

Los valores de  $n$  calculados para los contenidos de CP/EAH de la Tabla 10, están dados en la Tabla 11 y los valores medios para varias resistencias especificadas se muestran en la Fig. 4.

#### E FECTO DE LA BAJA TEMPERATURA EN CUBOS DE MORTERO DE 5 CM.

Los valores no dimensionales para la resistencia expresada como fracciones en por ciento de la resistencia a los 28 días de mortero de cemento Portland curado a 23°C se muestran en la Fig. 5, para CP/EAH = 100/0 y 50/50 a temperaturas de 2°C, 10°C y 23°C. Se observa que la mezcla CP/EAH es más sensible a las bajas temperaturas que el cemento Portland sólo, libre de otro material. Debe enfatizarse que estos datos se aplican a temperaturas que se mantienen durante todo el período de curado. Para casos de exposición a bajas temperaturas continuas, el valor de  $n$  será considerablemente más bajo que los dados en la Tabla 11, y en condiciones ambientales muy frías las mezclas de CP/EAH pueden ser inapropiadas para el concreto, a menos que se les conserve calientes por lo menos durante 7 días.

#### DISCUSION

En términos monetarios, el valor de  $n$  es también el factor que define el costo de equilibrio. Así, por ejemplo, el componente de escoria de alto horno en una mezcla de 75/25 CP/EAH para concreto de 35 MPa, podría costar hasta 1.25 veces el costo del cemento Portland y aun resultar con el mismo costo total de material cementante. Por otra parte, si se usa concreto 25/75 CP/EAH, el factor de costo sin pérdidas ni ganancias varía de 0.4 a 0.73.

En Canadá, el precio de venta de la escoria de alto horno es de aproximadamente 85 por ciento del precio de venta del cemento Portland y la proporción económica de EAH/CP es claramente menor de 50/50.

En Australia se han publicado factores de costo más favorables (17) y en Sud Africa donde la relación del costo es de cerca del 60 por ciento, la proporción CP/EAH común es 50/50 (15).

En términos de energía,  $n \leq 0.25$ , de manera que las mezclas aproximándose se a 10/90 pueden considerarse viables para algunas aplicaciones.

Con referencia a la Tabla 7 donde se muestra que para 25/75 CP/EAH, el volumen de material activo = 1000 -  $V_g$  es significativamente más alto que para mezclas que contienen menos o no contienen escoria de alto horno.

Por ejemplo, una mezcla con alta manejabilidad y  $f'_c = 50$  MPa, los porcentajes de material activo son, respectivamente, 29.7, (100/0); 29.2 (75/25); 30.4, (50/50); y 40.8 para (25/75). Siendo así, tanto el flujo como la contracción, serían excesivos en la mezcla (25/75).

#### CONCLUSIONES

A nivel de quien tomó decisiones, la posibilidad de usar escoria de alto horno en términos de masa equivalente de cemento Portland es un parámetro útil para tomar decisiones. En las Oficinas Públicas o a nivel Gubernamental, los beneficios excedentes de la conservación de energía, imponen la necesidad de utilizar la escoria de alto horno al máximo grado posible.

Debe tomarse debido conocimiento de las condiciones de servicio, las cuales pueden prohibir o dar un beneficio al usar escoria de alto horno. Ejemplos de condiciones ambientales que serían desfavorables son, bajas temperaturas sostenidas y aire que contenga exceso de CO<sub>2</sub>. Por otra parte, el uso de EAH ofrece considerable ventaja donde hay peligro de ataque de sulfatos.

#### RECONOCIMIENTOS

El que esto escribe, reconoce agradecidamente el apoyo del Natural Sciences Council y del Engineering Research Council del Canadá y el suministro de materiales por la Standar Slag Cement Ltd y la Red-D-Mix Concrete Company de Canadá. También se agradece la ayuda prestada a los señores T. Meisner, D. Sandhu, R. B. Wochy, y tanto a estudiantes graduados como no graduados quienes contribuyeron a la acumulación de datos.

