







ESTUDIO DE LA DEGRADACIÓN Y CORROSIÓN EN TUBERÍAS DE COBRE, ALUMINIO Y ACERO EXPUESTAS A AMBIENTES SALINOS.

DEGRATION AND CORROSION STUDY OF COPPER, ALUMINUM AND STEEL PIPES EXPOSED TO SALIN ENVIRONMENTS

 Juan Rodrigo Salamanca Sarmiento^{1a}
 Nelson Iván Villamizar Cruz^{1b}
 Dydier Norvey Lopez Sepulveda^{1c}
 Jhon Alexander Torres Tique^{1d}
 Leidy Yohana Guayacan Yanquen^{1e}
 Pablo Jersson Garrido Gonzales^{2f}



Fecha de recepción : 25 de Junio del 2020
Fecha de aprobación : 25 de Noviembre del 2020
DOI : <https://doi.org/>

Resumen

En este artículo, se muestra el resultado de los cambios de las propiedades químicas y el efecto de la cristalización interna y externa en las tuberías de acero comercial, cobre y aluminio, para lo cual se realizó una comparación de los resultados experimentales en las tuberías expuestas a un ambiente corrosivo de ácido cítrico con cloruro de sodio. A partir de los resultados cualitativos como cuantitativos del comportamiento de los metales se puede capitular el estudio de este ensayo en la selección del material adecuado que soporte el transporte de la mezcla de agua con sal de una cámara de niebla salina. Para los ensayos, se utilizaron probetas de 10 centímetros de longitud de tuberías comerciales cuyos datos originales fueron tomados; de longitud, diámetro y peso de cada muestra en la balanza digital precisa BJ410C. Luego de simular un ambiente corrosivo de ácido cítrico con cloruro de sodio, y de haber calentado la mezcla por un tiempo de 20 minutos, se controlaron los parámetros de temperatura y tiempo. Una vez finalizado el ensayo se dejaron las muestras a temperatura ambiente y se observó la presencia de cristalización salina tanto externa como interna, seguido se removió toda la cristalización interna y externa de las muestras, así se verificó el cambio de coloración, con este fenómeno se observó la presencia de corrosión y degradación del material. Para finalizar, la investigación demuestra que el cobre es el mejor material para la cámara de niebla salina, porque es el metal que menos material desprende y en el que presentó una menor cantidad de cristales.

Palabras clave: propiedades químicas, cristalización, ambiente corrosivo

Abstract

In this article, the result of changes in chemical properties and the effect of internal and external crystallization on commercial steel, copper and aluminum pipes are shown, for which a comparison of the experimental results on exposed pipes was made. to a corrosive environment of citric acid with sodium chloride.

¹ Universidad Santo Tomás – Seccional Tunja, Boyacá – Colombia

² Universidad Señor de Sipán, Pimentel – Chiclayo – Perú

^a Ingeniero Metalúrgico, juan.salamanca@usantoto.edu.co

^b Ingeniero Mecánico, nelson.villamizar@usantoto.edu.co

^c Estudiante Facultad de Mecánica, dydier.lopez@usantoto.edu.co

^d Estudiante Facultad de Mecánica, jhon.torres@usantoto.edu.co

^e Estudiante Facultad de Mecánica, leidy.guayacan@usantoto.edu.co

^f Estudiante Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, ggonzalespabloj@crece.uss.edu.pe

From the qualitative and quantitative results of the behavior of metals, the study of this test can be capitulated in the selection of the appropriate material that supports the transport of the mixture of water with salt from a salt spray chamber. For the tests, 10 cm long specimens of commercial pipes whose original data were taken were used; of length, diameter and weight of each sample in the precise digital balance BJ410C. After simulating a corrosive environment of citric acid with sodium chloride, and having heated the mixture for a time of 20 minutes, the temperature and time parameters were controlled. Once the test was finished, the samples were left at room temperature and the presence of both external and internal saline crystallization was observed, followed by all the internal and external crystallization of the samples, so the color change was verified, with this phenomenon observed the presence of corrosion and degradation of the material. Finally, the research shows that copper is the best material for the salt spray chamber, because it is the metal that emits less material and in which it presented a smaller amount of crystals.

Keywords: *chemical properties, crystallization, corrosive environment*

1. Introducción

Conocer las propiedades químicas de los metales es esencial para el diseño en ingeniería; tanto para el diseño de sistemas mecánicos como eléctricos. La empleabilidad del acero en la industria de la manufacturación de los sectores automotriz, aeronáutico y marítimo; creció desde que las grandes potencias implementaron sus armas de guerra con este material y así fortalecieron sus fuerzas armadas. El óptimo rendimiento del acero en la guerra, sirvió como un antecedente para que las empresas hagan una inversión en el sector privado, una gran apuesta que se ve reflejada en la actualidad donde estas tres aéreas de la industria siguen liderando, sin embargo, garantizar el óptimo rendimiento necesita de un plan de mantenimiento y análisis para determinar el tratamiento térmico adecuado para la función que desarrollará dicho elemento mecánico. Una de los principales problemas que aqueja este sector es la presencia espontánea de óxido en los materiales fenómeno denominado corrosión.

Para Revie y Uhlig (2008), la Corrosión es un término que se utiliza para determinar el proceso de deterioro de materiales metálicos (incluyendo tanto metales puros y sus aleaciones), mediante reacciones químicas y electroquímicas.

Este problema se agrava aún más debido a otros factores ambientales, como son las ambientes húmedos y calientes, zonas costeras o aéreas industriales. El ataque de la corrosión provoca una disminución de las propiedades mecánicas y físicas, el progresivo deterioro puede provocar concentraciones de fatiga y posibles colisiones si no son detectadas a tiempo. Por otro lado, se pueden identificar diferentes tipos de corrosión que se caracterizan dependiendo tanto de la naturaleza del material y de las condiciones del medioambiente. Una forma común de clasificar los tipos de corrosión, son: la corrosión generalizada, corrosión localizada, corrosión combinada con un fenómeno físico.

