

DIFERENCIAS EN LA FISURACIÓN POR CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS COMPRIMIDAS O TRACCIONADAS EN VIGAS DE HORMIGÓN

ORTEGA, Néstor F.; AVELDAÑO, Raquel R.; PRIANO, Carla; SEÑAS, Lilia

Dpto. de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. e-mail: ravelda@criba.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo, se presentan los resultados de investigaciones realizadas en vigas de hormigón armado, cuyas armaduras estaban en proceso corrosivo y se encontraban comprimidas o traccionadas, con distintos valores de tensión. Se efectuó el seguimiento de la fisuración, originada por la corrosión de las armaduras, a fin de determinar si existía un comportamiento diferente en elementos sometidos a tracción o a compresión. Se realizó la gravimetría de las barras corroídas, para determinar la pérdida de peso generada por la corrosión, en ambos casos. Paralelamente, en probetas de hormigón, realizadas con la misma dosificación, sometidas a esfuerzo de compresión, se realizaron ensayos de Capacidad de Succión Capilar, para determinar la influencia de la compresión, en la posibilidad del desplazamiento de fluidos dentro del hormigón. En edificios de hormigón del patrimonio moderno, las conclusiones obtenidas de estos ensayos, permiten detectar la necesidad de intervención y reparación de los elementos afectados por corrosión, con mayor o menor celeridad, de acuerdo a la magnitud y forma de la fisuración, según que el elemento esté comprimido o traccionado.

1. INTRODUCCION

La durabilidad de las estructuras de hormigón, que constituyen parte del patrimonio moderno, depende de muchos factores de origen físico, químico y/o biológico, que pueden acelerar su deterioro. Uno de esos factores, lo constituye la corrosión de las armaduras dentro del hormigón, que generan diversos daños en la superficie exterior del mismo, tales como antiestéticas manchas de óxido, y fisuras (aparte de las originadas por las cargas) y descascarado, que afectan su vida útil. Por este motivo, se han desarrollado numerosos trabajos de investigación al respecto. Se ha determinado que la velocidad con que ellas se corroen, es función de múltiples factores, provenientes tanto de las condiciones operativas, como del medio: pH de la zona de interfase entre las barras y el hormigón, presencia de distintos elementos agresivos, temperatura y humedad ambiente, permeabilidad y capilaridad del hormigón, espesor de recubrimientos, esfuerzos actuantes sobre las armaduras, etc., que pueden influenciar en forma individual o conjunta.

La consideración de los esfuerzos en las armaduras sometidas a corrosión, es uno de los aspectos menos tenidos en cuenta por los investigadores. En [1], se aprecia un trabajo con vigas bajo cargas estáticas y cíclicas, sometidas a corrosión acelerada, destacándose la influencia de: la relación agua / cemento, el recubrimiento de hormigón y el incremento de la carga y su frecuencia, en el esquema de fisuración. En [2], se

emplearon vigas con armaduras de distintas cuantías, sometidas a flexión, humectadas con agua de mar, efectuándose observaciones metalográficas, de Potenciales de Corrosión y gravimétricas. También se han realizado trabajos en vigas de hormigón con pretensado adherente [3], donde se estudió la evolución de la fisuración y la redistribución de esfuerzos asociada al proceso corrosivo.

En el presente trabajo se comparan los resultados de investigaciones realizadas con vigas de hormigón armado, sometidas a un proceso de corrosión acelerada de sus armaduras. En un primer grupo de vigas, se aplicó este proceso corrosivo a las armaduras solicitadas con distintos valores de tracción, mientras que en otro grupo, se provocó la corrosión de las armaduras solicitadas a compresión, con valores de tensión equivalentes a los empleados en el anterior ensayo de tracción. Separadamente, resultados parciales de estos ensayos han sido motivo de varias publicaciones [4-8].

En ambos ensayos, se emplearon análogas características mecánicas de hormigón y acero e igual relación recubrimiento/diámetro de las barras de armadura. La corrosión acelerada, fue generada por la imposición de una corriente galvanostática, más la acción de cloruros disueltos en el agua que humectaba superficialmente la zona a degradar.

Para cada tipo y valor de sollicitación de las armaduras, se midió en la zona ensayada, la fisuración por corrosión de la superficie del hormigón, analizándose la influencia del aumento de la tensión en las armaduras, en el proceso de degradación de las vigas. Posteriormente, se comparó el avance de dicha fisuración, entre las vigas con armaduras a tracción y las vigas con armaduras sometidas a igual valor de tensión, pero solicitadas a compresión. Asimismo, se contrastaron los resultados obtenidos en las gravimetrías de las barras afectadas por la corrosión, en ambos casos.

