



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008
Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



INFLUENCIA DEL TIPO DE AGREGADO EN EL MÉTODO DE FRACTURA SUPERFICIAL PARA LA ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA EN CONCRETO

J. Mora Ruacho¹, A. C. Dos Santos², F. Almeraya Calderón³

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua, Nuevo Campus Universitario S/N, Apartado Postal 1528 "C", 31160 Chihuahua, Chih. México.

² Universidad Federal de Uberlândia, Av. Engenheiro Diniz, 1178, Cx. Postal: 593, CEP: 38.400-902, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

³ Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C., Miguel de Cervantes 120, Complejo Industrial Chihuahua, C.P. 31109, Chihuahua, Chih., México.

RESUMEN

El método de fractura superficial[†], es una técnica parcialmente destructiva propuesta, concebida para estimar la resistencia del concreto. La técnica determina el torque máximo necesario para provocar una falla en un ranurado elaborado sobre la superficie del elemento. El torque resultante para causar la falla de tal ranurado se relaciona con la resistencia del concreto. En este estudio, se determinó el torque por el método de fractura superficial y la resistencia a compresión de forma estandarizada en concretos de diferentes resistencias y tres tipos de agregados: redondeados, triturados y reciclados. Los resultados muestran coeficientes de variación similares cuando se comparan con algunos métodos existentes, así como también una alta correlación entre la resistencia a compresión y el torque de los concretos ensayados.

Palabras clave: fractura superficial; torque; resistencia del concreto.

ABSTRACT

The surface fracture method is a proposed technique to estimate concrete strength. It measures the maximum torque required to cause failure in a crossed slots arrangement built on the specimen's surface. The torque required to cause failure of that arrangement can be related to the strength of the concrete. In this study, the surface fracture method was evaluated. Concretes with different strengths and three types of aggregates were examined: rounded, crushed and recycled. According to the results obtained, coefficients of variation resulted similar when compared to some existent methods as well as a strong correlation between the compressive strength of concrete is observed.

Keywords: surface fracture; torque; concrete strength.

[†]Método y elementos con derechos registrados de Patente.



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008 Chihuahua; Chih. México Del 12 al 14 de Noviembre



INTRODUCCIÓN

El método de fractura superficial, es una técnica propuesta para estimar la resistencia del concreto. El método determina el máximo torque que lleva a la falla un arreglo de ranurado en forma de cruz elaborado sobre la superficie del material. El torque resultante se puede relacionar con la resistencia del material.

En la evaluación de estructuras de concreto, los métodos no destructivos se emplean para estimar la resistencia por medio de un parámetro conocido determinado tanto en el del sitio o en el laboratorio y la resistencia del material. Ya sea por su simple manejo y rápida obtención de los resultados, los métodos tales como el rebote^{1,2} y penetración^{3,4} son los más ampliamente utilizados. Ambos métodos utilizan la energía cinética producida por el impacto sobre la superficie. La base teórica de estos métodos, es que usan la energía absorbida y se relaciona con la resistencia y rigidez del concreto. Puesto que es posible en dos mezclas de concreto el tener la misma resistencia, pero diferente rigidez o vice versa⁵, se podrían notar diferencias en los resultados obtenidos debido a estos factores. Entonces, mientras estas pruebas son simples de llevar a cabo, existen numerosos factores que influyen los resultados. Para los métodos de rebote, las normas ASTM C 805⁶ y BS 1881 Parte 202⁷ y en los métodos de penetración, las normas ASTM C 803⁸ y BS 1881 Parte 207⁹, se identifican los factores que influyen la validez de estos métodos. Tales factores son la rugosidad, restricción mecánica en los bordes del espécimen (sobre todo si es de dimensiones pequeñas), y el problema de llevar a cabo la prueba en concretos con acero de refuerzo en el concreto con un recubrimiento menor a 20 mm. Otro problema es el escoger el punto de prueba correcto para evitar el golpear el acero de refuerzo (como el caso del método de penetración).

