

# Cr

CORROSIÓN

## Evaluación del comportamiento frente a la corrosión de estructuras de hormigón armado fabricadas con acero inoxidable dúplex 2001

*En este trabajo se ha evaluado la resistencia a la corrosión por cloruros de un nuevo acero inoxidable dúplex de bajo contenido en níquel, el AISI 2001. Se han utilizado técnicas electroquímicas, monitorizando el potencial de corrosión y la resistencia de polarización (LPR) mediante técnicas de corriente continua y medidas de corriente alterna mediante espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS). Los ensayos muestran un excelente comportamiento en presencia de elevados contenidos de cloruro del nuevo acero dúplex. Se ha caracterizado la composición de la capa pasiva del acero inoxidable mediante XPS.*



### **E. Medina**

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación, Universidad Politécnica de Madrid

### **I. Llorente, I. Aguilre y D.M. Bastidas**

Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM), CSIC, Madrid

EL TIEMPO DE VIDA ÚTIL en servicio de las estructuras de hormigón armado, se ve limitado por los procesos de corrosión originados por la acción de agentes agresivos presentes en el medio en el que se encuentran expuestos, siendo fundamentalmente atribuida esta degradación por corrosión al ataque por efecto de los cloruros en atmósferas salinas y por otro lado a los procesos de carbonatación provocados por concentraciones anormalmente altas de  $\text{CO}_2$ , especialmente en espacios con altas emisiones de dióxido de carbono y a su vez poco ventilados como es el caso de sótanos destinados para aparcamientos de vehículos. La utilización de armaduras de acero inoxidable en estructuras de hormigón es una alternativa que está recibiendo cada vez más consideración, con objeto de aumentar la durabilidad debido a su buen comportamiento frente a la corrosión en ambientes agresivos, especialmente en atmósferas marinas con elevado contenido de cloruros. El elevado coste del níquel provocado por la fluctuación de su valor de mercado ha motivado la fabricación de nuevos aceros inoxidables con bajo contenido en dicha aleación.

### **01. Introducción**

Las reacciones de hidratación del cemento proporcionan al hormigón una alta alcalinidad, con un pH comprendido normalmente entre 12 y 13, que protege al acero de las armaduras por la formación de una fina capa de óxido en la interfase acero-hormigón que lo mantiene pasivo.

Determinados contaminantes y agentes agresivos pueden romper dicha capa pasiva reduciendo el pH, que si alcanza niveles inferiores a 9.5 [1 y 2] dejan las armaduras expuestas a una posible corrosión que se podrá producir si hay presencia simultánea de oxígeno y agua.

Los iones cloruros son el agente agresivo más dañino por la corrosión por picaduras que provocan, y se pueden encontrar en los componentes del hormigón, como el agua y los áridos, en determinados ambientes como el marino y por aportación de sales de deshielo en el caso de los puentes [3].

Soluciones como el empleo de aditivos inhibidores de corrosión, la protección catódica, o las armaduras de acero inoxidable son alternativas que garantizan una mayor durabili-

dad de las estructuras de hormigón sometidas a ambientes agresivos. Los inhibidores presentan ventajas como versatilidad y coste, pero en procesos en los que el proceso de corrosión está en un estado avanzado su eficiencia disminuye [4]. La protección catódica requiere de un mantenimiento continuo realizado por personal cualificado. El empleo de armaduras de acero inoxidable exige un mayor coste inicial, actualmente de cuatro a seis veces más que el acero al carbono (coste del material), lo que está limitando su utilización, pero asegura una excelente resistencia a la corrosión por iones cloruro, está libre de mantenimiento y presenta un mejor balance económico final a largo plazo [5].

Los aceros inoxidables austeníticos y dúplex son los tipos recomendados para su utilización en estructura de hormigón armado. El austenítico es el más utilizado, y su tolerancia a los cloruros es de 5 a 10 veces superior a la del acero al carbono [6]. El dúplex es más económico por su menor contenido de níquel y, sin embargo, presenta una mayor resistencia a la corrosión por picaduras de cloruros [7]. Por ello, los nuevos inoxidables de bajo contenido en níquel, austeníticos y dúplex, se están convirtiendo en una posible alternativa al acero al carbono convencional [5 y 8].

La capa pasiva que se forma en el acero inoxidable depende fundamentalmente de los elementos aleantes y tiene un espesor de sólo 1 a 4 nm [9], la naturaleza de esta capa pasiva depende del tipo de acero inoxidable utilizado y del medio de exposición. La producción de aceros inoxidables de bajo contenido en níquel es posible gracias a la adición de manganeso, que incrementa la solución de nitrógeno en el metal [10], el cual se acumula en la interfase metal/óxido durante el proceso de corrosión reteniendo en él al cromo en la capa pasiva [11], lo que explica su buen comportamiento.

