ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE GRIETAS OCASIONADAS POR CORROSIÓN EN VIGAS DE CONCRETO PRESFORZADO

A. ZALAPA-DAMIÁN¹, E. M. ALONSO-GUZMÁN², J. M. PONCE-ORTEGA¹,
C. BERNABÉ-REYES¹, M. C. GARCÍA-CHIQUITO², A. A. TORRES-ACOSTA³

¹ Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich., México.

² Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich., México,

³ Profesor Docente Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería y Ciencias Campus Querétaro,
Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, México.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es el de analizar el crecimiento de las grietas en elementos de concreto presforzado ocasionadas por el fenómeno de corrosión. Se elaboraron seis vigas de concreto presforzado de aproximadamente dos metros de largo por catorce centímetros de alto, en las cuales se embebieron cinco varillas de acero presforzado, una en la parte superior de la viga, y cuatro en la parte inferior. Las varillas fueron conectadas a un galvanostato para acelerar el proceso de corrosión. Finalmente se llegó a la conclusión de tener un par de ecuaciones lineales que representan el comportamiento del ancho y largo de grieta con respecto al tiempo.

Palabras clave: Concreto; presfuerzo; corrosión; grieta.

ABSTRACT

The objective of this work is to analyze the growth of cracks in prestressed concrete elements caused by the corrosion phenomenon. Six concrete beams were made, its length was two meters and its camber were 0.14 meters. The rods were connected to a galvanostat to accelerate the corrosion process. Finally, we conclude that in this first linear analysis the equation $y = 0.0018 * (\text{connection time the galvanostat})$ represents the behavior of the width of the crack with respect to time, where and the width of the crack.

Keywords: Concrete; pre-stressed; corrosion; crack.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar o crescimento das fendas em elementos de betão pré-esforçado, causados pelo fenómeno de corrosão. Foram feitas seis vigas de betão pré-esforçado de aproximadamente dois metros de comprimento por catorze centímetros de altura. As barras foram conectadas a um galvanostato para acelerar o processo de corrosão. Finalmente, concluiu-se que nesta primeira análise linear a equação $y = 0,0018 * (\text{tempo de conexão ao galvanostato})$ representa o comportamento da largura da fissura em relação ao tempo.

Palavras-chave: Betão; pré-estressado; corrosão; fendas.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de la industria de la construcción el material más usado es el concreto, en gran medida debido a que proporciona protección al acero de refuerzo contra el proceso de la corrosión, esto debido a su pH altamente alcalino alrededor de 13 (Alexander, 2013), lo que genera una capa de pasivación que rodea y protege al acero. Sin embargo, una vez que se pierde esta capa, ya sea por la presencia de cloruros o sulfatos en el ambiente o en la misma mezcla de concreto, se abre paso al proceso de la corrosión en el acero de presfuerzo.

Anteriormente se tenía la idea de que las estructuras elaboradas con concreto y acero de refuerzo llegaban a tener una vida útil ilimitada (Trocónis de Rincón, et al. 2006). Sin embargo, la corrosión en elementos de concreto presforzado conduce a daños severos, los cuales influyen en la vida útil de las estructuras ocasionando degradación estructural, el cual es un problema importante a nivel mundial (Bhargava, et al. 2006).

Cuando se genera corrosión en el acero embebido éste genera óxido, lo que ocasiona que haya un aumento en su volumen, esto promueve la aparición de grietas en el elemento debido a la baja capacidad del concreto para soportar los esfuerzos a tensión. Es por ello por lo que la discusión acerca de cómo predecir el grado de corrosión en el acero embebido en el concreto lleva ya varias décadas (Khan, et al. 2014).

Es importante analizar el comportamiento del acero de presfuerzo bajo condiciones de corrosión ya que algunos autores (Wang, et al. 2019) reportaron que el uso de acero de presfuerzo puede acelerar el proceso de corrosión, induciendo con ello la aparición de grietas en el concreto.

