



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i2.1793>

Ciencias del arte
Artículo de investigación

*Diseño y construcción de una cámara de envejecimiento acelerado para ensayos de
corrosión en pinturas, recubrimientos y otros materiales*

*Design and construction of an accelerated aging camera for corrosion tests in paints,
coatings and other materials*

*Desenho e construção de uma câmara de envejecimiento acelerado para ensayos de
corrosión en pinturas, recubrimientos y otros materia*

Mabel Mariela Parada-Rivera ^I
mparada@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-7491-2078>

José Omar Cabrera-Escobar ^{II}
omar.cabrera@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0197-5163>

Mayra Paola Zambrano-Vinueza ^{III}
mayra.zambranov@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8661-2184>

Alexandra Isabel Tapia-Borja ^{IV}
alexandra.tapia@utc.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6935-5211>

Correspondencia: mparada@epoch.edu.ec

***Recibido:** 20 de febrero del 2021 ***Aceptado:** 20 de marzo del 2021 * **Publicado:** 03 de abril del 2021

- I. Ingeniera Química. Magister Scientiae en Ingeniería Química; Magister en Protección Ambiental, Docente Investigador del Grupo de Investigación de Materiales Avanzados GIMA-Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Ingeniero Mecánico, Magister en Diseño Mecánico, Docente Investigador de la Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Ingeniera Química, Magister Scientiae en Ingeniería Química, Magister en Protección Ambiental, Docente Investigador del Grupo de Investigación de Materiales Avanzados GIMA-Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- IV. Ingeniera Química, Magister en Ingeniería Química Aplicada, Magister en Seguridad Industrial Mención Prevención de Riesgos, Docente Investigador de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador.

Resumen

El objetivo fue el diseño y construcción de una cámara de envejecimiento acelerado para ensayos de corrosión en pinturas, recubrimientos y otros materiales. Para la realización del proyecto y el cumplimiento de los objetivos planteados se utilizó como base las normas NTE INEN 1032-84, ASTM G154 – 06 y G 151- 00, combinando varios criterios de cada normativa. El prototipo está construido de acero inoxidable AISI 304 y diferentes accesorios como lámparas UV, entre otros. Finalmente se concluyó con la validación del equipo en donde el prototipo permaneció estable durante el proceso, en donde los especímenes permanecieron expuestos en el interior de la cámara durante 200 horas por especificaciones de las normas mencionadas, se trabajó con ciclos alternos de luz y oscuridad figurando tanto el día como la noche, logrando así obtener resultados visibles como la pérdida de peso de todas las placas expuestas, descoloramiento, y herrumbra miento de hasta 33 % de la pintura no anticorrosiva, el cual es un indicativo de que se produjo corrosión, además de la presencia de óxido y la formación de ampollas en la superficie de los especímenes. Concluyendo que la cámara de envejecimiento acelerado construida actúa de igual forma que cámaras profesionales.

Palabras clave: Ingeniería y tecnología química; corrosión; intemperismo; cámara de envejecimiento acelerado.

Abstract

The objective was the design and manufacture of an accelerated aging wall cavity for corrosion tests in paints, coatings and other materials. The NTE INEN 1032-84, ASTM G154 - 06 and G 151-00 standards were used as a basis to develop the project and accomplish the objectives, combining several criteria of each regulation. The prototype is manufactured of AISI 304 with stainless steel and different accessories such as: UV lamps, among others. Finally it was concluded with the validation of the equipment where the prototype remained stable during the process, where the specimens stayed exposed inside the wall cavity during 200 hours by specifications of the standards mentioned before, worked with alternating cycles of light and darkness, including both day and night, achieving visible results such as weight loss of all exposed plates, discoloration, and rust up to 33% of the non-corrosive paint, which is an indication that corrosion occurred, in addition

Diseño y construcción de una cámara de envejecimiento acelerado para ensayos de corrosión en pinturas, recubrimientos y otros materiales

to the presence of rust and the formation of blisters on the surface of the specimens. Concluding that the accelerated aging camera built in the same way as professional cameras.

Keywords: Chemical engineering and technology; corrosion; weather; accelerated aging wall cavity.

