

= 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)

$$t^{1/2} = \frac{1}{K} \cdot \left(\frac{4}{3}\right)^3 \cdot \left(1 + \frac{V_{max}}{C} \cdot e^{V_{max}/kt}\right) \dots (6)$$

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,

supone 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	ALM ¹ %
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 ensayo, esta presión fue convertida a una señal eléctrica. La señal emitida 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 ensayo 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 ensayo 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 (CONCENTRACION 42%) (% TOTAL)	7 DIAS	28 DIAS	1 AÑO
SIMPLE	0	155	250	301
REDOSIFICADO	1.39	195	282	341

A partir de este ensayo 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 más 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 entre las ecuaciones basadas parcialmente en la teoría de Smoluchowski (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 había 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 resuelto en un futuro por medio de esta técnica.