A diferencia de la energía de impacto usada en los métodos mencionados anteriormente, algunos otros métodos como el pull-off¹⁰, sujetan al espécimen a una carga estática; este hecho excluye muchos de los factores relacionados con el impacto y rigidez mencionados anteriormente. El método de fractura superficial presentado en este artículo se caracteriza por su simplicidad en la configuración y operación del método junto con la obtención rápida de resultados.

El objeto de este estudio es de evaluar la validez del método a través de ensayos llevados a cabo en laboratorio. Tales ensayos comprenden la determinación del parámetro de torque, llevado a cabo por el método y por otro lado la determinación de la resistencia a compresión de forma estandarizada en concretos de diferentes resistencias y tres tipos de agregados gruesos. Los artífices de la validez del método fueron la comparativa del coeficiente de variación del parámetro de torque con valores actuales de distintos métodos existentes y la correlación del torque frente a la resistencia del concreto.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La descripción del método de fractura superficial y el programa experimental, se describen a continuación.

Descripción del método de fractura superficial

Elaboración del ranurado.

La Figura 1 muestra el procedimiento usado para la elaboración del ranurado sobre la superficie del espécimen.

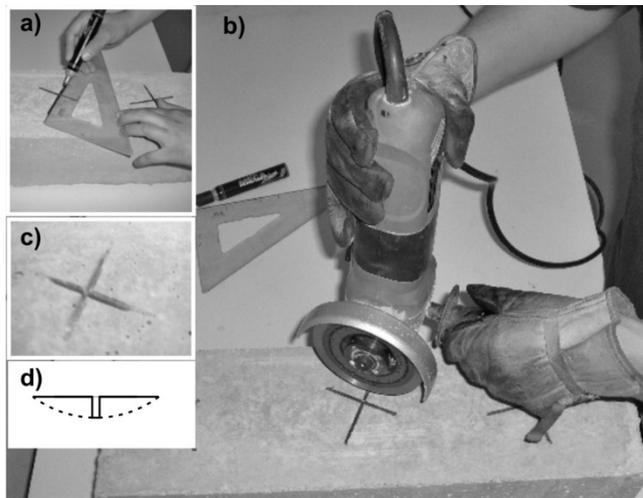


Figura 1. Fabricación del Ranurado. a) Trazo de las Líneas, b) Fabricación, c) Ranurado, d) Vista Lateral del Ranurado.

Se dibujaron dos líneas perpendiculares que servirían como guía para la elaboración del ranurado [Figura 1a)].

El ranurado se elaboró con una pequeña esmeriladora equipada con un disco metálico diamantado de 115 mm de diámetro y 3.5 mm de espesor que giraba a 11000 r.p.m. [Figura 1b)]. Las ranuras se fabricaron usando la esmeriladora perpendicularmente a la superficie del espécimen.

Las dimensiones del ranurado fueron de 11 ± 1 mm de profundidad en el punto central, 67 mm de longitud y 3.5 mm de ancho [Figura 1c)].

Ensayo de fractura superficial.

El ensayo y sistema usado para medir el torque a la falla del ranurado se muestra en la Figura 2.

