

DETERMINACIÓN DE LAS CAUSAS DE LOS DAÑOS POR CORROSIÓN PRESENTADOS EN UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACERO INOXIDABLE

Víctor Andrade C. *, Halter García S., Santiago Flores M.

Pontificia Universidad Católica del Perú, Instituto de Corrosión y Protección (ICP-PUCP),
Av. Universitaria 1801, Lima 32, Perú.

e-mail: *vandrada@pucp.edu.pe

RESUMEN

Son presentados los resultados de la evaluación de los problemas de corrosión ocurridos en las planchas de acero inoxidable de un tanque de almacenamiento, a fin de determinar sus probables causas.

Fueron observados daños de las planchas de acero inoxidable y de las uniones soldadas luego de realizada una prueba de estanqueidad del tanque, previa a su uso previsto (almacenamiento de una solución de ácido sulfónico).

El agua utilizada en la prueba de estanqueidad fue almacenada dentro del tanque durante aproximadamente siete semanas, tiempo en el que se desarrolló el proceso de corrosión, acelerado por la agresividad del agua utilizada y por el acabado de las planchas y uniones soldadas. La inspección y evaluación en campo fue complementada con pruebas y análisis en laboratorio.

Palabras Claves: Aceros inoxidables, Tanques de almacenamiento, Agua de pozo, Corrosión por picaduras, Iones cloruro, Microestructura, Corrosión localizada, Soldadura.

CORROSION FAILURE ANALYSIS OF A STAINLESS STEEL STORAGE TANK

ABSTRACT

This article presents the results of the assessment of corrosion damage occurred in a storage tank made of stainless steel, in order to determine its probable origin. Before the tank was put in service (storage of sulfonic acid solution), corrosion damage of stainless steel sheets and welded joints were observed after an hydrostatic test.

The water used for the hydrostatic test was kept inside the tank for about 7 weeks after the test was performed. In the meantime, a corrosion process took place, which was accelerated by water aggressiveness and by a bad internal finishing of sheets and welded joints. On site evaluation was followed by laboratory tests.

Keywords: Stainless steels, Storage tank, Well water, Pitting, Corrosion, Chloride ions, Microstructure, Localized corrosion, Welding.

1. INTRODUCCIÓN

Se realizó la evaluación y diagnóstico de los problemas de corrosión que afectaron a un tanque de acero inoxidable (70m³ de capacidad), fabricado con planchas del grado AISI 304L, roladas y soldadas. Finalizada la construcción del tanque, éste fue llenado con agua de pozo, a fin de llevar a cabo la prueba de estanqueidad del mismo. El agua contenida en el tanque evaluado fue conservada en su interior durante 7 semanas y, al ser inspeccionado el tanque vacío, fueron observados indicios de corrosión en su interior.

2. PARTE EXPERIMENTAL

En la evaluación in-situ fue realizada la inspección visual y fueron retiradas muestras de las planchas del tanque y del agua utilizada en la prueba de estanqueidad. Luego, se realizaron ensayos complementarios de laboratorio, los cuales consistieron en el análisis químico de la plancha de acero y del agua utilizada en la prueba hidrostática. Asimismo, fueron efectuados los análisis macrográfico y metalográfico de las muestras de plancha de acero extraídas.

Para el análisis del agua, se siguieron los procedimientos indicados en las normas respectivas: alcalinidad total (método volumétrico SM 2320 B-1998), sólidos totales disueltos (método gravimétrico SM 2540 C-2005), cloruro y sulfato (cromatografía iónica, método EPA 300.0, Rev.2.2 (1999)), dureza cálcica (método volumétrico HACH 8222) y pH (método potenciométrico SM 4500 B-2005).