Resumo

El objetivo fue el diseño y construcción de una cámara de envejecimiento acelerado para ensayos de corrosión en pinturas, recubrimientos y otros materiales. Para a realização do projeto e o cumprimento dos objetivos plantados se utiliza como base as normas NTE INEN 1032-84, ASTM G154 - 06 e G 151-00, combinando vários critérios de cada normativa. El prototipo está construido de acero inoxidable AISI 304 y diferentes accesorios como lámparas UV, entre otros. Finalmente se conclui com a validação do equipo no donde o prototipo permaneció estable durante o processo, no donde los

especímenes permanecieron expuestos no interior de la cámara durante 200 horas por especificaciones de las normas mencionadas, se trabajó con ciclos alternos de luz e oscuridad figurando tanto el día como la noche, logrando así obtener resultados visibles como la pérdida de peso de todas as placas expuestas, descoloramiento, y herrumbra miento de hasta 33% de la pintura no anticorrosiva, el cual es un indicativo de that se produjo corrosión, además de la presencia de óxido y la formación de ampollas en la superficie de los especímenes. Concluyendo que la cámara de envejecimiento acelerado construida actúa de igual forma that cámaras profesionales.

Palabras chave: Ingeniería y tecnología química; corrosão; intemperismo; cámara de envejecimiento acelerado.

Introducción

En la actualidad se tienen cámaras de envejecimiento acelerado de diferentes marcas, las cuales tienen un elevado costo, debido a este inconveniente se hace necesario diseñar una cámara que cumpla con las mismas condiciones que una cámara profesional, para garantizar estas condiciones se seguirán parámetros y procedimientos normados con los cuales están construidas las cámaras profesionales.

Diseño y construcción de una cámara de envejecimiento acelerado para ensayos de corrosión en pinturas,
recubrimientos y otros materiales

Debido a que la corrosión se ha producido a lo largo del tiempo, ha surgido la necesidad de estudiar y buscar una solución para este fenómeno natural, ya que el daño que provoca es muy trascendental, entiéndase como corrosión a la destrucción o deterioro de un material a causa de su combinación o reacción con el medio ambiente (Morcillo, 2018). La elección de los materiales de fabricación de los diferentes dispositivos, maquinarias o estructuras es una de las principales soluciones (Vázquez, 2014). Es de vital importancia para la eficiencia y rentabilidad de las industria (Suarez, 2013), conocer que material resistirá mejor a los diferentes climas, es necesario realizar pruebas con distintos materiales en las mismas condiciones ambientales. Esta anomalía se produce de manera natural y espontánea, ya que los materiales tratan de regresar a su estado de equilibrio químico, y muchas veces por efecto del medio que rodea los materiales, por esta razón, es importante poder analizar la relación que tiene el medio ambiente con la corrosión de los materiales, y una manera de analizarlo es mediante un equipo de envejecimiento acelerado que simule condiciones de intemperie. La cámara de envejecimiento se utiliza para prever el comportamiento de materiales en condiciones atmosféricas, es decir de uso en la intemperie (López, 2013).

Asimismo, la cámara de envejecimiento es un equipo en el que se tiene la atmosfera simulada que pretende habilitar las técnicas necesarias para reproducir las variables requeridas y su intensidad, se tiene como variables la temperatura, humedad y fuente de radiación (Vale, 1983); a diferencia de una cámara de niebla salina en la que básicamente pulverizan una solución corrosiva por medio de aire comprimido, el cual la transforma en finas gotas que se sitúan en la probeta a ensayar (Audelo, 2017), con la cámara de envejecimiento se obtienen resultados rápidamente y de este modo se ahorra tiempo y dinero. (Binder, 2015).

Por su parte, la temperatura influye en los materiales debido a que aumenta la velocidad de las reacciones químicas, la humedad es otro factor que degrada al material y la radiación debe ser de similar longitud de onda que la producida por el sol, esta variable también aumenta la velocidad de corrosión, la radiación desde 1970 se integró en las cámaras de envejecimiento luz ultravioleta para la simulación de la radiación solar (CCI, 2018).

Con estos antecedentes, el objetivo de esta investigación es diseñar una cámara de envejecimiento que cumpla con la normativa nacional e internacional. Para la construcción se utilizó normativa nacional norma INEN 1032 e internacional como la norma ASTM G-151 y ASTM G-154.