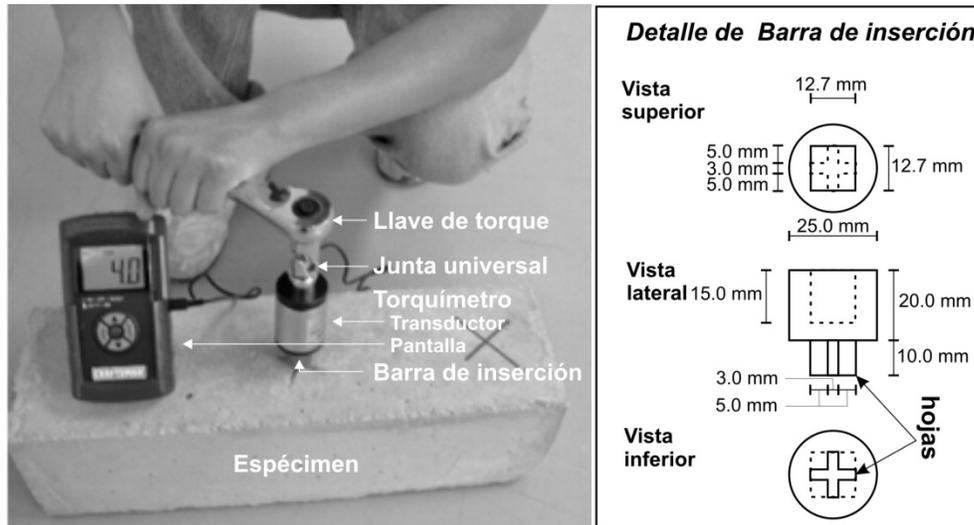


Figura 2. Método y Equipo para la Medición del Torque y Detalle de Barra de Inserción.

La llave de torque, junta universal, transductor (componente del torquímetro) y la barra de inserción se conectaron en el mismo orden como el mostrado en la Figura 2. Para la aplicación del torque, se utilizó una llave de torque de uso comercial de 250 mm de longitud.

El torquímetro fue del tipo electrónico de uso comercial con un transductor unido por un cable a una pantalla digital. El torquímetro estaba provisto de una capacidad máxima de torque de 200 N·m con 3% de margen de error en la medición.

La junta universal se usó para prevenir momentos de flexión por parte de la barra de inserción sobre el ranurado. La barra de inserción se insertó en el ranurado; entre las hojas de la barra de inserción y el ranurado existió un juego de 0.5 mm, esto con el fin de un ajuste conveniente para tener en cuenta ciertas imperfecciones tales como la perpendicularidad vertical del ranurado respecto a la superficie del espécimen.

En función de mantener los ensayos consistentes, se escogió la aplicación de un índice de torque de 3 N·m/seg, aproximadamente como medida estándar. En el momento que el ranurado del concreto fallaba por la aplicación del torque, ese valor era entonces registrado.

Programa Experimental

Descripción.

La experimentación en laboratorio se realizó de la siguiente forma. Se elaboraron tres probetas cilíndricas estándar de 152 mm de diámetro × 305 mm de altura para obtener la resistencia a compresión. Por otro lado, se elaboró una probeta prismática estándar de 152 × 152 × 508 mm para la determinación del parámetro de torque utilizando el método de fractura superficial. Las probetas cilíndricas y la prismática estándar se elaboraron de una misma mezcla de concreto.



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008
Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



Materiales.

Se elaboraron siete diferentes mezclas de concreto con una resistencia a los 28 días de edad de 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 MPa, cada serie de estas resistencias con agregado grueso redondeado, triturado y reciclado, respectivamente. El agregado fino utilizado fue arena de río y el agregado grueso, ya mencionado tuvo un tamaño máximo de 19 mm respectivamente. Asimismo, el cemento fue del tipo Portland, mexicano CPC 30R. El superplastificante fue del tipo etoxylato no iónico y el agua de mezclado fue tomada de la red citadina. Las dosificaciones de las mezclas de concreto se muestran en la Tabla 1 y se fabricaron de acuerdo al criterio de la Asociación del Cemento Portland (P.C.A)¹¹.

Tabla 1. Dosificación de Mezclas de Concreto.