El proceso de corrosión en estructuras de concreto presforzado suele darse en periodos de tiempo largos, es por ello que en general en los estudios de laboratorio se acelera el proceso mediante técnicas electroquímicas. Los resultados que se obtienen de este tipo de pruebas ayudan a entender el fenómeno de la corrosión sin tener que esperar años a que el proceso se lleve a cabo de manera natural.

Por otro lado, las grietas generadas en el concreto por el proceso de corrosión son una causa importante de daño en las estructuras, es por ello por lo que los métodos de estimación de distribución de grietas son cada vez más populares (Ohno, Ohtsu, 2010). Es sabido y comúnmente aceptado que a altos niveles de corrosión se tendrán más óxidos de corrosión lo que significa grietas en el concreto ocasionadas por la expansión de los productos de corrosión (Gao, et al. 2016).

En este trabajo se presentan los resultados de la caracterización del ancho y largo de las grietas ocasionadas en vías de concreto presforzado sometidas a un proceso acelerado de corrosión. La metodología que se siguió se basó en el trabajo hecho por Andrade (Andrade, et al 2010).

2. PROCEDIMIENTO

Se elaboraron seis especímenes de concreto presforzado (figura 1), a los cuales se les adicionó cloruro de sodio (NaCl) y se conectaron a un galvanostato con la finalidad de aplicarles una corriente eléctrica constante y así acelerar el proceso de corrosión.

Figura 1. Geometría de las vigas utilizadas.

Se embebieron cinco varillas de 5 mm de diámetro, una en la parte superior y cuatro en la parte inferior del elemento, esto con la intención de que las barras de acero trabajen como cátodo y ánodo, respectivamente (figura 2).

Figura 2. Geometría de las vigas utilizadas.

Se caracterizaron semanalmente las grietas que se presentan, midiendo sus longitudes y anchos, esto hasta la fecha en que se prueben los elementos a flexión (figura 3).

El levantamiento de grietas o mapeo se registró en una hoja de cálculo para poder graficar el crecimiento de estas.

Figura 3. Caracterización de grietas ocasionadas por corrosión.

Se llevó a cabo la prueba flexión a tres puntos en las vigas para conocer la capacidad portante del elemento. Se colocó un perfil de acero en la base de la máquina universal de carga, lo cual sirvió como soporte.

Una vez hecha la prueba se retiraron las barras de acero y se caracterizaron, obteniendo diámetro efectivo, masa por metro lineal y área efectiva. Estas varillas de acero se cortaron para ser probadas a tensión.

Figura 4. Caracterización de varillas dañadas por corrosión.

De la caracterización de las grietas se realizaron gráficas donde se consideraron los anchos y largos máximos de cada grieta. Se analizaron los resultados de manera acumulada con la intención de observar la tasa de cambio con respecto al tiempo, y así poder proponer una ecuación representativa del comportamiento de las grietas.

3. RESULTADOS

En la siguiente tabla 1 se muestran los resultados promedios de las pérdidas de diámetro efectivo, masa por metro lineal y área efectiva, medidos en el acero de refuerzo extraído de las vigas después de haberlas sometido a la prueba de flexión.

Tabla 1. Caracterización del acero de refuerzo extraído de las vigas.

Característica	Vigas						Porcentaje de pérdida (%)
	1	2	3	4	5	6	
Diámetro efectivo (mm)	4.77	4.70	4.77	4.54	4.52	4.48	7.4
Masa por metro lineal (kg/ml)	0.14	0.13	0.14	0.14	0.13	0.14	11.23
Área efectiva (cm ²)	0.18	0.17	0.18	0.17	0.17	0.17	15

Se puede observar que el mayor porcentaje de pérdida se tiene en el área afectiva esto puede deberse a que se consideró como radio de la varilla al promedio de las picaduras producidas por corrosión.

A continuación, se presentan gráficas en donde se analiza el incremento en el ancho de las grietas generadas por corrosión en viguetas de concreto presforzado en las vigas 1 y 2, el mismo proceso se realizó en las 6 vigas.