Diseño y construcción de una cámara de envejecimiento acelerado para ensayos de corrosión en pinturas,
recubrimientos y otros materiales

En la normativa referente al tema no se han realizado actualizaciones, es así que la norma nacional no se le ha realizado modificaciones desde el año de 1984. En lo que tiene que ver con la normativa internacional en el año 2000 se publica la norma ASTM G-151 para el uso de fuentes de luz en equipos de envejecimiento acelerado y como modificación de la norma ASTM G-53 (Grossman, 2018), la norma ASTM G-154 se podría decir que es el aporte más actual a este tema cuya última actualización fue en el 2006

Para controlar la temperatura se utiliza termostato que cumple con la norma ASTM G151 mismo que antes de ser puesto en funcionamiento fue calibrado, para la variable de radiación se utilizó una lámpara ultravioleta modelo UVB-313 EL misma que antes de ser puesta en funcionamiento en el prototipo fue calibrada esta lámpara cumple con las especificaciones de la norma ASTM G154, finalmente para la variable de humedad se utilizaron chiflones de aspersion de agua previo a la selección de los mismo se realizó el cálculo para determinar el área en la que estos van a trabajar, este equipo es ayudado de un higrómetro para tener la humedad deseada dentro de la cámara.

Para la validación de nuestro equipo se realizó el Ensayo para la determinación de la resistencia al intemperismo acelerado de las pinturas anticorrosivas que se describe en la norma INEN 1032, en cuatro placas; en esta norma se obtienen resultados cuantitativos y cualitativos, para poder validar el equipo se utilizaron los resultados cuantitativos dentro de este grupo se tiene la velocidad de corrosión misma que es la relación que existe entre perdida de material con respecto al tiempo de exposición en un ambiente corrosivo (Ramírez, 2017), la cámara ha sido diseñada para garantizar reproducibilidad en los resultados

Metodología

Consideraciones del diseño

Para la construcción del equipo se determinaron las variables mediante una investigación exhaustiva bibliográfica, analizando cámaras de envejecimiento acelerado construidas por grandes empresas, así como prototipos realizados por estudiantes de varias instituciones a través del mundo; y considerando las normas bajo las cuales se rige este proyecto.

Mediante esta investigación bibliográfica se pudo obtener las principales variables a considerar para la construcción y el correcto funcionamiento de la cámara de envejecimiento acelerado, pues

Diseño y construcción de una cámara de envejecimiento acelerado para ensayos de corrosión en pinturas, recubrimientos y otros materiales

en todas las cámaras en las cuales emplean ciclos de corrosión ambientales, existen 3 parámetros fundamentales que se deben tomar en cuenta: Temperatura, Humedad y Radiación UV (Turbi, 2015).

Para diseñar la cámara de envejecimiento se tomarán en cuenta algunas consideraciones basadas en la norma ecuatoriana NTE INEN 1032-84 en colaboración con las normas ASTM G154-06 y ASTM G151-00 las cuales especifican los siguientes parámetros:

NTE INEN 1032-84: Pinturas anticorrosivas. Ensayo de la resistencia al intemperismo acelerado.

Fuente de luz: compuesta de dos lámparas de arco-carbón que radia constantemente sobre las muestras, durante la prueba.

Tambor cilíndrico vertical: En el que se colocan las muestras, y gira a la velocidad de una revolución por minuto.

Chiflones de aspersión de agua: Para rociar las muestras obtener un medio húmedo.

Termostato: Para control automático y constante de temperatura dentro de la cama del aparato.

Cámara aisladora: En la cual se colocan todos los equipos anteriores; debe ser de acero inoxidable.

El diseño de la cámara de prueba puede variar, pero debe construirse con un material resistente a la corrosión y además proporcionar medios para controlar la temperatura y la humedad relativa, además de la fuente radiante.

Las lámparas para utilizar en el equipo serán dos las cuales pueden ser de arco-carbón ASTM G151-00 Standard Practice for Exposing Nonmetallic Materials in Accelerated Test Devices that Use Laboratory Light Sources

Cualquier dispositivo destinado a proporcionar ciclos de luz y oscuridad tendrá medios para programar intervalos con o sin luz. El tiempo de cada ciclo de luz y oscuridad se controlará para dentro del 10% del tiempo de ciclo más corto utilizado. Es preferible utilizar temporizadores de ciclo que sean precisos y reproducibles como posible. Opcionalmente, medios para proporcionar un registro de la longitud pueden proporcionarse ciclos de luz y oscuridad.

