimiento parecían enfatizar la hidratación química del cemento mientras muy pocos parecen discutir la coagulación física de las partículas de cemento.

En la práctica, la disminución rápida del agua libre en la pasta de cemento es causada por la acción química rápida y por la absorción del agua en las partículas del cemento inmediatamente después del contacto del cemento con el agua (7). Este hecho se observa claramente a través de la curva del calor de hidratación mostrado en la figura 4. Esta hidratación química rápida continúa generalmente durante varios minutos, tiempo durante el cual se piensa que la coagulación está ocurriendo rápidamente. Sin embargo, las partículas coaguladas formadas así pueden ser separadas mecánicamente durante el proceso de mezclado y generalmente no se refleja en la medición del revenimiento su influencia esperada sobre el fraguado del concreto.

El cemento pierde su gran reactividad (7) (8) después de su contacto con el agua y permanece así durante varias horas en una etapa inactiva. Esta etapa inactiva es llamada "etapa latente". La revuelta de concreto continúa perdiendo revenimiento a lo largo de esta etapa, aún cuando la rapidez de la hidratación se considera baja. Se considera que la pasta de cemento está en un estado de dispersión coloidal químicamente inactivo. Durante el período en que está ocurriendo continuamente la pérdida de revenimiento. Así, se puede decir que la pérdida de fluidez es causada principalmente por la coagulación física de las propiedades coloidales.

La discusión en este trabajo acerca del mecanismo de pérdida de revenimiento se basa fundamentalmente sobre la teoría de Smoluchowski (9) de coagulación de partículas coloidales, pero su teoría, la cual desprecia el efecto de la gravedad, puede no ser aplicable directamente a partículas grandes de cemento con diámetro de 1 a 88 mm. de las cuales el radio promedio está en el rango de 5 a 10 mm.

Puede haber dos causas concebibles para la disminución del número de partículas. Una es por la colisión entre dos partículas causadas por el movimiento browniano y otra es debida a la fuerza de gravedad que vence la barrera

de energía la cual puede ser substituida por V. max. Si nosotros suponemos que el número total de partículas disminuye como se menciona arriba, y que nunca aumenta por separación, la rapidez de disminución del número de partículas puede ser expresada mediante la siguiente ecuación:

$$-\frac{dn}{dt} = K \cdot n^2 \cdot e^{-V_{max}/kt} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

n = Número total de partículas después de un tiempo definido (particularmente)

k = Tiempo

V_{max} = Barrera de energía máxima en la curva potencial de interacción entre dos partículas.

k = Constante de Boltzman

T = Temperatura

Esto se integra a:

$$1/n = k \cdot t \cdot e^{-V_{max}/kt} + \text{constante} \dots \dots \dots (2)$$

Suponiendo que hay N. partículas por cm³ en el medio, a t = 0, entonces

$$1/n - 1/N_0 = k \cdot t \cdot e^{-V_{max}/kt} \dots \dots \dots (3)$$

Para determinar el tiempo (t^{1/2}) para que el cual se reduce a la mitad el número de partículas, se obtiene la siguiente fórmula substituyendo n por N/2 y t por t^{1/2}.

$$t^{1/2} = \frac{1}{k \cdot N_0} \cdot e^{V_{max}/kt} \dots \dots \dots (4)$$

Para encontrar la relación entre t^{1/2} y la relación agua/cemento (A/C), se expresa como sigue:

$$N_0 = \frac{C}{4} \cdot \frac{3}{3} \cdot \frac{1}{(A+C)} \dots \dots \dots (5)$$

Donde:

C = Peso del cemento (grs.)

W = Peso del agua (grs.)

= Peso específico del cemento
 r = Radio promedio de las partículas

La siguiente fórmula relacionando $t^{1/2}$ y A/C se obtiene combinando las ecuaciones (4 y (5)

$$t^{1/2} = \frac{1}{K} \cdot \left(\frac{4}{3}\right)^3 \cdot \left(1 + \frac{V_{max}}{kt}\right) \dots (6)$$

A partir de la ecuación (6), se puede esperar que la relación entre $t^{1/2}$ y A/C sea lineal si $\frac{1}{K}$, $\frac{4}{3}$; y V_{max}/kt son constantes, y esto se confirma mediante la medición experimental del $t^{1/2}$ para la pérdida de fluidez de la pasta de cemento que reúne tales condiciones. La relación lineal entre $t^{1/2}$ y A/C se muestra en la figura 2.

En general, la viscosidad de un sistema heterogeneo depende principalmente de la viscosidad de la fase continua. Así la relación lineal confirmada para la pasta también debe aplicarse al revenimiento al tiempo $t^{1/2}$ ($S^{1/2}$) del concreto.

En los ensayos de las revolturas de concreto con contenidos de cemento de 450 a 500 kg/m³, las dosificaciones del superplastificante MIGHTY aumentaron al disminuir la relación A/C a manera de mantener el revenimiento a 20 cm. En este caso, la relación entre A/C y $S^{1/2}$ fue aproximadamente lineal como se muestra en la figura 3. El aumento en el potencial zeta debido a la compresión de la doble capa eléctrica que resulta debido al aumento en concentración de iones inorgánicos provocada por la disminución en la relación agua/cemento. A partir de la suposición anterior, la V_{max} se mantendría constante y se podría observar una relación lineal.

Para una relación agua/cemento constante, la ecuación (C) se podría expresar como sigue:

$$t^{1/2} = A \cdot e^{V_{max}/kt} \dots (7)$$

Tomando el logaritmo de ambos lados

$$\ln t^{1/2} = \ln A + \frac{V_{max}}{k} \cdot \frac{1}{t} \dots (8)$$

A partir de la ecuación (8), se sabe que la relación entre el logaritmo de $t^{1/2}$ y $1/t$ es lineal si V_{max} es constante. A través del experimento en el cual se mantiene constante el nivel de dispersante, se continúa la relación lineal entre el logaritmo de $S^{1/2}$ y $1/T$. El resultado se muestra en la figura 4. A partir de la misma ecuación se puede generalizar que $S^{1/2}$ se puede prolongar

V_{max} mediante dosificaciones mayores de un dispersante adecuado. El análisis de las ecuaciones teóricas y de los resultados experimentales sugieren que la coagulación de las partículas de cemento, o la formación de una unión física esta jugando un papel importante en la pérdida de revenimiento, Además,

aporte que la redosificación con un dispersante debe ser efectiva para recuperar el revenimiento aumentado V_{max} y dispersado de nuevo las partículas coaguladas.

ESTADOS DE DISPERSION DE LAS PARTICULAS DE CEMENTO ANTES Y DESPUES DE LA DOSIFICACION CON MIGHTY A INTERVALOS DE UNA HORA.

Como se supone en el párrafo anterior, la coagulación de las partículas en la pasta de cemento debe ser el factor principal responsable de la pérdida de revenimiento. A partir de las ecuaciones (6), (7) y (8), se puede concluir que la rapidez de coagulación es una función de V_{max} y de T.

En lugar de medir V_{max} directamente, se determinó el potencial zeta sobre las partículas de cemento para estimar la influencia de las reclasificaciones sobre la barrera de energía formada sobre la superficie de las partículas. También fueron determinadas las cantidades de absorción de las partículas de cemento y la viscosidad de la pasta para confirmar el aumento en la fluidez.

Como se muestra en la figura 5, la cantidad de absorción y del potencial zeta aumentaron con cada dosificación, y la viscosidad disminuyó al mismo tiempo. Las fotografías microscópicas también mostraron claramente el cambio del estado coagulado al dispensado antes y después de la clasificación. Como también se muestra en la figura 5, se requirió mayor potencial zeta para dispersar las partículas coaguladas que para la primera dispersión.

CONTROL DEL REVENIMIENTO DURANTE 4 HORAS Y A TEMPERATURAS VARIABLES CON SUPERPLASTIFICANTE MIGHTY (ENSAYES DE LABORATORIO (10))

Los siguientes experimentos fueron realizados para confirmar la suposición acerca de la efectividad de la redosificación descrita en los párrafos anteriores.

Se utilizó una revoltura de concreto con 20 cm. de revenimiento y 4% de aire incluido para el ensaye de control del revenimiento. El proporcionamiento se muestra en la tabla 1. Todos los materiales habían sido almacenados durante un día antes del ensaye en cuotas donde la temperatura fue controlada a 10, 20, 30, y 35°C.

TABLA No. 1
 PROPORCIONAMIENTO DEL CONCRETO
 kgs/m³.

REV.	A/C	AG.FINO/AG.GRUESO	CEMENTO	AGUA	AG.FINO	AG.GRUESO	LIGNOSULFONATO
20 cm.	57.7	46.0	300	173	813	965	0.25 %

Fueron incorporados dos tipos de superplastificantes MIGHTY (MIGHTY 150) tipo normal concentrado al 40%, y el tipo retardante "MIGHTY 150-RD2", concentrado al 45% a la revoltura de concreto a diferentes intervalos. Cada vez que el revenimiento caía a 19 cm. se incorporaban dosificaciones de 0.1 a 0.2% de superplastificantes en peso de cemento. Tanto el MIGHTY 150 como el MIGHTY 150 RD2 fueron igualmente efectivos para mantener el revenimiento al nivel deseado. La pérdida de revenimiento después de la última dosificación a las 3 horas, para las temperaturas mencionadas, fue menor para el MIGHTY 150 RD2. Los resultados experimentales con MIGHTY 150 RD2 se muestra en las figuras 6, 7, 8 y 9.

Generalmente, los superplastificantes del tipo que no modifica el fraguado son mas adecuados que el tipo retardante para utilizarse en la redosificación. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, los superplastificantes del tipo retardante pueden ser utilizados ventajosamente en ciertas aplicaciones especiales debido a su más lenta pérdida de revenimiento después de 1 1/2 a 3 horas de haberse fluidizado, siempre y cuando se ponga atención a no sobre dosificar.

PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO SUJETO A REDOSIFICACIONES

La finalidad de este experimento fue de confirmar las propiedades del concreto endurecido, el cual había sido fluidizado y redosificado con MIGHTY 150. Se utilizaron como concretos de referencia concretos con aire incluido conteniendo jabón de resina y concretos a los que se les había reducido la cantidad de agua y con aire incluido, conteniendo lignosulfonato.

Los proporcionamientos de los concretos de referencia se muestran en la tabla 2. Ambas revolturas con revenimiento de 12 cm. fueron fluidizadas a 21 cm. incorporando 0.5% de MIGHTY 150 en peso de cemento inmediatamente después del mezclado inicial.

TABLA No. 2
PROPORCIONAMIENTO DE LOS CONCRETOS DE REFERENCIA
Kg/m³

CONCEPTO	REVOLTURA INICIAL	REVOLTURA FLUIDIZADO	AIRE %	A/C	AG.F, AG.G %	CEM.	AGUA	AG.F	AG.G	ATA*
Concreto con aire incluido.	12 cm.	21 cm.	4	59.7	46.0	300	179	814	971	0.025
Concreto con aire inc. y reducción de la cantidad de agua.	12 cm.	21 cm.	4	55.0	46.0	300	165	831	990	0.025

* Resina de Unisol

** Lignosulfonato.

Se fueron incorporando dosificaciones de 0.1% de MIGHTY 150 cada 15 minutos para mantener el revenimiento a los 21 cm. como se muestra en la figura 10. Se determinaron propiedades del concreto fluidizado y las del concreto redosificado (solo se grafica los resultados de las redosificaciones alternadas) y se compararon con las propiedades de los concretos de referencia mediante los métodos siguientes.

- (1) Revenimiento (JIS A 1101) JIS = Instituto Japonés de Normas.
- (2) Contenido de aire (JIS A 1128)
- (3) Rapidez de sangrado (JIS A 1132)
- (4) Tiempo de fraguado (ASTM C-403)
- (5) Resistencia a la compresión (JIS A 1108)
- (6) Resistencia a la flexión (JIS A 1106)
- (7) Contracción por secado (JIS A 1124)
- (8) Durabilidad al congelamiento y deshielo (ASTM C-666 procedimiento A)

Los resultados se muestran en las figuras 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19.

El resumen para esta serie de ensayos es como sigue:

- (1) La rapidez de sangrado disminuyó con cada dosificación adicional.
- (1) Las propiedades de los concretos dosificados fueron casi las mismas que las de los concretos de referencia.
- (2) La rapidez de sangrado disminuyó con cada dosificación adicional.
- (3) El tiempo de fraguado para el concreto redosificado fue menor que para el concreto de referencia. Si se desprecia el tiempo transcurrido entre el mezclado inicial y el muestreo, los tiempos del fraguado fueron ligeramente menores para el concreto redosificado que para los concretos de referencia. Los tiempos del fraguado fueron aún menores para los concretos conteniendo solamente jabón de resina.
- (4) Las resistencias a la compresión y a la flexión a los 7 y 28 días para los concretos redosificados aumentaron al aumentar el número de dosificaciones, y estas fueron ligeramente mayor que para el concreto de referencia.
- (5) La contracción para secado y la pérdida de peso disminuyeron al aumentar el número de dosificaciones.
- (6) El módulo dinámico de elasticidad relativo disminuyó ligeramente con el aumento del número de dosificaciones, pero este no disminuyó mas del 10%.

En el caso del concreto con aire incluido, el módulo dinámico de elasticidad

tividad relativo fue casi el mismo en el concreto de referencia y en el concreto redosificado durante 60 minutos, pero disminuye ligeramente a los 30 minutos debido a la dosificación. En el caso del concreto con aire incluido y la cantidad de agua reducida, el módulo dinámico de elasticidad relativo disminuyó ligeramente después de la fluidización y permaneció constante durante las dosificaciones hasta los 90 minutos. Se debe estudiar la distribución de las burbujas en el concreto endurecido para explicar las causas de este fenómeno.

ENSAYE DE CAMPO DEL CONTROL DEL REVENIMIENTO.

Para aplicar la técnica de la redosificación en la práctica, se ha desarrollado un dispositivo para determinar automáticamente el revenimiento del concreto premezclado en el camión revolvedor (12). La presión del fluido hidráulico proporcionado al motor hidráulico que mueve el "tiempo" aumenta al aumentar la pérdida de revenimiento. En este ensaye, esta presión fue convertida a una señal eléctrica. La señal omitida por el dispositivo controló la operación de los inyectores de MIGHTY para mantener automáticamente un revenimiento deseado o de diseño.

El proporcionamiento del concreto utilizado en este ensaye fue como sigue:

TABLA No. 3

PROPORCIONAMIENTO DEL CONCRETO (kg/m³)

REV. INICIAL cm.	REV. DE CONTROL, cm.	A/C %	AG.F,AG.G. %	AGUA	CEMENTO	AG.F.	AG.G.	AIRE %
10	20 cm.	60	46	183	305	834	988	4.0

Para confirmar la correlación entre la presión del fluido hidráulico y el revenimiento real, se detuvo varias veces la revolvedora para permitir el muestreo y realizar mediciones directas del revenimiento. El resultado se muestra en la figura 20. El ensaye del control automático del revenimiento en el campo se realizó exitosamente durante 2 horas a 32°C como se muestra en la figura 21.

La resistencia a la compresión del concreto obtenido después de 2 horas de redosificaciones se muestra en la tabla 4. La resistencia a la compresión del concreto redosificado fue mayor que la del concreto simple a los 7 días y un año.

TABLA No. 4

RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm²)

	MIGHTY (CONCENE, 42%) (% TOTAL)	7 DIAS	28 DIAS	1 AÑO
SIMPLE	0	155	250	301
REDOSIFICADO	1.39	195	282	341

A partir de este ensaye de campo utilizando el camión revolvedor se confirma que es posible controlar el revenimiento con rangos de 8 a 22 cm., y que las resistencias del concreto redosificado son mayores que las del concreto simple. Sin embargo, se debe indicar que se cree necesario una mayor precisión en la determinación del revenimiento cuando los camiones están en movimiento, o con cargas diferente

CONCLUSIONES

El autor ha concluido a partir de las discusiones y de los resultados experimentales, que la congelación de las partículas hidratadas del cemento en la etapa latente en la pasta juega un papel mas importante en la pérdida de revenimiento que las uniones químicas que se puedan formar entre las partículas a través del proceso de hidratación.

Se consideran como apoyo a la conclusión la concordancia en las ecuaciones basadas parcialmente en la teoría de Smoluchowki (9) y los resultados experimentales correspondientes. Por lo tanto, el efecto de la redosificación se atribuye a la redosificación de las partículas en la pasta físicamente coaguladas.

No se encuentra ninguna indicación de anomalía en las propiedades del cemento endurecido que se habia redosificado.

Por lo tanto, la técnica de redosificación con MIGHTY es efectiva para evitar pérdida de revenimiento, y es posible la automatización de esta técnica. El problema de la pérdida de revenimiento a temperaturas elevadas será resuelta en un futuro por medio de esta técnica.

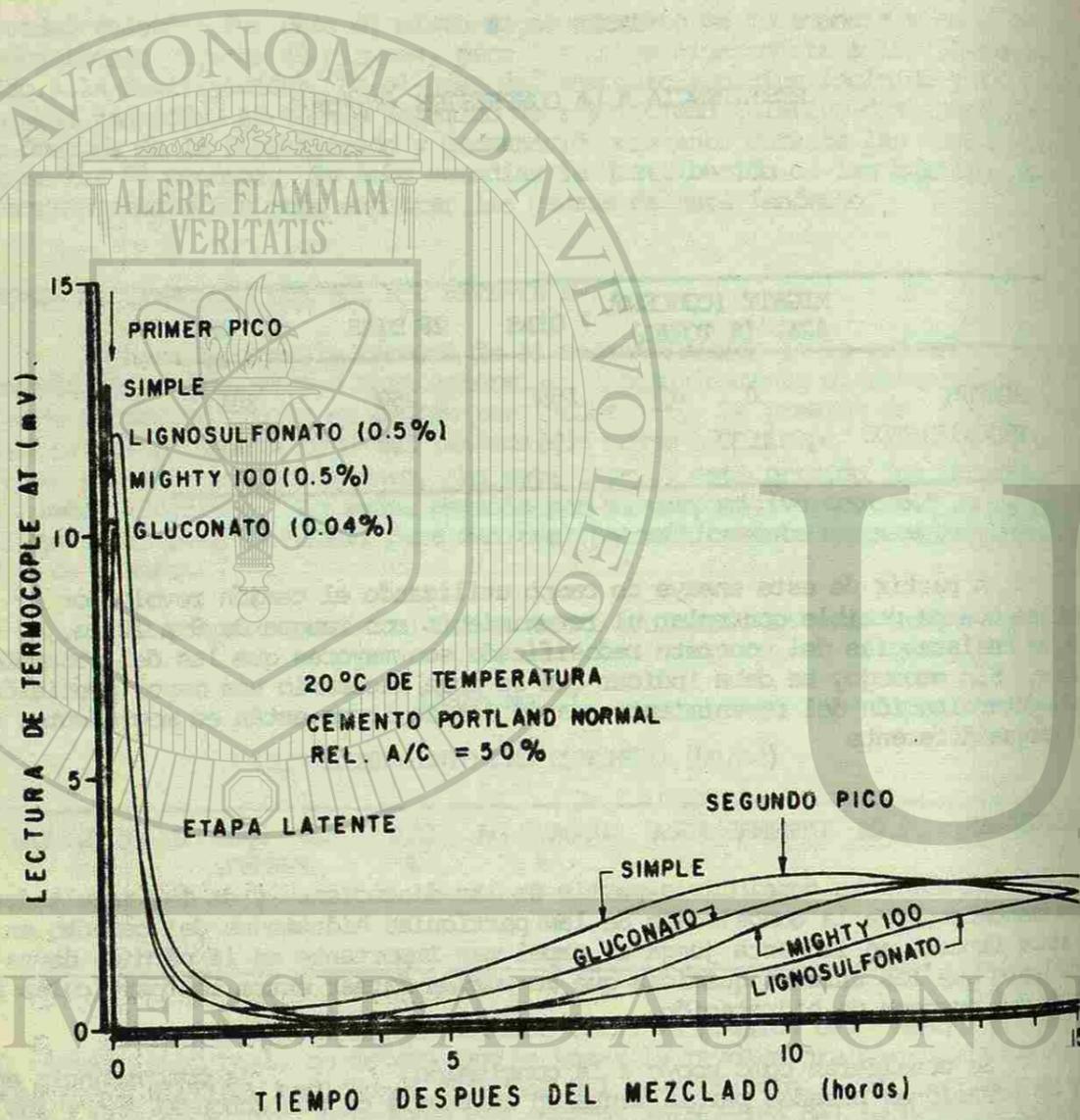


FIG. 1.- CALOR DE HIDRATACION DE LA PASTA DE CEMENTO

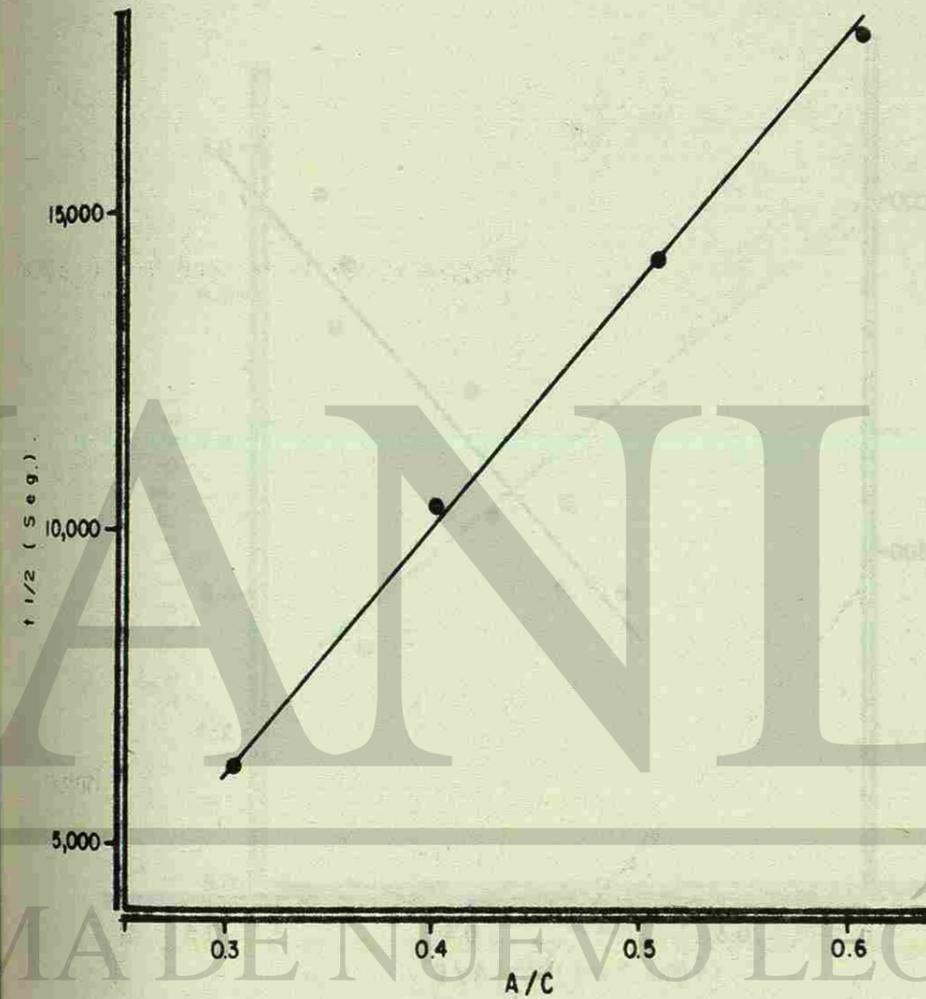


FIG. 2.- RELACION ENTRE $t_{1/2}$ Y RELACION AGUA/CEMENTO (A/C) A 20 °C

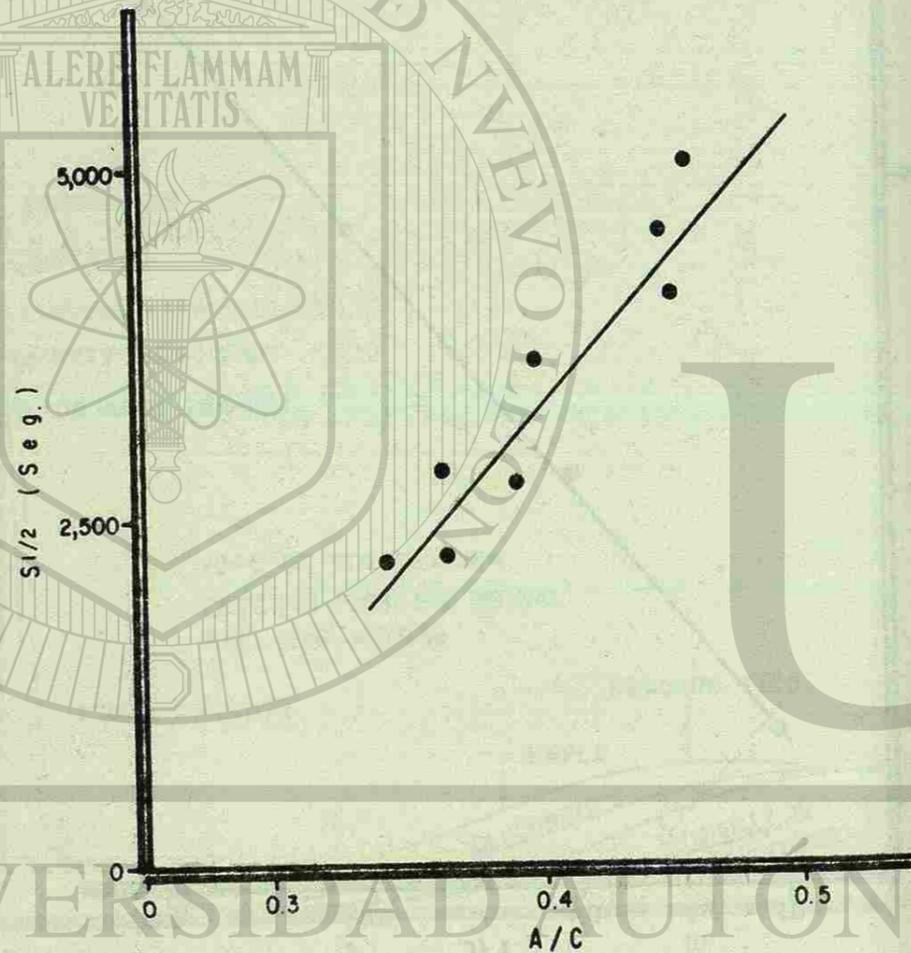


FIG. 3.- RELACION ENTRE EL S_{1/2} QUE SE PRESENTA AL $t^{1/2}$ Y LA RELACION AGUA/CEMENTO, (A/C) A 20 °C.

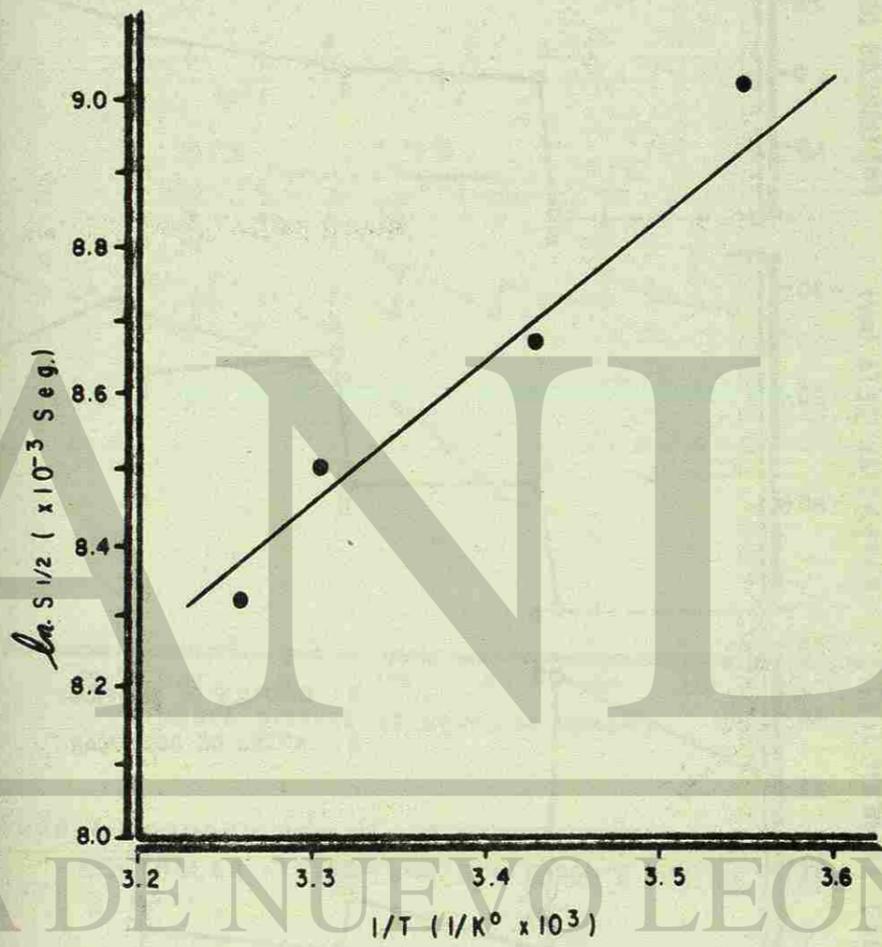


FIG. 4.- RELACION ENTRE S_{1/2} Y EL INVERSO DE LA TEMPERATURA (1/T) (REL. A/C = 0.57, CEMENTO = 300 Kg/M³, DE LA TABLA I).

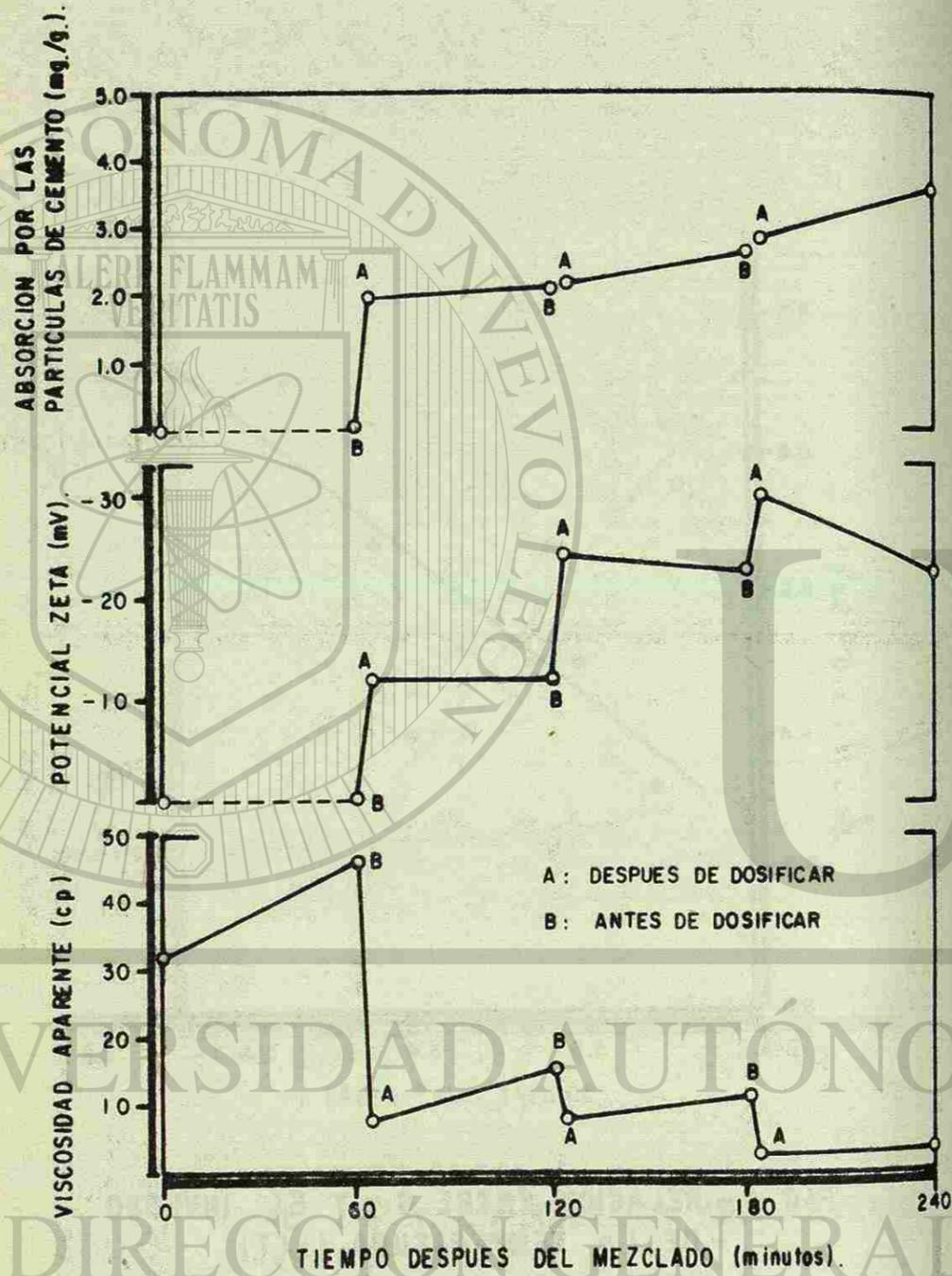


FIG. 5.- MECANISMO PARA FLUIDIZACION DEL CONCRETO REDOSIFICADO.

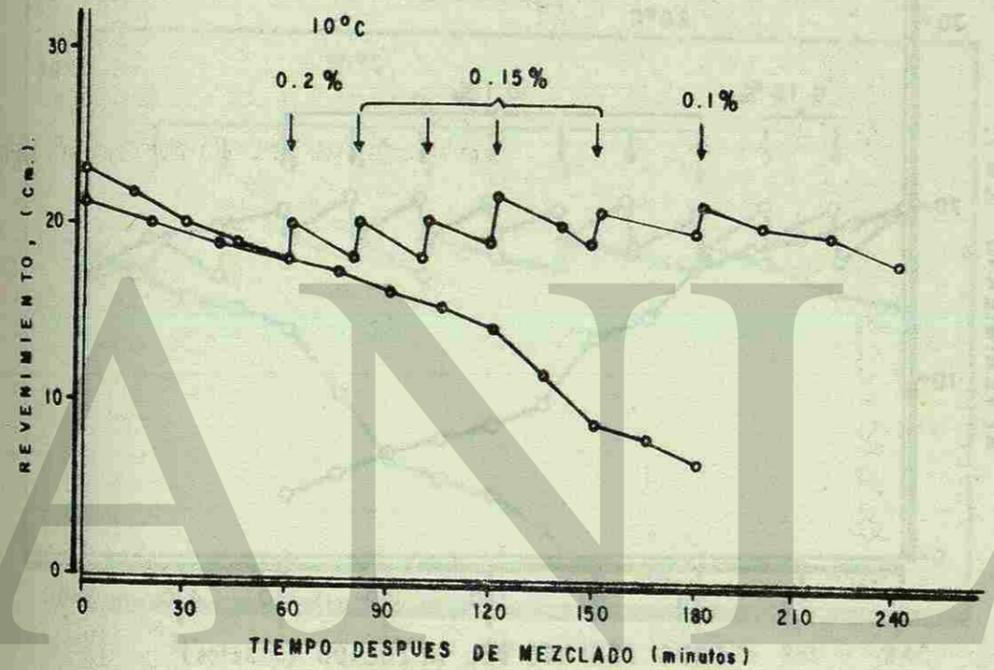


FIGURA 6.- REDOSIFICACION DE SUPERPLASTIFICANTES PARA CONTROLAR EL REVENIMIENTO DURANTE MUCHO TIEMPO A 10 °C.

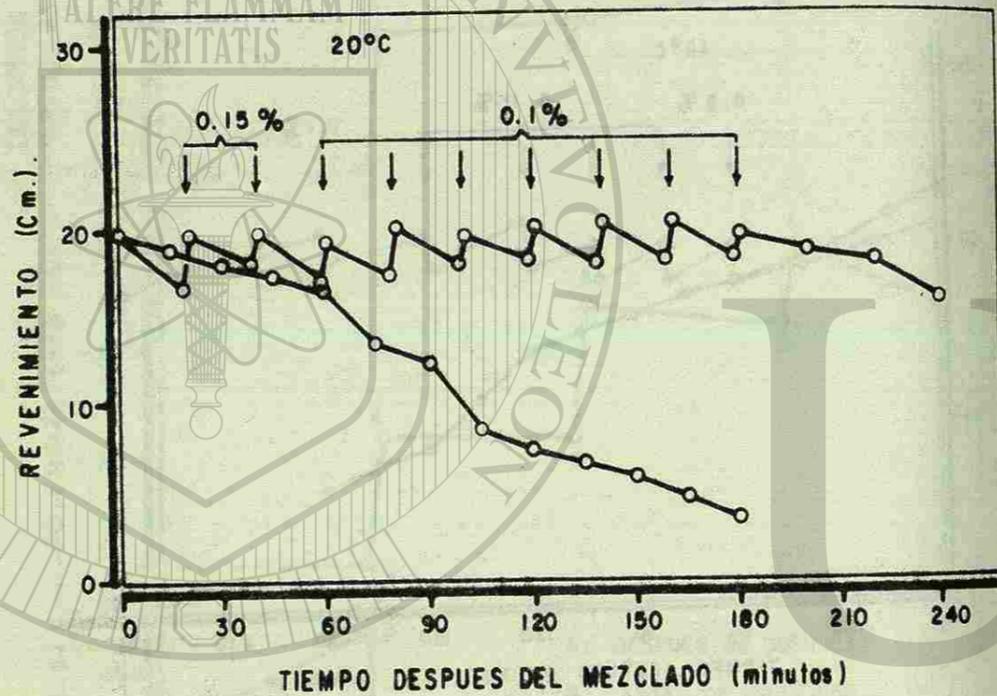


FIG. 7.- REDOSIFICACION CON SUPERPLASTIFICANTE PARA CONTROLAR EL REVENIMIENTO DURANTE MAYOR TIEMPO, TEMP. = 20 °C.

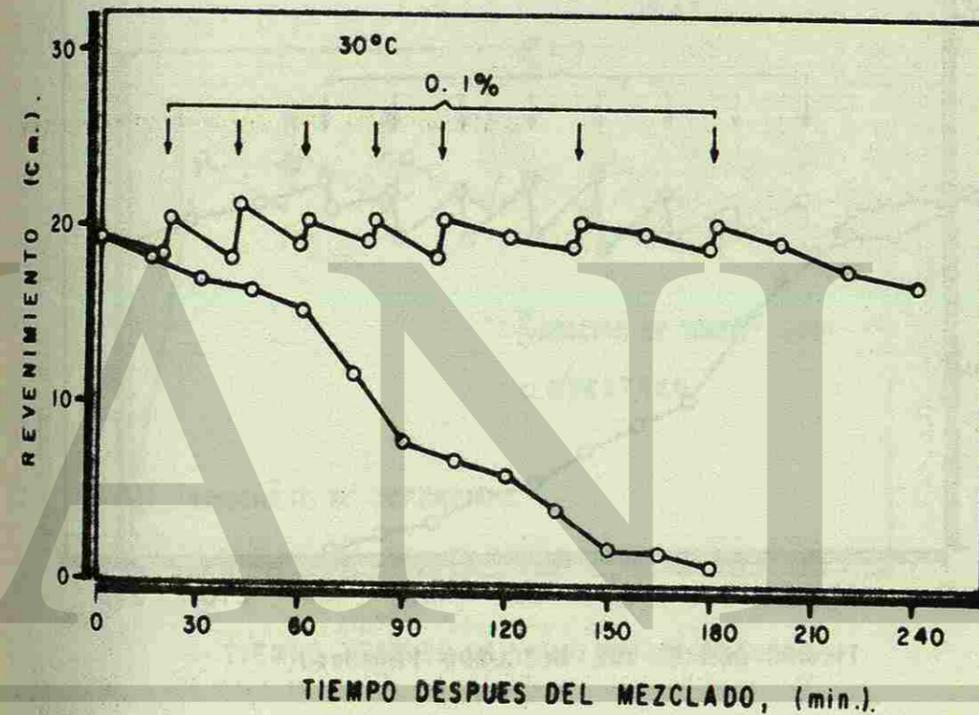


FIG. 8.- REDOSIFICACION CON SUPERPLASTIFICANTE PARA CONTROLAR EL REVENIMIENTO DURANTE MAYOR TIEMPO. TEMP. = 30 °C.

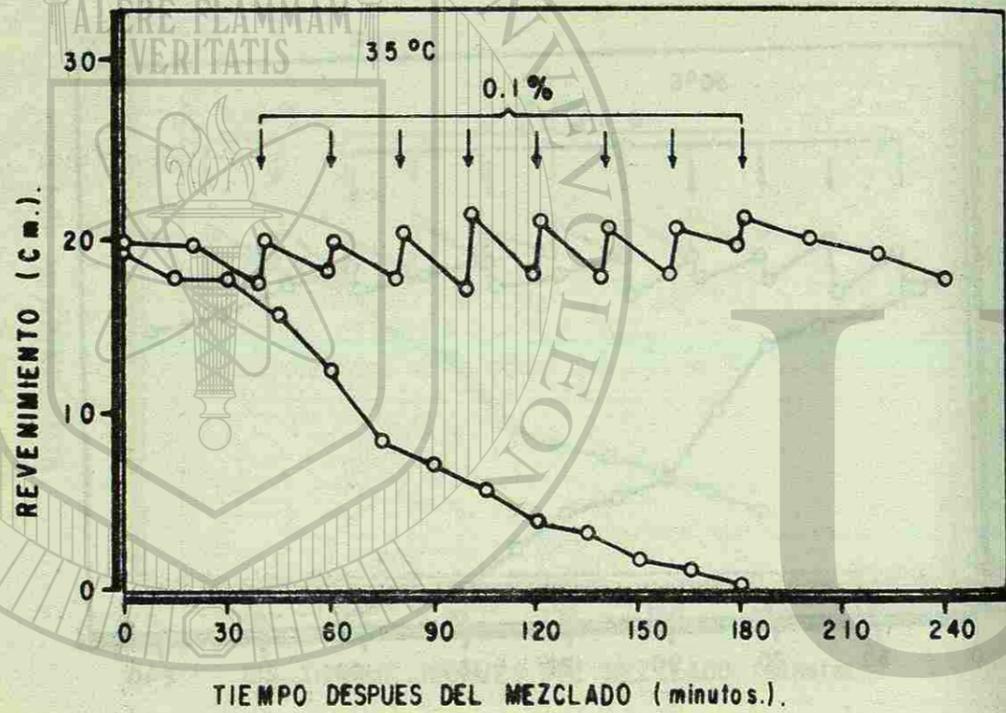


FIG. 9.- REDOSIFICACION CON SUPERPLASTIFICANTE PARA CONTROLAR EL REVENIMIENTO DURANTE MAYOR TIEMPO. TEMP. = 35 °C.

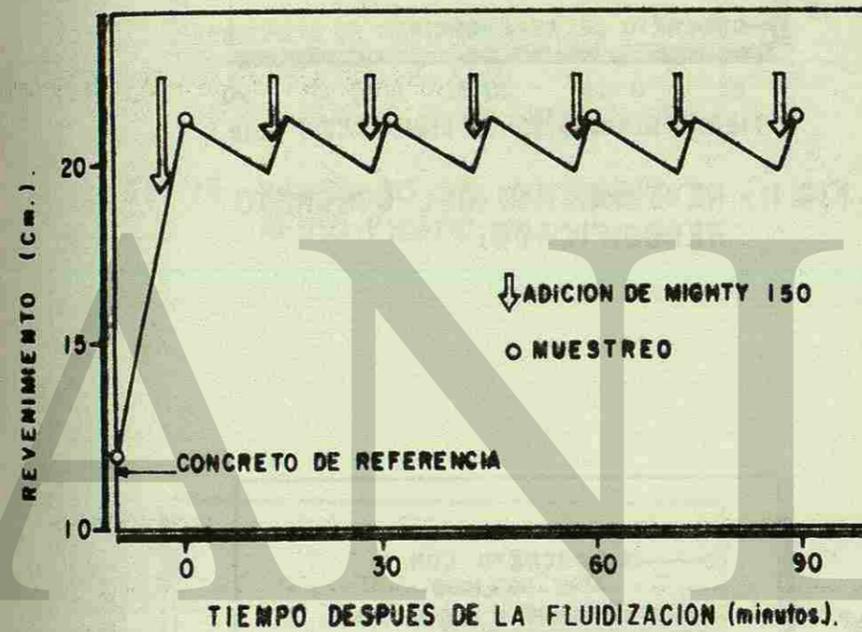


FIG. 10.- REDOSIFICACION CON SUPERPLASTIFICANTE PARA CONTROLAR EL REVENIMIENTO A 21 C.M.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

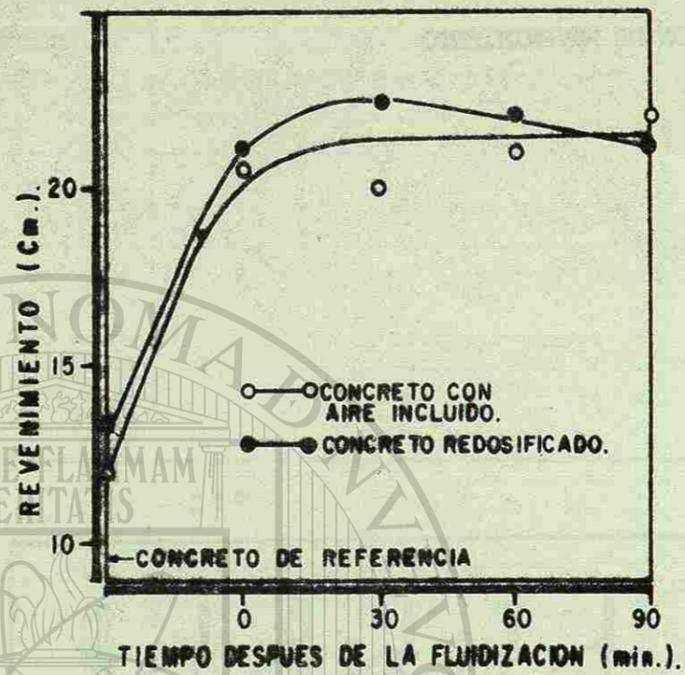


FIG. 11.- REVENIMIENTO DEL CONCRETO REDOSIFICADO.

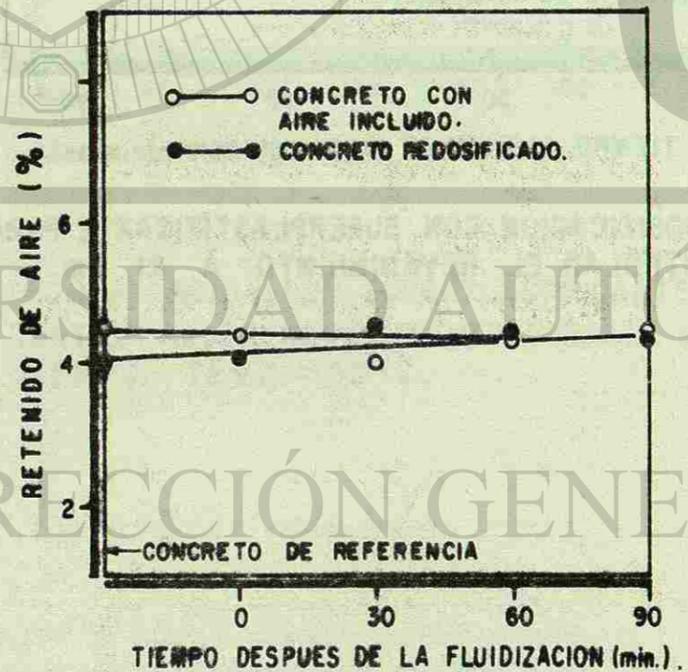


FIG. 12.- CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO CON REDOSIFICACION.

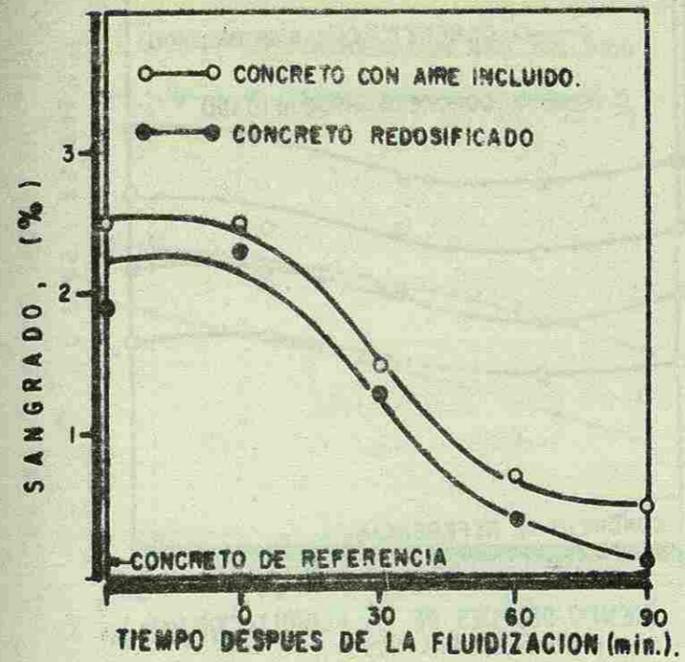


FIG. 13.- SANGRADO DEL CONCRETO REDOSIFICADO.

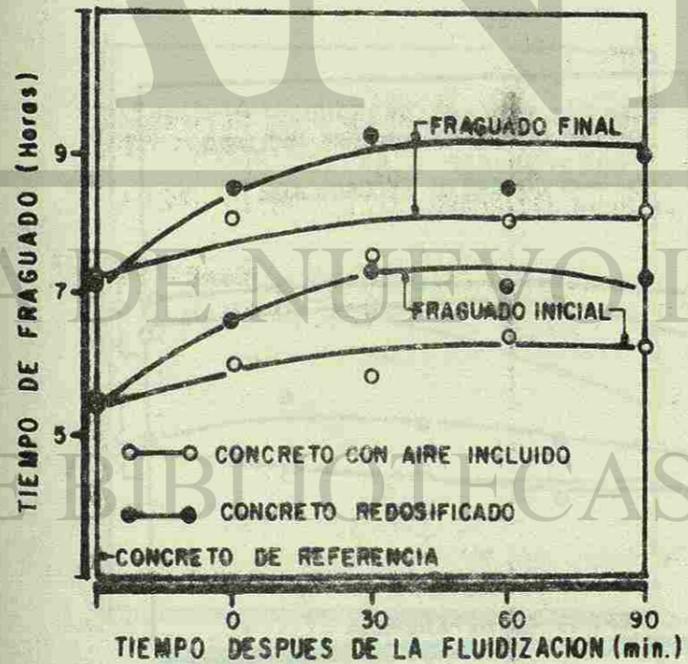


FIG. 14.- TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO REDOSIFICADO.

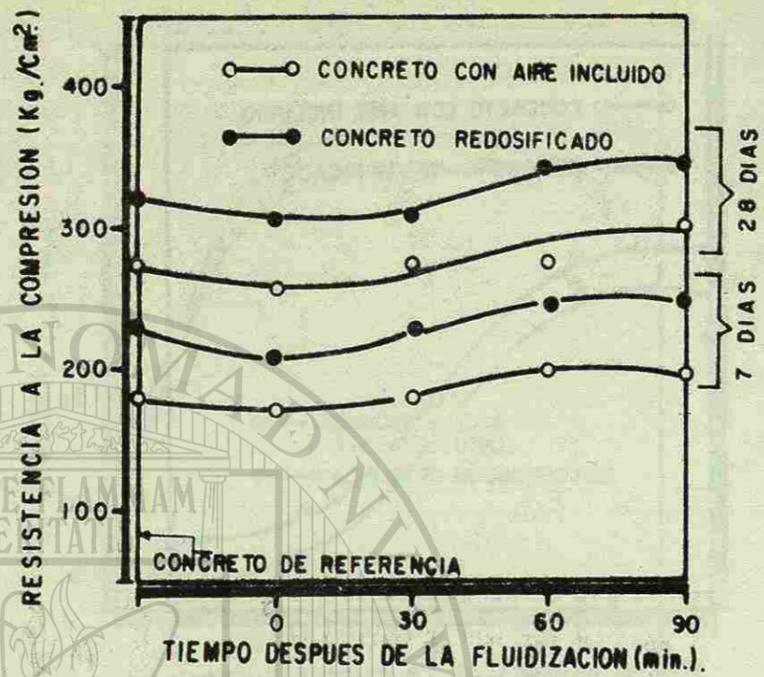


FIG. 15.- RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO REDOSIFICADO.

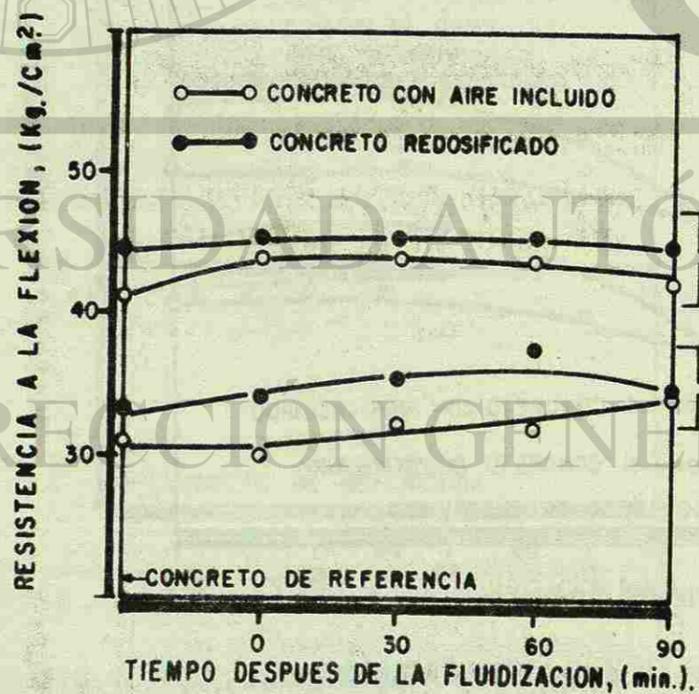


FIG. 16.- RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO REDOSIFICADO.