En todos los casos, los aceros inoxidables permiten relajar unas medidas de durabilidad del hormigón pensadas, en su origen, para proteger el acero al carbono [12 y 13].

Además, diferentes estudios demuestran que el uso combinado de barras de acero inoxidable y acero al carbono en la armadura de una misma estructura de hormigón no aumenta el riesgo de corrosión, por formación de pares galvánicos, de di-

cha armadura en comparación con una armadura únicamente de acero al carbono [14 y 15].

Por lo tanto, la utilización de armaduras de acero inoxidable, en la estructura completa o sólo en algunos de sus elementos que vayan a estar expuestos a ambientes agresivos, especialmente en presencia de iones cloruro, mejora notablemente la durabilidad de la estructura.

En este trabajo se ha estudiado la resistencia a la corrosión frente a los cloruros de un nuevo acero inoxidable dúplex de bajo contenido en níquel, el AISI 2001 (EN 1.4482), comparándolo con tradicional dúplex AISI 2304 (EN 1.4362). Para ello, se han embebido barras corrugadas de 8 mm de diámetro en probetas de mortero contaminado con diferentes concentraciones de cloruros y se han mantenido durante 1,5 años en un recipiente hermético con un 95% aproximado de humedad. Durante ese tiempo se han realizado mediciones electroquímicas, monitorizando el potencial de corrosión y la resistencia de polarización, se ha aplicado la técnica de espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS) para realizar un seguimiento de las transformaciones que tienen lugar en la capa pasiva y analizar los factores que influyen en ella y, al final del periodo de estudio, se ha caracterizado la composición de la capa pasiva mediante espectroscopía fotoelectrónica de rayos X (XPS).

## 02. Experimental

Se han estudiado barras corrugadas de 8 mm de diámetro de acero inoxidable dúplex AISI 2001 y AISI 2304, laminadas en caliente y en frío respectivamente. Los aceros han sido suministradas por ACERINOX S.A. (Palmones, Cádiz) y por ROLDÁN S.A. (Ponferrada, León). La Tabla 1 muestra la composición química de ambos.

Las barras corrugadas se han embebido en probetas de mortero de 2 x 5,5 x 8 cm de tamaño (Figura 1), de dosificación 1:3:0,5 con cemento Portland 32,5 CEM II BL y arena normalizada CEM DIN-EN 196-1, en las que se ha añadido el 0; 0,4; 2 y 4% en peso de cemento de cloruro cálcico dihidratado ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Después del curado, las probetas se han mantenido en un recipiente hermético con un 95% aproximado de humedad relativa, durante todo el periodo de exposición de año y medio en el que se realizaron los ensayos.

En la caracterización electroquímica, se ha utilizado un potencióstato-galvanostato EG&G PARC, con una configuración de celda de tres electrodos (Figura 2): la barra de acero a ensayar como electrodo de trabajo (WE), un electrodo de referencia (RE) de calomelanos (SCE), y un anillo de guarda de acero inoxidable de 7 cm de diámetro como contraelectrodo (CE).

En cada ensayo, estabilizado el potencial de corrosión  $E_{\text{corr}}$  transcurridos 20 minutos, se ha aplicado

**Figura 1**  
**Elaboración de las probetas de mortero diseñadas para estudiar la resistencia a la corrosión por cloruros de las armaduras de acero inoxidable dúplex**



el método de la resistencia de polarización lineal (LPR) para determinar la resistencia de polarización  $R_p$ , imponiendo a cada barra corrugada una pequeña polarización de  $\pm 15$  mV respecto del  $E_{corr}$  a una velocidad de  $0,1667$  mV/s [16]. A partir de la  $R_p$  se ha obtenido la intensidad de corrosión  $i_{corr}$ , según la Ec. (1), tomando el valor de  $52$  mV para el coeficiente B de Stern-Geary [17].