En el análisis metalográfico, las muestras se prepararon mecánicamente para su observación metalográfica, según la norma ASTM E3-01 y el ataque de las muestras se realizó empleando una solución de HF y HNO₃, (6ml HF y 14ml HNO₃ en 90ml de agua destilada) durante 60-90 segundos, según la norma ASTM E 407-99.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Inspección Visual

La figura 1 presenta una vista exterior del tanque y en las figuras 2 y 3 se presenta el estado de las planchas de acero, las cuales muestran productos de corrosión de color pardo rojizo.



Figura 1. Vista exterior del tanque.



Figura 2. Interior del tanque, se indican productos de corrosión.



Figura 3. Productos de corrosión en cordón de soldadura.



Figura 4. Picaduras sobre las paredes verticales del tanque.

Fue observada una serie o sucesión de picaduras ordenadas verticalmente cerca a los cordones de soldadura y también alejadas de éstos (ver figuras 4 y 6). Asimismo, se observaron salpicaduras de la soldadura al lado de los cordones de soldadura y en la superficie de las planchas de la pared del tanque (ver figura 5). En las figuras 7 y 8 son mostradas picaduras en las planchas del piso del tanque, al lado del cordón de soldadura.

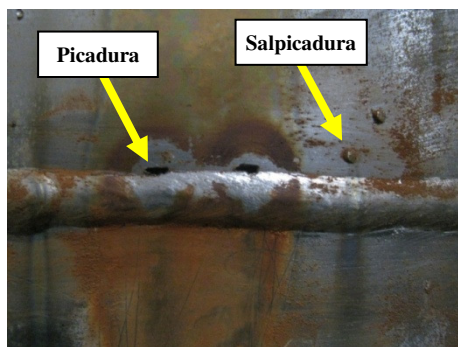


Figura 5. Picaduras y salpicaduras observadas.



Figura 6. Detalle de serie de picaduras verticales.

De acuerdo a la evaluación in situ, se observaron daños por corrosión localizada, manifestada en forma de picaduras, en las planchas de acero inoxidable del tanque. En las paredes internas se observaron productos de corrosión localizados en las zonas adyacentes a los cordones de soldadura, así como picaduras en las planchas de acero, cerca o debajo de los restos de salpicaduras de soldadura.

El daño por corrosión también fue observado en el piso del tanque, donde se presentaron picaduras al lado de los cordones de soldadura y sobre la superficie de la plancha de acero.



Figura 7. Picaduras sobre plancha del piso.



Figura 8. Detalle de picadura. Se indica salpicadura de soldadura.

3.2 Análisis Macrográfico

En las figuras 9 y 10 se aprecia que, luego de remover los productos de corrosión, fueron descubiertas picaduras, las cuales se ubican sobre las líneas del acabado superficial de la plancha.

En la figura 11 se observan salpicaduras de la soldadura, cercanas a la grieta vertical y en la figura 12 es mostrada una picadura circular y profunda, descubierta al ser removidos los productos de corrosión ubicados sobre el cordón de soldadura, en el piso.

El análisis macrográfico permitió conocer la morfología del ataque superficial de las planchas de acero inoxidable; en las fotografías respectivas se observan los productos de corrosión y, al retirar éstos, la superficie atacada de forma local.

Los signos de corrosión se ubican, en su mayoría, cerca a los cordones de soldadura y las salpicaduras de soldadura observadas crean zonas puntuales que dan lugar a resquicios, a partir de los cuales se generan las picaduras. La forma alineada del ataque observado en la plancha podría deberse a que la picadura se propagó siguiendo las marcas del laminado, debido a la rugosidad de la plancha.

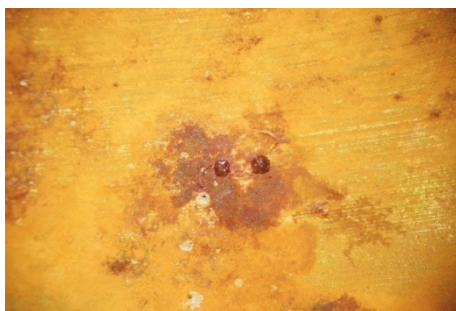


Figura 9. Aspecto de la superficie, antes de remover los productos de corrosión (16X).