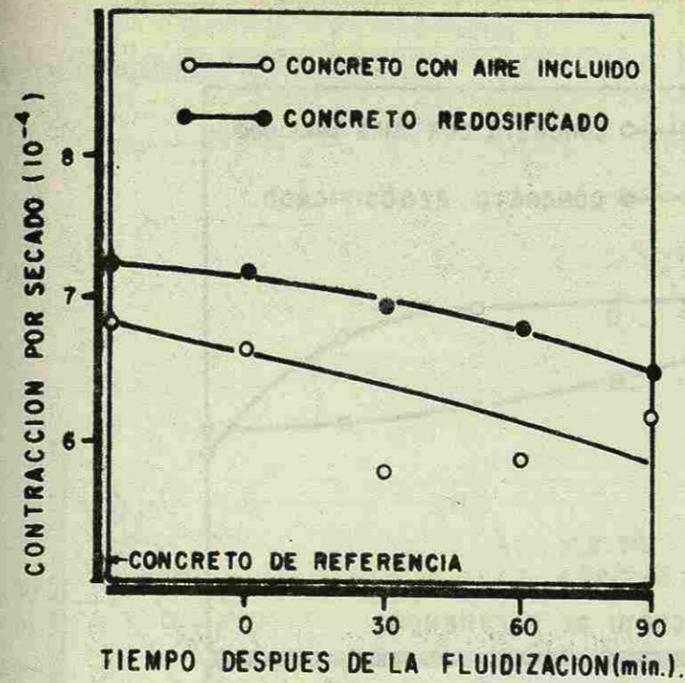


FIG. 17.- CONTRACCION POR SECADO DEL CONCRETO REDOSIFICADO.

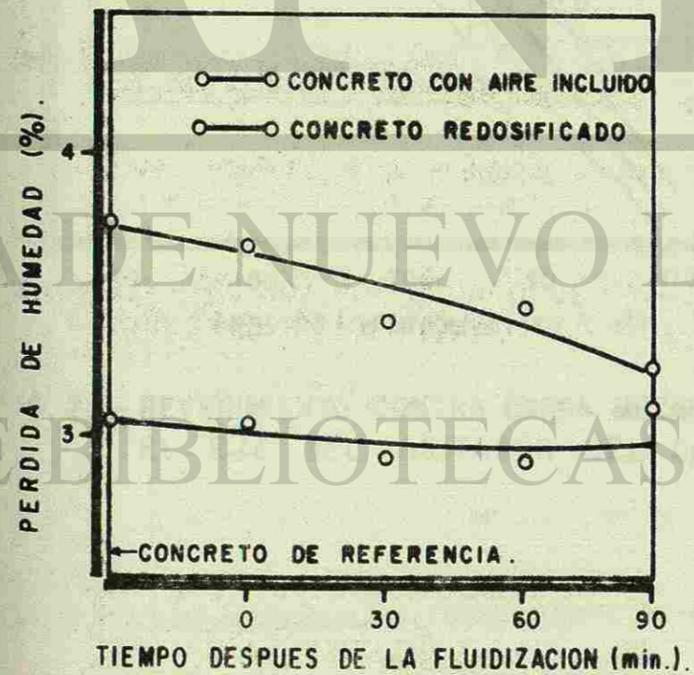


FIG. 18.- PERDIDA DE PESO DURANTE EL SECADO DEL CONCRETO REDOSIFICADO.

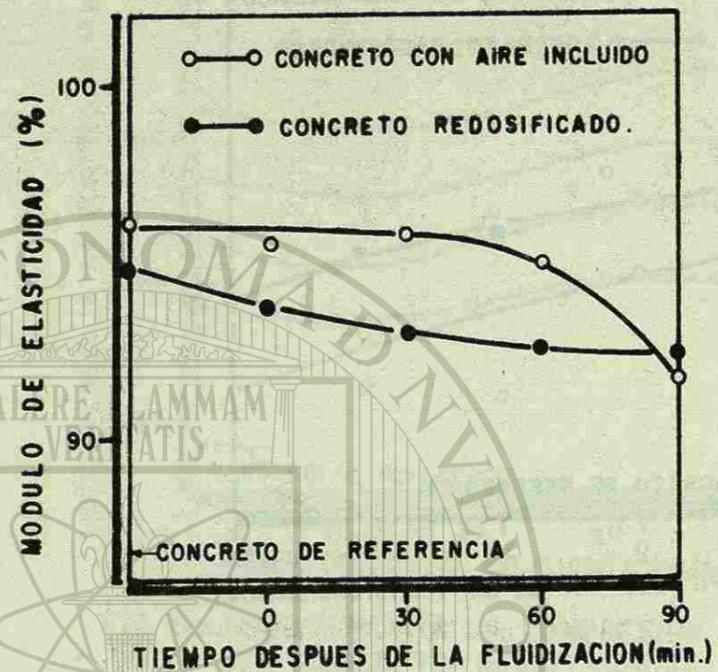


FIG. 19.- ESTABILIDAD AL CONGELAMIENTO Y DESHIELO PARA CONCRETO REDOSIFICADO.

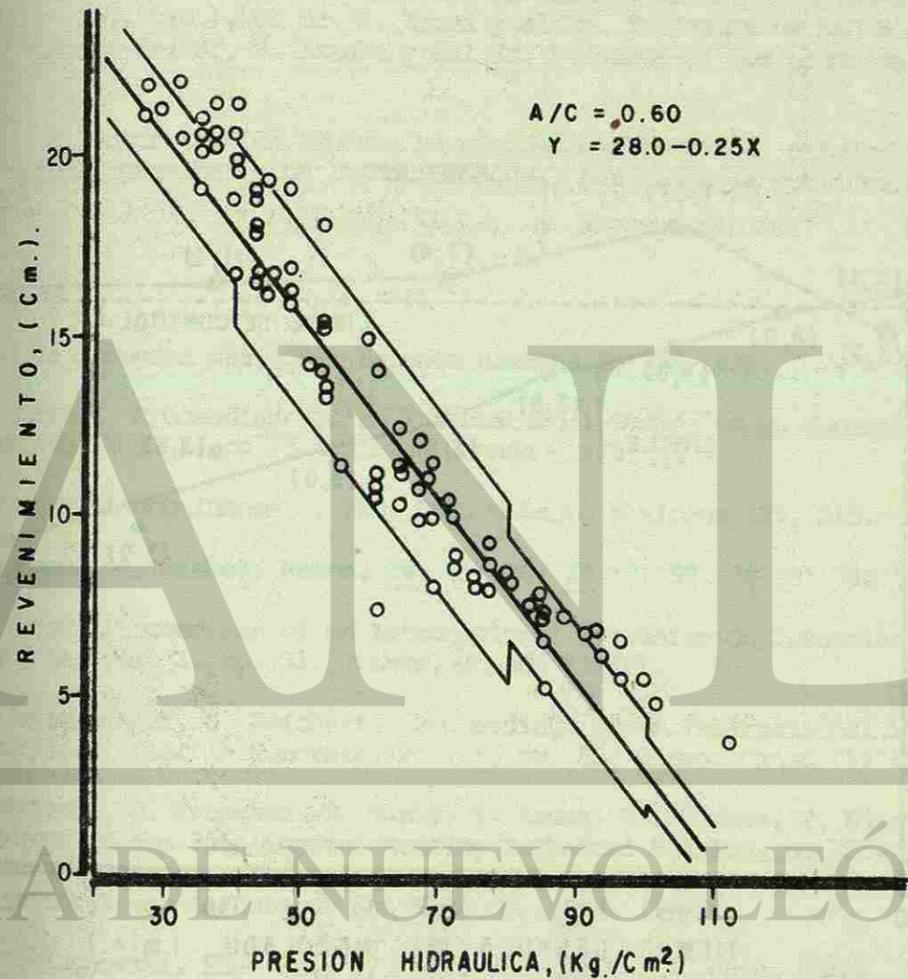


FIG. 20.- REVENIMIENTO CONTRA CARGA MECANICA SOBRE EL EJE DEL AGITADOR DEL CAMION (30±2 °C)

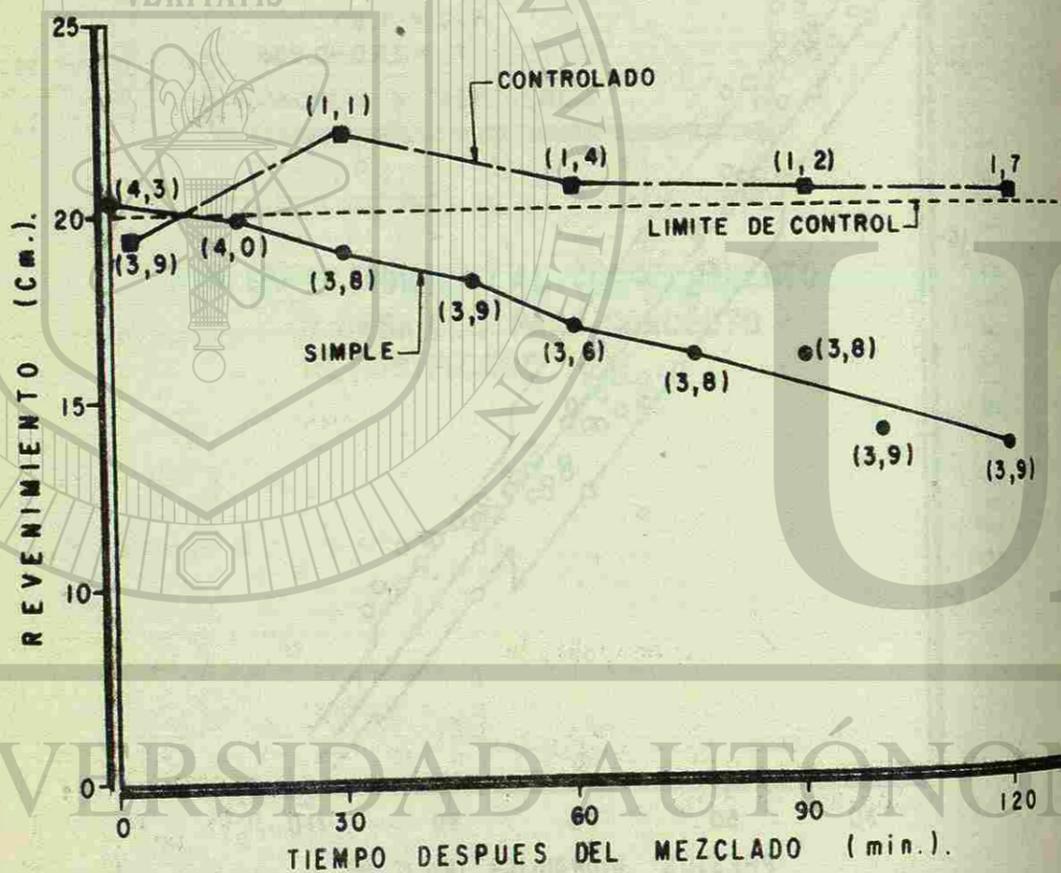


FIG. 21.- UN EJEMPLO DE CONTROL AUTOMATICO DEL REVENIMIENTO (MEDIANTE REDOSIFICACION)

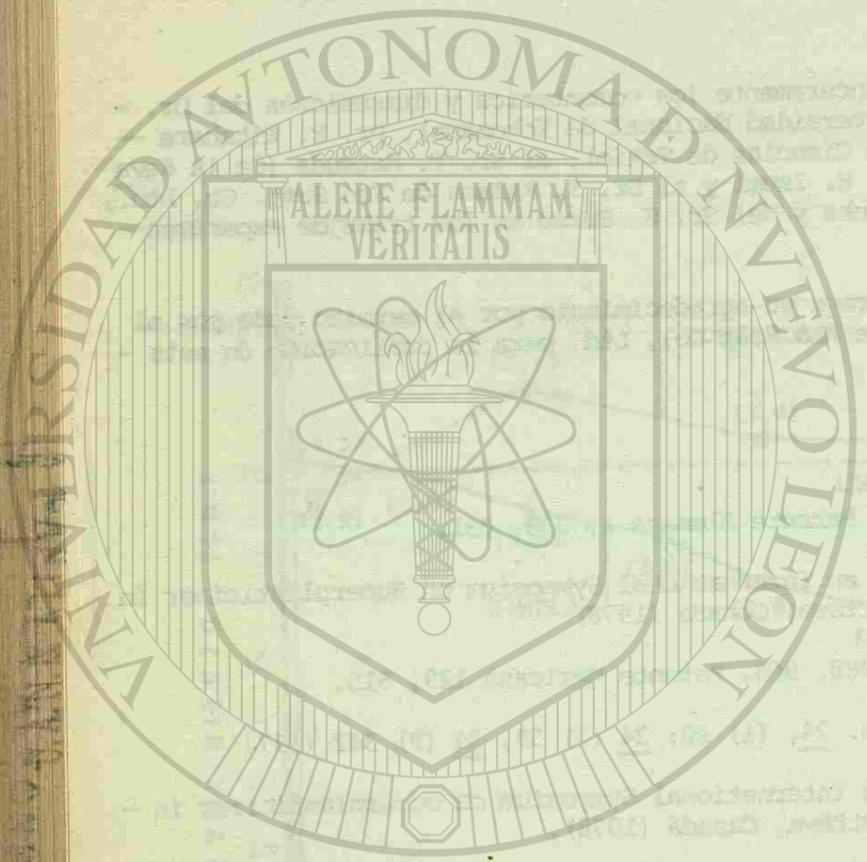
AGRADECIMIENTO

El autor agradece sinceramente los comentarios y discusiones del Dr. - K. Shinoda (profesor de la Universidad Nacional de Yokohama), Dr. F. Kitahara -- (Profesor de la Universidad de Ciencias de Tokio), al Sr. T. Matsuda (de la Kayaba Industry Co., Ltd.), al Dr. K. Izumi y al Dr. Y. Kazama de Kao Soap. Co, Ltd., y la asistencia del Sr. M. Iizuka y del Sr. S. Suzue en los trabajos experimentales.

El autor también expresa su agradecimiento por el permiso dado por el Dr. Y. Maruta, presidente de la Kao Soap Co., Ltd. para la publicación de este trabajo.

REFERENCIAS

- 1.- Patente Japonesa 485, 391, Patente Alemana 1, 238, 831.
- 2.- K. Hattori, Proceedings of an International Symposium on Superplasticizer in Concrete, Vol. 1, pp 49, Ottawa, Canada (1978)
- 3.- Patente Estadounidense 3, 788, 868, Patente Mexicana 129, 315.
- 4.- J. Bonzel, E. Siebel, Peton, 24, (1) 20; 24 (2) 59, 24 (9) 342 (1974)
- 5.- A. Meyer, Proceedings of an International Symposium on Superplasticizer in Concrete, Vol. 1, pp. 31, Ottawa, Canadá (1978).
- 6.- A. Aignesberger, J. Reichert, Proceedings of an International Symposium on Superplasticizer in Concrete, Vol. 1, pp. 83, Ottawa, Canadá (1978)
- 7.- K. Hattori, C. Yamakawa, S. Suzue, T. Azuma, T. Inamura, Y. Ejiri, CAJ Proceedings of the 30th General Meeting Technical Session, pp. 254 (1976)
- 8.- S. Suzue, Internal Data of Kao Soap Co., Ltd. (1977)
- 9.- V. Smoluchowski, Phys. z., 17, 557, 585 (1916); A. Phys. Chem., 92, 129 (1917)
- 10.- J. T. Davies, E. K. Rideal, Interfacial Phenomena, pp. 344, Academic Press - New York and London (1916)
- 11.- M. Iizuka et al. Internal Data of Kao Soap Co., Ltd. (1978).
- 12.- Joint development works of Kao Soap Co., Ltd. and Kayaba Industry, Co. Ltd (1975)
- 13.- Patente Japonesa 838, 620, Patente Estadounidense 3, 998, 437.



Correcciones de última hora para el trabajo del Dr. Kenichi Hattori titulado ---
Control de la Pérdida de Revenimiento mediante Redosificación con Superplastifi-
cantes MIGHTY".

- 1.- En la última línea de la página 251
error: W: peso de agua (g)
correcto: W: volumen de agua (cm³)
- 2.- En la línea 22 (inciso 3) de la página 255
error: fue menor que
correcto: fue mayor que
- 3.- Sustituir de la figura 6 hasta la figura 10 por las siguientes figuras co-
rrectas.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN [®]
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

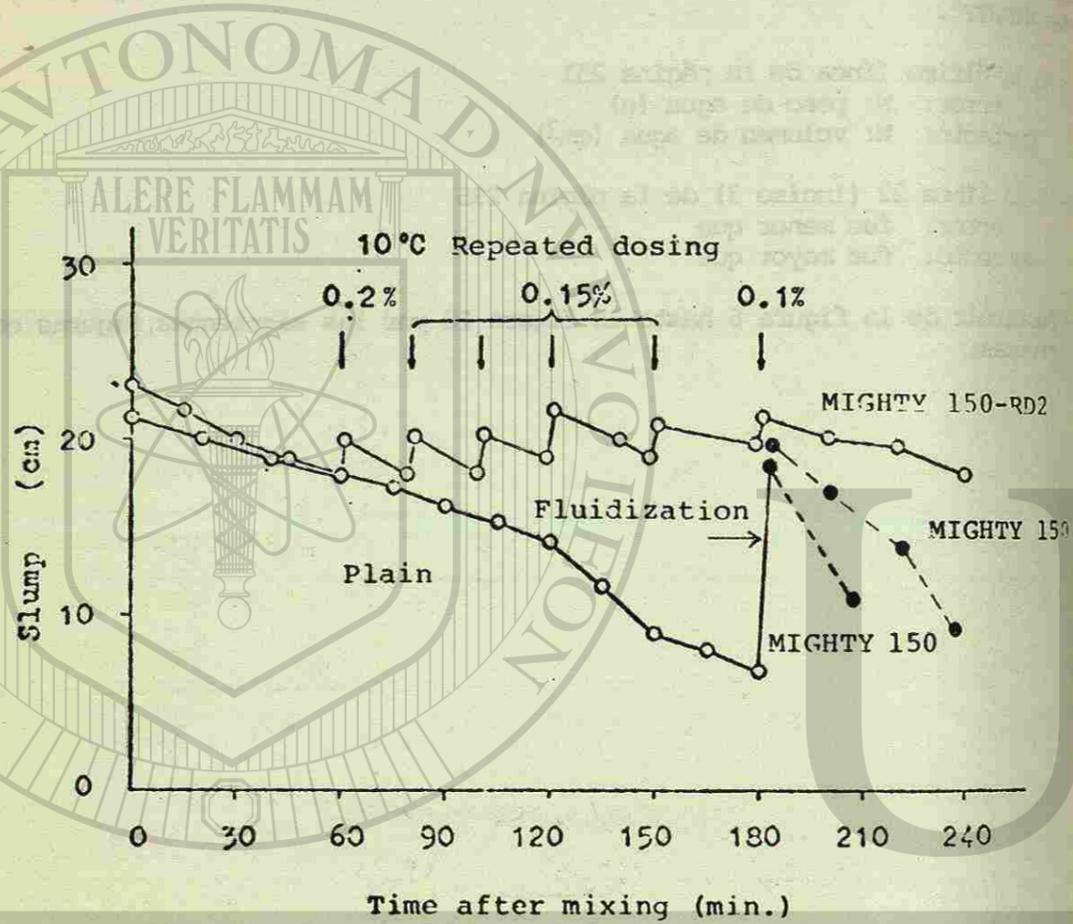


Fig. 6 Repeated dosing of superplasticizer to control slump for long time at 10°C

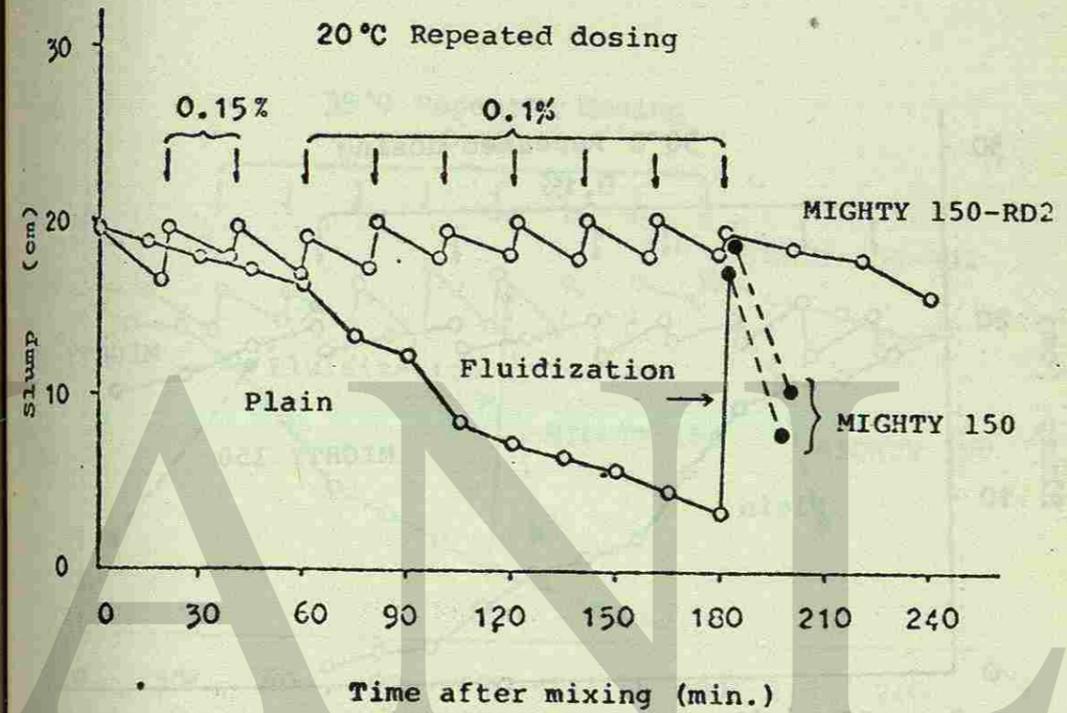


Fig. 7 Repeated dosing of superplasticizer to control slump for long time at 20°C

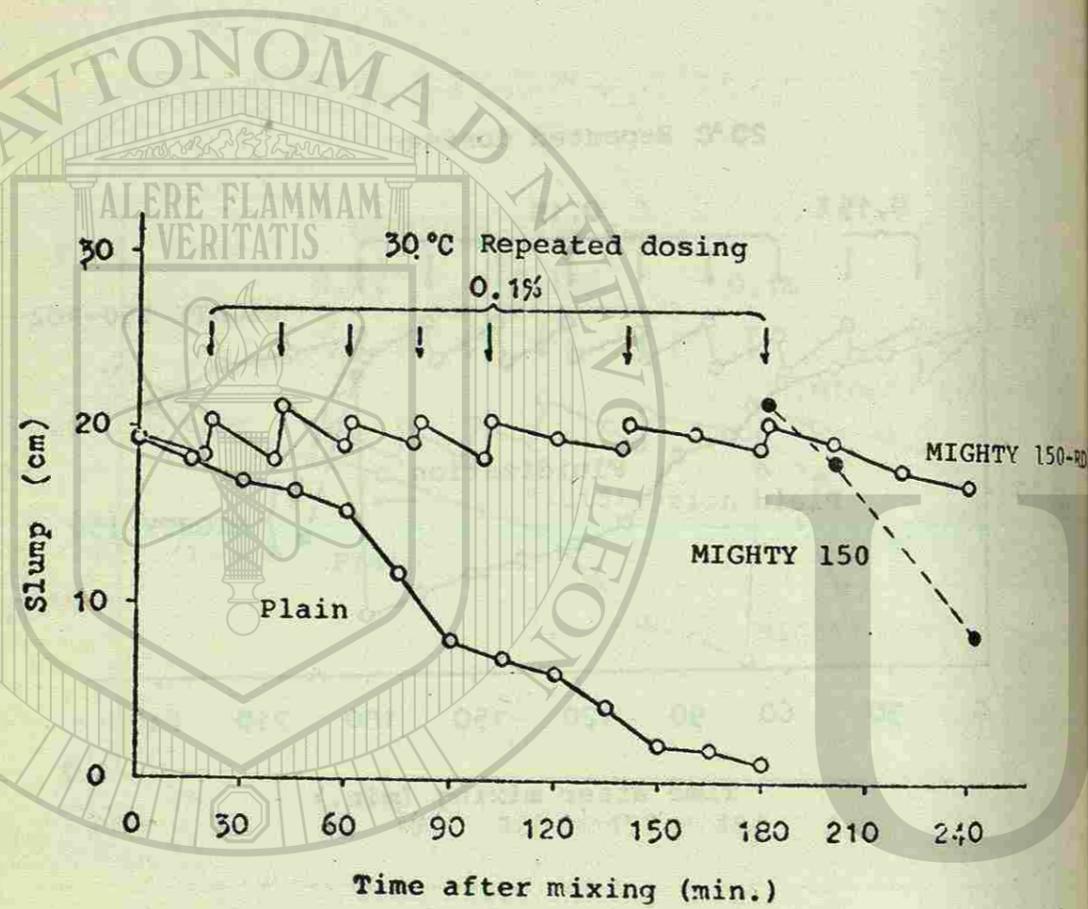


Fig.8 Repeated dosing of superplasticizer to control slump for long time at 30°C

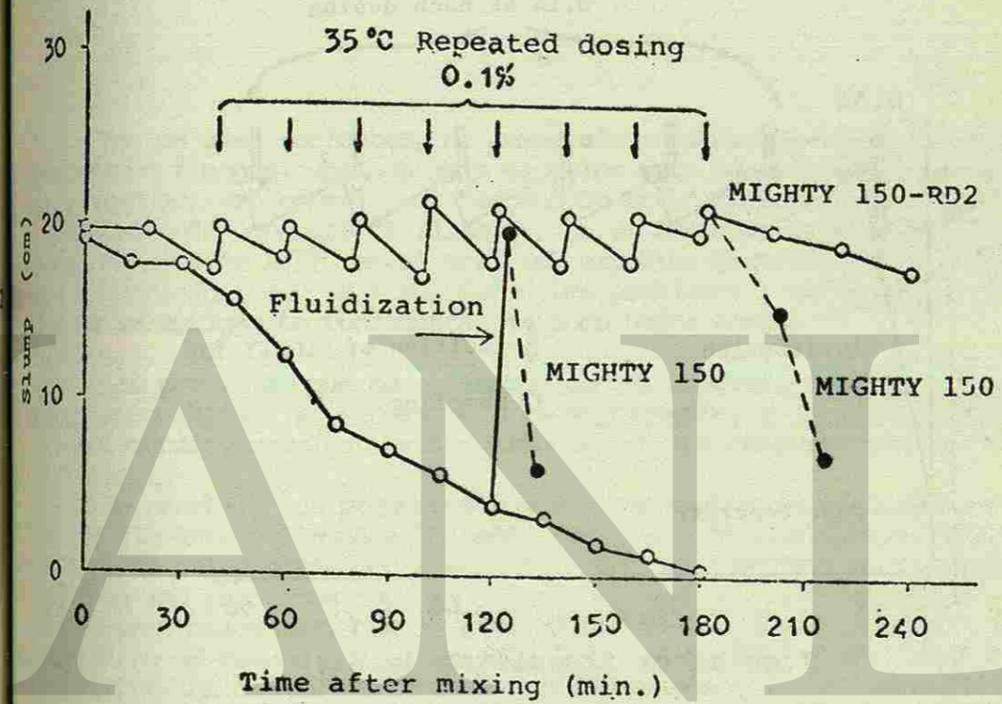


Fig.9 Repeated dosing of superplasticizer to control slump for long time at 35°C

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

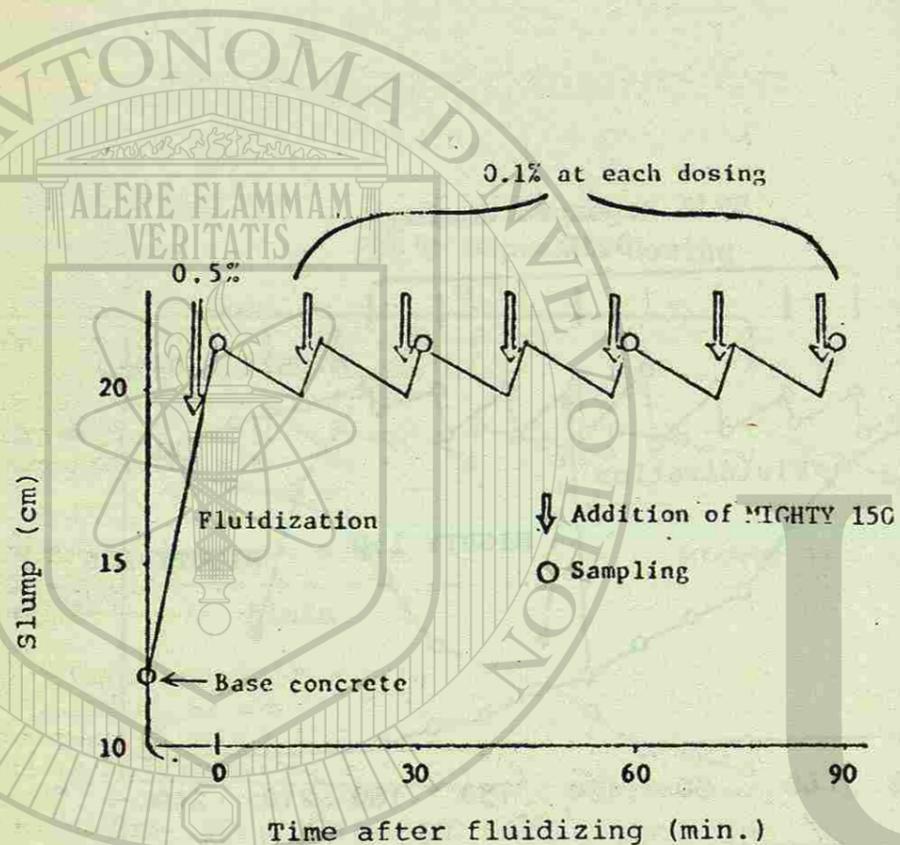


Fig.10 Repeated dosing of superplasticizer to control slump at 21 cm

de Peter PreiSS* y H. R. Sasse**

RESUMEN

En los años recientes, ha aumentado considerablemente el uso de concretos y morteros fluidos. Se han dado ejemplos para su aplicación en gran número de publicaciones, sin embargo, el "estado de arte" no está a la altura con los volúmenes colados de concreto fluidizado. En el Simposio Internacional celebrado en Ottawa en mayo de 1977, en el cual los expertos participaron y reportaron sobre sus investigaciones, se discutieron los problemas y se ha criticado que el trabajo de investigación fundamental es poco hasta ahora.

Los problemas que se presentan con el concreto fluido, por ejemplo, el endurecimiento rápido, la tendencia a la segregación, y la pobre reproducibilidad de su consistencia, resultan principalmente con los morteros auto-nivelables.

En general, los productos que son compuestos de gran peso molecular utilizados en Alemania y llamados "Fließmittel", son de naturaleza orgánica, y son principalmente policondensados a base de melamina y naftalina. Se muestra que la actividad de los productos depende considerablemente en el peso molecular. Entre mayor sea el peso molecular, mejor es el efecto del superplastificante. La tensión superficial no se reduce con la adición del superplastificante, pero se desarrolla una dispersión de las partículas de cemento causando con ello una reducción de la viscosidad. La condición más favorable para el proporcionamiento de un mortero fluido implica el conocimiento del efecto de un gran número de factores que influyen, como por ejemplo:

- Tipo y cantidad de superplastificantes,
- Tipo y cantidad de cemento,
- Cantidad de agua utilizada,
- Tipo y cantidad de los componentes finos,
- Temperatura ambiente
- Método utilizado para el mezclado.

Las investigaciones están basadas en una consistencia inicial constante

Investigador en el Instituto para la Construcción.

Investigador del Instituto Técnico para la Construcción de Aachen, Aachen, Alemania Occidental.

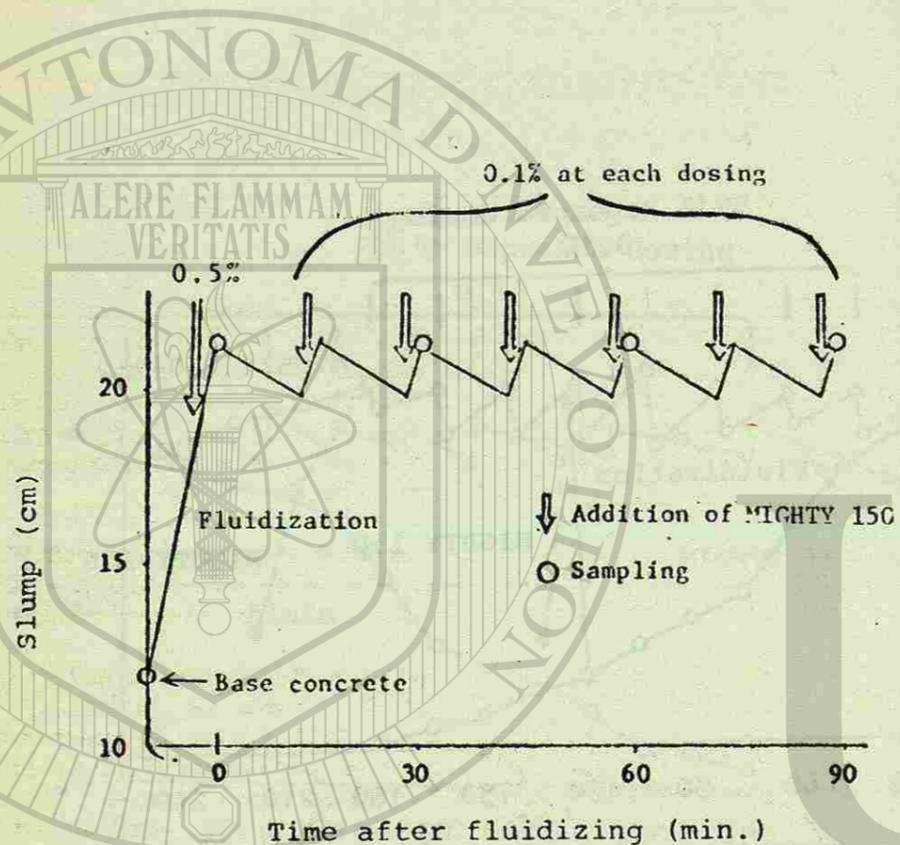


Fig.10 Repeated dosing of superplasticizer to control slump at 21 cm

de Peter PreiSS* y H. R. Sasse**

RESUMEN

En los años recientes, ha aumentado considerablemente el uso de concretos y morteros fluidos. Se han dado ejemplos para su aplicación en gran número de publicaciones, sin embargo, el "estado de arte" no está a la altura con los volúmenes colados de concreto fluidizado. En el Simposio Internacional celebrado en Ottawa en mayo de 1977, en el cual los expertos participaron y reportaron sobre sus investigaciones, se discutieron los problemas y se ha criticado que el trabajo de investigación fundamental es poco hasta ahora.

Los problemas que se presentan con el concreto fluido, por ejemplo, el endurecimiento rápido, la tendencia a la segregación, y la pobre reproducibilidad de su consistencia, resultan principalmente con los morteros auto-nivelables.

En general, los productos que son compuestos de gran peso molecular utilizados en Alemania y llamados "Fließmittel", son de naturaleza orgánica, y son principalmente policondensados a base de melamina y naftalina. Se muestra que la actividad de los productos depende considerablemente en el peso molecular. Entre mayor sea el peso molecular, mejor es el efecto del superplastificante. La tensión superficial no se reduce con la adición del superplastificante, pero se desarrolla una dispersión de las partículas de cemento causando con ello una reducción de la viscosidad. La condición más favorable para el proporcionamiento de un mortero fluido implica el conocimiento del efecto de un gran número de factores que influyen, como por ejemplo:

- Tipo y cantidad de superplastificantes,
- Tipo y cantidad de cemento,
- Cantidad de agua utilizada,
- Tipo y cantidad de los componentes finos,
- Temperatura ambiente
- Método utilizado para el mezclado.

Las investigaciones están basadas en una consistencia inicial constante

Investigador en el Instituto para la Construcción.

Investigador del Instituto Técnico para la Construcción de Aachen, Aachen, Alemania Occidental.

para todas las revolturas de control obtenidas con diferentes cantidades de agua. Con la incorporación del aditivo superplastificante, la consistencia mejoró dado que cuando menos se alcanzó la consistencia mínima requerida. Se ha encontrado que una relación entre la cantidad de superplastificante agregada y la superficie específica (Blaine) de todos los componentes finos de la revoltura es útil para poder comparar las diferentes revolturas. Por lo tanto, sólo la porción de superplastificante libre de agua debería tomarse en cuenta ya que de otra manera los resultados estarían mal encaminados. Ello se debe en parte al contenido elevado de agua (hasta un 80%), el cual tiene que ser calculado como una parte del agua total de mezclado.

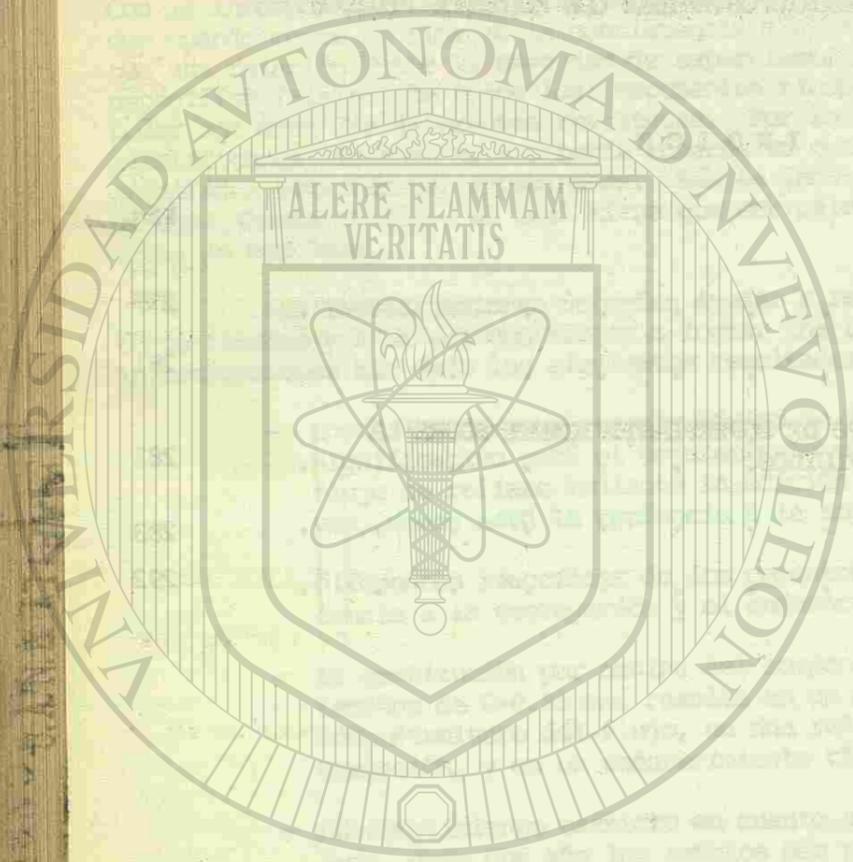
Las investigaciones deberían ayudar a resolver las dudas del uso de morteros fluidos y a la vez contribuir a lograr una buena elaboración de ellos. Las investigaciones han dado los siguientes resultados en forma general:

- Entre menor sea el tamaño máximo de las partículas del agregado, más significativo será el mejoramiento en cuanto al comportamiento del flujo se refiere mediante la adición de superplastificante, y a la vez, menor será la tendencia a la segregación.
- Diferentes reacciones de los cementos con respecto al flujo, la tendencia a la segregación y el endurecimiento inicial.
- La sustitución por ceniza del componente de cuarzo del agregado con tamaños de 0-0.25 mm. resulta en un mejoramiento considerable del comportamiento del flujo, en una reducción de la tendencia a la segregación, y en un endurecimiento rápido.
- Un cumplimiento estricto en cuanto al proporcionamiento de la revoltura, dado que aún los cambios más pequeños pueden influir en la consistencia.

EXPERIENCIAS DE LABORATORIO OBTENIDAS CON MORTEROS FLUIDOS

INDICE

	Pág.
RESUMEN.	277
INTRODUCCION.	281
INFLUENCIA DE LA CANTIDAD Y TIPO DE SUPERPLASTIFICANTE SOBRE LA ESTABILIDAD DE LOS MORTEROS FLUIDOS.	282
CONCLUSIONES.	283
REFERENCIAS	292



INTRODUCCION

La manejabilidad de un mortero de cemento para la elaboración de un acabado tipo "piso de alberca*" puede mejorarse por medio de la adición de agua, solamente que uno tiene que considerar por un lado la cohesión del mortero sin sufrir el fenómeno de segregación, y por el otro lado, los requisitos de resistencia. Un mejoramiento adicional en la manejabilidad puede lograrse únicamente por medio de la adición de los superplastificantes.

Durante los últimos años se tomaba este peso para la elaboración del concreto fluido (1, 2, 3, 4, 5, 6). Por lo tanto es razonable extender esta tecnología desarrollada para el concreto a la elaboración de morteros de baja viscosidad, los cuales son llamados morteros fluidos.

Los campos de aplicación de los morteros fluidos son:

- Acabados tipo "piso de alberca",
- Acabados de pisos en edificios industriales.

Las ventajas que deben mencionarse en el uso de morteros fluidos son:

- Disminución del costo total por medio de una mayor facilidad de instalación,
- Disminución en la mano de obra,
- Mejoramiento en las condiciones de trabajo para el personal de la construcción.

Las desventajas que deben mencionarse son:

- Incremento en el costo de los materiales (los cuales no aumenta el costo total, sino que lo reducen por medio de una mayor facilidad en la instalación),
- Una mayor sensibilidad con respecto a imprecisiones en el proporcionamiento.

Para evitar estas desventajas mencionadas, o al menos reducirlas, se han llevado a cabo las siguientes investigaciones. Los puntos de partida para el método de ensaye han sido:

- Una manejabilidad constante con una fluidez (figura 1) de 120 mm para todas las revolturas de control, tomando en cuenta las variaciones en la relación agua/cemento + ceniza.
- Una fluidez mayor de 250 mm después de la adición del superplastifi-

* Acc. DIN 4109

cante para obtener un mortero fluido.

La intención de lograr una fluidez mínima de 250 mm, y el uso de agregados hasta de 4 mm ocasionaron las siguientes diferencias con respecto a los concretos fluidos:

- Una fluidez mayor,
- Una cantidad considerablemente mayor de superplastificante,
- Una influencia más fuerte del tipo y cantidad de los agregados más finos y del cemento,
- Una influencia mayor por el procedimiento de mezclado, así como por tiempo de mezclado,
- Un comportamiento a la segregación más crítico debido a la mayor cantidad de agua añadida,
- El fenómeno de segregación causado por una sobredosificación.

INFLUENCIA DE LA CANTIDAD Y TIPO DE SUPERPLASTIFICANTE SOBRE LA MANEJABILIDAD DE LOS MORTEROS FLUIDOS.

Se ensayaron cuatro morteros (tabla 1) con diferentes tipos de cemento (tabla 2), pero con la misma cantidad de agregado (tabla 3). La fluidez inicial para las revolturas de control, sin aditivos, han sido ajustadas variando la relación agua/cemento + ceniza de tal manera que la fluidez fue de cerca de 120 mm (tabla 1).

Debe observarse que cuando se utilizan superplastificantes (tabla 4), la cantidad de agua que se añade al mortero es solamente la cantidad requerida para completar la cantidad total (tabla 4). Cuando se utilizan superplastificantes, la cantidad de agua de mezclado tiene que reducirse en una cantidad igual a la cantidad de agua en los superplastificantes (tabla 4). La cantidad total de agua fue relacionada a los contenidos de cemento y ceniza debido a que investigaciones anteriores mostraron que la ceniza mejoró en mucho la manejabilidad, y por lo tanto también se tiene que tomar en cuenta la demanda de agua por parte de la ceniza (10).

El superplastificante libre de agua ha sido relacionado con la superficie específica (Blaine) del cemento y de la ceniza, debido a que se ha mostrado que el superplastificante tiene influencia sobre la ceniza así como sobre el cemento (10).

La figura 2 muestra el efecto de los 4 superplastificantes cuando se utilizaron con el mortero 1 (tabla 4) con cemento C1. Se alcanza una fluidez máxima utilizando los superplastificantes SP1 y SP3. No se puede mejorar la manejabilidad aún a dosificaciones mayores. Una dosificación mayor que 3×10^{-6} g/cm² volverá inútil el mortero debido a que se observa el fenómeno de la segregación. Solamente los superplastificantes SP1 y SP3 lograron una fluidez de más de 250 mm, así que las combinaciones de mortero 1 con SP1 y SP3 pueden llamarse

morteros fluidos. La incorporación de SP2 y SP4 no mejora el mortero 1 a tal grado que se produzca un mortero fluido.

La incorporación de los superplastificantes SP1 y SP3 al mortero 2 resulta en una fluidez máxima aun con una dosificación menor (figura 3). El SP2 con el mortero 2 rinde mejores resultados que con el mortero 1, y alcanza una fluidez máxima de 250 mm. Cuando se esté elaborando un mortero fluido con estas combinaciones mencionadas anteriormente, no se aconseja utilizar una dosificación de más de 3×10^{-6} g/cm² debido a que ocurrirá el fenómeno de la segregación. Ni con cantidades muy grandes de superplastificante SP4 se obtendrá un valor máximo y no se observará el fenómeno de la segregación.

También se puede elaborar un mortero fluido con mortero 3 (tabla 1) añadiendo SP1, SP2 o SP3 (figura 4). La dosificación del SP3 tiene que ser mucho más exacta que la de los otros superplastificantes porque ocurrirá la segregación aun antes de alcanzar la manejabilidad máxima con una cantidad de 3×10^{-6} g/cm². Tampoco se recomienda una dosificación de SP1 mayor que 2×10^{-6} g/cm². Lo anterior muestra que el mortero 3 es mucho más sensitivo que el mortero 2.

El mortero 4 requiere considerable menos superplastificante para producir un mortero fluido (figura 5). Aquí también se observará el fenómeno de la segregación mencionado antes, pero aquí ocurre con una dosificación de aproximadamente 2×10^{-6} g/cm² de superplastificante SP1, SP2 o SP3, requerido para lograr la fluidez máxima. El superplastificante SP4 no responde con el mortero 4 de la manera esperada, así que contrario a los morteros 1, 2 y 3, no se puede producir un mortero fluido con el mortero 4.

CONCLUSIONES

Los morteros 2 y 4, conteniendo cemento de escoria de alto horno, requieren de menos dosificación de superplastificante para la elaboración de un mortero fluido y son los más adecuados desde el punto de vista de producción (errores en la dosificación) que los morteros 1 y 3 (conteniendo cemento Portland).

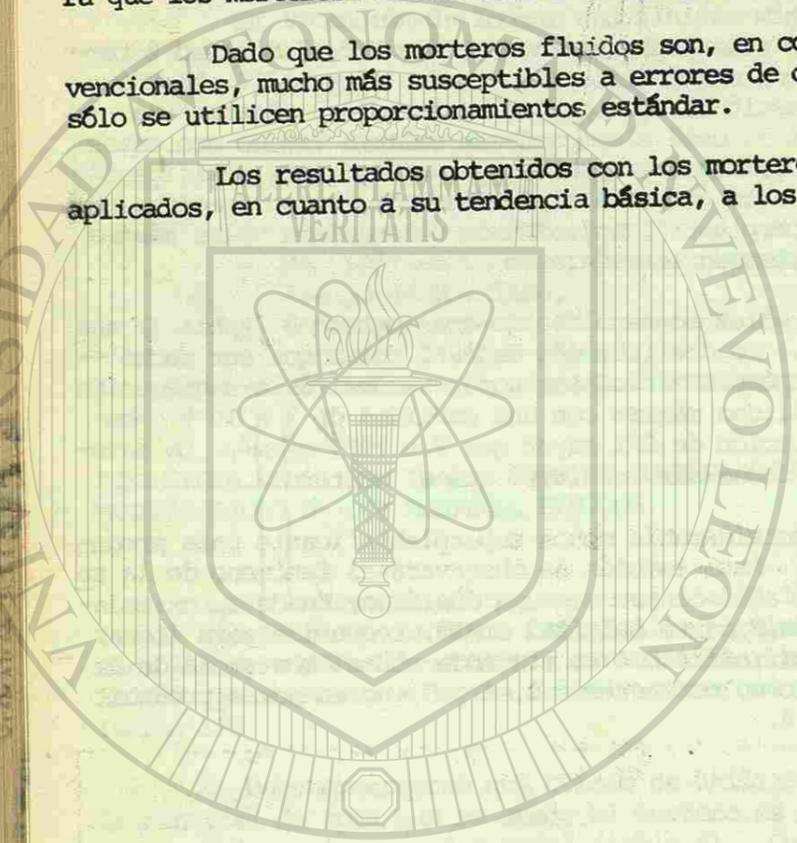
Los superplastificantes SP1 (a base de melamina) y SP3 (a base de nafalina) mostraron buenos resultados con todos los morteros; el SP2 (a base de lignina) no presenta el efecto deseado con el mortero 1. De acuerdo con estos resultados, el SP4 (a base de estireno) no es adecuado para la elaboración de mortero fluido. La incorporación del superplastificante a los morteros mostró que el tipo y cantidad de superplastificante, así como el tipo de cemento influyen la manejabilidad de manera decisiva, mientras que el contenido de cemento (8) sólo tiene una influencia leve. La elaboración de un mortero fluido que pueda prepararse nuevo ha sido logrado bajo condiciones de laboratorio utilizando los materiales examinados. Las dosificaciones elevadas de superplastificante son necesarias para producir un mortero fluido no solamente capaz de fluir, sino de auto-nivelarse.

La resistencia de los morteros fluidos examinados resultó ser igual y en

muchos casos mayor que la de las revolturas de control, por lo tanto, se considera que los morteros fluidos tienen suficiente resistencia.

Dado que los morteros fluidos son, en comparación con los morteros convencionales, mucho más susceptibles a errores de dosificación, se recomienda que sólo se utilicen proporciones estándar.

Los resultados obtenidos con los morteros fluidos también pueden ser aplicados, en cuanto a su tendencia básica, a los concretos fluidos.



Revoltura No.	Tipo de cemento	Proporciónamiento de la Revoltura				Fluidez mm -
		Cemento	Ceniza	Agregado	Agua/Cemento+Ceniza	
1	1	1.00	0.96	4.05	0.38	120
2	2	1.00	0.96	4.05	0.38	120
3	3	1.00	0.96	4.05	0.40	120
4	4	1.00	0.96	4.05	0.39	120

Proporciónamiento de las revolturas de control

TABLA 1

Componentes finos	Densidad g/cm ²	Superficie específica* cm ² /g	Resistencia a la Compresión**	
			7 días Kg/cm ²	28 días Kg/cm ²
Cemento C1	3.100	3040	74.5	513
Cemento C2	2.982	3680	87.7	412
Cemento C3	3.100	3368	84.3	445
Cemento C4	3.000	4171	87.9	425
Ceniza FA	2.417	3296	-	-

* acc. Blaine
** acc. DIN 1164

Información técnica de los componentes finos hasta 0.25 mm.

