

ENSAYOS DE CORROSIÓN ACELERADOS PARA SISTEMAS DE PINTURAS ANTICORROSIVAS

ACCELERATED CORROSION TESTS FOR ANTI-CORROSIVE PAINT SYSTEMS

Alexander Cueli¹, Lilia del Carmen González¹, Jorge Fundora¹, Brenda McNeil¹

(1) Empresa Laboratorios de Tropicalización (LABET), Carretera de Morro # 7246 Km 2 1/2, Cojimar, CP 62000 La Habana -Cuba
(e-mail: alexueli81@gmail.com)

Recibido: 14/07/2023 - Evaluado: 05/08/2023 - Aceptado: 02/09/2023

RESUMEN

La expansión en la línea costera norte de la industria petrolera cubana y el continuo aumento de la producción ha demandado una mayor construcción de tanques de almacenamiento. Este fenómeno ha conllevado a la necesidad de conocer cada vez más sobre la capacidad de resistencia de los sistemas de protección aplicados. Con la finalidad de evaluar el comportamiento de dos sistemas de pinturas sobre acero, se desarrolla en el presente trabajo un programa de ensayos de corrosión de tipo acelerado, bajo condiciones específicas y controladas de laboratorio. El propósito de las pruebas realizadas en este trabajo radica en poner de manifiesto la eficacia de los revestimientos de pinturas frente a determinadas condiciones, así como dar a conocer los resultados obtenidos.

ABSTRACT

The expansion of the Cuban oil industry along the northern coastline and the continuous increase in production has demanded greater construction of storage tanks. This phenomenon has led to the need to know more and more about the resistance capacity of the protection systems applied. In order to evaluate the behavior of two paint systems on steel, an accelerated corrosion test program is developed in this work, under specific and controlled laboratory conditions. The purpose of the tests carried out in this work is to demonstrate the effectiveness of the paint coatings under certain conditions, as well as to make known the results obtained.

Palabras clave: sistemas de pinturas, corrosión, niebla salina, protección anticorrosiva
Keywords: painting systems, corrosion, salt spray, anticorrosion protection

INTRODUCCIÓN

La generación de energía en la actualidad demanda un consumo de combustibles fósiles lo que ha provocado un incremento en el número de instalaciones de producción y extracción de petróleo para la generación y distribución de la electricidad, todas ellas sometidas a las condiciones de la atmósfera costera de Cuba, propiciando un incremento en el mantenimiento, demandando la toma de medidas en la actividad de protección anticorrosiva.

Las pinturas constituyen desde un punto de vista técnico-económico la mejor alternativa para controlar el fenómeno corrosivo exterior en estructuras de aceros. En medios de alta agresividad, en muchos casos se complementa con sistemas de protección catódica, ya sea por ánodos de sacrificio o corriente impresa. Los requerimientos fundamentales para la selección del sistema de pintura son las características del sustrato y del medio agresivo, pretratamiento existente, equipos, aplicación, durabilidad, toxicidad y seguridad (Gallegos & Guillen, 2023).

Una protección conveniente requiere sistemas multicapa; las pinturas, según la secuencia de aplicación y la función, se clasifican en primer, anticorrosivas, intermedias y de terminación. El primer y la pintura de fondo tienen como función fundamental controlar el fenómeno de corrosión para prolongar la vida útil del sustrato; su naturaleza depende de la pintura intermedia o de terminación seleccionada según las exigencias del medio ambiente. Una propiedad esencial es la adhesión al metal, la cual es función del material formador de película (Marrero *et al.*, 2013).

Sin embargo, a diferencia del metal desnudo, la estabilidad de un sistema de pinturas puede estar afectada en grado importante por otros factores, tales como la acción de la luz solar (en particular, la radiación ultravioleta), la acción microbiológica, el desgaste por erosión y otros factores.

La justificación para conocer los efectos de la degradación de un recubrimiento de pintura en medio acelerado obedece a la necesidad de aumentar la corrosividad del medio o solución a emplear, a objeto de obtener en un plazo breve, resultados y valoraciones indispensables para el proyecto de alguna instalación o estructura metálica, cuya duración se espera sea de largo tiempo (Diego *et al.*, 2023).