En ese sentido Revie (2011); La corrosión generalizada ocurre sobre toda la superficie del material metálico de forma homogénea deteriorándolo en un lapso de tiempo completamente. Esta corrosión es el que mayor pérdida de material provoca, pero es fácil de prever y controlar. La velocidad de corrosión para estos casos, es altamente influenciada por la existencia de impurezas, ya que estas inducen a una variación en la energía potencial, propiciando el proceso de corrosión. También sostiene Revie (2011); La corrosión localizada, representa un mayor riesgo potencial, debido a que se manifiesta en zonas específicas en el material, expresas tanto por la naturaleza de la estructura, la geometría, y las condiciones del medio al que se somete. Los procesos de corrosión localizada de mayor frecuencia son galvánica, por fisura, por picaduras; puesto que su detección es muy difícil.

En Revie (2011); la corrosión galvánica ocurre cuando existe una unión, física o eléctrica, entre metales de diferente naturaleza, lo cuales, en la presencia de un electrolito, forman una celda electroquímica, donde el material de menor potencial electroquímico es el que se corroe.

Uno de los factores que tiene mayor influencia en el proceso de corrosión dentro de las vías de circulación de fluidos viene siendo la química del agua. La identificación de componentes llega a darse desde lo simple con la presencia de escasos especímenes carbónicos identificados, por ejemplo, cuando se licua en los ductos para gas, llegando a ser un problema altamente complejo con un gran número de especímenes encontrados, como el agua que se forma, emergiendo en conjunto con el crudo de petróleo. En ciertas ocasiones, la concentración de sales disueltas puede ser muy alta (> 10 % en peso) generando que la solución llegue a ser la menos ideal.

Diversos trabajos como Pfenning (2014), muestran que las tasas de corrosión y el crecimiento de la incrustación son más bajos después de la exposición a largo plazo para aceros endurecidos y templados de 600 a 670 °C, lo que indica corrosión local, disminución del diámetro, pero aumento del número en función del contenido de carbono del acero.

En Tavares, L, et al (2015) El resultado que se obtuvo al someter el acero con bajo contenido de carbono junto con la salmuera rica en CO₂ con y sin CaCO₃ fue que la tasa de corrosión promedio fue menor en presencia de CaCO₃ y las escamas eran más delgadas y más porosas en caso de agregar CaCO₃.

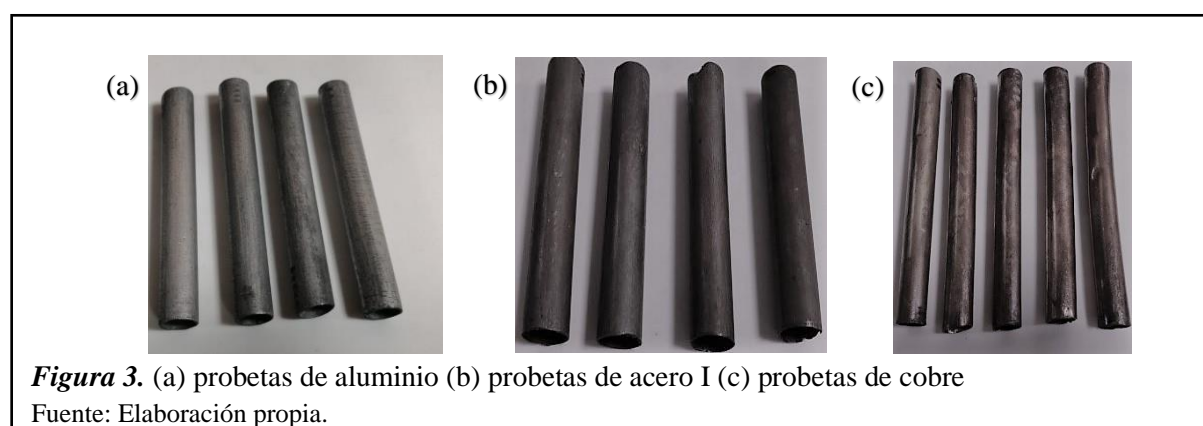
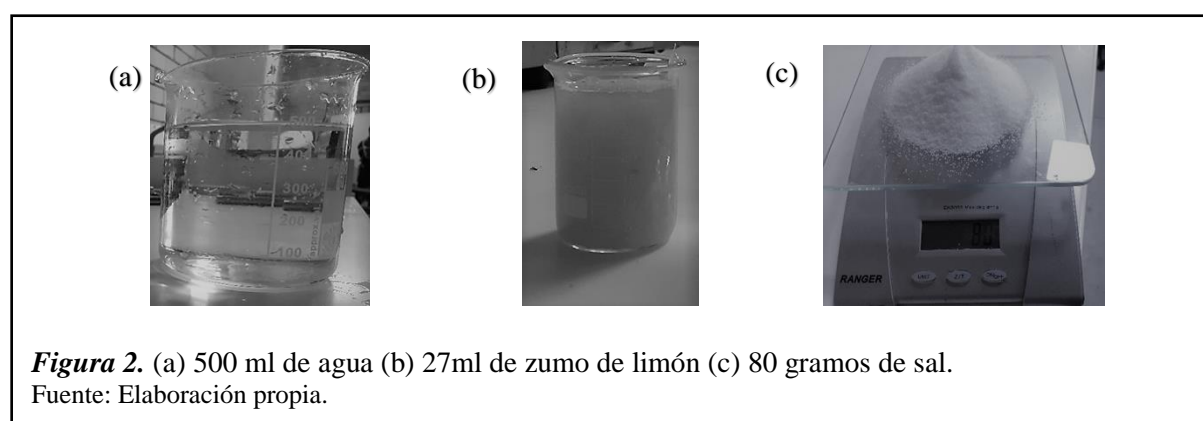
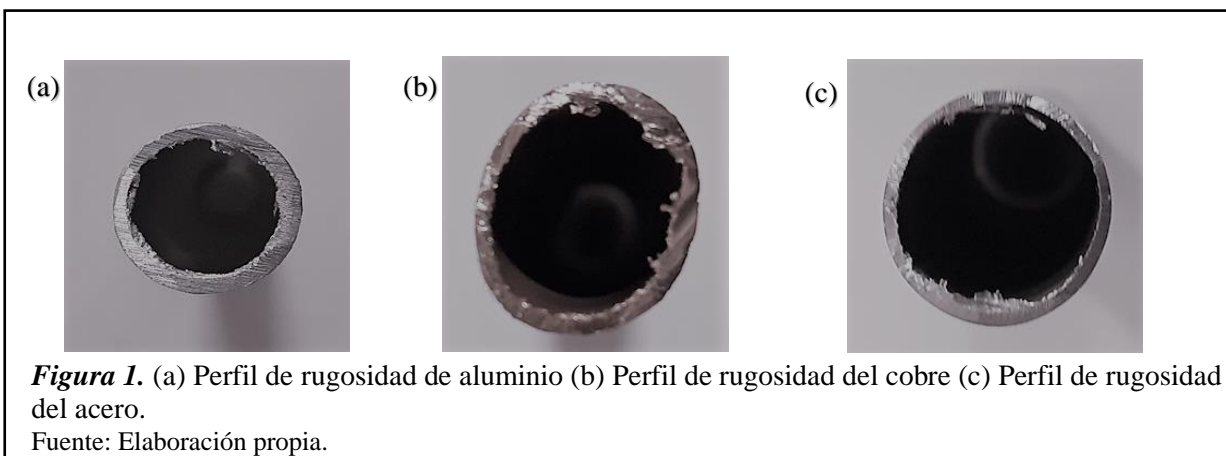
Así como en Kissinger (2014), se detectaron cambios en las propiedades del fluido sometidos a un ambiente salino que tienen un efecto notable en la eficiencia del almacenamiento y la cantidad de CO₂ residualmente atrapado lo que demuestra que no sólo existen problemas relacionados a deterioro de la tuberías sino también afectan la sustancia líquida que se transporta.

