



ESCULTURAS DE ACERO: OBSERVACIONES DE CORROSIÓN E INHIBICIÓN MEDIANTE UNA CÁMARA DE NIEBLA SALINA, SENSORES Y UN MICROSCOPIO DE BAJO COSTO

Resumen

La presencia de partículas de NaCl en el aerosol marino produce corrosión en esculturas de acero de interés patrimonial, valor artístico y arquitectónico. Es aquí donde la observación de la corrosión utilizando una cámara de niebla salina, sensores y un microscopio de bajo costo podría permitir su estudio, junto con la ventaja de poder desarrollar proyectos interdisciplinarios entre carreras de Pedagogía en Química, Matemáticas y Computación e Historia y Geografía y Artes Plásticas. Además del estudio de las propiedades anticorrosivas de Metamizol frente al acero al carbono sometido al aerosol marino en la cámara de niebla salina mediante la utilización de fotomicrografías.

Palabras clave: Corrosión atmosférica. Aerosol marino. Esculturas de acero, Cámara de neblina, Sensores. Microscopio de bajo costo.

STEEL SCULPTURES: CORROSION AND INHIBITION OBSERVATIONS THROUGH A SALT SPRAY CHAMBER, SENSORS AND A LOW COST MICROSCOPE

Abstract

The presence of NaCl's particles in marine aerosol generates corrosion in steel sculptures of patrimonial interest, artistic and architectural value. It is here where the observation of corrosion using a salt spray chamber, sensors and a low cost microscope could allow its study, along with the advantage of being able to develop interdisciplinary projects between careers in Pedagogy in Chemistry, Mathematics and Computing, History and Geography and Plastic Arts. In addition to the study of the anticorrosive properties of Metamizol against carbon steel subjected to the marine aerosol in the salt spray chamber through the use of photomicrographs.

Key words: Atmospheric corrosion, Marine aerosol, Steel sculptures, Salt Spray Chamber, Sensors. Microscope of low cost.

Autores: José Enrique Novoa Jerez^a, Marco Antonio Alfaro Guerra^b, Ignacio Antonio Alfaro Alcaíno^c

^a Académico de planta del Departamento de Ciencias Sociales de la Universidad de La Serena, Chile. Co-investigador del Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), Director del Programa de Geografía Física Aplicada y miembro del Comité Hazards & Risks de la Unión Geográfica Internacional. Correo electrónico: jnovoa@userena.cl

^b Departamento de Química, Campus Andrés Bello, Facultad de Ciencias, Universidad de La Serena, Instituto de Investigación Multidisciplinario en Ciencia y Tecnología. Universidad de La Serena. Chile. Correo electrónico: malfarog@userena.cl

^c Investigador Centro de Investigación CENBIOEL, Chile. Correo electrónico: ialfaroa@cenbioel.com



ESCULTURAS DE ACERO: OBSERVACIONES DE CORROSIÓN E INHIBICIÓN MEDIANTE UNA CÁMARA DE NIEBLA SALINA, SENSORES Y UN MICROSCOPIO DE BAJO COSTO

Introducción

Los iones cloruro son abundantes en las atmósferas costeras (aerosol marino), el cual se deposita sobre la superficie de metales, intensificando su corrosión debido al aumento de la conductividad del electrólito, la formación de productos de corrosión solubles y la rotura de películas pasivantes entre los más importantes. (Chico et al, 1998). Este fenómeno afecta a las esculturas metálicas emplazadas en espacios públicos exteriores, dado que están constituidas por metales que pueden corroerse, como cobre, bronce, latón, hierro y acero. Su prolongada exposición provoca degradación y menor resistencia asociada a roturas o fisuras, que hacen necesaria su reparación o reemplazo en el caso que no sea posible su restauración. Las diferentes técnicas existentes para la conservación y restauración de objetos de acero expuestos a la atmósfera según lo planteado por Roselli y colaboradores (2013) son: la limpieza mecánica del objeto metálico para eliminar los productos de corrosión, el lavado con agua para eliminar los iones agresivos remanentes, la aplicación de un convertidor de óxidos y la utilización de una pintura resistente al medio ambiente, protectora y/o selladora de la superficie (Roselli et al, 2013). Estos procedimientos permiten asegurar una máxima vida útil de la escultura para posponer el deterioro de los metales que tienen un mayor costo de reparación (Longoni et al, 2002). Dentro de este contexto Roselli y colaboradores (2013) plantean que la aplicación del convertidor de óxidos no es necesaria si se elige un buen recubrimiento anticorrosivo, precedido de un tratamiento de la superficie. A efectos de respetar con la mayor fidelidad posible la pieza a restaurar es que la pintura aplicada puede resultar transparente si se evita el uso de material pigmentario opacante, la variación de su pigmento debe simular el color original de la pieza metálica a proteger, la eficiencia de un recubrimiento anticorrosivo depende del pigmento inhibidor que se utilice en su formulación para la ejecución de ensayos preliminares se realizan pruebas de laboratorio con el recubrimiento elegido y sobre pequeñas áreas de las propias piezas. (Roselli et al, 2013). Los inhibidores de corrosión más efectivos utilizados en recubrimientos protectores contenían cromatos en su formulación, aunque los compuestos de cromo hexavalente no son aceptables por sus propiedades cancerígenas y por la dificultad de eliminarlos del medio ambiente (Suarez, 2006). Ante las dificultades derivadas del uso de los cromatos, surge la utilización de los fosfatos que ocasionan un menor impacto ambiental pero provocan una paulatina eutroficación de los recursos hídricos (Soria et al., 1987). A objeto de evitar estos inconvenientes, Roselli y colaboradores (2013) desarrollaron un material pigmentario con zeolita intercambiada con iones cerio (III) libre de cromo y con reducido contenido de fosfato, que puede incorporarse a la formulación de una pintura anticorrosiva apta para proteger sustratos de acero o similares (Roselli et al, 2013). La mayoría de los inhibidores de corrosión han sido estudiados en medio ácido (Ahamad and Quraishi, 2010). Dentro de los compuestos cuyas propiedades anticorrosivas han sido investigadas, están los compuestos farmacéuticos (Vaszilcsin et al, 2012 ; Samide, 2013) un ejemplo de estos es el Metamizol, cuya fórmula estructural aparece en la figura