Para cumplir con los requisitos de un procedimiento de prueba particular además, es posible que el aparato también deba proporcionar medios para registrar los siguientes parámetros operacionales:

Voltaje de línea; Voltaje de la lámpara y, en su caso, potencia de la lámpara; Corriente de la lámpara; Temperatura de negro sin aislamiento o aislado o termómetro de panel blanco; Temperatura del aire de la cámara de prueba; Humedad relativa de la cámara de prueba, Ciclos de

Diseño y construcción de una cámara de envejecimiento acelerado para ensayos de corrosión en pinturas,
recubrimientos y otros materiales

rociado de agua; irradiancia o exposición radiante, o ambos, sobre una región espectral especificada; y, Duración de la exposición (tiempo de radiación y total, si diferente). Siga las recomendaciones del fabricante del dispositivo. Con respecto a la calibración de los dispositivos utilizados para registrar cada parámetro operacional.

El tiempo de exposición en cámara de envejecimiento acelerado dependerá del ciclo que se escoja referenciado en la norma ASTM G 151- 00 que incluye temperaturas, radiación y humedad relativa.

En esta norma no se especifica el tipo de muestra a utilizar (forma, tamaño, grosor, corte) o la interpretación de los resultados.

ASTM G154 – 06 Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials

Calibración del instrumento: para garantizar la estandarización y precisión, los instrumentos asociados a la exposición (por ejemplo, temporizadores, termómetros, sensores de bulbo húmedo, seco sensores de bulbo, sensores de humedad, sensores UV y radiómetros). Requiere calibración periódica para asegurar la repetibilidad de la prueba. Resultados: Siempre que sea posible, la calibración debe ser rastreable hasta Normas nacionales o internacionales. Horario de calibración y el procedimiento debe ser de acuerdo con las instrucciones del fabricante estructuras.

Humedad relativa: la cámara de prueba puede estar equipada con un medio para medir y controlar la humedad relativa. Tales instrumentos estarán protegidos de la radiación de las lámparas.

Las lámparas de radiación UV a utilizar dependerán del tipo de filtro que se emplee y del tipo de ciclo de exposición (las lámparas más comunes son la UVA -340, UVB-313 y UVA-351).

Soportes para muestras: los soportes para muestras de prueba deben ser hechos de materiales resistentes a la corrosión que no afectarán los resultados de la prueba. Aleaciones de aluminio o inoxidables resistentes a la corrosión. El acero se ha encontrado aceptable. Latón, acero o cobre no debe utilizarse cerca de las muestras de ensayo.

En la Tabla 1 se definen cada uno de los componentes que fueron utilizados en la construcción de la cámara de envejecimiento acelerado.

Diseño y construcción de una cámara de envejecimiento acelerado para ensayos de corrosión en pinturas, recubrimientos y otros materiales

Tabla 1: Componentes de la cámara de envejecimiento acelerado

SISTEMA/COMPONENTE	FUNCIÓN
Soporte del equipo	Proporciona estabilidad al equipo el mismo que cuenta con cuatro patas en donde se distribuirá el peso de la cámara.
Cuerpo de la cámara	Parte en la cual se depositarán en su interior las placas de los materiales que van a hacer expuestos al envejecimiento.
Puerta de la cámara	Hecha de acero inoxidable AISI 304, cuenta con un vidrio templado negro de 1 pulgada y 6 mm de espesor nominal, para visualizar el proceso que ocurre en el interior de la cámara, manteniendo además la temperatura dentro de la misma.
Chiflones de aspersión de agua	Tienen como función rociar agua a la placa de materiales simulando condiciones externas de humedad como es la lluvia.
Fuente de luz	Las lámparas que se utilizaron para el diseño y construcción de este prototipo fueron: 4 lámparas UV que irradia la muestra por completo cuya marca es CHANGHONG T8 Lamp UV GL30 de 30 Watts, las cuales contienen un poder UV de 13.4 Watts y una intensidad de radiación ultravioleta de 130 uW/cm, con una dimensión de 70 cm
Termocupla	Sensor de temperatura que nos arroja una lectura constante y puntual dentro de la cámara.
Cámara aisladora	Cámara de acero inoxidable (American iron and steel institute) AISI 304, ubicada en el interior del cuerpo de la cámara.
Higrómetro	Sensor empleado para dar una lectura del grado de humedad relativa presente en el aire el modelo escogido fue termómetro higrómetro lcd, Alcance: -50 ~ 70°C (-58°F a 158 °F), humedad: 10%RH – 99%RH, Precisión: ± 0,1 ° C (1,8 ° F) ± 5% HR
Desagüe de agua	Consiste en un sistema de drenaje cuya función es eliminar el exceso de agua proveniente de los chiflones de aspersión de agua. Ducto de eliminación de agua no vaporizada o condensada, de 1/8 pulgadas para evitar empozamiento dentro de la cámara.
Sistema de calefacción de la cámara	Dispositivo empleado para alcanzar la temperatura optima descrita en la norma.
Rejilla	Confeccionada de acero inoxidable (American iron and steel institute) AISI 304, es la base en la cual descansaran las placas de material para ser expuestas a radiación UV, agua.
Panel de Control	Panel de mando para activar los sensores y dar la lectura de temperatura y humedad.

