

Influencia del tipo de agregado empleando el método de fractura superficial para la estimación de la resistencia a compresión del concreto

Influence of the aggregate type using the surface fracture method for the estimation of concrete compressive strength

JOSÉ MORA-RUACHO¹, RAUL ARTURO ACOSTA-CHÁVEZ^{1,2}, PERLA IVONNE CORDERO-DE LOS RÍOS¹
Y RAÚL SANDOVAL-JABALERA¹

Recibido: Julio 11, 2009

Aceptado: Febrero 8, 2010

Resumen

La evaluación de la infraestructura de los países se ha convertido en tema de mucha relevancia. Su mantenimiento y construcción se lleva buena parte del P.I.B. En las últimas cinco décadas, han aparecido con vigor, métodos y técnicas para la evaluación de estructuras de concreto en el lugar, los cuales resultan ser relativamente de operación compleja, alto costo de operación y dilatada obtención de resultados. En base a esto, el *método de fractura superficial* (Método y elementos con derechos registrados de Patente) es una técnica propuesta concebida para estimar la resistencia del concreto considerando una operación sencilla, bajo costo de operación y una rápida obtención de resultados. La técnica determina el torque máximo necesario para provocar una falla en un ranurado elaborado sobre la superficie del elemento, relacionando así el torque con la resistencia del concreto. El objeto de este estudio fue el realizar una evaluación de la técnica propuesta por medio de la determinación del torque y la resistencia a compresión de forma estandarizada en concretos de diferentes resistencias y tres tipos de agregados. Los resultados de este estudio demuestran que con la técnica propuesta se tiene una rápida obtención de resultados y unos 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. La técnica propuesta puede ser de uso potencial en la estimación de resistencia del concreto considerando su sencillez de aplicación, bajo costo y rápida obtención de resultados.

Palabras clave: fractura superficial, torque, resistencia a compresión del concreto, pruebas en el lugar.

Abstract

The evaluation of infrastructure has been of relevant interest for many countries. Maintenance and construction are an important part of the G.D.P. Five decades ago, it has been issued methods and techniques for the evaluation of on-site concrete structures. They are characterized relatively as of complex operation, high cost and long-time obtaining of results. Based on the above comments, the *surface fracture method* (Method and elements with patent rights reserved) is a proposed technique for the estimation of concrete strength considering an easier operation, lower operation cost and quick obtaining of results. The technique determinates a maximum torque to achieve a failure in a crossed-slots arrangement made on the surface of the element, thus relating the torque with the concrete strength. The objective of this study was to perform an evaluation of the proposed technique by means of the torque determination and the concrete strength in standardized form with concretes of different strengths and three types of aggregate. The results of this study show that it is possible to obtain quick results and similar coefficients of variation when compared with some existing methods as well as a high correlation between the compressive strength and torque for the tested concretes. The proposed technique can be of potential use in the concrete strength estimation considering the simplicity of operation, lower cost and quick obtaining of results.

Keywords: surface fracture, torque, concrete strength, in-place tests.

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

² Dirección electrónica del autor de correspondencia: racosta@uach.mx

Introducción

La deterioración de la infraestructura se ha convertido en un tema central en muchos países. Por ello, la evaluación se ha convertido en eje de referencia citado para la condición de la infraestructura. Desde los años sesentas, se ha comenzado a distinguir el aumento de métodos y técnicas relacionadas con la evaluación de estructuras de concreto.

Algunos métodos no destructivos se emplean para estimar la resistencia a compresión del concreto por medio de un parámetro conocido, determinado tanto en el sitio o en el laboratorio, y la resistencia a compresión. Ya sea por su simple manejo y rápida obtención de los resultados, los métodos tales como el rebote y penetración (Bungey *et al.*, 1996; Malthotra *et al.*, 2004) son los más utilizados. Ambos métodos utilizan la energía cinética producida por el impacto sobre la superficie. La base teórica de estos métodos, es que la energía absorbida se relaciona con la resistencia a compresión y rigidez del concreto. Puesto que es posible en dos mezclas de concreto el tener la misma resistencia pero diferente rigidez o viceversa (Comité ACI 228, 1998), 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 805 (2002) y BS 1881 Parte 202 (1986) y en los métodos de penetración, las normas ASTM C 803 (2002) y BS1881 Parte 207 (1986), 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 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-off* (Long *et al.*, 2000), 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 método de fractura superficial, es una técnica propuesta para estimar la resistencia a compresión 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 a compresión del material.

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 por el método propuesto y por otro lado la determinación de la resistencia a compresión de forma estandarizada en concretos de diferentes resistencias a compresión 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 a compresión del concreto.

Materiales y métodos

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 el Cuadro 1 y se fabricaron de acuerdo al criterio de la Asociación del Cemento Portland (Kosmakta *et al.*, 2002).

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

La descripción del método de fractura superficial se describe en un trabajo presentado anteriormente (IBRACON 2008).