1, al cual se le han investigado sus propiedades anticorrosivas sobre estaño en medio ácido clorhídrico (Attia et al., 2016), pero no han sido investigadas sus propiedades anticorrosivas en soluciones neutras, que contengan cloruro de sodio, lo cual resulta vital para entender el comportamiento de metales en condiciones costeras (Cáceres et al., 2007). Cabe si mencionar que el Metamizol es un microcontaminante (Santana-Rodríguez, 2017) y que solo fue incluido en el presente trabajo debido a su bajo costo y fácil adquisición, pero una vez finalizado el experimento los residuos deberían ser tratados con peróxido de hidrogeno y hierro (II) en presencia de luz ultravioleta antes de ser vertidos al alcantarillado (Malato, 2008). Catañeda y Colaboradores (2000) señalan que

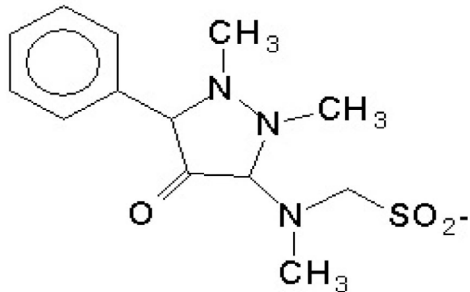


Figura 1: Estructura molecular del Metamizol.

para las pruebas aceleradas de corrosión se utilizan cámaras aceleradoras de la corrosión, cuyo objetivo es controlar los factores que contribuyen a la corrosión, siendo uno de los más difundidos el ensayo denominado “Salt Spray (Fog) Test” o “Prueba del Spray de Sal” o “Ensayo en Cámara de Niebla Salina” (Castañeda et al., 2000),

encontrándose normalizada por la ASTM B-117 (ASTM B-117, 2011). Consta de una cámara en la cual se utiliza un atomizador para crear niebla salina que cae de manera vertical sobre las probetas problema, a una temperatura de 35 °C y una concentración de 5 % de NaCl en peso y en investigaciones recientes, se ha demostrado que existe buena correlación entre los ensayos en cámara de niebla salina y mediciones de impedancia electroquímica y potencial de corrosión (Bedoya-Lora et al, 2011). La cámara de niebla salina estándar ha sido utilizada en un sinnúmero de estudios referido a corrosión de acero (Sacco et al, 2001; Ramírez-Palma et al, 2010; Suárez-Corrales et al, 2014). Otras investigaciones han optado por construir sus propias cámaras a objeto de controlar parámetros específicos de medición, a modo de ejemplo es el caso de Dahbura (2012) diseño y construyó una cámara de niebla salina para realizar ensayos de corrosión donde se controlan los parámetros de presión de aire, salinidad, temperatura mínima, máxima dentro de la cámara, tiempo de exposición y proceso de limpieza de las probetas (Dahbura, 2012), Pinzón y Jiraldó (2005) diseñaron un tipo de cámara de neblina para el análisis de corrosión en materiales cuyas condiciones ambientales se generan en base a la formación de una niebla salina a la que se exponen las muestras (Pinzón y Jiraldó, 2005). Para el presente trabajo se construyó una cámara de niebla salina casera (home-made), pero funcional equipada con sensores de temperatura y humedad utilizando una placa Arduino, las cuales se han transformado rápidamente en una opción válida para el manejo de sensores, ya que además de incluir excelentes ventajas en la adquisición de datos también presentan un bajo costo, poseen entradas digitales y analógicas, así como conectividad con el computador y el entorno de desarrollo de Arduino es de libre acceso y puede ser descargado de su sitio web (Delgado-Castro y Rojas-Bolaños, 2015). En los estudios metalográficos se utilizan implementos para corroborar el avance del desbaste y del pulido de las superficies metálicas como lupas o microscopios ópticos (Melo y Aragon, 2007), siendo este último el más utilizado para realizar el examen metalográfico. En relación con la observación, los microscopios utilizados en metalografía contemplan aumentos que varían entre los 50x a los 2000x (Poma, 2016), pero estos no son recomendables para prácticas de laboratorio de cursos de corrosión metálica ya que