No obstante para Marrero (2014) Realizar estudios de ensayos de resistencia a la corrosión y otros ensayos físicos y mecánicos a los sistemas de pinturas que van a ser utilizados para saber cuál será su respuesta en el tiempo ante las características actuales del ambiente dentro de la caverna, así como prever las posibles situaciones futuras en cuanto a aumento de la humedad relativa o presencia de contaminantes atmosféricos.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la formación de cristales salinos al interior de las tuberías de acero, cobre y aluminio; así como determinar en qué metal la pérdida de material es más radical y en base a este control de variables poder seleccionar que material es el óptimo frente la presencia de un ambiente salino en ensayos de periodos de 100 horas.

2. Materiales y Métodos

- 4 muestras de tubo de acero Ø13 X 80mm X 2,5 mm.
- 4 muestras de tubo de cobre Ø9 X 90mm X 2,5 mm.
- 4 muestras de tubo aluminio Ø9 X 90mm X 2,5 mm.
- 80 gramos de cloruro de sodio para cada ensayo
- 27 mililitros de zumo de limón para cada ensayo
- 500 mililitros de agua
- Balanza digital RANGER EK5055 capacidad 5 Kilogramos
- Balanza digital precisa BJ410C capacidad 4 Kilogramos
- Hot plate type 2600 (Bamslead thermolyne)
- Recipiente de aluminio
- Baso precipitado capacidad 25 mililitros
- Baso precipitado capacidad 500 mililitros
- Termómetro infrarrojo Minipa MT-390
- Microscopio óptico INFINITY 1 (16616-MTL-01-02A-EM)
- Pie de rey
- Cámara termográfica FLIR 350.



La metodología para adquirir empleada en este trabajo consiste en la prueba y observación, que incluye medición, experimentación, formulación, análisis y modificación de hipótesis. Adicional a lo anterior se trabajó realizando deducción e inducción.

La metodología consistió en la fabricación de cuatro probetas de acero, aluminio y cobre. Luego se procedió a marcar cada probeta para registrar la información de sus características iniciales como longitud, diámetro y peso de cada probeta en la BALANZA DIGITAL PRECISA BJ410C de capacidad 4 kilogramos, lo anterior se usará como base de datos iniciales para comparar con los datos de las muestras luego de aplicar las pruebas. Por otro lado, se preparó la solución salina mezclando 80 gramos de cloruro de sodio con 500 mililitros de agua y 27 mililitros de zumo de limón para simular un ambiente salino para las probetas.

Ensayo I

Para iniciar la prueba se precalentó el *Hot Plate Type 2600 (Bamslead Thermolyne)* durante 20 minutos, luego de este tiempo se colocó el recipiente de aluminio sobre la superficie caliente, luego se añadió la mezcla de cloruro de sodio, agua y zumo de limón, seguidamente se agregaron las probetas metálicas. Los parámetros controlados en el ensayo fueron la temperatura entre los valores de 80°C y 90°C cada 10 minutos por medio del *Termómetro infrarrojo Minipa mt-390*, luego de 100 minutos se dio por finalizado en el ensayo número I.

Ensayo II

Para este ensayo se implementó el control de los parámetros de temperatura sin exceder los 90°C cada 10 minutos mediante la cámara termográfica, luego de 120 minutos se dio por finalizado en el ensayo número II.