Para determinar la capacidad anticorrosiva de los recubrimientos de pinturas objeto de este estudio, se consideró someterlos a condiciones de laboratorio, y a la acción del ensayo acelerado de envejecimiento, con la incidencia de la radiación ultravioleta (UV).

La apreciación del poder protector se realizó de modo cualitativo, por observación visual y mediante el uso de escalas convencionales de corrosión, propias de las normas establecidas a tales efectos.

MATERIALES Y METODOS

En la tabla 1 se detallan las características de los sistemas de pinturas ensayados. Las 6 probetas de ensayo por cada sistema evaluado se prepararon a partir de una chapa de acero suave de 200 x 100 x 3 mm, laminada en caliente con su capa de laminación intacta. La aplicación de los sistemas de pinturas se realizó a brocha, produciéndose el curado a la temperatura ambiente del laboratorio (25 ± 2 °C)

Los sistemas luego del tiempo de curado fueron sometidas a ensayos climáticos acelerados de niebla salina neutra (NSN) en una cámara climática modelo Q- FOG CCT con capacidad de 1,1 m³, empleándose una solución de cloruro de sodio p.a. 50 ± 5 g/l, pH entre 6.5-7.2, densidad de la solución entre (1,0255-1,0400) g/cm³ y una temperatura en el interior de la cámara de 35 ± 2 °C (NC-ISO 9227, 2023). Igualmente fueron sometidas a ensayos de humedad y temperatura con condensación en atmósfera constante (HYT) en una cámara climática modelo VCK-300, aplicándose una humedad relativa entre (99-100) % y una temperatura de 40 ± 2 °C (NC ISO 6270-2, 2010). El tiempo de exposición en ensayos climáticos acelerados NSN fue de 1 440 horas y en HYT de 1000 horas.

Tabla1: Tipos de sistemas de pinturas estudiados y naturaleza de los recubrimientos.

Sistemas	Capas	Naturaleza del recubrimiento	Espesor de capas (μm)	Espesor total del sistema (μm)
Esquema 1	Primaria	Epoxi -poliamida rico en Zinc	90-100	260-285
	Intermedia	Epoxi - aducto poliamida	100-110	
	Acabado	Alifático alto solido	70-75	
Esquema 2	Primaria	Epoxi -óxido de hierro micáceo	110-120	280-305
	Intermedia	Epoxi - aducto poliamida	95-105	
	Acabado	Alifático alto solido	75-80	

Las muestras fueron expuestas a envejecimiento acelerado (NC ISO 16 474-3, 2015), en una cámara de intemperismo acelerado modelo QUV/SE durante un período de 500 horas de exposición, con el fin de evaluar la aparición de defectos que denoten degradación ante la incidencia de la radiación ultravioleta. Los efectos de daños de la luz solar son simulados por lámparas fluorescentes UV. La temperatura de exposición se controla automáticamente, así como la secuencia de períodos de UV y de condensación. En pocos días o semanas, el QUV puede producir daños que pueden ocurrir en meses o años de exposición exterior.

Se clasificaron las muestras según las unidades de brillo obtenidas, en las diferentes categorías: Mate, Semibrillante o Brillante (NC ISO 2813, 2024). Dicho ensayo se efectuó con un Brillómetro, modelo B60, midiéndose la intensidad de la luz reflejada en el material con un ángulo de iluminación de 60° .

Otro de los ensayos realizados de gran importancia fue la adherencia (NC ISO 4624, 2009), por el método de tracción, utilizándose un dinamómetro ERICHSEN y modelo ERSAD II, con número de serie 2907/MK 2019 que posee un rango de medición 7-8 MPa con una precisión de $\pm 0,0025$ MPa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se expone el comportamiento de los dos tipos de sistema de pinturas estudiados, luego de finalizar el período de exposición en los ensayos climáticos acelerados. En las probetas estudiadas no se observó, afectaciones durante los ensayos climáticos de niebla salina neutra, de humedad y temperatura con condensación constante y resistencia al envejecimiento acelerado. Ambos esquemas cumplieron con la finalidad de protección al metal de la corrosión.