$$i_{corr} = \frac{B}{R_p}$$

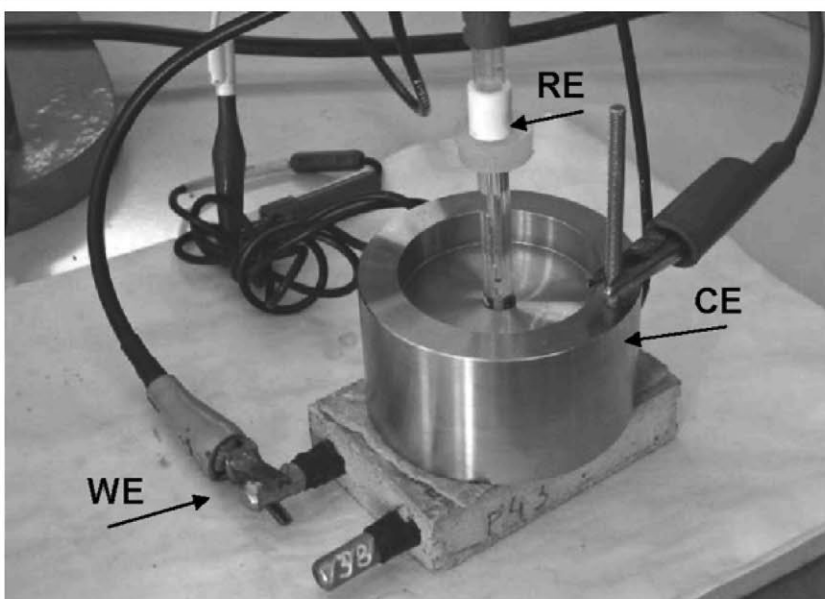
Después del método de LPR se ha aplicado la técnica de EIS con un analizador de frecuencias (FRA) Solartron y la misma configuración de celda electroquímica descrita anteriormente. A cada barra de acero se le ha aplicado una señal de corriente de  $10$  mV en un rango de frecuencias comprendido entre  $10^5$  Hz y  $10^{-2}$  Hz, aplicando un barrido de frecuencias de  $5$  pasos por década.

Los datos obtenidos se representan en el diagrama de Nyquist ( $-Z''$  vs.  $Z'$ ).

Después de un año y medio de exposición de las probetas, se ha extraído una barra de cada acero inoxidable dúplex de las que contienen el  $4\%$  de  $CaCl_2$  y se ha caracterizado la composición de la capa pasiva mediante la técnica XPS.

Los espectros de XPS se obtuvieron utilizando un espectrómetro Fisons MT500 equipado con un analizador de electrones hemisférico (CLAM2) y una fuente de rayos X con ánodo de magnesio ( $1253,6$  eV) con una potencia de  $300$  W. La presión residual en la cámara de análisis se mantuvo por debajo de  $10^{-8}$  torr durante el experimento. La energía de paso ha sido de  $20$  eV, que es típica de las condiciones de alta resolución. Las intensidades se estimaron calculando el área de cada pico después de restar la señal del fondo utilizando el método Shirley y ajustando la curva experimental a una combi-

**Figura 2**  
Celda electroquímica formada por tres electrodos: de trabajo (WE), de referencia (RE) y contraelectrodo (CE)



nación de componentes Gausianas y Lorentzianas de proporción variable. Las energías de ligadura fueron ajustadas utilizando el pico del Cls (C-C/C-H) a  $284,8$  eV. Las proporciones atómicas se obtuvieron a partir de las relaciones entre las intensidades de los picos y los factores de sensibilidad atómica de referencia.

El bombardeo iónico se llevó a cabo utilizando un cañón iónico EX05 incorporado en el equipo y que opera a un voltaje de  $5$  kV, una intensidad de  $10$  mA y una presión de  $10^{-7}$  torr. La corriente de la muestra fue de  $1$   $\mu$ A durante el bombardeo.

### 03. Resultados y discusión

Los valores de  $E_{corr}$  registrados durante el periodo de estudio de los dos aceros inoxidables dúplex no presentan diferencias significativas entre ambos, para cualesquiera de los contenidos de cloruros en el mortero, como muestra la Figura 3. Después de formarse la capa pasiva, el potencial se estabiliza en una franja de valores comprendidos en-

tre  $-100$  y  $-150$  mV, cualquiera que sea el contenido de cloruros en el mortero, en el que se considera una probabilidad incierta o inferior al  $10\%$  para que se presente la corrosión del metal cuando se trata de acero al carbono [18].

Los valores de  $i_{corr}$  presentan diferencias poco significativas entre los dos aceros inoxidables dúplex, inferiores a  $0,018$   $\mu$ A/cm<sup>2</sup> para cualesquiera de los contenidos de cloruros en el mortero estudiados como muestra la Figura 4, siendo siempre superiores las intensidades de corrosión en el acero inoxidable de bajo contenido en níquel AISI 2001, que en el dúplex tradicional AISI 2304. En ambos casos, las  $i_{corr}$  se encuentran muy por debajo del límite de  $0,1$   $\mu$ A/cm<sup>2</sup>, lo que indica una corrosión insignificante en términos de vida útil de la estructura, es decir, los dos aceros se encuentran en estado pasivo, resultado similar al de otros estudios [19 y 20].