Ensayo III

En el ensayo III se controló la temperatura entre los valores de 70°C y 80°C por medio del *Termómetro infrarrojo Minipa mt-3900*; hasta conseguir la evaporación total de la solución salina en el lapso de 110 minutos.

3. Resultados

3.1. Análisis Superficial de las Probetas

Después de someter las probetas al ambiente corrosivo de ácido cítrico con cloruro de sodio, se observan cambios característicos, como el cambio de color, textura y el peso, que evidencia la pérdida del material en cada muestra.

En Al Yasiri (2018), se propone un método sencillo para simular la corrosión / erosión de tuberías en un entorno similar a un reservorio, tanto en condiciones estáticas como dinámicas, identificando la incidencia de las condiciones del pozo, incluida la temperatura, la presión y la salinidad de los fluidos de perforación diluidos en agua, el comportamiento a la corrosión de la tubería de perforación. Los resultados mostraron que el efecto de erosión del fluido de perforación (sin cortes perforados) fue insignificante. Del mismo modo, estudiando el efecto de la corrosión durante el tiempo, basados en las características morfológicas, mineralógicas y químicas de la escala de corrosión de acero inoxidable y la película pasiva corroída. La escala de corrosión y las muestras de cupones se tomaron de una tubería tipo 304 que entregaba agua recuperada a un pozo transparente en servicio durante más de 12 años. (Cuy, 2016)

Durante la realización de los ensayos en las diferentes probetas se obtuvieron mediciones de diferentes variables como lo es el tiempo, peso, cantidad de fluido. De acuerdo a la formación de ambientes salinos y solidificación de sal se pueden obtener algunos resultados poco beneficiosos para las tuberías, teniendo alto contenido de corrosión interna y externa, que provocarían problemas de gran magnitud, como la obstrucción de las tuberías.

3.2. Revisión de cristalización

Una vez finalizado todos los ensayos, se dejaron enfriando al aire las muestras por un lapso de 20 minutos, luego se procedió a retirar las muestras del recipiente de aluminio para su posterior observación de los perfiles y comprobar la presencia de solidificación de la sal, interna y externamente.



Figura 4. Revisión de la solidificación de la sal en el acero, en el cobre, en el aluminio

Fuente: Elaboración propia.

La limpieza consistió en remover toda la cristalización interna y externa de todas probetas, de ese modo verificar el cambio de coloración en algunas muestras de los tubos, con este fenómeno se aprecia la presencia de corrosión.



Figura 5. (a) Remoción de la sal en el cobre, (b) acero, (c) aluminio

Fuente: Elaboración propia.

Luego de la limpieza de todas las muestras, se realizó el pesaje de las muestras para comparar los datos obtenidos con los de fábrica que se muestran en la tabla 1 (datos de fábrica del acero AISI – SAE 1020), tabla 2 (datos de fábrica aluminio) y tabla 3 (datos de fábrica del cobre).

Tabla 1.

Registro de los datos del acero AISI – SAE 1020

Datos Iniciales	Muestra I	Muestra II	Muestra III	Muestra IV
Longitud	80.03 mm	80.02 mm	80.03 mm	80.02 mm
Diámetro	13.00 mm	13.00 mm	13.00 mm	13.00 mm
Peso	21.29 g.	20.76 g.	21.16 g.	21.07 g.
Peso Ensayo I	21.19 g.	20.71 g.	21.09 g.	20.03 g.
Peso Ensayo II	21.16 g.	20.70 g.	21.05 g.	21.01 g.
Peso Ensayo III	21.15 g.	20.68 g.	21.03 g.	20.98 g.
Pérdida total	14 g.	8 g.	13 g.	9 g.

Nota: mm = milímetros; g. = gramos

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.
Registro de los datos del aluminio.

Datos Iniciales	Muestra I	Muestra II	Muestra III	Muestra IV
Longitud	90.09 mm	90.08 mm	90.06 mm	100 mm
Diámetro	9.02 mm	9.02 mm	9.02 mm	9.02 mm
Peso	8.62 g.	8.50 g.	8.35 g.	8.69 g.
Peso Ensayo I	8.61 g.	8.49 g.	8.33 g.	8.68 g.
Peso Ensayo II	8.60 g.	8.48 g.	8.31 g.	8.66 g.
Peso Ensayo III	8.58 g.	8.46 g.	8.29 g.	8.65 g.
Pérdida total	4 g.	4 g.	6 g.	7 g.

Nota: mm = milímetros; g. = gramos

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.
Registro de los datos del cobre.

Datos Iniciales	Muestra I	Muestra II	Muestra III	Muestra IV
Longitud	90.04 mm	90.03 mm	90.02 mm	90.05 mm
Diámetro	9.00 mm	9.00 mm	9.00 mm	9.00 mm
Peso	23.99 gr.	23.80 gr.	23.64 gr.	24.14 gr.
Peso Ensayo I	23.97 gr.	23.79 gr.	23.62 gr.	24.13 gr.
Peso Ensayo II	23.91 gr.	23.78 gr.	23.60 gr.	24.11 gr.
Peso Ensayo III	23.90 gr.	23.76 gr.	23.59 gr.	24.08 gr.
Pérdida total	9 g.	4 g.	5 g.	6 g.

Nota: mm = milímetros; g. = gramos

Fuente: Elaboración propia.

El contraste entre los datos iniciales y los datos posteriores a la prueba muestra la variación del peso de las tuberías en la tabla 1 para el acero, en la tabla 2, para el aluminio y en la tabla 3 para el cobre, luego de la limpieza a las probetas se confirma una pérdida de material debido a la corrosión interna que se genera en las muestras. Los datos del segundo ensayo muestran que el acero estuvo más expuesto a la simulación del ambiente salino, dando una pérdida de material mayor que en las probetas de aluminio y cobre.