generalmente son difíciles de transportar y de alto costo (Melo y Aragon, 2007). Es en estos casos, donde es recomendable utilizar aparatos de fácil transporte y de menor costo para la toma de fotomicrografías, que corresponden a una fotografía tomada a través de un microscopio (no debe confundirse con una microfotografía, que se refiere a la reproducción de documentos en película de pequeño formato), (Poma, 2016). La evaluación de la inhibición de corrosión en metales expuestos a medios corrosivos utilizando fotomicrografías es una práctica común en la investigación de corrosión de metales en presencia de inhibidores (Cabrera-Sierra et al., 2007), en estos casos el microscopio debe tener la capacidad de observación, captura y almacenamiento digital de imágenes, para que el alumno pueda ver y editar las fotomicrografías que le permitan visualizar la acción del inhibidor. Un equipo que reúne estas características fue utilizado por Melo y Aragón para la enseñanza de técnicas de preparación de muestras metalográficas y análisis metalográfico en campo (Melo y Aragon, 2007). Así al crear una práctica de laboratorio que investigue las propiedades anticorrosivas sobre esculturas de acero de interés patrimonial, valor artístico y arquitectónico en una cámara de niebla salina de un compuesto farmacéutico que incluya el uso de un microscopio de bajo costo, no solo posicionaría al alumno en conocimientos, habilidades y destrezas para manejar una determinada técnica (Lagos y Camus, 2016), sino que también le permitiría integrar grupos de trabajo interdisciplinarios entre estudiantes de carreras de Pedagogía en Química, Matemáticas y Computación, Historia y Geografía y Artes Plásticas. Así el objetivo del presente trabajo fue la observación de corrosión e inhibición mediante una cámara de niebla salina, sensores y un microscopio de bajo costo de acero constituyente de esculturas.

Experimental

Cámara de Niebla Salina

La cámara de niebla salina fue construida utilizando una pecera de 100 cm de largo, 31 cm de ancho y 40 cm alto, un humidificador ultrasónico Modelo ACT-HUM junto a una solución de cloruro de sodio al 3.0 % en peso y un vaso de precipitado de 1000 mL. La solución se adicionó al vaso de precipitado y posteriormente se colocó dentro del humidificador ultrasónico. Figura 2.

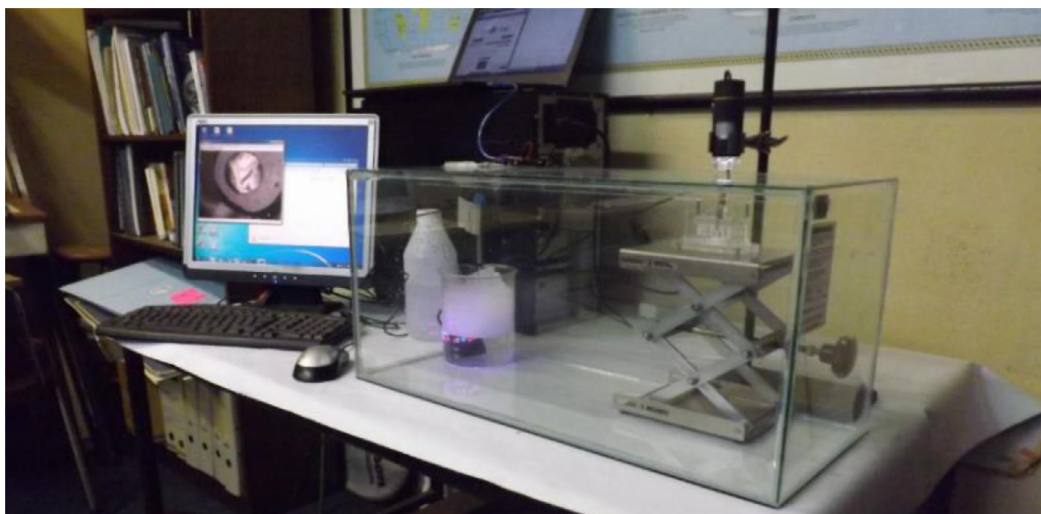


Figura 2: Cámara de neblina mostrando cada una de sus partes. Vaso de precipitado de 1000 mL conteniendo la solución de NaCl al 3.0 % en peso. Humificador ultrasónico. Superficie de acero SAE 1010.

Monitoreo de humedad relativa en la cámara de niebla salina

La figura 3 muestra el montaje del sensor de temperatura y humedad relativa de bajo costo, el cual se compone de una placa Arduino UNO, y un sensor de temperatura y humedad modelo ASTFG. La placa Arduino UNO, es una placa microcontroladora basada en el ATmega328 la cual cuenta con 14 entradas, de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM, 6 como entradas analógicas, una cerámica de 16 MHz Resonador, una conexión USB, una toma de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el sensor, conectándolo a un computador utilizando o alimentándolo con una batería externa. La tarjeta Arduino posee un convertidor analógico-digital (A/C) el cual es un dispositivo electrónico capaz de convertir una señal analógica en un valor binario, esto es entre 0 y 1. Este dispositivo establece una relación entre la señal de entrada (señal analógica) y la señal de salida (digital) la cual depende de su resolución. Ya que la resolución determinará la precisión con la que se reproduce la señal original, la cual se puede calcular si se conoce el valor máximo de la entrada a convertir y la cantidad máxima de la salida en dígitos binarios dada por el cociente entre el voltaje de referencia y 1024, esto implica que mapeará los valores de voltaje de entrada, entre 0 y el voltaje de referencia, a valores enteros comprendidos entre 0 y 1023. Por lo que el sensor analógico estará caracterizado con un valor comprendido entre 0 y 1023 (Newark, 2015).