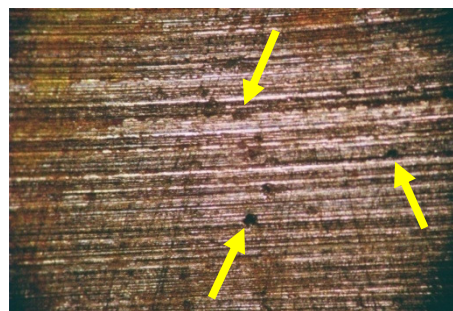


Figura 10. La misma zona, sin productos de corrosión. Se señalan picaduras ubicadas en las marcas superficiales de la laminación (40X).



Figura 11. Aspecto de grieta vertical. Se señala salpicaduras de la soldadura (16X).

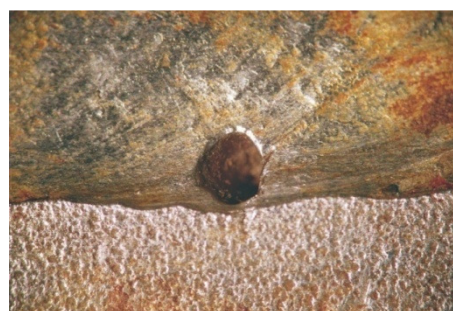


Figura 12. Picadura en zona del cordón de soldadura de plancha del piso (16X).

3.3 Análisis Metalográfico

Fue observada una microestructura compuesta por granos de austenita (figura 13) y el tamaño de grano observado corresponde aproximadamente al N° 7, según ASTM E 112-10, determinado por el método de comparación. En la figura 14 se muestra el aspecto de la sección transversal de la unión soldada. Cabe indicar que durante la observación en el microscopio, no se observó presencia de precipitados de carburo de cromo y/o grietas intergranulares en la zona adyacente a ésta. El ataque de la superficie fue del tipo localizado, el cual se manifestó por picaduras formadas en la superficie expuesta al agua contenida en el tanque, las cuales progresaron en profundidad, desarrollando una morfología del tipo cavernoso (ver figuras 15 y 16).



Figura 13. Microestructura del material, formada por austenita (200X).

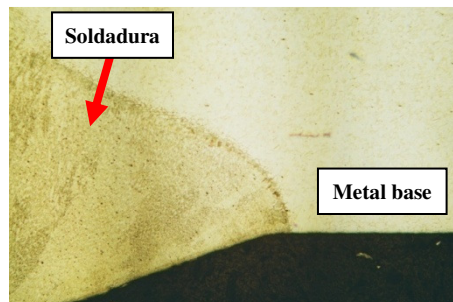


Figura 14. Microestructura de la unión soldada (50X).

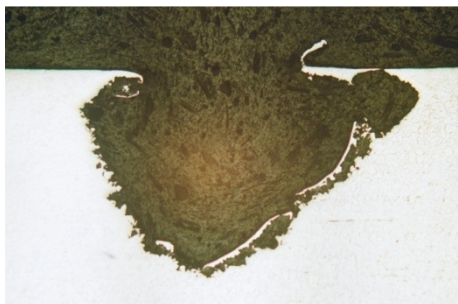


Figura 15. Sección transversal de picadura (50X).

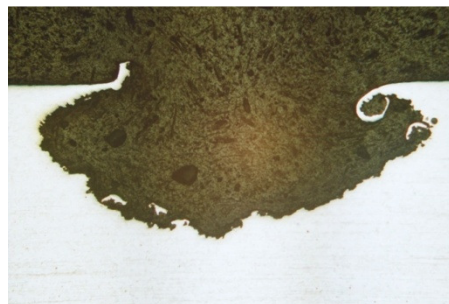


Figura 16. Sección transversal de picadura (50X).

3.4 Análisis Químico de la Aleación

Tabla 1. Resultados del análisis químico – Plancha de acero inoxidable.

