

Influencia de la concentración de sal industrial del líquido para conserva de espárrago en la susceptibilidad a la corrosión del acero inoxidable AISI 304

Influence of industrial salt concentration of the liquid canned asparagus in susceptibility to corrosion of stainless steel AISI 304

Eduar José Rodríguez Beltrán¹ | Mary Vilca Flores² | Luis Angelats Silva³

RESUMEN

En el presente trabajo se estudió el efecto de la concentración de sal industrial utilizado en los líquidos de conserva de espárrago (espárrago en trozo, entero y verde), sobre la susceptibilidad a la corrosión del acero inoxidable AISI 304. A través de métodos electroquímicos, se trazaron curvas de polarización potenciodinámicas, se usó el método de Resistencia de Polarización y se determinaron las densidades de corriente de corrosión. Los resultados finales demuestran que la solución para envasar espárrago en trozo es más agresiva que la solución para envasar espárrago entero, y ésta más agresiva que la solución para envasar espárrago verde. Finalmente las microfotografías muestran que la morfología del ataque corrosivo es por picado y similar en todos los casos.

Palabras Clave: Susceptibilidad, Corrosión, Resistencia de polarización, Curvas de polarización potenciodinámicas, AISI.

ABSTRACT

In the present work, it was studied the effect of the industrial salt concentration used in the liquids of canned asparagus (in piece, whole and green), on the susceptibility to the corrosion of stainless steel AISI 304. Our study uses electrochemical methods, for each type asparagus draw up potentiodynamics curves of polarization. With the method of Resistance of Polarization our obtain the current densities of corrosion. The final results demonstrate that the solution to package asparagus in piece is more aggressive than the solution to package asparagus whole, and this one more aggressive than the solution to package green asparagus. Finally the microphotography's show the morphology of the corrosive attack in all the cases is pitting.

Key words: Susceptibility, Corrosion, Resistance of polarization, Potentiodynamics curves of polarization, AISI.

1. INTRODUCCIÓN

La corrosión de los metales es un problema latente en la industria nacional, debido a que es el origen principal de las fallas en las estructuras metálicas con relación al medio que lo rodea y es el más peligroso por su carácter inevitable, ocasionando cuantiosas pérdidas económicas y problemas sociales de seguridad y salud¹.

Uno de los grandes problemas que enfrentan estas industrias y especialmente aquellas que se dedican al procesamiento de alimentos, es el deterioro por corrosión electroquímica que sufren sus estructuras o componentes metálicos expuestos a medios que contienen cloruros, sulfuros u otros iones que aceleran el proceso de degradación en dichos materiales. Estas estructuras podrían ser por ejemplo, láminas transportadoras, tuberías y cilindros de almacenamiento de soluciones químicas, etc².

Para contrarrestar el perjuicio ocasionado por este fenómeno, la mayoría de las estructuras metálicas están fabricadas en base a aleaciones del tipo hierro-cromo-níquel, conocidos como los aceros inoxidable, siendo los aceros inoxidable austeníticos los más utilizados por poseer una alta resistencia a la corrosión^{2,3,4,5}.

Sin embargo, a pesar de ofrecer una gran resistencia a la corrosión, estos aceros tiene severos problemas de corrosión ya sea uniforme, por picado, crevice, intergranular u otros que traen como consecuencia un bajo rendimiento de sus componentes y por consiguiente, un elevado costo en su mantenimiento. Por lo que teniendo presente el carácter inevitable de la corrosión, el interés por investigar este tema, no es evitar el deterioro de las estructuras metálicas, sino el de disminuirlo al mínimo posible, controlando ciertos parámetros (temperatura, condiciones ambientales, etc.), para así dar seguridad, mayor tiempo de uso a dichas estructuras, etc; hechos que se traducirán en grandes beneficios para las empresas^{2,6,7}.

Ante esta situación; se ha creído conveniente realizar una investigación sobre el daño ocasionado por la corrosión al *serpentin* de una de las marmitas que se utilizan para preparar el líquido empleado para conservar el espárrago envasado. Este líquido también es conocido como *líquido de gobierno*. El *serpentin* que sirve de fuente de calentamiento a través del vapor que fluye por su interior, está fabricado de acero inoxidable austenítico AISI 304. El líquido de gobierno se prepara a una temperatura aproximada de 94°C y está constituido principalmente por sal industrial y ácido cítrico cuyas concentraciones depende del tipo de espárrago ha envasar: espárrago en trozo, espárrago entero y espárrago verde,

Por tal razón el objetivo del presente trabajo es estudiar a la influencia de estas concentraciones de la solución en la

susceptibilidad a la corrosión del *serpentin* de acero inoxidable AISI 304. Es posible que la susceptibilidad a la corrosión de este acero, aumente conforme se incrementa la concentración de sal industrial en el líquido debido a la presencia de iones cloruro.