TABLA 2

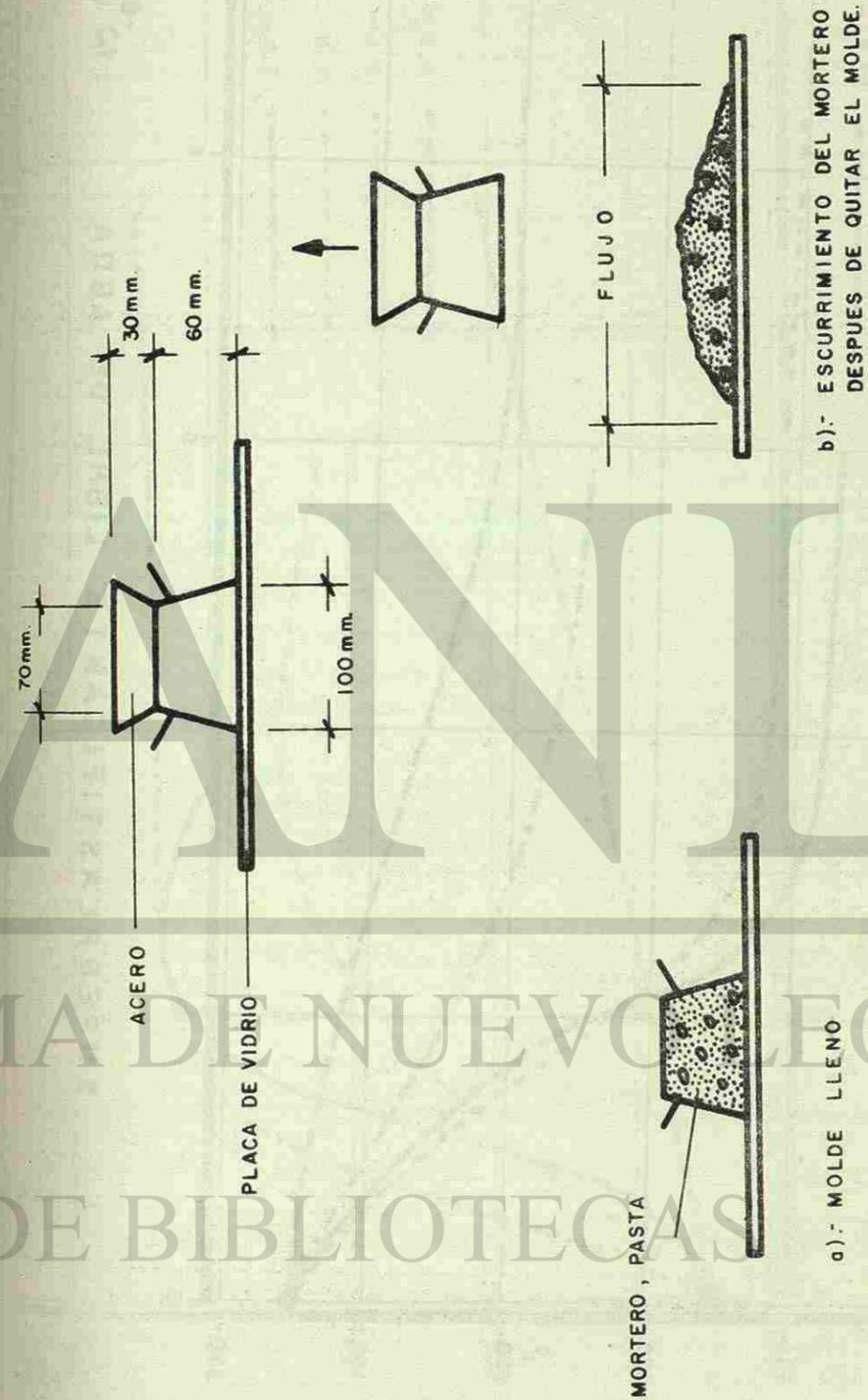
Tamaños en mm	ARENA		
	0,25/1	1/2	2/4
% de Material que pasa (en peso)	35,29	70,59	100
COMPOSICION DE LOS AGREGADOS			

TABLA 3

Superplastificante	Contenido de agua	Componentes Químicos Principales (de acuerdo a lo informado por los fabricantes)
SP1	0.800	Producto de la condensación de un melamín-formaldehído sulfonado.
SP2	0.598	Sulfonato de Lignina
SP3	0.538	Condensado de naftalina-formaldehído sulfonado.
SP4	0.604	Dispersión de polímero con base de estireno

LOS PRINCIPALES COMPONENTES QUIMICOS DE LOS SUPERPLASTIFICANTES

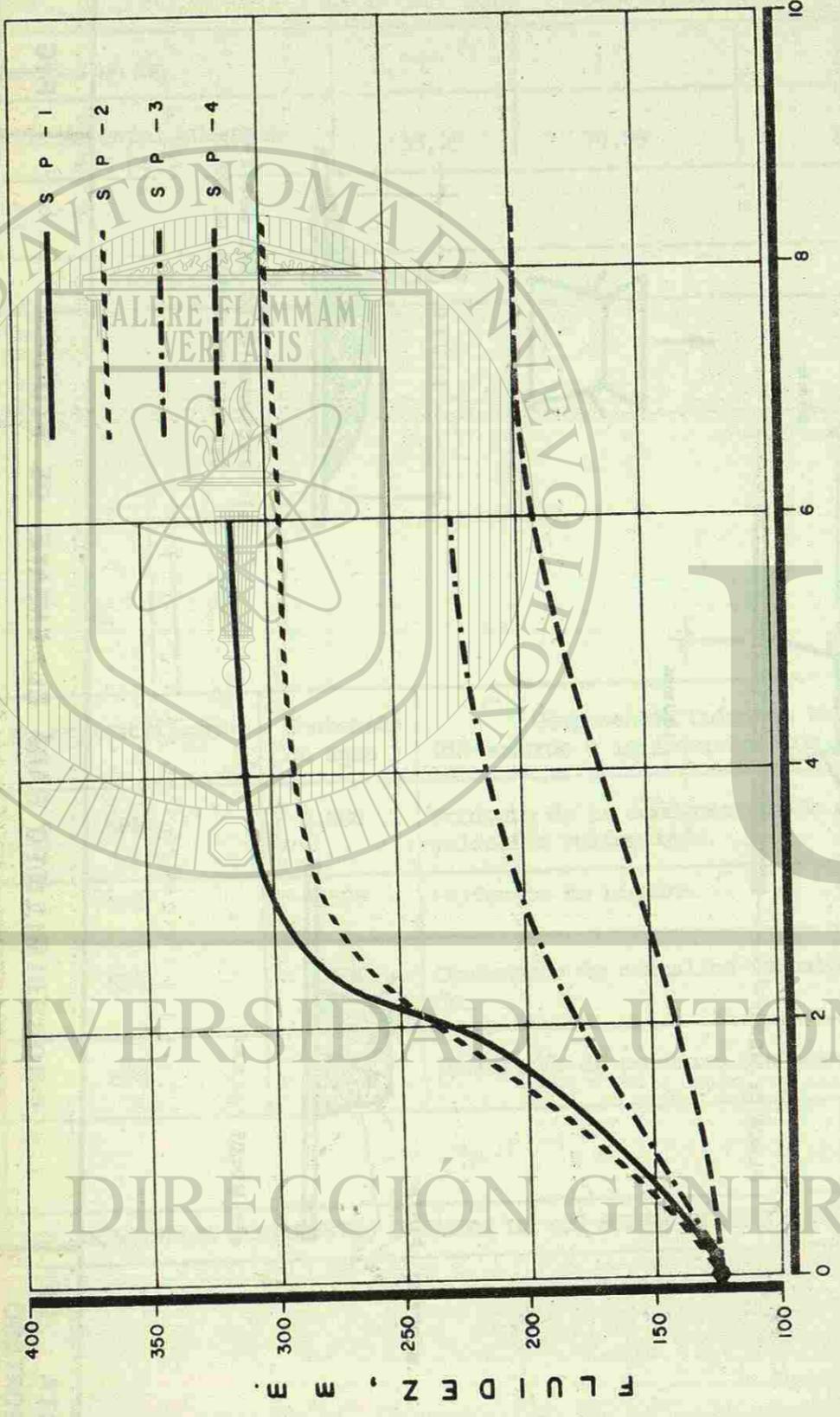
TABLA 4



PASTA DE MORTERO

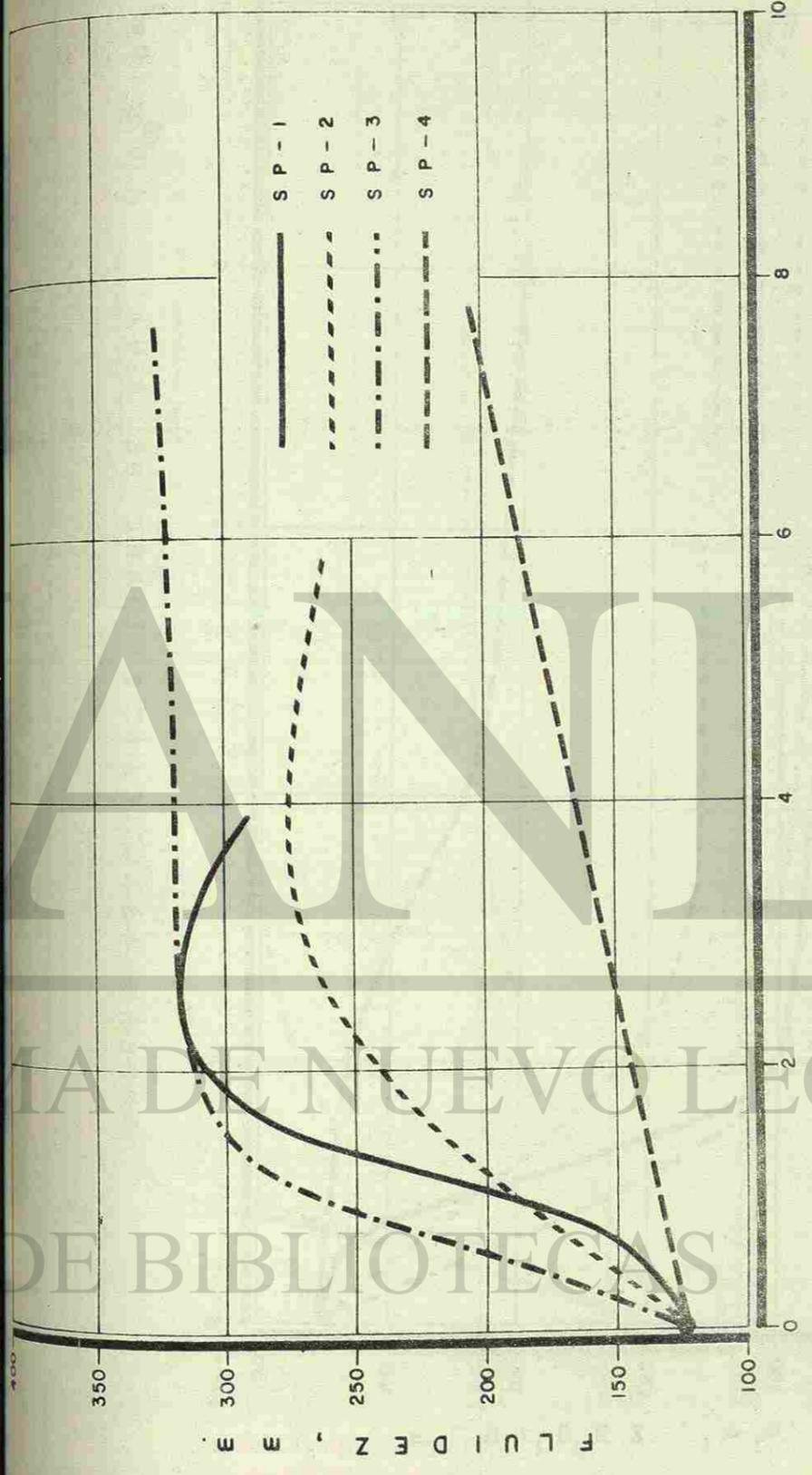
PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYE DE FLUIDEZ

FIG. 1



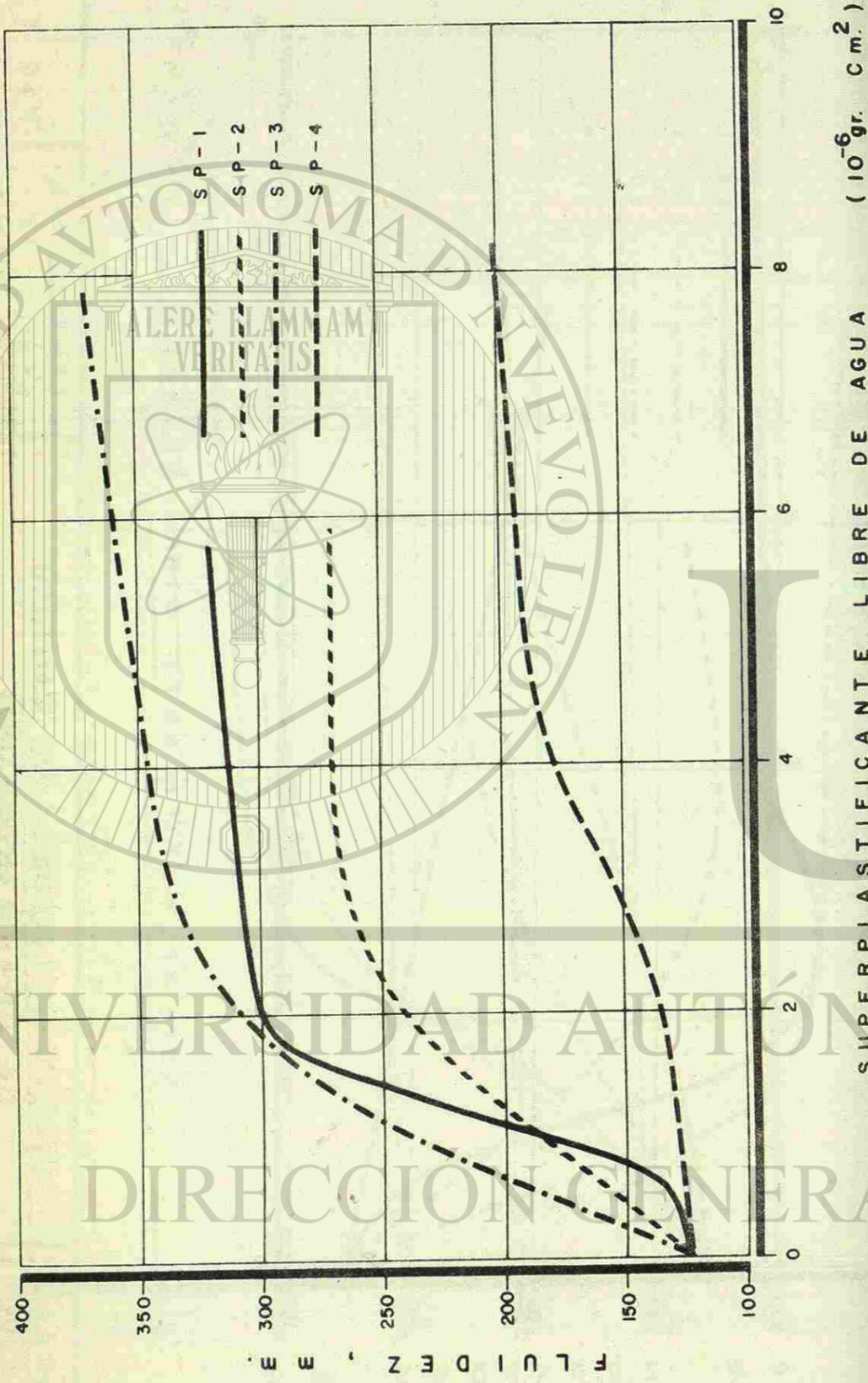
SUPERPLASTIFICANTE LIBRE DE AGUA (10⁻⁶ gr./cm²)

MORTERO CEMENTO C-1 CENIZA FA-1 AGUA/CEMENTO+CENIZA = 0.38 VISCOSIDAD (FLUIDEZ) VS. CANTIDAD DE SUPERPLASTIFICANTE FIG. 2



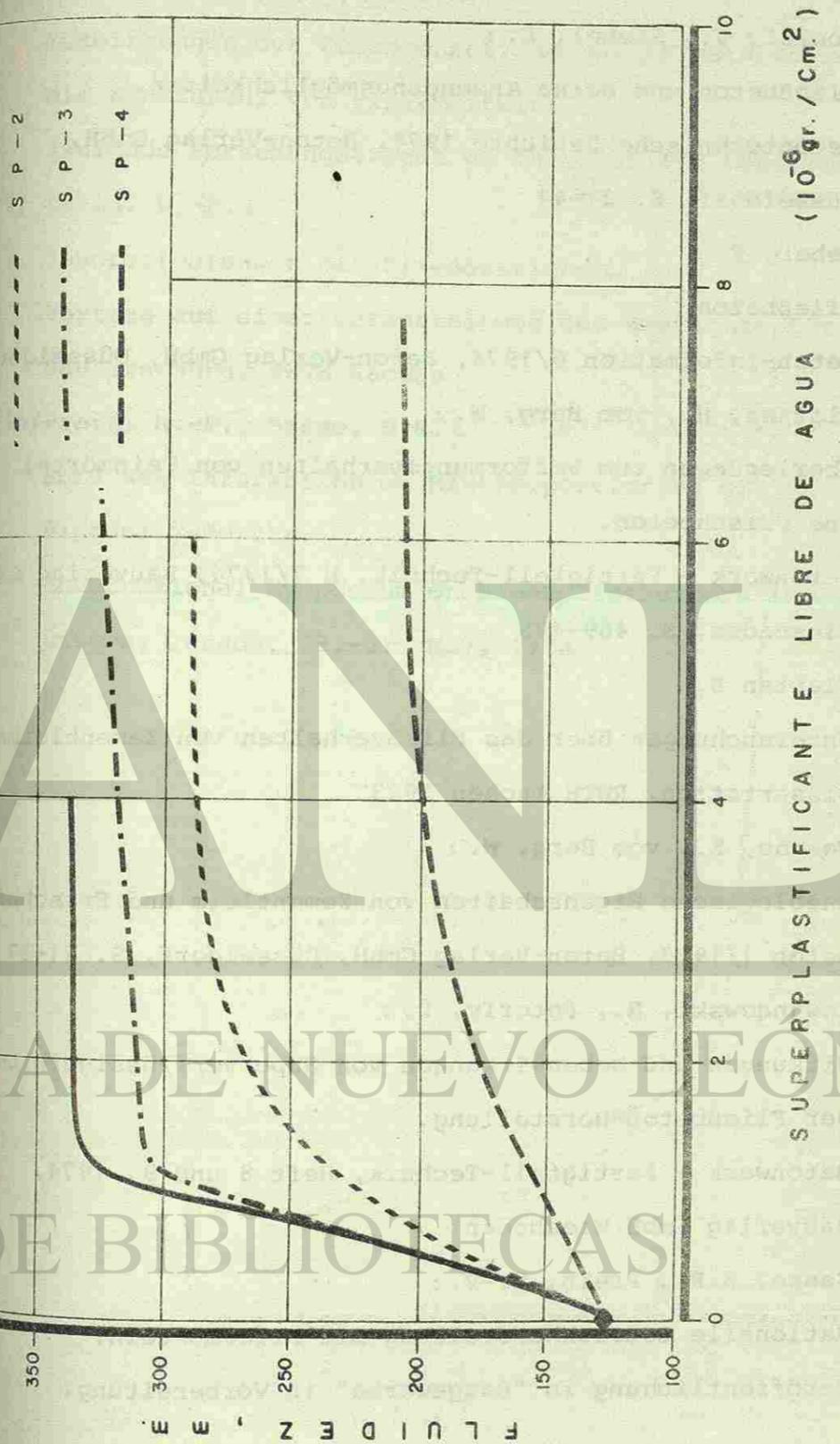
SUPERPLASTIFICANTE LIBRE DE AGUA (10⁻⁶ gr./cm²)

MORTERO d ≤ 4 mm. CEMENTO C-2 CENIZA FA-1 AGUA/CEMENTO+CENIZA = 0.38 VISCOSIDAD (FLUIDEZ) VS. CANTIDAD DE SUPERPLASTIFICANTE FIG. 3



MORTERO C-3
 VISCOSIDAD (FLUIDEZ) VS. CANTIDAD DE SUPERPLASTIFICANTE

CEMENTO C-3
 CENIZA FA-1
 AGUA/CEMENTO+CENIZA

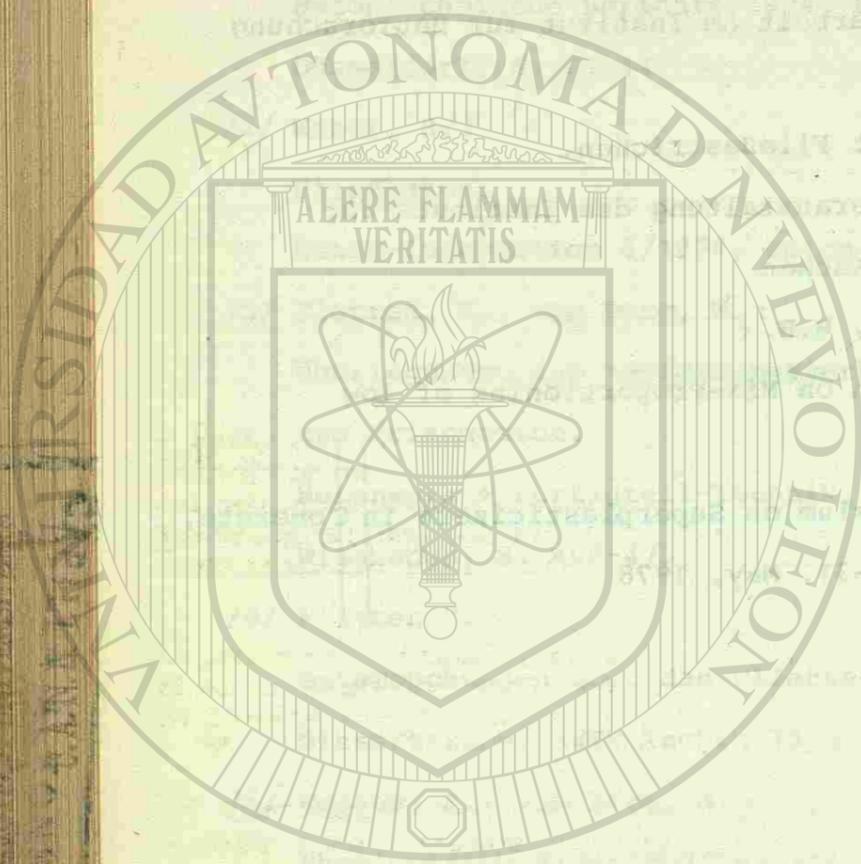


MORTERO C-4
 VISCOSIDAD (FLUIDEZ) VS. CANTIDAD DE SUPERPLASTIFICANTE

CEMENTO C-4
 CENIZA FA-1
 AGUA/CEMENTO+CENIZA = 0.39

REFERENCIAS

- /1/ Bonzel, J., Siebel, E. :
Fließbeton und seine Anwendungsmöglichkeiten.
Betontechnische Berichte 1974, Beton-Verlag GmbH,
Düsseldorf, S. 21-44
- /2/ Weber, R. :
Fließbeton.
Beton-Information 6/1974, Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf
- /3/ Flatten, H., vom Berg, W. :
Überlegungen zum Verformungsverhalten von Feinmörtel
und Frischbeton.
Betonwerk + Fertigteil-Technik, H 7/1974, Bauverlag GmbH,
Wiesbaden, S. 469-475
- /4/ Flatten H. :
Untersuchungen über das Fließverhalten von Zementleimen.
Dissertation, RWTH Aachen 1973
- /5/ Wesche, K., vom Berg, W. :
Rheologische Eigenschaften von Zementleim und Frischbeton.
beton 1/1973, Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf, S. 21-27
- /6/ Lewandowski, R., Peterfy, P. :
Wirkungen und Nebenwirkungen von Superverflüssigern bei
der Fließbeton-Herstellung.
Betonwerk + Fertigteil-Technik, Heft 8 und 9, 1974,
Bauverlag GmbH Wiesbaden
- /7/ Sasse, H.R., Preiß, H.-P. :
Rationelle Estrichherstellung mit Fließmörteln.
Veröffentlichung in "Baugewerbe" in Vorbereitung.
- /8/ Sasse, H.R., Preiß, H.-P. :
Auswirkungen der Zusammensetzung der Feinstanteile auf
die Konsistenz von Fließmörteln.
Laufende Forschungsarbeit am Institut für Bauforschung
- /9/ Preiß, H.-P. :
Laborerfahrungen mit Fließestrichen.
Vortrag auf einer Veranstaltung des Instituts für
Bauforschung, RWTH Aachen
- /10/ Preiß, H.-P., Sasse, H.R. :
Some New Information on Mix-Proportioning of Low
Viscosity-Mortar.
International Symposium on Superplasticizers in Concrete,
Ottawa, Canada, 29.-31. May, 1978



TENDENCIA A LA SEGREGACION DEL CONCRETO CON SUPERPLASTIFICANTE

Dr. Walter Lukas*

RESUMEN

Se ha ensayado la tendencia a la segregación de concreto conteniendo su plastificante elaborado bajo condiciones de laboratorio y con porcentajes de componentes bien definidos. Los parámetros que se variaron fueron en primer lugar dos superplastificantes diferentes (condensados de melamina-formaldehído sulfonados y un sulfonato de lignina modificado), en segundo lugar dosificaciones diferentes.

Los análisis muestran que si la consistencia se mantiene constante, la tendencia a la segregación se reduce significativamente con incrementos en la dosificación de superplastificante. La segregación es análoga a los especímenes de ensaye con relación agua/cemento menor.

Una comparación entre los superplastificantes a base de sulfonatos de melamina y de lignina no muestra diferencia alguna con respecto a las tendencias a la segregación si la consistencia y el manejo del concreto son idénticas.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

* Profesor de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad de Innsbruck, Austria.

TENDENCIA A LA SEGREGACION DEL CONCRETO CON SUPERPLASTIFICANTE

INDICE

RESUMEN.	295
INTRODUCCION.	297
DISCUSION DE LOS RESULTADOS.	299
CONCLUSIONES.	302
REFERENCIAS.	310

TENDENCIA A LA SEGREGACION

INTRODUCCION

Pág. Aquellos que utilizan concretos "fluidos" a menudo temen que la consistencia considerablemente menor viscosidad puede resultar en mayor segregación comparada con el concreto normal con el mismo contenido de agua. La tendencia a la segregación de los componentes de un concreto en el cual se ha utilizado superplastificante ha sido estudiado en concretos modelo con composición bien definida. Estos difieren ligeramente en composición con respecto a los concretos usuales, ya que tienen un contenido de cemento mayor y del tamaño del agregado está limitado a un máximo de 8 mm. El contenido de agua fue seleccionado de tal manera que la consistencia fuese mayor que la de los concretos fluidos normales (revenimiento= 230 mm). En todas las series se mantuvo constante la relación agregado/cemento. Se aseguró una consistencia constante mediante variación en la dosificación de superplastificante. Esto naturalmente cambia la relación A/C. Para lograr consistencias comparables en cada caso, se ajustó a una cierta lectura de la masa de fluidez de acuerdo con la norma Austriaca ONORM B 3310 (DIN 1164) con la ayuda de la mesa vibratoria allí.

Después de la homogenización de los tres componentes iniciales en la revolvedora de laboratorio y después del control de consistencia necesario, el material mezclado fue vertido dentro de un recipiente plástico y cerrado herméticamente. En adelante referiremos a las cantidades mezcladas como las cantidades de preparación. La consolidación se logró mediante vibrado intenso con un vibrador externo. Todos los parámetros variables se mantuvieron constantes para evitar influencias externas diferentes. Por ejemplo, los agregados fueron separados en diferentes tamaños de partícula a partir de los cuales se tomaron cantidades de acuerdo con la curva granulométrica. También se mantuvieron constantes en todos los ensayos la cantidad de concreto vertido en los recipientes, el período de vibrado y la frecuencia del vibrado externo utilizado para la consolidación.

Los recipientes fueron cerrados herméticamente para evitar la evaporación del agua hasta la realización de los ensayos. Después de endurecerse, los especímenes de ensayo de cerca de 12 a 15 cm. fueron cortados en 5 capas de aproximadamente igual espesor. Entonces se ensayaron las capas individuales para determinar su contenido de agua, cemento y de agregados. Las partes sólidas, cemento y agregados, en las diferentes capas fueron determinadas mediante un método de fluorescencia con rayos X, el cual ha sido desarrollado por nosotros. El contenido de agua fue determinado mediante un método termoanalítico. Todos estos métodos han sido descritos en detalle en otro trabajo (1).

En la serie I se ensayó la influencia a la segregación de diferentes cantidades de superplastificante para la misma consistencia. La consistencia fue determinada mediante el método descrito anteriormente. Se varió el contenido de superplastificante a base de melamina (tipo Me) de 0 a 3.33%. Para lograr la consistencia dada (lectura en la mesa de fluidez= 23 cm. de acuerdo a la norma Austriaca B 3310, esta lectura en la mesa vibratoria equivale a un re-

venimiento de 230 mm) fue necesario reducir el contenido de agua al ir aumentando la dosificación de superplastificante. Para investigar cómo otros superplastificantes pueden influir en la segregación se ensayó en la Serie II un superplastificante a base sulfonado de lignina (tipo Li). De los muchos productos disponibles, se seleccionó un lignosulfonato de sodio (Na-lignin sulfonate). Este es un compuesto puro y libre de azúcar y cloruro. Para investigar el grado de segregación con igual fluidez (revenimiento) pero sin plastificante, se preparó una serie con la misma relación A/C que las series I y II. A esto se le denominó serie III. Las tres series tienen una relación A/C de 0.453. Por lo tanto, se estudiaron revolturas con la siguiente composición:

Agregado: Agregado redondo de dolomita con tamaños de 0 a 8 mm.

Cemento: Cemento Portland, sin material puzolánico.

	CEMENTO	AGUA AGREGADOS		REL.	SUPERPLASTIFICANTE EN % EN PESO DE CEMENTO	REV.	LECTURA DE LA MESA DE FLUIDEZ EN cm.
		% EN MASA		A/C			
Serie I/1	23,81	12,69	63,50	0.533	0	230 mm	23 ⁺ cm (62 ⁺⁺ cm)
2	24,06	11,83	64,11	0.492	Me 1,25	230 mm	23 cm (62 cm)
2	24,27	10,99	64,74	0.453	Me 2,50	230 mm	23 cm (62 cm)
4	24,50	10,17	65,33	0,415	Me 3,30	230 mm	23 cm (62 cm)
Serie II	24,27	10,99	64,74	0,453	Li 1,10	230 mm	23 cm (62 cm)
Serie II	24,27	10,99	64,74	0,453	0	120 mm	16 cm (42 cm)

Me = Serie con aditivo a base de melamina

Li = Serie con aditivo a base de lignina

+ = Lectura de la mesa de fluidez con mesa vibratoria, para mortero de acuerdo a la norma Austriaca B 3310. La relación entre agregado y cemento es constante en todas las series.

++ = Lectura de la mesa de fluidez para concreto

Estos proporcionamientos (contenido de cemento relativamente elevado, relación A/C elevada, tamaño de partícula de 0 a 8 mm, buena consolidación) no son muy similares a los de concretos y concretos fluidos utilizados en la práctica. Se tuvo que seleccionar un proporcionamiento diferente para aumentar la ten-

dencia a la segregación, y obtener un mejor contraste. Como lo han mostrado -- las investigaciones, la segregación se comporta simiilamente en concretos con -- proporcionamiento común.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

El contenido de cemento, agregado, y agua medida se muestra separadamente en los diagramas para cada serie. Los cortes entre las capas están marcados mediante líneas horizontales. De izquierda a derecha se muestran las cantidades de agua, cemento y agregados expresados en % en masa para cada capa. El porcentaje de cada componente al preparar la revoltura esta marcado mediante una línea interrumpida vertical. Además de las relaciones porcentuales de distribución, se muestran las relaciones A/C que resultan del cálculo de las concentraciones reales de agua y cemento.

Si nosotros observamos primeramente la serie sin aditivo superplastificante, serie I/1, observamos que se requirió una relación A/C de 0.533 para lograr la consistencia deseada. El proceso de endurecimiento posterior al llenado y consolidación del molde, es caracterizado por una fuerte emisión de agua hasta la superficie superior. El agua de sangrado desprendida ha sido restada en todas las condiciones posteriores. Consecuentemente, se reduce la relación inicial de A/C para la serie I/1 de 0.533 a 0.511. Si solamente observamos el contenido de cemento, notamos un enriquecimiento en la capa superior 1. Aquí el valor aumenta de 23.81% a cerca de 37.2%. El valor disminuye bruscamente al ir descendiendo, pero sin embargo la tendencia a disminuir persiste a todo lo largo. El valor para la capa inferior 5 es aproximadamente de 16.3%. La situación es muy parecida para el agua. Esta disminuye de cerca del 15.4% en las capas superiores hasta 9.5% en la parte más baja. En ambos casos el contenido de agua difiere -- enormemente con respecto al valor inicial de 12.69%. Como ya se había demostrado en el otro trabajo (1), también aquí se puede encontrar un aumento significativo en la relación A/C al ir descendiendo en el espécimen. En la serie I/1, resulta una relación A/C teórica de 0.511 después de restar el agua de sangrado. En la capa superior se puede calcular una relación A/C de 0.425 a partir de los contenidos de cemento y agua medidos. Este valor aumenta constantemente hasta -- 0.564 en la capa inferior.

En la serie I/2 añadimos 1.25% de superplastificante a base de melamina. Para obtener la consistencia requerida reducimos la relación A/C a 0.429. Después del sangrado la relación A/C fué de 0.472. Se observa que se sangra menos agua que en la serie I/2. Además de este efecto, también se observa una reducción notable en la tendencia a la segregación de los componentes sólidos. En la capa superior la segregación se reduce de 37.2% (Serie I/1) hasta cerca de -- 25.8%. La misma tendencia se presenta en la capa inferior en la cual el contenido de cemento aumenta ligeramente en comparación con la serie I/1. Tanto en la capa superior como en la inferior la diferencia con respecto al valor original -- de 24.06% es menor. Como a 4 o 5 cm. de profundidad de nuevo se encuentran las proporciones esperadas y éstas se encuentran aún más claramente en la capa del --

del fondo. Aquí el contenido de agua absoluto para la serie I/2 es de 8.8%, lo cual es muy por abajo de 9.5% para la serie I/1. Posteriormente se intenta una interpretación de esta distribución extraordinaria de agua. En la serie I/3 añadimos 2.5% de superplastificante a base de melamina. Consecuentemente, para obtener la consistencia requerida reducimos la relación A/C a 0.453. Después del sangrado la relación A/C fue de 0.432. Se observa que de nuevo se sangra menos agua. Además, aparece una reducción significativa en la tendencia a la segregación de todos los componentes. El contenido de cemento para las capas superiores disminuye aún más en comparación con las dos primeras series y es de cerca de 31.8%, extraordinario. Este enriquecimiento solamente se encuentra en la capa de arriba, en las siguientes capas a partir de una profundidad de 4 cm, en adelante, el contenido de cemento queda justo por encima del valor original. La reparación de la disminución en el contenido de cemento en la capa del fondo se debe probablemente a un enriquecimiento con agregado grueso y parece ser causado por errores accidentales en la preparación. También se observa una reducción significativa en la tendencia de segregación del agua en comparación con las series I/1 y I/2. El contenido de agua en las capas superiores es de 13.4%, lo cual es muy por encima del valor de 10.99%. Disminuye constantemente hasta 7.8% en la capa del fondo.

Con mayores dosificaciones de superplastificante, la cantidad de agua requerida, se reduce mientras se mantiene la misma consistencia. Con 3.3% de superplastificante, las condiciones requeridas se lograron con una relación A/C de 0.415. La tendencia a sangrar agua ahora se reduce y la relación A/C se reduce a solo 0.406. Esta serie se identificó como I/4, y tiene la tendencia a la segregación más baja en comparación con las otras series. En la capa superior el enriquecimiento del cemento es solamente 29.9% y 12.2% para agua. Ambos difieren solo ligeramente con respecto al valor de 24.5% y 10.7% respectivamente. Análogo a esto, también se encuentra una reducción notable en la tendencia a la segregación de cemento y del agua en la capa inferior.

Si observamos la distribución de la relación A/C de las series I, nosotros encontramos que ésta aumenta con respecto a la profundidad. La tendencia a la segregación disminuye con aumento en el contenido de superplastificante. Se pueden lograr condiciones similares para la segregación reduciendo la relación A/C en concreto normal sin un aditivo plastificante. Se puede mostrar mediante diagramas la relación entre la tendencia a la segregación y la relación A/C para las cuatro muestras de la serie I. El cemento y el agua en las capas superiores y del fondo son calculadas como un porcentaje de los valores originales. El diagrama 5 se muestran estos porcentajes sobre el eje de las ordenadas mientras que las relaciones A/C se muestran sobre las abscisas. Las curvas Z_{e_0} y W_0 muestran los contenidos de cemento y agua respectivamente para la capa superior de cada muestra, y las curvas Z_{e_1} y W_1 representan aquellos para la capa del fondo de cada muestra. Si nosotros acomodamos una curva a estos resultados, vemos que la tendencia a la segregación disminuye con aumentos en la dosificación del superplastificante. Esto es especialmente cierto para la curva Z_{e_0} .

La curva muestra una disminución repentina de la serie I/1 (A/C= 0.53)

la serie I/4 (A/C = 0.475). La segregación del cemento en la capa superior --- la serie I/1 es de 156.4. En la serie I/4 es de solamente 122.1. En la capa superior 5 aumenta constantemente de 68.4 (Serie I/1) a 78.5 (Serie i/4). La curva para el agua muestra un aumento similar en la región inferior (W). La curva de segregación del agua se comporta completamente diferente en las capas superiores. Después de aumentar de la serie I/4 a la serie I/3, cae a los valores --- para la serie I/1. Esta caída se puede asociar directamente con el sangrado. Esto quiere decir que el cambio brusco en la curva de la relación A/C de la serie I/1 (ver diagrama) se puede evitar interpolando linealmente hacia arriba pendiente de la región inferior. El área entre esta curva teórica y la real recuerda casi exactamente con la cantidad de agua sangrado. Estas consideraciones nos llevan a una relación A/C teórica de 0.475 (ver diagrama 1, línea punteada). Este valor es equivalente a aproximadamente 17.7% de agua con respecto al contenido de cemento. Si se grafica en los diagramas este valor de agua "inicial", aparece el aumento esperado en la curva del agua a la región superior. A manera de investigar la tendencia a la segregación de un superplastificante a base de lignina, se preparó otra serie con composición análoga y la misma relación A/C. La dosificación del superplastificante fue relacionada de tal suerte (manteniendo constante el contenido de agua) se logrará un concreto de consistencia idéntica. Esta serie es denominada IIV. Dado que en esta serie aparecen efectos de segregación similares a la Serie I, el estudio se refiere solamente a la relación A/C de 0.453. Los valores para esta serie se encuentran en el diagrama 6. Una comparación con la serie I/3 (diagrama 3) muestra que casi no hay diferencia en cuanto a segregación en ambas series. En la capa superior de la serie II-Li encontramos un contenido de cemento de aproximadamente 32%, en cambio sólo 31% cuando se utiliza el superplastificante a base de melamina. El agua muestra compartamiento similar. Si comparamos el cambio de relación A/C para ambas series, se observa un comportamiento similar entre las series con superplastificante de lignina y la de superplastificante de melamina. Con el fin de comparar el grado de segregación de un concreto fluido con un concreto con la misma relación A/C pero sin superplastificante, se seleccionó un espécimen de serie I en el cual al cantidad de superplastificante corresponde a la dosificación utilizada en la práctica. Para el superplastificante a base de melamina, de acuerdo a lo observado esta muestra que parece quedar en el límite inferior --- (reventamiento= 120 mm).

En el diagrama 7 se muestran los resultados de la investigación de la segregación para esta muestra, la cual se denominó serie III. Aquí uno puede --- que para las condiciones seleccionadas hay una ligera disminución en la segregación en la serie sin superplastificante que en la serie con superplastificante. Los superplastificantes no aumentan la tendencia a la segregación, y por tanto no hay razones para el temor mencionado al inicio de este trabajo.

CONCLUSIONES

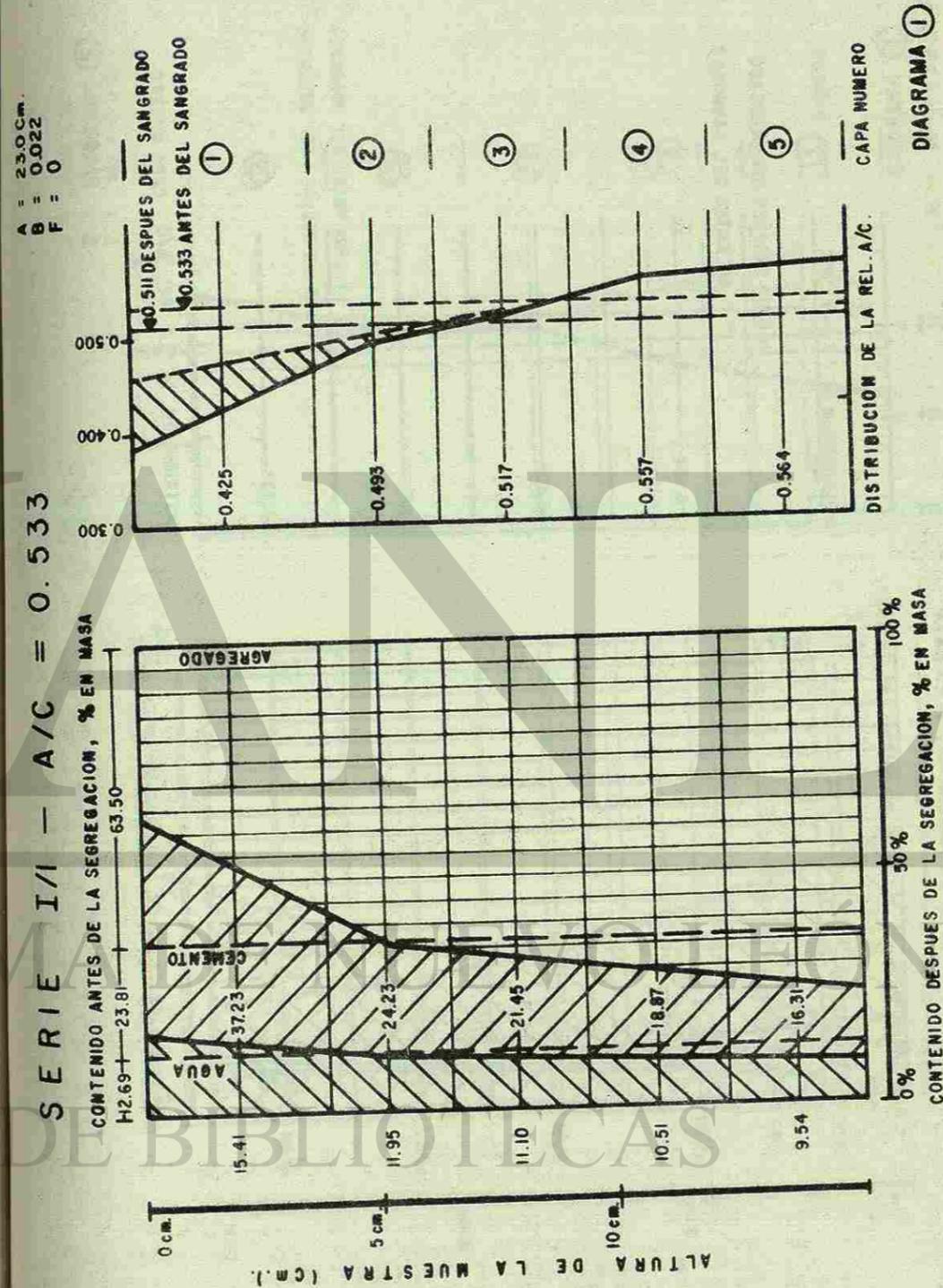
Cuando se están utilizando superplastificantes en concreto con un venimiento de cerca de 225 mm, siempre hay un temor de que los componentes del concreto pueden mostrar gran segregación. Dentro de un estudio sistemático nosotros tratamos de investigar los efectos de un aditivo superplastificante en cuanto a las tendencias de segregación del cemento, agua de mezclado, y agregados. Para este propósito se prepararon revolturas de concreto definidas, las cuales fueron consolidadas después de ser colocadas en recipientes plásticos herméticos. Después de endurecerse el espécimen de ensaye fue cortado en varias capas, las cuales posteriormente han sido ensayadas para determinar el contenido cuantitativo de agua y cemento. Para mejor contraste en los resultados ha sido necesario seleccionar un contenido de cemento muy alto, y limitar el tamaño máximo del agregado a 8 mm.

Para las variaciones de las diferentes series, solamente las cantidades de superplastificantes han sido aumentadas constantemente. Proceder de esta manera requiere una reducción continua de la cantidad de agua, así que la relación agua/cemento original de 0.533 a una dosificación del 0% es reducida a una relación agua/cemento de 0.415 con la dosificación máxima de superplastificante. Fueron utilizados como plastificantes productos con condensados de melamina formaldehído sulfonatado y lignosulfonato modificado.

La segregación de los componentes cemento y agua puede ser indicada por ejemplo como un porcentaje del grado de enriquecimiento o reducción a partir de la concentración inicial en una cierta capa del espécimen de ensaye.

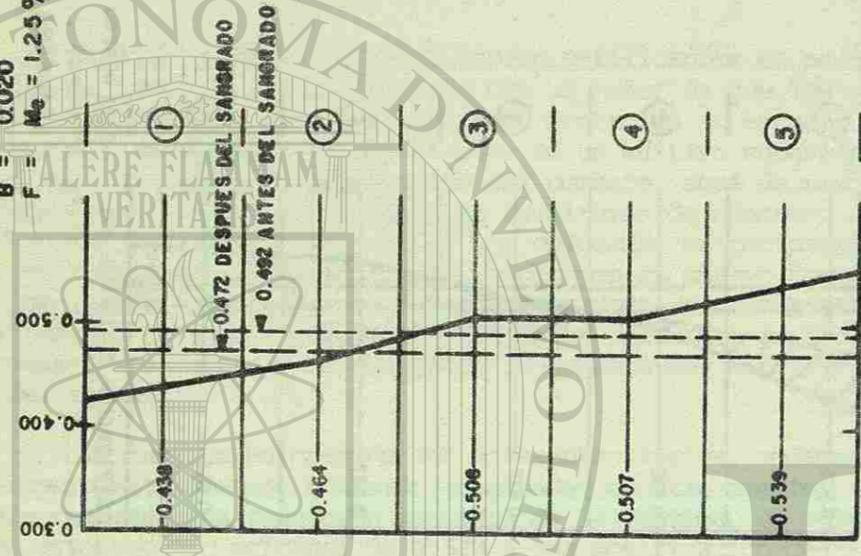
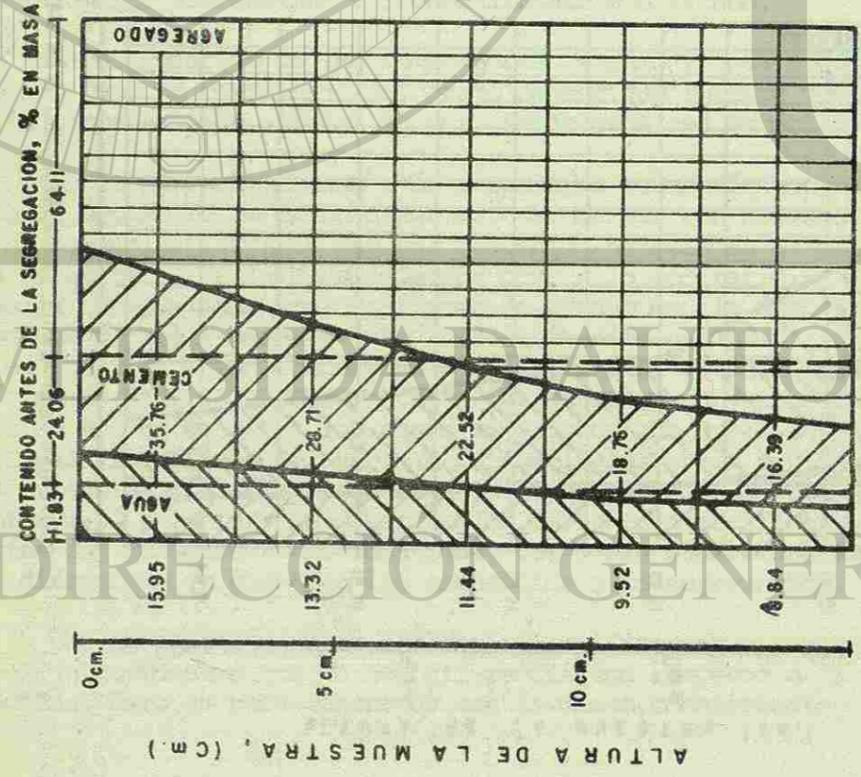
Si el enriquecimiento y la respectiva reducción son confrontados con la relación agua/cemento en un diagrama, parece que con aumentos en la dosificación de superplastificante hay una reducción notoria en el enriquecimiento de la capa superior. En la capa inferior ocurre lo contrario. Los resultados medidos en la capa inferior del espécimen de ensaye con la dosificación mayor son muy cercanos al valor deseado. En la distribución del desplazamiento del contenido de agua, se notan proporciones análogas para el cemento. Sin embargo la diferencia más notoria es que en todas las series, con y sin superplastificante, la relación A/C es menor en las capas superiores que en la inferior. La relación A/C dada se obtiene solamente a profundidades entre 4 y 6 cm. En relación con los superplastificantes, es interesante saber que a la tendencia al sangrado disminuye al aumentar la dosificación del superplastificante. Si se comparan series con relaciones A/C idénticas, con y sin superplastificantes, no hay ninguna diferencia en cuanto a las tendencias a la segregación.

Una comparación entre los superplastificantes a base de melamina y a base de lignina muestra que no hay diferencia con respecto a las tendencias a la segregación. Esto es para concretos con la misma consistencia y manejo idéntico.



SERIE I/2 - A/C = 0.492

A = 23.5 cm.
B = 0.020
F = M₀ = 1.25 % c

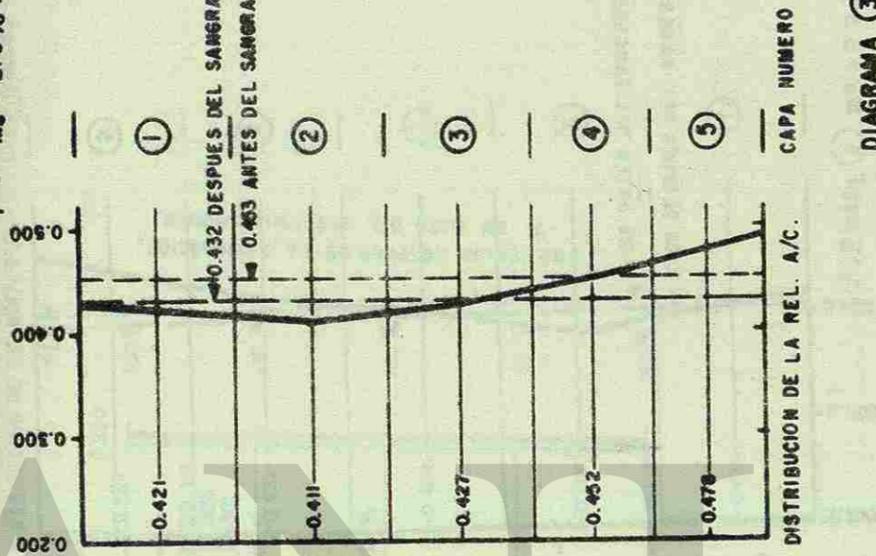
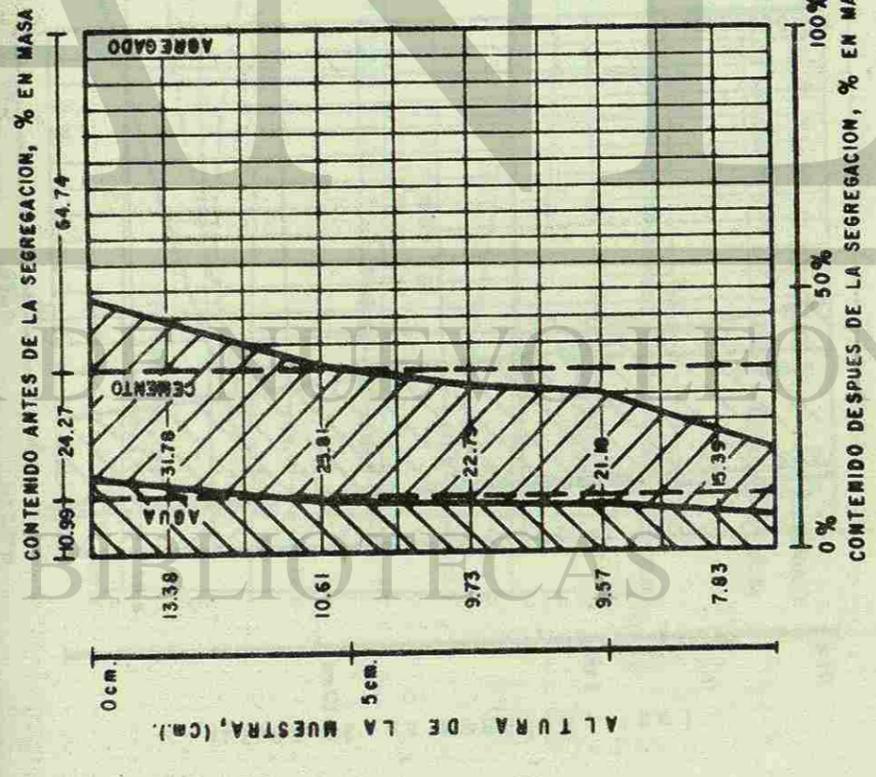


A = LECTURA EN LA MESA DE FLUIDEZ
B = AGUA DE SANGRADO.

DIAGRAMA 2

SERIE I/3 - A/C = 0.453

A = 23.0 cm.
B = 0.021
F = M₀ = 2.5 % c



A = LECTURA EN LA MESA DE FLUIDEZ
B = AGUA DE SANGRADO.