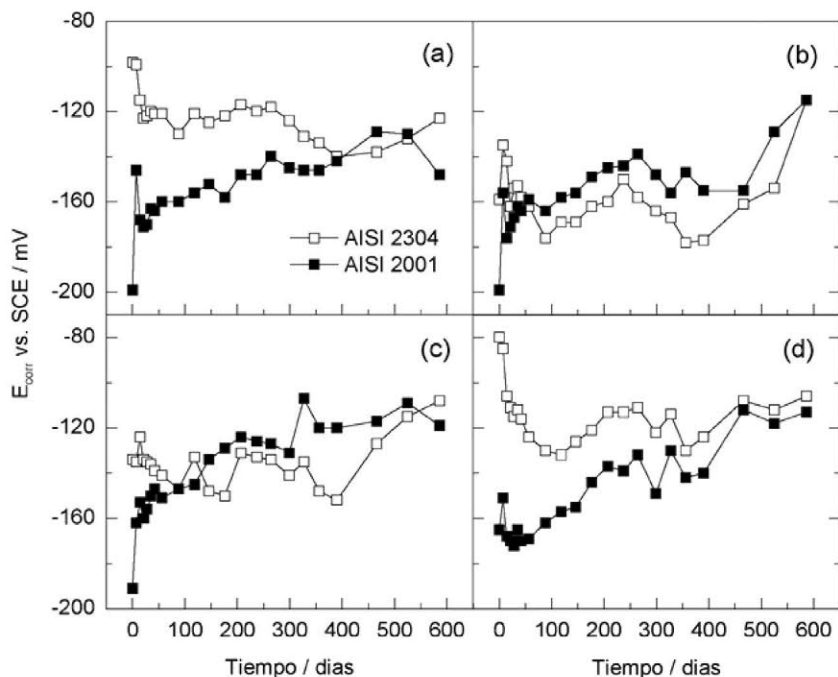
La Figura 5 muestra los diagramas Nyquist de los dos aceros inoxidables dúplex embebidos en mor-

**TABLA 1**

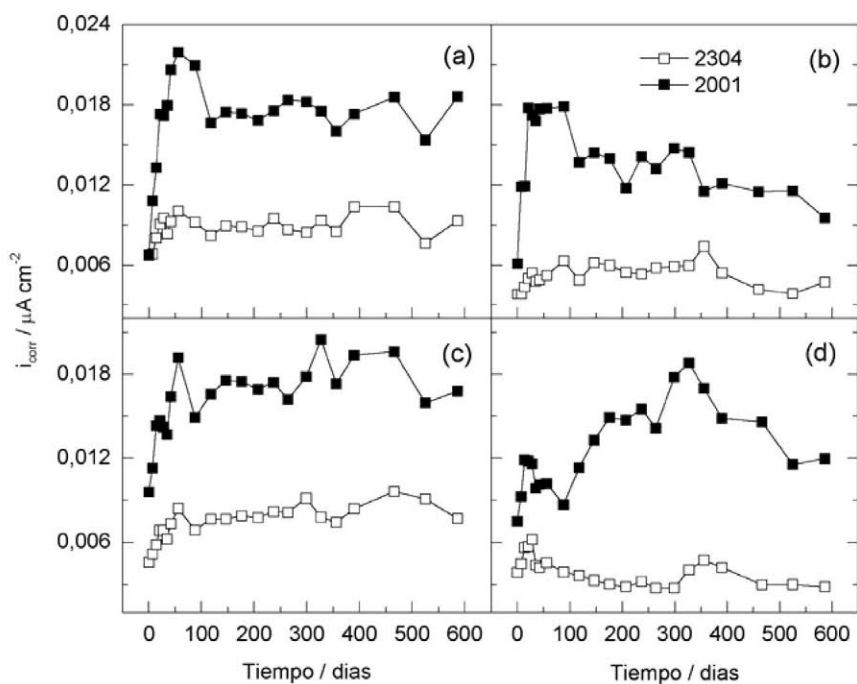
#### COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEROS ENSAYADOS [% EN PESO, RESTO FE]

Acero	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo
AISI 2001	0,028	0,65	4,19	0,023	< 0,010	20,07	1,78	0,08	0,22
AISI 2304	0,019	0,35	0,81	0,029	< 0,010	22,75	4,32	0,31	0,29

**Figura 3**  
Evolución de los valores de  $E_{\text{corr}}$  de las barras corrugadas de los aceros inoxidables dúplex AISI 2304 y AISI 2001 embebidas en mortero con a) 0%, b) 0,4%, c) 2% y d) 4% de  $\text{CaCl}_2$



**Figura 4**  
Evolución de los valores de  $i_{\text{corr}}$  de las barras corrugadas de los aceros inoxidables dúplex AISI 2304 y AISI 2001 embebidas en mortero con a) 0%, b) 0,4%, c) 2% y d) 4% de  $\text{CaCl}_2$



teros de cemento Portland con concentraciones de  $\text{CaCl}_2$  de 0; 0,4; 2 y 4%. Se observa un comportamiento capacitivo con la formación de un semicírculo ligeramente deprimido a altas frecuencias  $R_1$ - $\text{CPE}_1$  que

corresponde a la interfase acero-hormigón y otro semicírculo el cual está compuesto por dos constantes de tiempo a bajas frecuencias ( $R_2$ - $\text{CPE}_2$  y  $R_3$ - $\text{CPE}_3$ ) que corresponde a la capa pasiva y a los procesos redox