Paralelamente, se desarrollaron ensayos de succión capilar, en probetas del mismo hormigón sometidas a compresión, con una metodología similar a la prescrita por la norma IRAM 1871 [9], con el fin de establecer si este efecto mecánico afecta a la estructura porosa del hormigón, influyendo así en su durabilidad. Para ello, se diseñó un dispositivo para generar en las probetas, compresiones del mismo orden de magnitud que los que afectaban a las vigas, durante el ensayo de corrosión.

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1 Construcción de probetas

Para realizar los ensayos con corrosión en armaduras a tracción, se construyeron vigas de hormigón armado de sección rectangular (8 x 16 cm) y longitud de 220 cm, con una armadura longitudinal formada por cuatro hierros de 4,2 mm de diámetro nominal (dos en el cordón superior y dos en el inferior), y estribos cerrados realizados en alambre de 2,1 mm de diámetro nominal, distanciados cada 10 cm. Puede verse en la Figura 1, un esquema del ensayo.

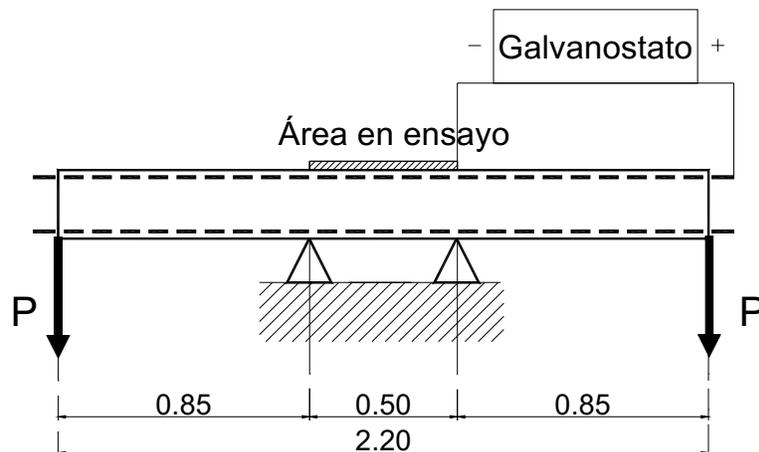


Figura 1. Esquema del ensayo con armaduras a tracción

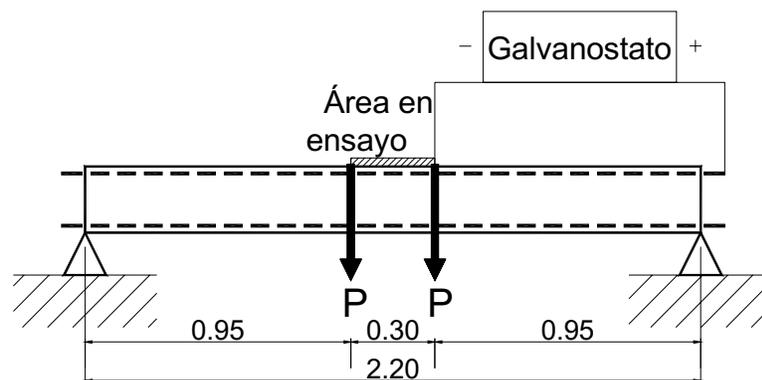


Figura 2. Esquema del ensayo con armaduras a compresión

Para realizar los ensayos de corrosión en armaduras comprimidas, se construyeron vigas de hormigón armado de sección cuadrada (8 x 8 cm) y cuya longitud fue de 220 cm, con una armadura longitudinal formada por cinco hierros de 4,2 mm en el cordón inferior y dos de 4,2 mm en el superior e igual sección y distribución de estribos que en el caso anterior. Las dimensiones geométricas de las vigas y las secciones de las barras de acero, se eligieron de manera de generar, en el cordón comprimido, análogas tensiones a las que fueron sometidas las armaduras a tracción, en los ensayos previos. Un esquema de este ensayo, puede verse en la Figura 2.

En ambos casos, las armaduras longitudinales tuvieron un recubrimiento de 1 cm (relación recubrimiento/diámetro $c/d=2,4$).

En las vigas a ensayar, se trató de reproducir condiciones similares a las que ocurren habitualmente en la práctica. El hormigón fue colado en los encofrados en 3 capas y vibrado mecánicamente. Fue curado, humectando la superficie durante los primeros 7 días, permitiendo posteriormente la continuación del fraguado, hasta el momento del ensayo, en ambiente de laboratorio (temperatura $\cong 20^\circ \text{C}$, humedad relativa $\cong 50\%$).

El hormigón empleado en la elaboración de todas las vigas, respondió a las características mostradas en la Tabla 1, donde las resistencias a compresión y a tracción en las probetas cilíndricas de 15x30 cm fueron obtenidas de acuerdo a normas IRAM 1534, 1546 y 1658 [10-12]. Las propiedades del acero utilizado, se indican en la Tabla 2, donde los ensayos a tracción de las probetas fueron realizados de acuerdo a normas IRAM – IAS U 500-528 y 102 [13-14].