## NOMENCLATURA

- A Masa de agregado por metro cúbico. Los subíndices se refieren: f, para agregado fino y c, para agregado grueso.  
Constante en ecuación empírica.
- a Volumen de litros de aire/metro cúbico de concreto.
- B Masa de la escoria de alto horno en  $\text{kg/m}^3$  de concreto conteniendo P  $\text{kg/m}^3$  de cemento Portland.
- EAH Escoria de alto horno.
- C Masa de cemento Portland en  $\text{kg/m}^3$  de concreto que no contiene escoria de alto horno.
- CH Hidróxido de Calcio
- f<sub>c</sub> Resistencia especificada del cilindro.
- GL Activador Yeso-Cal.
- g Densidad con subíndices: c para cemento y a para agregado.
- K Desviación estándar relativa.
- m Metro.
- P Masa de cemento Portland/ $\text{m}^3$  en concreto conteniendo B  $\text{kg/m}^3$  de EAH.
- CP Cemento Portland.
- R Porcentaje de masa de cemento Portland en una mezcla de CP/EAH.
- S Desviación estándar.
- V Volumen en litros por  $\text{m}^3$  con subíndices:  
a para agregado, p para pasta y w para agua.
- w<sub>o</sub> Relación de  $(W + a)/(P + B)$  comúnmente llamada relación agua/cemento.
- n Factor de eficiencia de la escoria de alto horno =  $(C - P)/B$ .
- $\sigma$  Resistencia de concreto sin aire incluido.

Tabla 1

COMPOSICION DE OXIDOS Y FINEZA DE MATERIALES							
Material	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Fineza Blaine m <sup>2</sup> /kg
PC	63.8	21.3	4.5	2.0	2.0	3.2	340
BFS	39.2	33.8	6.2	16.5	<1.0	1.9	420

## NOMENCLATURA

A Masa de agregado por metro cúbico. Los subíndices se refieren: f, para agregado fino y c, para agregado grueso.

Constante en ecuación en Tabla 2

Volumen de litros de agua en un metro cúbico de concreto.

Masa de la escoria de alto horno en un metro cúbico de concreto conteniendo 1 kg de cemento Portland.

## GENERACION DE LOS AGREGADOS

Agregado	PORCENTAJE ACUMULADO RETENIDO EN EL TAMAÑO DE MALLA MOSTRADO								
	Micras			Milímetros					
	150	300	600	1.2	2.4	4.8	9.5	19.0	37.5
Fino <sup>a</sup>	92.6	70.9	45.2	29.0	13.8	4.1	0	0	0
Grueso <sup>b</sup>	100	100	100	100	100	100	95.5	81.0	0
Graduación media combinada	97	88	78	72	66	62	58	4	0

<sup>a</sup> Arena cuarcítica

<sup>b</sup> Piedra caliza triturada

Desviación estándar.

Volumen en litros por m<sup>3</sup> con subíndices:

a para agregado, p para pasta y w para agua.

Relación de  $(W + a)/(P + B)$  constante llamada relación agua/cemento.

Factor de eficiencia de la escoria de alto horno =  $(C - P)/5$ .

Resistencia de concreto sin aire incluido.

Tabla 3

## VARIACIONES DE MANEJABILIDAD

	Alta	Media	Baja
Revenimiento (cm)	10-20	5-10	2-5
Amplitud de <sup>a</sup> escurrimiento (cm)	40-55	≤ 40	-
Factor de densidad <sup>b</sup>	1.1-1.04	1.25-1.11	1.45-1.26
V - B <sup>o</sup>	<1	1-3	3-4

<sup>a</sup> DIN 1048 Parte 1, Capítulo 3.1.2.

<sup>b</sup> DIN 1048 Parte 1, Capítulo 3.1.2.

Tabla 4

AJUSTE DE LA CURVA DE RESISTENCIA  $\sigma$  CONTRA EL AGUARELACION DE CEMENTO  $w_0$ 

Edad días	CP/EAH	Constantes en la ecuación $\log \sigma = A + B (w_0)^a$		
		A	B	$r^2$ <sup>b</sup>
7	100/0	2.07	-0.96	1.0
	75/25	2.14	-0.10	0.99
	50/50	2.01	-1.11	0.98
	25/75	1.85	-1.25	0.99
28	100/0	2.18	-0.91	1.0
	75/25	2.25	-1.00	1.0
	50/50	2.14	-0.95	0.98
	25/75	1.99	-0.95	0.98

a  $w_0 = W/CP + EAH$

b  $r^2 =$  coeficiente de determinación

Tabla 5

Comparación de datos de un laboratorio industrial con las curvas de la Tabla 4 y la Figura 2.

CP/EAH	Efectivo <sup>b</sup> $w_0$	Resistencia a los 28 días	
		Observada	Calculada de $\log \sigma = A + B (w_0)$
100/0	0.84	25.4	26.0
	0.70	34.2	34.9
	0.60	42.7	43.0
80/20	0.81	29.2	28.0 <sup>a</sup>
75/25	0.66	35.9	38.9
70/30	0.57	48.1	46.0 <sup>a</sup>
50/50	0.78	28.2	25.1
	0.67	39.8	31.9
	0.54	50.0	42.4

a Valores interpolados de la Fig. 1.

b  $w_0$  efectiva =  $\frac{\text{Agua} + \text{Aire}}{\text{Cemento}}$   $\frac{\text{Litros/m}}{\text{kg/m}}$