

TITULO: Influencia de los parámetros medioambientales en la corrosión de elementos estructurales metálicos.

TITLE: Influence of the environment factors on the corrosion of metal structural elements.

AUTORES:

Ing. Veronica Avila Ayón

Dr. Ing. Ana Luisa Rodríguez Quesada

Ing. Yecenia Lías Rodríguez

PAÍS: Cuba

RESUMEN: Aborda los elementos esenciales relacionados con el deterioro de las edificaciones construidas con estructuras metálicas, producidos principalmente por la exposición de los elementos estructurales a un medio agresivo ya sea natural (zonas costeras) o generado por la actividad del hombre (centro de grandes ciudades o industrias). En todos los casos existe un sin número de factores que influyen negativamente sobre la superficie de estos elementos acelerando los procesos de corrosión entre los que se encuentran: el aerosol marino y los contaminantes, temperatura, humedad relativa, volúmenes de precipitaciones y características de los vientos, valores que se obtuvieron utilizando métodos actualizados de investigación. Para determinar las principales patologías es necesario además diferenciar las que afectan la estética y funcionalidad y las que afectan la capacidad portante o resistencia de los elementos estructurales provocando grandes pérdidas por el deterioro de los mismos.

PALABRAS CLAVES: CORROSION, ESTRUCTURAS METALICAS, CONSERVACION, ESTRUCTURAS

ABSTRACT: It approaches the essential elements related with the instalment deterioration of the built constructions with metal structures, taking place mainly by the exposure from the structural elements to an aggressive media either natural (coastal areas) or generated by the man's activity (center of big cities or industries). In both cases, there is a number of factors that have a negative influence on the surface of these elements accelerating the processes of corrosion, among those are: the marine aerosol and the pollutants, temperature, relative humidity, volume of precipitations and characteristics of the winds, values that were obtained using up-to-date methods of investigation. To determine the main pathologies it is also necessary to consider the aesthetics and functioning as well as those elements affecting the capacity or resistance of the structural elements causing big losses due to its deterioration. With the use of this conservation reference, the activities are optimized, starting from a correct diagnosis and the use of specific technical and materials in each case, and diminish the presence of pollutants on the surfaces that accelerate the failures of the structural elements.

KEY WORDS: CORROSION, METAL STRUCTURES, CONSERVATION, STRUCTURES

INTRODUCCIÓN

La corrosión metálica es uno de los fenómenos más antiguos que se han estudiado por ser su causa fundamental la exposición de los metales al medio, reaccionando con este, con el consecuente deterioro de las propiedades mecánicas del metal. La formación de las capas de óxido sobre la superficie del metal, es el comienzo de la destrucción de los elementos estructurales fabricados con materiales metálicos. Este fenómeno físico- químico, que puede ocurrir por oxidación directa o por corrosión electroquímica en cualquiera de sus formas, se intensifica y acelera cuando el elemento está sometido a la acción directa o indirecta de una sollicitación mecánica.

Por lo general las construcciones metálicas en las condiciones climáticas de Cuba y próximas a la costa norte, presentan afectaciones por corrosión que incrementan los costos del mantenimiento en la protección anticorrosiva, en lo que incide el efecto del aerosol marino y la posible influencia de contaminantes. Se suma a ello que en el diagnóstico de la estructura o en el diseño de los sistemas de protección no se consideran una serie de factores que optimizarían el mantenimiento de la edificación.

Es sumamente importante para el diseño de los sistemas de protección conocer con exactitud las características del medio en el que ubicará la obra para poder determinar cuáles son los mecanismos de deterioro que se pueden presentar. Se ha detectado que en todos los casos la influencia de la humedad sobre la superficie, al convertirse en un medio para el transporte de electrones, es un factor determinante en la velocidad de corrosión, agravado por la presencia de productos contaminantes sobre la superficie. Por esta razón es determinante el conocimiento del medio para realizar cualquier tarea de diseño.

MATERIALES Y METODOS.