Figura 5. Incrementos acumulados del ancho de grieta en las vigas 1 y 2.

Una vez graficados los incrementos acumulados mostrados en la figura 5, se trazó una línea de tendencia de cada una de las líneas que representan a las grietas generadas por corrosión. Después se encontraron las pendientes de cada línea y con ello se llevó a cabo un análisis estadístico para encontrar datos atípicos y así poder descartarlos al momento de proponer una ecuación representativa del comportamiento de las grietas.

Figura 6. Incrementos acumulados del largo de grieta en las vigas 1 y 2.

En la figura 6 se presenta el incremento en el largo de las grietas generadas por corrosión en viguetas de concreto presforzado, donde también se presentan grietas que presentan un comportamiento atípico, por lo que se llevó a cabo de igual manera un análisis estadístico para poder encontrar una ecuación lineal representativa.

4. CONCLUSIONES

La corrosión fue de tipo “localizada”, acto por el cual al realizar la prueba de tensión de acero se presentó la falla en las zonas de picadura, en los especímenes correspondientes a esta investigación, durante la prueba de tensión se presentó la falla fuera de la zona marcada en las varillas, ruptura causada sobre un área afectada por la picadura.

La corrosión ocasionó la disminución de la masa del acero alrededor de un 15% en el tercio medio.

En cuanto al ancho y largo máximo de grieta se llegó al siguiente par de ecuaciones (ecuaciones 1 y 2) lineales, las cuales están en función del tiempo de conexión en el galvanostato.

$$\text{ancho máximo de grieta} = 0.0018 * \text{tiempo de conexión del galvanostato} \quad (1)$$

$$\text{largo máximo de grieta} = 0.057 * \text{tiempo de conexión del galvanostato} \quad (2)$$

La investigación continua en proceso y se espera poder mejorar el modelo haciendo uso de otras técnicas como aprendizaje automático para mejorar las predicciones del comportamiento de las grietas así como la capacidad de carga en las vigas de concreto presforzado.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo brindado por el Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” de la U.M.S.N.H., así como al Instituto Mexicano del Transporte.

6. REFERENCIAS

- Andrade, C., Muñoz, A., Torres-Acosta, A. (2010), “*Relation between crack width and corrosion degree in corroding elements exposed to the natural atmosphere*”, Framcos.Org, pp. 853–858.
- Alexander, N. D. B. M., Bertron, A. (2013), *Performance of Cement-Based Materials in Aggressive Aqueous Environments*, vol. 10. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Bhargava, K., Ghosh, A. K., Mori, Y., Ramanujam, S. (2006), “*Analytical model for time to cover cracking in RC structures due to rebar corrosion*”, Nucl. Eng. Des., vol. 236, no. 11, pp. 1123–1139, Jun.
- Gao, Z. C., Liang, R. Y., Payer, J., Patnaik, A. K. (2016), “*Mass loss and capacity loss of reinforced concrete slabs with and without polypropylene fibers corroded with pre-existing cracks and sustained loading*”, Risk Mgmt Conf, no. October 2017.
- Khan, I., François, R., Castel, A. (2014) “*Prediction of reinforcement corrosion using corrosion induced cracks width in corroded reinforced concrete beams*”, Cem. Concr. Res., vol. 56, pp. 84–96.
- Ohno K., Ohtsu, M. (2010), “*Crack classification in concrete based on acoustic emission*”, in Construction and Building Materials, vol. 24, no. 12, pp. 2339–2346.
- Trocónis de Rincón, O. et al. (2006), “*Durability of concrete structures: DURACON, an iberoamerican project. Preliminary results*”, Build. Environ., vol. 41, no. 7, pp. 952–962, Jul.
- Wang, L., Dai, L., Bian, H., Ma, Y., Zhang, J. (2019), “*Concrete cracking prediction under combined prestress and strand corrosion*”, Struct. Infrastruct. Eng., vol. 0, no. 0, pp. 1–11.