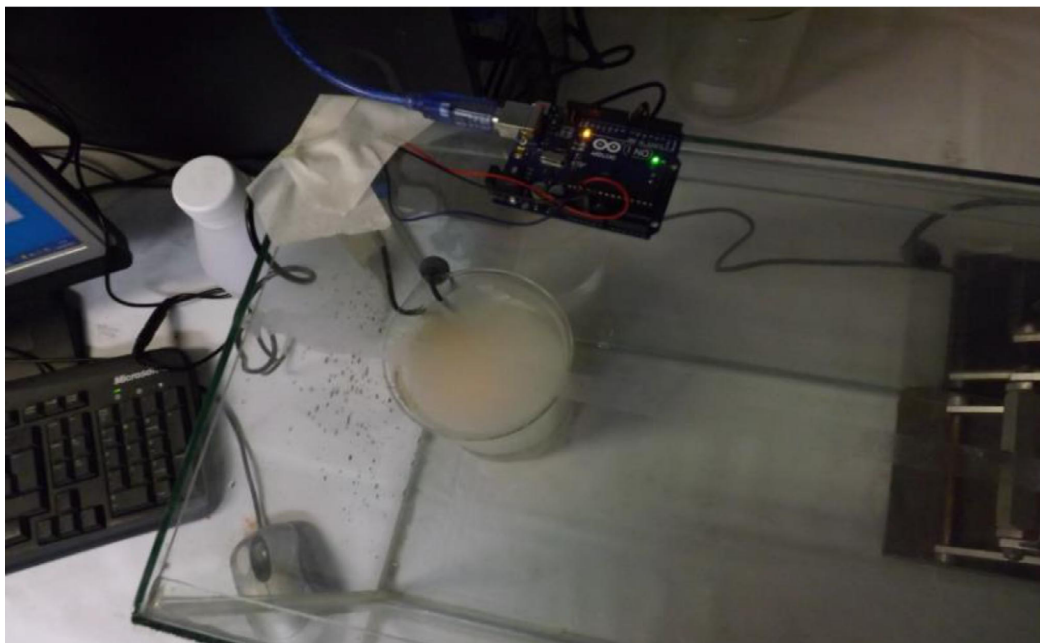


Figura 3: Vista superior de la placa Arduino UNO sobre la cámara de neblina a la cual está conectado el sensor de humedad relativa sensor de temperatura y humedad modelo ASTFG.

Programación de la placa Arduino UNO

Utilizando el entorno de desarrollo de Arduino se modificó un programa para realizar lecturas de humedad relativa, estableciendo un tiempo de muestreo de 3500 milisegundos, todas las lecturas fueron enviadas desde la placa Arduino UNO hacia el computador con una conexión USB mediante la interfaz de comunicación serial de Arduino. Para realizar las mediciones se usó el sensor DHT11 insertado en una PCB el cual

cuenta con 3 Pines, la toma de tierra GND, para los datos DATA y para la alimentación VCC los cuales fueron conectados a las entradas GND, 7 y 5V de la placa Arduino UNO respectivamente. En la Figura 4 se puede apreciar el esquema de conexión con Arduino. El código del programa modificado se presenta a continuación.

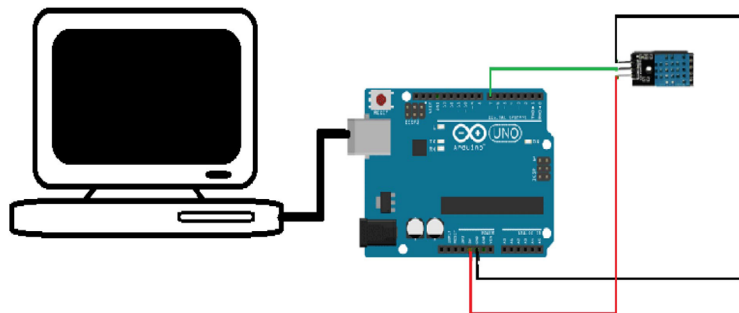


Figura 4: Montaje del circuito electrónico de la placa Arduino UNO al sensor de humedad relativa sensor de temperatura y humedad modelo ASTFG.

```
/*Sensor de Temperatura y Humedad DHT11
```

Instrucciones:

Recuerda descargar la librería DHT para poder utilizar este sensor

Conectaremos el Sensor DHT11 a 5v y el pin de señal a la entrada digital 7

```
*/
```

```
#include "DHT.h"
```

```
#define DHTPIN 7
```

```
#define DHTTYPE DHT11
```

```
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

```
void setup() {
```

```
Serial.begin(9600);
```

```
dht.begin();
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
int h = dht.readHumidity();// Lee la humedad
```