Resistencia a 28 días, MPa	a/c	Dosificación Respectiva														
		Agua, kg/m ³			Cemento, kg/m ³			Agregado grueso, kg/m ³			Agregado fino, kg/m ³			Superplastificante, lt/m ³		
		Red.	Trit.	Rec.	Red.	Trit.	Rec.	Red.	Trit.	Rec.	Red.	Trit.	Rec.	Red.	Trit.	Rec.
10	0.89				202.7	230.9	203.4				1079.8	908.9	1005.5	1.3	1.5	1.4
15	0.78				231.4	263.5	232.1				1054.0	881.7	981.2	1.5	1.7	1.6
20	0.68				265.5	302.4	266.2				1023.4	849.4	952.2	1.7	2.0	1.9
25	0.59	180.0	205.0	181.0	306.2	348.7	306.2	899.4	943.8	957.3	986.8	810.9	917.8	2.0	2.3	2.2
30	0.51				354.4	403.6	348.1				943.5	765.2	882.7	2.3	2.6	2.5
35	0.44				411.1	468.1	393.5				892.6	711.5	844.2	2.7	3.0	2.9
40	0.38				476.3	542.5	438.9				834.0	649.7	805.7	3.1	3.5	3.3

Red.=Redondeado, Trit.=Triturado, Rec.=Reciclado

Preparación y ensayo.

Las mezclas de concreto se elaboraron mediante una revolvedora del tipo común, de las usadas en obra. El llenado, compactación y curado de las probetas estándar se realizó siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM C 192¹².

Cuando se completaron los 28 días, los especímenes fueron preparados y ensayados.

Para la obtención del parámetro de torque, se elaboraron tres ranurados espaciados entre sí, equitativamente sobre la superficie de cada probeta prismática. El valor de torque se obtuvo tomando la media de los tres ranurados ensayados.

El tiempo aproximado que se tomó en la elaboración, limpieza y ensayo de cada ranurado fue de tres minutos aproximadamente.

Por otro lado, el ensayo de resistencia a compresión llevado a cabo sobre las probetas cilíndricas estándar se hizo de acuerdo a la norma ASTM C 39/39M¹³. La resistencia a compresión se obtuvo de la media de tres probetas ensayadas.



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008
Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



RESULTADOS

Variabilidad

Los resultados de torque y resistencia a compresión de los concretos ensayados, se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2 - Resultados del Torque y Resistencia a Compresión.

Resistencia, MPa	Torque						Resistencia a compresión					
	Grava redondeada		Grava triturada		Grava reciclada		Grava redondeada		Grava triturada		Grava reciclada	
	Media, N·m	C.V.*	Media, N·m	C.V.	Media, N·m	C.V.	Media, MPa	C.V.	Media, MPa	C.V.	Media, MPa	C.V.
10	9.1	0.13	7.8	0.07	7.8	0.07	11.1	0.02	11.5	0.05	11.5	0.05
15	13.9	0.09	10.1	0.01	10.1	0.10	14.2	0.05	15.2	0.08	15.2	0.13
20	16.3	0.07	15.4	0.05	15.4	0.05	19.2	0.06	21.5	0.07	21.5	0.07
25	17.9	0.08	15.8	0.11	15.8	0.11	26.1	0.01	24.7	0.06	24.7	0.06
30	18.5	0.20	20.9	0.09	20.9	0.09	29.0	0.02	33.1	0.04	33.1	0.04
35	24.0	0.10	21.7	0.10	21.7	0.10	35.2	0.03	36.1	0.08	36.1	0.13
40	36.1	0.04	22.8	0.04	22.8	0.04	40.5	0.03	41.5	0.08	41.5	0.08

*Coeficiente de variación

En general, se observa la proporcionalidad entre el torque y la resistencia a la compresión. En los concretos con grava redondeada, la media del torque varió de 9.1 a 36.1 N·m y los coeficientes de variación variaron de 0.04 a 0.20. En los concretos con grava triturada, la media del torque varió de 7.8 a 22.8 N·m con coeficientes de variación en el rango de 0.01 a 0.11. Para el caso de los concretos con grava reciclada los valores del torque se situaron en el rango de 7.8 a 22.8 N·m con sus coeficientes de variación en el rango de 0.04 a 0.11.

Las diferencias observadas en las magnitudes de torque para los agregados empleados, sugieren que el tipo de agregado, las condiciones físicas del ensayo en los ranurados y factores debidos a la operación del equipo durante los ensayos influenciaron tales resultados.