DIAGRAMA 3

SERIE I/4 - A/C = 0.415

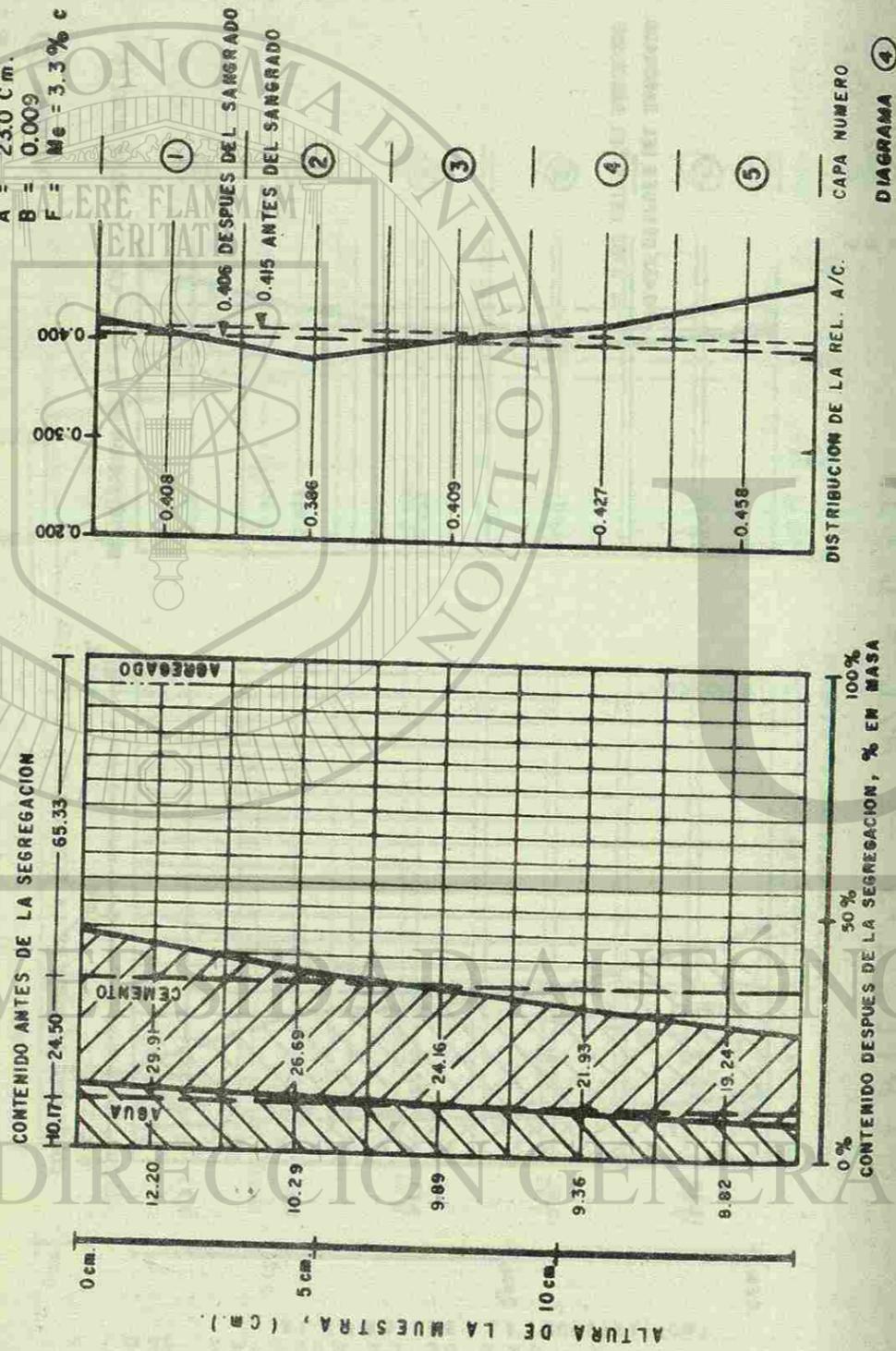


DIAGRAMA 4

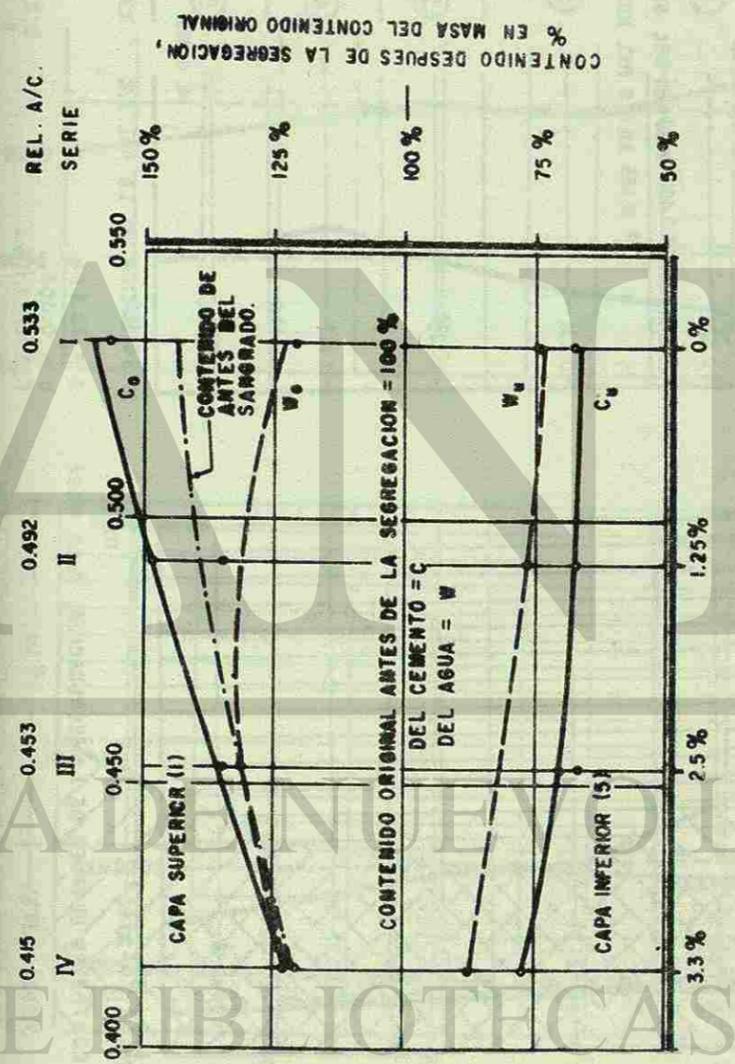
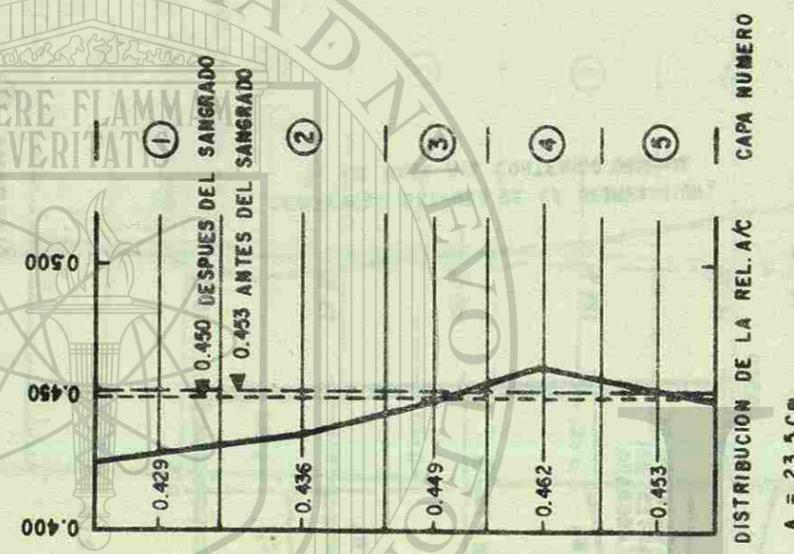
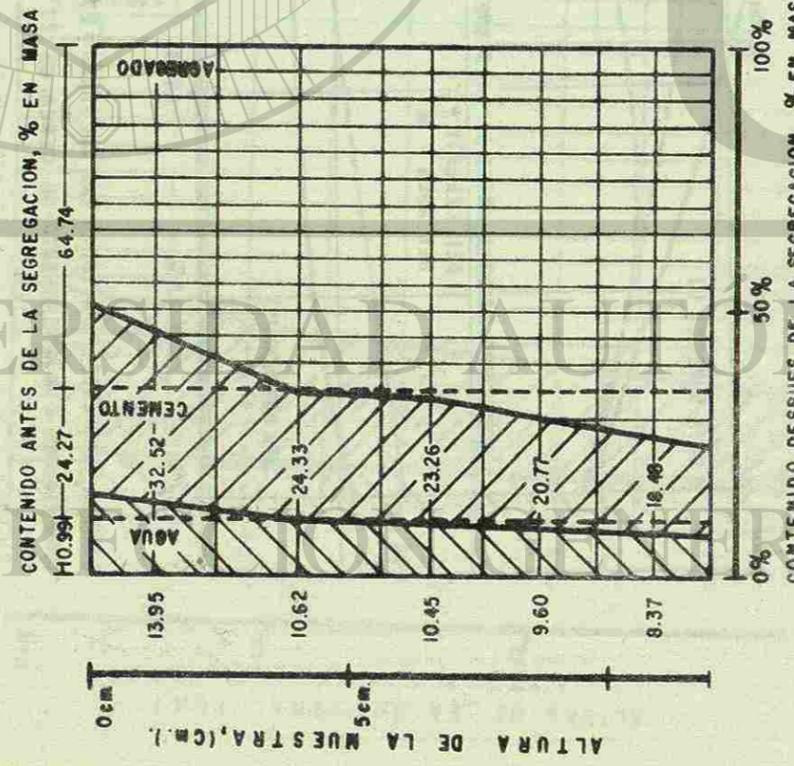


DIAGRAMA 5

FLUIDEZ CONSTANTE PARA TODAS LAS MUESTRAS = 230 ± 0.5 CM.
 (CORRESPONDE A UN REVERIMIENTO DE CERCA DE 225 mm.)

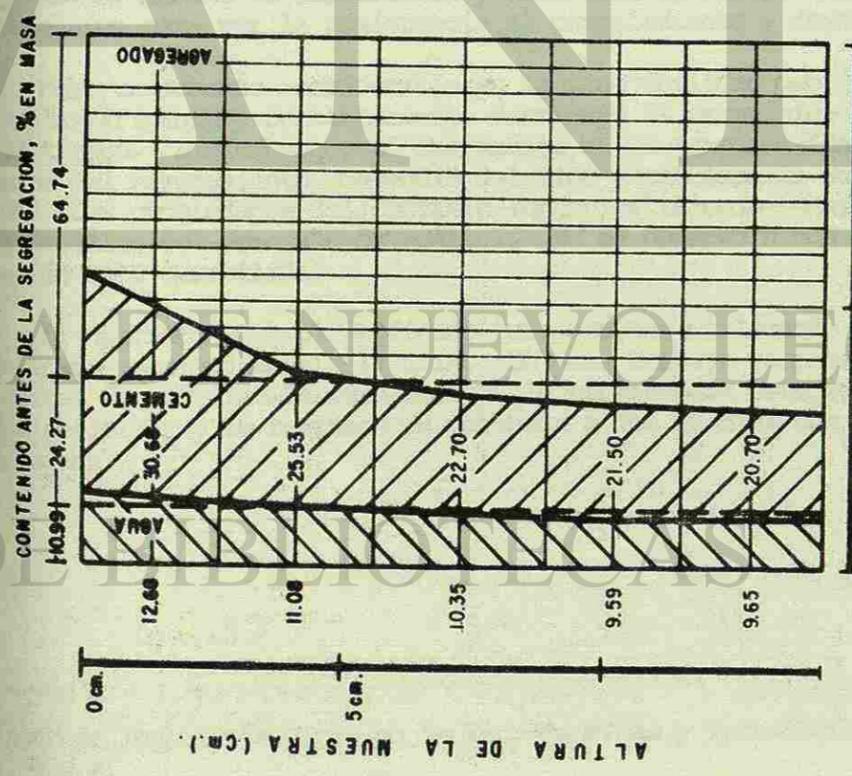
SERIE II/Li - A/C = 0.453



A = 23.5 cm.
B = 0.003
F = Li = 1.1% c

DIAGRAMA ⑥

SERIE III - A/C = 0.453

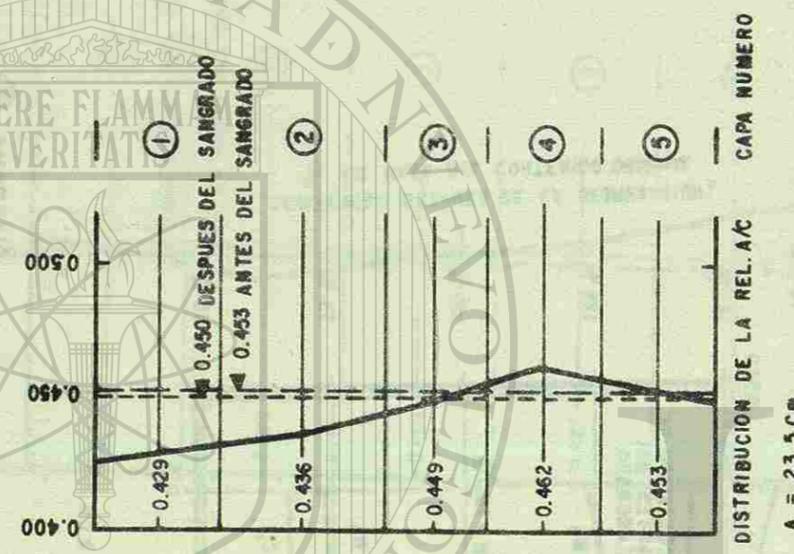
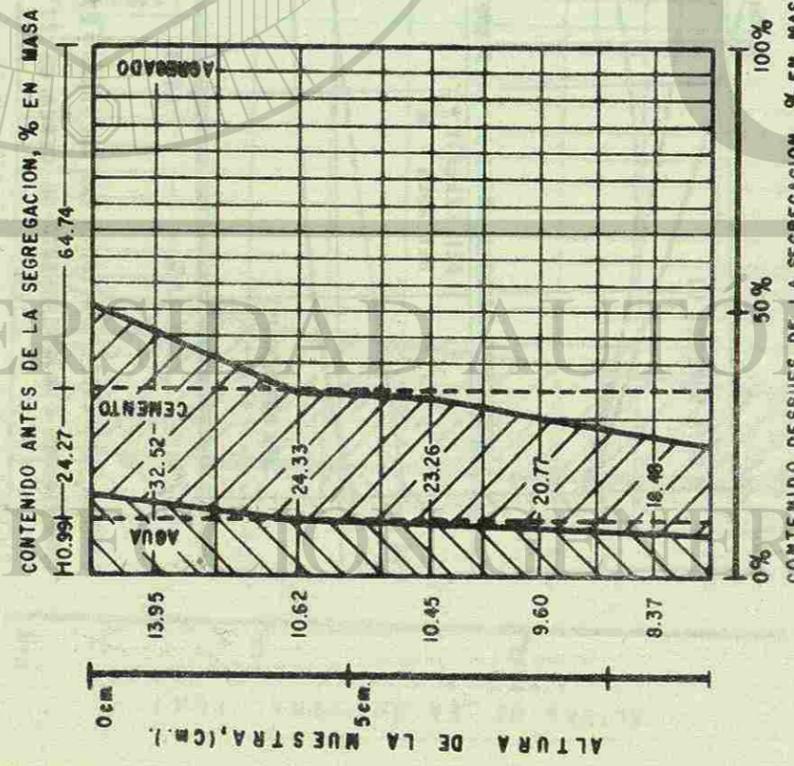


A = 16.0 cm
B = 0
F = 0

DIAGRAMA ⑦

A = LECTURA EN LA MESA DE FLUIDEZ
B = AGUA DE SANGRADO.

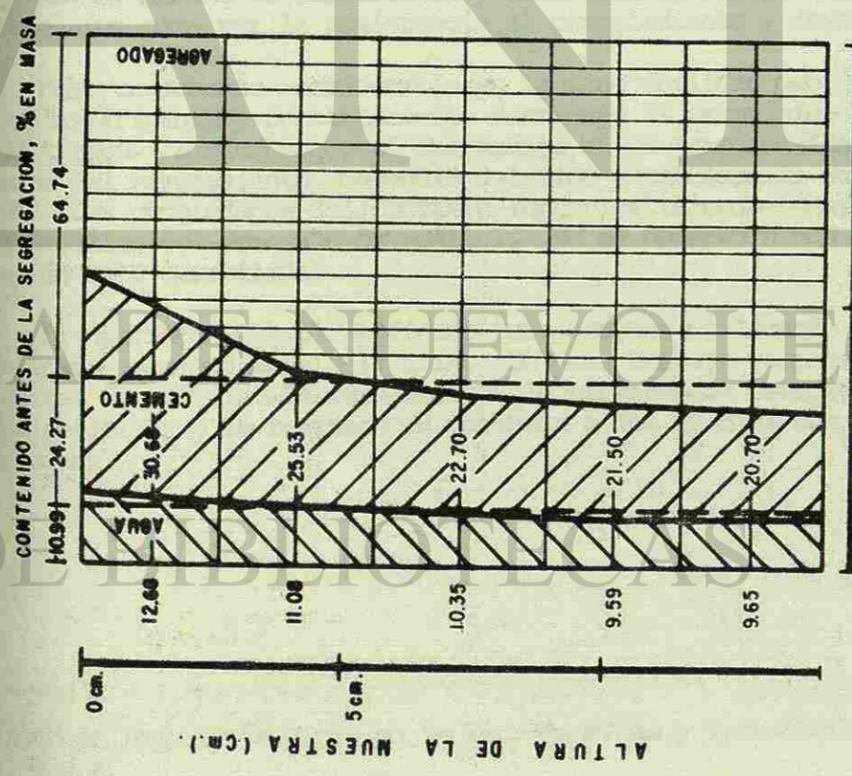
SERIE II/Li - A/C = 0.453



A = 23.5 cm.
B = 0.003
F = Li = 1.1% c

DIAGRAMA ⑥

SERIE III - A/C = 0.453



A = 16.0 cm
B = 0
F = 0

A = LECTURA EN LA MESA DE FLUIDEZ
B = AGUA DE SANGRADO.

DIAGRAMA ⑦

REFERENCIAS

1.- Lukas, Walter

Shift of the cement content and the W/C value in model concretes in segregation processes. Cement and Concrete Research, 1978, in print.

MANEJABILIDAD Y RESISTENCIA DEL CONCRETO SUPERPLASTIFICADO.

Ramakrishnan*

RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados de una investigación de laboratorio consistente en un estudio comparativo sobre la manejabilidad y durabilidad del concreto con superplastificante y el concreto convencional. Se hicieron una serie de mezclas de concreto con varios de los superplastificantes disponibles en el mercado. Las mezclas de control se prepararon exactamente igual que las mezclas con superplastificante, pero sin agregar este aditivo. Los parámetros fueron: la relación agua/cemento, la temperatura inicial del concreto y el contenido de aire. En el concreto fresco se determinaron el revenimiento, tiempo de vebe, contenido de aire, y peso volumétrico hasta 100 minutos después del mezclado inicial. Se ensayó el concreto endurecido para determinar la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y velocidad de pulso. Algunos especímenes se ensayaron para ver la resistencia al congelamiento y deshielo.

Hubo un aumento considerable en la manejabilidad debido a la adición del superplastificante y posteriormente disminuyó el revenimiento progresivamente con el tiempo. Sin embargo, el incremento en la manejabilidad, y la pérdida consecuente del revenimiento, dependió del tipo y cantidad de superplastificante utilizado. Las propiedades del concreto superplastificado endurecido son comparables a aquéllas del concreto de control. No se observó ningún efecto adverso en relación a la durabilidad.

El concreto superplastificado fue ensayado utilizando el método de curado acelerado recomendado por la ASTM. En este trabajo se presentan una ecuación y curvas de correlación relacionando la resistencia obtenida con el método de curado acelerado y la resistencia obtenida a los 28 días con el método de curado estándar.

Profesor de Ingeniería Civil en la Esc. de Minas y Tecnología de Dakota del Sur. U.S.A.

I N D I C E

RESUMEN.	311
INTRODUCCION.	313
OBJETIVOS	313
PROGRAMA DE INVESTIGACION	313
MATERIALES Y METODOS	314
ESPECIMENES Y ENSAYES	314
ANALISIS Y DISCUSION SOBRE LOS RESULTADOS DE ENSAYE	315
ENSAYES ACELERADOS	317
DURABILIDAD	319
CONCLUSIONES.	319
RECONOCIMIENTO	320
REFERENCIAS.	345

INTRODUCCION.

Los superplastificantes son una categoría relativamente nueva de aditivos químicos que actúan como super-reductores de agua. La introducción de estos superplastificantes ha descubierto nuevas posibilidades para el uso del concreto en la construcción. Los superplastificantes se agregan al concreto para causar un enorme incremento en su manejabilidad, o bien para permitir una gran reducción de agua de mezclado, y así producir un concreto de alta resistencia. Tal cambio en las propiedades del concreto pudiera resultar en una reducción en el costo de mezclado o una reducción en los requerimientos de cemento.

Este trabajo presenta los resultados de una investigación de laboratorio consistente en un estudio comparativo de las propiedades del concreto superplastificado y el concreto convencional, tanto en sus estados plásticos como endurecidos.

OBJETIVOS.

La finalidad principal de este programa de investigación es estudiar la manejabilidad del concreto superplastificado y compararla con la del concreto de control sin la adición del superplastificante, y conducir un estudio comparativo similar de la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, y velocidad de pulso para ambos concretos. Los objetivos secundarios de esta investigación son:

- (1) Determinar la rápida pérdida de revenimiento en ambos concretos;
- (2) Desarrollar curvas de correlación relacionando la resistencia obtenida en los concretos superplastificados y de control con el método de curado acelerado y la resistencia a los 28 días obtenida con los procedimientos de curado estándar;
- (3) Conducir un estudio piloto de la resistencia al congelamiento y — deshielo del concreto superplastificado.

PROGRAMA DE INVESTIGACION.

Se prepararon un total de 26 mezclas de concreto (13 mezclas de control y 13 mezclas con superplastificantes) en el laboratorio de tecnología del concreto de la Escuela de Minas y Tecnología de Dakota del Sur. Se ensayó el concreto fresco para determinar su revenimiento, tiempo vebe, contenido de aire, y peso volumétrico. La temperatura y el revenimiento de los concretos fueron registrados a intervalos de tiempo fijos hasta llegar a los 100 minutos después del mezclado inicial. El concreto endurecido se ensayó para determinar su resistencia

a la compresión bajo curado acelerado, y a los 28 días, módulo de elasticidad, peso volumétrico y velocidad de pulso.

MATERIALES Y METODOS.

MATERIALES

En las mezclas se empleó cemento Portland Tipo I que cumple con el requisito ASTM C150-77. El agregado fino empleado fue arena natural con un módulo de finura de 2.95, un coeficiente de absorción de agua de 1.6%, y densidad de 2.62. El agregado grueso consistió en caliza triturada con un coeficiente de absorción de agua de 0.45% y densidad de 2.69. Se empleó un aditivo inclusor de aire (Protex) en diferentes dosificaciones para la inclusión de aire. Se utilizaron los siguientes tres tipos de superplastificantes:

LCMAR D.- Es un sulfonato naftalino condensado de alto peso molecular que satisface todos los requisitos del ASTM C494 para aditivos del Tipo A.

MULCOPLAST CF.- Es un polímero sulfonado en forma de un líquido café claro con 15-17% de contenidos de sólidos, densidad de 1.08-1.10, y un valor pH de 7 a 9. No contiene cloruros ni azúcar.

WALLOPLAST FL.- Lo produce la compañía Wallco Chemie de Austria, y la dosificación recomendada es del 1% del peso del cemento. Se debe añadir ya sea al agregado o al agua de mezclado, y nunca directamente al cemento o a la mezcla fresca.

MEZCLAS

En la Tabla 1 se proporcionan los datos de 12 mezclas. Los superplastificantes fueron añadidos en las dosificaciones recomendadas. Se utilizaron las mismas proporciones en todas las mezclas con una relación de agregado/cemento de 7.3. En la Tabla 1 se muestran las relaciones de agua/cemento utilizadas. El tiempo total de mezclado fue de 8 minutos (3 minutos de mezclado, 3 minutos de descanso y después 2 minutos de mezclado, de acuerdo al ASTM C192-76. Los superplastificantes se agregaron de la siguiente manera: (1) Lomar D junto con el agua; (2) el Mulcoplast CF en los últimos dos minutos de mezclado y (3) el Wallcoplast FL junto con el agregado.

ESPECIMENES Y ENSAYES.

Las propiedades del concreto fresco, por ejemplo i.3., temperatura, revenimiento, peso volumétrico y contenido de aite se determinaron inmediatamente después del mezclado y se muestran en la Tabla 1. También se midió el tiempo

vebe para algunas de las mezclas. Además de eso, para determinar la rapidez de pérdida de revenimiento, se registraron mediciones del revenimiento y temperatura a intervalos de 20 minutos y este registro se muestra en la Tabla 2.

Los especímenes consistentes en cilindros de 150 x 300 mm (6 x 12 in.) se colaron en moldes de acero, se consolidaron y curaron hasta la edad de 28 días en agua saturada de limo de acuerdo al ASTM C192. El curado acelerado se llevó a cabo de acuerdo al ASTM C684-76 (método de agua hirviendo).

Después del curado y antes del capeado, se tomaron mediciones de la velocidad de pulso (ASTM C597-71) y se encuentran en las Ref. 4 y 5. Se midió la velocidad de pulso en sentido longitudinal y lateral. Después de determinar el peso volumétrico, se ensayaron los especímenes para obtener su resistencia a la compresión (ASTM C39) y módulo de elasticidad (ASTM C469); estos valores se reportan en las Ref. 4 y 5.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN SOBRE LOS RESULTADOS DE ENSAYE.

CONCRETO FRESCO

Un conocimiento sobre la pérdida de manejabilidad o plasticidad en el concreto fresco con el tiempo, definido como pérdida de revenimiento, es importante para la colocación y consolidación del concreto. La pérdida de revenimiento es severa durante acarreos largos o demoras, especialmente en climas cálidos. En este estudio se discuten los efectos de la adición de los superplastificantes, la cantidad de revenimiento inicial y la temperatura durante la pérdida de manejabilidad del concreto con el tiempo.

En la Tabla 2 se muestra para 12 mezclas el tiempo vebe medido, el revenimiento y la temperatura medida a intervalos de 20 minutos. En las Figs. 1 y 2 se muestran dos curvas típicas de la pérdida de revenimiento con el tiempo, el concreto superplastificado y el concreto de control correspondiente. Hay un incremento considerable en el revenimiento del concreto superplastificado con la dosificación recomendada. El revenimiento alcanzó hasta 229 mm (9 pulg) y aún en estos revenimientos, los concretos no dieron señales de segregación o sangrado excesivo. En la Fig. 3 se muestra una curva típica de incremento de tiempo vebe con el tiempo. El tiempo vebe es casi "0" hasta 40 minutos después del mezclado para el concreto superplastificado, mientras que el concreto de control tiene un tiempo vebe de 4 seg. a los 40 minutos.

Se observó que cuando el superplastificante se agregó durante el mezclado, se liberaron pequeñas cantidades de aire de la mezcla. Este efecto parece ser de poca consecuencia y se debe a la capacidad normal de liberación de aire asociado con aditivos reductores de agua, y a la menor viscosidad del concreto fluidizado que facilita la liberación de aire atrapado(1). Cuando no se utilizó el aditivo inclusor de aire, se encontró que el contenido de aire del con-

creto superplastificado es menor que el de la mezcla de control correspondiente.

Los pesos volumétricos calculado confirman esto (Tabla 1 y Figura 7). Para mayores relaciones agua/cemento y mayores dosificaciones del aditivo inclusor de aire, los contenidos de aire en los concretos superplastificados fueron menores que el de las mezclas de control. Sin embargo, en el caso del Mulcoplast CF, el contenido de aire del concreto superplastificado aumentó con una reducción correspondiente en los pesos volumétricos plásticos (Fig. 7 y Tabla 1).

En las Figs. 4 y 5 se grafica la pérdida de revenimiento (en porcentaje) contra tiempo para los concretos de control y superplastificados. La pérdida de revenimiento en porcentaje se calculó con respecto al revenimiento inicial. En general, se observó que hubo una pérdida rápida de revenimiento con el tiempo para el concreto superplastificado, y el revenimiento disminuyó progresivamente hasta llegar a lo que había sido el revenimiento inicial de la mezcla de control correspondiente en 40 a 100 minutos dependiendo del nivel de revenimiento inicial, temperatura inicial, y tipo de superplastificante utilizado. Para una temperatura inicial más alta, el concreto superplastificado con "Lomar D" tomó como de 60-80 minutos para llegar al revenimiento inicial del concreto de control. Sin embargo, se tomó menos tiempo (20-40 min.) para llegar al revenimiento inicial del concreto de control cuando la temperatura inicial es baja y el revenimiento es alto. El concreto superplastificado con Mulcoplast CF se llevó de 80-100 minutos para llegar al revenimiento original del concreto de control.

Los resultados indican que tanto para el concreto de control como para el concreto superplastificado, la pérdida de revenimiento es proporcional a la cantidad de revenimiento inicial; entre mayor sea el revenimiento inicial, mayor será la pérdida del mismo. El concreto superplastificado tiene una pérdida de revenimiento ligeramente mayor que el concreto de control. El grado de pérdida de revenimiento es también proporcional a la edad del concreto fresco. La mayor pérdida para los dos concretos se efectúa en el intervalo de los 40 a los 60 minutos. La diferencia de pérdida de revenimiento entre el concreto de control y el concreto superplastificado es menor a los 100 minutos que a los 40 y 20 minutos.

La cantidad de disminución en la temperatura del concreto fresco durante el período de los 100 minutos es la misma para ambos concretos.

En la Fig. 6, la pérdida de revenimiento en los concretos superplastificados con Lomar D y Mulcoplast CF se comparan con la mezcla de control. La temperatura inicial fue casi la misma para todas estas mezclas. El concreto superplastificado con Lomar D perdió revenimiento más rápido que el concreto superplastificado con Mulcoplast CF.

CONCRETO ENDURECIDO

La comparación de resistencias a la compresión a los 28 días se muestra

en la Tabla 3 y en la Fig. 8. Las resistencias a la compresión de los concretos superplastificados son, en general, iguales o mayores que las resistencias de los concretos de control correspondientes. Esto también ha sido confirmado por los pesos volumétricos unitarios secos que se muestran en la Fig. 9. Sin embargo, los concretos superplastificados con Mulcoplast CF, muestran una disminución en la resistencia a la compresión en comparación con los concretos de control. Estas reducciones son el 5 y el 15% para las mezclas PS5 y PS6 respectivamente. Malhotra⁽²⁾ ha observado que la resistencia a la flexión bajó cerca de un 10% para el concreto superplastificado con Mulcoplast CF. Se observó la disminución en resistencia aun cuando la técnica de mezclado utilizada en esta investigación fue diferente a aquella empleada por Malhotra⁽²⁾. La razón para esta aparente disminución en la resistencia parece ser debido a un contenido de aire mayor y por consecuencia, mayores vacíos y menor peso volumétrico en el concreto superplastificado que en el concreto de control correspondiente (Fig. 9).

Los resultados completos de las mediciones de la velocidad de pulso se proporcionan en la Ref. 4, y algunos valores se comparan en la Fig. 10. Existe una muy buena correlación entre la velocidad del pulso y resistencia a la compresión para todos los concretos. Las conclusiones tomadas a partir de la comparación de las resistencias a la compresión se confirman con las mediciones de la velocidad de pulso.

En la Ref. 4 se muestran los resultados del ensaye para determinar el módulo de elasticidad, cada uno el promedio de dos ensayos. En la Tabla 6 se muestran las relaciones del módulo de elasticidad y resistencias a la compresión a los 28 días.

En la Fig. 11, se compara el módulo de elasticidad de algunas mezclas de concreto superplastificado con los resultados de sus concretos de control correspondientes. No se puede tomar a una conclusión significativa a partir de estos resultados. En general se puede decir que el módulo de elasticidad del concreto no se afecta adversamente al añadir los superplastificantes. Sin embargo la Tabla 6 revela que la relación del módulo de elasticidad con la resistencia a la compresión a los 28 días, es más alta para el concreto superplastificado con Lomar D que para el concreto de control.

ENSAYES ACELERADOS.

El intervalo de tiempo entre el colado del concreto y la evaluación de la calidad se reduce considerablemente mediante los métodos acelerados recientemente desarrollados para ensaye del concreto (ASTM C684-77). Actualmente, los métodos de ensaye acelerado se utilizan principalmente para ensayos de calidad y se espera que en un futuro cercano, el ensaye acelerado de resistencia sustituya al ensaye a los 28 días de resistencia a la compresión, y quizá sea el único ensaye aceptado como índice de la calidad del concreto para construcción y para aceptación del concreto⁽³⁾. Por lo tanto hay necesidad de saber si la adición

del superplastificante influirá en la efectividad de los métodos de ensaye acelerados.

En esta investigación se colaron cuatro cilindros de cada una de las 24 mezclas, dos cilindros fueron curados siguiendo el método de curado acelerado (método de agua hirviendo - ASTM C684-77) y los otros dos fueron sujetos al curado estándar de 28 días (ASTM C192-69). Los detalles de curado se describen en la Ref. 5. Los resultados del ensaye acelerado, el peso volumétrico seco, la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad y mediciones de la velocidad de pulso también se muestran en la Ref. 5. En la Tabla 3 se muestra el resumen de los resultados de la resistencia a la compresión.

La relación entre los resultados de resistencia acelerada y a los 28 días se muestra en la Fig. 12, y las ecuaciones de correlación en la Tabla 4. Se puede observar que aunque las ecuaciones individuales para las mezclas de control y mezclas superplastificadas varían de la ecuación general, no obstante, la ecuación general predice los resultados casi con la misma precisión que las ecuaciones individuales. Esto muestra que la adición del superplastificante no afecta adversamente el método de ensaye acelerado.

Las ecuaciones de correlación, relacionando el peso volumétrico seco de especímenes que han sido sujetos al curado acelerado y el peso volumétrico seco de especímenes que han sido sujetos al curado estándar (Fig. 13), muestran coeficientes ligeramente diferentes para el concreto de control y el concreto superplastificado. Sin embargo, la variación es insignificante y los coeficientes de correlación son muy buenos (0.985 y 0.993). Por lo tanto, es posible un cálculo preciso del peso volumétrico unitario seco a los 28 días para ambos concretos, el regular y el superplastificado, utilizando la misma ecuación cuando son disponibles los resultados del ensaye acelerado.

Los ensayos de velocidad de pulso proporcionan un método no-destructivo para ensayar el concreto y a la vez es una manera sencilla y rápida de verificar la calidad del concreto. La relación entre la velocidad de pulso de especímenes sujetos al curado acelerado y la de los estándar se muestra en la Fig. 14 y las ecuaciones de correlación en la Tabla 4. Las ecuaciones derivadas para los concretos superplastificados son casi iguales a la ecuación general derivada para todos los concretos. La velocidad de pulso se toma como el promedio de seis lecturas. Se obtienen coeficientes de correlación muy altos para estas ecuaciones.

Los resultados del módulo de elasticidad son las mejores indicaciones que se pueden obtener del comportamiento elástico de un espécimen de concreto. Los valores del módulo de elasticidad obtenidas de ensayos acelerados contra los valores de módulo de elasticidad a los 28 días se muestran en la Fig. 15 y las ecuaciones de correlación en la Tabla 4. Se puede observar que los concretos de control nos dan una correlación alta entre los valores de ensaye acelerado y de 28 días, y los concreto superplastificados nos dan coeficientes de correlación comparativamente bajos. La razón de esta diferencia no es muy clara. Una posibilidad puede ser los contenidos de aire más altos que se encuentran en los concretos superplastificados. La baja correlación de los concretos superplastifica-

implica que la adición del superplastificante puede afectar la predicción precisa del módulo de elasticidad mediante ensayos acelerados; sin embargo, se necesita una investigación más amplia para llegar a una conclusión definitiva.

DURABILIDAD.

El estudio de durabilidad del concreto superplastificado está en progreso en el Centro de Investigación Sobre la Tecnología del Concreto en la Escuela de Minas y Tecnología de Dakota del Sur. Se colaron prismas de concreto de las mezclas superplastificadas y de control, y están sujetas a ciclos repetidos de congelamiento y deshielo. Los ensayos se conducen de acuerdo al ASTM 666-75, método A y hasta el momento han completado 250 ciclos de congelamiento y deshielo. Los resultados obtenidos hasta la fecha indican que los concretos superplastificados se comportan tan bien como los especímenes hechos del concreto de control sin la adición del superplastificante.

CONCLUSIONES.

Basado en el análisis de los resultados experimentales, se llegó a las siguientes conclusiones que son aplicables dentro de las premisas de esta investigación:

- 1.- La adición al concreto de superplastificantes en las dosificaciones recomendadas por el fabricante aumenta el revenimiento considerablemente, sin causar segregación ni sangrado excesivo.
- 2.- La pérdida progresiva de revenimiento se desarrolla en ambos concretos, el del control y el superplastificado. La pérdida de revenimiento es proporcional a la cantidad de revenimiento inicial; entre mayor sea el revenimiento inicial, mayor es la pérdida de revenimiento con el tiempo. La rapidez de pérdida de revenimiento es más alta en el lapso de los 40 a 60 minutos. Cerca de un 60 a un 80% del revenimiento se pierde en 80 minutos.
- 3.- La rapidez y cantidad de pérdida de temperatura es la misma para el concreto regular y el concreto superplastificado.
- 4.- La rapidez y cantidad de la pérdida de revenimiento depende del tipo de superplastificante empleado.
- 5.- Cuando se agrega el superplastificante al concreto en las dosificaciones recomendadas por el fabricante, el revenimiento disminuye hasta el revenimiento inicial de la mezcla de control correspondiente entre los 40 a 100 minutos, dependiendo del revenimiento y temperatura inicial, y del superplastificante usado.

- 6.- Las propiedades del concreto endurecido, tales como la resistencia a la compresión, peso volumétrico unitario seco, módulo de elasticidad y velocidad de pulso no son afectadas adversamente debido a la adición del superplastificante.
- 7.- Los métodos de ensaye acelerado ya desarrollados pueden utilizarse sin peligro y con la misma confianza para concretos superplastificados que para los concretos normales. Para ambos concretos se pueden emplear las mismas ecuaciones para calcular la resistencia a los 28 días, el peso volumétrico unitario seco, y la velocidad de pulso cuando se conocen los resultados correspondientes de los ensayos acelerados. La precisión de las predicciones será la misma para ambos concretos.
- 8.- Con respecto al módulo de elasticidad, los coeficientes de correlación son menores para concretos superplastificados en comparación con aquéllos de los concretos de control. Esto indica que la precisión en el cálculo del valor de 28 días a partir del resultado del ensaye acelerado es menor para el concreto superplastificado que para concretos sin superplastificantes.
- 9.- Los resultados obtenidos hasta la fecha, indican que la adición del superplastificante no afecta adversamente la durabilidad del concreto y que el concreto superplastificado tiene una resistencia excelente cuando expuesto a ciclos repetidos de congelamiento y deshielo.
- 10.- Hay una diferencia en la manera en que diferentes superplastificantes afectan las propiedades del concreto fresco y del concreto endurecido. Sin embargo, la información limitada de los ensayos no permite llegar a una conclusión significativa sobre este aspecto.

RECONOCIMIENTO.

Se expresa un reconocimiento muy agradecido a los Asistentes de Investigación: K. Heath, J. Kirkness, S.S. Pande y D. Sandagopal, quienes llevaron a cabo la investigación experimental y ayudaron en la preparación de este trabajo.

TABLA 1 PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

No. DE MEZCLA	TIPO Y DOSIFICACION DEL SUPERPLASTIFICANTE % EN PESO DEL CEMENTO	A I A % EN PESO DEL CEMENTO	RELACION A/C EN PESO	DESPUES DEL MEZCLADO INICIAL				TIEMPO VEBE Segundos			
				TEMPERATURA		REVENIMIENTO			PESO VOLUMETRICO	CONTENIDO DE AIRE	
				°C	°F	mm.	pulg.				Kg./m ³
PC1			0.47	22	72	38.1	1.5	2413.5	150.56	2.0	3.1
PS1	LOMAR D 1.5		0.47	21	70	233.7	9.2	2438.3	152.11	1.4	0
PC2		.19	0.67	16	61	147.3	5.8	2161.0	134.81	11.4	0
PS2	LOMAR D 1.5	.19	0.67	15	59	228.6	9.0	2219.0	138.43	9.4	0
PC3		.12	0.52	19	66	63.5	2.5	2323.2	144.93	6.3	1.6
PS3	LOMAR D 1.5	.12	0.52	20	68	107.9	4.25	2297.1	143.30	7.4	0
PC4		.14	0.62	20	68	91.4	3.6	2285.0	142.54	7.2	
PS4	LOMAR D 1.5	.14	0.62	20	68	221.0	8.7	2283.0	142.41	5.2	
PC5		.12	0.49	21.5	71	38.1	1.5	2335.1	145.67	5.2	
PS5	MULCOPLAST CF 1.875	.12	0.49	21	70	203.2	8.0	2266.6	141.40	7.8	
PC6		.14	0.49	21	70	38.1	1.5	2308.3	144.00	6.0	
PS6	MULCOPLAST CF 1.875	.14	0.49	21	70	203.2	8.0	2218.2	138.38	9.2	

NOTA: A I A = Aditivo inclusor de aire - Profex.

TABLA 2.- REVENIMIENTO Y TEMPERATURA PARA VARIOS INTERVALOS DE TIEMPO.

No. DE MEZCLA	TIEMPO EN MINUTOS DESPUES DEL MEZCLADO							
		0	20	40	60	80	100	
P C I DE CONTROL	TEMPERATURA	°C	22	20	20	20	19	19
		°F	72	68	68	68	66	66
	REVENIMIENTO	mm.	38.1	17.8	12.7	10.2	0	0
		PULG.	1.5	0.7	0.5	0.4	0	0
P S I C O N SUPERPLAS- TIFICANTE	TEMPERATURA	°C	21	20	19	19	19	18
		°F	70	68	66	66	66	64
	REVENIMIENTO	mm.	233.7	195.6	134.6	50.8	30.5	15.2
		PULG.	9.2	7.7	5.3	2.0	1.2	0.6
P C 2 DE CONTROL	TEMPERATURA	°C	16	15	14	14	13	13
		°F	61	59	57	57	55	55
	REVENIMIENTO	mm.	147.3	132.1	94.0	61.0	58.4	45.7
		PULG.	5.8	5.2	3.7	2.4	2.3	1.8

TABLA No. 2

REVENIMIENTO Y TEMPERATURA A VARIOS INTERVALOS DE TIEMPO (continuación)

No. de mezcla	TIEMPO EN MINUTOS DESPUES DEL MEZCLADO							
		0	20	40	60	80	100	
PS 2 Superplasti- ficada.	Temperatura	°C	15	15	15	13	13	13
		°F	59	59	59	55	55	55
	Revenimiento	mm	228.6	185.4	139.7	132.1	132.1	63.5
		pulg.	9.0	7.3	5.5	5.2	5.2	2.5
PC 3 de control	Temperatura	°C	19	18	17	16.5	16	15
		°F	66	64	63	62	61	59
	Revenimiento	mm	63.5	40.6	25.4	12.7	0	0
		pulg.	2.5	1.6	1.0	0.5	0	0
PS 3 Superplasti- ficada	Temperatura	°C	20	18	18	17	17	16.5
		°F	68	64	64	63	63	62
	Revenimiento	mm	107.9	63.5	25.4	15.2	0	0
		pulg.	4.25	2.5	1.0	0.6	0	0

TABLA No. 2

REVENIMIENTO Y TEMPERATURA A VARIOS INTERVALOS DE TIEMPO (continuación)

No. de mezcla	TIEMPO EN MINUTOS DESPUES DEL MEZCLADO							
		0	20	40	60	80	100	
PC 4 de control	Temperatura	°C	20	18	18	18	17	16.5
		°F	68	64	64	64	63	62
	Revenimiento	mm	91.4	33.0	27.9	17.8	12.7	0
		pulg.	3.6	1.3	1.1	0.7	0.5	0
PS 4 Superplastificada	Temperatura	°C	20	19	17.5	17	16	16
		°F	68	66	63	63	61	61
	Revenimiento	mm	221.0	160.0	114.3	88.9	22.9	12.7
		pulg.	8.7	6.3	4.5	3.5	0.9	0.5
PC 5 de control	Temperatura	°C	21.5	20	19	19	18	18
		°F	71	68	66	66	64	64
	Revenimiento	mm	38.1	20.3	7.6	0	0	0
		pulg.	1.5	0.8	0.3	0	0	0

TABLA No. 2

REVENIMIENTO Y TEMPERATURA A VARIOS INTERVALOS DE TIEMPO (continuación)

No. de mezcla	TIEMPO EN MINUTOS DESPUES DEL MEZCLADO							
		0	20	40	60	80	100	
PS 5 Superplastificada	Temperatura	°C	21	20	20	19	19	18.5
		°F	70	68	68	66	66	65
	Revenimiento	mm	203.2	190.5	190.5	63.5	50.8	25.4
		pulg.	8.0	7.5	7.5	2.5	2.0	1.0
PC 6 de control	Temperatura	°C	21	20	19	18	18	17
		°F	70	68	66	64	64	63
	Revenimiento	mm	38.1	31.8	25.4	17.8	0	0
		pulg.	1.5	1.25	1.0	0.7	0	0
PS 6 Superplastificada	Temperatura	°C	21	20	19.5	19	19	18
		°F	70	68	67	66	66	64
	Revenimiento	mm	203.2	160.0	109.2	78.7	58.4	40.6
		pulg.	8.0	6.3	4.3	3.1	2.3	1.6

TABLA No. 3

RESUMEN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

Revol- tura No.	Condición	Resistencia a la compresión		F'ca F'c28 x 100
		F'c Acel. Kg/cm ²	F'c 28 (28 días) Kg/cm ²	
IC1	Control	186	369	50.5
PS1	CSP*	169	376	45.0
PC2	Control	79	193	40.7
PS2	CSP	128	242	53.2
PC3	Control	122	266	46.0
PS3	CSP	187	350	53.4
PC4	Control	114	247	45.9
PS4	CSP	112	269	41.8
PC5	Control	142	287	49.5
PS5	CSP	133	272	49.2
PC6	Control	133	290	45.8
PS6	CSP	127	246	51.5
JC1	Control	140	265	53.1
JS1	CSP	54	89	60.2
JC2	Control	103	276	37.4
JS2	CSP	111	278	40.1
JC3	Control	118	253	46.8
JS3	CSP	128	266	48.3
JC4	Control	178	383	46.7
JS4	CSP	121	241	50.4
JC5	Control	149	330	45.2
JS5		102	211	48.5
JC6	Control	162	341	47.6
JS6		122	242	50.2

* NOTA: SPC = Concreto Superplastificado

TABLA No. 4

ECUACIONES DE CORRELACION

Propiedad del concreto	Condición	Relación Promedio P acel. P28 x100	Ecuaciones de correlación P28=	Coeficien- te de co- rrelación
Resistencia a la compre- sion Kg/cm ²	Todas las revolturas	47.8	1.87 Pacel. + 29.89	0.926
	Revolturas de control	46.3	1.81 Pacel. + 47.12	0.931
	CSP	49.3	2.0 Pacel. + 7.03	0.933
Peso volumé- trico Kg/m ³	Todas las revolturas	98.6	1.01 Pacel. + 4.16	0.990
	Rev. de control	98.6	0.88 Pacel. + 3505.3	0.985
	CSP	98.6	1.09 Pacel. - 167.2	0.993
Velocidad de pulso ultra- sónico mseg.	Todas las revolturas	84.7	0.78 Pacel. + 1505.7	0.866
	Rev. de control	83.9	0.66 Pacel. + 2026.3	0.762
	CSP	85.5	0.79 Pacel. + 1444.8	0.917
Módulo de elasticidad Kg/cm ²	Todas las revolturas	61.2	0.996 Pacel. + 1.35x10 ⁵	0.802
	Rev. de control	62.0	1.323 Pacel.+0.879x10 ⁵	0.906
	CSP	60.4	1.024 Pacel.+1.23x10 ⁵	0.753

NOTA: P28 = Valor de la propiedad considerada obtenida con 28 días de curado estándar.

Pacel. = Valor de la propiedad considerada obtenida con curado acelerado.