```
Serial.print(h);//Escribe la humedad
```

```
Serial.println(" %");
```

```
delay (3500);
```

```
}
```

El programa una vez compilado se cargó en la placa Arduino UNO para iniciar con su ejecución, siendo cargado cada vez que la placa Arduino UNO fue conectada al computador por medio del puerto USB (Delgado-Castro y Rojas-Bolaños, 2015).

Pulido de la superficie de acero y aplicación del inhibidor de corrosión

Se utilizó un cilindro de acero al carbono SAE 1010 cuya composición en peso fue de 98.5 Fe, 0.2 C, 0.6 Mn y trazas de P, S, Si, Sn, Cu, Ni, Cr, y Mo, cubierto con resina epoxica dejándolo con un área expuesta circular de 0,1257 cm² la cual fue pulida utilizando papel de lija de 500 y 1200 grados respectivamente, posteriormente fue limpiada en un lavado ultrasónico Baku BK-9050 durante 2 minutos en agua, luego se lavo con alcohol, agua destilada y acetona respectivamente, finalmente se le seco con una secadora de pelo Somela Handy 1200. Para el experimento de inhibición de la corrosión se utilizó Metamizol, el cual se disolvió en agua bidestilada formando una solución con una concentración 0,7 M, esta solución fue escurrida sobre la superficie metálica e inmediatamente fue secada utilizando la secadora de pelo Somela Handy 1200.

Visualización de fotomicrografías

Para la toma de las fotomicrografías se utilizó un Microscopio digital USB FC CE RoHS 500x de bajo costo, mostrado en la figura 5 y cuyas características aparecen en la Tabla 1. Este viene provisto de una regla de calibración micrométrica la cual es mostrada en la figura 6.



Figura 5: Microscopio digital USB FC CE RoHS 500x de bajo costo, mostrando cada una de sus partes.

Image sensor	0.3 m CMOS sensor (interpolated to 2.0 MPIX)
Photo resolution	UP to 2560*1920
Video capture resolution	UP to 640*480
Focus range	15mm-40mm
Frame rate	up to 30 fps
Magnification range	50x-500x
Available video format	avi
Available photo format	bmp/jpg
Adjustable illumination	8 built-in led diodes
Pc interface	usb 3.0/2.0/1.1
Usb powered	5v direct current
Compatible OS	windows/xp/vista/8

Tabla 1: Características del Microscopio digital USB FC CE RoHS 500x de bajo costo

Additional measurement & calibration	Micro-measurement tool
Available colour versions	Matt black
Dimensions	112mmx33mm
Weight	300gr

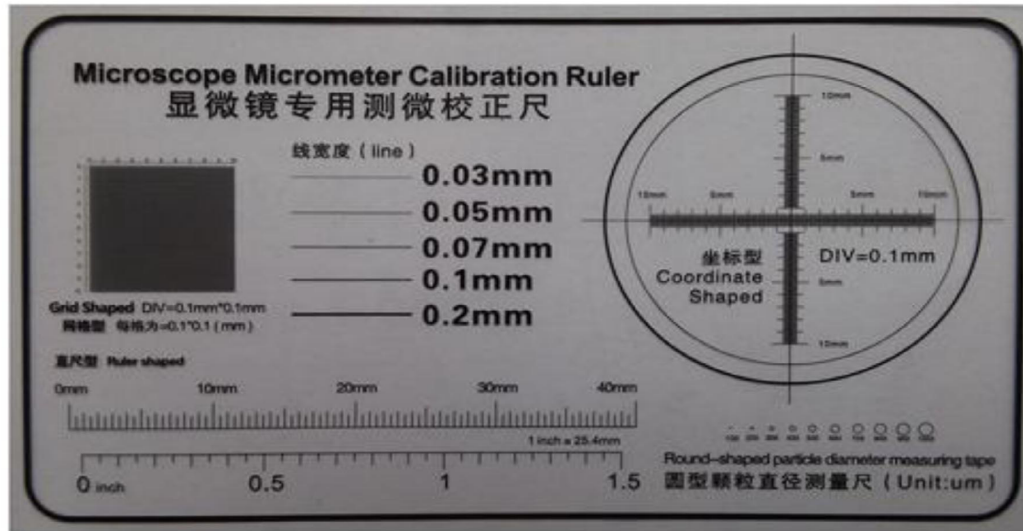


Figura 6: Regla de calibración micrométrica del microscopio digital USB FC CE RoHS de bajo costo.

Resultados y discusión

La figura 7 muestra el perfil de humedad relativa (HR) registrado durante los 80 minutos del experimento sin la presencia del inhibidor de corrosión, donde se pueden apreciar diferentes secciones, la primera empezando desde la sección A-B comenzando con una HR del 50% al 65%, la segunda empezando inmediatamente después correspondiente a la sección B-C comenzando con una HR del 65% al 88 %, desde la sección C-D comenzando con una HR del 88 % al 90 %, terminando en la sección D-E prácticamente constante de 95% de HR dentro de la cámara de niebla salina. La figura 8 muestra el perfil de HR registrado durante también 80 minutos del experimento con la presencia del inhibidor de corrosión donde también se pueden apreciar diferentes secciones, la primera empezando desde la sección F-G comenzando con una HR del 45 % al 58 %, la segunda empezando inmediatamente después correspondiente a la sección G-H comenzando con una HR del 58 % al 84 %, desde la sección H-I comenzando con una HR del 84 % al 95 %, terminando en la sección I-J prácticamente constante de 95% de HR dentro de la cámara de niebla salina