2. MATERIALES Y METODO

2.1. Material

Se utilizaron muestras obtenidas del *serpentin* fabricado de acero inoxidable austenítico AISI 304. Este acero es comercializado por ACEROS BOEHLER DEL PERÚ S.A. y su composición química nominal dada por el fabricante se muestra en la Tabla 1⁸.

Tabla 1. Composición química en % wt del acero inoxidable AISI 304.

C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
0.08	2.00	1.00	18.00 – 20.00	8.00 – 10.50	0.05	0.03

Fuente: Aceros Bohler del Perú (2000).

2.2. Método

Se prepararon probetas con un área aproximada de 1 cm², y desbastadas mecánicamente con papeles de SiC de granulometría desde 80 a 800.

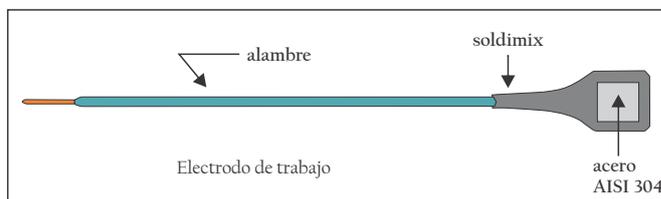


Figura 1. Probeta de acero inoxidable AISI 304.

Fuente: Elaboración Propia.

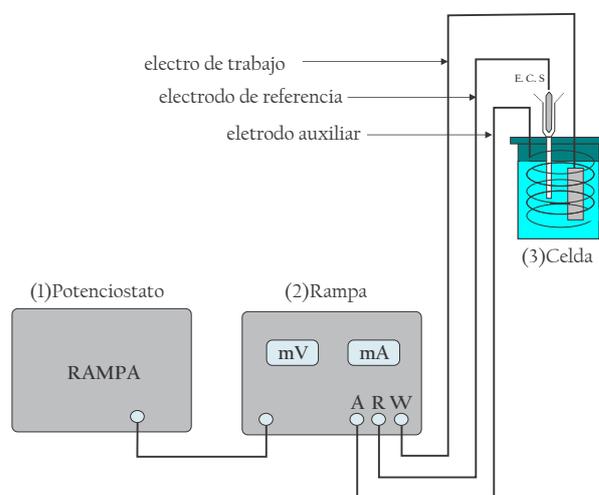


Figura 2. Diagrama del equipo experimental.

Fuente: Elaboración Propia.

A un lado de cada muestra, se le unió un alambre de cobre aislado con el fin de hacer un contacto eléctrico para su funcionamiento como electrodo de trabajo (Ver figura. 1). La disposición de los electrodos dentro de la celda electroquímica, así como el diagrama del equipo experimental utilizado, se muestra en la Figura. 2.

En la Tabla 2 se indican las respectivas composiciones de las soluciones consideradas como medio corrosivo, cuyas concentraciones de sal son las mismas a las empleadas en el líquido para envasado de espárrago (líquido de gobierno), teniendo en cuenta el tipo de espárrago a envasar (trozo, entero y verde).

Tabla 2. Tipos de soluciones y sus concentraciones de sal y ácido cítrico.

TIPO DE SOLUCIÓN	CONCENTRACION		pH
	Sal (%)	Ácido Cítrico (%)	
SOLUCIÓN A (Espárrago en trozo)	2.5 - 2.7	0.02 - 0.03	5.5 - 6.2
SOLUCIÓN B (Espárrago entero)	2.2 - 2.4	0.04 - 0.05	4.1 - 4.4
SOLUCIÓN C (Espárrago verde)	1.9 - 2.1	0	8.2 - 8.4

Fuente: Elaboración Propia

Las pruebas electroquímicas consistieron en determinar las respectivas curvas de polarización potenciodinámicas a 94°C, aplicando sobrepotenciales a una velocidad de barrido de 11 mV/min comenzando de -400 hasta 400 mV. Los potenciales libre (abierto) estuvieron referidos a un electrodo de referencia de calomel saturado (E.C.S.) y las mediciones electroquímicas se hicieron con un Potenciostato-Galvanostato Tacussel PJT 35-2. Las densidades de corriente de corrosión (i_{corr}) se determinaron mediante el método de resistencia de polarización (R_p)⁹. Las correspondientes velocidades de corrosión (V_{corr}), se calcularon haciendo uso de la siguiente expresión:

$$V_{corr} (\text{um/año}) = \frac{3.27 i_{corr} (\text{uA/cm}^2) W_{eq} (\text{g})}{\rho (\text{g/cm}^3)} \dots (1)$$

$$\text{con: } W_{eq} = \sum_{i=1}^m \frac{f_i M_i}{n_i} \dots (2)$$

Donde:

ρ , es la densidad del metal
 W_{eq} , es el peso equivalente,

f_i = Fracción atómica;

M_i = Peso atómico; y

n_i = Electrones requeridos para la oxidación del componente i .