Los principales métodos de investigación científica que se utilizaran son los siguientes:

Método de inducción-deducción: a partir de situaciones concretas se recopila información para analizarla en un marco teórico general, que permita la valoración de la situación del sector en el entorno internacional y nacional. Para la evaluación de las diferentes formas de acometer los proyectos de conservación, valorar las ventajas y desventajas al seleccionar bajo las condiciones cubanas qué técnica aplicar y dónde. Muy estrechamente vinculado al método de análisis y síntesis.

Método de análisis y síntesis: para determinar los factores claves que influyen en el fenómeno, interrelacionar los efectos presentados que constituyen explicaciones al problema, diagnosticar la situación en lo referente a los trabajos de conservación en Cuba, además de otros métodos intuitivos y exploratorios de la prospectiva, con análisis de los mismos. Muy estrechamente vinculado al método de inducción-deducción.

Método de observación: se acude al conocimiento del problema para mantener el vínculo con el personal en relación con el objeto, a través de encuestas,

entrevistas, estudios de casos, investigaciones precedentes, análisis de la experiencia acumulada, por lo que se adquiere conocimiento en la investigación.

RESULTADOS DEL TRABAJO

A partir del estudio de las condiciones climáticas en la zona de la provincia Holguín es posible resumir el comportamiento de los factores más significativos que caracterizan el medio ambiente. Además determinar los productos que depositados sobre la superficie metálica pueden contaminarla y acelerar los procesos de deterioro.

Dentro del medio se diferencian los factores naturales como humedad relativa, temperatura, precipitaciones y vientos y los factores contaminantes de la atmósfera. La humedad relativa es uno de los aspectos más importantes porque el vapor de agua existente en la atmósfera, al condensarse sobre la superficie de las estructuras metálicas, se convierte en el medio conductor necesario para que se produzca la corrosión electroquímica. No es necesario que exista saturación de la atmósfera, con valores entre el 50-60% de humedad, el vapor puede condensarse por absorción, condensación capilar y/o deliquesencia. La temperatura puede provocar efectos que parecen contradictorios, pero que están directamente relacionados con los valores de humedad. Cuando la atmósfera es húmeda, sobre todo cercanas a la saturación, un aumento de su temperatura suele aumentar la velocidad de corrosión. Sin embargo, en horas de la madrugada, cuando la temperatura ambiente es baja, la corrosión también es apreciable, debido a la condensación del agua sobre la superficie. Los valores mínimos de velocidad de corrosión se observan en horas del mediodía, cuando la temperatura ambiente es mayor pero la humedad es baja.

Veamos como se comportan estos parámetros en la provincia de Holguín a partir de las estadísticas para los últimos años.

Tabla 1: Valores de los parámetros climáticos en la Provincia Holguín desde 1995-2004

Zonas	Elementos					
	Lluvias (mm)	Vientos		Humedad Relativa (%)	Temperaturas(°C)	
		Dirección	Velocidad (Km/h)		Máximas	Mínimas
Zona costera.						
Gibara	Mayo - Oct (7.2 - 246)	Este (E)	14 - 22.9	77 - 84	25 - 32	23 - 26.6
Rafael Freyre						
Banes	Nov - Abril (12 - 230)	Este(E)	13.9 - 28	74 - 85	23 - 29	21 - 24.8
Antilla.						
Zona interior.						
Holguín	Mayo - Oct (8.0 - 252)	Este(E)	8.8 - 17.1	74 - 86	29 - 34	21 - 24.3
Calixto García						
Cacocum	Nov - Abril (1.0 - 215)	Este(E)	10 - 24.3	76 - 81	26 - 31	17.6-22.7
Urbano Noris						
Cueto.						
Zona montañosa						
Mayari	Mayo - Oct (75.1 - 523)	Sureste (SE)	7.1 - 12	80 - 88	26 - 30.3	15 - 19
Frank Pais						
Moa	Nov. - Abril (4.3 - 191)	Noreste (NE)	7.0 - 12	79 - 90	22 - 28.3	12 - 18
Sagua de Tánamo						