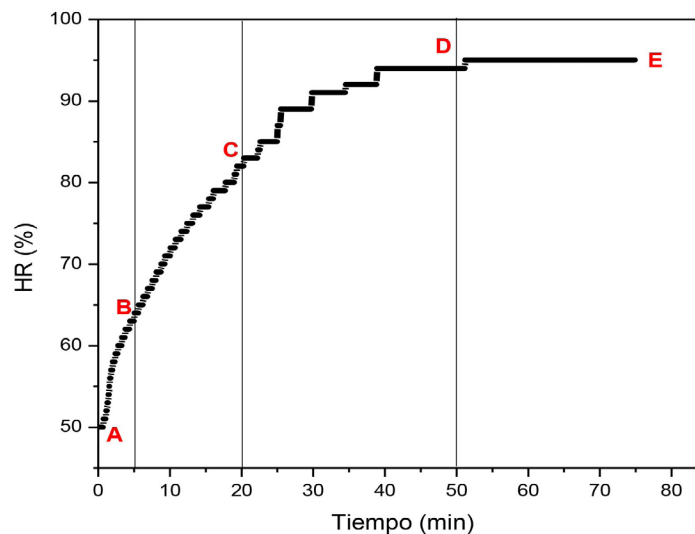


Figura 7: Perfil de humedad relativa (HR) registrado durante los 80 minutos del experimento sin la presencia del inhibidor de corrosión.

para ambos experimentos la temperatura ambiente fue de 20 °C con un total de 1285 mediciones para el experimento sin inhibidor y un total de 1259 mediciones con inhibidor, ambos con una velocidad de muestreo de 3,5 mediciones/s registradas en el monitor serial del ID de Arduino (Newark, 2015) estos resultados son concordantes con lo reportado por Li e Hijara (Li and Hijara, 2010). Durante todo el proceso se tomaron fotomicrografías cada 5 min de la superficie de acero en la cámara de neblina con un microscopio de bajo costo las cuales se muestran en la figura 9 sin inhibidor y en la figura 10 con inhibidor correspondientes a los puntos A, B, C, D y E para el experimento sin inhibidor y a los puntos F, G, H, I e J para el experimento con inhibidor. En las fotomicrografías

del acero al carbono con inhibidor es evidente la protección del acero contra la corrosión producida por el aerosol marino. El acero al carbono sin la presencia del inhibidor presenta un patrón de corrosión del tipo picadura, cuando el acero está cubierto con inhibidor se observa una disminución en este patrón de corrosión (Cáceres et al., 2009). Estos resultados obtenidos en la práctica de laboratorio con instrumental de bajo costo,

le proporcionarán al alumno no solo conocimientos y habilidades en corrosión sino también se logra que aplique conceptos de química orgánica y programación al interpretar sus resultados utilizando un instrumento con datos reales. Es decir, se cumpliría con todas las expectativas de la docencia en el laboratorio (Lagos y Camus, 2016). En este caso, el alumno comprende el concepto de la inhibición de la corrosión metálica y la técnica de medida utilizando una cámara de niebla salina (Brühl et al., 2007), al entender el funcionamiento básico de la cámara de niebla salina y la base del monitoreo de la humedad relativa utilizando el monitor serial de Arduino (Newark, 2015), además la práctica de laboratorio propuesta permite realizar posteriores experimentos con otros compuestos orgánicos (Roselli et al, 2013) u otros metales utilizados en la confección de esculturas de acero para determinar sus propiedades anticorrosivas, con estos resultados los procesos de interdisciplinaridad son favorecidos dado que es fácil reconocer la potencial pérdida del valor patrimonial y estético de la obra. Con ello se establecen vínculos directos entre los procesos corrosivos con el comportamiento atmosférico (Historia y Geografía), el valor patrimonial (Historia y Artes Plásticas), y la electrónica programación (Matemáticas y Computación). Con esta experiencia los estudiantes logran un lenguaje en común que les facilitaría continuar las interacciones en los ámbitos pedagógico-profesionales.

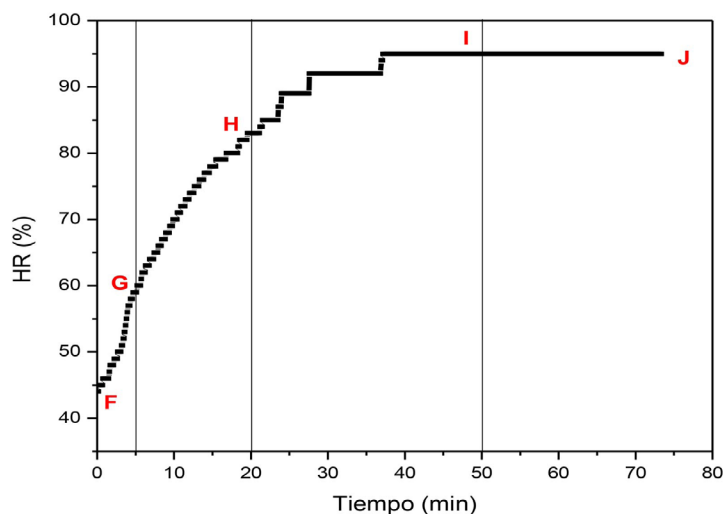


Figura 8: Perfil de HR registrado durante también 80 minutos del experimento con la presencia del inhibidor de corrosión.

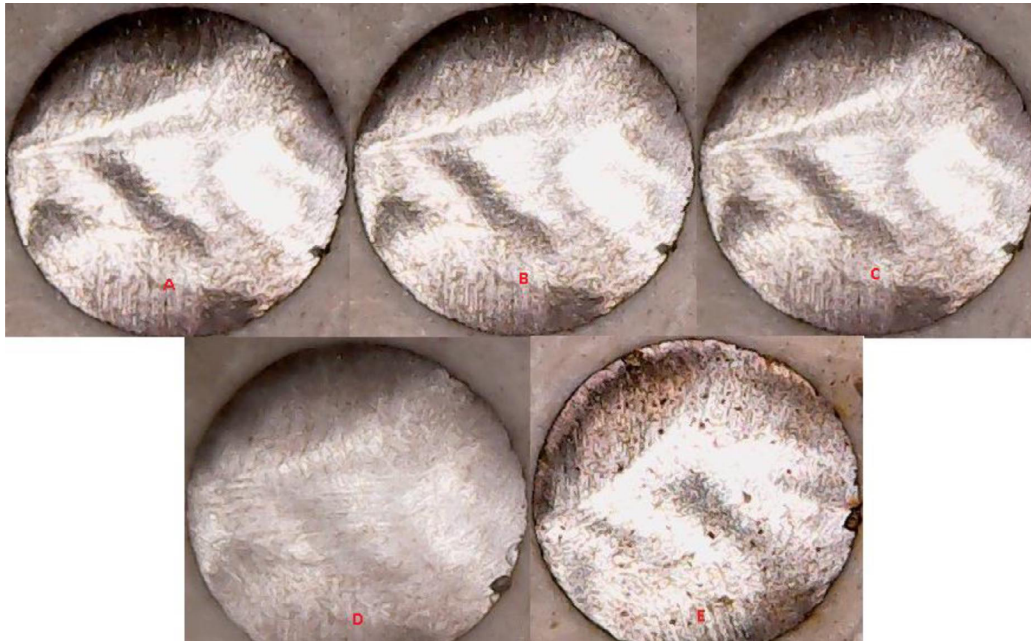


Figura 9: Fotomicrografías de la superficie de acero en los minutos 0, 5, 20, 50 y 80 sin la presencia del inhibidor de corrosión respectivamente.

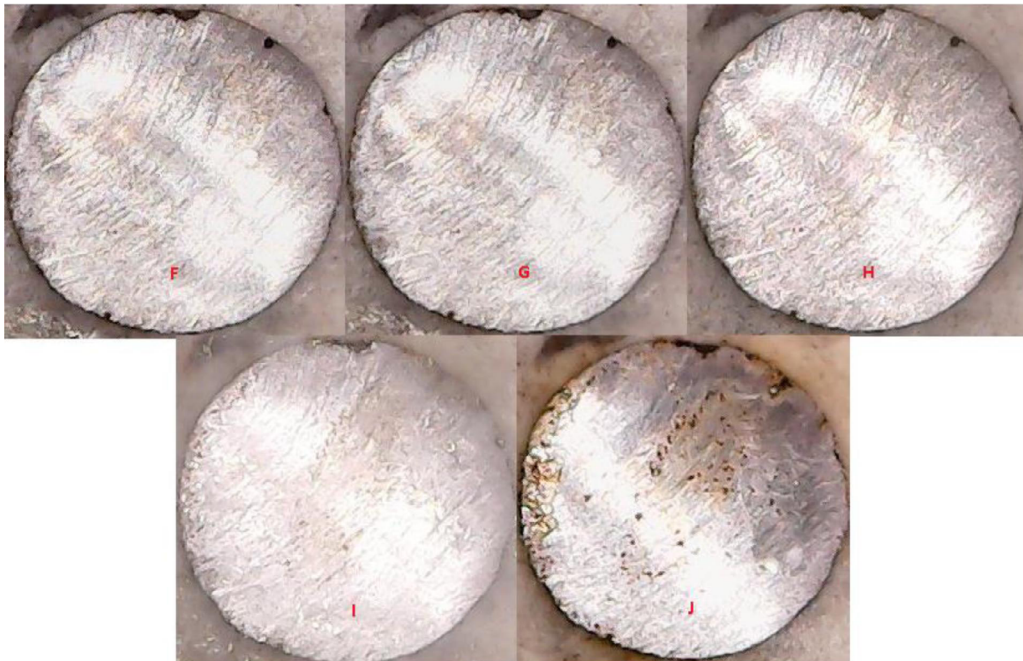


Figura 10: Fotomicrografías de la superficie de acero en los minutos 0, 5, 20, 50 y 80 con la presencia del inhibidor de corrosión respectivamente.

Conclusiones

