

Abrasión en concreto de alta resistencia

Abrasion in high strength concrete

I. Hilerio* y F. González

Departamento de Materiales. UAM Azcapotzalco. México, D.F.

Av. San Pablo 180 Col. Reynosa-Tamaulipas 02200 México

*ihc@correo.azc.uam.mx

Resumen

Las especificaciones para el diseño de pisos industriales, pavimentos, canales, vertedores de presas, no solo deben tener en cuenta la resistencia a compresión, si no también los requisitos de funcionalidad. Se ha de reconocer que muy frecuentemente existe bastante imprecisión en la identificación de los diversos factores que intervienen en la durabilidad, pero es indudable aceptar que la resistencia a la abrasión, es la variable que más influye en la vida útil en este tipo de obras. Por otra parte es normal encontrarnos, con que el mecanismo de desgaste es influenciado por otros fenómenos físicos y químicos, como el ambiente bajo el cual opera, la corrosión del acero, congelamiento-descongelamiento y la reacción álcali-agregado. Dado que es difícil evaluar la resistencia del concreto a la abrasión, se ha considerado que ninguno de los procedimientos de prueba actuales son útiles para tomar en cuenta todas las condiciones que intervienen en el fenómeno. Por tal motivo, en este estudio solo se propone evaluar el desgaste del concreto con agregado expuesto, así como la relación que guarda con el índice de resistencia a compresión del concreto hidráulico. Se hace hincapié de que no se pretende valorar la calidad física de los agregados, la técnica de colocación, el acabado de la superficie, ni mucho menos el tipo de curado al cual fue sometido dicho concreto; a pesar de que son propiedades determinantes en el proceso. El presente trabajo tiene la función de presentar el estado que guarda el concreto de alta resistencia (CAR) en lo que se refiere al desgaste abrasivo en pruebas llevadas a cabo de acuerdo a la norma ASTM C – 418: “Resistencia a la Abrasión de Concreto Lavado a Presión con Arena”. A diferencia de otros procedimientos de prueba, la medida de la abrasión en este procedimiento es valorada por el volumen de desgaste, más no por la profundidad o huella dejada en el espécimen. Para conseguir el objetivo planteado en el presente trabajo se diseñaron y elaboraron mezclas de concreto con resistencias a la compresión uniaxial del orden de 80 a 110 MPa. Por otro lado, para evaluar el mecanismo de desgaste en el CAR, se fabricaron mezclas de concreto de resistencias normales de 20, 25 y 30 MPa.

Palabras claves: Resistencia a la abrasión, desgaste del concreto, desgaste abrasivo.

Abstract

Specifications for the design of industrial floors, pavements, channels, large-scale reservoirs, must not only take into consideration the compression resistance but also the requirements of functionality. It must be admitted that very frequently there is enough emphasis on the identification of the factors that affect durability. There is no doubt, however to accept the abrasion resistance as the variable that has the most influence on the performance of this type of work. In other applications, there it is normal to find the wear mechanism to be influenced by others physical and chemical phenomena, e.g., the environment under which it operates, corrosion, freeze-unfreeze and the reaction with alkaline-additives. To demonstrate the difficulty of evaluating the abrasion resistance of the concrete, we can state that no available procedure can consider all the conditions that enter in the phenomenon. For that reason, we propose in this study to evaluate the wear of hydraulic concrete with additive, in relation to its rating compression resistance. At this stage of our investigation, no effort was made to include the effects of the physical and mechanical properties of the additives, the concrete mixing technique, the surface texture, as well as the treatment of the concrete. The objective of this work is to study the resistance of high resistance concrete (HRC) in tests based on the ASTM C-418 standard. The abrasion wear measurement in this work is different than other tests procedures, since it evaluates the wear volume and not the depth of the scar. To achieve this objective, we designed and prepared mixtures of concrete with uniaxial compression resistance in the range of 80 to 100 Mpa. We have also evaluated the wear mechanism in HRC. Another set of tests were also conducted using normal resistance concrete (NRC) with uniaxial compression resistance of 20, 25 and 30 MPa.

