

menes de control. Por ejemplo, a 365 días, la resistencia de los cilindros de control fue de 60.7 MPa comparada con 47.5 MPa para concreto con un 65% de escoria. La diferencia entre la resistencia de los especímenes de control y la de aquéllos a los que se les agregó escoria, es que se incrementó con el contenido de escoria y decrece con la edad.

De la discusión anterior, llega a ser aparente que en bajas relaciones, la resistencia desarrollada del concreto al que se le añadió escoria es menos que la deseable. Las razones de esto no están claras. Es probable que la escoria no esté siendo completamente activada y es necesario una investigación para explicar este fenómeno.

CONCRETO CON RELACION A:C+E MEDIA

Para concreto con relaciones de 0.46 y 0.56, sin tomar en cuenta la edad y ya sea que el concreto fue superplastificado o no, la resistencia a la compresión de los cilindros de ensaye con un 65% de escoria, es por lo general considerablemente menor que la resistencia de los cilindros de control (tabla #10).

Para concreto con una relación de 0.46 con A.I.A. y 45% de escoria, la resistencia del concreto con escoria es menor que la del concreto de control a edades mayores de 365 días (Fig. 6). Sin embargo, para concreto superplastificado, la resistencia del concreto de control y el de 45% de escoria alcanza valores iguales a 28 y 91 días (Fig. 7). La resistencia posterior es marginalmente mayor. Para concreto con AIA y 25% de escoria, la resistencia del concreto con escoria es generalmente más baja que la del concreto con superplastificante, la resistencia del concreto con escoria es algo más baja que la del concreto de control a edades mayores de 7 días; después de esto, la resistencia de los 2 tipos alcanzan igual valor en aproximadamente 15 días; en seguida las resistencias se desvían entre sí ligeramente y una vez más alcanzan valores iguales a los 91 días (Fig. 6).

Para concreto con una relación de 0.56 con AIA y 45% de escoria, la resistencia del concreto de control es considerablemente más alta que la del concreto con escoria a edades un poco mayores de los 28 días, después, los 2 valores de resistencia son comparables (Fig. 8). Para concreto superplastificado, la resistencia del concreto de control es también considerablemente mayor que la del concreto con escoria a edades mayores de 28 días. A 91 días los 2 tipos tienen casi la misma resistencia; sin embargo, después de esto, el concreto de control nuevamente muestra mayores resistencias (Fig. 9). Para concreto con AIA y 25% de escoria la resistencia del concreto con escoria es algo más baja que la del concreto de control a edades un poco mayores de los 80 días, luego del cual tiende a invertirse (Fig. 8). Para concreto superplastificado, la resistencia del concreto con escoria es más baja que la del concreto de control a edades mayores de 20 días; después de esto los 2 valores de resistencia son comparables (Fig. 9).

CONCRETO DE RELACION A:C+E ALTA

Como las mezclas de concreto que tienen una relación de 0.30, los especímenes para concreto con una relación de 0.65 fueron ensayados para determinar el desarrollo de la resistencia a edades tempranas. Para edades hasta 28 días, la resistencia de los especímenes de mezclas de control es considerablemente más alta que la resistencia de los especímenes de mezclas de concreto con varios porcentajes de escoria (Fig. 10). La diferencia entre la resistencia de los cilindros de control y la de aquéllos a los que se les añadió escoria, se reduce con la edad. Por ejemplo, a 3 días la resistencia del concreto de control es 16.3 MPa comparada con un valor de 10 MPa para concreto con 25% de escoria; los valores correspondientes a 28 días son 25.8 y 23.9 MPa respectivamente.

La baja resistencia a temprana edad del concreto con escoria, puede presentar dificultades en la construcción ya que la cimbra tendrá que estar colocada en el lugar por un tiempo mayor. Esto puede llegar a ser serio para la construcción durante el invierno en Canadá.