Elemento	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
Contenido (%)	0,03	1,71	0,38	0,028	0,001	7,47	17,82	0,33	0,36

A pesar de que el resultado del análisis químico indica una composición que se ajusta a la especificada para el acero 304L, la utilización prevista del tanque es, según indicó el solicitante del estudio, para almacenar una solución conteniendo aproximadamente 85% de ácido sulfónico a temperatura ambiente. Al respecto, según información disponible en el “*Corrosion Data Survey*” de NACE [1], la resistencia a la corrosión del acero inoxidable 304/304L en contacto con el ácido sulfónico es limitada, indicándose una velocidad promedio de penetración <20 mils (508μm) / año si la concentración de ácido sulfónico en agua no excede al 20% (hasta una temperatura de 93°C) o si la concentración es incrementada hasta el 40% (hasta una temperatura de 38°C).

3.5 Análisis Químico de la Muestra de Agua Usada en la Prueba de Estanqueidad

Tabla 2. Resultados del análisis químico de la muestra de agua.

Parámetro	Unidades	Valor
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	215,5
Sólidos totales disueltos	mg/L	2016
Sulfato	mg/L	432
Cloruro	mg/L	571
Dureza cálcica	mg/L CaCO ₃	670
pH (°C)		7,97

Los altos contenidos de dureza y de alcalinidad, así como un pH ligeramente alcalino, indican que se trata de agua de pozo. Según la información consultada [2] contenidos en sólidos totales disueltos (TDS) mayores a 1000 mg/L suelen causar problemas de corrosión en las paredes metálicas de un ducto o, como en este caso, de un recipiente. Además, el contenido de iones cloruro resulta perjudicial. Según otra información técnica consultada [3] el límite máximo permisible para aceros 304L, está en un valor de 100 mg Cl⁻/L. Este límite considera la presencia de resquicios, por ello resulta un valor conservador, pero aplicable en este caso, ya que el interior del tanque presenta resquicios por su diseño constructivo, tales como los originados en los cordones de soldadura, las salpicaduras de la soldadura y el acabado superficial de las planchas.

4. CONCLUSIONES

Los problemas de corrosión se debieron al prolongado contacto de las planchas de acero inoxidable del tanque con el agua de pozo, luego de la prueba de estanqueidad.

El análisis químico del agua de pozo indica que se trató de un agua agresiva. El contenido de iones cloruro mostró un valor elevado (571 mg Cl⁻/L), lo que originó el ataque de las planchas a partir de zonas críticas presentes en el interior del tanque, tales como resquicios en la soldadura y en salpicaduras de la soldadura.

La morfología del ataque por corrosión fue del tipo localizado, manifestado como picaduras. En el caso de las paredes verticales del tanque, éstas se desarrollaron siguiendo las marcas del acabado superficial (dirección de laminación) y en el caso de las picaduras sobre las planchas del suelo, éstas se originaron junto al cordón de soldadura o a partir de salpicaduras de la soldadura.

Debería considerarse una evaluación previa de la utilización del acero inoxidable 304L como material del tanque y su resistencia a la corrosión, dado que la concentración de la solución de ácido sulfónico a almacenar (85%) supera los valores límites permitidos para este material (hasta 40%).

Luego de los trabajos de soldadura es necesaria una correcta limpieza de la superficie de las planchas de acero y de los cordones, que deben quedar exentos de salpicaduras de soldadura y de restos de materiales empleados en la fabricación.

5. REFERENCIAS

- [1]. National Association of Corrosion Engineers, NACE. Corrosion Data Survey – Metals Section, 6th Edition, 1985 p. 152-6.
- [2]. Proyecto Fluoreciencia. “Calidad del agua”. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Bogotá, (Colombia). Disponible en internet URL: http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap23.pdf
- [3]. Sandmeyer Steel Company “Technical Specification Document: 304 chromiun – Nickel Stainless Steel”. Disponible en internet URL <http://www.sandmeyersteel.com/images/304-spec-sheet.pdf>