En el presente trabajo se cumplió el objetivo principal propuesto, observación de corrosión e inhibición mediante una cámara de niebla salina, sensores y un microscopio de bajo costo del acero constituyente de esculturas. Los equipos y sensores utilizados abren un amplio abanico de opciones para el desarrollo de experiencias educativas pudiendo entrar en contacto con áreas poco exploradas y se visualiza la interacción con



relevancia pedagógica a bajo costo, pasando de la etapa observacional a la experimental. Por ejemplo, preservación y restauración de esculturas de acero que sean un patrimonio cultural, monitoreo utilizando métodos instrumentales en el laboratorio, e incluso el montaje y programación de circuitos electrónicos, entre muchas otras.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Ahamad, I., Prasad, R., & Quraishi, M. A. (2010). Adsorption and inhibitive properties of some new Mannich bases of Isatin derivatives on corrosion of mild steel in acidic media. *Corrosion Science*, 52(4), 1472-1481. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2010.01.015>.
- Brühl, S. P., Vaca, L. S., Charadía, R., Cimetta, J., & Cabo, A. (2009). Nitruración iónica de aceros inoxidable endurecibles por precipitación. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales S*, 1, 559-1.
- Cabrera-Sierra, R., Marín-Cruz, J., & González, I. (2007). La utilización de la espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) para identificar diferentes estados superficiales en el proceso de corrosión del acero al carbono en medios amargos. *Bol. Soc. Quím. Méx*, 1(1), 32-41.
- Cáceres, L. Vargas, T. and Herrera, L. (2007). Determination of electrochemical parameters and corrosion rate for carbon steel in un-buffered sodium chloride solutions using a superposition model. *Corrosion Science* 49 (8), 3168-3184. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2007.03.003>.
- Cáceres, L., Vargas, T., & Herrera, L. (2009). Influence of pitting and iron oxide formation during corrosion of carbon steel in unbuffered NaCl solutions. *Corrosion science*, 51(5), 971-978.
- Chico, B., Otero, E., Mariaca, L., & Morcillo, M. (1998). La corrosión en atmósferas marinas. Efecto de la distancia a la costa. *Revista de Metalurgia*, 34(Extra), 71-74. <http://dx.doi.org/10.3989/revmetalm.1998.v34.iExtra.711>.
- Dahbura Ramos, L. E. (2012). *Diseño y construcción de una cámara de niebla salina para ensayos de corrosión* (Doctoral dissertation, Universidad de el Salvador).
- Delgado-Castro, A., & Rojas-Bolaños, O. (2015). Construcción de un sistema de bajo costo para el uso y evaluación de sensores semiconductores para gases. *Educación química*, 26(4), 299-306. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.07.001>
- E. M. Attia, N. S. Hassan and A. M. Hyba (2016); Corrosion Protection of Tin in 1M HCl by Expired Novacid Drug-Part I *Int. J. of Adv. Res.* 4 (2). 872-886 (ISSN 2320-5407).
- Suarez-Corrales, Z. Valentino, V. L. R., Eduardo, C. P. F., & Rigoberto, M. (2014). Resistencia al clima tropical de aceros galvanizados con y sin recubrimiento. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 15(1), 29-40.
- Lagos, R. and Camus, J. (2016). Experimentos integrados: utilización de sensores en plantas de la galvanotecnia." *Educación Química* 27 (4), 264-268. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eq.2016.04.002>.
- Li, S. X., and Hihara, L. H. (2010). Atmospheric corrosion initiation on steel from predeposited NaCl salt particles in high humidity atmospheres. *Corrosion Engineering, Science and Technology*, 45(1), 49-56. <https://doi.org/10.1179/147842209X12476568584296>.