RESISTENCIA A LA FLEXION

La resistencia del concreto a la flexión a los 14 días varió de 6.5 a 8.1, 5.4 a 6.1 y de 4.2 a 6.0 MPa, para concretos con relaciones de 0.38, 0.46 y 0.56 respectivamente (Fig. 11, 12, 13). En general, para concretos con relaciones de 0.46 y 0.56, la resistencia a la flexión del concreto incorporándole escoria, es comparable o más grande que la resistencia correspondiente al concreto de control. Esto confirma los datos publicados por otros (11, 12). Sin embargo, para concretos con relaciones de 0.38, el inverso es cierto tanto para concreto con aire incluido, así como para concreto con aire incluido y superplastificante; por ejemplo, para 65% de contenido de escoria hay una baja en la resistencia del orden del 20% comparada con la resistencia del concreto de control (Fig. 11). La alta resistencia a la flexión del concreto aún con valores mayores del 45% del cemento reemplazado con escoria, sugiere los posibles usos de este tipo de concreto para aeropuertos y pavimentos para carreteras.

RESISTENCIA A LA TENSION POR COMPRESION DIAMETRAL.

En general, la resistencia a la tensión por compresión diametral del concreto de escoria, es comparable o menor que la resistencia del concreto de control (Tabla 10). La tendencia en la resistencia aparece reversible por sí misma por lo menos para resistencias a los 28 días para el concreto con una relación de 0.56. Los valores de resistencia a los 28 días, varían de 3.2 a 4.5

3.2 a 3.9 y 3.0 a 3.8 MPa para concretos con relaciones de 0.38, 0.46 y 0.56 — respectivamente (Tabla 10).

DURABILIDAD EN PRISMAS DE CONCRETO EXPUESTOS A CICLOS REPETIDOS DE CONGELACION Y DESHIELO.

La durabilidad de los prismas de concreto expuestos a ciclos repetidos de congelación y deshielo fue determinada por el peso, longitud, frecuencia de resonancia y velocidad de pulso de los especímenes de ensaye antes y después de los ciclos de congelación y deshielo y calculando los factores de durabilidad relativa (A.S.T.M. C 666). Después de la congelación y deshielo, los prismas de ensaye así como los de referencia, fueron ensayados a flexión.

Los datos del ensaye indican que haciendo caso omiso de la relación y la humedad de los concretos con aire incluido o con aire incluido y superplastificante, los prismas presentan un comportamiento excelente en los ensayos de congelación y deshielo con factores de durabilidad relativa tan grandes como 91% (Tabla 13). Las únicas excepciones fueron las mezclas No. 19 y 20 con una relación de 0.56 conteniendo 65% de escoria. Aunque los prismas no mostraron tener ningún daño arriba de los 300 ciclos de congelación y deshielo, los ensayos de los especímenes mostraron daños considerables después de los 533 y 450 ciclos cuando los factores de durabilidad relativa fueron de 59 y 70% y la resistencia residual a la flexión fue de 47.5 y 47.3% respectivamente. Al tiempo de redactar el escrito, los datos sobre relación de vacíos en los prismas de ensaye, no se habían estimado. Se puede argumentar que considerando las excepciones notadas anteriormente, el ensaye de congelación y deshielo puede influir — contra el concreto con escoria porque los prismas de ensaye se sujetaron a ciclos de congelación y deshielo a edades iguales, en vez de a iguales resistencias a compresión. Este argumento tiene validez y la investigación está encaminada en esta dirección.

VARIACIONES EN LA MEZCLA.

Las variaciones en la mezcla para los resultados de los ensayos están dados en las tablas A1 y A2 del apéndice. El coeficiente de variación para los ensayos de resistencia a la compresión varía de 0.5 a 9.9% pero son generalmente menores que 4.0% despreciando la relación y la edad del ensaye. Se aprecia que no hay una diferencia significativa entre los valores de los coeficientes de variación para los cilindros de control y para los que se les incorporó superplastificantes y escorias.

Los coeficientes de variación para la resistencia a flexión varían de 0.2 a 15.4%, pero son generalmente menores que el 8%. No hay tendencias significativas presentes para mezclas con y sin escorias y superplastificantes. Los coeficientes de variación para la resistencia a la tensión por compresión diametral varían de 1.0 a 20.0%, pero generalmente son menores del 10%. De nuevo no aparecen tendencias significativas para mezclas con y sin escorias y superplastificantes.