Algunos estudios de He, B, et al (2016). Demuestran el comportamiento a la corrosión de un acero X70, en ambientes acuosos presentando picaduras o corrosión localizada. La razón puede atribuirse a los productos de corrosión suelta. En ese sentido Pfennig, A., et al (2013), Igualmente el acero X46Cr13 muestra una mejor resistencia a la corrosión con respecto a la velocidad de corrosión cuando está expuesto a un ambiente de acuífero salino saturado con CO₂. También en Pfening, A., et al (2017). Como respuesta a lo anterior se encuentra que al someter unas muestras de acero 14542 a proceso de envejecido, se disminuyó la corrosión del material al hacer un tratamiento de Normalizado, cuando el material este en uso.

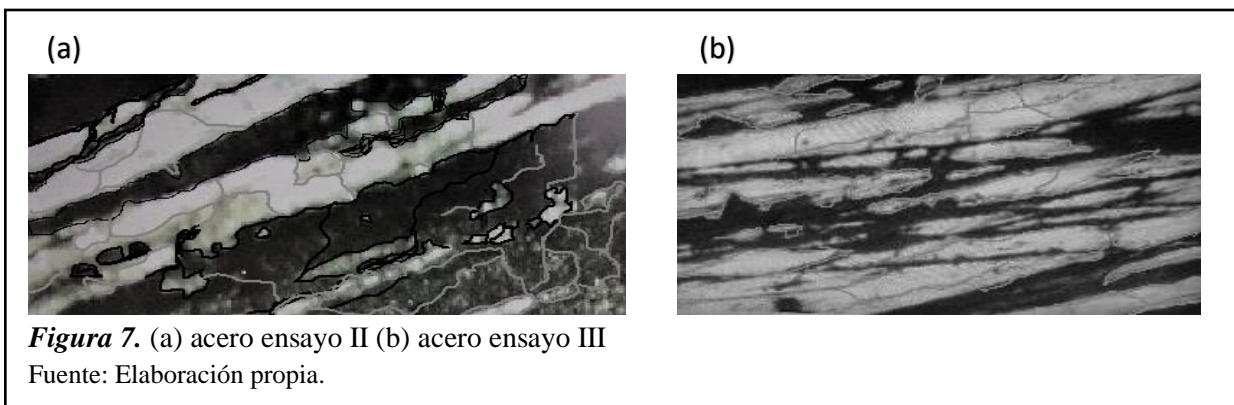
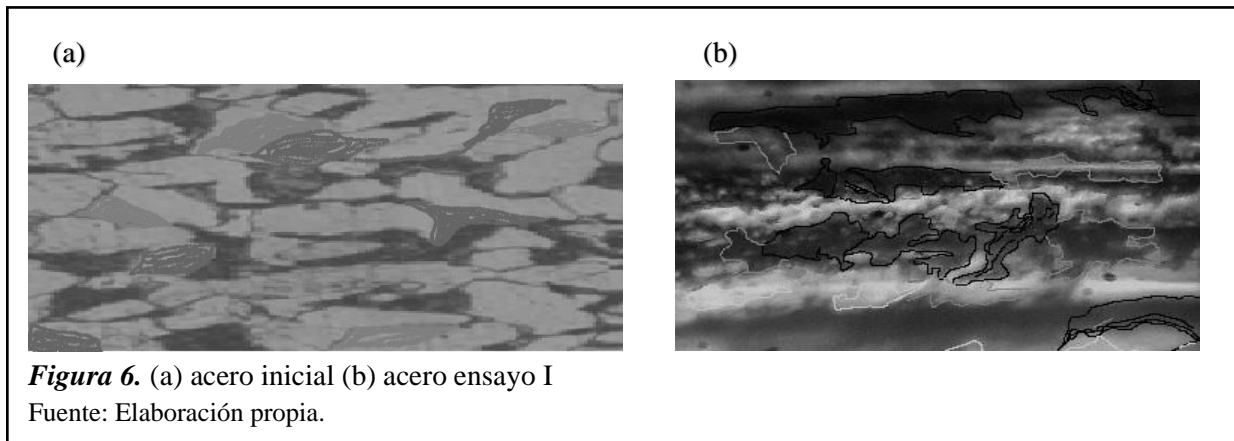
Los datos finales entregan que el acero perdió en promedio en todos los ensayos 1 gramos por muestra, mientras que el segundo que perdió peso fue el cobre con un promedio general de 6 gramos en todo el proceso de los tres ensayos, y el material que soporto mejor el ambiente salino, fue el aluminio que luego de los tres ensayos solo perdió en promedio 4 gramos por muestra.

3.3. Metalografía

Como se aprecia en la figura 4, se hizo Estudio Metalográfico a las muestras, para visualizar internamente la pérdida de material y formación de corrosión en cada muestra, comparándolas con muestras de fábrica del mismo material, mediante el uso Microscopio Óptico Infinity 1 (16616-mtl-01-

02a-em). En la figura 5 y 6 podemos apreciar que después de haber sometido las probetas a un tercer ensayo el acero presenta menos presencia de corrosión en las líneas de fabricación a comparación de las probetas de cobre y aluminio, que el total de su composición química es metal.