Para el acero en estudio ρ ($\cong 7.93 \text{ g/cm}^3$) y W_{eq} (32.115 g). Adicionalmente a los cálculos de estos parámetros, se hicieron observaciones ópticas de las probetas ensayadas con el microscopio metalográfico NEOPHOT 21.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Las curvas de polarización potenciodinámicas por efecto de cada una de las soluciones (A, B y C respectivamente), se muestran en la figura 3a, 3b y 3c. Para la solución A (Figura 3a), el potencial de corrosión (E_{corr}) es aproximadamente -330 mV. A partir de este potencial, la densidad de corriente crece rápidamente para pequeños sobrepotenciales. Se observa una zona ligeramente pasiva que se extiende desde -240mV hasta -10mV con una densidad de corriente de pasivación de aproximadamente $1.24 \mu\text{A/cm}^2$. Para potenciales mayores, la curva crece casi linealmente hasta un valor considerable de la densidad de corriente, debido al rompimiento de la capa de pasivación del acero.

Para la solución B (Figura 3b), el potencial de corrosión (E_{corr}) es alrededor de -260 mV. La curva de polarización tiene una pequeña zona activa que se extiende desde -250 mV hasta -200 mV. A partir de este potencial, es posible observar un ligero incremento en la densidad de corriente hasta aproximadamente 160 mV, creciendo luego rápidamente en forma casi exponencial.

Para la solución C (Figura 3c), el potencial de corrosión (E_{corr}) es de -237 mV. La curva muestra una zona activa que se extiende desde -230 mV hasta -80 mV. A partir de este potencial no se observa zona pasiva. Se puede ver un salto apreciable de la densidad de corriente para intervalo de 20 mV aproximadamente, debido probablemente al rompimiento de la capa pasiva; después de este potencial, el crecimiento de la densidad de corriente se hace menos rápido.

A manera de comparación, en la Figura 4 se han superpuesto las curvas de polarización para cada una de las soluciones sobre un mismo gráfico j versus E . A partir de esta figura se observa que, tanto la variación de los potenciales de corrosión (E_{corr}) como de los potenciales de picado (E_p), decrecen en el siguiente orden: $(E_{corr})_A > (E_{corr})_B > (E_{corr})_C$ y $(E_p)_A > (E_p)_B > (E_p)_C$. Estos resultados se deben posiblemente al efecto de la mayor concentración de iones cloruro.

Los parámetros electroquímicos que se muestran en la Tabla 3 confirman el orden de agresividad de las soluciones A, B y C, según sus velocidades de corrosión;

observándose que: $(V_{corr})_A > (V_{corr})_B > (V_{corr})_C$. En la Figura 5 se comparan a través de un gráfico de barras estas velocidades de corrosión, mostrando estas diferencias.

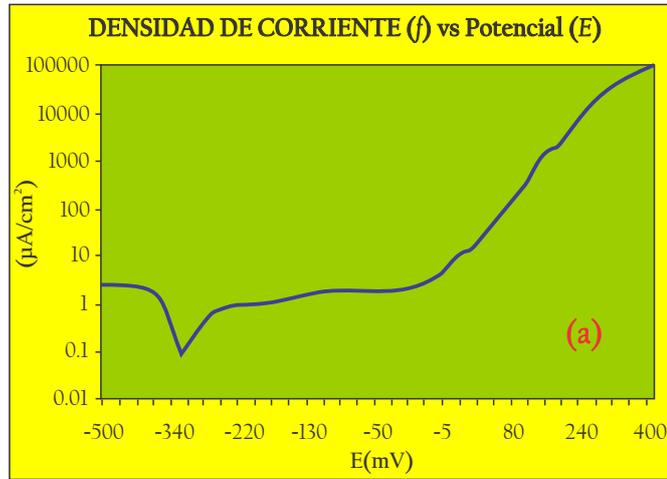


Figura 3A. Curvas de polarización para el acero inoxidable AISI 304 en la solución A.

Fuente: Elaboración Propia.