Key words: Abrasion resistance, concrete wear, abrasive wear.

1 Introducción

El empleo de enormes sumas de dinero en la reparación de estructuras, ha llevado a los ingenieros y proyectistas a tomar conciencia de la necesidad de emplear otros parámetros de diseño en los que se consideren características de durabilidad. Por ello, se ha venido dando un mayor impulso al conocimiento de la naturaleza de los concretos de alto comportamiento, para lograr un mejor desarrollo de los mismos (Chisholm, 1996). Hoy en día, empieza a ser frecuente la solicitud de propiedades especiales en el concreto, como: bajo peso volumétrico, resistencia a los sulfatos o agentes químicos diversos, soportar el congelamiento y deshielo, etc. (Oldd y Col., 1999). Este trabajo, plantea revisar una propiedad que atañe al concreto durante su vida útil que es la resistencia a la abrasión en el Concreto de Alta Resistencia (CAR). Para lograr dicho objetivo se ha tomado como referencia la norma ASTM-C-418 (Abrasion Resistance of Concrete by Sandblasting). Este método de prueba simula tanto las acciones abrasivas del agua como del tráfico vehicular y peatonal sobre superficies de concreto.

Dado que es común estimar la resistencia al desgaste abrasivo del concreto mediante la resistencia a compresión uniaxial, se escogerá como base esta práctica para evaluarla en concretos de alta resistencia, así como la relación que guarda con respecto a los concretos de resistencia normal. (Schlaich, 1999).

Algunos estudios han encontrado que la resistencia a la abrasión del concreto hidráulico depende primordialmente de la microestructura superficial del concreto (Vales, 1997). El presente trabajo tiene la intención de comprender el fenómeno más allá de dicha capa superficial.

2 Marco teórico

Progresivamente ocurre una pérdida de masa en la superficie del concreto debido a la abrasión, erosión o cavitación (Costa y Col., 1999). El término abrasión, se refiere a la fricción en seco, generada por partículas que por el tráfico vehicular ocasionan el fenómeno de desgaste en pavimentos o pisos industriales. El término erosión, es normalmente usado para describir el desgaste abrasivo ocasionado por la acción de fluidos que contienen partículas en suspensión, tal como ocurre en los revestimientos de canales y en otros tipos de estructuras hidráulicas (Ghaffori y Col., 1999). Mientras que el término cavitación se refiere a socavaduras en ductos ocasionadas por explosión de burbujas de fluidos efervescentes que circulan a través de ellos.

Las superficies del concreto suelen estar sometidas al desgaste abrasivo, como es el caso de las estructuras hidráulicas en que la acción de los sólidos abrasivos llevados por el agua, generalmente, conduce a la erosión del concreto. Por tal motivo, es necesario conocer la resistencia a la abrasión del concreto (Chisholm, 1966). Sin embargo,

es difícil cuantificar dicha resistencia, debido a que la acción perjudicial varía de un caso a otro (Toutaniji y Col., 1999).

En las pruebas de desgaste, la profundidad del mismo es una muestra de la medida de la abrasión del concreto, los procedimientos más empleados para tal efecto están contemplados en la norma ASTM-C-779:

2.1 Método de los discos giratorios

Esta prueba consiste de un disco con tres superficies planas que giran en trayectoria circular a 0.2 Hz. Cada superficie gira sobre su propio eje a 4.7 Hz. Se emplea arenisca de carburo de silicio del N° 60 como agente abrasivo. Los especímenes (3 piezas) pueden ser de aproximadamente 30.5 cm por lado. La prueba dura 30 minutos, en donde al final se mide la profundidad individual y se obtiene un promedio. Además el informe deberá contener los datos de la mezcla de concreto.

2.2 Método de las ruedas dentadas

Este procedimiento consta de la acción de tres ruedas dentadas de acero que giran libremente y a su vez están sujetas a un árbol vertical. Las muestras usadas pueden ser de 30.5 cm. por lado. La prueba tiene una duración de 30 a 60 minutos dependiendo del tipo de simulación. El informe contiene la profundidad obtenida con respecto al tiempo a intervalos de 15 minutos, así como los datos de la mezcla del concreto.