La tabla 3 muestra los resultados del brillo, previo y posterior al sometimiento a la condición del ensayo acelerado de intemperismo.

Independientemente de la adecuada capacidad de resistencia de la película de los sistemas estudiados, a no agrietarse y presentar fisuras frente a la condición del ensayo de intemperismo acelerado, la película de pintura de acabado correspondientes al Alifático alto sólido mostró buena retención del color y del brillo.

El ensayo de adherencia consistió en realizar un corte circular en la superficie de la probeta de ensayo con una pequeña broca de 10 mm de diámetro. Seguidamente se utilizó un adhesivo con base epóxica con el fin de adherir

los discos de ensayo. Posteriormente se procedió a desprender los elementos adheridos usando el dinamómetro destinado para tal análisis.

Tabla 2: Resultados promedios de los principales deterioros en los esquemas evaluados al terminar los ensayos climáticos acelerados.

Sistema de Pintura	Condición de ensayo	Grado de oxidación	Grado de ampollamiento	Grado de agrietamiento
Esquema 1	1440 horas en NSN	Ri0	0(S0)	0(S0)
	1000 horas en HYT	Ri0	0(S0)	0(S0)
	500 horas en EA	Ri0	0(S0)	0(S0)
Esquema 2	1440 horas en NSN	Ri0	0(S0)	0(S0)
	1000 horas en HYT	Ri0	0(S0)	0(S0)
	500 horas en EA	Ri0	0(S0)	0(S0)

NSN: Niebla salina neutra.

HYT: Humedad y temperatura con condensación en atmósfera constante.

EA: Envejecimiento acelerado con radiación ultravioleta.

- Grado de ampollamiento, Grado de agrietamiento: 0(S0), Cantidad (Intensidad), no se observa la presencia de ampollas, agrietamiento, descamación en el recubrimiento.
- Grado de oxidación Ri 0: Representa el % de área oxidada de la probeta, no se presenta oxidación.

Tabla 3: muestra los resultados del brillo, previo y posterior al sometimiento a la condición del ensayo acelerado de intemperismo.

Sistema de Pintura	Replicas	Etapas del ensayo	Valor Medio	Desviación Estándar	Clasificación
Esquema 1	1	Antes del E. A	89,43	2,63	Clase II Semibrillante
		Después del E.A	84,13	1,37	
	2	Antes del E. A	91,27	1,87	
		Después del E.A	82,07	0,47	
	3	Antes del E. A	93,50	0,53	
		Después del E.A	88,03	1,69	
Esquema 2	1	Antes del E. A	98,70	0,21	Clase II Semibrillante
		Después del E.A	84,30	2,67	
	2	Antes del E. A	97,50	0,70	
		Después del E.A	81,70	0,75	
	3	Antes del E. A	97,40	0,72	
		Después del E.A	83,93	3,27	

Tabla 4: Resultados de las determinaciones de la adherencia por tracción de los sistemas ensayado, antes del ensayo de NSN.

Sistema de Pintura	Rép.	Antes NSN Valor de Extracción MPa	Valor de Extracción Promedio MPa	NATURALEZA DE LA ROTURA
Esquema 1	1	2,5	2,67	40% Falla adhesiva del pegamento 60% Falla cohesiva del acabado.
		3,0		
		2,5		
	2	3,0	2,80	40% Falla adhesiva del pegamento 60% Falla cohesiva del acabado.
		3,0		
		2,5		
	3	2,5	2,70	40% Falla adhesiva del pegamento 60% Falla cohesiva del acabado.
		2,5		
		3,0		
Esquema 2	1	3,0	3,50	40% Falla adhesiva del pegamento 60% Falla cohesiva del acabado.
		3,5		
		4,0		
	2	4,0	3,80	40% Falla adhesiva del pegamento 60% Falla cohesiva del acabado.
		3,5		
		4,0		
	3	3,5	3,70	40% Falla adhesiva del pegamento 60% Falla cohesiva del acabado.
		3,5		
		4,0		

Tabla 5: Resultados de las determinaciones de la adherencia por tracción de los sistemas ensayado, después del ensayo de NSN.