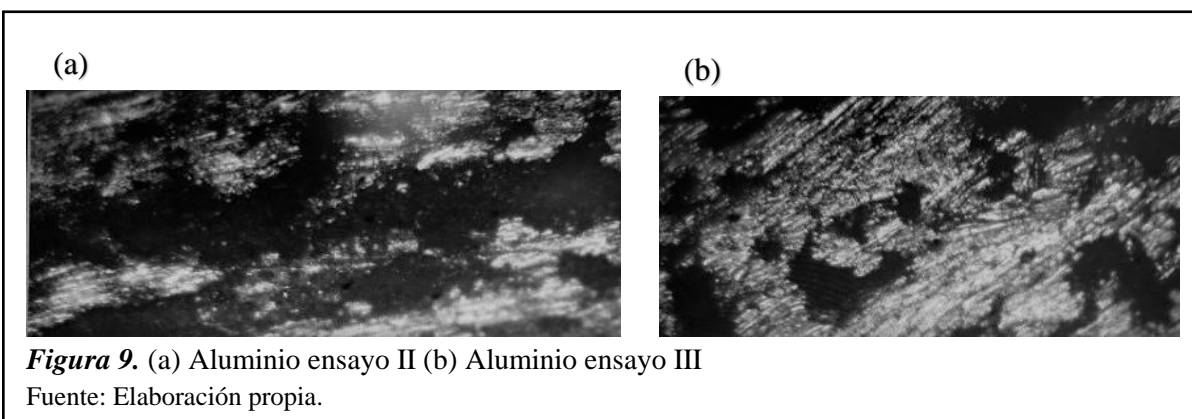
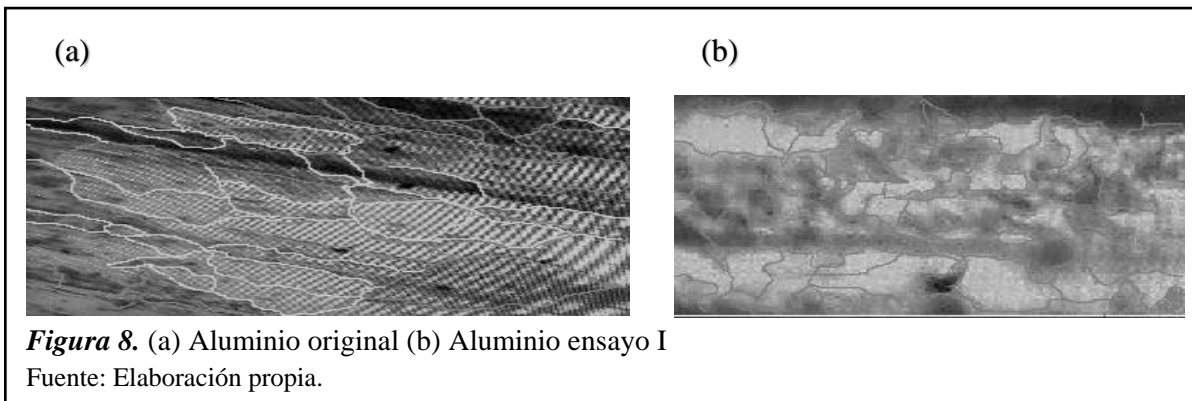
3.3.1. Micrografías del acero AISI-SAE 1020.



En las micrografías que se presentan en las figuras 6 y 7, se presenta la configuración metalográfica obtenida en cada paso definido por la metodología, así: En la figura 7 a. Se observa la configuración típica de un acero al carbono, con las fases bien definidas (ferrita: blanca, perlita: gris claro, cementita: gris oscuro). Se debe indicar la formación de grano alargado, debido al proceso de fabricación del tubo. Todas las micrografías fueron tomadas a 100X.

La comparación de las micrografías de las figuras 6 b y 7 a, muestra una formación de óxido de gran volumen, pero para el tercer ensayo se ve disminución de la capa de óxido, indicando un avance limitado de la corrosión, ver figura 7 b.

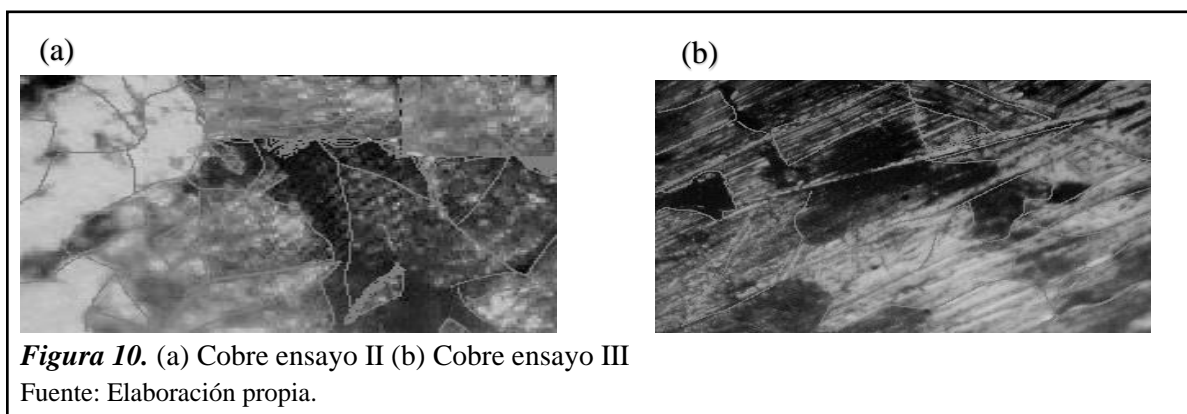
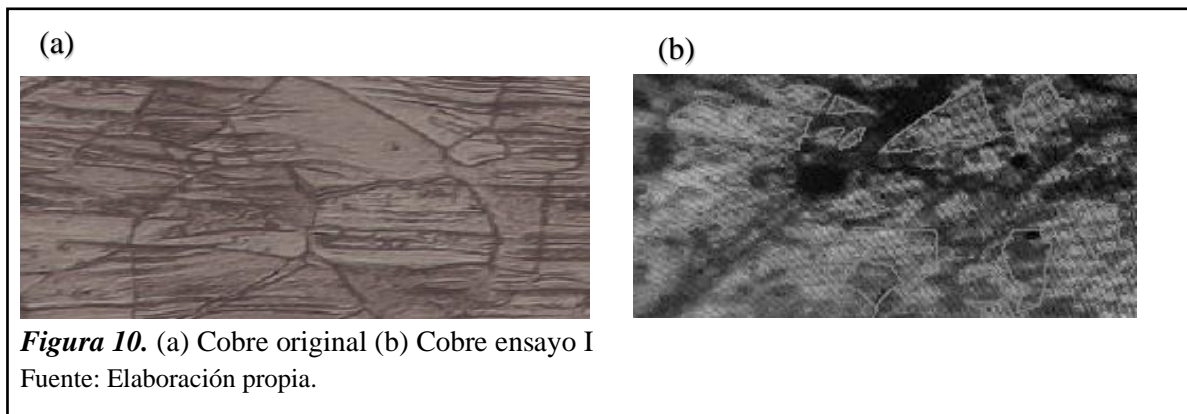
3.3.2. Micrografías del Aluminio.