Fuente: Autores,2021

Diseño y construcción de una cámara de envejecimiento acelerado para ensayos de corrosión en pinturas, recubrimientos y otros materiales

En la Figura 1 se muestra la cámara de envejecimiento acelerado completamente construida y funcional.

Figura 1: Cámara de envejecimiento acelerado



Fuente: Autores,2021

La cámara construida debe cumplir con las especificaciones de los ciclos que se pueden utilizar según varias normativas existentes para equipos de envejecimiento acelerado como las de la Tabla 2.

Tabla 2: Normas técnicas y ciclos de exposición

Norma	Tiempo (horas)	CICLO RADIACION UV	Tiempo (horas)	CICLO OSCURIDAD	Radiación
ASTM D 4587-01	4	60°C, 100%HR	20	50°C, Condensación	300-380 nm
ASTM G 53-96	60-70°C, atm saturada humedad.	40-60°C, Condensación	300-380 nm
ASTM G 154	8	60°C	4	50°C, Condensación	300-380 nm

Fuente: Autores,2021

Validación de la cámara de envejecimiento acelerado

Para poseer una evidencia documentada sobre la veracidad y funcionalidad del equipo construido, se realizó pruebas de laboratorio, las cuales consistieron de tres técnicas, mismas que están de acuerdo a la norma INEN 1032.

Diseño y construcción de una cámara de envejecimiento acelerado para ensayos de corrosión en pinturas,
recubrimientos y otros materiales

- Determinación de corrosión por el método de pérdida de peso
- Determinación de corrosión por caleo y decoloración.
- Determinación de herrumbramiento y ampollamiento.

Para estas tres técnicas se utilizó, cuatro placas de acero inoxidable de una misma dimensión (15x21) cm, tres pintadas cada una con un diferente tipo de pintura (anticorrosiva, esmalte alquídico, esmalte sintético) y una sin ningún tipo de recubrimiento, cada prueba tenía un objetivo diferente de apreciar la corrosión que afecta al material.

Preparación de las muestras

Las muestras deben permanecer en condiciones de temperatura ambiente durante 7 días, a menos que se trate de pintura horneada, en cuyo caso se necesitan solamente 24 horas.

La muestra de ensayo debe tomarse del recipiente de envase, luego de una agitación mecánica vigorosa.

Los paneles de ensayo deben ser de lámina de acero laminado en frío; deben estar previamente preparados de acuerdo con la norma de requisitos del producto que debe analizarse y las dimensiones serán formato A5 (15*21) y de 0.8 mm de espesor limpiados hasta metal blanco.

Procedimiento

Para la prueba de cada producto emplear 2 placas; una para el ensayo y la otra como placa testigo. Aplicar la pintura sobre las placas de acero. La preparación de la superficie de aplicación, los espesores de película y el sistema de secado se fijan en las normas del producto correspondiente. Colocar las placas en el aparato de intemperismo acelerado, debiendo permanecer bajo las condiciones producidas por dicho aparato un mínimo de 200 horas y un máximo de 700 horas continuas, según se fije la norma del producto correspondiente.

Al terminar el tiempo de exposición, extraer e inspeccionar de inmediato los especímenes de prueba tomando en consideración las fallas descritas.

Resultados

Los procedimientos de las técnicas utilizadas se encuentran descritas en la normativa NTE INEN 1032 Pinturas anticorrosivas. Ensayo de la resistencia al intemperismo acelerado. A excepción de

Diseño y construcción de una cámara de envejecimiento acelerado para ensayos de corrosión en pinturas, recubrimientos y otros materiales

la práctica de pérdida de peso, la cual sigue el procedimiento común y corriente para este tipo de práctica.