Programa Experimental. La experimentación en laboratorio se realizó de la siguiente forma: Se elaboraron tres probetas cilíndricas estándar de 152 mm de diámetro x 305 mm de altura para obtener la resistencia a compresión. Por otro lado, se elaboró una probeta prismática estándar de 152 x 152 x 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.

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 192 (1998). 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 39/39M (1999). La resistencia a compresión se obtuvo de la media de tres probetas ensayadas.

Resultados y discusión

Variabilidad. Los resultados de torque y resistencia a compresión de los concretos ensayados, se muestran en el Cuadro 2.

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

Cuadro 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			Agregado fino, kg/m ³			Superplastificante, l/m ³		
		Red.	Trit.	Rec.	Red.	Trit.	Rec.	Red.	Trit.	Rec.	Red.	Trit.	Rec.	Red.	Trit.	Rec.
10	0.89	180.0	205.0	181.0	202.7	230.9	203.4	899.4	943.8	957.3	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				306.2	348.7	306.2				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	3.1	3.3

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

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/C39M (1999), 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, 0.08 para aquellos con grava triturada y 0.11 para aquellos concretos con grava reciclada. La Figura 1 muestra una comparativa del método de fractura con otros existentes.

Cuando se comparan estos coeficientes con otros métodos existentes, encontrados en la literatura (Tomsett, 1980; Bungey, 1981; Concrete Society, 1987), 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 2.

Cuadro 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

Figura 1. Comparación del método de fractura superficial con otros métodos existentes.

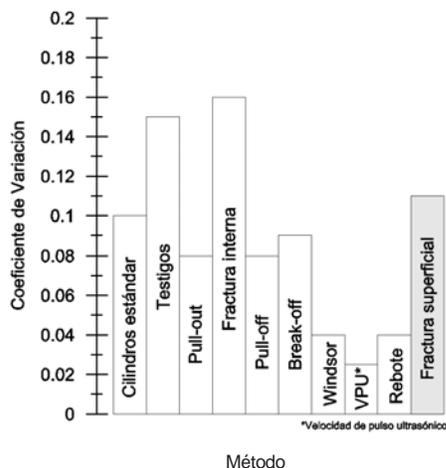
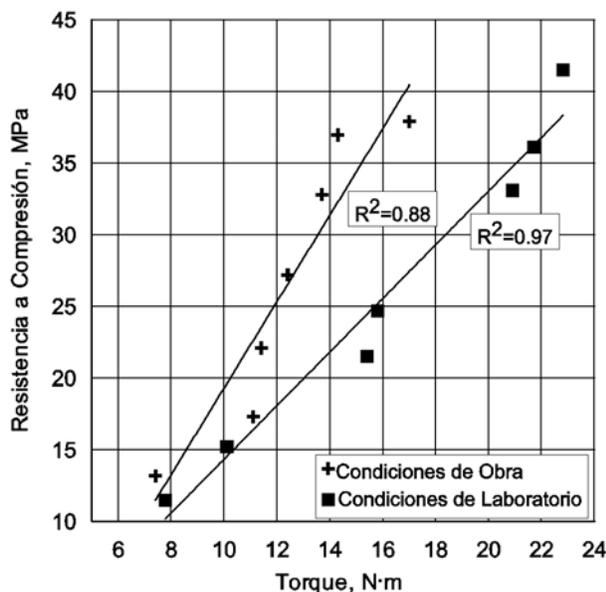


Figura 2. Correlación del torque vs resistencia a compresión en los concretos ensayados.



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.

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:

Los elementos más notorios en la justificación del uso del método descansan en: su sencillez de operación, que lo hace idóneo para cualquier tipo de estructura a evaluar; su bajo costo de operación, derivado de su sencillez, que lo haría atractivo en cualquier mercado; y por último, su rápida obtención de resultados, lo que complementa su ventaja con relación a los demás métodos ya existentes.

La comparación de la técnica propuesta frente a otros métodos resalta en similitud respecto a sus coeficientes de variación y la correlación del torque y la resistencia a compresión del concreto.

Para la interpretación de los resultados, el método habrá de tomar en cuenta el tipo de agregado, puesto que los resultados obtenidos tienen importancia relevante en los agregados ensayados.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por financiar parte de este trabajo. De igual forma, se desea agradecer a la Facultad de Ingeniería de la U.A.CH. y a COPRECHISA por los materiales donados.