## LOS ACEROS INOXIDABLES PERMITEN RELAJAR UNAS MEDIDAS DE DURABILIDAD DEL HORMIGÓN PENSADAS PARA PROTEGER AL ACERO AL CARBONO

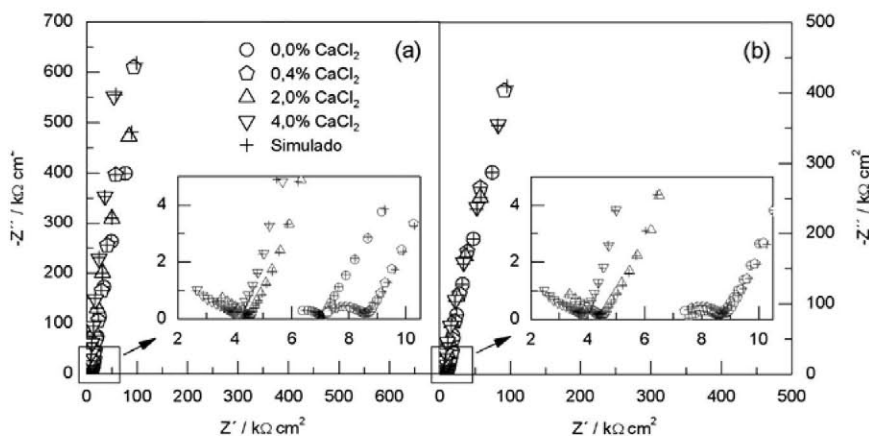
en la interfase del acero inoxidable, según el circuito eléctrico equivalente propuesto en la Figura 6. El valor de la resistencia del electrolito ( $R_e$ ) disminuye al aumentar el contenido en  $\text{Cl}^-$  estando comprendido entre 6,7 y 7,9  $\text{k}\Omega\text{cm}^2$ .

En la Tabla 2 se recogen los parámetros de impedancia utilizados para la simulación. Se observa que a altas frecuencias los valores de  $R_1$  y  $\text{CPE}_1$  están comprendidos en un rango entre 0,98-71,99  $\text{k}\Omega\text{cm}^2$  y 2,1-274,8  $\text{nFcm}^{-2}\text{s}^{-(1-\alpha)}$ , esta variación se atribuye a las diferentes reacciones de hidratación del cemento Portland en función de los contenidos de  $\text{Cl}^-$ . A frecuencias intermedias  $10^3\text{ Hz}$ - $10^2\text{ Hz}$ , el valor de  $R_2$  aumenta para la máxima concentración de  $\text{Cl}^-$ , mientras que  $\text{CPE}_2$  disminuye, este hecho se atribuye a la formación de la capa pasiva en la superficie del acero inoxidable. A bajas frecuencias el valor de  $R_3$  aumenta y el  $\text{CPE}_3$  disminuye, indicando una baja probabilidad de corrosión para estos aceros inoxidables dúplex, aún en presencia de contenidos de  $\text{Cl}^-$  del 4%.

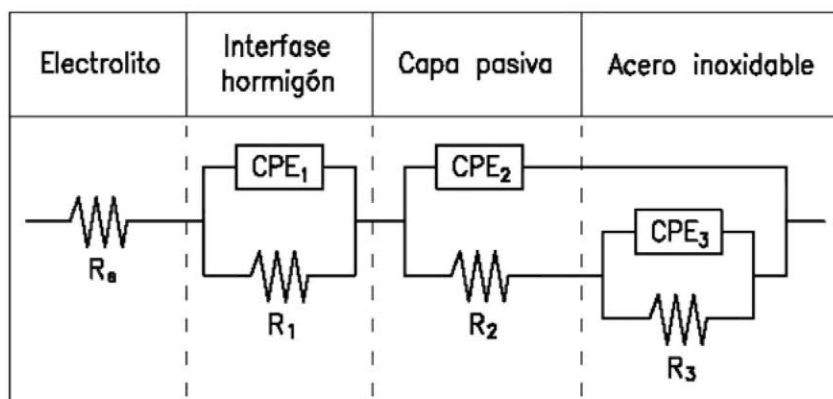
Los espectros de XPS de alta resolución obtenidos para O 1s, Fe 2p<sub>3/2</sub> y Cr 2p<sub>3/2</sub> en ausencia de bombardeo sobre los aceros inoxidables se muestran en la Figura 7. El espectro del O 1s muestra una componente más intensa a una energía de ligadura de 531,5 eV, que se puede asociar a la presencia de oxígeno en forma de grupos OH/C=O y otros dos componente de menor intensidad a energías de ligadura de 530,0 eV y 533,0 eV, que se pueden atribuir a la presencia de oxígeno en la forma de óxido y de grupos H<sub>2</sub>O/C-O respectivamente.