Técnica 1: determinación pérdida de peso

Antes de ingresar cada una de las placas a la cámara de envejecimiento acelerado se tomó los pesos de cada una los mismos que se muestran a continuación en la Tabla 3:

Tabla 3: Datos experimentales validación de Cámara de Envejecimiento Acelerado

MATERIAL	DESIGNACION PLACAS	PESO INICIAL (g)
ACERO INOXIDABLE	Placa 1 (Amarilla)	96.59
	Placa 2 (Azul)	95.49
	Placa 3 (Blanca)	101.46
	Placa 4 (Sin recubrimiento)	102.73

Fuente: Autores,2021

Una vez terminada la exposición por 200 horas se encuentran los resultados establecidos en la Tabla 4

Tabla 4: Resultados de la Practica Determinación de Grado de corrosión

MATERIAL	DESIGNACION PLACAS	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	PESO PERDIDO (g)	PORCENTAJE DE PERDIDA (%)
ACERO INOXIDABLE	Placa1 (Amarilla)	96.59	95.39	1.20	1.242
	Placa 2 (Azul)	95.49	95.40	0.09	0.009
	Placa 3 (Blanca)	101.46	101.03	0.43	0.420
	Placa 4(Sin recubrimiento)	102.73	95.82	6.91	6.726

Fuente: Autores,2021

Técnica 2: Determinación corrosión por caleo y decoloración

Para interpretación de resultados para determinar el grado de caleo y decoloración se requiere comprar la norma NTE INEN 1032 Pinturas anticorrosivas. Ensayo de la resistencia al intemperismo acelerado. Los resultados de esta comparación se describen en la Tabla 5, a la placa 4 no se le realizo la técnica 2 debido a que no presenta ningún recubrimiento.

Diseño y construcción de una cámara de envejecimiento acelerado para ensayos de corrosión en pinturas, recubrimientos y otros materiales

Tabla 5: Resultados grado de caleo y decoloración

PLACA DE ACERO INOXIDABLE	GRADO DE CALEO	DECOLORACION
PLACA 1 (AMARILLA)	No. 6	MINIMA
PLACA 2 (AZUL)	No. 8	NINGUNA
PLACA 3 (BLANCA)	No. 8	NINGUNA

Técnica 3: Determinación de herrumbramiento y ampollamiento

Herrumbramiento

Para interpretación de resultados para determinar el herrumbramiento y ampollamiento se requiere comprar la norma NTE INEN 1032 Pinturas anticorrosivas. Ensayo de la resistencia al intemperismo acelerado. La comparación se realiza con las placas resultantes de la exposición que se encuentran en la Figura 3 con los patrones fotográficos de la norma. Los resultados de esta comparación se encuentran en la Tabla 6. a la placa 4 no se le realizó la técnica 3 debido a que no presenta ningún recubrimiento.

Figura 3: Placas expuestas



Fuente: Autores, 2021

Tabla 6: Resultados grado de herrumbramiento y ampollamiento

Placas de acero inoxidable	Grado de herrumbramiento	Ampollamiento
Placa 1 (amarilla)	10%	Medio denso (d)
Placa 2 (azul)	0.03%	-----
Placa 3 (blanca)	33%	Denso (d)

Fuente: Autores, 2021

Discusión

Dentro de la ejecución del diseño y construcción del equipo surge un inconveniente, acarreado la necesidad de cambiar ciertos aspectos de la norma ecuatoriana NTE INEN 1032, por el hecho de que esta norma es del año 1984. En ese entonces muchos de los dispositivos que se encuentran en la cámara de envejecimiento acelerado no existían. El dispositivo más importante es la fuente de luz, la norma ecuatoriana de 1984 solicita lámparas de arco-carbón, las mismas que fueron dadas de baja por la cantidad de nuevas lámparas con mejor eficiencia. Por lo que obligadamente se debe utilizar otro tipo de lámparas basándose en la norma ASTM G 154-06, en la cual se indica el uso de lámparas ultravioleta que se encuentren dentro del espectro UVA-340 o UVB-313.