Tabla 1. Composición y características del hormigón

. Materiales constitutivos (kg/m ³ de hormigón):	
Cemento Portland Normal con filler calcáreo, CPF40 IRAM 50000	300
Agregado fino (arena natural silícea)	864
Agregado grueso (canto rodado TMN 25 mm)	1.050
Agua potable de red	175
. Asentamiento (cm)	8,0
. Resistencia media rotura compresión (MPa)	35,8
. Resistencia de tracción por compresión diametral (MPa)	3,8
. Módulo de elasticidad teórico (MPa) [15]	25.900

Tabla 2. Características de las armaduras

	Tipo de acero	Diámetro (mm)	Límite Elástico (MPa)	Tensión de Rotura (MPa)
Armadura longitudinal	Dureza Natural	4,2	680	690
Estribos	Alambre recocido	2,1	302	414

En Tabla 1 puede apreciarse que las resistencias medias resultaron algo superior a lo esperado, de acuerdo a la relación a/c y el tipo de agregado grueso, habiéndose ensayado 3 probetas.

2.2 Proceso de corrosión bajo solicitaciones mecánicas

En cada uno de los ensayos, se adoptó diferente vinculación en las vigas, y fueron sometidas a distintos niveles de carga, a fin de solicitar las armaduras superiores (que serían corroídas), con esfuerzos de tracción o compresión. Dadas las condiciones de vínculo, la zona central de las vigas, soportaba momentos flectores prácticamente constantes en toda su extensión, originando una sollicitación uniforme en las armaduras que iban a ser corroídas, cuyos valores se indican en la Tabla 3.

Esta zona central de la viga, se mantuvo permanentemente humectada con una solución de 3 g. de Cloruro de Sodio por litro, para aumentar la conductividad del medio. Un galvanostato proveyó una intensidad de corriente constante durante todo el ensayo, a través de un contra electrodo de acero inoxidable ubicado sobre la superficie superior del hormigón. La densidad de corriente aplicada, fue de 100 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ que es alrededor de 10 veces la máxima hallada en estructuras de hormigón armado altamente corroídas

[16], también ha sido adoptada por distintos investigadores [17-19], pues se obtienen penetraciones de ataque a las barras razonables, en tiempos prudentiales de ensayos.

Tabla 3. Solicitaciones mecánicas de las vigas ensayadas

Tensión nominal s/armaduras (MPa)	Ensayo con armaduras a tracción		Ensayo con armaduras a compresión	
	Denominación viga	Carga Aplicada (Kg)	Denominación viga	Carga Aplicada (Kg)
80	V ₁₃	20	V ₉₁	50
120	V ₁₄	40	V ₉₂	80
160	V ₁₂	60	V ₉₃	115
200	V ₁₁	80	V ₉₄	150

2.3 Ensayos

2.3.1 Ensayos de vigas

En ambos casos, la superficie exterior de las vigas, fue observada diariamente desde el comienzo de los ensayos, registrando el momento de la aparición de las primeras fisuras. Posteriormente, se efectuó la medición periódica del largo y ancho de fisuras (precisión $\cong 0,05$ mm), para hacer un seguimiento de las Áreas de Fisuración y Anchos Máximos de Fisura en el tiempo. Finalmente, se llevaron a cabo las gravimetrías de las armaduras afectadas, a fin de determinar las pérdidas de material.

2.3.2 Ensayos de absorción capilar

Con el mismo hormigón empleado en la elaboración de las vigas, se confeccionaron probetas adecuadas para analizar la Capacidad de Succión Capilar, en hormigón comprimido, con el fin de adaptar el ensayo, lo más posible, a la norma IRAM 1871. A tal efecto, se moldearon probetas prismáticas de sección cuadrada de 13,3 cm de lado e igual altura que las probetas normalizadas cilíndricas, de manera que se tuvieran áreas de succión equivalentes (Figura 3).



Figura 3. Probetas y molde

Para realizar este ensayo, con las probetas comprimidas, se procedió a cortarlas e impermeabilizar sus superficies laterales, tal como lo indica la norma IRAM 1871, sometiéndolas, a través de un dispositivo, a iguales niveles de compresión que los actuantes en las vigas del ensayo. Dicho dispositivo (Figura 4), mediante un torquímetro, permitía ajustar los tornillos de manera que transmitieran a la probeta, la compresión requerida.



a) Desarmado



b) Durante el ensayo de succión capilar

Figura 4. Dispositivo de compresión de probetas.