TABLA No. 5

RANGO DE VARIACION PARA LOS RESULTADOS DE ENSAYES DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

Revolturas	Curado	Rango de Variación
Control	Acelerado	4.7
Superplastificada	Acelerado	1.8
Control	28 días	5.1
Superplastificada	28 días	2.3
Todas	Acelerado	3.4
Todas	28 días	3.8

TABLA No. 6

RELACION DE MODULO DE ELASTICIDAD A RESISTENCIA A LA COMPRESION

Número de mezcla	$\frac{E}{F_c'} \times 10^3$	
	28 días Acelerado	
JC1	1.22	-
JS1	-	-
JC2	1.28	1.86
JS2	1.21	1.65
JC3	1.18	1.43
JS3	1.26	1.63
JC4	0.92	1.31
JS4	1.34	1.63
JC5	1.08	1.22
JS5	1.60	1.64
JC6	0.92	1.64
JS6	1.29	1.54

Número de mezcla	$\frac{E}{F_c'} \times 10^3$	
	28 días Acelerado	
PC1	1.04	1.24
PS1	1.00	1.37
PC2	1.34	1.61
PS2	1.24	1.68
PC3	1.17	1.50
PS3	1.05	1.26
PC4	1.42	1.54
PS4	1.17	-
PC5	1.21	1.55
PS5	1.29	1.45
PC6	1.01	1.67
PS6	1.27	1.67

9 7 0 d

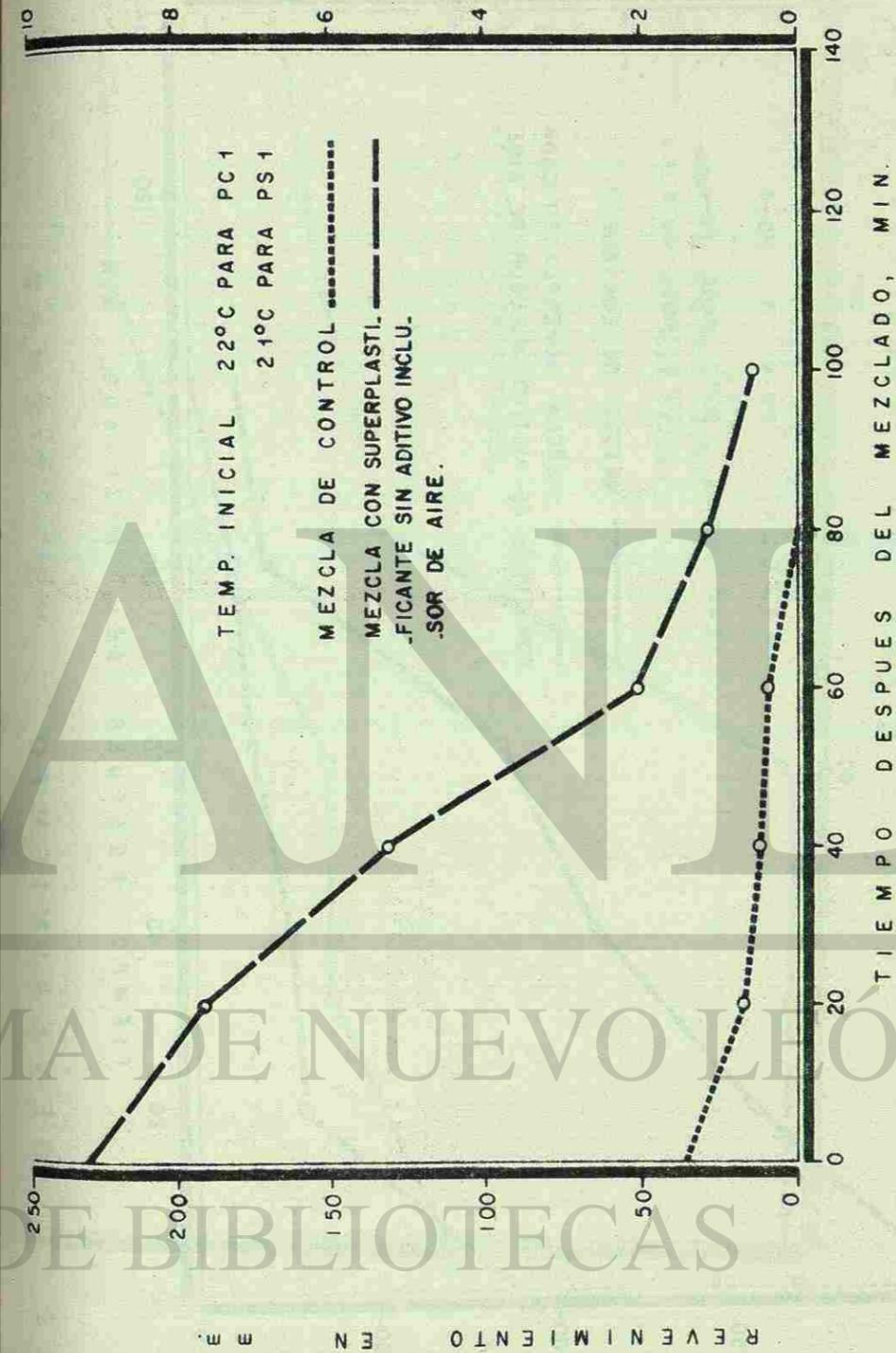


FIG.1 REVENIMIENTO VS TIEMPO

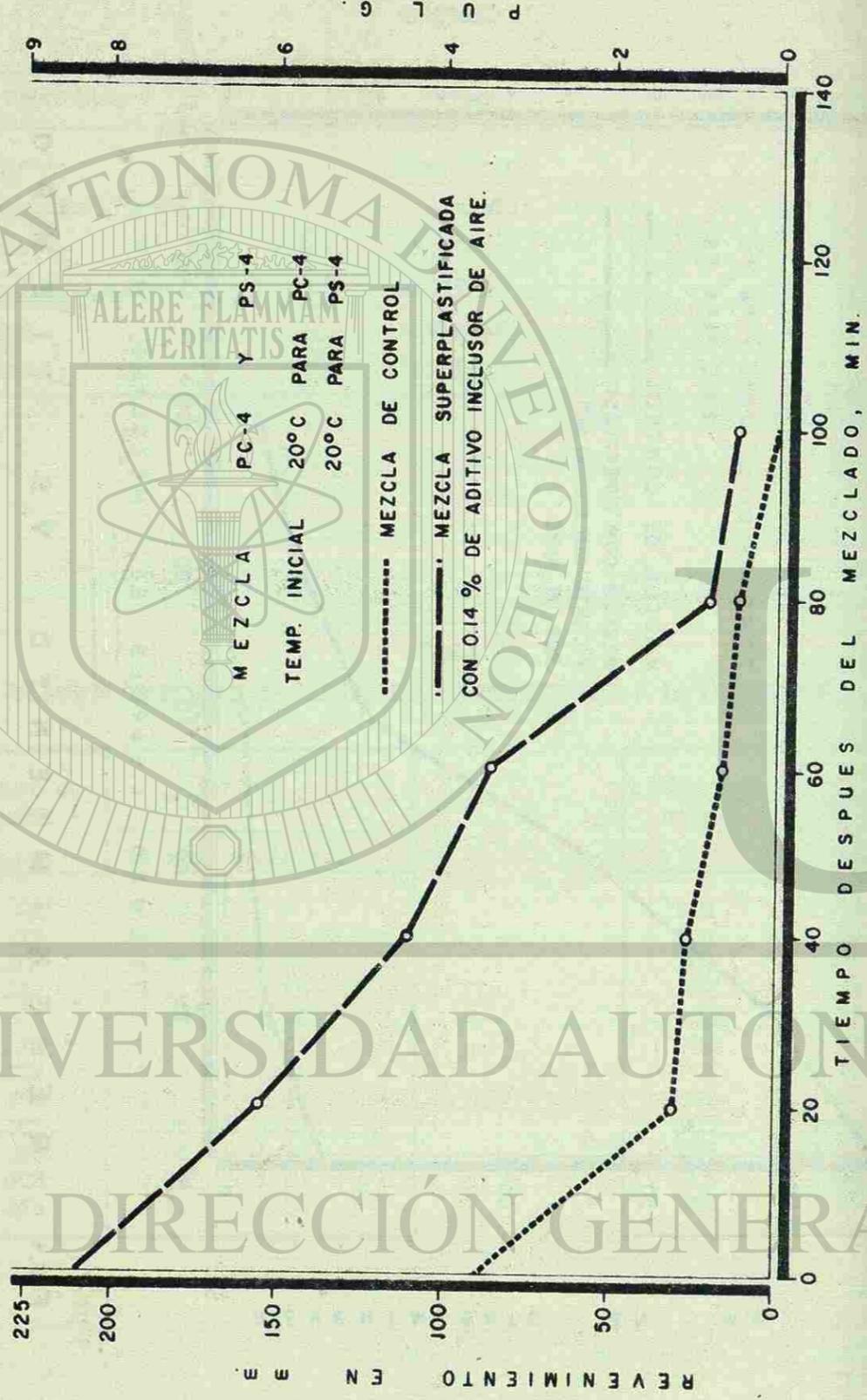


FIG. 2 REVENIMIENTO VS. TIEMPO

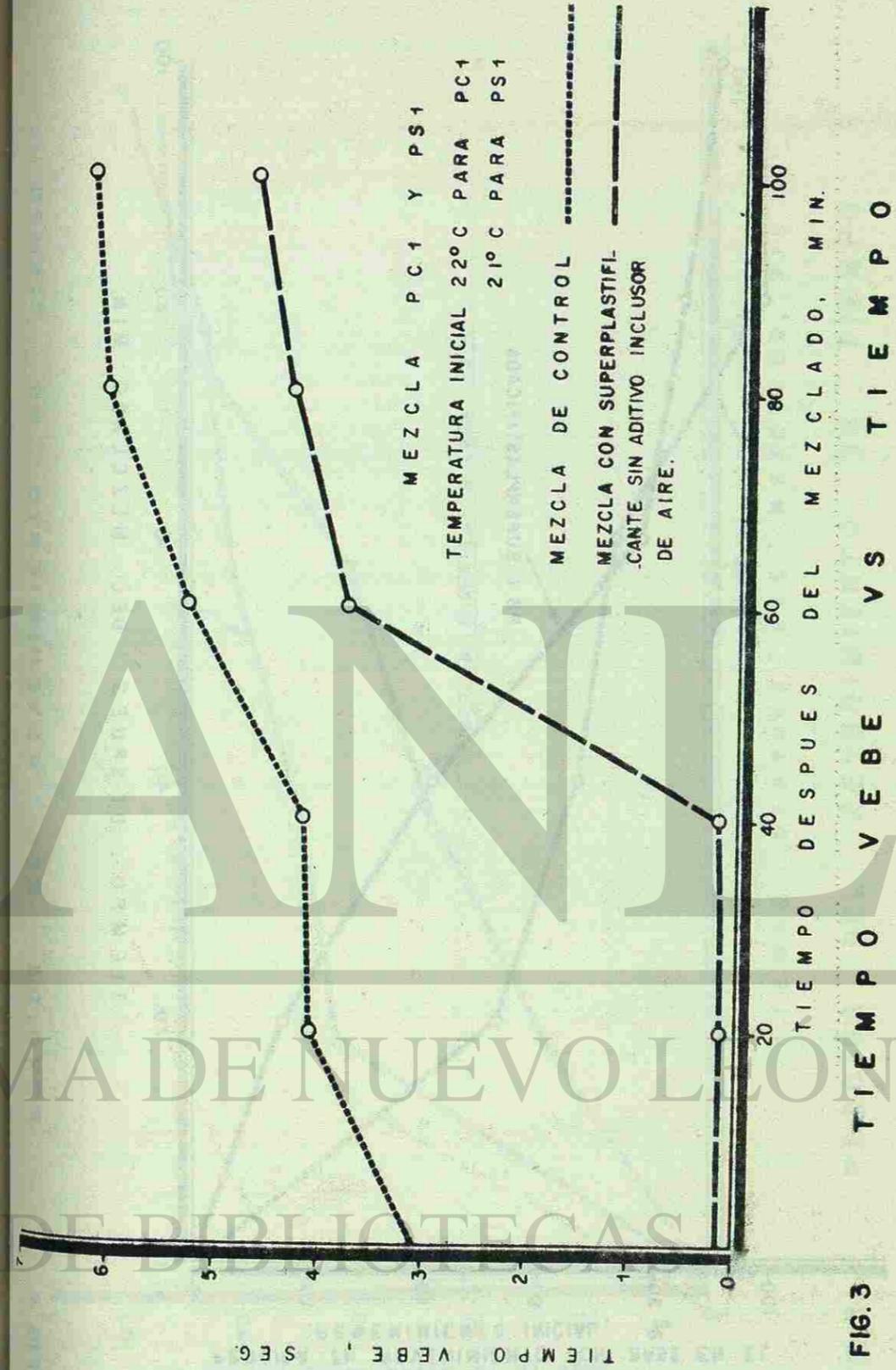


FIG. 3

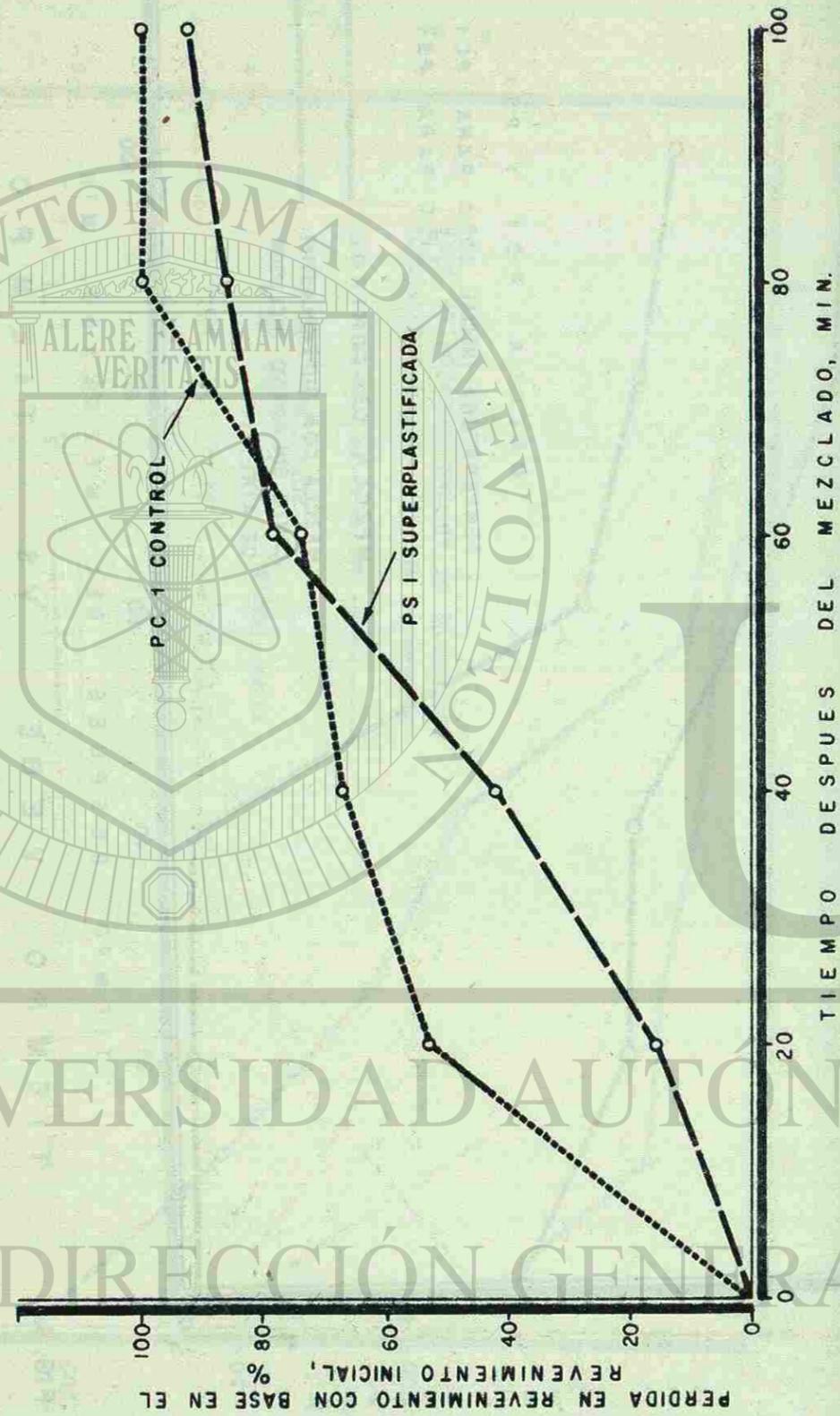


FIG. 4 PERDIDA DEL REVENIMIENTO VS TIEMPO

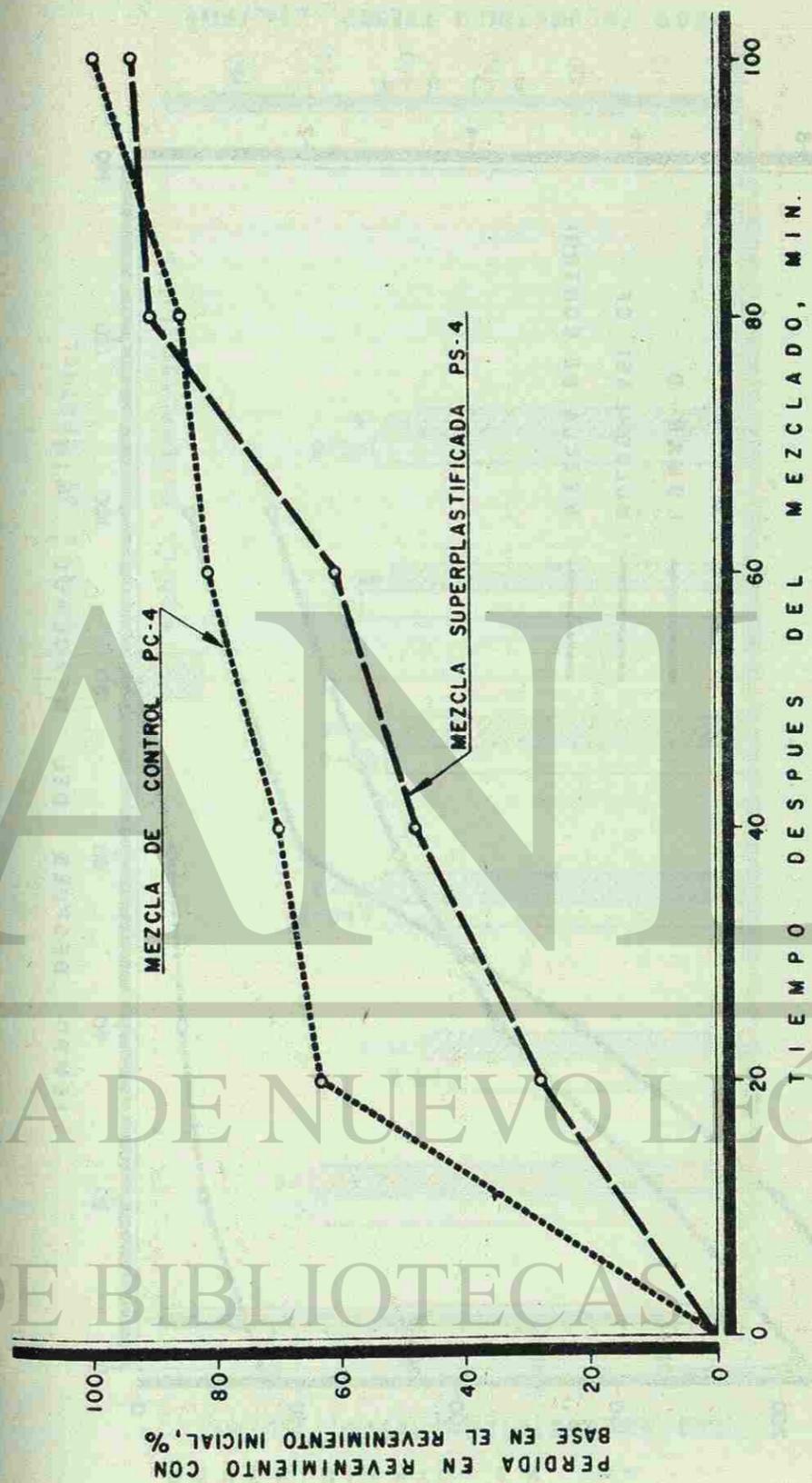


FIG. 5 PERDIDA DEL REVENIMIENTO VS. TIEMPO

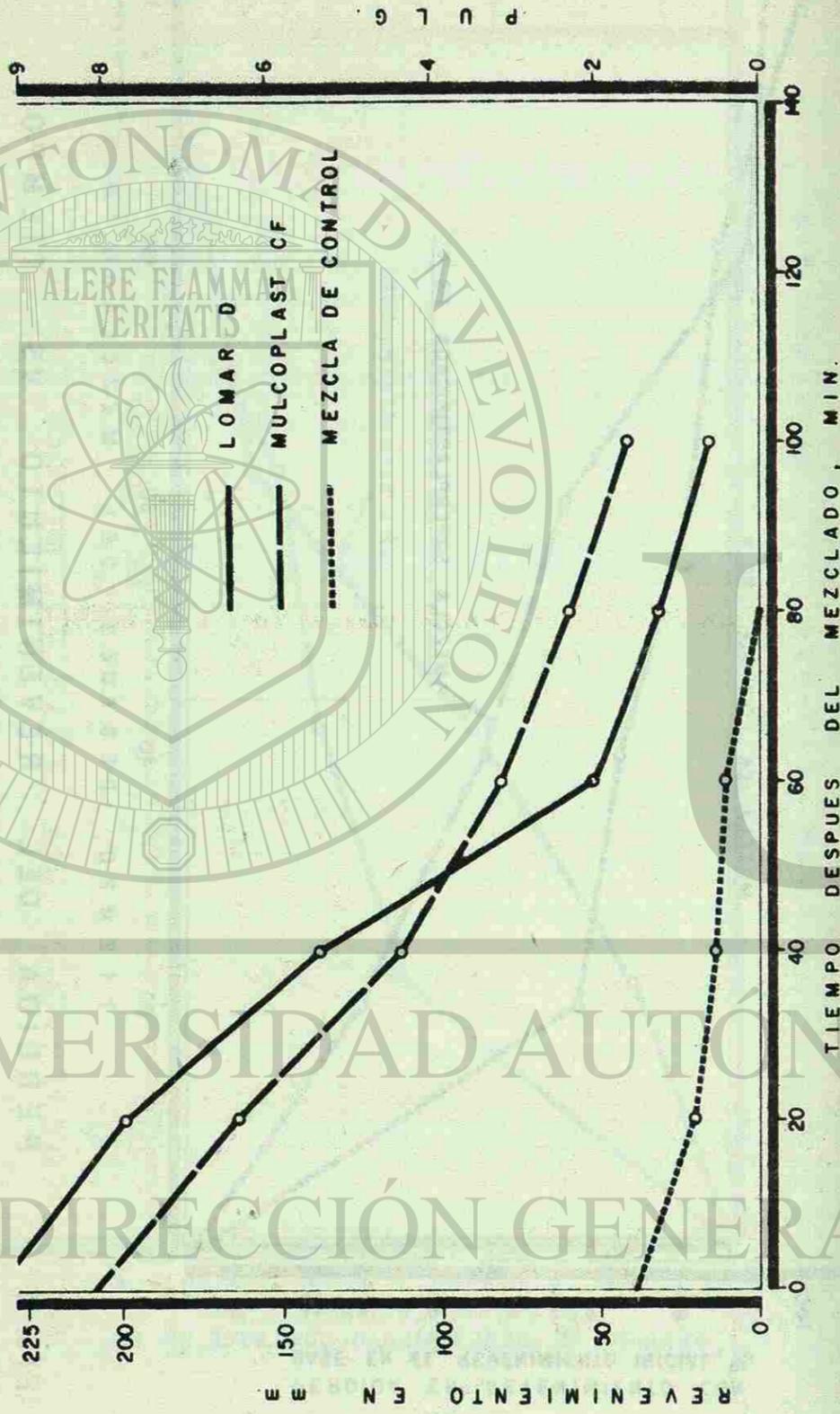


FIG. 6 COMPARACION DE LOMAR D Y MULCOPLAST CF

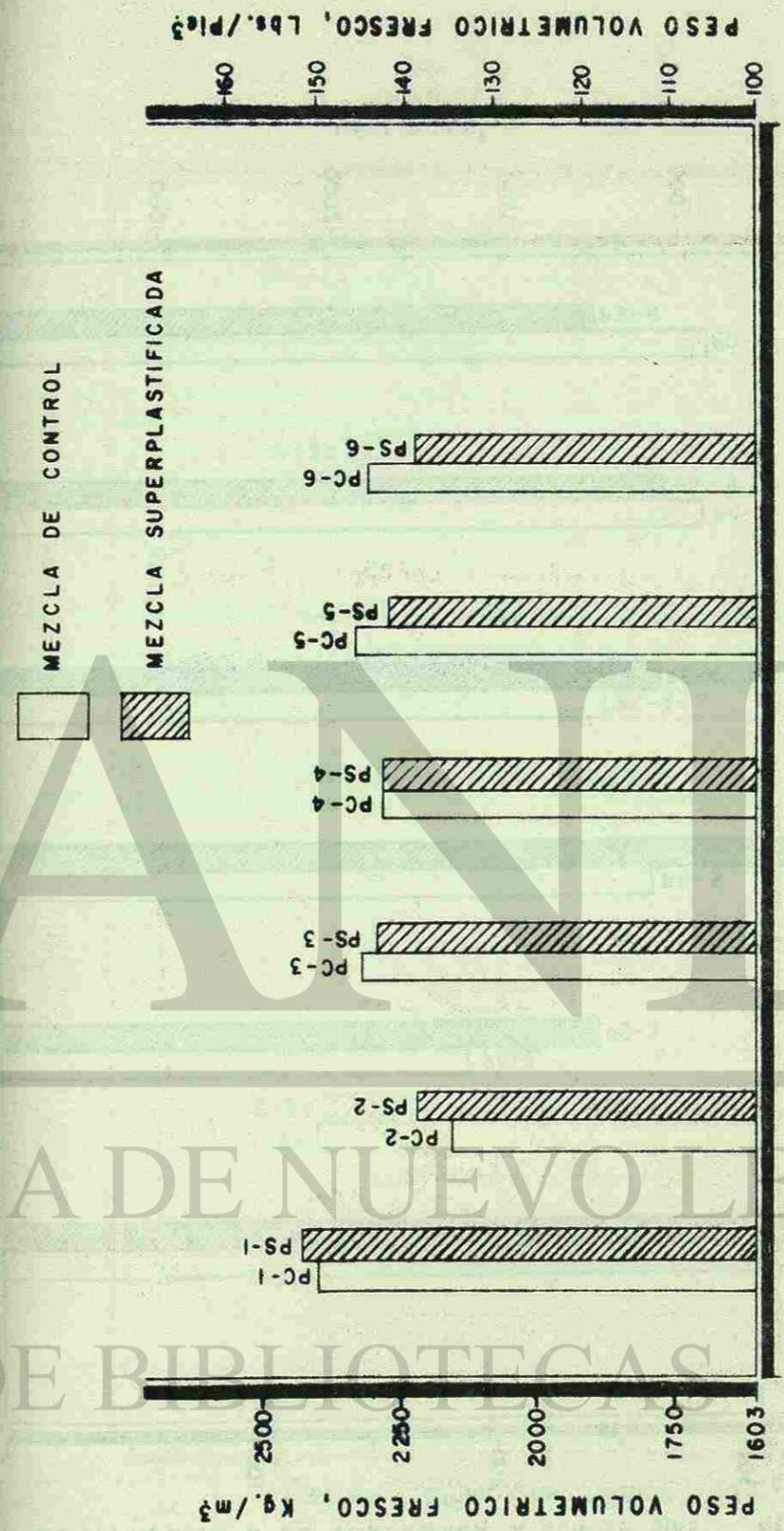


FIG. 7 COMPARACION DEL PESO VOLUMETRICO FRESCO

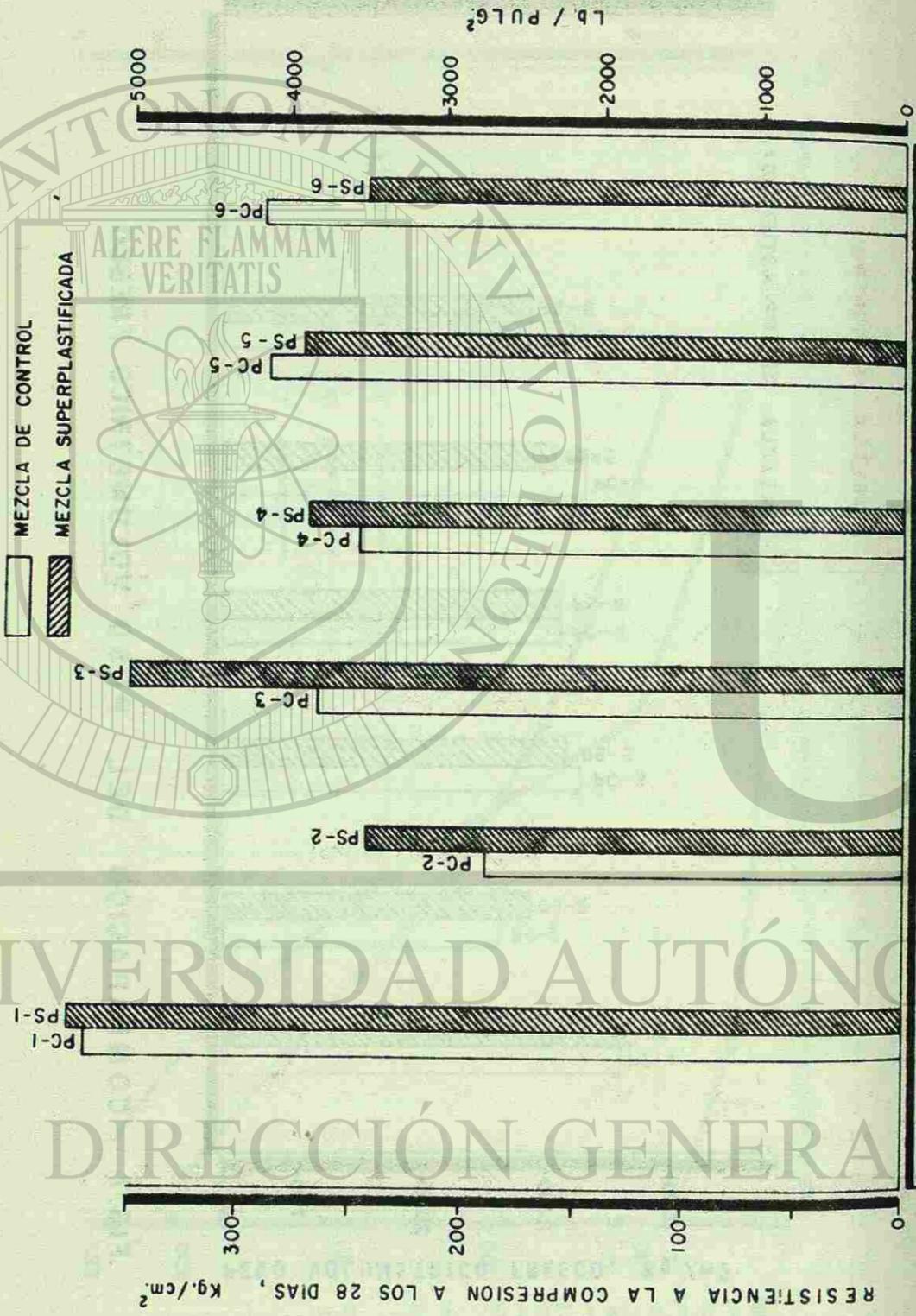


FIG. 8 COMPARACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS

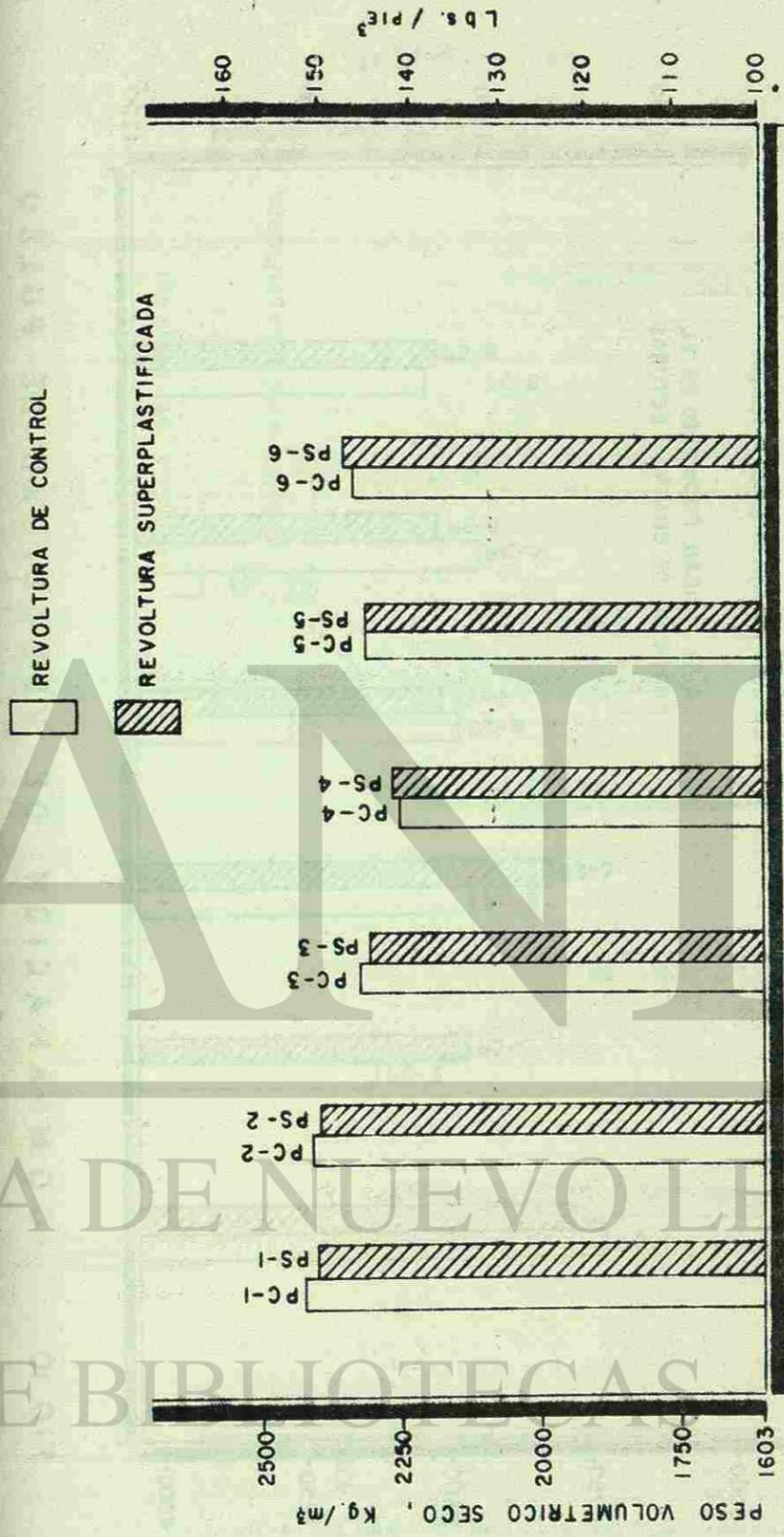


FIG. 9 COMPARACION DEL PESO VOLUMETRICO SECO

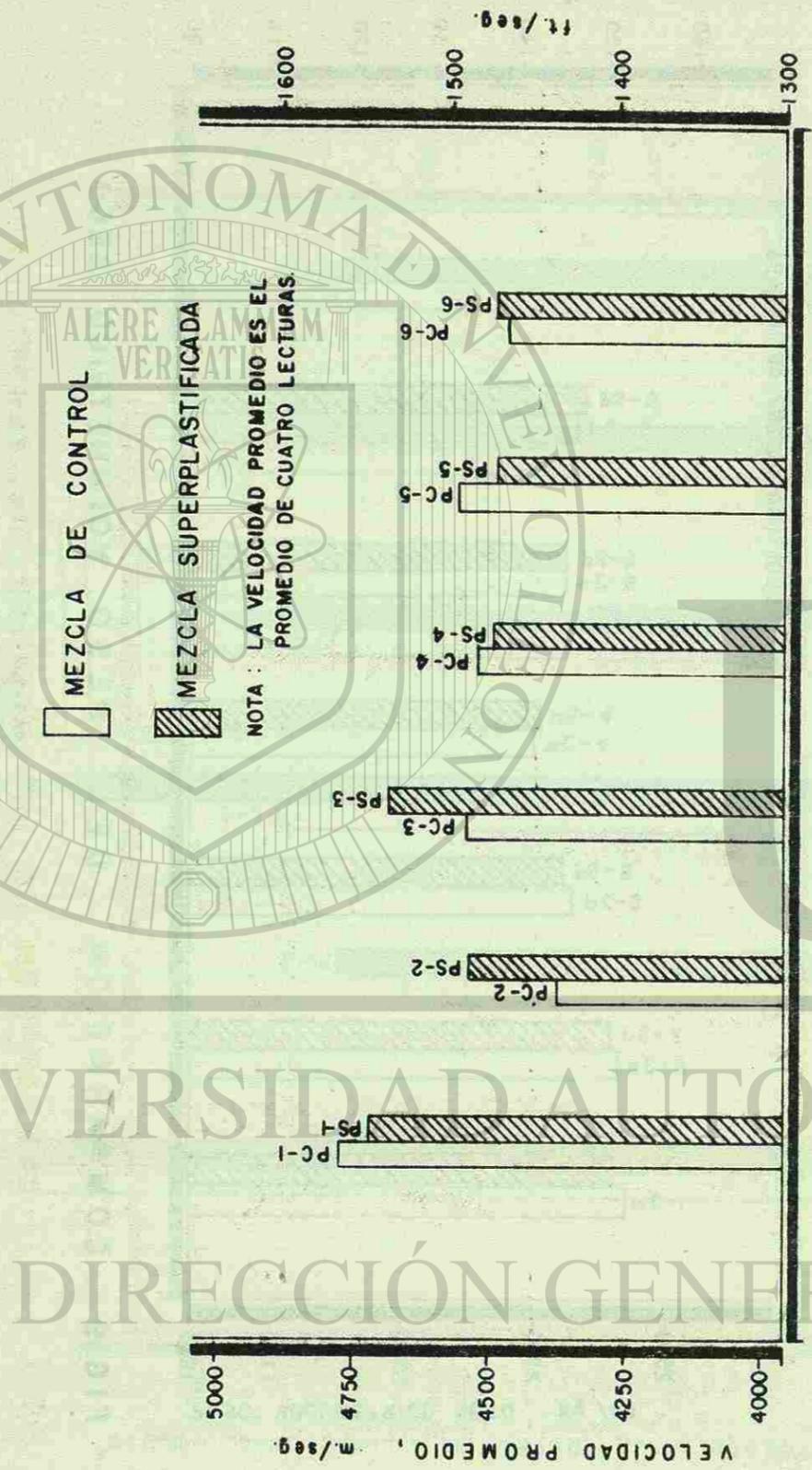


FIG. 10 COMPARACION DE VELOCIDAD DE PULSO

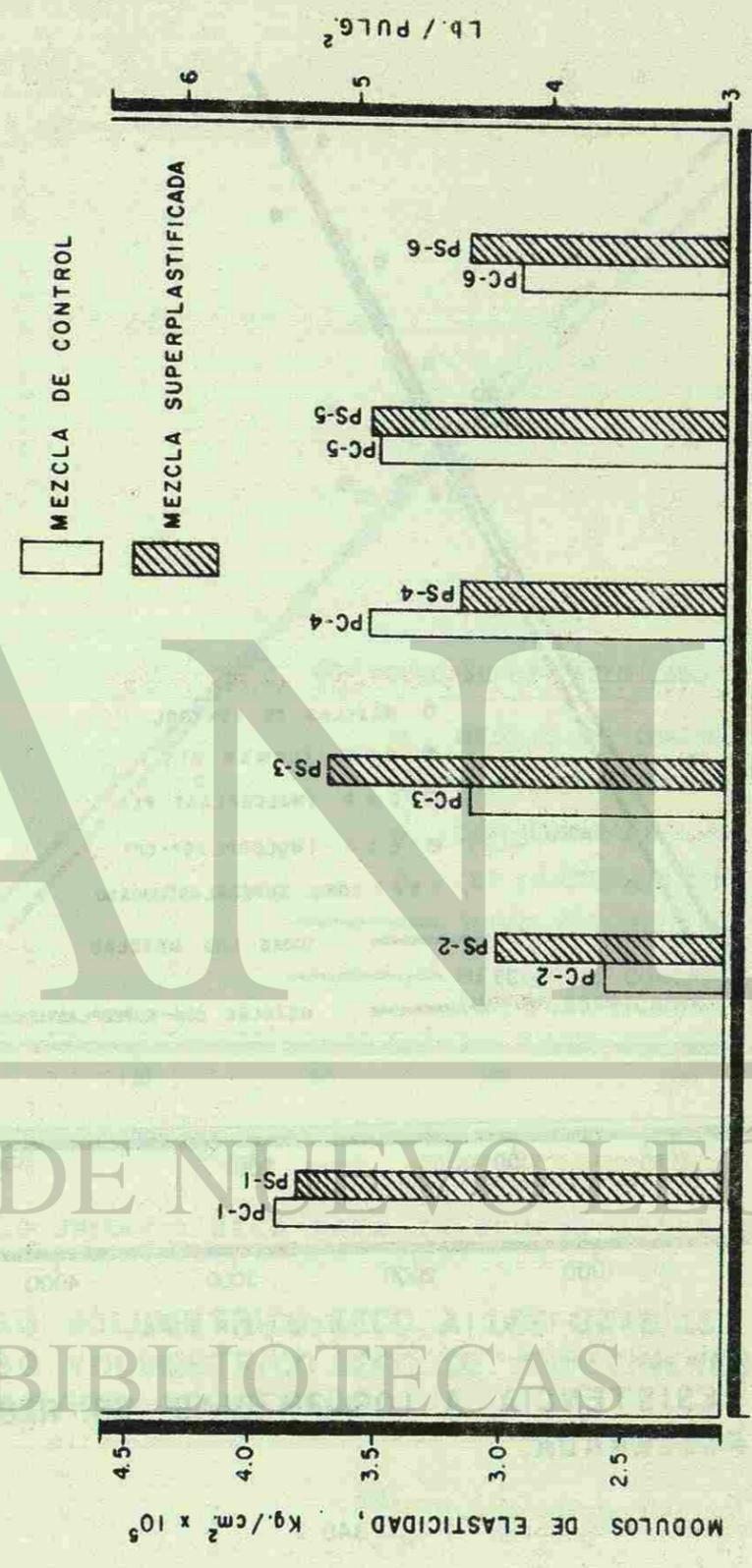


FIG. 11 COMPARACION DE LOS MODULOS DE ELASTICIDAD.

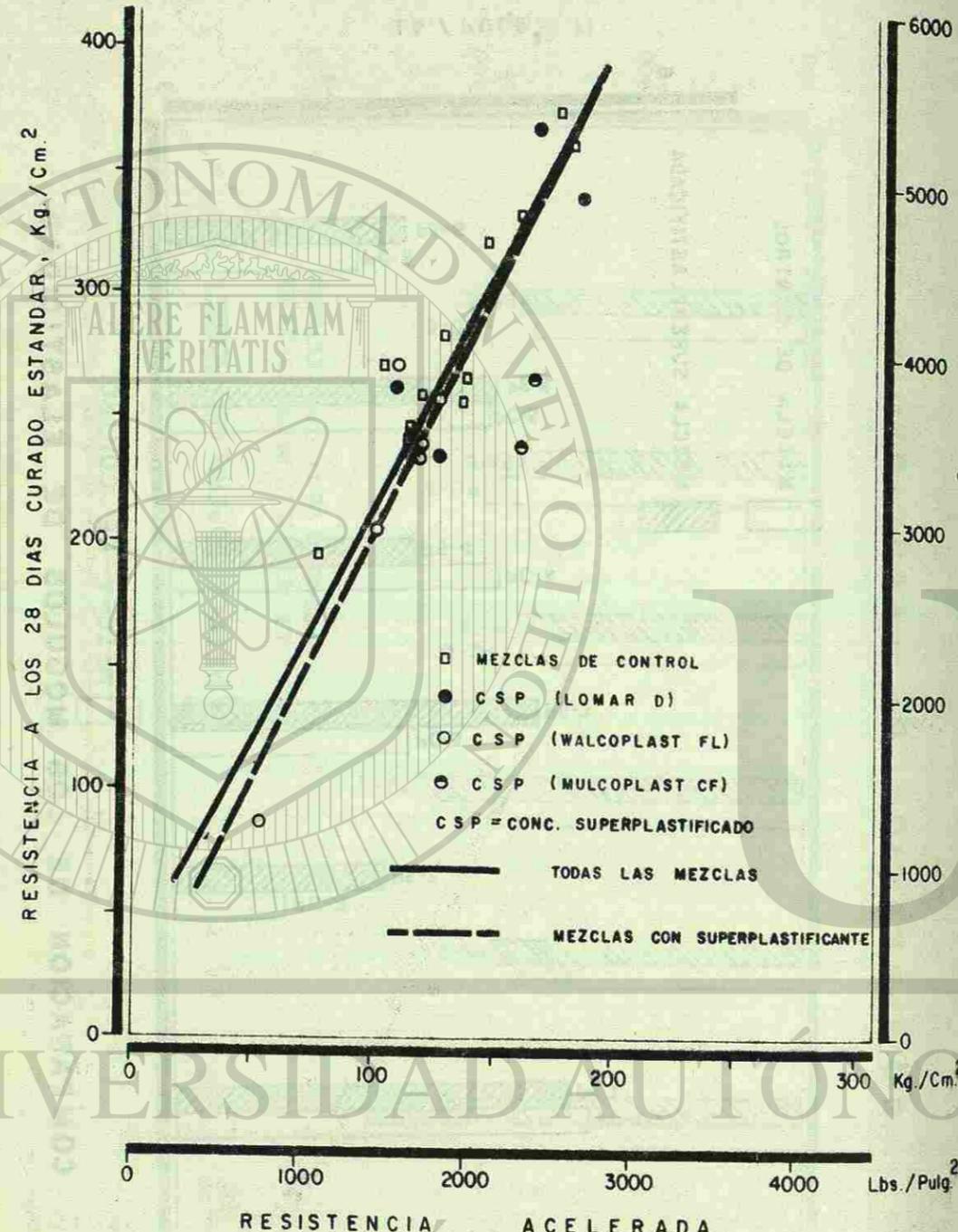


FIG. 12 RESISTENCIA A LOS 28 DIAS VS. RESISTENCIA ACCELERADA.

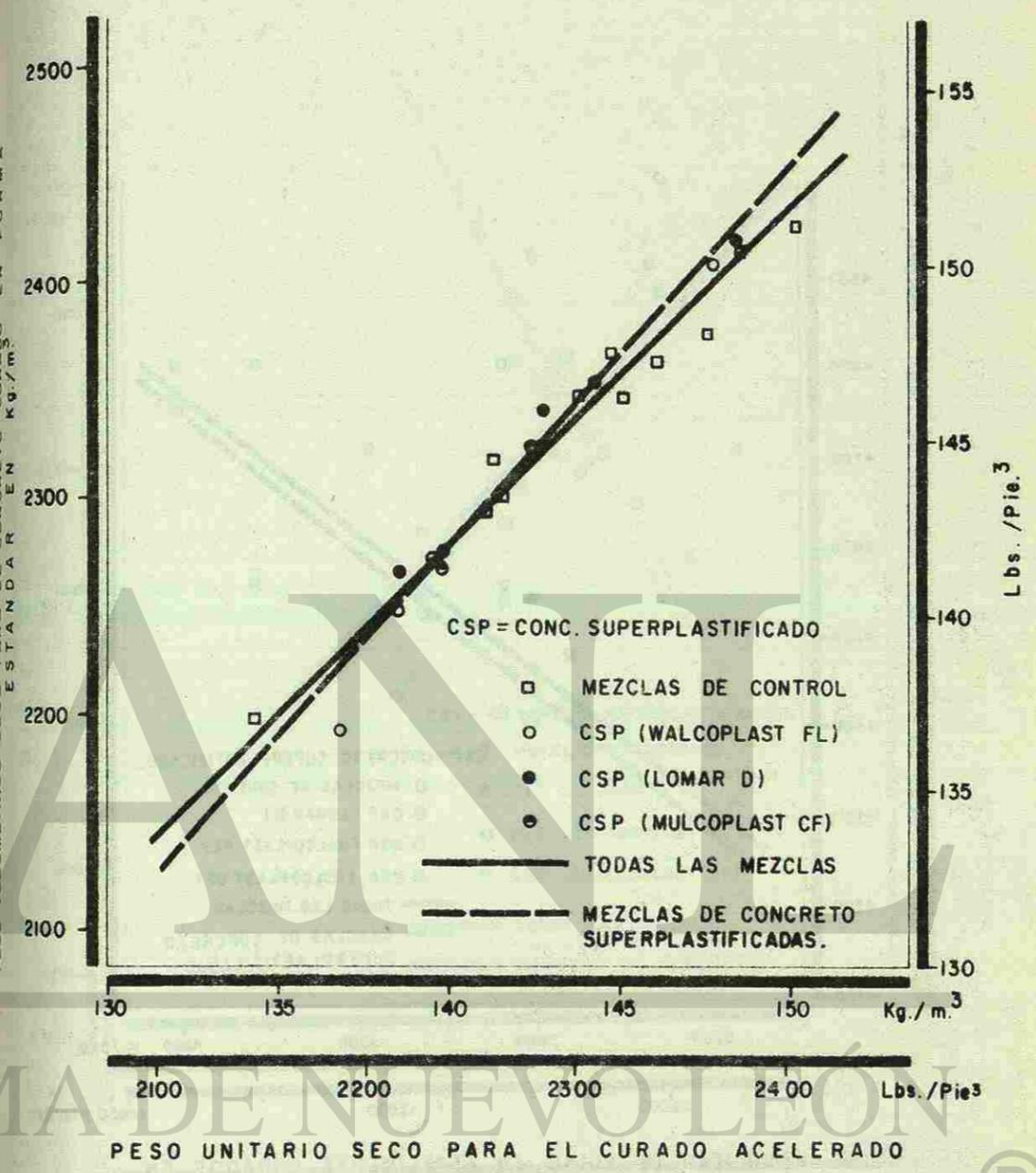


FIG. 13.- PESO VOLUMETRICO SECO A LOS 28 DIAS CONTRA PESO VOLUMETRICO SECO DE ESPECIMENES SUJETOS A CURADO ACELERADO.

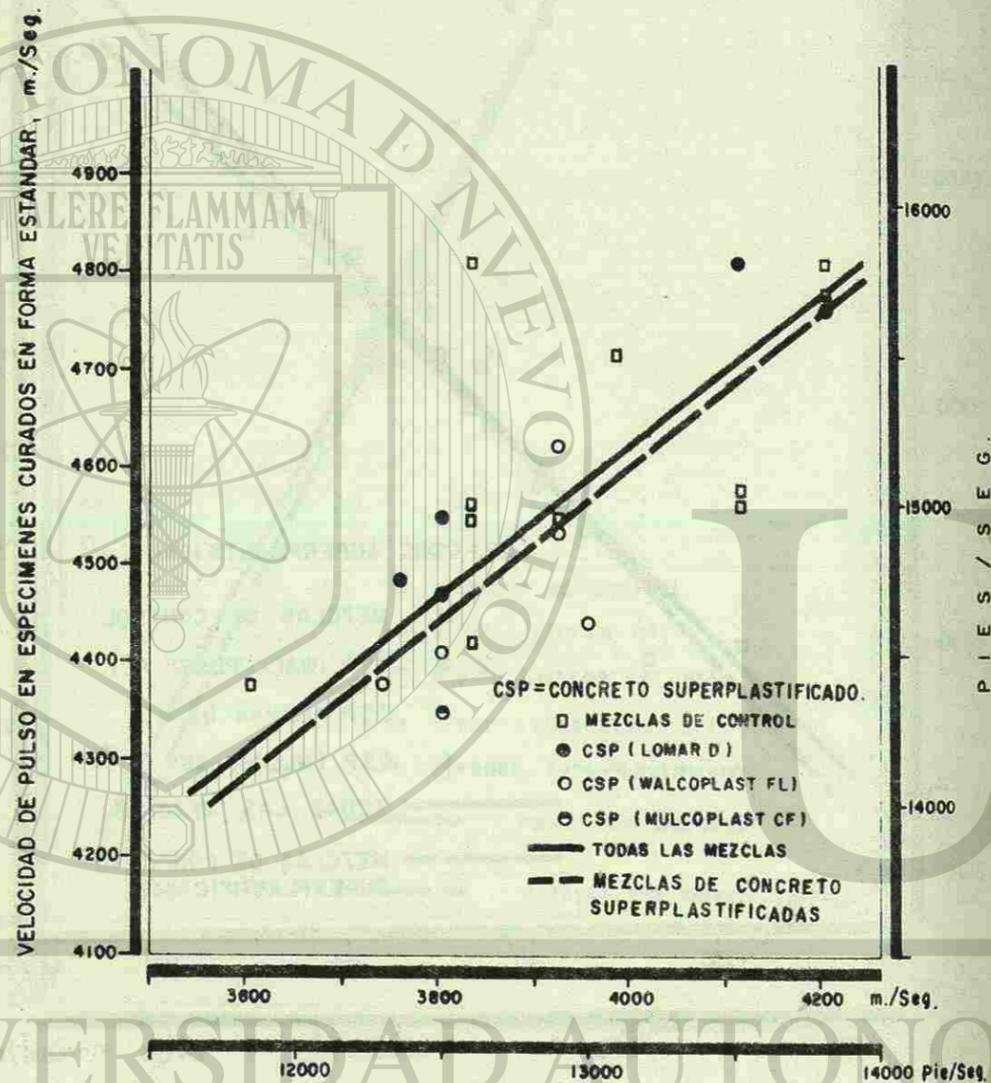


FIG.14 VELOCIDAD DE PULSO PARA ESPECIMENES ACCELERADOS VS. ESPECIMENES CURADOS EN FORMA ESTANDAR.

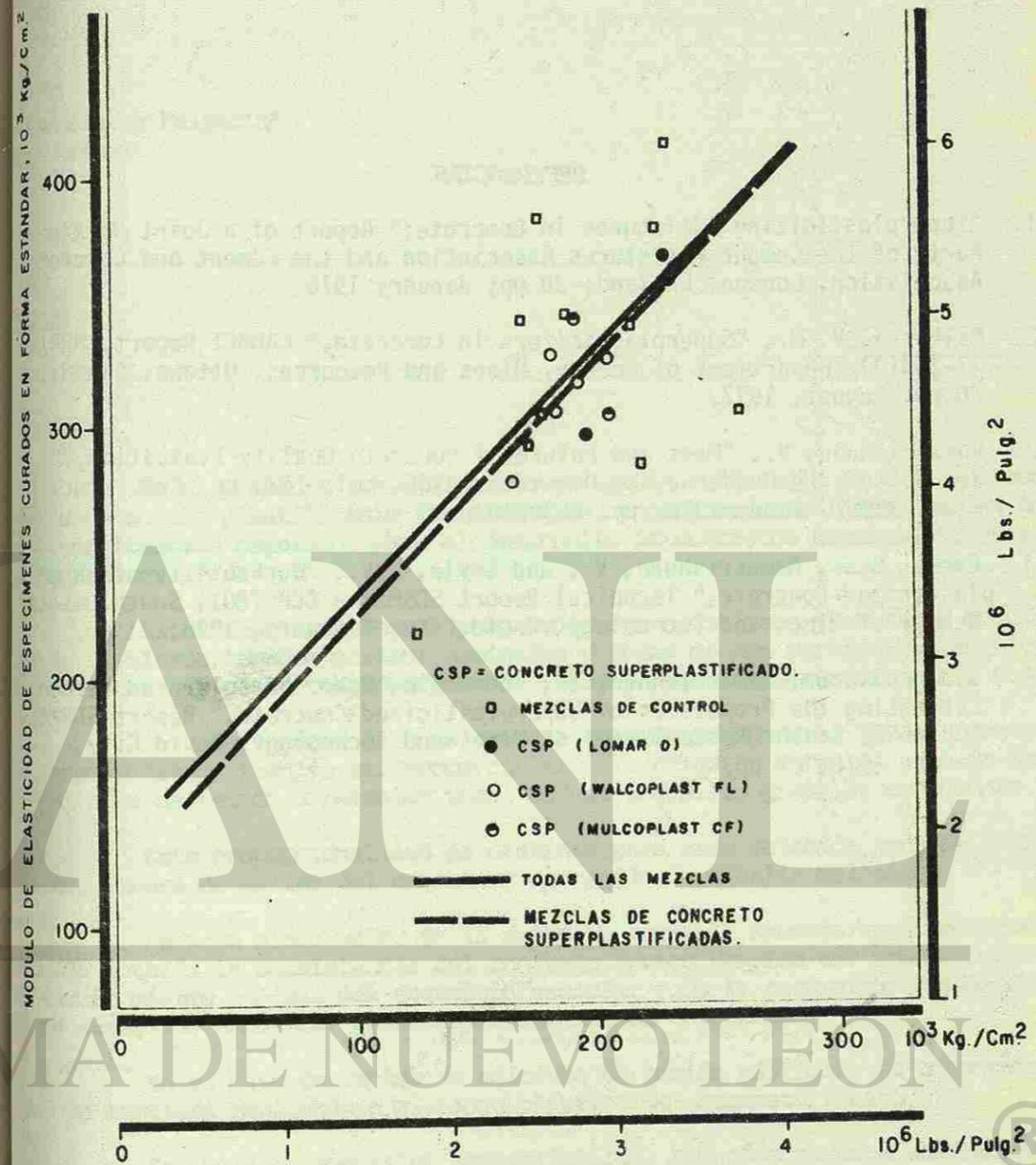


FIG.15 MODULO DE ELASTICIDAD DE ESPECIMENES CURADOS EN FORMA ACCELERADA VS. MODULO DE ELASTICIDAD DE ESPECIMENES CURADOS EN FORMA ESTANDAR.