2.3 Método del cojinete de bolas

La función de este aparato es dependiente de la acción abrasiva de un arreglo de baleros que giran a 17 Hz con una carga en una superficie húmeda. La acción del agua con las partículas sueltas durante la prueba proporciona impacto, generando así una fricción deslizante. El tamaño de las probetas son iguales al de los procedimientos anteriores. El informe consistirá en obtener la profundidad a cada 50 segundos durante 1200 segundos que dura la prueba. También se adicionan las características de la mezcla.

La pérdida de peso, es una segunda forma de medir el desgaste del concreto. La norma ASTM-C-944 describe el método del cortador rotatorio, el cual consiste en un dispositivo similar a un taladro con broca, el cual gira a una velocidad de 200 rpm. Este procedimiento, es apropiado para "almas" de concreto obtenidas de morteros o concretos, en donde el área es insuficiente para ser probado por las normas C 418 y C 779 de la ASTM. Durante la prueba se aplica una carga de 10 kgf en el espécimen durante 2 minutos y en tres periodos. Por medio de una balanza se obtienen los pesos de la muestra al final de cada periodo. Al igual que los procedimientos anteriores se informa de las características de la mezcla.

Finalmente tenemos el método utilizado en este

trabajo, el cual consiste en medir el desgaste por medio de la pérdida de volumen. El procedimiento está descrito en la ASTM-C-418 "Concreto lavado con chorro de arena a presión", este simula acciones abrasivas con agua y con tráfico vehicular en superficies de concreto.

3 Programa experimental

3.1 Materiales

En todas las mezclas de concreto se usó Cemento Pórtland Puzolánico (NMX-C-41-99). En las mezclas de alta resistencia se usó grava y arena de basalto mientras que en el concreto de resistencia normal se empleó arena y grava andesíticas. Además, en el CAR se aplicó un aditivo superplastificante Tipo F (ASTM C-494) y una adición mineral llamada humo de sílice (sílice amorfa). Las principales características de los agregados utilizados se resumen en la tabla 1.

3.2 Diseño de mezclas de concreto hidráulico

Las proporciones de las mezclas del CAR no están basadas en el diseño normal del concreto, según el "American Concrete Institute" 211.1 (*Proporcionamiento de Mezclas*), ya que dicha metodología no es válida para este tipo de material. Es preciso señalar que actualmente no existe algún procedimiento que garantice la obtención de un concreto con resistencia superior a los 80 MPa, por lo que

una buena parte del tiempo inicial del proyecto, se utilizó en la optimización de los diseños de mezclas para lograr altas resistencias.

En la tabla 2, se muestran las cantidades de los materiales empleados en las diferentes mezclas elaboradas, así como también las resistencias obtenidas en los especímenes.

La edad de prueba de la resistencia a la compresión corresponde a 56 días; aunque, la experiencia indica que en concretos de alta resistencia es mejor contrastar a edades avanzadas (incluso a 90 días). Esto, se debe a que el periodo normal de 28 días no es suficiente para completar la reacción química del hidróxido de calcio con el humo de sílice (SiO_2)

Tabla 1. Características de los materiales usados

	AGREGADOS BASALTO		AGREGADOS ANDESÍTA	
	GRAVA	ARENA	GRAVA	ARENA
Densidad (kg/dm^3)	2.47	2.54	2.40	2.36
Absorción (%)	3.95	5.60	8.80	11.90
*T.N	¾"	-----	1"	----
**M.F	-----	3.70	-----	3.15