3. RESULTADOS

3.1 Seguimiento de la fisuración en las vigas

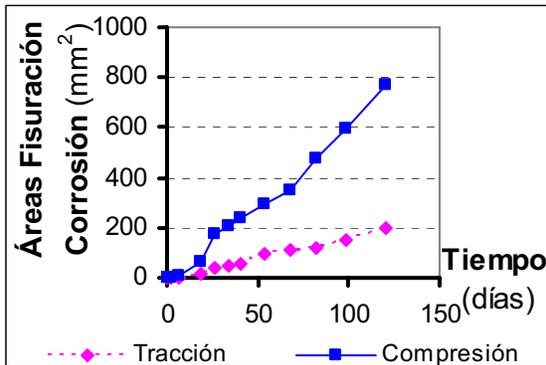
Durante el período de tiempo del ensayo (alrededor de 4 meses), se efectuó la medición del largo y ancho de las fisuras, periódicamente, calculándose el Área de Fisuración por Corrosión, como producto de ambos factores. Asimismo, se registró el Ancho Máximo alcanzado por las mismas. Se observó cierta tendencia al aumento en la velocidad de crecimiento de los Anchos Máximos de Fisuras, con el incremento de la sollicitación mecánica.

Comparando la fisuración por corrosión obtenida en vigas con armaduras comprimidas, con la medida en vigas con armaduras a tracción con tensiones equivalentes, se registraron notorias diferencias en la forma y avance de la fisuración. En primer lugar, respecto al inicio de la fisuración, se apreció que en todas las vigas con armaduras comprimidas, la fisuración por corrosión se manifestó muy tempranamente (2º día), frente a la exteriorizada en las vigas con armaduras solicitadas a tracción (19º día).

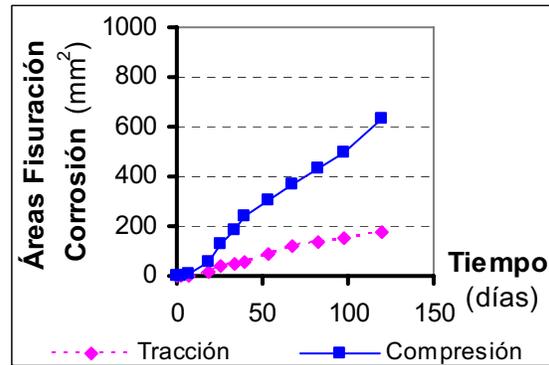
Por otra parte, el crecimiento de las Áreas de Fisuración (Figura 5), así como el del Ancho Máximo de Fisura originado por la corrosión (Figura 6), fue notablemente superior en las vigas con armaduras comprimidas, comparado con el correspondiente a las vigas con armaduras a tracción sometidas a tensiones equivalentes.

Cabe acotar que, si bien la longitud de las zonas corroídas fue diferente en cada caso, por razones operativas (ya que las fuerzas a ser aplicadas deberían ser muy importantes en el caso de armaduras comprimidas, para obtener análogas tensiones a las armaduras en tracción), en el análisis de las Áreas de Fisuración, los resultados

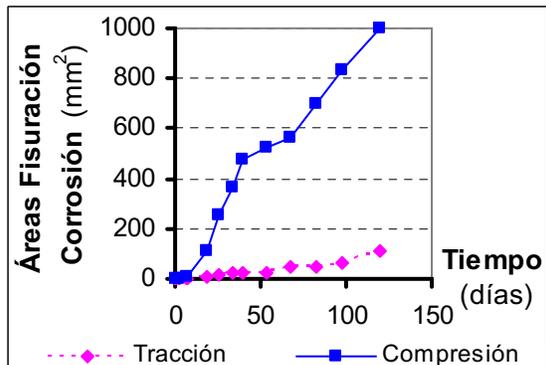
fueron extrapolados a la longitud de 50 cm para su comparación, multiplicando las mediciones por la relación: long. ensayo tracción / long. ensayo compresión = 1,67).



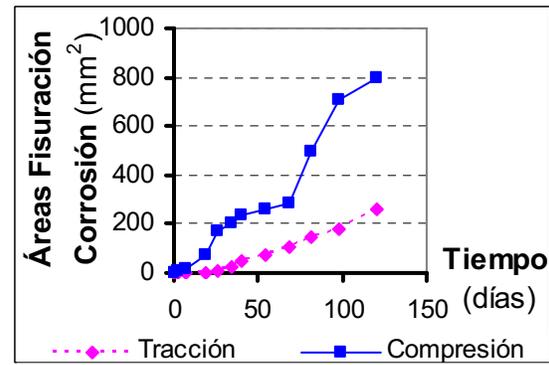
a) Tensión 80 MPa



b) Tensión 120 MPa



c) Tensión 160 MPa



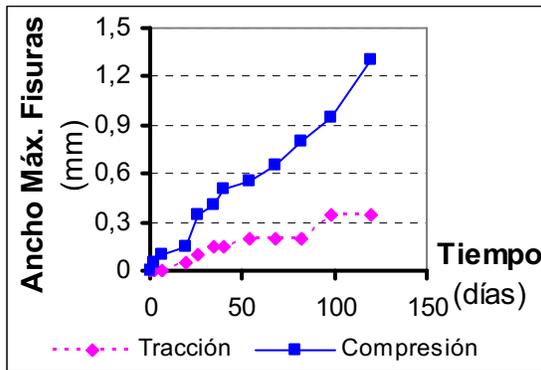
d) Tensión 200 MPa

Figura 5. Evolución de las Áreas de Fisuración, con armaduras traccionadas y comprimidas