REFERENCIAS

1. "Superplasticizing Admixtures in Concrete;" Report of a Joint Working Party of the Cement Admixtures Association and the Cement and Concrete Association, London, England; 30 pp; January 1976.
2. Malhotra, V. M., "Superplasticizers in Concrete," CANMET Report, MRP/MSL 77-213(J), Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada; 20 pp; August, 1977.
3. Ramakrishnan, V., "Past and Future of Concrete Quality Evaluation," Journal of the Construction Division, ASCE, Vol. 102, No. C02, Proc. Paper 12187, June, 1976, pp. 263-276.
4. Pande, S.S., Ramakrishnan, V., and Coyle, W.V., "Workability of Superplasticized Concrete," Technical Report SDSM&T - CCP 7801, South Dakota School of Mines and Technology, Rapid City, February, 1978, 71 pp.
5. Sadagopal, D., Ramakrishnan, V., and Coyle, W.V., "Accelerated Methods of Estimating the Properties of Superplasticized Concrete," Report SDSM&T - CCP 7802, South Dakota School of Mines and Technology, Rapid City, March, 1978, 62 pp.

CONCRETOS DE CEMENTO PORTLAND, SUPERPLASTICOS, TRABAJABLES, PARA CONFORMADO --
POR CAIDA LIBRE"

L. Sabesinsky Felperin*
A. Mayer

RESUMEN

En el presente trabajo, se investiga la influencia de aditivos compuestos de acción plastificante-fluidificante, incorporadores intencionales de aire y de fraguado regulado, para el desarrollo de concretos superplásticos en estado fresco.

Estos concretos fueron preparados con esqueletos granulares compactos, de distintos tamaños máximos nominales y forma de sus partículas (angulosas o redondeadas), y pasta conglomerante de relación agua de amasado/cemento 0.50.

Se observa como la consistencia del concreto normal fresco, dentro del rango plástico resulta ser proporcional a la relación entre el agua de amasado y el agua de mojado o retenido total por el esqueleto granular componente.

Esta proporcionalidad es distinta para cada relación agua de amasado/cemento, finura de molido del cemento y contenido de álcalis del mismo.

Para un mismo valor de la relación "agua de amasado/agua de mojado o retenido total", la consistencia del concreto fresco resulta ser independiente del tamaño máximo nominal del esqueleto granular y de la naturaleza mineralógica de los agregados normales, gruesos y finos que lo componen.

En el caso de empleo de aditivos de acción múltiple, la proporcionalidad se mantiene ampliándose el rango plástico del concreto fresco.

Se obtienen concretos superplásticos, homogéneos, para conformado -- por caída libre, con reducción de la relación "agua de amasado/agua de mojado -- total."

Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Nacional de Rosario (Argentina)

REFERENCIAS

1. "Superplasticizing Admixtures in Concrete;" Report of a Joint Working Party of the Cement Admixtures Association and the Cement and Concrete Association, London, England; 30 pp; January 1976.
2. Malhotra, V. M., "Superplasticizers in Concrete," CANMET Report, MRP/MSL 77-213(J), Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada; 20 pp; August, 1977.
3. Ramakrishnan, V., "Past and Future of Concrete Quality Evaluation," Journal of the Construction Division, ASCE, Vol. 102, No. C02, Proc. Paper 12187, June, 1976, pp. 263-276.
4. Pande, S.S., Ramakrishnan, V., and Coyle, W.V., "Workability of Superplasticized Concrete," Technical Report SDSM&T - CCP 7801, South Dakota School of Mines and Technology, Rapid City, February, 1978, 71 pp.
5. Sadagopal, D., Ramakrishnan, V., and Coyle, W.V., "Accelerated Methods of Estimating the Properties of Superplasticized Concrete," Report SDSM&T - CCP 7802, South Dakota School of Mines and Technology, Rapid City, March, 1978, 62 pp.

CONCRETOS DE CEMENTO PORTLAND, SUPERPLASTICOS, TRABAJABLES, PARA CONFORMADO --
POR CAIDA LIBRE"

L. Sabesinsky Felperin*
A. Mayer

RESUMEN

En el presente trabajo, se investiga la influencia de aditivos compuestos de acción plastificante-fluidificante, incorporadores intencionales de aire y de fraguado regulado, para el desarrollo de concretos superplásticos en estado fresco.

Estos concretos fueron preparados con esqueletos granulares compactos, de distintos tamaños máximos nominales y forma de sus partículas (angulosas o redondeadas), y pasta conglomerante de relación agua de amasado/cemento 0.50.

Se observa como la consistencia del concreto normal fresco, dentro del rango plástico resulta ser proporcional a la relación entre el agua de amasado y el agua de mojado o retenido total por el esqueleto granular componente.

Esta proporcionalidad es distinta para cada relación agua de amasado/cemento, finura de molido del cemento y contenido de álcalis del mismo.

Para un mismo valor de la relación "agua de amasado/agua de mojado o retenido total", la consistencia del concreto fresco resulta ser independiente del tamaño máximo nominal del esqueleto granular y de la naturaleza mineralógica de los agregados normales, gruesos y finos que lo componen.

En el caso de empleo de aditivos de acción múltiple, la proporcionalidad se mantiene ampliándose el rango plástico del concreto fresco.

Se obtienen concretos superplásticos, homogéneos, para conformado -- por caída libre, con reducción de la relación "agua de amasado/agua de mojado -- total."

Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Nacional de Rosario (Argentina)

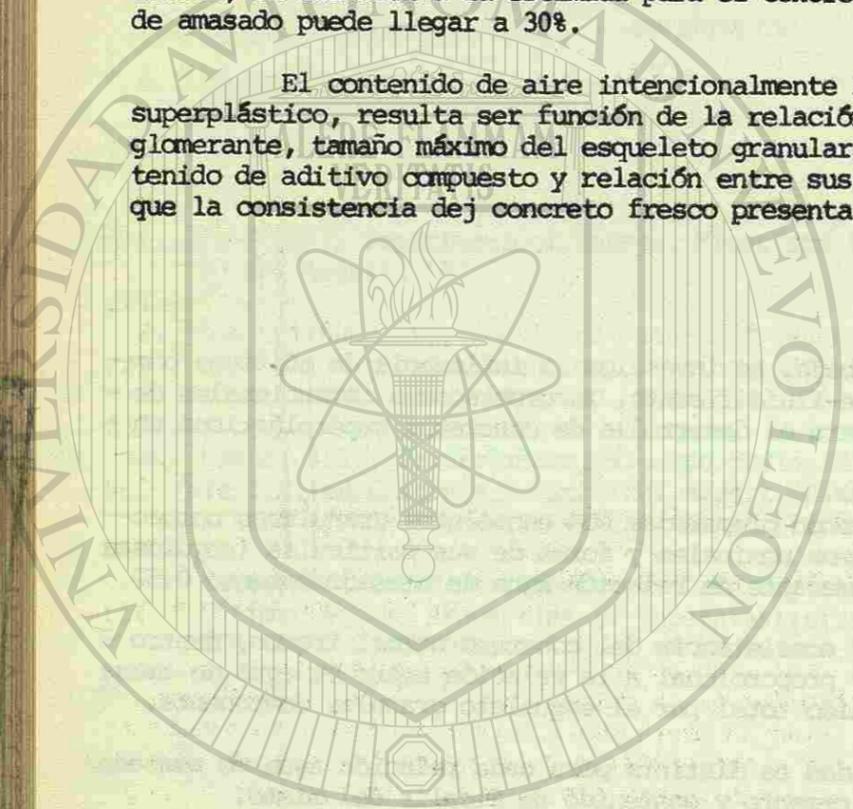
Se observa como el efecto fluidificante del aditivo compuesto resulta ser función del corrector componente. En el rango superplástico del concreto fresco, en relación a la estimada para el concreto normal, la reducción de agua de amasado puede llegar a 30%.

El contenido de aire intencionalmente incorporado, dentro del rango superplástico, resulta ser función de la relación agua/cemento de la pasta conglomerante, tamaño máximo del esqueleto granular, forma de sus partículas, contenido de aditivo compuesto y relación entre sus componente y decrece a medida que la consistencia de concreto fresco presenta mayores asentamientos.

CONCRETOS DE CEMENTO PORTLAND, SUPERPLASTICOS, TRABAJABLES, PARA CONFORMADO POR CAIDA LIBRE"

INDICE

	Pág.
RESUMEN.	247
OBJETO DEL PRESENTE TRABAJO.	251
INTRODUCCION.	251
TRABAJO EXPERIMENTAL	253
INTERPRETACION DE LOS VALORES OBTENIDOS	254
CONCLUSIONES	258
REFERENCIAS	263



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

OBJETO DEL PRESENTE TRABAJO

Este trabajo, es parte de un amplio plan de investigación tendiente a establecer relaciones de semejanza entre concretos preparados con esqueletos granulares compactos de distintos tamaños máximos nominales (Micro, Normal y Macro), forma de sus partículas y pastas conglomerantes de diferentes relaciones agua/cemento, con y sin empleo de aditivos y adiciones minerales de acción química y/o físico-química e investigar las propiedades reológicas (en estado fresco), físicas, químicas (en estado endurecido), a través del Micro-concreto, empleando técnicas e instrumental más adecuados a la búsqueda de determinados parámetros micro-estructurales.

En este trabajo, se investiga la acción plastificante-fluidificante de aditivos compuestos en la correlación entre la relación "agua de amasado/agua de curado o retenida total por el esqueleto granular", y la consistencia del concreto fresco dentro del rango plástico y superplástico.

INTRODUCCION

En este trabajo, se investiga la influencia de aditivos compuestos de acción múltiple, para el desarrollo de concretos superplásticos en estado fresco.

Estos concretos fueron proyectados con esqueletos granulares compactos, de distintos tamaños máximos nominales y forma de sus partículas (angulosas o redondeadas), y pasta conglomerante de relación agua de amasado/cemento 0.50.

El cemento Portland y el agua de amasado constituyen la pasta que conglomerará las partículas que componen el agregado granular compuesto. En base a las investigaciones llevadas a cabo en trabajos previos (1), (2), (3) y (4), se ha concluido que ambos deben ser considerados en forma conjunta, en lugar de estimar al primero como a un material granular más entre los componentes del concreto a elaborar. La influencia de la pasta de cemento se hace sentir desde el momento en que sus componentes se incorporan al conjunto granular compuesto.

En consecuencia, considerando a la pasta de cemento por una parte y a los agregados gruesos y finos por la otra, se puede estimar al concreto como a un "cuerpo compuesto de dos fases", donde los agregados granulares compuestos de partículas de diferentes tamaños y forma (esqueleto granular), constituyen la fase interna, discontinua o carga, en un medio fase externa o matriz, que puede llegar a ser continua (pasta conglomerante).

En trabajos previos que conforman el plan de investigación expuesto precedentemente, se ha investigado la composición de esqueletos granulares compactos de mínima área superficial, los cuales para una determinada cantidad de cemento y consistencia del concreto fresco permiten reducir a un mínimo la cantidad requerida de agua de amasado. En estos trabajos se ha determinado para ca

M. Sabesinsky Felperin,
R. A. Mayer

da agregado grueso componente y forma de sus partículas (angulosas o redondeadas), el "Módulo granulométrico del esqueleto granular compacto (Ma)". Este, resulta ser función lineal del logaritmo del correspondiente tamaño máximo nominal ($D_{m\acute{a}x-mm}$), considerándose como tal, al lado de la abertura de malla de un tamiz supuesto que deja pasar el 95% del total del material granular analizado (5), (6), (7), (8), y (9).

En la composición de los esqueletos granulares compactos se excluyen las partículas superfina de sílice que pasan a través del tamiz No. 100 (0,149 mm), ya que las mismas presentan marcada influencia en las propiedades reológicas del concreto fresco y son consideradas como "adicionales minerales activas" (10).

El agua de mojado o retenida por efecto de superficie y naturaleza mineralógica complementa los valores que particularizan a un determinado agregado granular dado por su módulo granulométrico y tamaño máximo nominal ($D_{m\acute{a}x-mm}$), (11).

El agua retenida total por el esqueleto granular, suma de las aguas retenidas por sus componentes granulares, gruesos y finos, permite estimar el agua de amasado requerida para obtener una determinada consistencia del concreto fresco, para una dada relación agua/cemento de la pasta conglomerante.

La consistencia se refiere al carácter de la mezcla fresca, con respecto a su estado de fluidez y constituye una parte importante de la trabajabilidad. Esta, es una propiedad más compleja que la consistencia puesto que involucra no solamente a las propiedades de las mezclas, sino también a las condiciones de colocación para obtener el grado requerido de consolidación, conservando la homogeneidad del concreto fresco.

De acuerdo a trabajos previos (12) y (13), en el concreto fresco la consistencia depende de la presencia de la pasta de cemento entre las partículas del agregado grueso compuesto. Los esqueletos granulares compactos dan concretos cuya consistencia en estado fresco, resulta ser función del espesor de la película de pasta envolvente de las partículas que los componen. Si el esqueleto granular no es compacto y tiene gran cantidad de vacíos, parte de la pasta se pierde por ocupar estos vacíos y queda menor cantidad de pasta disponible como envolvente de las partículas componentes.

La formación empleada (de acción plástificante-fluidificante, incorporadora intencional de aire y reguladora del fraguado), tiene como base (B), un aditivo de efecto conocido (básicamente un lignosulfonato modificado), ajustado con un corrector (C), de acción múltiple, desarrollado al efecto. Estas sustancias que no reaccionan químicamente con los componentes de la pasta conglomerante, al reducir la tensión superficial del agua de amasado, además de su poder plástificante-fluidificante permiten durante la preparación del concreto, la formación de una enorme cantidad de burbujas de aire esferoidales, incoalescentes (14).

CONCRETOS DE CEMENTO PORTLAND, SUPERPLASTICOS, TRABAJABLES, PARA CONFORMADO POR CAIDA LIBRE"

La presencia de las partículas granulares finas es esencial para lograr la incorporación intencional de aire por empleo de aditivos al efecto. De acuerdo con Kennedy (15), la fracción de partículas granulares finas entre los tamices de abertura de malla No. 30 (0,590 mm) y No. 100 (0,149 mm), constituye el factor predominante para la determinación de la cantidad de aire incorporado con una cierta cantidad de aditivo, al proporcionar el espacio intergranular de alojamiento de las micro-burbujas generadas (12) y (16).

Las partículas granulares de tamaño mayor que la abertura del tamiz No. 30 y menor que la abertura del tamiz No. 100, tienen poca influencia en la acción del aditivo empleado.

En base a estas consideraciones, las partículas granulares del agregado empleado como fino común en los concretos en examen están compuestas con retenidos entre los dos tamices extremos señalados.

La incorporación intencional de aire en la forma de un sistema de micro-burbujas incoalescentes modifica sustancialmente las propiedades del concreto fresco y endurecido. De acuerdo con (14), las micro-burbujas de aire, además de proporcionar homogeneidad y evitar la segregación de componentes primarios, permiten obtener una determinada consistencia del concreto fresco con menor relación "Pasta de cemento/área superficial del esqueleto granular", para una determinada relación agua/cemento. El sistema de micro-burbujas se considera parte componente del esqueleto granular.

En este trabajo se trata de estimar la influencia del aditivo compuesto de dos fases, adicionadas separadamente, en las propiedades reológicas del concreto fresco, investigando la correspondencia entre la relación "agua de amasado/agua de mojado o retenida total por el esqueleto granular" y la consistencia.

TRABAJO EXPERIMENTAL

Los concretos fueron preparados con esqueletos granulares compactos de tamaños máximos nominales; 12,0 mm-17, 8 mm-23, 8 mm y 35.5 mm, diferenciados por la forma de las partículas del agregado grueso componente (angulosas o redondeadas). Como agregado fino se ha empleado un compuesto de tres retenidos parciales de partículas silíceas redondeadas.

Los distintos esqueletos granulares fueron proyectados en base a Módulos granulométricos obtenidos en estudios previos de compacidad para concretos de masa definida, con efecto pared y para agregados granulares de partículas angulosas y redondeadas, de tamaños máximos nominales comprendidos entre 1,1 mm y 38.1 mm (1) y (5).

En la Fig. 1, se observan los distintos esqueletos granulares empleados con indicación del tamaño máximo nominal correspondiente y forma de sus partículas.

las.

En la Tabla I, para cada tamaño máximo nominal y forma de las partículas se indica el aporte correspondiente a cada retenido parcial, expresado en porcentaje del volumen sólido total. Los retenidos por los tamices No. 30, 50 y 100, corresponden al agregado fino común, de partículas redondeadas obtenidas procesando arena sílica del Río Paraná.

En la Tabla II, se señalan las características físicas de los esqueletos granulares considerados, con indicación del agua de mojado y retenida total por efecto de superficie, expresada en cm^3/kg .

La investigación se ha llevado a cabo empleando pasta conglomerante de relación agua de amasado/cemento 0.50 y distintos contenidos de los aditivos componentes (B) y (C), expresados en cm^3/kg de cemento Portland.

De todos los pastones preparados se seleccionaron los de consistencia dentro del rango plástico, $A_c = 1,0$ a $18,0$ cm y superplástico, $A_c = 18,0$ a $22,0$ cm.

La consistencia del concreto fresco fue estimado por mediciones de asentamientos de Tronco de Cono al desmoldar, en un todo de acuerdo a lo estipulado en las Normas ASTM C-143 e IRAM 1536.

El contenido de aire intencionalmente incorporado y de rendimiento del concreto fresco compactado fueron determinados por mediciones según recomendaciones de las Normas ASTM C-138 e IRAM 1562.

En cada preparación, después de concluido el amasado, se efectuaron tres mediciones de rendimiento y tres estimaciones de consistencia. Los valores obtenidos respectivamente fueron promediados considerándose el valor medio resultante.

En una segunda parte se considerarán los valores de resistencia mecánica a la compresión para las distintas formulaciones, tamaño máximo nominal y forma de las partículas del esqueleto granular.

Las condiciones de laboratorio fueron: $t = 27 \pm 3^\circ\text{C}$ - $\text{HR} = 65 \pm 5\%$

INTERPRETACION DE LOS VALORES OBTENIDOS

Se interpretan los valores medios obtenidos de consistencia del concreto fresco y contenido de aire intencionalmente incorporado en correspondencia con la relación "agua de amasado/agua de mojado o retenida total por el esqueleto granular por efecto de superficie", el efecto fluidificante (agua de amasado corregida/agua de amasado estimada normal), y el tamaño máximo nominal y forma de las partículas de los esqueletos granulares considerados.

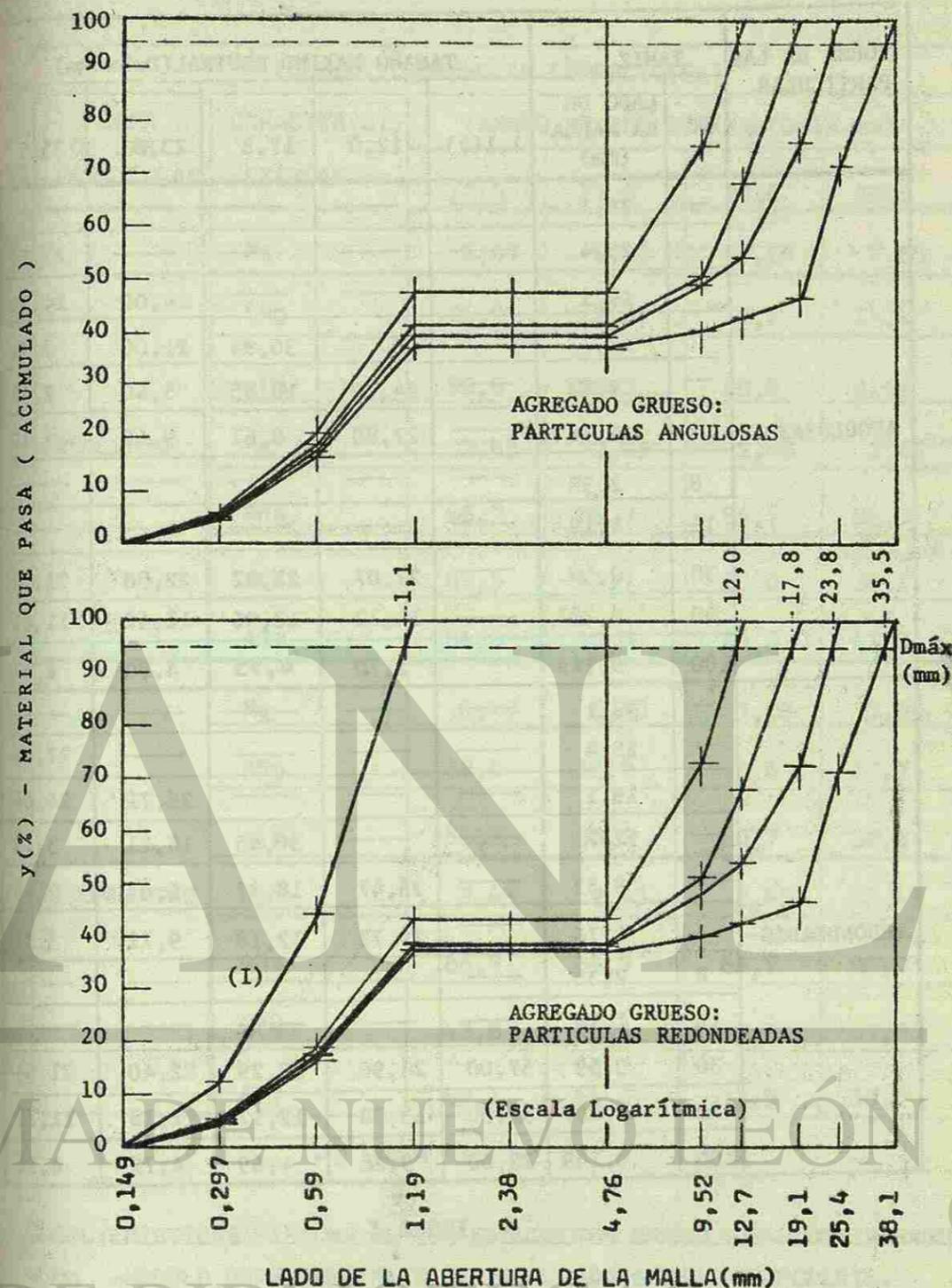


FIG. 1 - ESQUELETOS GRANULARES COMPACTOS EMPLEADOS EN LA PREPARACION DE LOS CONCRETOS CON AGREGADOS NORMALES Y AIRE INTENCIONALMENTE INCORPORADO.

(I) - AGREGADO FINO COMUN ($M_s = 2,45$ - $D_{máx.} = 1,1\text{mm}$).

FORMA DE LAS PARTICULAS	TAMIZ		TAMAÑO MAXIMO NOMINAL(Dmáx-mm)				
	N°	LADO DE LA MALLA (mm)	1,1(1)	12,0	17,8	23,8	35,5
ANGULOSAS-	—	38,1	—	—	—	—	—
	—	25,4	—	—	—	—	27,85
	—	19,1	—	—	—	24,00	24,76
	—	12,7	—	—	30,95	21,00	3,71
	—	9,52	—	24,70	18,85	5,40	2,48
	4	4,76	—	27,80	8,67	9,60	3,10
	8	2,38	—	—	—	—	—
	16	1,19	—	—	—	—	—
	30	0,59	—	27,07	23,82	22,80	21,72
	50	0,297	—	14,73	12,96	12,40	11,81
100	0,149	—	5,70	4,75	4,80	4,57	
REDONDEADAS-	—	38,1	—	—	—	—	—
	—	25,4	—	—	—	—	27,99
	—	19,1	—	—	—	26,71	24,88
	—	12,7	—	—	30,45	18,21	3,73
	—	9,52	—	26,47	18,27	6,07	2,49
	4	4,76	—	29,73	12,18	9,71	3,11
	8	2,38	—	—	—	—	—
	16	1,19	—	—	—	—	—
	30	0,59	57,00	24,96	22,29	22,40	21,54
	50	0,297	31,00	13,58	12,12	12,18	11,72
100	0,149	12,00	5,26	4,69	4,72	4,54	

- TABLA I -

ESQUELETOS GRANULARES COMPACTOS

RETENIDOS PARCIALES(% DEL VOLUMEN SOLIDO TOTAL), PARA COMPONER CADA UNO DE LOS ESQUELETOS GRANULARES EMPLEADOS, CON INDICACION DEL TAMAÑO MAXIMO NOMINAL Y FORMA DE SUS PARTICULAS.

(1) - AGREGADO FINO COMUN EMPLEADO EN LAS DOS FAMILIAS DE ESQUELETOS GRANULARES CONSIDERADOS.

ESQUELETO GRANULAR COMPACTO(Ea)					
FORMA DE LAS PARTICULAS	CARACTERIST. FISICAS	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL(Dmáx-mm)			
		12,0	17,8	23,8	35,5
ANGULOSAS	Mg	6,47	6,85	7,24	7,80
	ARg	26,5	22,3	18,5	14,4
	g(%)	52,5	58,3	60,0	61,9
	Me	2,45	2,45	2,45	2,45
	ARs	86,7	86,7	86,7	86,7
	s(%)	47,5	41,7	40,0	38,1
	ART	54,9	48,9	45,5	41,7
REDONDEADAS	Mg	6,47	6,80	7,28	7,80
	ARg	19,4	16,7	13,5	10,7
	g(%)	56,2	60,9	60,7	62,2
	Me	2,45	2,45	2,45	2,45
	ARs	86,7	86,7	86,7	86,7
	s(%)	43,8	39,1	39,3	37,8
	ART	49,1	44,3	42,5	39,7

- TABLA II -

CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS ESQUELETOS GRANULARES CONSIDERADOS

- Mg -MODULO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO COMPONENTE,
- ARg -AGUA DE MOJADO DEL AGREGADO GRUESO(cm³/kg),
- g(%) -PORCENTAJE(EN VOLUMEN SOLIDO), DEL AGREGADO GRUESO,
- Me -MODULO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO COMUN EMPLEADO,
- ARs -AGUA DE MOJADO DEL AGREGADO FINO COMUN(cm³/kg),
- s(%) -PORCENTAJE(EN VOLUMEN SOLIDO), DEL AGREGADO FINO COMUN,
- ART -AGUA DE MOJADO DEL ESQUELETO GRANULAR COMPACTO(cm³/kg).

M. Sabesinsky Felperin
R. A. Mayer

En la Fig. No. 2 se observa como la consistencia del concreto normal, dentro del rango plástico resulta ser proporcional a la relación entre el agua de amasado y el agua de mojado o retenida total por el esqueleto granular componente. Esta proporcionalidad es distinta para cada relación agua de amasado/cemento de la pasta conglomerante, finura de molido del cemento y contenido de álcalis del mismo.

Para un mismo valor de la relación "agua de amasado/agua de mojado o retenida total", la consistencia del concreto fresco resulta ser independiente del tamaño máximo nominal del esqueleto granular y de la naturaleza mineralógica de los agregados naturales normales, gruesos y finos que lo componen.

En el caso de empleo de aditivos de acción múltiple la proporcionalidad se mantiene, ampliándose el rango plástico del concreto fresco. Se obtienen concretos superplásticos, homogéneos, para conformado por caída libre, con reducción de la relación "agua de amasado/agua de mojado total"

En la Fig. No. 3 se observa como el efecto fluidificante del aditivo compuesto resulta ser función del corrector componente. En el rango superplástico del concreto fresco, en relación a la estimada para el concreto normal, la reducción de agua de amasado puede llegar a 30%

En las Figs. Nos. 4 y 5 el contenido de aire intencionalmente incorporado dentro del rango superplástico resulta ser función de la relación agua/cemento de la pasta conglomerante, tamaño máximo del esqueleto granular, forma de sus partículas y contenido del aditivo compuesto y de la relación entre sus componentes y decrece a medida que la consistencia del concreto fresco presenta mayores asentamientos.

CONCLUSIONES

Se observa como la consistencia del concreto normal fresco, dentro del rango plástico resulta ser proporcional a la relación entre el agua de amasado y el agua de mojado o retenida total por el esqueleto granular componente.

Esta proporcionalidad es distinta para cada relación agua de amasado/cemento, finura de molido del cemento y contenido de álcalis del mismo.

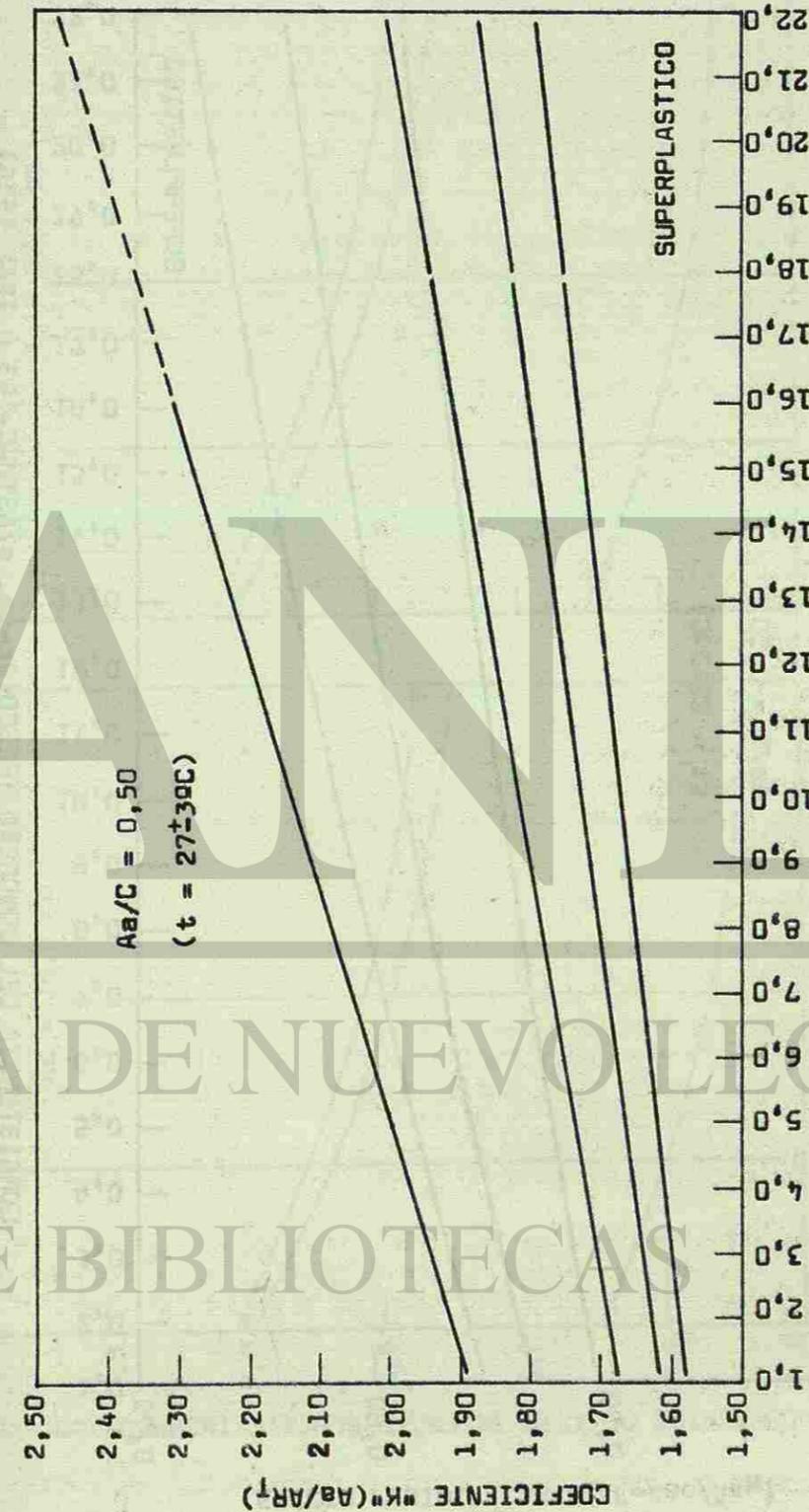
Para un mismo valor de la relación "agua de amasado/agua de mojado o retenida total", la consistencia del concreto fresco resulta ser independiente del tamaño máximo nominal del esqueleto granular y de la naturaleza mineralógica de los agregados normales, gruesos y finos que lo componen.

En el caso de empleo de aditivo de acción múltiple, la proporcionalidad se mantiene ampliándose el rango plástico del concreto fresco.

Se obtienen concretos superplásticos, homogéneos, para conformado por

ADITIVO COMPUESTO
(cm³/kg)

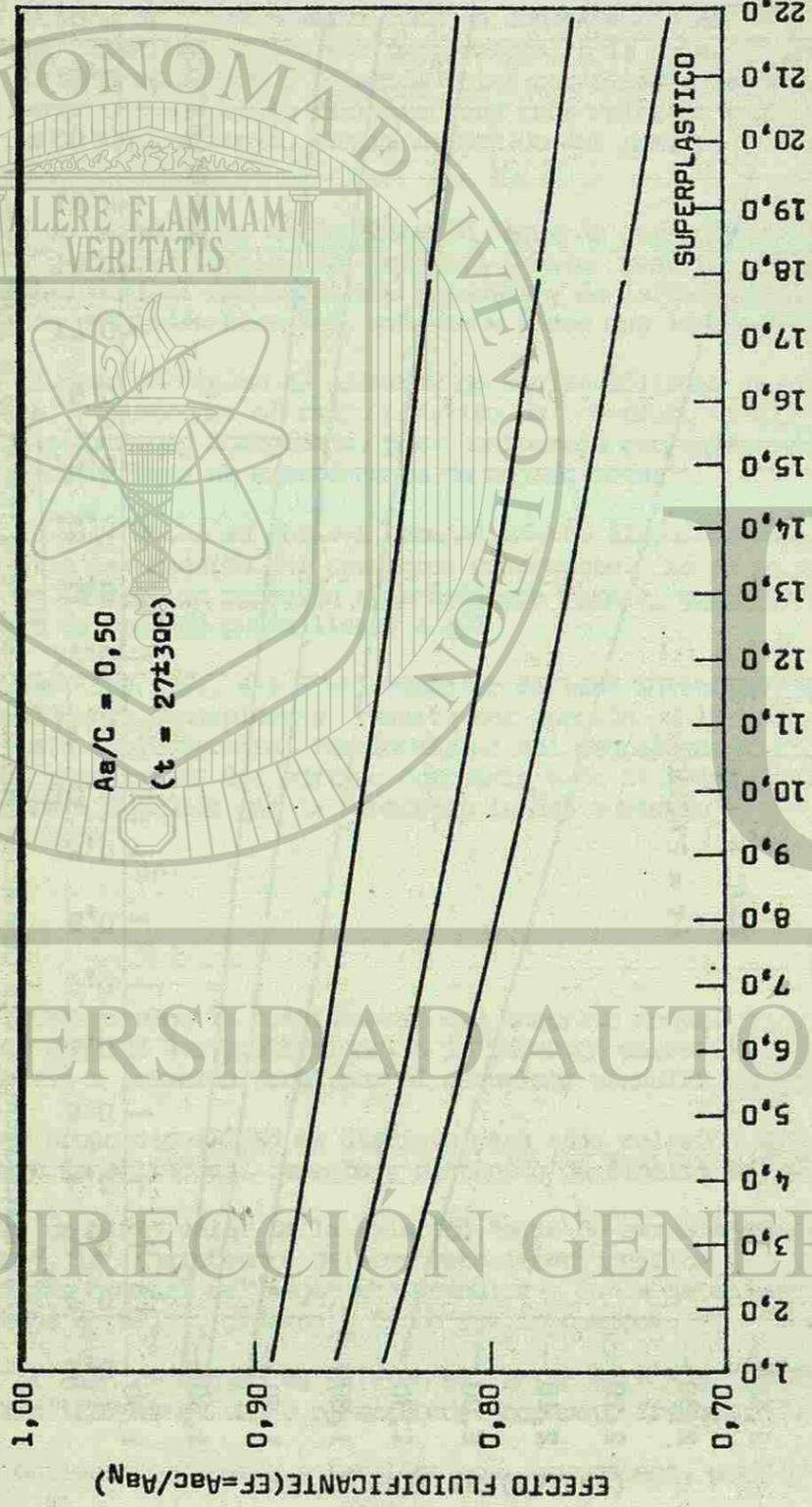
(B)	(C)
-	-
8	-
8	2
12	3



CONSISTENCIA DEL CONCRETO FRESCO (Ac-cm, s/ASTM-C-143 e IRAM 1536)

FIG. 2 - COEFICIENTE "K" (RELACION AGUA DE AMASADO/AGUA DE MOJADO O RETENIDA TOTAL POR EL ESQUELETO GRANULAR POR EFECTO DE SUPERFICIE - Aa/Ar), EN FUNCION DE LA CONSISTENCIA DEL CONCRETO FRESCO.

ADITIVO COMPUESTO
(cm³/kg)
(B) (C)



CONSISTENCIA DEL CONCRETO FRESCO(Ac-cm, e/ASTM-C-143 e IRAM 1536)

FIG. 3 - EFECTO FLUIDIFICANTE(EF=Aac/AsN), EN FUNCION DE LA CONSISTENCIA DEL CONCRETO FRESCO.
- Aac-AGUA DE AMASADO CORREGIDA POR EFECTO FLUIDIFICANTE DEL ADITIVO COMPUESTO,
-- AsN-AGUA DE AMASADO DEL CONCRETO NORMAL.

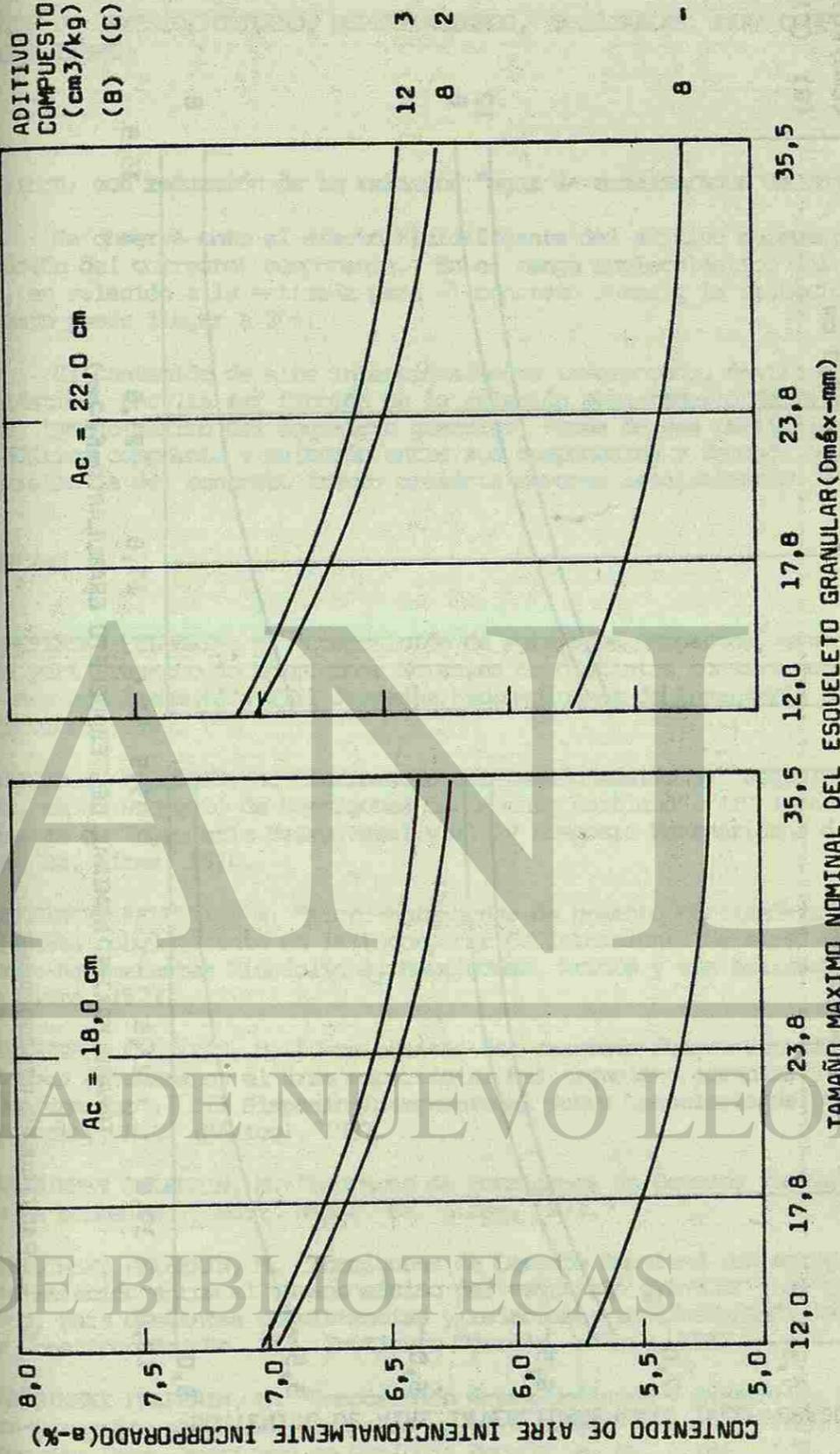


FIG. 4 - PARTICULAS ANGULOSAS

CONTENIDO DE AIRE INTENCIONALMENTE INCORPORADO EN EL CONCRETO FRESCO COMPACTADO EN FUNCION DEL TAMAÑO MAXIMO NOMINAL Y FORMA DE LAS PARTICULAS DEL ESQUELETO GRANULAR COMPACTO COMPONENTE.

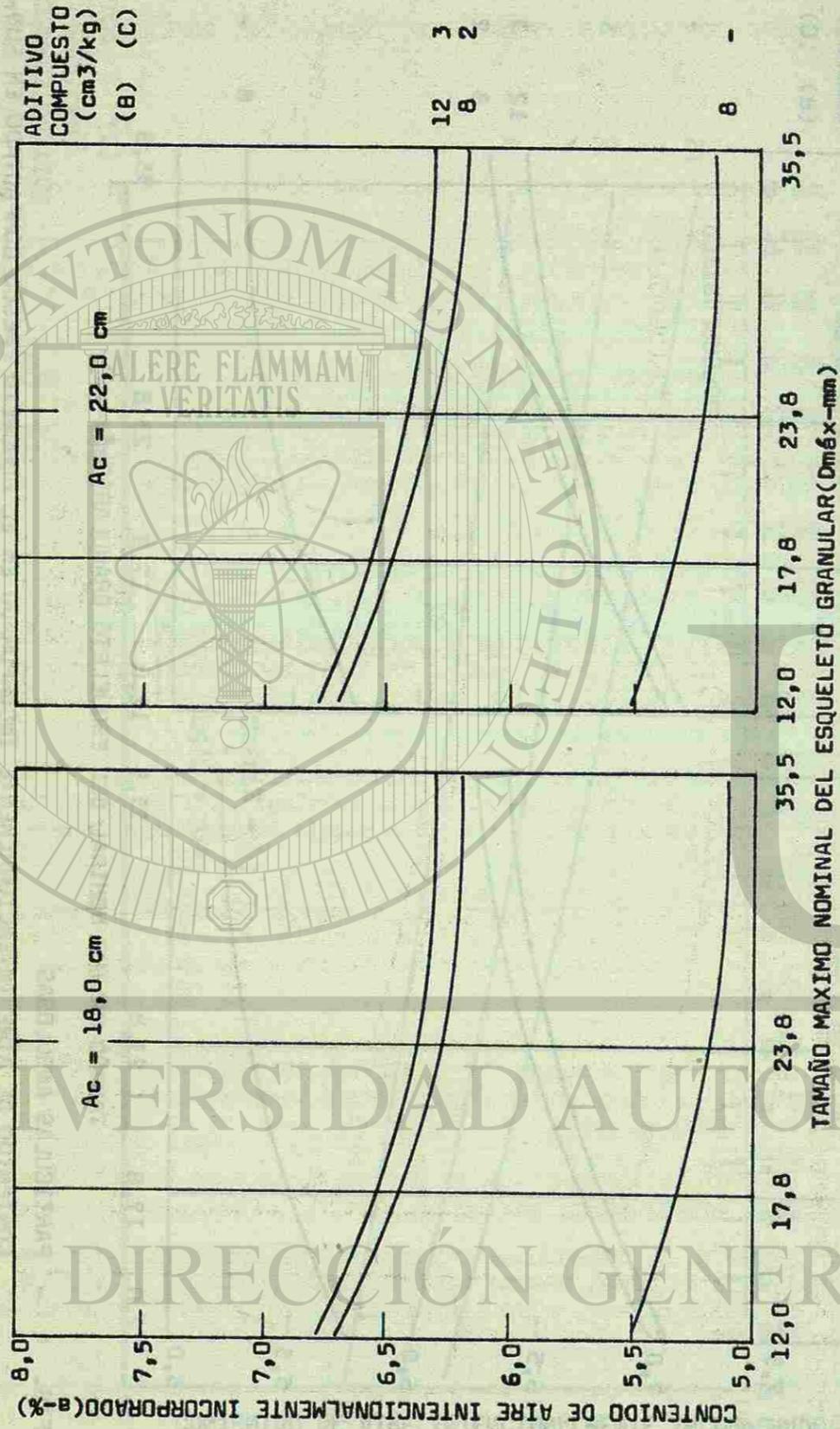


FIG. 5 - PARTICULAS REDONDEADAS

CONTENIDO DE AIRE INTENCIONALMENTE INCORPORADO EN EL CONCRETO FRESCO COMPACTADO EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL Y FORMA DE LAS PARTICULAS DEL ESQUELETO GRANULAR COMPACTADO

CONCRETOS DE CEMENTO PORTLAND, SUPERPLÁSTICOS, TRABAJABLES, PARA CONFORMADO POR CAIDA LIBRE

caída libre, con reducción de la relación "agua de amasado/agua de mojado total"

Se observa como el efecto fluidificante del aditivo compuesto resulta ser función del corrector componente. En el rango superplástico del concreto fresco, en relación a la estimada para el concreto normal, la reducción de agua de amasado puede llegar a 30%.

El contenido de aire intencionalmente incorporado, dentro del rango superplástico, resulta ser función de la relación agua/cemento de la pasta conglomerante, tamaño máximo del esqueleto granular, forma de sus partículas, contenido de aditivo compuesto y relación entre sus componentes y decrece a medida que la consistencia del concreto fresco presenta mayores asentamientos.

REFERENCIAS

- SABESINSKY FELPERIN, M. "Composición de agregados compactos, gruesos y finos para Proyecto de Hormigones Normales de distintas consistencias y relaciones agua/cemento", XIII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Montevideo, 1969.
- SABESINSKY FELPERIN, M. "Influencia del tamaño máximo del esqueleto granular, en el Proyecto de Hormigones de Cemento Portland", XIV Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural y el IV Simposio Panamericano de Estructuras, Bs. Aires, 1970.
- SABESINSKY FELPERIN, M. "Micro-hormigones de cemento Portland-influencia de la pasta conglomerante en la incorporación intencional de aire" IV Simposio sobre Aglomerantes Hidráulicos, Hormigones, Aridos y sus Aplicaciones, LEMIT, La Plata, 1972.
- SABESINSKY FELPERIN, M. "Consistencia del concreto fresco-interacción entre el agua de amasado, el área superficial del esqueleto granular y la relación agua/cemento". III Simposio Internacional Sobre Tecnología del Concreto, Monterrey, N.L. (México), 1977.
- SABESINSKY FELPERIN, M. "Proyecto de Hormigones de Cemento Portland con Agregados Normales". Edit. NIGAR, Bs. Aires, 1973.
- SABESINSKY FELPERIN, M. "Hormigones de Cemento Portland con Agregados Normales-Relación entre el tamaño máximo del esqueleto granular y el agua de amasado, para distintas consistencias y relaciones agua/cemento". Materiales de Construcción, No. 143, Instituto Torroja. Madrid, 1971.
- SABESINSKY FELPERIN, N. "Composición Granulométrica y Mineralógica Óptima de los agregados naturales empleados en el Hormigón de Cemento Portland" II Congreso Ibero-americano de Geología Económica, Bs. Aires, 1975.

M. Sabesinsky Felperin
R. A. Mayer

- 8.- SABESINSKY FELPERIN, M. "Hormigón Masa, Composición de Macro-esqueleto Granulares Compactos", II Reunión Técnica sobre Tecnología del Hormigón (Villa Carlos Paz), Córdoba, 1976.
- 9.- SABESINSKY FELPERIN, M. "Hormigones con Esqueletos Granulares de distintos Tamaños Máximos-Influencia de la naturaleza mineralógica y forma de las partículas". III Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Concordia, 1977.
- 10.- SABESINSKY FELPERIN, M. "Influencia del Esqueleto Granular en el Mortero -- RILEM/CEMBUREAU, por efecto de sus finos de sílice". Simposio sobre Aglomerantes Hidráulicos y sus Aplicaciones, LEMIT, La Plata, 1970.
- 11.- SABESINSKY FELPERIN, M. "El Cemento Portland en la Consistencia del Hormigón fresco-finura de molido óptimo". Materiales de Construcción No. 165, Instituto Torroja, Madrid, 1977.
- 12.- SABESINSKY FELPERIN, M. "Contenido óptimo de aire en los Hormigones de Cemento Portland". XV Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Porto Alegre, 1971.
- 13.- SABESINSKY FELPERIN, M. "Hormigón Masa- Efecto de Superficie del Macro-esqueleto Granular". II Reunión Técnica sobre Tecnología del Hormigón (Villa Carlos Paz), Córdoba, 1976.
- 14.- SABESINSKY FELPERIN, M. "Hormigón Normal y con aire incorporado-Correlación entre relaciones agua/cemento". XIX Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Santiago (Chile), 1978.
- 15.- KENNEDY, H. L. "Recent developments in Concrete Durability" Journal of the Society of Civil Engineers, Oct. 1947.
- 16.- SABESINSKY FELPERIN, M., M. B. Natalini y O. Gauto. "Mortero Celular Estructural". 3º Congreso Brasileiro de Engenharia e Ciencia dos Materiais, Brasil, 1978.

EFFECTO DE UN ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE EN EL CONCRETO FABRICADO CON CEMENTO PORTLAND DE ESCORIA DE ALTO HORNO"

Raymundo Rivera Villarreal*

RESUMEN

Este trabajo consistió en determinar el comportamiento de morteros y concretos utilizando un aditivo superplastificante con cemento Portland Tipo I y cemento Portland de Escoria de Alto Horno.

Se presentan los resultados en morteros utilizando cubos de 5 cm. de arista para ensayos a compresión y variación en la Rel. A/C para distintas dosis de aditivo, misma fluidez y mismo contenido de cemento.

Los resultados de tiempos de fraguado en morteros a distintas temperaturas, muestran que estos tiempos son mayores para los concretos superplastificados a más bajas temperaturas. El aumento de temperatura disminuye el tiempo de fraguado para los morteros con ambos tipos de cemento y no existe gran diferencia en los valores, ya sea para morteros plastificados o no. En todos los casos el tiempo de fraguado es mayor para el cemento Portland de Escoria de Alto Horno.

La pérdida de revenimiento determinada en concretos superplastificados es más rápida que para los concretos de referencia, para los dos tipos de cemento, incrementándose esta pérdida con el aumento en la temperatura del concreto. Para concretos redosificados una sola vez, el tiempo en que se puede mantener estable es razonable y en todos los casos la pérdida de revenimiento es menor para el cemento Portland de Escoria de Alto Horno que para el Portland Tipo I.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

* Maestro de Planta Investigador, Decano de la Facultad y Jefe del Instituto de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, N. L. México

M. Sabesinsky Felperin
R. A. Mayer

- 8.- SABESINSKY FELPERIN, M. "Hormigón Masa, Composición de Macro-esqueleto Granulares Compactos", II Reunión Técnica sobre Tecnología del Hormigón (Villa Carlos Paz), Córdoba, 1976.
- 9.- SABESINSKY FELPERIN, M. "Hormigones con Esqueletos Granulares de distintos Tamaños Máximos-Influencia de la naturaleza mineralógica y forma de las partículas". III Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Concordia, 1977.
- 10.- SABESINSKY FELPERIN, M. "Influencia del Esqueleto Granular en el Mortero -- RILEM/CEMBUREAU, por efecto de sus finos de sílice". Simposio sobre Aglomerantes Hidráulicos y sus Aplicaciones, LEMIT, La Plata, 1970.
- 11.- SABESINSKY FELPERIN, M. "El Cemento Portland en la Consistencia del Hormigón fresco-finura de molido óptimo". Materiales de Construcción No. 165, Instituto Torroja, Madrid, 1977.
- 12.- SABESINSKY FELPERIN, M. "Contenido óptimo de aire en los Hormigones de Cemento Portland". XV Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Porto Alegre, 1971.
- 13.- SABESINSKY FELPERIN, M. "Hormigón Masa- Efecto de Superficie del Macro-esqueleto Granular". II Reunión Técnica sobre Tecnología del Hormigón (Villa Carlos Paz), Córdoba, 1976.
- 14.- SABESINSKY FELPERIN, M. "Hormigón Normal y con aire incorporado-Correlación entre relaciones agua/cemento". XIX Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Santiago (Chile), 1978.
- 15.- KENNEDY, H. L. "Recent developments in Concrete Durability" Journal of the Society of Civil Engineers, Oct. 1947.
- 16.- SABESINSKY FELPERIN, M., M. B. Natalini y O. Gauto. "Mortero Celular Estructural". 3º Congreso Brasileiro de Engenharia e Ciencia dos Materiais, Brasil, 1978.

EFFECTO DE UN ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE EN EL CONCRETO FABRICADO CON CEMENTO - PORTLAND DE ESCORIA DE ALTO HORNO"

Raymundo Rivera Villarreal*

RESUMEN

Este trabajo consistió en determinar el comportamiento de morteros y concretos utilizando un aditivo superplastificante con cemento Portland Tipo I y cemento Portland de Escoria de Alto Horno.