*Tamaño máximo de la grava

**Módulo de finura de la arena.

Tabla 2. Cantidades de materiales utilizados en las mezclas

Mezcla	Cemento (kg/m^3)	Grava (kg/m^3)	Arena (kg/m^3)	Agua (kg/m^3)	Aditivo a (kg/m^3)*	Aditivo b (lt/m^3)**	Resistencia (MPa)
M1	550	785	750	148	66	22.5	113.2
M2	346	772	543	313	77	13	111.8
M3	550	790	750	150	55	21.6	110.8
M4	475	731	867	170	47	16.1	109.9
M5	450	725	844	180	68	16.1	108.6
M6	450	725	816	180	90	16.1	106.5
M7	426	857	813	166	31	9.4	104.5
M8	600	780	732	166	72	21.5	101.5
M9	400	740	805	190	52	16.4	99.4
M10	400	743	810	193	60	16.1	99
M11	450	803	796	180	45	17.3	97.5
M12	630	779	747	120	76	24	93
M13	500	800	750	161	68	16	92.2
M14	470	825	777	141	61	30	90.8
M15	540	798	738	150	68	16.2	90.5
M16	480	857	730	150	67	25	88.3
M17	400	821	756	194	40	15.4	87.2
M18	380	755	695	195	---	---	30
M19	350	875	780	178	---	---	25
M20	320	724	705	186	---	---	20

*Aditivo a = humo de sílice.

** Aditivo b = superplastificante

3.3 Prueba de desgaste

De cada una de las mezclas elaboradas se obtuvieron nueve especímenes cilíndricos y una viga prismática con dimensiones de 15 x 15 x 60 cm. De estas última se extrajeron las probetas cortadas en rebanadas de 5 cm para los ensayos.

El aparato de chorro de arena (sandblasting) consiste en un dispositivo de tipo inyector. La boquilla está conformada por una barra de acero rolado en frío, de 1 1/2 in. (38mm) de largo. Presenta un orificio de 0.250 ± 0.001 in. (6.35 ± 0.02 mm) a partir del centro. Las paredes de la boquilla tienen 45° de ángulo oblicuo del centro al extremo superior.

El aire a presión es suministrado por un compresor de 150 psi y de 250 litros de capacidad. El equipo de sandblasting está provisto de un regulador de presión, con el cual se establece la presión de trabajo de 60 ± 1 psi. El material abrasivo utilizado, es arena sílica natural con una granulometría entre 600 y 850 μm .

Los especímenes fueron sumergidos en agua durante 24 horas antes de la prueba. Posteriormente, fueron secados superficialmente por medio de un paño, a fin de garantizar la condición húmeda saturada.

El procedimiento de prueba consistió básicamente, en colocar la probeta en la superficie horizontal y perpendicular al eje de la boquilla a una distancia de 76 ± 2.5 mm. El tiempo total de la prueba fue de 15 minutos con intervalos a cada minuto, en donde se midió el volumen de desgaste con arcilla moldeable; considerando que el peso específico de la arcilla moldeable es igual a 1.61 gr/cm^3 .

4 Resultados

En la Tabla 3, se presentan los datos obtenidos del coeficiente volumétrico de desgaste (CVD) cuya representación gráfica se presenta en la Fig.1, en donde se puede observar que en promedio para el CAR, el CVD es aproximadamente de 0.20 y para el concreto normal es del orden de 0.55. Haciendo hincapié que dichos coeficientes corresponden a un tiempo de prueba de 15 minutos a diferencia de la norma que marca 8 minutos. El hecho de que haya aumentado el tiempo fue para simular condiciones más severas.

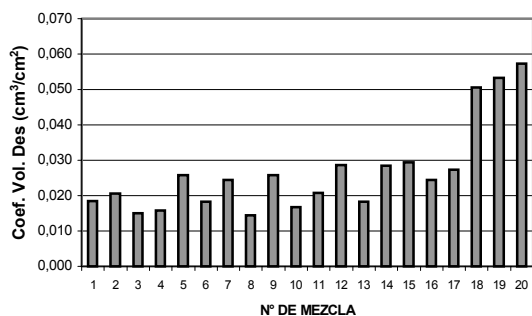


Fig.1 Coeficiente de desgaste de cada una de las mezclas.