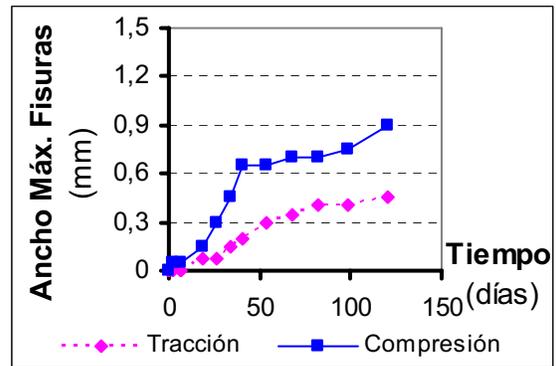
Es sabido que el origen de las fisuras por corrosión de las armaduras, en estructuras de hormigón armado, es debido a que los productos de corrosión poseen un volumen mayor que el material del que se originaron. Por ello, generan presiones internas que hacen que parte de estos productos rellenen los poros, otros salgan al exterior (en el caso de armaduras a tracción, por las fisuras de flexión, si existen) y el resto genera tensiones que, al superar la resistencia a tracción del hormigón, éste se fisura. La dirección de estas fisuras por corrosión es longitudinal, siguiendo la dirección de las barras, diferenciándose así de las fisuras originadas por la flexión, que son transversales.

En el caso de las armaduras comprimidas, no existen en esa zona fisuras por flexión, y como el hormigón circundante está también comprimido, se estima que disminuye su capacidad para transportar fluidos (ver ítem 3.3). El producto que crece alrededor de las armaduras durante el proceso corrosivo, no encuentra una fácil salida hacia el exterior, generando mayores tensiones de tracción sobre el hormigón circundante a las barras. El efecto de estas tensiones de tracción (radiales respecto de las barras), se superpone

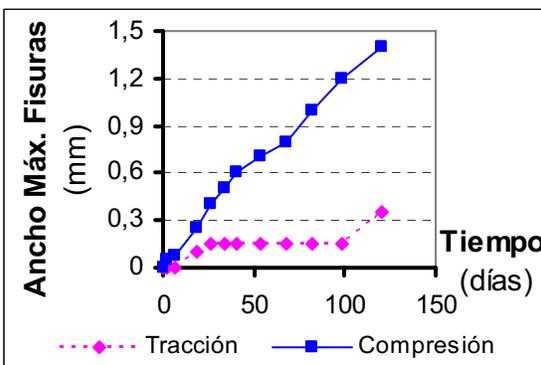
con las originadas por el efecto Poisson, disminuyéndolas en el caso de armaduras traccionadas, y aumentándolas en el de las comprimidas. Por ello, la fisuración alrededor de barras comprimidas se origina y crece más rápidamente que en las traccionadas. Esto se condice con las conclusiones obtenidas por Rüsçh [20] en estados biaxiales de tracción y compresión combinadas, en probetas de hormigón.



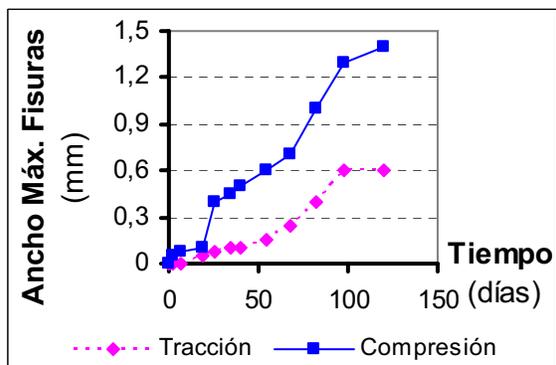
a) Tensión 80 MPa



b) Tensión 120 MPa



c) Tensión 160 MPa



d) Tensión 200 MPa

Figura 6. Evolución del Ancho Máximo de Fisuras, con armaduras traccionadas y comprimidas

3.2 Gravimetría de las armaduras de las vigas

Finalizado el período previsto de ensayo, se removió el hormigón adyacente a las armaduras en las zonas ensayada y aledaña, para realizar un relevamiento de las zonas afectadas por la corrosión, en barras longitudinales y estribos. Posteriormente, se efectuó en cada caso, la gravimetría de las barras, para determinar la pérdida de material debida a la corrosión, de acuerdo a las normas ASTM G1-03 [21], cuyos resultados se exponen en las Tablas 4 y 5, para armaduras a tracción y a compresión, respectivamente. Es de hacer notar, que la sollicitación empleada en las armaduras a tracción, corresponde a tensiones de tracción en el hormigón, como máximo en el límite teórico de la fisuración, por lo que las vigas no presentaban fisuras visibles por flexión.