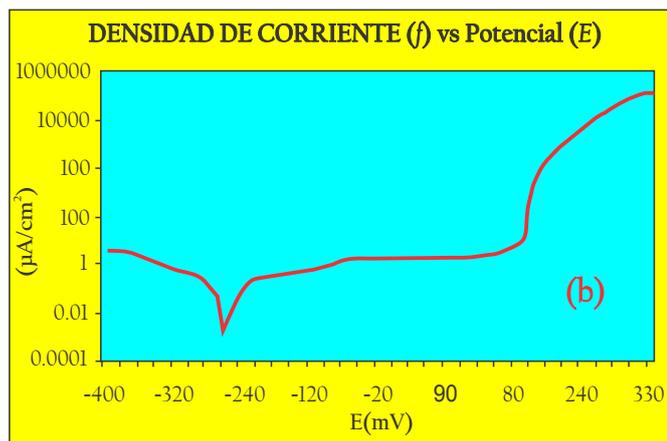


Figura 3B. Curvas de polarización para el acero inoxidable AISI 304 en la solución B.

Fuente: Elaboración Propia.

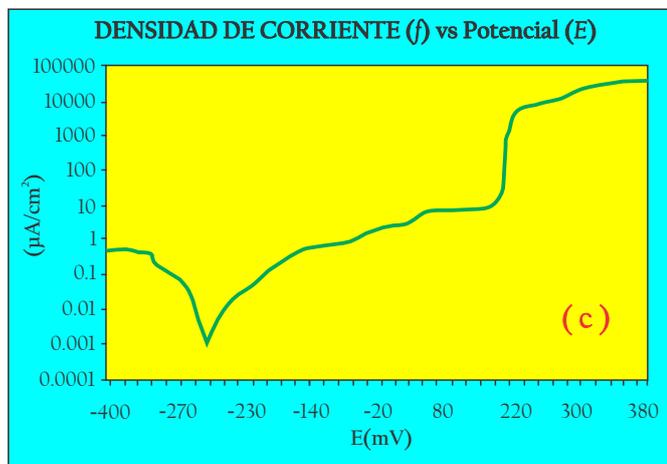


Figura 3C. Curvas de polarización para el acero inoxidable AISI 304 en la solución C.

Fuente: Elaboración Propia.

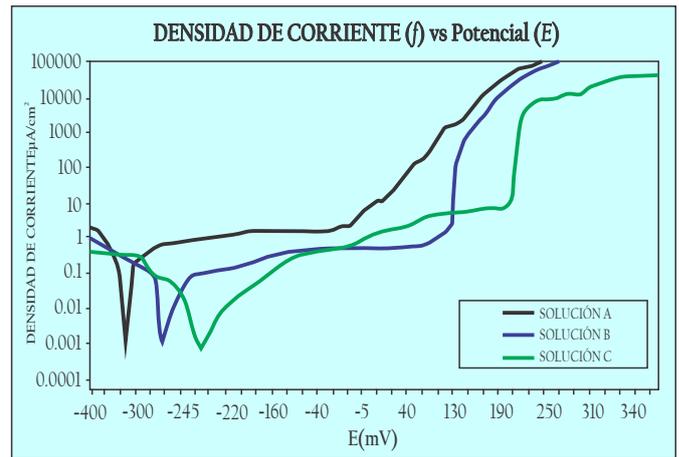


Figura 4. Curvas de polarización del acero AISI 304 para las tres soluciones (94°C).

Fuente: Elaboración Propia.

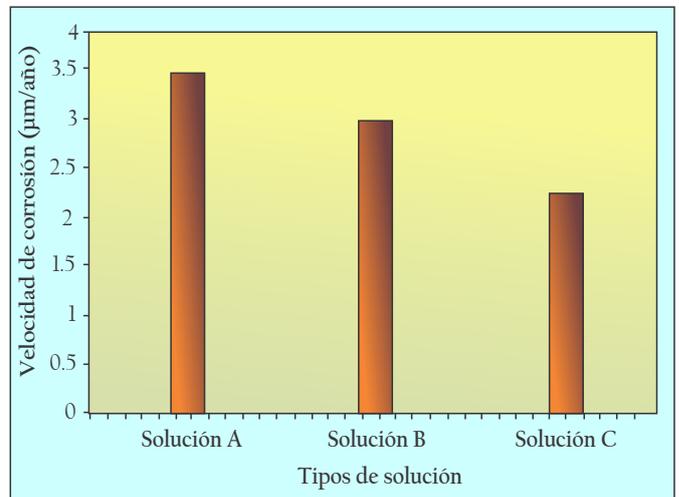


Figura 5. Barras comparativas para v_{corr} corrosión del inoxidable AISI 304.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3. Parámetros electroquímicos para el acero AISI 304 en las tres soluciones.