Como se puede observar, la media de todos los concretos fue cercana a los valores esperados de resistencia a compresión en todos los concretos.

El coeficiente de variación (desviación estándar/media) varió de 0.01 a 0.06 para los concretos con grava redondeada, 0.04 a 0.08 para los concretos con grava triturada y 0.04 a 0.13 para los concretos con grava reciclada.

El límite superior del coeficiente de variación para grava redondeada fue ligeramente mayor que el límite reportado por la norma ASTM C39/C39M¹³, la cual especifica un valor de 0.078 como aceptable; sin embargo, para el concreto con agregado reciclado el límite superior de ese rango de valores, sobrepasa tal valor especificado.

Comparación con métodos existentes

La media de los coeficientes de variación resultantes por el método de fractura fue de 0.10 para los concretos con grava redondeada, 0.8 para aquellos con grava triturada y 0.11 para aquellos concretos con grava reciclada. Cuando se comparan estos coeficientes con otros métodos existentes, encontrados en la literatura¹⁴⁻¹⁶, cuyo rango de valores de coeficiente de variación está de 0.025 a 0.16, se observa que los coeficientes de variación del método propuesto se encuentran dentro del rango de estos valores, lo cual, puede dar al método una fuerte validez como estimador de resistencia.

Correlación

La correlación del torque respecto a la resistencia a compresión en concretos con grava redondeada, triturada y reciclada se muestran en la Figura 3.

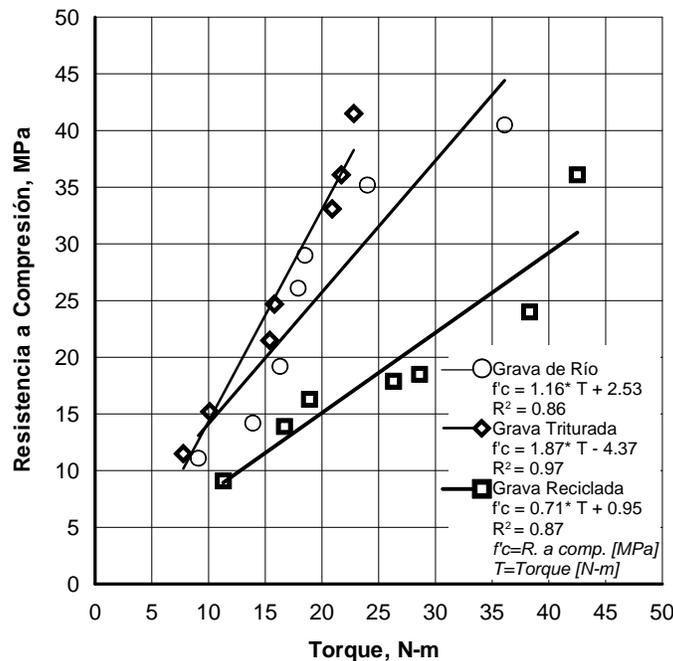


Figura 3. Correlación del Torque vs Resistencia a Compresión en los Concretos Ensayados.

El coeficiente de correlación R^2 fue de 0.85 para los concretos con grava redondeada, 0.96 para aquellos con grava triturada y 0.87 para aquellos con grava reciclada. Estos valores pueden considerarse buenos indicadores en la estimación de la resistencia utilizando el método de fractura superficial. Sin embargo, se puede esperar que las diferencias entre los coeficientes de correlación para los concretos con distintos tipos de agregados sean el resultado del tipo de agregado usado, además de desventajas intrínsecas del método.



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008
Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



CONCLUSIONES

En este trabajo se ha evaluado el método de fractura superficial. Se ha obtenido el parámetro de torque el cual se puede relacionar con la resistencia del concreto. De este estudio se puede concluir lo siguiente:

La media de los coeficientes de variación y la correlación R^2 observadas en el método son igualmente de válidas que aquellas encontradas en muchos métodos existentes.