Sistema de Pintura	Rép.	Antes NSN Valor de Extracción MPa	Valor de Extracción Promedio MPa	NATURALEZA DE LA ROTURA
Esquema 1	1	2,5	2,63	20% Falla adhesiva del pegamento 80% Falla cohesiva del acabado.
		2,9		
		2,5		
	2	2,5	2,60	20% Falla adhesiva del pegamento 80% Falla cohesiva del acabado.
		2,6		
		2,7		
	3	2,5	2,60	20% Falla adhesiva del pegamento 80% Falla cohesiva del acabado.
		2,6		
		2,8		
Esquema 2	1	2,5	2,67	30% Falla adhesiva del pegamento 70% Falla cohesiva del acabado.
		3,0		
		2,5		
	2	3,0	2,80	30% Falla adhesiva del pegamento 70% Falla cohesiva del acabado.
		3,0		
		2,5		
	3	3,5	3,00	30% Falla adhesiva del pegamento 70% Falla cohesiva del acabado.
		3,0		
		2,5		

En las tablas 4 y 5, se indica la diferencia porcentual en la naturaleza de la rotura del ensayo de adherencia efectuado antes y después de las horas de exposición en la cámara de niebla salina neutra en los sistemas objeto de estudio, observándose que el esquema anticorrosivo 1 fue el que presentó un porcentaje de falla cohesiva del acabado mayor (80 %) comparado con el esquema 2 después del ensayo de NSN.

CONCLUSIONES

En el ensayo de niebla salina neutra ambos sistemas evaluados en este trabajo no presentaron afectaciones, puesto que no se observa la aparición de defectos que denoten la degradación del recubrimiento, como, ampollas, grietas, decoloración, descamación, enyesado, pérdidas de brillo, ni focos de corrosión en las probetas ensayadas. Las muestras analizadas resistieron el ensayo de humedad y temperatura con condensación constante, no se evidenció ningún defecto en la superficie de estas. Ninguna de las muestras de pinturas sobre sustratos metálicos, presentaron afectaciones durante el ensayo climático de envejecimiento acelerado. La incidencia de la radiación ultravioleta en las probetas no ocasionó descolorimiento, marcas, grietas, cuarteaduras, bruma, ampollas, pérdida de brillo, pérdida de fuerza o fragilidad.

Aunque con los ensayos de tipo acelerado se obtienen resultados en muy corto periodo de tiempo, lo que puede ser de gran utilidad práctica, la preocupación por predecir el tiempo en que una pintura podrá desempeñar su función protectora de forma eficiente es algo que no queda totalmente resuelto a través de los ensayos acelerados. Con estos métodos de estudio es solo posible acelerar el deterioro del recubrimiento para una predicción rápida de su comportamiento frente a unas condiciones específicas de ensayo

REFERENCIAS

Diego, P., Ayala, E., Francisco, X., Cadena, V., Francisco, J. (2023). Estudio de la resistencia a la corrosión de revestimientos poliméricos modificados con nanopartículas de óxido de silicio y de hierro. *Revista Iberoamericana de polímeros*, 24 (2),49-71.

Gallegos, K. & Guillen, E. (2023). *Evaluación de sistemas de protección anticorrosiva utilizando recubrimientos de alto desempeño en equipos e instalaciones de la industria geotérmica*. Tesis presentada para optar al título profesional de Ingeniero Químico. Universidad del Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos. Disponible en <https://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/34612/1/.pdf>

Marrero, R., González, C., Ortega, L. & McNeil, B. (2013). Ensayos de corrosión naturales y acelerados en sistemas de pinturas aplicados sobre acero. *Revista Tecnología Química*, 33 (3), 193-199.

NC-ISO 9227 (2023). Ensayo de corrosión en atmosferas artificiales. Ensayos en rociado salino.

NC ISO 6270-2 (2010). Determinación de la resistencia a la humedad. Método de exposición de probetas en atmosfera con condensación de agua. (Parte 2).

NC ISO 16 474-3 (2015). Exposición de los recubrimientos a envejecimiento artificial. Exposición a la radiación fluorescente y al agua.

NC ISO 2813 (2024). Determinación del brillo especular. Pinturas y barnices.

NC ISO 4624 (2009). Pinturas y Barnices. Método de adherencia por tracción.