Se presentan los resultados en morteros utilizando cubos de 5 cm. de arista para ensayos a compresión y variación en la Rel. A/C para distintas dosis de aditivo, misma fluidez y mismo contenido de cemento.

Los resultados de tiempos de fraguado en morteros a distintas temperaturas, muestran que estos tiempos son mayores para los concretos superplastificados a más bajas temperaturas. El aumento de temperatura disminuye el tiempo de fraguado para los morteros con ambos tipos de cemento y no existe gran diferencia en los valores, ya sea para morteros plastificados o no. En todos los casos el tiempo de fraguado es mayor para el cemento Portland de Escoria de Alto Horno.

La pérdida de revenimiento determinada en concretos superplastificados es más rápida que para los concretos de referencia, para los dos tipos de cemento, incrementándose esta pérdida con el aumento en la temperatura del concreto. Para concretos redosificados una sola vez, el tiempo en que se puede mantener -- razonable es razonable y en todos los casos la pérdida de revenimiento es menor para el cemento Portland de Escoria de Alto Horno que para el Portland Tipo I.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

* Maestro de Planta Investigador, Decano de la Facultad y Jefe del Instituto de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, N. L. México

INDICE

RESUMEN	363
INTRODUCCION	365
ALCANCE DE LA INVESTIGACION	366
MATERIALES UTILIZADOS	367
ENSAYES EN MORTEROS, SERIE 1	370
ENSAYES EN MORTEROS, SERIE 2	373
ENSAYES EN CONCRETOS, SERIE 3	373
ENSAYES EN CONCRETOS, SERIE 4	380
CONCLUSIONES	380
AGRADECIMIENTO	382
BIBLIOGRAFIA	383

LISTA DE TABLAS

1.- PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE LOS CEMENTOS.	368
2.- RESULTADO DE LOS ENSAYES DE TIEMPOS DE FRAGUADO PARA LOS MORTEROS.	374
3.- PROPORCIONAMIENTOS DE CONCRETO PARA LA SERIE No. 3.	376
4.- RESULTADOS DE LOS ENSAYES DE LA SERIE No. 3.	378

LISTA DE FIGURAS

1.- GRAFICAS GRANULOMETRICAS DE LOS AGREGADOS FINO Y GRUESO UTILIZADOS - TAMBO PARA LA FABRICACION DE LOS MORTEROS COMO DE LOS CONCRETOS.	369
2.- RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CUBOS DE MORTERO PARA DISTINTAS DOSIFICACIONES DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE A 3, 7 Y 28 DIAS DE EDAD, PARA CEMENTO PORTLAND I	371
3.- RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CUBOS DE MORTERO PARA DISTINTAS DOSIFICACIONES DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE A 3, 7 Y 28 DIAS DE EDAD, PARA CEMENTO PORTLAND DE ESCORIA DE ALTO HORNO.	372
4.- GRAFICAS DE TIEMPOS DE FRAGUADO PARA MORTEROS A DISTINTAS TEMPERATURAS.	375
5.- GRAFICA DE PERDIDA DE REVENIMIENTO PARA CONCRETOS CON CEMENTO PORTLAND DE ESCORIA DE ALTO HORNO A DISTINTAS TEMPERATURAS Y PARA CONCRETOS PLASTIFICADOS Y NO PLASTIFICADOS.	379
6.- GRAFICAS DE PERDIDA DE REVENIMIENTO PARA CONCRETO RE-DOSIFICADO UNA SOLA VEZ.	381

Pag.

INTRODUCCION

El término superplastificante o superreductor de agua se ha estado aplicando a un grupo de agentes dispersantes que son polímeros solubles en agua a base de sales condensadas de formaldehído de naftalina o melamina sulfonadas. Desde hace más de 20 años se conoce el uso como aditivos de estos productos en la industria química, su aplicación al concreto en Japón se reportó en 1964.

Gracias a los descubrimientos que en 1962 hizo el Dr. K. Hattori al encontrar que al utilizar altas concentraciones de formaldehído o sulfonatos de naftalina, éstos actuaban como un dispersante extraordinario de las partículas de cemento en el agua, produciendo una fluidez muy alta en el concreto fresco (1) y (2).

Aumentando la dosis de los condensados, la fluidez del concreto fresco se mejoraba en mucho mayor grado que con los dispersantes a base de lignina, dando como resultado una alta reducción del contenido de agua de mezcla muy ventajosa para la producción de concreto de alta resistencia (3) y (4).

Gran interés se ha mostrado en Alemania Occidental desde los estudios de A. Aignesberger en 1968 (5, 6 y 7) y más recientemente en Inglaterra (8) y Canadá (9).

Existen dos categorías principales de aditivos superplastificantes cuyas características son las siguientes:

- CATEGORIA A Condensado basado en naftalina-formaldehído sulfonados.
- CATEGORIA B Condensados basados en melamina-formaldehído sulfonados.
- CATEGORIA C Lignosulfonatos modificados.
- CATEGORIA D Esteres de ácido sulfónico y otros ésteres carbohidratados.

El concreto superplastificado es un concreto convencional ligeramente sobrearenado que contiene un aditivo químico del tipo de los superplastificantes.

Las características únicas de los concretos superplastificados dependen de las propiedades que resulten en el concreto a causa de la inclusión de alguno de estos nuevos aditivos.

Pueden lograrse las siguientes ventajas de su uso:

- 1.- Si el superplastificante se usa en el concreto para mejorar la manejabilidad, entonces el revenimiento normal del concreto es fluido. Este concreto tiene un revenimiento de 200 mm. Además de tener una alta manejabilidad, el concreto fluido no deberá ofrecer -

*

un sangrado o segregación excesivos, deberá compactarse por sí mismo y no deberá presentar aire incluido ni un retardo anormal. No se reduce el contenido de cemento, ni hay cambio significativo en la resistencia.

2.- Como en el caso de los aditivos plastificantes convencionales, debe aprovecharse la ventaja del aumento en manejabilidad, para hacer reducciones en el contenido de agua. Para el mismo revenimiento, la relación agua-cemento disminuye en forma importante y se logran altas resistencias en el concreto para el mismo consumo de cemento.

3.- La manejabilidad y la resistencia pueden mantenerse iguales, reduciendo el contenido de cemento con el correspondiente ahorro en el costo.

La desventaja que presentan a la fecha los concretos superplastificados es su pérdida, relativamente rápida, de revenimiento por su disminución de agua, siendo mayor cuanto mayor es el contenido de cemento y la temperatura del concreto (10) y (11). Para disminuir el efecto de la pérdida de revenimiento se han utilizado aditivos retardantes (10) y (11) que no han resultado muy efectivos o redosificando con superplastificante el concreto (11) y (12). Este último procedimiento da como resultado un aumento en el costo de aditivo por metro cúbico de concreto.

ALCANCE DE LA INVESTIGACION

El programa de ensayos incluye la evaluación del comportamiento de morteros y concretos superplastificados conteniendo Cemento Portland DGN C-1 Tipo I* y Cemento Portland de Escoria de Alto Horno DGN C-175*.

El aditivo superplastificante utilizado fue un condensado de Naftalina Formaldehído Sulfonatado de origen japonés.

Se realizaron varias series de ensayos tanto en mortero como en concreto, según se describen en seguida.

ENSAYES EN EL MORTERO

Serie No. 1 Para establecer el contenido óptimo de aditivo para una misma fluidez, determinando el incremento en resistencia al verse reducida la relación A/C. Para los dos tipos de cemento.

* A.S.T.M. C-150 Tipo I y C-595, Tipo IS

Serie No. 2 Para evaluar los tiempos de fraguado inicial y final a distintas temperaturas de mezclado y ambiente, para los dos tipos de cemento; sin aditivo y con aditivo superplastificante con la dosificación determinada en la Serie No 1.

ENSAYES EN EL CONCRETO

Serie No. 3 Para determinar el tiempo límite en que un concreto fluido llega a ser rígido plástico (tiempo de manejabilidad), a diferentes temperaturas, para los dos tipos de cemento y con y sin aditivo superplastificante, determinando además los efectos en la resistencia a la compresión, tensión por compresión diametral, módulo de ruptura, módulo de elasticidad y razón de Poisson.

Serie No. 4 Tiempo de manejabilidad en un concreto superplastificado y redosificado a distintas temperaturas.

MATERIALES UTILIZADOS

CEMENTOS

En todas las series de ensayos se utilizaron dos tipos de cementos, el Portland normal DGN C-1 Tipo I y el cemento Portland de Escoria de Alto Horno DGN C-175. Las propiedades físicas y las características químicas aparecen en la Tabla No. 1.

AGREGADOS

Los agregados fueron de caliza triturada. Para la fabricación de los concretos el tamaño máximo del agregado fue de 20 mm. Los pesos específicos secos para los agregados grueso y fino fueron de 2.66 y 2.64 respectivamente; los valores correspondientes de absorción fueron de 0.9 y 1.4 por ciento. El módulo de fineza del agregado fino fue de 2.8, las gráficas granulométricas de ambos agregados aparecen en la figura No. 1.

ADITIVOS

Se utilizó un superplastificante de origen japonés* del tipo de condensado naftalina-formaldehído sulfonatado. Se dispone generalmente en solución acuosa al 42% con una densidad de 1,200 kg/m³ y es de color café oscuro.

* Mighty, 150

TABLA No. 1

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE LOS CEMENTOS

DESCRIPCION DEL ENSAYE	DGN (*) C - 1 TIPO I	DGN (**) C - 175
PROPIEDADES FISICAS		
PESO ESPECIFICO	3.15 g/cm ³	3.10 g/cm ³
FINEZA:		
Area superficial (BLAINE)	3,430 cm ² /g	3,920 cm ² /g
Pasando malla No. 325 (+)	86.4 %	93.0 %
TIEMPOS DE FRAGUADO:		
Inicial Vicat	2 hr 49 min.	3 hr 17 min.
Final Vicat	4 hr 18 min.	4 hr 37 min.
Inicial Gillmore	3 hr 13 min.	---
Final Gillmore	5 hr 01 min.	---
Sanidad (AUTOCLAVE)	0.11 %	0.022 %
RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CUBOS DE 5.1 cm.		
1 día	90 kg/cm ²	78 kg/cm ²
3 días	177 kg/cm ²	145 kg/cm ²
7 días	264 kg/cm ²	203 kg/cm ²
28 días	340 kg/cm ²	300 kg/cm ²
ANALISIS QUIMICO (+)		
Oxido de calcio (CaO) total	64.55	55.67
Dióxido de silicio (SiO ₂)	21.42	26.89
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	5.03	8.07
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)	2.48	1.75
Oxido de magnesio (MgO)	1.43	3.13
Trióxido de azúfre (SO ₂)	2.61	1.98
Cal libre	1.40	0.67
Pérdida por ignición	1.26	1.17
Residuo insoluble	0.46	0.32
COMPUESTOS (+)		
Silicato tricálcico (C ₃ S)	49.3	--
Silicato dicálcico (C ₂ S)	24.3	--
Aluminato tricálcico (C ₃ A)	9.1	--
Aluminato ferrito tetracálcico (C ₄ AF)	7.5	--

(+) Datos proporcionados por el fabricante
 (*) Marca Monterrey, similar al ASTM C-150 Tipo I
 (**) Marca Super Atlante similar al ASTM C-595 Tipo IS

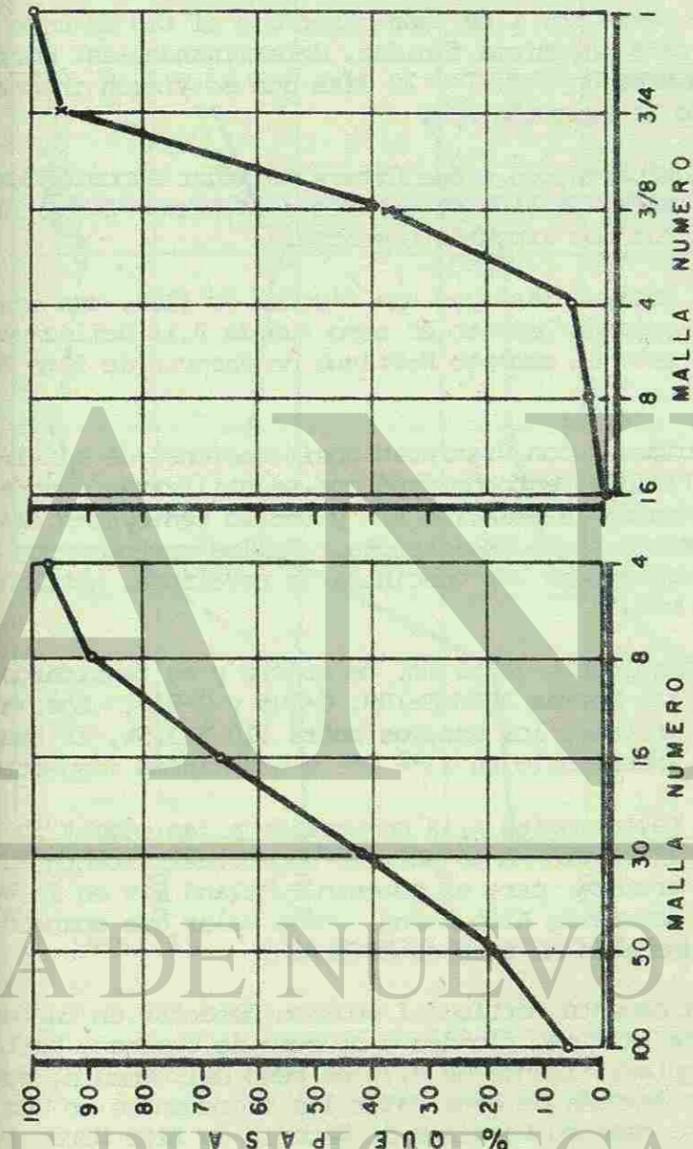


FIG. 1 - CURVAS GRANULOMETRICAS DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS EN LOS ENSAYES.

ENSAYES EN MORTEROS

SERIE No. 1

Los morteros de la serie No. 1 se fabricaron con el fin de conocer el contenido óptimo de aditivo para una misma fluidez, determinando las correspondientes resistencias a la compresión a 3, 7 y 28 días que se vieron incrementadas a causa de haberse disminuído la relación A/C.

Los morteros se fabricaron con arena Ottawa estándar escogiéndose una relación A/C de 0.6, y una fluidez de 110% de acuerdo a la Norma ASTM C-109 para los ensayos testigos, y para los dos tipos de cementos.

Para lograr en los ensayos testigos una fluidez de 110%, con una relación A/C de 0.6 la relación Agregado/Cemento en peso fué de 3.18 utilizando el cemento Portland I y de 3.29 para el cemento Portland de Escoria de Alto Horno (3.5% más).

Se fabricaron especímenes con distintas dosificaciones de aditivo superplastificante para la misma fluidez, esto originó que se utilizaran menores cantidades de agua, viéndose disminuída la relación A/C y por lo tanto, como era de esperarse, se apreció un incremento en la resistencia. En los morteros con aditivo superplastificante, éste se agregó una vez concluida la revoltura, batiéndose con el aditivo durante un minuto más.

Los especímenes fueron cubos de 51 mm. de arista y se fabricaron, curaron y ensayaron de acuerdo a las Normas ASTM C-109, C-305 y C-230. Los valores de la fluidez se mantuvieron en todos los ensayos entre $110 \pm 3.5\%$, la temperatura y la humedad relativa del laboratorio en $23 \pm 2^\circ\text{C}$ y 50% mínima respectivamente.

Los valores de las resistencias a la compresión a las edades de 3, 7 y 28 días para las distintas dosificaciones de aditivo superplastificante aparecen en las figuras 2 y 3. En la primera, para el cemento Portland I y en la segunda, para el cemento Portland de Escoria de Alto Horno. Cada valor que aparece en la gráfica es el resultado del promedio de tres especímenes.

En la figura 1 para cemento Portland I podemos detectar un incremento importante de resistencia para la misma fluidez y consumo de cemento, hasta una dosificación de aditivo superplastificante de 0.7% en peso del cemento, que llega a ser de un 26% a los 28 días después de este valor los incrementos no son tan importantes, en la figura 2 para cemento Portland de Escoria de Alto Horno los incrementos de resistencia a la compresión no son de consideración, como con cemento Portland I (13% a los 28 días), esto debido a que fueron menores las reducciones en agua para mantener la misma fluidez, Sin embargo parece ser que el valor de 0.7% de dosificación es el valor que puede escogerse como óptimo para utilizar se en los ensayos de tiempo de fraguado de la Serie No. 2.

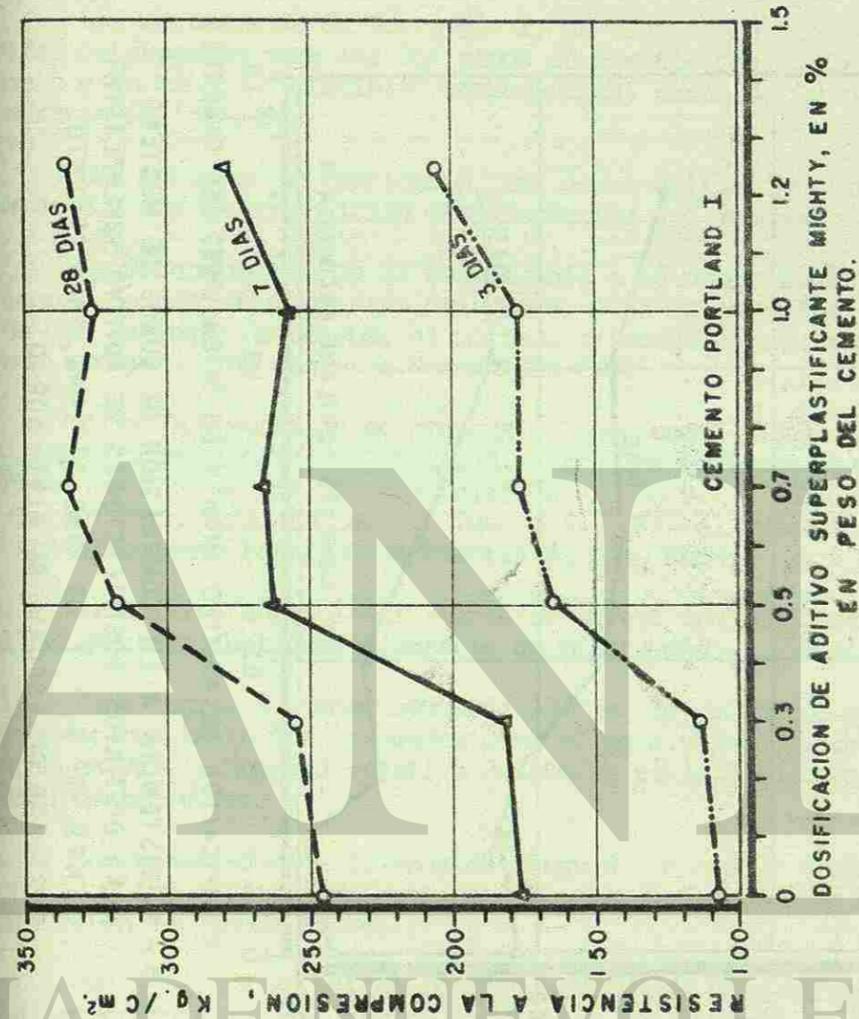


FIG. 2.- RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CUBOS DE MORTERO PARA DISTINTAS DOSIFICACIONES DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE A 3, 7 Y 28 DIAS DE EDAD PARA CEMENTO PORTLAND I.

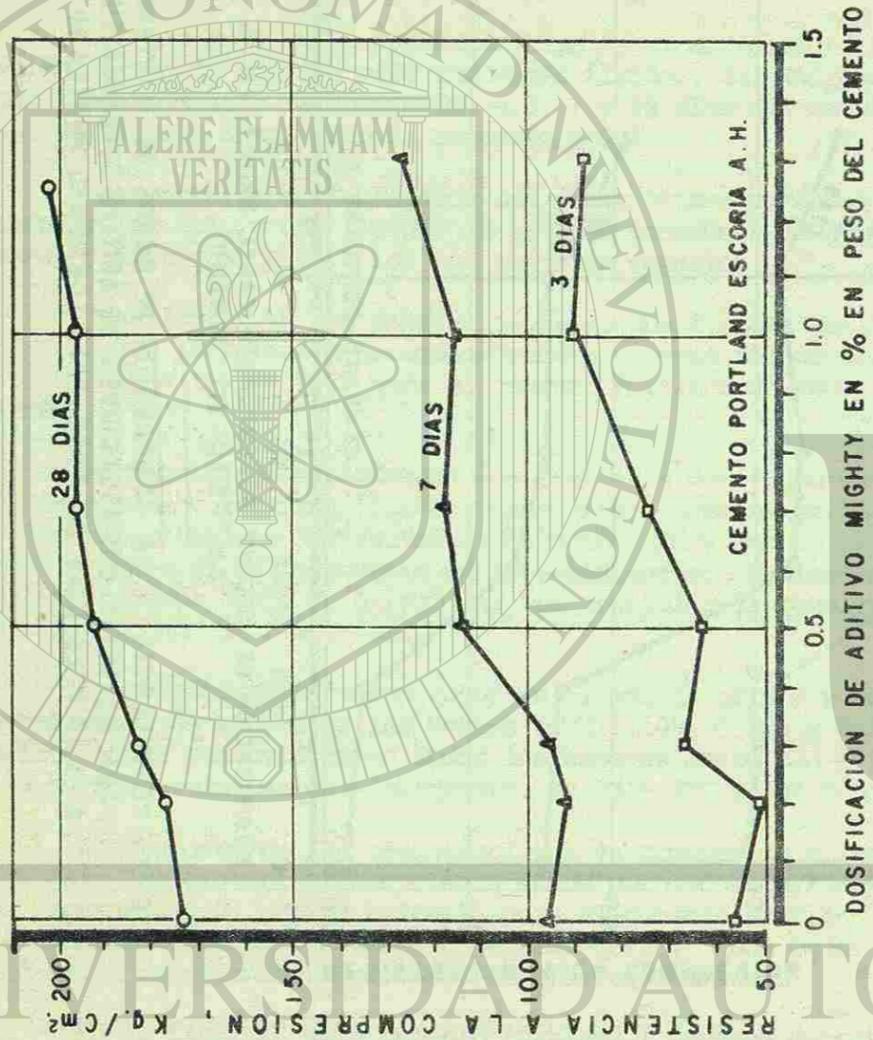


FIG. 3.- RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CUBOS DE MORTERO PARA DISTINTAS DOSIFICACIONES DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE A 3, 7 Y 28 DIAS DE EDAD, PARA CEMENTO PORTLAND DE ESCORIA DE ALTO HORNO.

EFFECTO DE UN ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE EN EL CONCRETO FABRICADO CON CEMENTO PORTLAND DE ESCORIA DE ALTO HORNO"

SERIE No. 2

Los morteros de la Serie No. 2, se fabricaron con el fin de conocer la velocidad de fraguado para los dos tipos de cemento con y sin aditivo superplastificante y su efecto a distintas temperaturas, tanto de fabricación como de reposo durante el fraguado.

Los morteros se fabricaron con arena caliza triturada de un módulo de finiza de 2.8 con la composición granulométrica que aparece en la figura No. 1.

La determinación de la resistencia a la penetración como una medida de los tiempos de fraguado, se hizo de acuerdo a la Norma ASTM C-403 con la excepción de que en lugar de obtener el mortero cribando de un concreto, éste se preparó con agregado fino según la Norma ASTM C-305.

Todos los morteros se prepararon para una fluidez de 110%, determinada de acuerdo con el método ASTM C-230. Para los morteros testigos sin aditivo fabricado a 22°C se utilizó una relación A/C de 0.6 y para dar una fluidez de 110%, la relación agregado cemento fue de 4.0 para el cemento Portland I y de 4.19 para el cemento Portland de Escoria de Alto Horno.

El aditivo superplastificante se agregó una vez concluida la revoltura normal del mortero, batiéndose durante un minuto más.

Para lograr la temperatura de 38°C en los morteros recién fabricados se precalentaron tanto los agregados como el agua y para mantener la temperatura de reposo en 38°C y humedad relativa de 60% se utilizó un horno con temperatura y humedad controlables.

Los resultados de tiempos de fraguado inicial y final aparecen en la tabla No. 2 y las gráficas de resistencia a la penetración en kg/cm² contra tiempo aparecen en la Figura No. 4.

De la Figura No. 4, se puede concluir que para morteros superplastificados a temperatura de 25°C hay un retraso en los tiempos de fraguado tanto para los fabricados con cemento Portland I como para los fabricados con cemento Portland de Escoria de Alto Horno siendo mayor para los fabricados con este último a alta temperatura como 28°C esta diferencia es muy pequeña y puede considerarse que prácticamente no existe, acelerándose los tiempos de fraguado para los morteros con los dos tipos de cemento con o sin aditivo superplastificante.

ENSAYES EN CONCRETOS

SERIE No. 3

Se fabricaron concretos de referencia con los dos tipos de cemento con el fin de determinar el tiempo en que un concreto fluido de 150 mm de revenimiento, llegue a alcanzar el estado rígido plástico de 50 mm. es decir la pérdida de

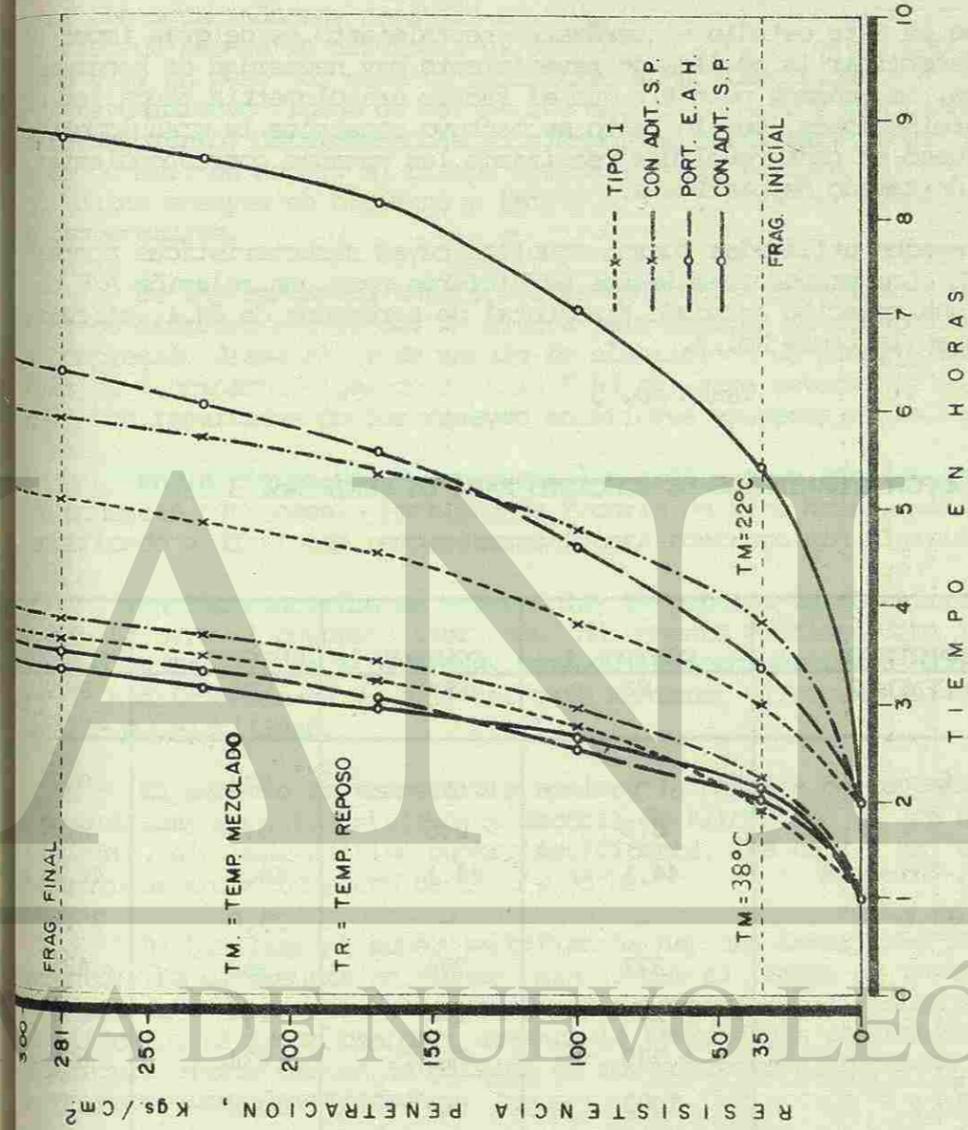
TABLA No. 2

RESULTADOS DE LOS ENSAYES DE TIEMPOS DE FRAGUADO PARA LOS MORTEROS

CEMENTO	ADITIVO %	PLAIDEZ	TEMPERATURA		TIEMPO DE FRAGUADO		DIFERENCIA ENTRE EL FRAG. INICIAL Y FINAL
			FABR.	REPOSO	INICIAL	FINAL	
P.I.	0.0	109	22	25	3.0	5.1	2.1
P.E.A.H.	0.0	107	22	25	5.5	6.5	1.0
P.I.	0.7	109	22	25	3.3	5.9	2.6
P.E.A.H.	0.7	108	22	25	5.5	8.7	3.2
P.I.	0.0	114	38	38	2.0	3.7	1.8
P.E.A.H.	0.0	114	38	38	2.0	3.4	1.4
P.I.	0.7	112	38	38	2.2	3.9	1.7
P.E.A.H.	0.7	109	38	38	2.1	3.2	1.2

P.I. = Cemento Portland I

P.E.A.H. = Cemento Portland de Escoria de Alto Horno.



GRAFICAS DE TIEMPO DE FRAGUADO PARA MORTEROS

FIG. 4 RESISTENCIA A LA PENETRACION DE MORTEROS FABRICADOS CON CEMENTO PORTLAND I Y CEMENTO PORTLAND DE ESCORIA DE ALTO HORNO PARA DISTINTAS TEMPERATURAS DE MEZCLADO Y DE REPOSO.

revenimiento normal en que todavía puede ser manejable el concreto.

Dado que en este estudio el parámetro revenimiento es de gran importancia ya que para determinar la pérdida de revenimiento hay necesidad de hacer mediciones sucesivas, no debemos permitir que el factor granulometría tenga influencia en estas determinaciones, por lo tanto se mantuvo constante la granulometría del fino y del grueso en cada revoltura realizando las pesadas correspondientes de cada fracción de tamaño de partícula.

Los agregados utilizados fueron aquellos cuyas características aparecen en la pág. 367. Los proporcionamientos se hicieron para una relación A/C de 0.5 en peso, con una relación Agregado fino/total de agregados de 44.1, el resto de datos aparecen en la tabla No. 3.

TABLA No. 3

PROPORCIONAMIENTOS DE CONCRETO PARA LA SERIE No. 3

PROPORCIONAMIENTO TIPO DE CEMENTO	CONTROL 1 PI	CONTROL 2 PEAH	MIGHTY 1 PI	MIGHTY 2 PEAH
Aditivo S.P. en %	-	-	0.7	0.7
Rel. A/C en %	0.5	0.5	0.36	0.37
Rel. Ag.Fino/Ag. Grueso %	44.1	44.1	44.1	44.1
Reducción Agua en %	-	-	25.0	25.0
Cemento kg/m ³	377	399	398	426
Agua Kg/m ³	188	198	144	158
Ag. Fino kg/m ³	790	760	834	808
Ag. Grueso kg/m ³	1002	964	1058	1029
Revenimiento mm.	150	150	50	50
Aire %	1.1	1.2	1.2	1.2

Tomando como base los proporcionamientos testigos, se fabricaron concretos con agua reducida para dar un revenimiento rígido plástico de 50 mm, para lograrlo fué necesario disminuir el agua en un 25%. A estos concretos se les agregó 0.7% en peso del cemento de aditivo superplastificante MIGHTY, alcanzándose un revenimiento fluido de más de 200 mm. Se hicieron mediciones progresivas del revenimiento, determinándose el tiempo requerido para llegar de nuevo al valor de 50 mm., es decir, el tiempo necesario para mantener el concreto trabajable. Estos ensayos se hicieron a 18°C y a 35°C, para ver además el efecto a altas temperaturas.

De los concretos anteriores se fabricaron especímenes cilíndricos de 10 cm. de diámetro por 20 cm. de altura para ensayos de compresión, de tensión por compresión diametral y de módulo de elasticidad de Young y Razón de Poisson. Además se fabricaron vigas de 15 X 15 X 50 cm. para determinar el módulo de ruptura. Los resultados de los ensayos anteriores aparecen en la Tabla No. 4.

En la figura No. 5, aparecen las gráficas de pérdida de revenimiento para concreto con cemento Portland de Escoria de Alto Horno, para concreto superplastificado a distintas temperaturas y para concreto sin plastificar.

En los concretos de referencia, la pérdida de revenimiento normal es más rápida para el concreto fabricado con cemento Portland Tipo I, que para el Portland de Escoria de Alto Horno, para el proporcionamiento seleccionado y a 18°C. La diferencia es de 1.15 hr. para mantener el revenimiento dentro de límites de manejabilidad.

El aumento de temperatura acelera la pérdida de revenimiento; en el caso de utilizar cemento Portland de Escoria de Alto Horno en los ensayos, el aceleramiento, sin usar aditivo superplastificante, fué de 1.4 hs. al trabajar con temperaturas en el concreto de 18°C y 35°C.

Al utilizar el superplastificante hay una importante pérdida de revenimiento. La diferencia en tiempo para llegar al límite de revenimiento preestablecido de 50 mm, entre el concreto de referencia y el reducido en agua superplastificado, es menor conforme aumenta la temperatura del concreto. La alta temperatura afecta más en la pérdida de revenimiento al concreto sin aditivo que al concreto superplastificado.

Analizando los resultados de las propiedades mecánicas y elásticas de los concretos superplastificados con agua reducida para mantener el concreto con un revenimiento mayor de 50 mm., encontramos que debido a la reducción de agua en un 25% los esfuerzos de compresión, módulo de ruptura, tensión por compresión diametral y Módulo de Elasticidad de Young (ASTM), se ven incrementados de acuerdo a los valores que aparecen en la tabla No. 4. Los aumentos son ligeramente menores en todos los casos para los concretos en los que se utilizó el cemento Portland de Escoria de Alto Horno, en comparación con los concretos fabricados con cemento Portland Tipo I.

TABLA No. 4

RESULTADOS DE LOS ENSAYES DE LA SERIE No. 3

PROPORCIÓN NOMBRE	TIPO DE ADITIVO EN CEMENTO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN kg/cm ² (% DEL CONTROL)	MR kg/cm ² 7 DIAS (%C)	T* 2 kg/cm ² 28 DIAS (%C)	MODULO E DE YOUNG, ² X10 ³ kg/cm ² (%C)	RAZON DE POISSON
Control 1	P. I.	237 (100)	37 (100)	26 (100)	339 (100)	0.22
Control 2	P. E. A. H.	216 (100)	43 (100)	21 (100)	348 (100)	0.23
Mighty (1)	P. I.	288 (122)	44 (119)	30 (115)	380 (112)	0.22
Mighty (2)	P. E. A. H.	261 (121)	50 (116)	24 (114)	381 (109)	0.22

* = TENSION POR COMPRESION DIAMETRAL

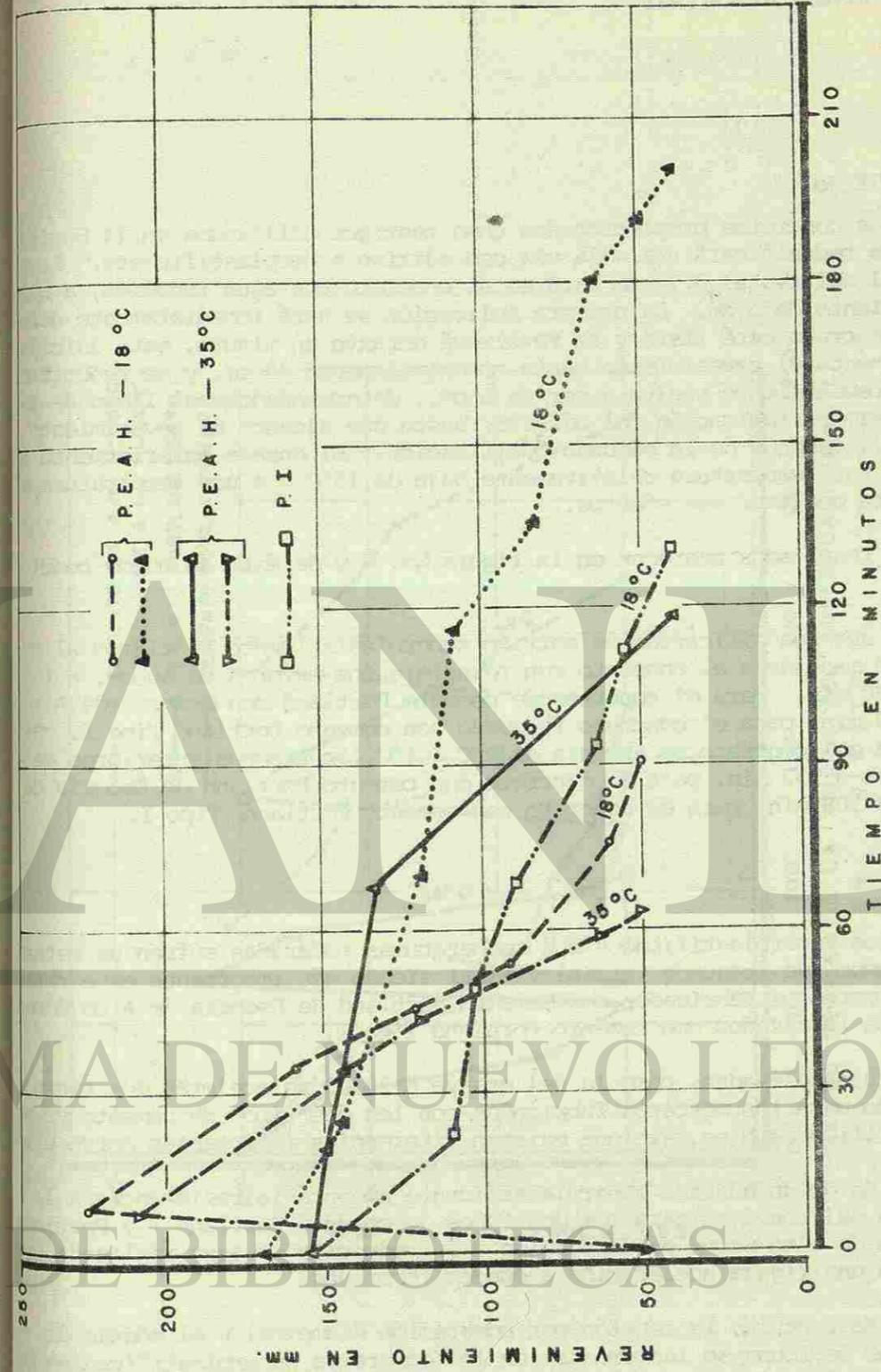


FIG. 5.- PERDIDA DE REVENIMIENTO PARA CONCRETO CON CEMENTO P. E. A. H. SUPERPLASTIFICADO A DISTINTAS TEMPERATURAS.

SERIE No. 4.

A los concretos proporcionados como testigos utilizados en la Serie No. 3., se les redosificará una sola vez con aditivo superplastificante. La aplicación del aditivo al 0.7% se hará en el concreto con agua reducida, a que dé un revenimiento de 5 cm. La primera aplicación se hará inmediatamente después que el concreto esté listo y se revolverá durante un minuto, esta adición de aditivo aumenta el revenimiento hasta aproximadamente 20 cm. y se redosificará cuando el revenimiento vuelva a ser de 5 cm., determinándose el lapso de tiempo desde la primera aplicación del aditivo, hasta que alcance el revenimiento un valor de 5 cm., después de la segunda dosificación. El ensaye anteriormente descrito se hará a una temperatura relativamente baja de 15°C y a una temperatura alta de 34°C para analizar sus efectos.

Los resultados aparecen en la figura No. 6 y de ésta se puede concluir lo siguiente.

Con una redosificación de aditivo superplastificante el tiempo al cual puede llegar a manejarse el concreto con revenimientos mayores de 50 mm. a 15°C ± 2°C es de 280 min. Para el concreto de cemento Portland con Escoria de Alto Horno y de 220 min. para el concreto fraguado con cemento Portland Tipo I. Si la temperatura del concreto se aumenta a 34°C ± 1°C los tiempos anteriores se ven disminuidos a 152 min. para el concreto con cemento Portland de Escoria de Alto Horno y a 108 min. para el concreto con cemento Portland Tipo I.

CONCLUSIONES

- 1.- Los morteros superplastificados con temperaturas moderadas sufren un retardo en los tiempos de fraguado inicial y final siendo más importante este retardo en los morteros fabricados con cemento Portland de Escoria de Alto Horno que por los fabricados con cemento Portland Tipo I.
- 2.- A temperaturas elevadas, como la del ensaye a 38°C, se aceleran los tiempos de fraguado para los morteros fabricados con los dos tipos de cemento ya sean superplastificados o no, sin que existan diferencias importantes entre ellos.
- 3.- La inclusión de un aditivo superplastificante aumenta la resistencia a la compresión del concreto para los dos tipos de cemento Portland I y Portland de Escoria de Alto Horno en proporción a la reducción de agua realizada, y se aprecia una ligera aceleración a edades tempranas.
- 4.- El módulo de ruptura, la tensión por compresión diametral y el módulo de elasticidad de Young se incrementan en los concretos superplastificantes en proporción a la reducción de agua efectuadas.

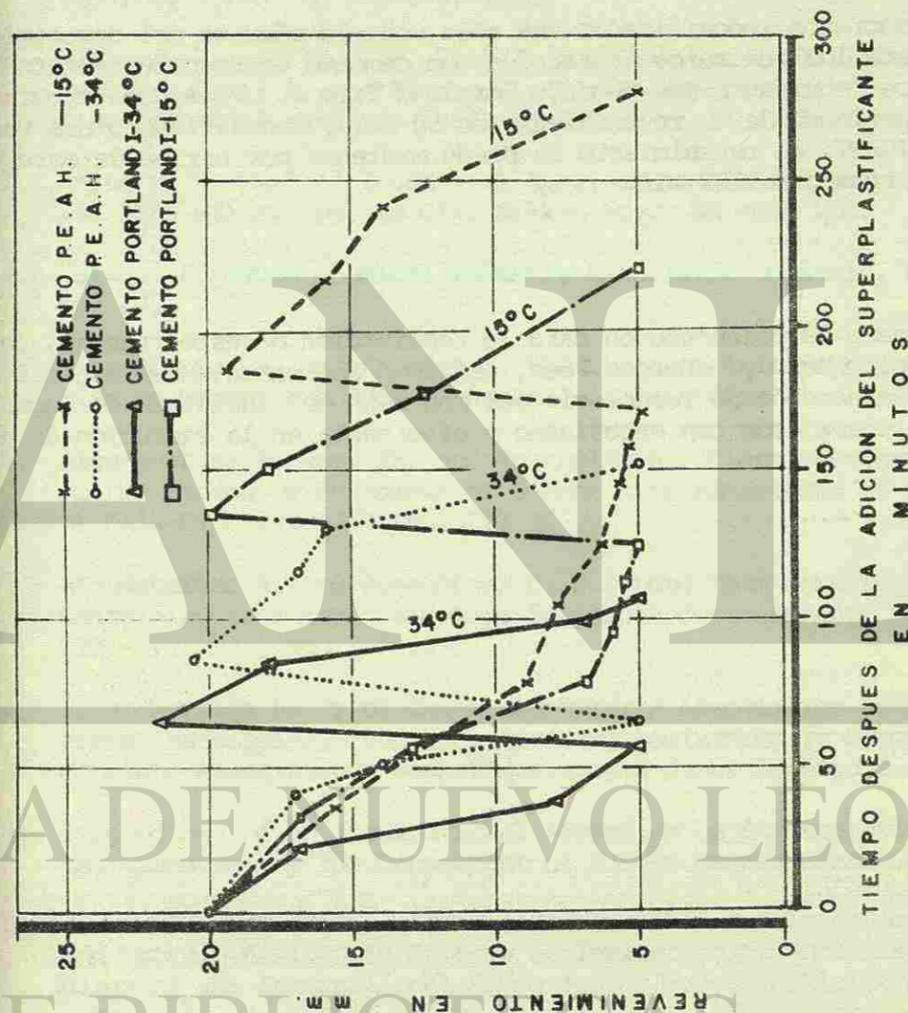


FIG. 6.- EFECTO DE LA TEMPERATURA Y LA REDOSIFICACION EN LA PERDIDA DE REVENIMIENTO.

X

- 5.- En los concretos superplastificados hay una importante pérdida de revenimiento, siendo menor para el concreto con cemento de Escoria de Alto Horno que para el Portland I, ésta diferencia es menor conforme aumenta la temperatura del concreto.
- 6 - Una alta temperatura, mayor de 35°C, afecta más en la pérdida de revenimiento al concreto sin aditivo superplastificado que al que se le adiciona.
- 7.- Para los concretos redosificados una sola vez, la pérdida del revenimiento es menor para los concretos fabricados con cemento de Escoria de Alto Horno que para los fabricados con cemento Portland Tipo I. Para una temperatura de 34°C, partiendo de un revenimiento de 50 mm. y redosificando una vez con aditivos MIGHTY, el revenimiento se puede mantener por arriba de este valor durante un tiempo de 152 min.

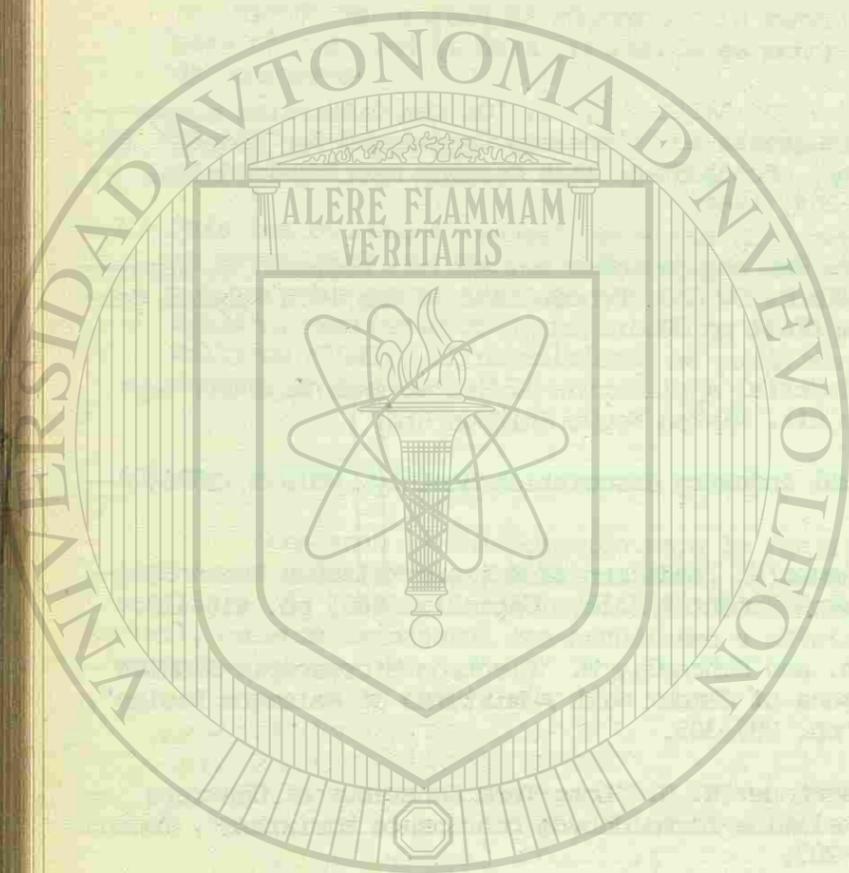
AGRADECIMIENTO

Agradezco la colaboración para la realización de este trabajo, de los ingenieros Rodolfo Meza y Generoso Páez, así como del estudiante Sergio Lozada, auxiliares de la sección de Tecnología del Concreto del Instituto de Ingeniería Civil, quienes trabajaron con entusiasmo y eficiencia en la ejecución de este proyecto.

EFFECTO DE UN ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE EN EL CONCRETO FABRICADO CON CEMENTO PORTLAND DE ESCORIA DE ALTO HORNO".

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Hattori, K. Yamakawa, C., and Akitosshi, T., "On the dispersing properties of Beta-Naphtalenesulfonic Acid-Formalin Condensate for Cement". Cement Association of Japan, Proceedings 18th General Meeting-Technical Session, Tokyo, pp 200-204, 1964.
- 2.- Hattori, K. and Tsuji T. Patente japonesa No. 485391; Hattori, K. Yamakawa C. Tsuji A. and Akashi T. CAJ Proceedings of the 18th General Meeting Technical Session, 1964, pp 200.
- 3.- Hattori, K. Text of Industrial Application of Surfactants pp 8-11; Sept. 18, 1965 editado por la Cía. Nikkan Kogyo Shinbun Ltd.
- 4.- Hattori K. Japan Chemical Industry Association Monthly, Vol. 9, 1976, pp. 10,
- 5.- Aignesberger A. and Krieger H. "Addition of Anionic Melamine Resin Solution to Cement and Gypsum" Zement - Kalk - Gips 21; 1968, pp. 415-419.
- 6.- Aignesberger A. Rey, Th. and Schramli, W. "Electron Microscopic Studies - fo the Hardening Phenomena of Cement with Admixtures of Melamine Resins", Zement Kalk-Gips 22, 1969, pp. 297-305.
- 7.- Aignesberger A. and Rosenbauer H. G. "Long-Term Behaviour of Concrete -- Containing an anionic melamine-formaldehyde condensate admixture", Tonind. ZTG. 97, 1973, pp. 205-207.
- 8.- Joint Working Party of Cement Admixtures Association and Cement and Concrete Association, "Superplasticizing Admixtures in Concrete" Cement and Concrete Association, Weshan Springs, Slough, England 1976, pp. 33.
- 9.- Proceedings of an International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Sponsored by the Department of E.M.R. Ottawa Canada, May 1978.
- 10.- Perenchio W. F. Whiting P. A., Kantro D. L. "Water Reduction, Slump Loss and Entrained Air Void Systems as Influenced by Superplasticizers" Proceedings of the International Symposium on Superplasticizers in Concrete Vol I pp. 295-324, E.M.R. Ottawa Canada, Mayo 1978.
- 11.- Mailvaganam N. P. "Slump Loss in flowing Concrete" Proceedings of the International Symposium on Superplasticizers in Concrete Vol. II, Mayo 1978, pp. 649-672, E.M.R. Ottawa, Canadá.
- 12.- Malhotra V. M., Seabrook P. T. "Acelerated Strength Testing of Superplasticized Concrete and the Effect of Repeated Doses in Concrete" Proceedings of the International Symposium on Superplasticizers in Concrete Vol. III, Mayo 1978, pp. 609-948, E.M.R. Ottawa, Canada.



THE USE OF SUPERPLASTICIZERS IN HOT WEATHER COUNTRIES -
MIDDLE EAST EXPERIENCES

BY

NOEL P. MAILVAGANAM*

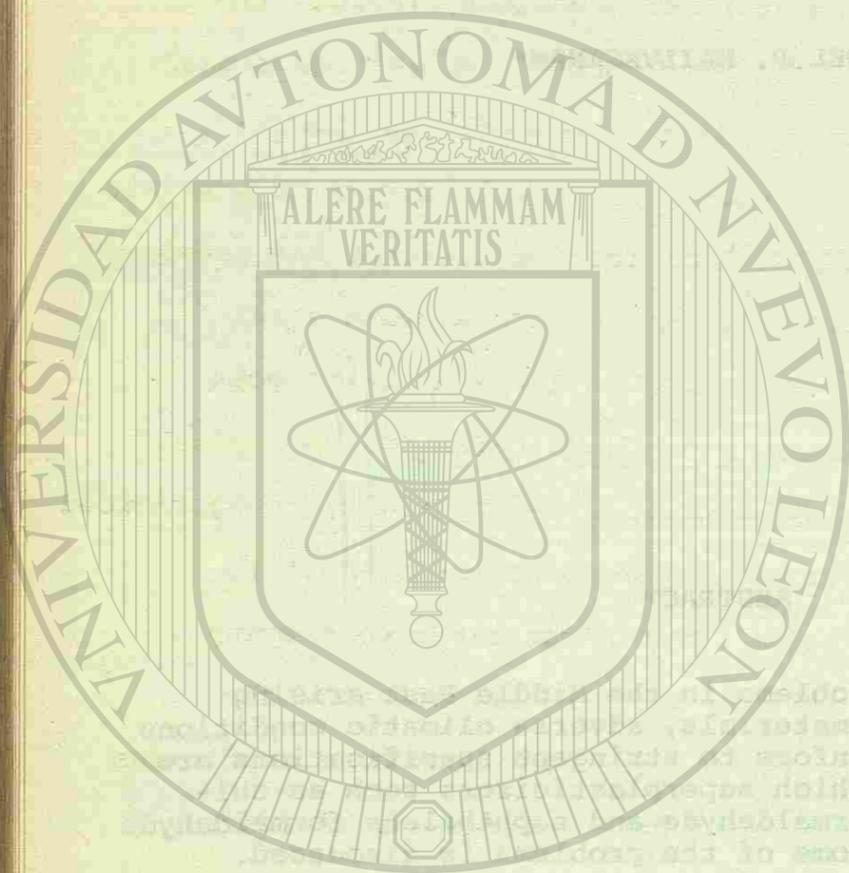
ABSTRACT

Concreting problems in the Middle East arising from poor concrete raw materials, adverse climatic conditions and the necessity to conform to stringent specifications are cited. The manner in which superplasticizers such as sulphonates of melamine formaldehyde and naphthalene formaldehyde are used to alleviate some of the problems is discussed.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

*Sternson Ltd., Brantford, Ontario, Canada



I INTRODUCTION

The recent expanding construction programme in countries of the Middle East, Central and South America, and the Carribean has resulted in the implementation of a number of large construction projects. Such projects include the construction of dams, jetties, dry docks, airports, government complexes, and university campuses. However, the growing number of serious defects encountered in all classes of concrete during this period of intense construction activity has prompted grave concern for the quality of the concrete being used. These countries lying predominantly in the equatorial belt are unfortunately areas where drastic climatic and geological conditions, poor quality of available raw materials, inexperienced workmanship and inadequate supervision, act in concert to produce a low grade concrete. This paper cites concreting problems encountered in these countries; specifically the Middle East. It presents the limiting environmental conditions and the constraints that arise from the necessity to adhere to rather rigid specifications in order to provide a durable concrete. The manner in which superplasticizers can be used to minimize such problems is discussed.