Tabla 4. Pérdidas gravimétricas por corrosión en vigas con armaduras traccionadas

Viga	Barras afectadas (cant. Estribos)	Pérdidas (g)		Pérdidas (%)
		Parciales	Total	
V ₁₃ (80 MPa)	Cordón superior	47,28	73,82	33,3
	Cordón inferior	2,13		2,2
	Estribos (6)	24,41		34,3
V ₁₄ (120 MPa)	Cordón superior	54,07	77,48	38,3
	Cordón inferior	7,58		6,9
	Estribos (7)	15,83		19,9
V ₁₂ (160 MPa)	Cordón superior	47,92	72,51	32,4
	Cordón inferior	2,61		2,3
	Estribos (7)	21,98		26,5
V ₁₁ (200 MPa)	Cordón superior	43,38	69,89	31,1
	Cordón inferior	2,83		2,7
	Estribos (7)	23,68		28,5

Tabla 5. Pérdidas gravimétricas por corrosión en vigas con armaduras comprimidas

Viga	Barras afectadas (cant. Estribos)	Pérdidas (g)		Pérdidas (%)
		Parciales Corregidos <i>(Parciales reales)</i>	Total Corregido <i>(Total real)</i>	
V ₉₂ (80 MPa)	Cordón superior	45,82 (27,49)	58,45 (35,07)	31,1
	Cordón inferior	2,52 (1,51)		2,5
	Estribos (4)	10,12 (6,07)		20,9
V ₉₃ (120 MPa)	Cordón superior	46,60 (27,96)	63,48 (38,09)	32,9
	Cordón inferior	8,10 (4,86)		3,0
	Estribos (4)	8,78 (5,27)		18,1
V ₉₄ (160 MPa)	Cordón superior	45,03 (27,02)	59,33 (35,61)	32,9
	Cordón inferior	5,20 (3,12)		2,1
	Estribos (4)	8,78 (5,27)		18,8
V ₉₂ (200 MPa)	Cordón superior	49,07 (29,44)	64,75 (38,84)	38,5
	Cordón inferior	5,88 (3,53)		2,8
	Estribos (4)	9,78 (5,87)		20,2

En la Tabla 5, se presentan las pérdidas gravimétricas obtenidas en las vigas con armaduras a compresión. Debido a que la longitud ensayada en el caso de estas

armaduras fue menor, se presentan los valores gravimétricos corregidos, mediante la multiplicación por 1,67, que es el factor que equipara las dos longitudes, para hacer las mediciones comparables. Cabe acotar, que esta extrapolación simplificada, podría introducir algún error en la zona anódica considerada. Entre paréntesis se indican los valores de pérdidas reales, obtenidos del ensayo.

En el caso de las armaduras a tracción, las pérdidas totales fluctuaron entre 70 y 78 gs, mientras que en el caso de armaduras a compresión, lo hicieron entre 59 y 65 gs (valor corregido, para hacerlos comparables). Es decir, en ambos casos, y en las condiciones indicadas de ensayo, la variación estuvo dentro del 10 %, no evidenciando una tendencia clara de crecimiento con el incremento de las tensiones en las armaduras. Las pérdidas gravimétricas teóricas, según Faraday, son proporcionales a la corriente aplicada, que en ambos casos fue la misma. Si bien el incremento de la tensión actuante en las armaduras, no pareció influir en la pérdida gravimétrica, comparando los valores obtenidos en ambos casos de la pérdida de material por corrosión, puede apreciarse que en el ensayo con armaduras a compresión, los valores corregidos resultaron algo menores que los de las armaduras a tracción. Estas diferencias apreciadas, se deberían a diferencias en la resistividad del recubrimiento: en las comprimidas, la resistividad sería mayor, debido a tener una estructura interna más cerrada (ver ítem 3.3). La verificación experimental de la resistividad no se realizó, por no disponer del equipo correspondiente.

3.3 Ensayo de absorción capilar en probetas comprimidas

Efectuado el ensayo de absorción, en la forma indicada en el ítem 2.3.2, pudo observarse una tendencia a disminuir la capacidad de succión capilar en las probetas sometidas a distintos niveles de compresión, como se aprecia en la Figura 7. En ella, se indica con P₁ y P₂, las probetas patrón (sin carga), y con T₁, T₂ y T₃, las probetas sometidas a tensión de compresión de 60, 90 y 130 kg/cm², respectivamente.