TIPO DE SOLUCIÓN	E_{corr} (mV)	b_c (mV/dec)	b_a (mV/dec)	$R_p \times 10^3$ ($\Omega\text{-cm}^2$)	i_{corr} ($\mu\text{A/cm}^2$)	V_{corr} ($\mu\text{m/año}$)
Solución A	-330	27.78	250	37.88	0.2866	3.7952
Solución B	-260	175.44	1000	263.16	0.2463	3.2613
Solución C	-237	333.33	312.5	370.37	0.1891	2.5041

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figuras 6a, 6b y 6c, se muestra el ataque debido a las diferentes soluciones. Como se puede ver, la morfología del ataque corrosivo al acero inoxidable AISI 304 es similar en las tres soluciones, y corresponde a una corrosión por picado, comprobándose una mayor agresividad de la solución A que en las soluciones B y C.

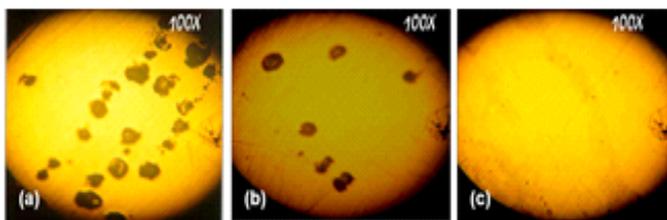


Figura 6. Microestructuras del acero inoxidable austenítico AISI 304 después de las pruebas electroquímicas en las tres soluciones.

Fuente: Elaboración Propia.

4. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

- Se determinaron las velocidades de corrosión para el acero inoxidable AISI 304, sometido a las tres soluciones utilizadas para envasado de espárrago.
- A partir de los resultados obtenidos de los ensayos a 94°C (tabla 3), el orden de agresividad según las velocidades de corrosión del acero inoxidable austenítico AISI 304, por efecto de la concentración de sal industrial y ácido cítrico es: el líquido para envasado de espárrago en trozo es 0.16 y 0.52 veces mayor que el líquido para envasado de espárrago entero y verde respectivamente.
- Para futuros trabajos se recomienda repetir las experiencias utilizando el inoxidable AISI 316, luego comparar su resistencia a la corrosión con respecto al acero inoxidable AISI 304

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OMAR QUINTERO SAYAGO, Ciencia de los Materiales. Dpto. de Ciencia de los Materiales. Universidad Simón Bolívar, Caracas. Venezuela. 1998.
- [2] E. N. DIONICIO P, S. R. FRANCIA, V. A. VEGA, O. GONZÁLES, E. TABUCHI M.; Precipitación martensítica en aceros inoxidables AISI 304 - corrosión bajo tensión, departamento de ingeniería metalúrgica. UNMSM.
- [3] J. R. GALVELE, G. S. DUFFÓ, Procesos de Corrosión, Instituto de Tecnología, Argentina 1994. pp. 1.6-10.9.
- [4] J. JOHANSSON; residual stress and fatigue in duplex stainless steels; Dpto. Of Mechanical Engineering LITH-JKP-R-975 July 1997.
- [5] H. NORDBERG Mechanical Properties of Austenitic and Duplex Stainless steels, Avesta Sheffield Research Foundation,

Innovation Stainless Steel, Florence, Italy, 11-14, October 1993. pp. 217.

- [6] ROBERTO HADAD; Principios de Corrosión, CNEA Dependiente de la Presidencia de la Nación – Gerencia de desarrollo, Buenos Aires 1992.
- [7] P. BILMES, A. C. GONZALES, C. LORENTE y M. SOTERI; Desarrollo de los Aceros Inoxidables, VII Congreso Latinoamericano de Soldadura, Instituto Argentino de Siderurgia, Vol. 4 pp. 110-112. Buenos Aires, Junio 1990. pp. 84, 91-93, 155-216, 248-265.
- [8] ACEROS BOHLER DEL PERÚ; catálogo informativo, edición 03 – 2000, pp. 25.
- [9] Dr. RICARDO CARRANZA; técnicas electroquímicas para la determinación de la velocidad de la corrosión, Comisión Nacional de Energía Atómica – Maestría en ciencia y Tecnología de los Materiales. ARGENTINA.
- [10] D. W. SHOESMITH; kinetics of aqueous corrosion, Fuel Wash Technology Branch, Atomic Energy of Canada Ltd.