Para poder determinar si la cámara de envejecimiento acelerado cumple con su función se procede a calcular el mpy, este es un índice que expresa la velocidad de corrosión, es un método tradicional que sirve para medir la pérdida de peso que ha experimentado un determinado metal o aleación en contacto con un medio corrosivo. Con el cálculo del área total superficial y la pérdida de masa de la probeta se obtiene la velocidad de corrosión en mpy según la siguiente ecuación (Marulanda, 2009):

$$mpy = \frac{W * 22273}{D * A * T}$$

WL = Peso que pierde el material, en gramos (gr)

D = Densidad del material, en gramos sobre centímetros cúbicos (g/(cm³))

A = Área del material, en pulgadas cuadradas (in²)

T = Tiempo que se expone el material al ambiente corrosivo, en días.

Tabla 7: Resultados Mpy

Tipo de Placa	Mpy(milipulgadas/año)
Placa Azul (Pintura anticorrosiva)	0.502
Placa blanca (Pintura esmalte alquídico)	2.399
Placa Amarilla (Pintura esmalte sintético)	6.695
Placa sin recubrimiento	38.605

Fuente: Autores,2021

Diseño y construcción de una cámara de envejecimiento acelerado para ensayos de corrosión en pinturas,
recubrimientos y otros materiales

Como era de esperarse la placa que mayor valor de mpy tuvo es la placa que esta sin recubrimiento teniendo un valor de 38.605 y la que menos tuvo fue la placa con pintura anticorrosiva con un valor de 0.502

Se tiene un estudio previo en el que se encontró la velocidad de corrosión del acero AISI 304 en cloruro de sodio (NaCl) al 1,5 %, en que se determinó un mpy de 37,807 (0.906 mm/año) (Chávez, 2007), si se compara con el dato obtenido en esta investigación de 38.605 se tiene un error del 2.067 % por lo que se puede decir que el error es aceptable y se validaría el diseño de la cámara.

Conclusiones y recomendaciones

Se determinó variables de proceso a tomar en cuenta al momento del diseño y construcción de la Cámara las cuales fueron: temperatura. factor establecido en base a las normas NTE INEN 1032-84, ASTM G154-06 y ASTM G151-00; la humedad, que acelera la velocidad de una reacción corrosiva y por último la radiación UV ya que ocasiona corrosión y desgaste al material expuesto según el tipo de ciclo que se escoja para la práctica donde variará la humedad y la temperatura.

Se seleccionó los materiales a usarse en la construcción de la cámara en base a las especificaciones de las normas NTE INEN 1032-84, ASTM G154-06 y ASTM G151-00, para la elaboración de la cámara se ha escogido materiales resistentes contra la corrosión, temperatura y humedad (Acero Inoxidable AISI 304).

Cuando se realiza la comparación del mpy obtenido en la cámara con el mpy cuando el material esta expuesto al cloruro de sodio, se tiene un mpy mayor con cloruro de Sodio debido a que este ambiente es más corrosivo al que presenta la cámara de envejecimiento, además que en las placas que se probaron en la cámara de envejecimiento se utilizó diferentes recubrimientos lo cual hace que se tenga un mpy menor.

Se recomienda que la exposición de los especímenes en el equipo de intemperismo acelerado permanezca bajo condiciones ambientales un tiempo mínimo de 200 horas y un máximo de 700 horas para evitar daños en la cámara.

Se recomienda realizar pruebas corrosivas en tiempo real de los especímenes a condiciones ambientales naturales y compararlas con el daño que se produce en el interior de la cámara simulada para así, establecer el tiempo que simula la exposición dentro de la cámara.

Diseño y construcción de una cámara de envejecimiento acelerado para ensayos de corrosión en pinturas, recubrimientos y otros materiales

Las lámparas utilizadas para este equipo, tienen picos de radiación ultravioleta que alcanzan los 340 nm lo cual se encuentra dentro de la norma, sin embargo, para que la cámara sea más efectiva es recomendable adquirir lámparas ultravioletas UVA-340 originales de Q-Lab, pues las mismas tienen ondas cortas que van desde los 365nm hasta los 295 nm que es la longitud de onda de corte de luz solar.

Hay que considerar que el tiempo que las placas estuvieron expuestas fue el mínimo, 200 horas. Para que los resultados sean más visibles es recomendable que se expongan el tiempo máximo que dicta la norma INEN 1032, es decir, 700 horas.