II Hot Weather Factors Contributing to Adverse Effects on Concrete [®]

II: (a) The Climate: most hot weather countries have weather conditions where (for the most part of the year) an arid climate prevails - one where evaporation exceeds precipitation. The annual average rainfalls are very low and frequently the temperature is in excess of 35°C. The contrast between night

and the maximum day temperatures and humidities is great. In these conditions, together with strong drying winds concrete is adversely affected unless it is designed and placed with special hot weather precautions.

II:(b) Concrete Raw Materials

II:(b):1 Cements: The cements manufactured locally or supplied by neighbouring countries are often found to have inadequate performance in comparison with North American and European cements. eg. During the initial stages of the construction of the Ahmed Hamdi Tunnel in Egypt a preliminary materials study of available raw materials revealed that both local cements (Tourah & Hewlan) had general strength levels which were half to two thirds the values expected from average U.K. Cements. It is customary, therefore, to find Middle East concrete specifications stipulating only the use of imported cements or higher cement contents for local cements when their use is permitted. Table I shows the chemical composition of a cement currently used in the Middle East

II:(b):2 Aggregates: Natural sands are usually abundant but their gradings and sometimes their shapes are generally poor and frequently contaminated by deleterious salts (predominantly sulphates and chlorides). The coarse aggregates are often found to be of a friable and porous nature and also contaminated with injurious salts. The aggregate, therefore, requires washing to remove sulphate and chloride contamination and frequent testing to determine potential reactivity. When trial mixes are done it is not uncommon to find low strengths

with a ceiling of about 25.0 N/mm^2 . Fig. I shows the gradation of some coarse and fine aggregates used in the East coast of Saudi Arabia. Table II gives the chloride and sulphate contents present in these aggregates.

II:(b):3 Construction Practices: In addition to the environmental and climatic conditions stated above, the concrete is also affected by factors introduced by construction practices. High cement contents are used to ensure that specified strengths and desired strength margins are achieved for high strength concretes. Finely ground cement is used to achieve early stripping strengths for advantageous production cycles in precast operations. Batch sizes of concrete delivered to distant locations are larger than normal. The use of pumping equipment to place mixes made from available raw materials and the need for compliance with specifications, often result in delays arising from equipment failure or incorrect mix design.

III Concreting Problems

The common problems encountered at construction sites in the Middle East include the following:

1. decreased strengths due to increased water demand, resulting from high mix temperatures and the use of local concrete raw materials;
2. the rapid decay of workability due to high slump loss, posing retempering problems;
3. difficulties in the handling and finishing of concrete as a result of accelerated setting due to increased rate of hydration;

4. the increased tendency for plastic shrinkage caused by rapid evaporation which occurs at high mix temperature and low relative humidity;
5. increased tendency for drying shrinkage and differential thermal cracking;
6. decreased durability due to the presence of deleterious salts in aggregates;
7. difficulty in maintaining desired air contents as a result of high mix temperatures;
8. The increased tendency for bleeding and settlement resulting from poor aggregate gradation.

III Concrete Specifications and the Contractor

Specifications usually stipulate the quality of concrete raw materials to be used and the fresh and hardened properties relevant to a particular class of concrete. They also specify the extent of control and supervision to ensure the serviceability of the concrete. Typical concrete parameters specified include: minimum cement contents, 7 and 28 day compressive strengths; maximum aggregate size; water:cement ratio and maximum slump.

The contractor, in attempting to provide a concrete meeting desired strength requirements, and stipulated durability criteria, is often compelled to accept the following impositions:

- (a) Endure the costly and time-consuming placing due to the poor workability of mixes of low water:cement ratio.
- (b) Use an uneconomical mix design due to the necessity of

achieving high strength margins.

- (c) Tolerate a high percentage of rejected units having severe blemishes and surface voids, due to the poor compaction of dry mixes;
- (d) Perform such tests as necessary to demonstrate that his concrete meets the required absorption, drying shrinkage and moisture movement values.

For the contractor, therefore, strict adherence to specifications with conventional concreting practices brings a soaring cost to the project.

IV The Use of Admixtures

Recent studies have shown that traditional methods of increasing cement contents, to ensure strength and durability factors, account for some of the defects observed in both precast and in-situ concrete in the Middle East. The prudent use of admixtures often provides cost savings both in raw materials and labour, enabling the production of quality concrete with the limited equipment available.

Some of the commonly sought mix modifications (improvements) under such limited environmental and drastic geological conditions can be listed as follows:

- (1) High water reduction and plasticizing effects for concretes where low water cement ratios and minimum cement contents are specified.
- (2) Increased cohesiveness in harsh mixes and mixes prone to bleeding.

- (3) Improved watertight character of the concrete, to prevent the ingress of water containing injurious concentrations of sulphate and chloride ions;
- (4) An accelerated rate of strength gain in mixes using Type V (sulphate resisting) cements;
- (5) A retarded rate of initial set and fall off of workability;
- (6) A reduced rate of heat release, which occurs due to accelerated hydration;
- (7) Reinstatement of the initially achieved workability.

IV: (a) High Range Water Reduction and Reduction of Cement Content

The high water reduction required for mixes commonly used in the Middle East (viz. high cement contents and low water: cement ratios) entails the use of high dosages of conventional admixtures. Consequently, the reports of attendant adverse side effects (severe bleeding, retardation, heavy air entrainment) are quite common in many construction sites. In such situations the use of superplasticizers, which provide the requisite plasticity and water reduction (20-25%) without damaging side effects, is a boon to the Concrete Engineer and Production Superintendent. Frequently specified water:cement ratios of less than 0.5 are readily met with superplasticizers at dosages of 2-2.5% (by weight of cement) for the 20% solids solution of melamine-formaldehyde type and 1.2 - 1.8% for the 40% solids solution of the naphthalene-formaldehyde type superplasticizers. The engineer is, therefore, assured of achieving favourable strength margins and hence reasonable economy in mix design. Table III shows the water reducing capability of a naphthalene-formaldehyde based superplasticizer

at two fixed workabilities.

The water reducing aspect of superplasticizers is seen in the construction of stabbits for a harbour breakwater project in Saudi Arabia. Sulphate resisting cement was specified for the 350 kg/m³ cement content mix. The coarse aggregate (20 mm) was highly angular and of poor texture while the sand was a beach sand of F.M. 1.6. The maximum permitted water:cement ratio was 0.52 and the placing slump of 100 mm was expected to flow and fill the 4.2 m³ mould with minimal vibration. The contractors desire to obtain favourable production cycles called for strength acceleration at early ages.

Several conventional lignosulphonate based water reducers were tried at high dosages. However, the high ambient temperatures (40°C) and water demand by the fine sand made it impossible to attain the 0.52 water:cement ratio without severe bleeding and segregation, occurring in the mix.

The contractor in an attempt to offset the mounting costs of retaining hundreds of idle workmen agreed to try a superplasticizer - despite the high cost he would incur. A melamine formaldehyde based superplasticizer was used at a 2.5% dosage with the mix adjusted with a decreased fines content. A 20% water reduction (over plain mix) was achieved to provide a mix with the required water:cement ratio, plus adequate cohesion and workability at a 75 mm slump. Reasonable stripping strengths of 11 N/mm² were achieved, enabling the contractor to cope with the required production schedules.

The construction of large caissons for use in jetties involves the placing of large pours of concrete mixes with high cement contents ($> 375 \text{ kg/m}^3$). The high core temperatures that build up are maintained for long periods due to the poor dissipation of heat to the hot surroundings. Consequently there is a great risk of thermal cracking occurring when the units are demoulded even after 72 hours. La Fraugh⁽¹⁾ has reported 11-20% cement reduction through use of superplasticizers in mixes of 415 kg/m^3 cement content while maintaining desired strength levels. The permissible cement reduction could well be used in these situations to reduce the core temperature and hence the potential cracking.

IV: (b) Sulphate attack and Alkali Aggregate Reaction

The complex variety of salts that exist in the Middle East pose problems of both internal and external attack on the concrete. External attack occurs by 2 principal means, typical sulphate attack by ingress of water containing chloride and sulphate ions, and salt weathering and salt crystallization. The latter is the result of salts crystallizing out in the pores of the concrete matrix and the aggregate particles, thereby setting up expansive forces. Intrinsic attack is due to typical alkali aggregate reaction.

Middle East Aggregates that are chemically reactive fall into two broad groups: one dominated by reactive silica minerals, and the other by carbonates. However, the amount of reactive ingredient necessary to cause damage is often so small that nearly all rock types may be considered suspect: all

the reactions involve alkali metal ions (Sodium & Potassium) together with other components of the aggregate and cement. Although the alkalies derive mainly from the cement, the salts contaminating the aggregates often make a major contribution to the total alkali present in the concrete.

The reason for expansion - cracking associated with alkali-aggregate reaction is not yet fully understood. However, on the basis of published literature⁽²⁾ four main theories have been identified: (a) swelling of alkali-sensitive aggregate under the action of alkali-hydroxide solution, (b) volumetric increase associated with the transformation of the original particle to alkali-silicate hydrate, (c) swelling of the alkali-silicate gel when water has access to it and (d) development of osmotic pressure in the alkali-silicate solution.

The mechanisms outlined above, show the importance of the presence of intrinsic water and other related properties like porosity and permeability to concrete durability. It is, therefore, evident that the permissible water reductions (up to 30%) obtained through the use of superplasticizers play a significant role in reducing the extent of deterioration of concrete that results from the presence of intrinsic sulphate and chlorides or other reactive components in the aggregate. The lower water contents in mixes no doubt reduces the amount of chloride, sulphate and alkali hydroxide solutions present in the hardened concrete. Thus disruptive expansion through chemical attack is reduced.

IV:(c) High Strength Impact Resistant Concrete

In certain situations such as roll on the roll off quays, the concrete is called upon to withstand severe impact and abrasion stresses arising from the off loading of heavy equipment and material. Concretes of compressive strengths 42 N/mm^2 subjected to such withering loads soon crack and fall apart. The class of concrete (strengths in excess of 55 N/mm^2 that meets these demands is under Middle East conditions, incumbent with the aforementioned problems. Even with well graded aggregates, high cement factors ($>415 \text{ kg/m}^3$) and very low water:cement ratios (< 0.36) are required to ensure consistent strength results. These measures, however, do not afford a workable concrete that is readily placed. The very high water reduction ($>25\%$) and concurrent plasticity (50-75 mm slump) called for can only be supplied with an admixture which gives significant water reduction at high dosages without retardation. A melamine-formaldehyde based superplasticizer was used effectively in this type of application. A mix of 415 kg/m^3 cement contents, and 10 mm aggregate size, was used to pour 100 mm thick abrasion pads on the loading bays. The dense pads were proof tested and showed excellent capability of absorbing the shock impact stresses and also resistance to erosion by abrasive forces.

IV:(d) Early Strength Development in Mixes Using ASTM Type V Cements

Precast concrete operations throughout the Middle East are often faced with the problem of coping with poor production cycles due to the use of Type V Cements. In these situations

many of the larger precast plants resorted to the use of superplasticizers to obtain reasonable if not desired manufacturing schedules. The lower C_3A contents of Type V Cements which enhance the water reduction obtained with superplasticizers promotes early strength development and the requisite stripping strengths. Table IV shows the early strength capability of water reduced concrete containing a melamine-formaldehyde superplasticizer.

In some plants superplasticizers have been used to reduce the period of heat curing of concrete. The substantial mix water reduction which contributes to large increases in early strengths has been used by a Kuwait Precast Producer of building panels to reduce his 16 - 18 hour heat curing cycle to 6 hours thereby significantly improving his turnover of forms. Other beneficial effects included the ease of compaction, trowelability and a decrease in shrinkage cracks.

IV:(e) Slump Loss

The high ambient temperature in the Middle East represents the most limiting condition in the use of superplasticizers. Many of these admixtures are susceptible to a rapid slump loss even at normal temperatures (22°C). At temperatures in excess of 22°C this trend is accelerated (Fig. II). Several techniques to overcome this problem have been suggested⁽³⁾. They are as follows:

- (a) The production of an initial high slump, and allowing the natural slump loss to occur prior to discharge;
- (b) Incremental addition of more admixture to restore the original slump;

- (c) The use of a retarding superplasticizer;
- (d) The addition of a hydroxycarboxylic (H.C.) type retarding admixture prior to the addition of a superplasticizer.

Method (a) is a counter-productive measure since it obviates the water reduction obtained through the use of a superplasticizer. The use of a retarding superplasticizer and repeated dosages are limited to specific uses or problem areas. Method (d) has flexibility in use and is a readily controllable means of reducing slump loss problems. Both Hester⁽⁴⁾ and Mailvaganam⁽⁵⁾ have reported the successful use of H.C. type retarders to offset the fall off of high workability. Two users of superplasticizers in the Kuwait area have incorporated the latter technique in their production cycle and effectively overcome previous slump loss problems.

Figs. (II) and (III) show the enhanced retention of the state of maximum workability obtained through the use of both H. C. type admixtures and retarding superplasticizers.

IV:(f) Re-dosage of Superplasticizers to re-instate Workability

Due to the distances involved in the transport of concrete before it is placed, handling time is extended and substantial mixing time cannot be avoided. Prolonged mixing, particularly at elevated concrete temperatures, induces loss of consistency. Consequently there are not infrequent cases in which retempering of the mix with additional water to provide the desired workability is carried out. The serious loss of strength that results from the addition of water warrants

concern. It is, therefore, fruitful to consider the use of superplasticizers for this purpose. The addition of another dose of the admixture and a short remixing at the job site before discharge will provide a slump that is readily placed.

In the work^{done} by Ravina⁽⁶⁾ and Previte⁽⁷⁾ it was shown that both conventional and superplasticizing admixtures could be used to minimize the amount of water required for retempering so that loss of strength was minimized. (Table V). More recent work by Seabrook and Malhotra⁽⁸⁾ and Mailvaganam⁽⁵⁾ indicates that superplasticizers can be used effectively to re-instate the initial consistency without loss of strength. (Table VI & Figs. IV & V). It is not certain as to how many subsequent additions can be made before it becomes detrimental to the concrete. Laboratory investigations by Perenchio⁽⁹⁾ et al and field experience by Hester⁽⁴⁾ indicate that depending on the type of superplasticizer used, incremental dosages of the admixture may result in either mild acceleration or significant retardation. The performance of each superplasticizing admixture in this respect is thought to be governed by an inherent response of the admixture to a given type of cement. Seabrook and Malhotra⁽⁸⁾ found that the magnitude of the effect produced by redosage is closely related to the water:cement ratio. Mixes with water:cement ratios less than 0.55 appear to respond favourably to redosage and attain initial high slumps with adequate mix cohesion. At slumps of 0.65 there appeared to be a more drastic and cumulative effect whereby re-dosing at the same initial level produced severe bleeding and segregation. Most reports indicate that at least

two repeated dosages are feasible. The effectiveness of a superplasticizer to increase slump appears to decrease as the age of the concrete increases (Fig. VI) and this effect should, therefore, be considered when establishing the maximum period during which re-dosage can be carried out.

Some precast users of superplasticizers in the Arabian Peninsula have used this technique to overcome loss of workability in the mixes. The more recent method of adding a conventional hydroxycarboxylic type retarder prior to the addition of a superplasticizer has found wide acceptance and therefore superseded the former technique in combating slump loss problems.

IV:(g) Watertight Concrete

The permeability of concrete is the principle property determining its resistance to attack by either aggressive ground water, salt solutions, sea water or dilute acids.

Watertightness of a concrete depends primarily on the amount of cement and mixing water used and the length of the moist curing period. Concrete with water:cement ratio of less than 0.45 will be watertight if it has a low slump and is well placed and cured.

Despite the use of high cement contents the durability of the concrete cannot be taken for granted. Cracks resulting from shrinkage and thermal stresses, provide sites for entry of solutions containing chemical contaminants. The chief

solution to this ever present problem in the Middle East is, therefore the use of low water:cement ratios. In this respect water reducing admixtures can improve durability by reducing the water:cement ratio for a given workability (Fig. V). The use of conventional admixtures even at their highest possible dosage will not provide a water reduction in excess of 12-14%. Under Middle East conditions and the specification governing the quality of concrete, the water reduction achieved does not permit adequate cement reduction to offset the high drying shrinkage and thermal cracking that will occur. Superplasticizers on the other hand, depending on the dosage rate, afford up to 30% water reduction while maintaining stipulated strength values and minimizing crack formation. The good workability attained at low slumps provides a well compacted denser watertight concrete. Reduced porosity and cracking through the use of a superplasticizer coupled with proper curing thus increases the durability and serviceability of the concrete!

IV:(h) Harsh Mixes and Mixes Prone to Bleeding

The high water demand in concrete mixes results not only from high cement contents and ambient temperatures, but also due to the use of very fine sands (beach sands F.M. 1.6 - 1.9) and coarse aggregate with high dust content arising from the attrition of friable rims around the aggregate particles. Particle shape (highly angular) and improper gradations aggravate the problem. The Concrete Engineer, therefore, resorts to the use of harsher aggregate proportions in an attempt to improve overall mix workability and reduce water

demand. Such mixes, however, are predominantly stoney, showing a serious lack of mortar content; concomittent problems are bleeding, segregation, poor compaction. The formation of ugly surface blemishes in the hardened concrete is, therefore, quite common. Superplasticizers due to their high water reducing and plasticizing capability permit the use of reasonable proportions of fine aggregate. Mortar rich mixes with increased cohesion at the desired workability are readily attained. The mix responds well to vibration enabling a good distribution of the aggregate throughout the mortar matrix, resulting in the reduction of settlement cracks and surface voids.

Conclusion

Concreting in hot weather countries particularly in the Middle East presents manifold problems. However, two dominant mix parameters, namely water content of the mix, and consistency of the concrete, appear to govern most of the important properties pertinent to durability both in the fresh (workability bleeding) and hardened state (porosity, permeability, shrinkage etc.). A demanding water reduction (20% or more) with concurrent plasticity increase, is required to obtain desirable values of these properties and thus ensure the durability of the concrete. This requirement can only be supplied by a chemical admixture that not only provides an excellent dispersing action of the cement agglomerates, but also one which can be used at very high dosages without attendant adverse side effects. The active chemical constituents in the two most widely sold superplasticizers do not cause significant lowering of surface tension and therefore, enable their use at high dosage levels.

The dramatic mix modifications that are possible with the use of these admixtures, provides engineering objectives, which until recently were considered futuristic. Although, at the present time their use in the Middle East is confined to precast concrete and on site batching operations it is hoped that the Engineers operating in this area will in the near future examine the accumulated experience to permit their widespread use.

REFERENCES

1. La Fraugh, R. W. "The Use of Superplasticizers in the Precast Industry"; International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada May 1978.
2. Locher, F. W. "Schriftenreihe der Zementindustrie"; Vol. 40, 1973, pp 11-22 (German).
3. Hester, W. T. "High Range Water-Reducing Admixtures in Precast Concrete Operations"; Prestressed Concrete Institute Journal, July/August 1978.
4. Hester, W. T. "Field Applications of High Range Water Reducing Admixtures"; International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada, May 1978.
5. Mailvaganam, N. P. "Slump Loss in Flowing Concrete"; International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada, May 1978.
6. Ravina, D. "Retempering of prolonged mixed concrete with admixtures in hot weather; ACI Journal proceedings, LXXII No. 6, pp 291-295; June 1975.
7. Previte, R. W. "Concrete Slump Loss"; ACI Journal Proceedings, LXXIV, No. 8, pp 361-367; August 1977.
8. Seabrook, P. T. and Malhotra, V. M. "Accelerated strength testing of superplasticized concrete and the effect of repeated doses of Superplasticizers on Properties of Concrete"; International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada, May 1978.
9. Perenchio, W. F., Whiting, D. A. and Kantro, D. L. "Water Reduction, Slump Loss and Entrained Air Void Systems as influenced by Superplasticizers"; International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada, May 1978.
10. "Superplasticizing Admixtures in Concrete"; Joint Working Party Report 45-030. U.K.: Cement and Concrete Association and Cement Admixtures Association; January 1976.
11. "Hot Weather Concreting"; ACI Committee 305 Report of ACI Journal proceedings, Vol. LXXIV, No. 4; pp 319-320; August 1977.
12. Fookes, P. G. and Collis, L. "Problems in the Middle East"; Concrete, Vol. 9, No. 7, 1975.
13. Harrison, W. H. "Concrete and soluble salts in arid climates"; H.M.S.O. Overseas Building Notes, No. 139, 1971.

4. Browne, R. D. and Blundell, R. "Water Reducing Agents - Effect on long term properties of Concrete"; Symposium on Admixtures for Concrete, Cement and Concrete Association U.K., 1975.

15. Newman, A. J. "Problems of Concreting in arid climates"; H.M.S.O. Overseas Building Notes, No. 139, 1971.

TABLE I

CHEMICAL COMPOSITION OF A LOCAL CEMENT

CEMENT - Type I JACAPRATHAN A.S.T.M. Designation C 150-75

1. Chemical Composition	Percent
Silicon Dioxide (SiO ₂).....	21.52
Aluminium Oxide (Al ₂ O ₃).....	4.95
Ferric Oxide (Fe ₂ O ₃).....	3.57
Calcium Oxide (CaO).....	64.43
Magnesium Oxide (MgO).....	1.81
Sulfur Trioxide (SO ₃).....	2.36
Free Lime (CaO).....	0.72
Loss on Ignition.....	0.67
Insoluble Residue.....	0.15
Total Alkalies.....	0.64
Tricalcium Silicate (C ₃ S).....	53.11
Tricalcium Aluminate (C ₃ A).....	7.08
Dicalcium Silicate (C ₂ S).....	21.72
Tetra Calcium aluminoferrite (C ₄ AF).....	10.84

2. Specific Surface

(Blaine) Sq. Cm. per Gram:..... 2984

TABLE II

CHEMICAL CONTAMINENTS PRESENT IN AGGREGATES AND WATER

Total Acid Soluble Sulphates (as SO₃)

	% by weight
Coarse aggregate	0.02 - 2.65
Fine aggregate	0.05 - 3.51
Water	up to - 0.04

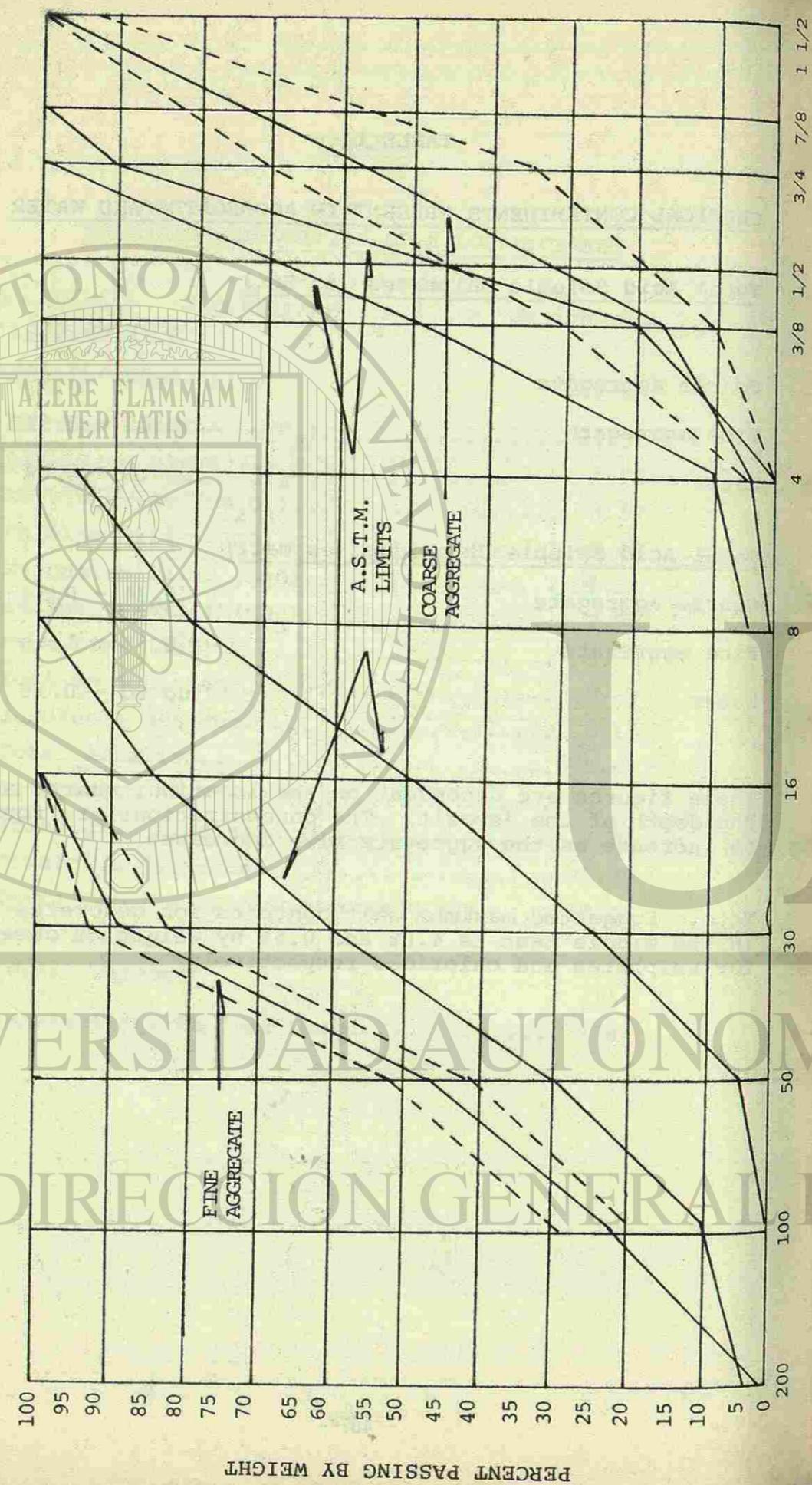
Total Acid Soluble Chlorides (as NaCl)

Coarse aggregate	0.04 - 0.54
Fine aggregate	0.04 - 1.60
Water	up to - 0.16

These figures are dependent on the location, quarry and the depth of the deposit. The concentrations are found to increase as the aggregate size decreases.

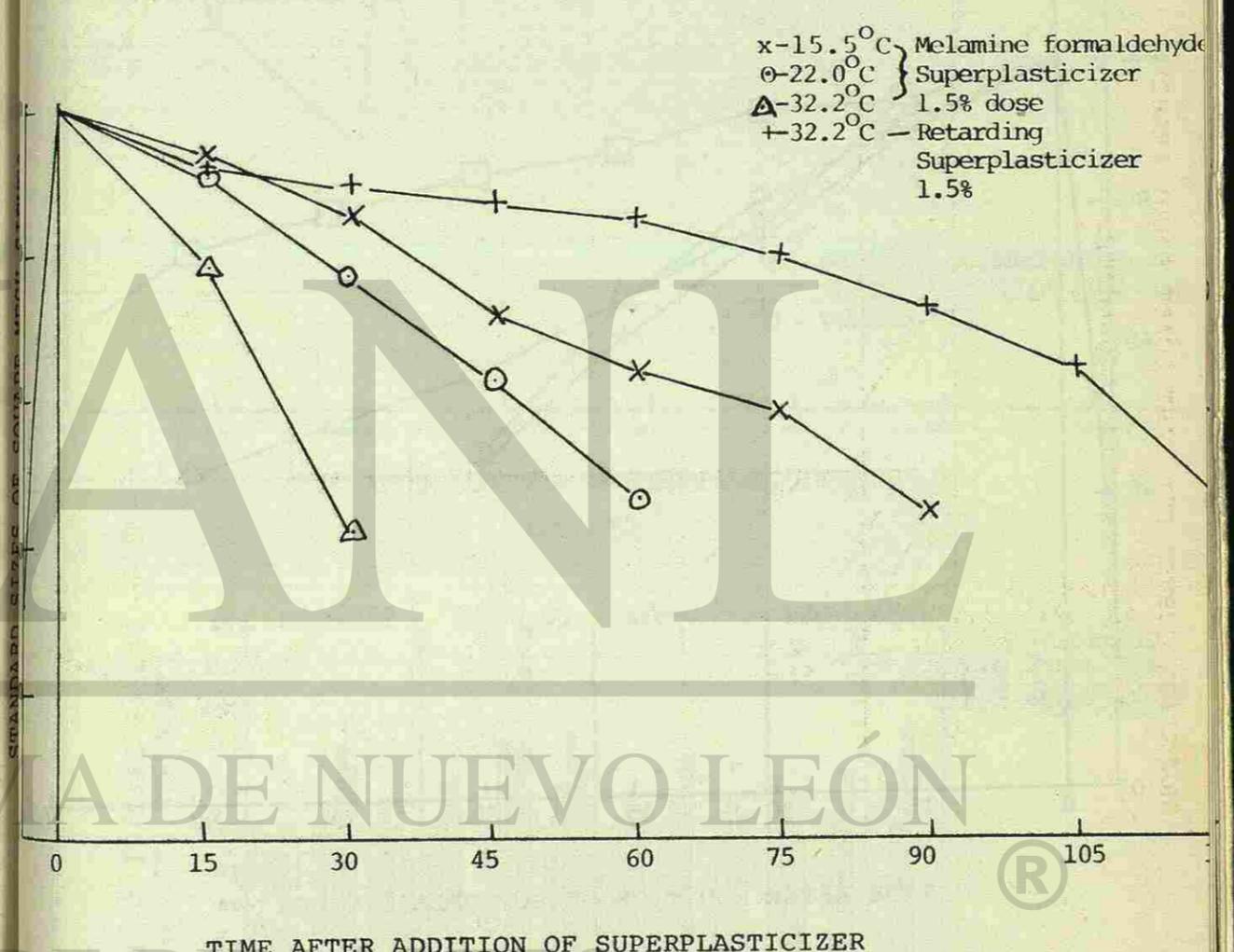
Note: Suggested maximum salt contents for concretes in the Middle East is 4.0% and 0.5% by weight of cement for sulphates and chlorides respectively.

GRADATION CURVES FOR EAST COAST SAUDI ARABIAN
COARSE AND FINE AGGREGATES



PERCENT PASSING BY WEIGHT

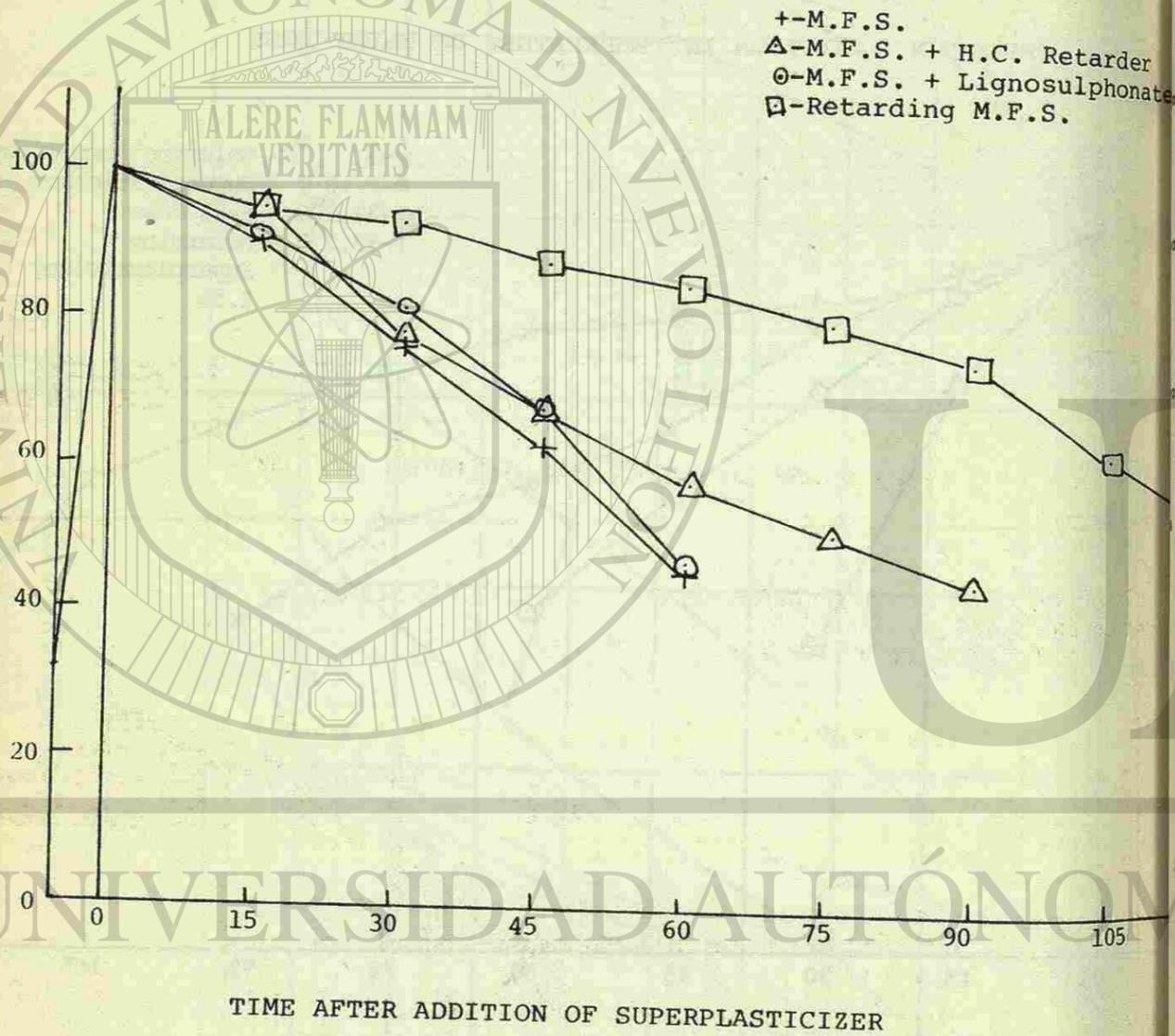
FIG. II
EFFECT OF VARIATION IN TEMPERATURE ON SLUMP LOSS



x-15.5°C } Melamine formaldehyde
o-22.0°C } Superplasticizer
triangle-32.2°C } 1.5% dose
+32.2°C } Retarding Superplasticizer 1.5%

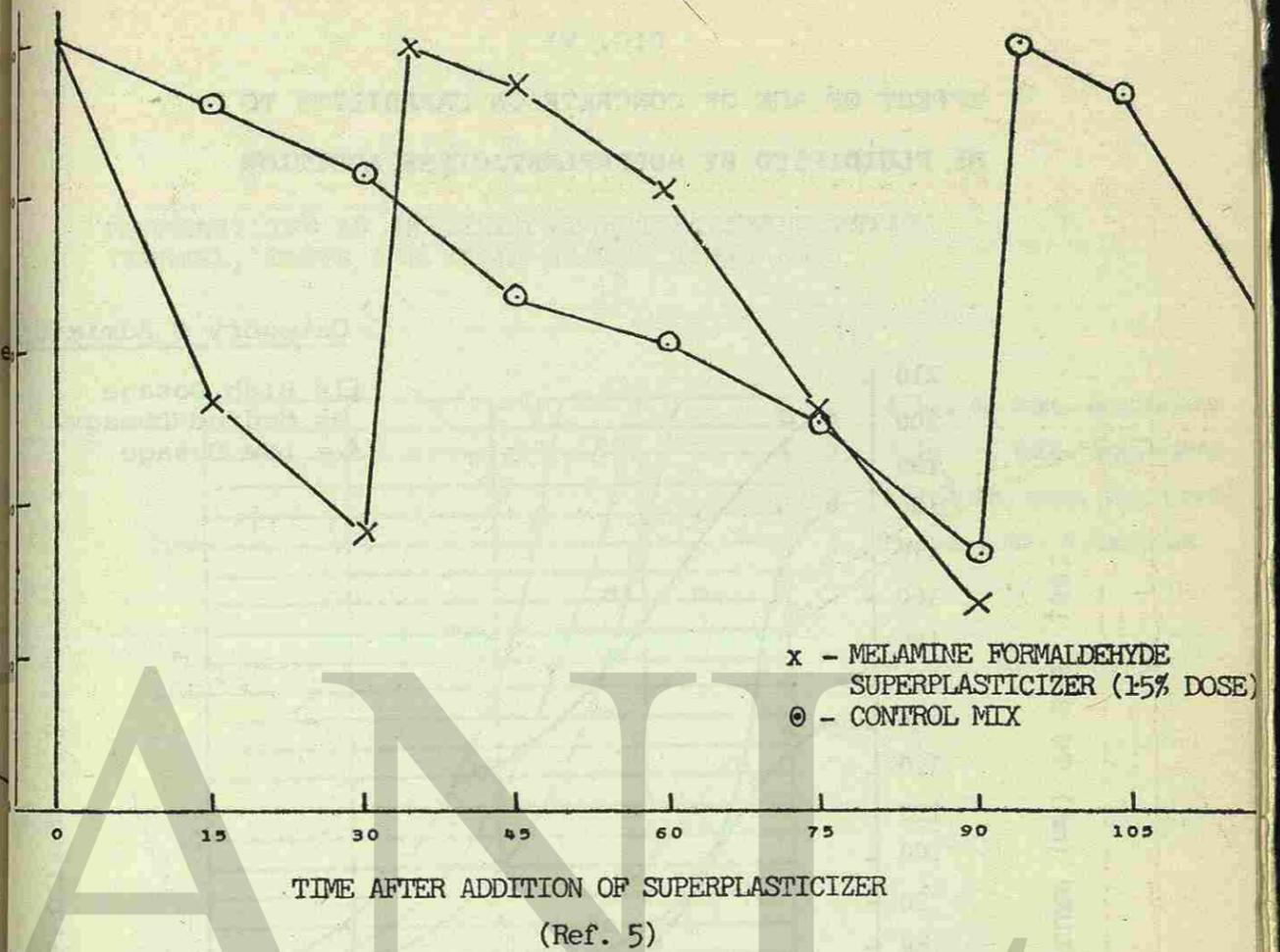
TIME AFTER ADDITION OF SUPERPLASTICIZER

FIG. III
EFFECT OF COMBINED ADMIXTURES ON SLUMP LOSS



(Ref. 5)

FIG. IV
EFFECT OF REDOSAGE ON SLUMP LOSS



(Ref. 5)

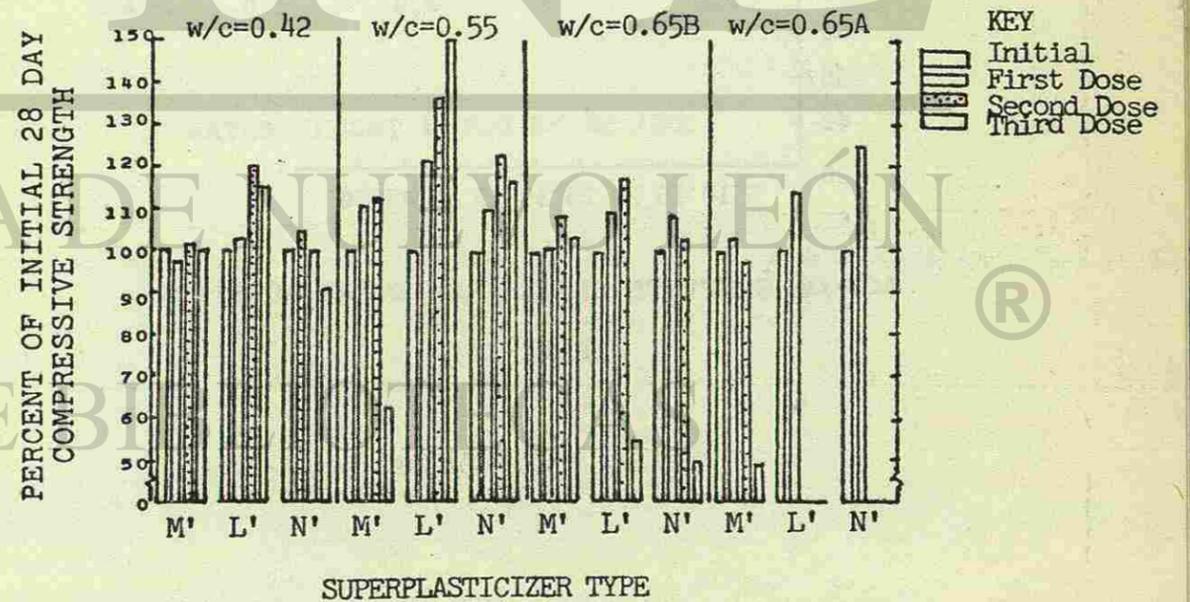
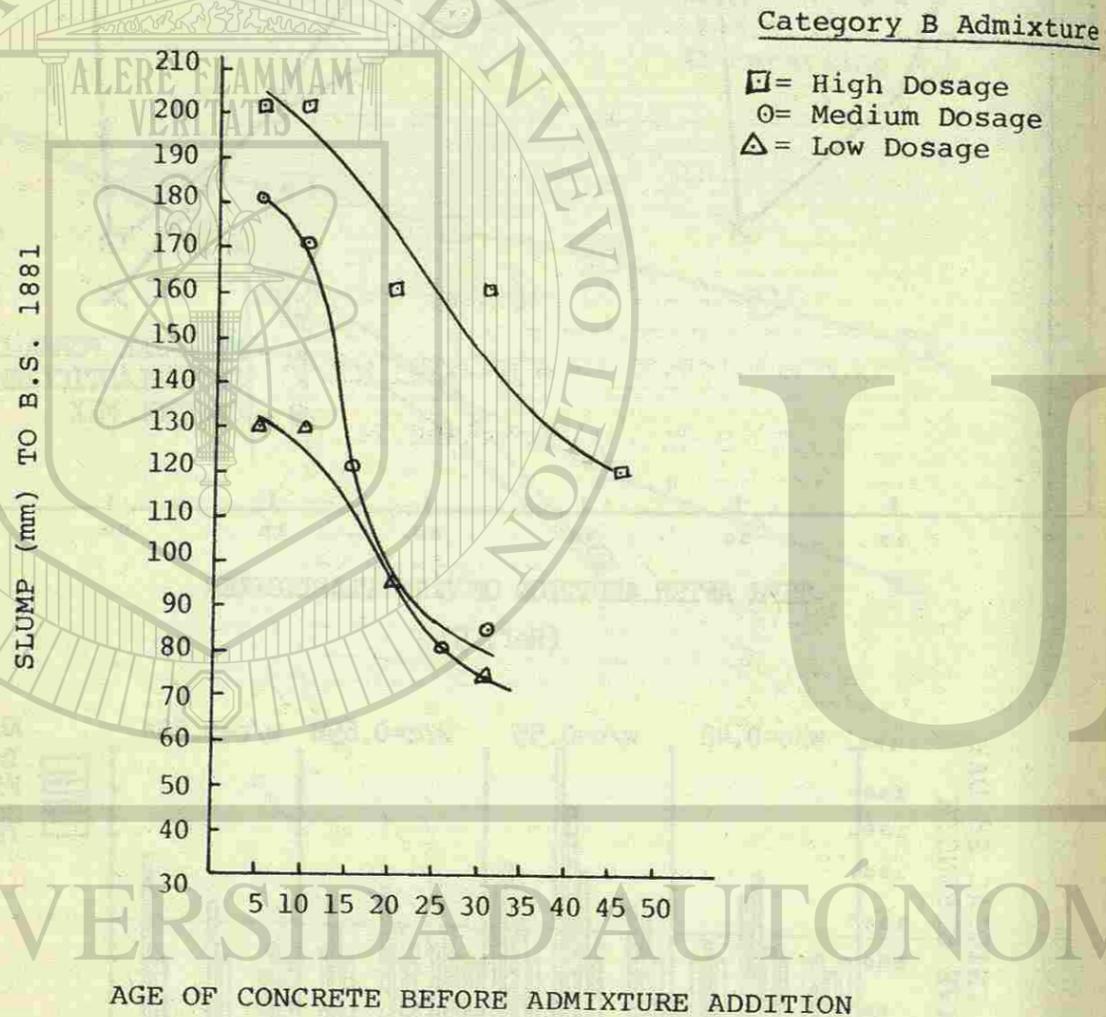


FIG. V EFFECT OF RE-DOSING OF SUPERPLASTICIZERS ON COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE

(Ref. 8)

FIG. VI
EFFECT OF AGE OF CONCRETE ON CAPABILITY TO
BE FLUIDIFIED BY SUPERPLASTICIZER ADDITION



(Ref. 10)

DIRECCION GENERAL DE BIBLIOTECAS

FIG. VII

PERMEABILITY AS AFFECTED BY WATER/CEMENT RATIO
(TROXEL, DAVIS AND KELLY (1968) (Ref. 14)

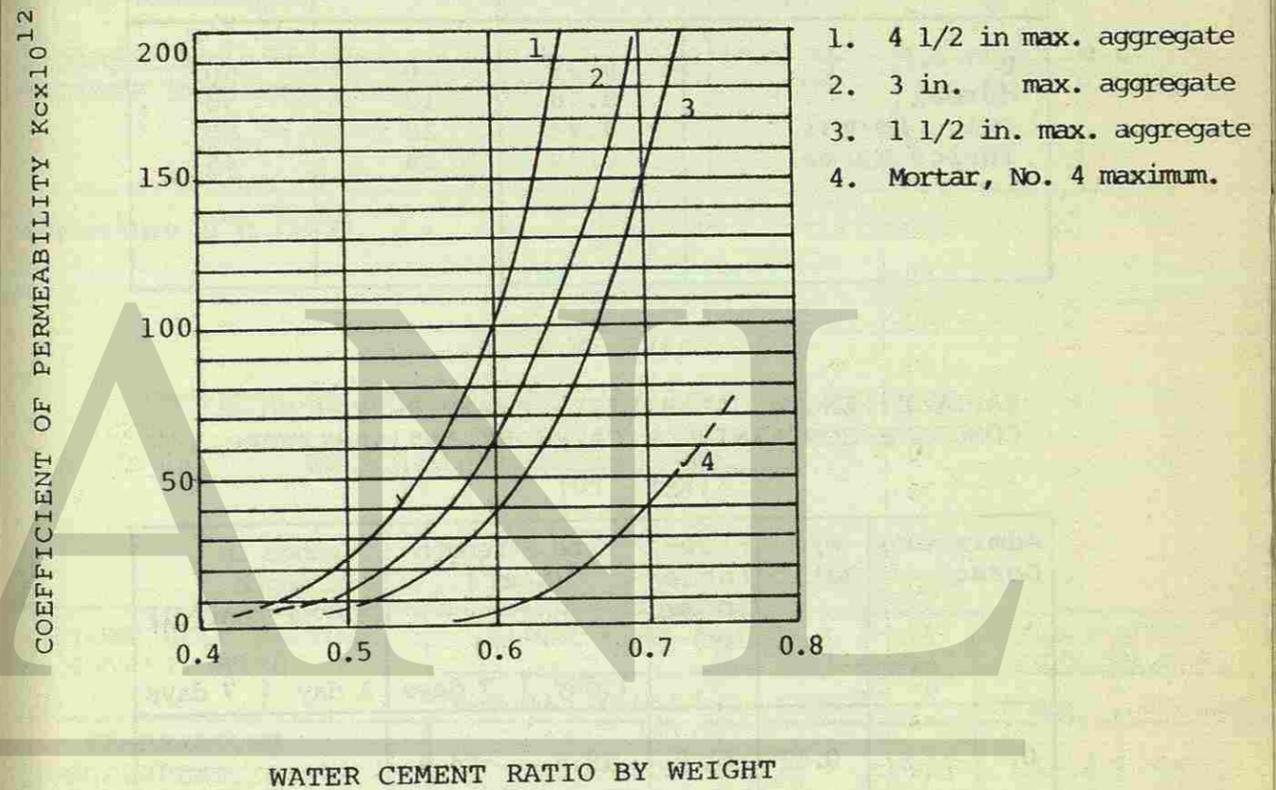


TABLE III

WATER REDUCTIONS USING A CATEGORY B SUPERPLASTICIZER

(Ref. 10)

Admixture Dosage	w/c ratio	Water reduction %	Slump mm
Normal	0.57	5	100
Twice Normal	0.52	15	100
Thrice Normal	0.48	20	100
0	0.55	0	50
Normal	0.48	13	55
Twice Normal	0.44	20	50
Thrice Normal	0.39	28	45

TABLE IV

EARLY STRENGTH CAPABILITY OF WATER-REDUCED CONCRETE CONTAINING A CATEGORY "A" ADMIXTURE

(Ref. 10)

Admixture Dosage	w/c Ratio	Flow-table spread (cm)	Cube Strength (N/mm ²)		Change in Strength (% over control)	
			1 day	7 days	1 day	7 days
			0	0.42	41.5	18.0
Normal	0.36	42.0	38.0	62.5	+111	+14
Double	0.33	51.0	49.6	76.3	+176	+39
Quadruple	0.32	43.0	49.1	75.8	+173	+38

TABLE V

EFFECT OF WATER-REDUCING ADMIXTURES ON RETEMPERING

(Ref. 7)

CEMENT B*		Time min.		
		10	120	126
Reference	Slump cm (in.)	13.3 (5 1/4)	3.5 (1 3/8)	9.8 (3 7/8)
	W/C	0.58	0.58	0.66
1.0 percent s/s sulfonated melamine formaldehyde	Slump cm (in.)	11.4 (4 1/2)	2.9 (1 1/8)	8.6 (3 3/8)
	W/C	0.51	0.51	0.59
1.0 percent s/s sulfonated naphthalene formaldehyde	Slump cm (in.)	12.7 (5)	1.6 (5/8)	8.9 (3.5)
	W/C	0.45	0.45	0.54

*Temperature 21°C (70°F)

TABLE VI

COMPRESSIVE STRENGTH RESULTS AT 7 AND 28 DAYS

RELATING TO FACTORS STUDIED

(Ref. 5)

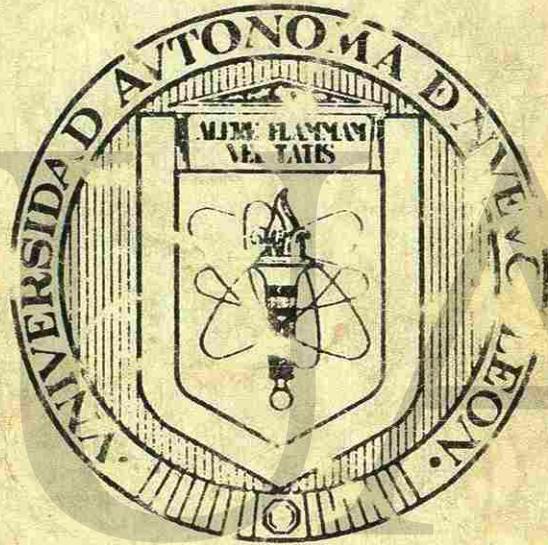
SLUMP LOSS FACTOR INVESTIGATED	SLUMP - mm		DOSE % BY WT. OF CEMENT	MIX TEMP. °C	COMPRESSIVE STRENGTH MPa.	
	INITIAL	FINAL*			7 day	28 day
TEMPERATURE						
M-L1-SUPERPLASTICIZER	75	230	1.5	15.5	33.4	40.0
M-L1-SUPERPLASTICIZER	75	220	1.5	22.0	32.2	38.0
M-L1-SUPERPLASTICIZER	75	230	1.5	32.0	29.7	34.3
M-R1-SUPERPLASTICIZER	75	250	1.5	32.0	33.1	35.5
REDOSAGE						
M-L1	75	230	1.5	32.0	30.4	35.1
STANDARD	--	230	---	32.0	18.8	23.9
COMBINED ADMIXTURES						
CLS (0.45%)+M-L1 (1.5%)	75	220	1.5	23	36.7	39.5
RCR (0.2%)+M-L1 (1.5%)	75	240	1.5	22	37.1	39.5
M-L1	75	220	1.5	22	32.2	38.0
M-R1	75	250	1.5	23	32.0	35.9

INITIAL SLUMP 75 + 10 mm FOR MOST MIXES TAKEN JUST BEFORE ADDITION OF SUPERPLASTICIZER.

* FINAL SLUMP DENOTES THAT MEASURED AFTER ADDITION OF SUPERPLASTICIZER.

M-L1 M-L1 SUPERPLASTICIZER (1.5% BY WEIGHT OF CEMENT)

M-R1 RETARDING SUPERPLASTICIZER (1.5% BY WEIGHT OF CEMENT)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
ASOCIACIÓN GENERAL DE BIBLIOTECOS