Las figuras 8 y 9 corresponden a las micrografías del ensayo de envejecido en ambiente salino, de muestras de aluminio. En la figura 8 a. se presenta una configuración normal de aluminio con notación de los límites de grano de la fase alfa del aluminio, cuyo grano se nota alargado por acción del proceso de fabricación del tubo evaluado.

En la figura 8 b., se observa un cambio de color en partes del material, que puede obedecer a compuestos químicos que se formaron en la superficie del aluminio. La figura 9 a., muestra ya unas zonas oscuras, que obedecen a depresiones, ocasionadas por pérdida de material de aluminio, debido a la intensidad de los dos ensayos en solución salina. La figura 9 b., presenta una disminución en las zonas erosionadas en la superficie del aluminio, lo que puede ser corroborado con los datos de pérdida de peso en cada ensayo.

3.3.3. Micrografías del Cobre.



Las figuras 10 y 11 presentan las micrografías de los ensayos de simulación de envejecido en solución salina de las muestras de cobre. En la figura 10 a., se observa la configuración típica de un cobre, con límites de grano lineales y rectos con granos de un tamaño medio, se pueden ver algunas líneas de fluencia, debidas al trabajo de formado del tubo laminado. En la figura 10 b., se observan ya unas zonas ligeramente oscurecidas en la estructura, principalmente las zonas se oscurecen cerca a los límites de grano del cobre. En la figura 11 a., se puede ver el crecimiento de las zonas oscuras en el cobre, pero sin cambiar la morfología del grano de cobre. En la figura 11 b., correspondiente a la muestra de cobre sometida a los tres ensayos de envejecido en solución salina, se nota una detención en el crecimiento de las zonas oscuras, dejando unas zonas bien definidas en cuanto a la afectación del material.

4. Análisis de Resultados

Los resultados de los ensayos realizados muestran que todas las probetas presentan pérdida de peso debido la corrosión que se genera en su estructura interna, precisando que el metal que menos fue afectado por este fenómeno fue el ACERO AISI – SAE 1020 debido a que en su composición química presenta un 0.5% de Carbono, 0.35% de Silicio, 0.90 % de Manganeso, 0.040% de Fósforo, 0.5% de azufre, donde se puede identificar que el Manganeso es el elemento predominante en la composición química del ACERO AISI – SAE 1020 comportándose como un metal dentro de la composición, siendo el único elemento químico afectado por la corrosión dentro del ambiente salino. Y este resultado se puede sustentar en las siguientes reacciones:

Reacción de Halogenación

Esta reacción está presente en el tercer componente químico utilizado para hacer reaccionar las probetas de metal con el NaCl (cloruro de sodio) que se adiciona siempre a una molécula orgánica que es el cuarto componente químico el $C_6H_8O_7$ (ácido cítrico), lo que produce que se rompa el enlace del cloruro de sodio y se adhiera a la composición del ácido cítrico provocando que se origine otra ruptura en la composición química del ácido cítrico para que a este se le adhiera Cl a su composición, resultando: $Na OH$

Reacción de Pirolisis Acuosa

Esta descomposición ocurre cuando compuestos orgánicos se calientan a elevadas temperaturas en presencia del agua; H_2O (agua) y $C_6H_8O_7$ (ácido cítrico), esta reacción de pirolisis provoca que los átomos de hidrogeno se desprendan del átomo de oxígeno para adherirse a la composición química del ácido cítrico ocasionando que se desprendan átomos de oxígeno, resultando: $C_6H_9O_5Cl$

Formación de la Corrosión

Luego de las reacciones de halogenación y pirolisis acuosa que se presentan en los ensayos a los tres diferentes tipos de metales, se genera un desprendimiento de los dos átomos de oxígeno de la composición del ácido cítrico sumado al átomo que queda libre de la composición del agua, para adherirse al metal de prueba, dando como resultado la corrosión.

De las probetas trabajadas, se tomaron los datos que presentaron más consistencia para cada metal y cada ensayo, de esta forma se obtuvieron los datos presentados en las tablas 1, 2 y 3, que concuerdan con las imágenes de metalografía, así:

El acero presenta la mayor pérdida de peso en los tres ensayos, además muestra una coloración constante y progresiva durante el primero y segundo ensayo de envejecido con muestra salina, pero en el tercer ensayo la micrografía presenta una disminución de área corroída, lo que puede indicar que luego de la formación de la capa de corrosión, el proceso corrosivo se ralentiza, afectando menor cantidad de material en lo profundo y continuando en lo superficial.