El espectro de Fe 2p<sub>3/2</sub> presenta dos componentes a energías de ligadura de 709,7 y 711 eV, que se pue-

**Figura 5**  
**Diagramas Nyquist a la edad de 1,5 años de los dos aceros**  
**inoxidables dúplex embebidos en mortero con 0%, 0,4%, 2% y 4%**  
**de CaCl<sub>2</sub> respecto al peso de cemento: (a) AISI 2304 y (b) AISI 2001**



**Figura 6**  
**Circuito eléctrico equivalente que simula los datos experimentales de**  
**los diagramas de impedancia para las barras corrugadas de los dos**  
**aceros inoxidables dúplex estudiados, el AISI 2304 y el bajo en níquel**  
**AISI 2001, embebidas en mortero con 0%, 0,4%, 2% y 4% de CaCl<sub>2</sub>**  
**respecto al peso de cemento**



**TABLA 2**

**PARÁMETROS UTILIZADOS EN LA SIMULACIÓN DE LOS DATOS DE LOS DIAGRAMAS DE IMPEDANCIA (\*)**

Acero dúplex	CaCl <sub>2</sub>	R <sub>0</sub>	Y <sub>1</sub>	α <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	α <sub>2</sub>	R <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	α <sub>3</sub>	R <sub>3</sub>
	%	kΩcm <sup>2</sup>	nFcm <sup>-2</sup> s <sup>-(1-α)</sup>		kΩcm <sup>2</sup>	μFcm <sup>-2</sup> s <sup>-(1-α)</sup>		kΩcm <sup>2</sup>	μFcm <sup>-2</sup> s <sup>-(1-α)</sup>		kΩ cm <sup>2</sup>
AISI 2001	0	7,62	133,5	0,76	0,98	44,1	0,94	2,46×10 <sup>3</sup>	89,0	0,59	4,7×10 <sup>8</sup>
	0,4	7,27	72,3	0,77	1,37	42,9	1,02	2,81×10 <sup>3</sup>	79,8	0,51	1,5×10 <sup>9</sup>
	2	6,95	34,0	0,57	4,90	63,6	1,00	1,66×10 <sup>3</sup>	149,0	0,47	6,9×10 <sup>12</sup>
	4	6,78	2,1	0,38	71,99	35,4	0,93	3,17×10 <sup>3</sup>	444,5	0,37	1,0×10 <sup>15</sup>
AISI 2304	0	7,94	274,8	0,62	1,20	31,7	0,92	5,26×10 <sup>3</sup>	39,2	0,73	4,3×10 <sup>8</sup>
	0,4	7,21	47,2	0,81	1,23	28,3	1,02	5,73×10 <sup>3</sup>	72,7	0,51	8,6×10 <sup>9</sup>
	2	6,92	29,7	0,63	3,36	33,3	1,00	3,92×10 <sup>3</sup>	126,5	0,49	7,1×10 <sup>12</sup>
	4	6,75	19,3	0,41	19,72	27,4	0,98	12,3×10 <sup>3</sup>	216,7	0,44	2,8×10 <sup>15</sup>

\*Para los dos aceros inoxidables dúplex embebidos en morteros con diferentes concentraciones de cloruro cálcico.

den asociar a la presencia de hierro en forma de Fe<sup>2+</sup> y Fe<sup>3+</sup>, respectivamente. La intensidad del pico de Fe 2p<sub>3/2</sub> para el acero inoxidable dúplex 2304 es prácticamente despreciable.

El espectro de Cr 2p<sub>3/2</sub> muestra una única componente a una energía de ligadura de 577,5 eV, la cual puede ser atribuida a la presencia de cromo en forma de Cr(OH)<sub>3</sub>.

#### 04. Conclusiones

El nuevo acero inoxidable dúplex de bajo contenido en níquel AISI 2001, tras embeberlo en probetas de mortero contaminado con hasta un 4% de cloruro cálcico y mantenerlas durante un año y medio en un recipiente con un 95% de humedad, presenta una resistencia a la corrosión muy similar a la del tradicional acero dúplex AISI 2304, permaneciendo ambos en estado pasivo.

Los resultados de EIS, demuestran la formación de una capa pasiva muy protectora, con resistencias de corrosión muy altas incluso en presencia de contenidos de Cl<sup>-</sup> del 4%.