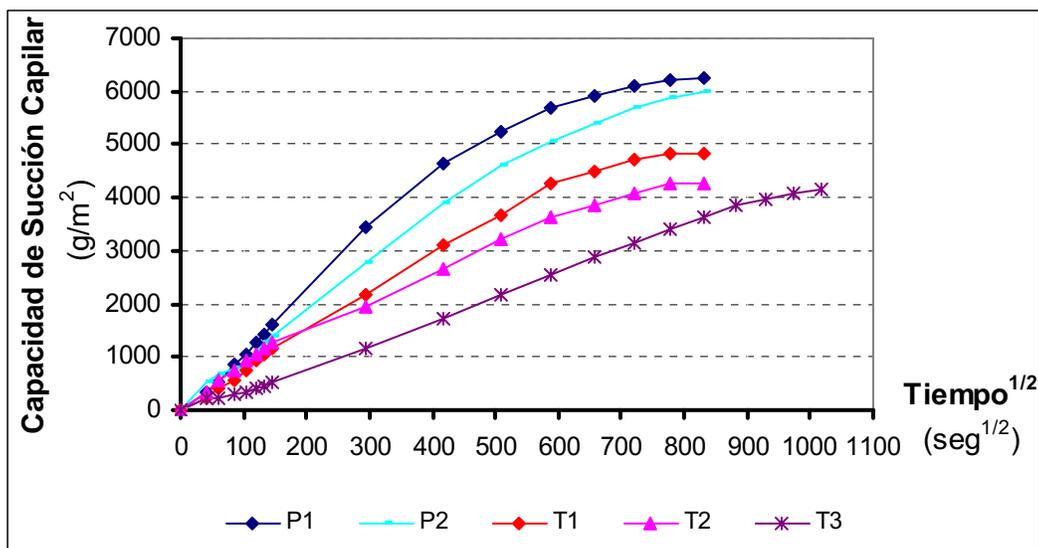


Figura 7. Capacidad de succión capilar, en probetas con y sin compresión

Esta disminución en la Capacidad de Succión Capilar, permite inferir cierta influencia de la compresión en la estructura interna del hormigón, que podría estar cerrando microfisuras del hormigón. Esta situación influye en el caso de la corrosión de armaduras y en su manifestación externa (fisuración del recubrimiento del hormigón), ya que dificultaría la salida de los productos de la corrosión hacia el exterior, y además la resistividad del hormigón se vería modificada. Al respecto, se entiende que se requeriría profundizar estos estudios con mayor experimentación, ya que este ensayo se realizó con una probeta para cada tensión de compresión y dos sin tensión.

CONCLUSIONES

De los resultados expuestos sobre el estudio realizado con vigas de hormigón armado sometidas a un proceso de corrosión galvanostático, se puede concluir:

- 1) La fisuración en el recubrimiento de hormigón de las vigas, debida a la corrosión de las armaduras comprimidas, se inicia antes y es muy superior a la obtenida cuando las armaduras están sometidas a tracción con una tensión equivalente.
- 2) La tensión actuante en las armaduras, no influye significativamente en el incremento de las pérdidas de material corroído, ya sea que la armadura esté comprimida o traccionada (trabajando el hormigón con tensiones de tracción menores que la de fisuración teórica).
- 3) La pérdida del material en las armaduras comprimidas, es menor que la obtenida en armaduras a tracción con igual valor de tensión.
- 4) En el hormigón comprimido existe una tendencia a tener menor Capacidad de Succión Capilar, disminuyendo con el aumento de la compresión. Este efecto influiría en la manifestación de la fisuración. Para generalizar esta conclusión, se requeriría la realización de un mayor número de ensayos.

Como conclusión general de las presentes investigaciones, puede decirse que, en edificios de hormigón del patrimonio moderno, afectados por corrosión de sus armaduras, podría observarse una mayor manifestación exterior (fisuras) en el hormigón con armaduras comprimidas, que en aquél con armaduras traccionadas con igual tensión, pero que esa mayor manifestación del daño, no indica una mayor pérdida de sección de armadura, ya que ésta resulta menor en el caso de los elementos comprimidos. Esto se podrá tener en cuenta, al momento de decidir la necesidad de intervención y reparación de los elementos afectados, con mayor o menor celeridad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su gratitud a la Secretaría General de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina, por el financiamiento de estas investigaciones, a los Laboratorios de Estudios y Ensayos de Materiales y de Modelos Estructurales de la UNS y al técnico de laboratorio J.P. Gorordo, por su colaboración en la ejecución de los ensayos.