Los ensayos de envejecido con solución salina para el cobre mostraron una pérdida de peso parecida a la del aluminio, pero ligeramente mayor, sin embargo, las imágenes metalográficas presentan solo coloración de la superficie y una ligera afectación del material, principalmente en los límites de grano, con el mismo comportamiento entre el primero y segundo ensayo y presentando una detención del proceso en el tercer ensayo. Teniendo en cuenta que la formación del óxido de cobre (Bornita), se ve favorecido por el ambiente acuoso, se espera que este proceso sea más lento que la corrosión del acero.

El aluminio, a pesar de mostrar una baja pérdida de peso en los tres ensayos, deja ver un deterioro en la superficie del material, que como se ve en las micrografías, genera un relieve erosionado en los puntos atacados por la solución salina, esta situación es favorecida principalmente por la acumulación de material en los límites de grano, sin embargo en el tercer ensayo se presenta una menor afectación al material, posiblemente por el mismo efecto del desarrollo superficial de la corrosión, antes que un desarrollo en profundidad del material.

5. Conclusiones

- Se identificó que el acero AISI – SAE 1020 fue el metal que mayor pérdida de peso sufrió durante las tres pruebas de simulación del ambiente salino, lo anterior teniendo en cuenta que el material por si solo no genera una resistencia a los procesos electroquímicos.
- Las practicas con las probetas de acero de mínimo 100 horas, muestran los problemas que presenta este material en ambientes corrosivos, estos resultados sirven para diseñar métodos de mantenimiento y protección para las tuberías de acero AISI – SAE 1020.

- En la comprobación mediante pruebas de metalografía observamos como la corrosión se genera en un metal; y mediante esta validación se puede regular el flujo de la niebla salina para controlar el tiempo y el avance de la corrosión.
- El cobre al igual que los otros metales presento una baja pérdida de material, y de manera singular este fenómeno afecta más a este metal que pierde rigidez, para corroborar este hecho se aconseja hacer ensayos que duren más de cien horas.
- Con la simulación del ambiente salino se observó, que el aluminio es un metal que pierde consistencia, luego de ser atacado por el fenómeno corrosivo. Se debe tener en cuenta que el mecanismo de auto protección del aluminio, luego de ser superado, deja expuesto al metal a un deterioro rápido y de forma irregular, haciendo difícil la reparación de las partes corroídas en un ensamble.
- Gracias a los resultados de las pruebas se confirmaron los mecanismos de degradación de estos metales, pero además se pudieron identificar varios aspectos a tener en cuenta para el desarrollo y construcción de una cámara de niebla salina, para continuar con el estudio de la degradación y fenómenos de oxidación de los materiales.

6. Referencias

- Al-Yasiri, M., Al-Khateeb, M., & Wen, D. (2018). Examination of drill pipe corrosion in water-based drilling fluids under wellbore conditions. *Corrosion Engineering, Science and Technology*, 53(3), 183-187.
- Cui, Y., Liu, S., Smith, K., Yu, K., Hu, H., Jiang, W., & Li, Y. (2016). Characterization of corrosion scale formed on stainless steel delivery pipe for reclaimed water treatment. *Water research*, 88, 816-825.
- He, B., Lu, C. H., Han, P. J., & Bai, X. H. (2016). Short-term electrochemical corrosion behavior of pipeline steel in saline sandy environments. *Engineering Failure Analysis*, 59, 410-418.
- Kissinger, A., Noack, V., Knopf, S., Scheer, D., Konrad, W., & Class, H. (2014). Characterization of reservoir conditions for CO₂ storage using a dimensionless Gravitational Number applied to the North German Basin. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 7, 209-220.
- Mariles, Ó. A. F., Alonso, J. B. L., & Silva, G. R. V. ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS LOCALES EN REDES DE TUBERÍAS A PRESIÓN CON PERÍODOS EXTENDIDOS Y ANÁLISIS DINÁMICO.
- Marrero-Águila, R., & Zelaya-Reina, A. R. (2014). Evaluación de problemas de corrosión en tuberías de una central hidroeléctrica. *Tecnología Química*, 34(1), 1-10.
- Nešić, S. (2007). Key issues related to modelling of internal corrosion of oil and gas pipelines—A review. *Corrosion science*, 49(12), 4308-4338.
- Pfennig, A., Wolthusen, H., & Kranzmann, A. (2017). Unusual corrosion behavior of 1.4542 exposed a laboratory saline aquifer water CCS-environment. *Energy Procedia*, 114, 5229-5240.
- Pfennig, A., Wolthusen, H., Wolf, M., & Kranzmann, A. (2014). Effect of heat treatment of injection pipe steels on the reliability of a saline aquifer water CCS-site in the Northern German Basin. *Energy Procedia*, 63, 5762-5772.

SALAMANCA, J. R., VILLAMIZAR N. I., LOPEZ, D. N., TORRES J. A., GUAYACAN L. Y., GARRIDO P. J. Estudio de la degradación y corrosión en tuberías de cobre, aluminio y acero expuestas a ambientes salinos. *Rev. Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*. Julio - diciembre 2020. Vol. 7 / N° 2, pp. 121-135 - ISSN: 2313-1926

Pfennig, A., Zastrow, P., & Kranzmann, A. (2013). Influence of heat treatment on the corrosion behaviour of stainless steels during CO₂-sequestration into saline aquifer. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 15, 213-224.

Revie R. W. (2011). Uhlig's Corrosion Handbook. Wiley & Sons, Inc: USA.

Revie R. W. y Uhlig H. H.(2008). Corrosion and Corrosion Control – An Introduction to Corrosion Science and Engineering. Wiley & Sons, Inc: USA.

Tavares, L. M., da Costa, E. M., de Oliveira Andrade, J. J., Hubler, R., & Huet, B. (2015). Effect of calcium carbonate on low carbon steel corrosion behavior in saline CO₂ high pressure environments. *Applied Surface Science*, 359, 143-152.