CONCLUSIONES.

La investigación aquí expuesta indica que la escoria tiene un potencial considerable como reemplazo parcial del cemento Portland en el concreto. En general, sin tomar en cuenta la edad, la resistencia a la compresión del concreto al que se le ha incorporado escoria es más baja que la del concreto hecho con cemento Portland normal. Esto es particularmente cierto a edades tempranas y para concretos con relaciones de A:C+E bajas. El lento desarrollo de resistencias a edades tempranas para el concreto con escoria, podría ser menos severo para el uso del concreto durante el invierno en Canadá.

No obstante, despreciando la proporción, el patrón de resistencia a la compresión puede ser como se muestra a continuación:

A edades tempranas hay posibilidades de que aparezca un amplio margen entre la resistencia del concreto de control y la del concreto al que se le incorporó escoria.

Esta diferencia en resistencia disminuye entre los 7 y 91 días dependiendo de la relación después de los 91 días la diferencia entre las dos resistencias crece una vez más. No se puede ofrecer una explicación para esto.

Para el concreto con relaciones de 0.46 y 0.56 la resistencia a 91 y 365 días de los cilindros de concreto fabricados con varios porcentajes de escoria, es generalmente mucho más alta que la de los cilindros de control a los 28 días.

Entonces, en trabajos donde la resistencia a 91 ó 365 días puede ser el criterio que gobierne, tal como en pilas masivas de puentes, estribos, trabajos portuarios, el uso de la escoria ofrece ahorro en la construcción.

En un reemplazo de 25 y 45% del cemento por escoria, la resistencia a la flexión del concreto con escoria es comparable o más grande que la resistencia del concreto de control. Esto puede ser una ventaja decisiva para pavimentos en aeropuertos y autopistas.

La relación entre la resistencia a la flexión y la compresión del concreto con escoria aumenta con el incremento de escoria. Esto puede ofrecer ventajas en el diseño de elementos estructurales que requieren de una alta relación de resistencia a flexión a resistencia de compresión.

La gran demanda de aditivo inclusor de aire para el concreto con escoria, es una gran desventaja, considerando estimulante el aparente bajo requerimiento de superplastificante para hacer al concreto fluido.

Las modificaciones en los métodos de proporcionamiento de mezclas en los cuales una cantidad adicional de escoria es usada para reemplazar arena o el uso de cemento de alta resistencia inicial en lugar de cemento Portland normal, puede superar el problema de bajas resistencias a edades tempranas. Sin

embargo, esto puede o no ser económico, dependiendo sobre todo, de los precios relativos de la escoria, el cemento Portland normal y cementos de alta resistencia inicial.

La relativa pobre resistencia de los concretos con baja relación A:C+E queda aún sin contestar y necesita una investigación adicional. Las investigaciones son también necesarias para una completa explicación de las bajas dosis requeridas de superplastificante para concreto con escoria y la alta relación de resistencia a la flexión a resistencia a la compresión a edades tempranas.

Tabla 1.- Composición química de las escorias de alto horno de mineral de hierro

Constituyente %	Canadá**	U.K.	E.U.A.	Alemania	Africa del Sur	Australia	U.R.S.S.	Japón
CaO	38-41	38-53	49-47	40-48	28-37	35-42	42-44	39-42
SiO ₂	36-41	29-35	32-38	31-38	32-33	32-35	36-38	35-36
Al ₂ O ₃	7-9	7-22	10-13	8-17	11-18	18-23	9-11	13-15
MgO	9-12	2-6	2-10	2-6	14-18	1-2	5-16	3-5
FeO	0.4-1.3	0.4-1.1	0.4-2.0	0.2-1.5	0.6-2.5	1-2	N/A	N/A
Mn	0.5-1.2	0.5-1.8	0.2-1.3	0.4-4.0	0.2-0.9	0.5-1.0	N/A	N/A
S	1.0-2.0	0.6-1.9	0.8-1.7	0.8-2.5	0.7-1.4	0.4-0.6	N/A	N/A

* De las referencias (7, 13).

* Para una planta solamente.