El acero inoxidable dúplex AISI 2001 presenta una composición elemental en superficie muy similar a la del AISI 2304, apreciándose la presencia de cloruros en la superficie de la armadura en ambos aceros inoxidables. El análisis de los espectros de alta resolución muestra en ambos aceros inoxidables dúplex la presencia de Cr(OH)<sub>3</sub> como componente de la capa pasiva.

Figura 7

**Espectros de XPS de alta resolución correspondientes al O 1s, Fe 2p<sub>3/2</sub> y Cr 2p<sub>3/2</sub> obtenidos en la superficie de los aceros inoxidable sin bombardeo, (a) AISI 2304, (b) AISI 2001**

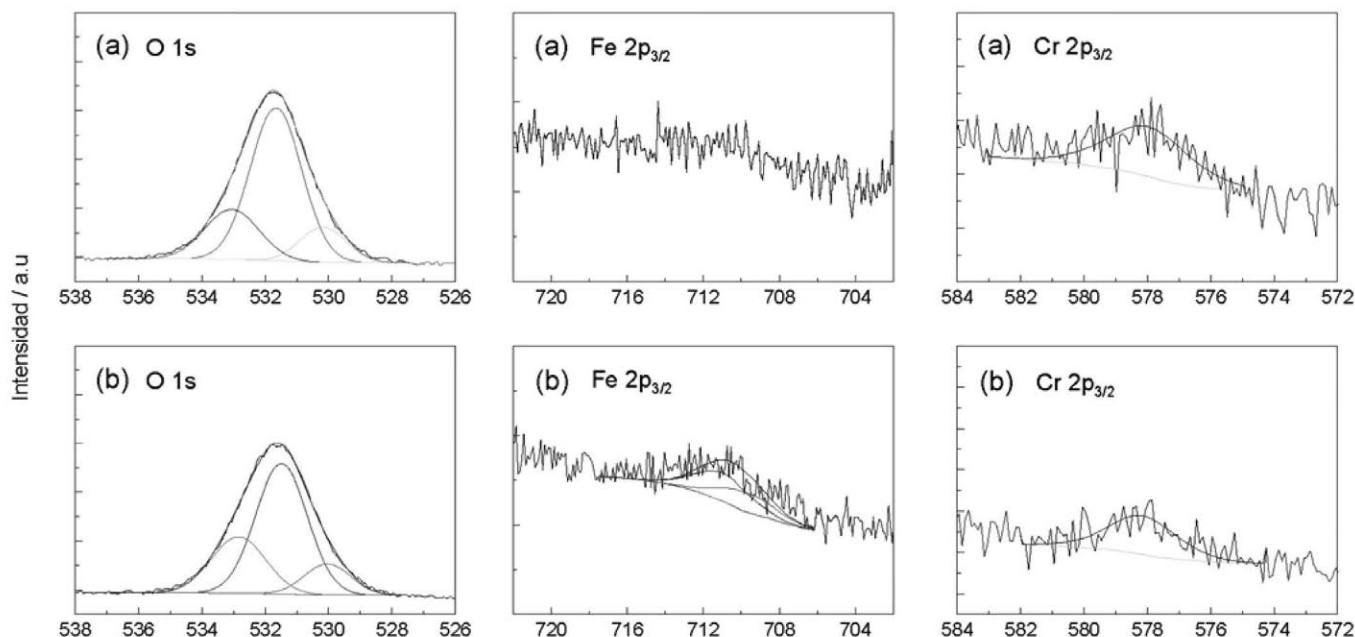


TABLA 3

**COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL DE LA CAPA PASIVA DE LOS DOS ACEROS DÚPLEX AISI 2001 Y AISI 2304 DESPUÉS DE 1 AÑO Y MEDIO EMBEBIDOS EN MORTEROS CONTAMINADOS CON UN 4% CL<sup>-</sup> (\*)**

ACERO INOXIDABLE DÚPLEX	TIEMPO DE BOMBARDEO MIN	O	C	Fe	Cr	Na	Ca	Si	Cl
AISI 2001	0	31,0	58,6	0,6	0,4	0,8	5,2	3,0	0,4
	1	35,3	49,5	1,0	0,9	1,3	7,2	3,5	1,3
AISI 2304	0	27,6	62,8	0,0	0,4	0,9	4,6	3,3	0,4
	1	24,9	63,6	0,6	0,8	0,8	5,5	3,3	0,5

\* Obtenida mediante la técnica XPS inmediatamente después de la extracción del acero y después de 1 minuto de bombardeo de ión Ar.