En la Fig.2 se muestran los volúmenes de desgaste generados en un tiempo de 15 minutos. Si se comparan los resultados obtenidos, se puede apreciar que para el concreto de alta resistencia se obtiene un desgaste de aproximadamente 15 cm^3 y para concreto normal es aproximadamente de 35 cm^3 .

Tabla 3: Resultados de las pruebas de desgaste

Mezcla N°	Resistencia MPa	Volumen (cm^3)	Coef. Vol. de desgaste (cm^3/cm^2)
M1	113.2	12.5	0.019
M2	111.8	13.86	0.021
M3	110.8	10.14	0.015
M4	109.9	10.61	0.016
M5	108.6	17.42	0.026
M6	106.5	12.31	0.018
M7	104.5	16.5	0.024
M8	101.5	9.8	0.015
M9	99.4	17.45	0.026
M10	99	11.28	0.017
M11	97.5	14.07	0.021
M12	93	19.32	0.029
M13	92.2	12.28	0.018
M14	90.8	19.19	0.028
M15	90.5	19.86	0.029
M16	88.3	16.54	0.025
M17	87.2	18.44	0.027
M18	30	34.15	0.051
M19	25	35.94	0.053
M20	20	38.71	0.057

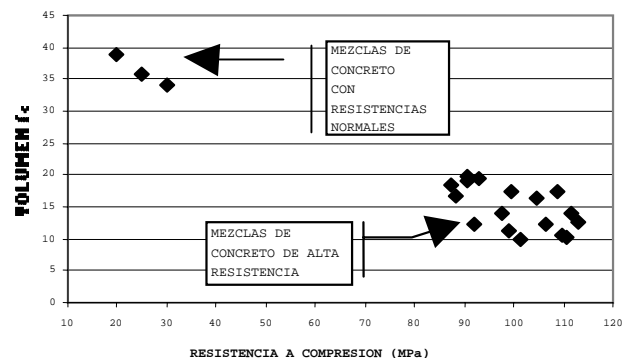


Fig. 2 Volumen de desgaste en función de la resistencia a compresión.

5 Conclusiones

- Es posible reducir el problema del desgaste del concreto hasta en un 55%, siempre y cuando se haga uso de concretos de alta resistencia.
- En los concretos normales, la correlación entre resistencia a la compresión y resistencia a la abrasión sigue siendo válida para los concretos de alta resistencia. En consecuencia, no se debe escatimar en utilizar el CAR en obras que vayan a estar expuestas a

condiciones extremas de servicio.

- Dado que el concreto hidráulico es un material compuesto, la variabilidad de densidades en toda la masa será una causa que origina que el desgaste no sea uniforme. Por ello, se propone que este procedimiento de prueba es ideal para conocer la respuesta de una estructura sujeta a desgaste abrasivo.

Referencias

Chisholm HH, 1996, Losas de concreto para pisos industriales: resistencia a la abrasión, *Tecnologías de Construcción*, pp. 6-12

Costa A y Appleton J, 1999, Chloride penetration into concrete in marine environment, *Materials and Structures*, Part I. Vol. 32, No. 218, pp. 252-259. Part II. Vol. 32, No.

219, pp. 354-359.

Ghafoori N and Diawara H, 1999, Abrasion resistance of fine aggregate replaced silica fume concrete, *ACI Material Journal*, pp. 559-567.

Oldd EG, Torger B and Ronning HR, 1990, Abrasion resistance of high-strength concrete pavements, *Materials and Structures*, pp. 45-48.

Schlaich J, 1999, Some thoughts on the design of concrete structures, *Indian Concrete Institute*, No. 66. pp. 9-14.

Toutaniji HA, Liu LY and Korchi T, 1999, The role of silica fume in the direct tensile strength of cement-based materials, *Materials and Structures*, Vol. 32 pp. 203-209.

Vales M, 1997, Abrasion test for precast concrete paving products, CERIB (Centro de Estudios e Investigaciones de la Industria Cementera en Francia), *Technical Reports Rilem*, France, pp. 631-633.