Dentro de esta validez, se encuentran algunas desventajas inherentes, tales como la aplicación del índice de torque, que depende básicamente de la habilidad del operador, la variación de la perpendicularidad del ranurado respecto a la superficie del espécimen, aunque se ha observado es mínima, además, las condiciones físicas en los primeros 10 mm de espesor donde se lleva a cabo el ensayo y la mezcla mortero-agregado presente en el punto de prueba.

Aunque la validez del método no está libre de desventajas, como las mencionadas anteriormente, tiene sin embargo ventajas importantes. En tales ventajas figura el corto tiempo en la preparación, realización y obtención de resultados, además de aplicarse a diferentes formas, tamaños y condiciones superficiales en las que este involucrado el espécimen, no olvidando la simplicidad en la operación y equipo utilizado.

Por ultimo, se deberá de poner atención especial en la interpretación de los resultados cuando se utilice el método en concretos con distintos tipos de agregados, ya pudieran ser del tipo redondeados, triturados o reciclados.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar sus agradecimientos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por financiar parte de este trabajo. De igual forma, se desea agradecer a los Técnicos del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la U.A.CH. y a COPRECHISA por los materiales donados.

REFERENCIAS

1. Bungey, J. H., S. G. Millard, Testing of Concrete in Structures, (Chapman and Hall, Blackie Academic & Professional, Glasgow, 1996), p. 33.
2. Malhotra, V. M., Carette, G. G., Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, (Ed. V. M. Malhotra and N. J. Carino, CRC Press, West Conshohocken, PA, 2004), p. 1.3.
3. Bungey, J. H., S. G. Millard, Testing of Concrete in Structures, (Chapman and Hall, Blackie Academic & Professional, Glasgow, 1996), p. 75.
4. Malhotra, V. M., Carette, G. G., Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, (Ed. V. M. Malhotra and N. J. Carino, CRC Press, West Conshohocken, PA, 2004), p. 2.2.
5. ACI Committee 228, In-place Methods for Determination of Strength of Concrete, (ACI



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008
Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



- 228.1R-95, American Concrete Institute, Detroit, 1998).
6. ASTM C 805-02, Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete, (Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, ASTM, West Conshohocken, PA. 2003).
 7. BS 1881: Part 202, Recommendations for Surface Hardness Testing by Rebound Hammer, (British Standards Institution, Londres).
 8. ASTM C 803-02, Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete, (Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, ASTM, West Conshohocken, PA. 2003).
 9. BS 1881: Part 207, Recommendations for the Assessment of Concrete Strength by Near-to-Surface Tests, (British Standards Institution, Londres).
 10. Long, A. E., Henderson, G. D., Montgomery, F. R., Why assess the properties of near-surface concrete?, en: P.A.M. Basheer (Eds.) Near-Surface Testing for Strength and Durability of Concrete, Fifth CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete, Special Proceedings. Barcelona, (2000), pp. 12, (España)
 11. S.H. Kosmatka, B. Kerkoff, W.C. Paranes, Design and Control of Concrete Mixtures, (Portland Cement Association, Skokie Illinois, 2002), p. 149.
 12. ASTM C 192, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory, (Annual Book of ASTM Standards, ASTM, West Conshohocken, PA. 1998).
 13. ASTM C 39/C 39M, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, (Annual Book of ASTM Standards, ASTM, West Conshohocken, PA. 1999).
 14. Tomsett, H. N., "Ultrasonic pulse velocity measurements in the assessment of concrete quality", Magazine of Concrete Research, **32**, 110, (1980), pp. 7-16.
 15. Bungey, J. H., "Concrete strength variations and in-place testing," en: Proceedings of the 2nd Australian Conference on Engineering Materials, South Wales, (1981), pp. 85-96.
 16. "Concrete Core Testing for Strength", Technical Report 11, Concrete Society, Londres, 1987.