REFERENCIAS

- [1] Hwang C.L., Lin R.Y., Chen J.C., Kuo J.H., (1991), "Crack Patterns and Measurement Technique in Reinforced Concrete Structures", 2nd *International Conference*, Montreal, Canada, august 1991, pp.1163-1183.
- [2] Perepérez Ventura, B., Barberá Ortega, E., Valcuende Payá, M., Alonso Durá, A., Gil Salvador, L., (1997), "Durabilidad en ambiente marino de elementos lineales de hormigón armado, bajo carga de servicio", *Universidad Politécnica de Valencia*, pp. 163-172.
- [3] Ortega, N.F., López, C., Alonso, M.C., Andrade, M.C., (2001), "Mecánica estructural de elementos de hormigón, con armaduras activas adherentes sometidas a la corrosión", 14^o *Reunión de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón*, Olavarría, Argentina, octubre 2001, pp. 99-106.
- [4] Ortega, N.F., Aveldaño R.R., (2002), "Corrosión de vigas de hormigón armado con armaduras bajo tensión", *XVII Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural*, Rosario, Argentina, sep.2002, 13pp.CDRom.
- [5] Aveldaño R.R., Ortega N.F., (2003), "Efectos externos e internos de la corrosión en armaduras de vigas de hormigón, solicitadas mecánicamente", 15^a *Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón*, Santa Fe, septiembre 2003, 8 pp., CDRom.
- [6] Aveldaño R.R., Bessone J.B. y Ortega N.F., (2003), "Corrosión bajo tensión en hormigón armado. Efectos de la densidad de corriente y composición del medio electrolítico", *Jornadas SAM – CONAMET-SIMPOSIO MATERIA 2003*, Bariloche, Argentina, noviembre 2003, pp. 521-524.
- [7] Ortega, N.F., Aveldaño, R.R., (2008), "Analysis of tensed reinforced concrete beams during the corrosion process", *The Open Construction and Building Technology Journal*, Bentham OPEN (Bentham Science Publishers Ltd.), Vol. 2, pp. 243-250.
- [8] Aveldaño R.R., Ortega N.F., (2008), "Fisuración del hormigón por corrosión de armaduras sometidas a distintos niveles de compresión", *III Congreso Internacional, 17^o Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón*, Córdoba, Argentina, octubre 2008, pp. 479-486.
- [9] Instituto Argentino de Normalización y Certificación, "IRAM 1871. Hormigón. Método para la determinación de la Capacidad y Velocidad de Succión Capilar de agua para Hormigón Endurecido", diciembre 2004.
- [10] Instituto Argentino de Normalización y Certificación, "IRAM 1534. Hormigón. Preparación y curado de probetas en laboratorio para ensayos de compresión y de tracción por compresión diametral", noviembre 2004.
- [11] Instituto Argentino de Normalización y Certificación, "IRAM 1546. Hormigón de Cemento Portland. Método de ensayo de compresión", agosto 1992.
- [12] Instituto Argentino de Normalización y Certificación, "IRAM 1658. Hormigón. Determinación de la resistencia a la tracción simple por compresión diametral", noviembre 1995.
- [13] Instituto Argentino de Normalización y Certificación, "IRAM – IAS U 500-528. Barras de acero conformadas de acero natural, para armaduras en estructura de hormigón", junio 2004.
- [14] Instituto Argentino de Normalización y Certificación, "IRAM – IAS U 500-102 parte 5. Alambres y barras de acero de diámetro o espesor menor que 4mm. Método de ensayo de tracción", junio 1987.
- [15] Proyecto de Reglamento CIRSOC 201 "Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón", Instituto Nacional de Tecnología Industrial, noviembre 2002, (pág. 179).
- [16] Rodríguez J., Ortega, L.M., García, A.M., (1993), "Medida de la velocidad de corrosión de las armaduras en estructuras de hormigón, mediante un equipo desarrollado dentro del proyecto Eureka EU 401", *Hormigón y Acero*, 189, pp. 79-91.
- [17] Alonso, C., Andrade, C., Rodríguez, J., Diez, J.M., (1998), "Factors controlling cracking in concrete affected by reinforcement corrosion", *Materials and Structures*, Vol. 31, No.7, pp. 435-441.
- [18] Rodríguez, J., Ortega Basagoiti, L., Casal, J., Diez, J.M., (1996), "Comportamiento estructural de vigas de hormigón con armaduras corroídas", *Hormigón y Acero*, No. 200, pp. 113-131.
- [19] Torres Acosta, A., Sagüés, A., (1998), "Concrete cover cracking and corrosion expansion of embedded reinforces steel", 3rd *NACE Latin American Corrosion Congress (LATINCORR98)*, Cancún, México, pp. 215-233.
- [20] Leonhardt F., (1993), "Estructuras de Hormigón Armado. Bases para el dimensionado de estructuras de Hormigón Armado", Vol. I, Ed. El Ateneo, Bs. As.
- [21] American Society for Testing and Materials, "ASTM G1-03, (2003), Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens", Philadelphia, U.S.A.