Referencias

- ACI, Comité 228, In-place Methods for Determination of Strength of Concrete, ACI 228.1R-95, American Concrete Institute, Detroit, 1998.
- ASTM C 192, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory, Annual Book of ASTM Standards, ASTM, West Conshohocken, PA. 2007.
- ASTM C 39/C 39M, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standards, ASTM, West Conshohocken, PA. 2009.
- 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.
- 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.
- BS 1881: Part 202-86, Recommendations for Surface Hardness Testing by Rebound Hammer, British Standards Institution, Londres, 1986.
- BS 1881: Part 207-86, Recommendations for the Assessment of Concrete Strength by Near-to-Surface Tests, British Standards Institution, Londres, 1986.
- 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.
- BUNGEY, J. H., Millard S. G., Testing of Concrete in Structures, Chapman and Hall, Blackie Academic & Professional, Glasgow, 1996, p. 33.
- BUNGEY, J. H., Millard, S. G., Testing of Concrete in Structures, Chapman and Hall, Blackie Academic & Professional, Glasgow, 1996, p. 75.
- «CONCRETE CORE TESTING FOR STRENGTH», Technical Report 11, Concrete Society, Londres, 1987.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO, « Método da fratura superficial para estimativa da resistência a compressão do concreto », Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto, Septiembre 2008. Bahía Brasil.
- 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,
- 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.
- 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.
- S.H. KOSMATKA, B. Kerkoff, W.C. Paranesse, Design and Control of Concrete Mixtures, (Portland Cement Association, Skokie Illinois, 2002), p. 149.
- TOMSETT, H. N., «Ultrasonic Pulse Velocity Measurements in the Assessment of Concrete Quality», Magazine of Concrete Research, 32, 110, (1980), pp. 7-16. 

Este artículo es citado así:

Mora-Ruacho J., R. A. Acosta-Chávez, P. I. Cordero-De los Ríos, R. Sandoval-Jabalera. 2010: *Influencia del tipo de agregado empleando el método de fractura superficial para la estimación de la resistencia a compresión del concreto*. *TECNOCENCIA Chihuahua* 4(1): 32-38.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

JOSÉ MORA RUACHO. Terminó su licenciatura en 1994. En 1997 le fue otorgado el título de Ingeniero Civil por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó su posgrado en Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), donde obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería en el área de Vías Terrestres en 1997 y el grado de Doctor Ingeniero en Caminos Canales y Puertos en el área de Tecnología del Concreto en 2002 por la Universitat Politècnica de Catalunya en Barcelona, España. Desde 2002 labora en la Facultad de Ingeniería de la UACH y posee la categoría de Académico Titular C. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2004 (candidato 2004-2007). Su área de especialización es la tecnología del concreto, concreto a edades tempranas y ensayos no-destructivos. Ha dirigido 25 tesis de licenciatura y 10 de maestría. Es autor de aproximadamente 40 artículos científicos, más de 10 ponencias en Congresos Nacionales e internacionales y 2 libros científicos. Ha participado en 2 proyectos de investigación internacionales y 7 internos. Es miembro de Comités Científicos y Colegios, como el American Concrete Institute, International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials Systems and Structures (RILEM), American Society for Testing and Materials y el Colegio de Ingenieros Civiles de Chihuahua. Es evaluador de proyectos de investigación del CONACYT (Fondos institucionales, mixtos y sectoriales) y ha sido árbitro de tres revistas científicas de circulación internacional.

RAÚL ARTURO ACOSTA CHÁVEZ. Maestro en Sistemas de Información por la Facultad de Contaduría y Administración UACH. (2001-2003) e Ingeniero en Sistemas Computacionales Opción Hardware por la Facultad de Ingeniería UACH. (1992-1997). Actualmente Maestro de Tiempo Completo Facultad de Ingeniería de la UACH. Ha desempeñado puestos como: Encargado de Laboratorios, Jefe de Soporte Técnico y Encargado de Redes y Soporte técnico. (Junio-1998 a Agosto de 2005) Departamento de Soporte Garantías, MEXMAL Chihuahua - Soporte Técnico (Empresa proveedora de piezas de cómputo) Atención: Ing. Javier Contreras Campos (Junio-1997 a Febrero-1998) Grupo Delphi - Asesor Técnico. Atención: Ing. Gabriel Amado González Castañeda. (Feb-1995 a Marzo-1997) Imparte diversas cátedras en la Facultad de Ingeniería de la U.A.Ch. (Enero-2001 a la Fecha). Ha participado en Congresos Nacionales e Internacionales, además de contar con diversas publicaciones. Cuenta con el Perfil PROMEP desde el 2008. Formó parte del cuerpo académico de Ciencias en la Computación (UACH-CA-97) y cultivó la línea de investigación de automatización de procesos de fabricación y Análisis y Diseño del proceso de desarrollo de software. Ha sido responsable y colaborador de diversos proyectos de investigación internos de la Facultad de Ingeniería de la U.A.Ch.

PERLA IVONNE CORDERO DE LOS RÍOS. Es Ingeniero en Sistemas Computacionales en Hardware desde el 1999 y estudió la maestría en Sistemas de Información en el 2004 en la Universidad Autónoma de Chihuahua. Se ha desempeñado como maestro-investigador de tiempo completo en la Facultad de Ingeniería desde el 2004, impartiendo diversas cátedras de licenciatura. Cuenta con el perfil PROMEP desde el 2009. Fue miembro del cuerpo académico de Ciencias en la Computación (UACH-CA-97) y cultivó la línea de investigación de automatización de procesos de fabricación y Análisis y Diseño del proceso de desarrollo de software. Ha sido responsable y colaborador de diversos proyectos de investigación internos de la Facultad de Ingeniería de la U.A.Ch y ha participado como ponente en Congresos Nacionales e Internacionales y en publicaciones de artículos científicos y de divulgación como autora y coautora.