- Longoni, J., Sarutti, J. L., & Gotelli, R. (2002). Restauración y puesta en valor de esculturas metálicas. *Jornada de Técnicas de Reparación y Conservación del Patrimonio*, 1.
- Malato, S. (2008). Removal of emerging contaminants in waste-water treatment: Removal by photo-catalytic processes. In *Emerging Contaminants from Industrial and Municipal Waste* (pp. 177-197). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Melo, D. V., & Aragón, J. A. (2007). Sistema de Bajo Costo para la Enseñanza y los Estudios Metalográficos en Campo. *Información tecnológica*, 18(4), 3-8. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642007000400002>.
- Newark, [consultado 29 Ene, 2015]. Disponible en: <http://www.newark.com/arduino/a000066/dev-brd-atmega328-arduino-uno/dp/78T1601Vitz>,
- PINZÓN CANDELARIO, M. A. N. U. E. L., & JIRADO TAJAN, N. I. D. I. A. (2005). Aspectos de diseño de un equipo de análisis de corrosión por niebla salina. *Scientia Et Technica*, 11(29).
- Poma, D., & Leónidas, G. (2016). Diagnóstico de las propiedades de los aceros por microscopía óptica.
- Ramírez-Palma, M. T., Gutiérrez-Ramírez, J., Mojica-Gómez, J., & Hernández-Padrón, G. (2010). Evaluación anticorrosiva de una resina epóxica funcionalizada y depositada sobre placas de cobre. *Superficies y vacío*, 23.
- Roselli, S. N., Revuelta, M. V., Deyá, M. C., & Romagnoli, R. (2013). Protección del acero con pinturas con sales de tierras raras como pigmentos anticorrosivos. In *III Congreso Iberoamericano y XI Jornada de Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio (La Plata, 2013)*.
- Sacco, E. A., Culcasi, J. D., Elsnera, C. I., & Sarlia, A. R. D. (2001). Comportamiento en CNS de chapas de acero recubiertas por inmersión con Zn y aleación 55% Al-Zn, deformadas por tracción uniaxial. *Jornadas SAM Conamet*, 239.
- Samide, A. (2013). A pharmaceutical product as corrosion inhibitor for carbon steel in acidic environments." *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 48 (2), 159165 <https://doi.org/10.1080/03601234.2012.716744>
- Santana-Rodríguez, J. J. (2017). Micro-contaminación química: un nuevo tipo de contaminación ambiental.
- Soria, J. M., Miracle, M. R., & Vicente, E. (1987). Aporte de nutrientes y eutrofización de la Albufera de Valencia. *Limnetica*, 3(2), 227-242.
- Suárez García, O. J. (2006). Obtención de un recubrimiento de cromo decorativo a partir de soluciones de cromo trivalente. *Ingeniería e Investigación*, 26(2).
- Vaszilcsin, N., Ordodi, V., & Borza, A. (2012). Corrosion inhibitors from expired drugs. *International journal of pharmaceutics*, 431(1), 241-244. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2012.04.015>.
- ASTM B117-07, (2007). *Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus*, Filadelfia (EE.UU.): American Society for Testing and Materials, 2007.
- Malato, S. (2008). Removal of emerging contaminants in waste-water treatment: Removal by photo-catalytic processes. In *Emerging Contaminants from Industrial and Municipal Waste* (pp. 177-197). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Bedoya-Lora F. (2011). Análisis de los factores de mayor influencia en la evaluación del desempeño de recubrimientos orgánicos mediante ensayos acelerados y espectroscopia de impedancia electroquímica. *Ingeniería y Universidad*, 15(1), 245-268.

Recepción: 17 de enero de 2018. Aprobación: 16 de octubre de 2018