Referencias

1. ASTM Commite. (2006). ASTM G154. Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus For UV Exposure of Nonmetallic Materials. 1raEd. ASTM Commite. West Conshohocken, USA
2. ASTM Commite. (2000). ASTM G151. Standard Practice for Exposing Nonmetallic Materials in Accelerated Test Devices that Use Laboratory Light Sources. 1raEd. ASTM Commite. West Conshohocken, USA
3. Audelo, F., y M. Parada (director). (2017). Diseño y construcción de una cámara de niebla salina mediante la norma ASTM B-117 para en ensayos de corrosión para la carrera de ingeniería química de la ESPOCH. Tesis de Grado en Ingeniería Química. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
4. Binder. Predicciones sobre el comportamiento de materiales. [En línea]. Tuttlingen, Alemania: Binder GmbH, Envejecimiento artificial, 2015. [Consulta: 2019-01-02]. Disponible en:
5. https://www.binder-world.com/es/content/.../2015_03_wp_Artificial-aging_ES.pdf
6. CCI. Cámaras de Ensayos-CCI Control de Calidad. [En línea]. Barcelona, España: Criogenia bajo tensión, 2016. [Consulta: 2019-01-02]. Disponible en:
7. <http://www.cci-calidad.com/articulos.htm>
8. Chávez, L., y J. Mancilla (director). (2007). Medición de la velocidad de corrosión mediante la técnica de ruido electroquímico en aceros inoxidables 304 y 316L. Tesis

Diseño y construcción de una cámara de envejecimiento acelerado para ensayos de corrosión en pinturas, recubrimientos y otros materiales

- de Maestro en Tecnología Avanzada. Instituto Politécnico Nacional. Mexico D.F., Mexico.
9. Grossman George William. Q-Lab. [En línea]. [Consulta: 2018-04-13]. Disponible en:
 10. <https://www.q-lab.com/es-es/about/>.
 11. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1984). INEN 1032. Pinturas Anticorrosivas Ensayo de la Resistencia al Intemperismo Acelerado. . 1raEd. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Quito, Ecuador
 12. INTN, “Corrosión y Protección Anticorrosiva” Capitulo IV Corrosión Electroquímica 25-49, 125-133. 2014
 13. J, M, López. (2013). Transformación de materiales termoplásticos. IC Editorial. Malaga Espana ISBN: 978-84-15942-20-7
 14. Mariño, Santiago, “Libro de Corrosión”. República Bolivariana de Venezuela. [En Línea], 2014, (Venezuela). [Consulta: 2018-08-12]. Disponible en: <https://librodecorrosion.wordpress.com/>
 15. Marulanda, J., L. Tristancho, A. Cañas. (2009). Protección contra la corrosión en sale fundidas de un acero Hot Rolled, en el rango de temperaturas de 400oC-600oC, recubierto por rociado térmico con acero inoxidable 312. Editorial Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Bogotá, Colombia. ISSN: 0012-7353.
 16. Morcillo, Manuel., B. Gonzalez. (2018). La corrosión atmosférica del acero al carbono en ambientes costeros. Editorial CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, España. ISBN: 9788400103453, 9788400103460
 17. Ramírez, C.,C, León, y M. Sierra (director). (2017). Puesta a punto de la cámara salina y equipo de desgaste por abrasión según normas técnicas ASTM B117 y ASTM G-65, ubicados en el laboratorio de Molinos de la Universidad Libre. Tesis de Grado en Ingeniería Mecánica. Universidad Libre de Colombia. Bogota, Colombia.

Diseño y construcción de una cámara de envejecimiento acelerado para ensayos de corrosión en pinturas,
recubrimientos y otros materiales

18. Suarez, X., F. Corvo. (2013). Resistencia al clima tropical de aceros galvanizados con y sin recubrimiento. Revista Ingeniería Investigación y Tecnología. ISSN 1405-7743 FI-UNAM
19. Turbi, M., y J. Avellaneda (director). (2015). Degradación acelerada en cámara climática de superficies de madera con diferentes tratamientos y comparación con la degradación natural a largo plazo. Tesis de Maestría en Tecnología de la Arquitectura. Universidad Politécnica de Cataluña. Cataluña, España.
20. Vale, J., A. Martín. (1983). Ensayos de materiales en atmosferas simuladas. ISSN 1405-7743 FI-UNAM. Editorial CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, España. ISBN: 9788400103453, 9788400103460
21. Vázquez, M. (2014). La Corrosión. Editorial Eudem. Mar del Plata, Argentina. ISBN: 9781512910803

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).