#### Referencias

[1] Alonso, C., Castellote, M., Andrade, C., "Chloride threshold dependence of pitting potential of reinforcements", *Electrochim. Acta*, 47 (2002) 3469-3481.  
 [2] Bonnet, D., Rubaud, M., "Contribution à l'étude du comportement des métaux dans les bétons carbonatés", *Cahiers du Centre Scient et Tech. du Bat.* 168, Cahier n° 1371, 1976.  
 [3] Bastidas, D.M., Fernández-Jiménez, A., Palomo, A., González, J.A., "A study on the passive state stability of steel embedded in activated fly ash mortars", *Corros. Sci.* 50 (2008) 1058-1065.  
 [4] Söylev, T.A., Richardson, M.G., "Corrosion inhibitors for steel in concrete: State-of-the-art report", *Constr. Build. Mater.* 22 (2008) 609-622.  
 [5] Baddoo, N.R., "Stainless steel in construction: A review of research, applications, challenges and opportunities". *J. Constr. Steel Res.* 64 (2008) 1199-1206.  
 [6] Knudsen, A., Skoysgaard, A., "Stainless steel reinforcement", *Concr. Engin. Inter.* 3, 5 (2001) 59-62.  
 [7] Bautista, A., Blanco, G., Velasco, F., Gutierrez, A., Palacín, S., Soriano, L., Takenouti, H., "Pasivación de aceros inoxidable dúplex en disoluciones que simulan el hormigón contaminado con cloruros", *Materiales de Construcción* 57, 288 (2007) 17-32.  
 [8] Fajardo, S., Bastidas, D.M., Ryan, M.P., Criado, M., McPhail, D.S., Bastidas, J.M., "Low-nickel stainless steel

passive film in simulated concrete pore solution: A SIMS study". *Appl. Surf. Sci.* 256 (2010) 6139-6143.  
 [9] Rees, E.E., McPhail, D.S., Ryan, M.P., Kelly, J., Dowsett, M.G., "Low energy SIMS characterisation of ultra thin oxides on ferrous alloys". *Appl. Surf. Sci.* 203-204 (2003) 660-664.  
 [10] Merello, R., Botana, F.J., Botella, J., Matres, M.V., Marcos, M., "Influence of chemical composition on the pitting corrosion resistance of non-standard low-Ni high-Mn-N duplex stainless steels". *Corros. Sci.* 45 (2003) 909-921.  
 [11] Pawel, S.J., Stanbury, E.E., Lundin, C.D., "Role of nitrogen in the pitting resistance of cast duplex CF-type stainless steels". *Corros.* 45 (1989) 125-133.  
 [12] Highways Agency, "Design Manual for Roads and Bridge. Volume 1. Section 3. Part 15: BA 84/02 Use of Stainless Steel Reinforcement in Highway Structures" (London, U.K.: Highways Agency, 2002).  
 [13] Gedge, G., "Structural properties of stainless steel rebar" in: *Symposium Structural applications of stainless steel in building and architecture*, EUROINOX (2000), Bruselas. ([www.euro-inox.org](http://www.euro-inox.org)).  
 [14] Qian, S., Qu, D., Coates, G., "Galvanic coupling between carbon steel and stainless steel reinforcements", *Canadian Metallurgical Quarterly* 4, 45 (2006) 475-484.  
 [15] Abreu, C.M., Cristóbal, M.J., Montemor, M.F., Nowoa, X.R., Pena, G., Pérez, M.C., "Galvanic coupling between carbon steel and austenitic stainless steel in alkaline media", *Electrochim. Acta* 47 (2002) 2271-2279.

[16] ASTM G61-86, "Standard Test Method for Conducting Cyclic Potentiodynamic Polarization Measurements for Localized Corrosion Susceptibility of Iron-, Nickel-, or Cobalt-Based Alloys", P.A., 2009.  
 [17] Stern, M., Geary, A.L., *J. Electrochem. Soc.* 104, 1 (1957) 56-63.  
 [18] ASTM C876-99, "Standard test method for half-cell potentials of coated reinforcing steel in concrete", P.A. 1999.  
 [19] Garcia-Alonso, M.C., Escudero, M.L., Miranda, J.M., Vega, M.I., Capilla, F., Correia, M.J., Salta, M., Bennani, A., González, J.A., "Corrosion behaviour of new stainless steels reinforcing bars embedded in concrete", *Cement and Concrete Research* 37 (2007) 1463-1471.  
 [20] Fajardo, S., Bastidas, D.M., Criado, M., Romero, M., Bastidas, J.M., "Corrosion behaviour of a new low-nickel stainless steel in saturated calcium hydroxide solution", *Construc. Build. Mater.* 25 (2011) 4190-4196.

#### Agradecimientos

Los autores quieren expresar su gratitud al Plan Nacional de I+D+i, por la financiación al Proyecto BIA2011-27182, a Acerinox S.A. y a Roldán S.A. por el suministro de las armaduras de acero inoxidable utilizadas en los ensayos. D. M. Bastidas agradece la financiación al Programa Ramón y Cajal del Ministerio de Economía y Competitividad. 