Influencia de la humedad en los procesos corrosivos

Por lo anterior podemos decir que es difícil formular recubrimientos de superficies orgánicas que sean completamente impermeables a la humedad. Las películas más delgadas de un recubrimiento permiten el paso de más humedad que las películas más gruesas. Las partes de la película de menor espesor o las roturas producidas mecánicamente tienden a convertirse en ánodos en los cuales empieza la oxidación. El óxido de hierro ocupa mucho más volumen que el metal puro a partir del cual se forma, y se expande aún más cuando absorbe agua. La atracción de agua es tan grande que la aspira a través de una película de pintura, de manera que cuando hay óxido en el sustrato la transmisión de humedad es mayor que la que pasa debido a la permeabilidad normal de la película. Las zonas de óxido se extienden gradualmente y se hinchan bajo la capa de pintura hasta que esta se rompe.

Se ha comprobado que el espesor de las capas formadas por condensación de humedad sobre las superficies verticales oscila entre 10-50 μm , ya que las capas más gruesas tienden a escurrir. Sobre las superficies horizontales son posibles espesores de 50-100 μm y en casos excepcionales de más de 200 μm . La gráfica 1.1 representa la dependencia entre la corrosión atmosférica y el espesor de la capa de electrolito sobre la superficie metálica. En ella se observa que hasta espesores de 100 μm la corrosión es prácticamente inexistente. La resistencia óhmica de la capa de electrolito es enorme y la disolución metálica es difícil. A espesores crecientes, la velocidad de corrosión aumenta por disminuir la resistencia de la capa de electrolito y además, la polarización anódica.

Cuando el espesor de las capas supera el máximo de la curva, la reacción catódica se convierte en determinante del proceso de corrosión. El papel del factor óhmico pierde importancia, lo mismo que la polarización anódica, pues la difusión del oxígeno a la superficie metálica es el proceso más lento. Las mayores corrosiones no corresponden a una total inmersión del metal dentro del electrolito, ya que en este caso y bajo condiciones de convección natural, el espesor de la capa de difusión es de unos 400-700 μm . En cambio, el espesor efectivo de la capa de difusión en las películas de humedad o acuosas sobre las superficies metálicas en la atmósfera es mucho menor, posiblemente de 30-150 μm lo que facilita el proceso de transportación de oxígeno.

Debe considerarse que existen múltiples formas de expresar la velocidad de corrosión, condicionado fundamentalmente por la diversidad de factores que pueden originar el fenómeno. Si se tiene en cuenta que el proceso de corrosión implica la transformación del metal desde su estado original a formas oxidadas, el método más generalizado es el que plantea que la velocidad de corrosión se representa como la masa metálica que se transforma en una unidad de tiempo, este fenómeno conocida como pérdida de peso (también llamado "Índice gravimétrico") se representa como:

$$DP = - \frac{\Delta P}{A \cdot t} = \frac{P_i - P_f}{A \cdot t}$$

Donde:

DP: Pérdida de peso

Pi y Pf: Pesos inicial y final de la muestra

A: Área expuesta al medio

t: tiempo de exposición de la muestra al medio.

Según las investigaciones realizadas en la actualidad a partir de las condiciones del medio ambiente actual se considera que, aproximadamente, la velocidad de corrosión es de $5.47 \cdot 10^{-4}$ g/cm² por día. En el caso del acero estructural con una densidad de 78.5 kn/m³ este valor se aproxima a

El hecho de que la velocidad media de la corrosión en la atmósfera seca, a menudo inferior a la obtenida bajo condiciones de inmersión, se explica por el tiempo más corto durante el cual el electrolito está en contacto con el metal en la atmósfera. Por el contrario, la experiencia confirma que los secados rápidos acompañados de repetidas humidificaciones producen los peores efectos corrosivos, por ejemplo, en las zonas de humectación periódica de los barcos y pilotes de plataformas marinas, donde la corrosión llega a ser considerablemente mayor que bajo inmersión.

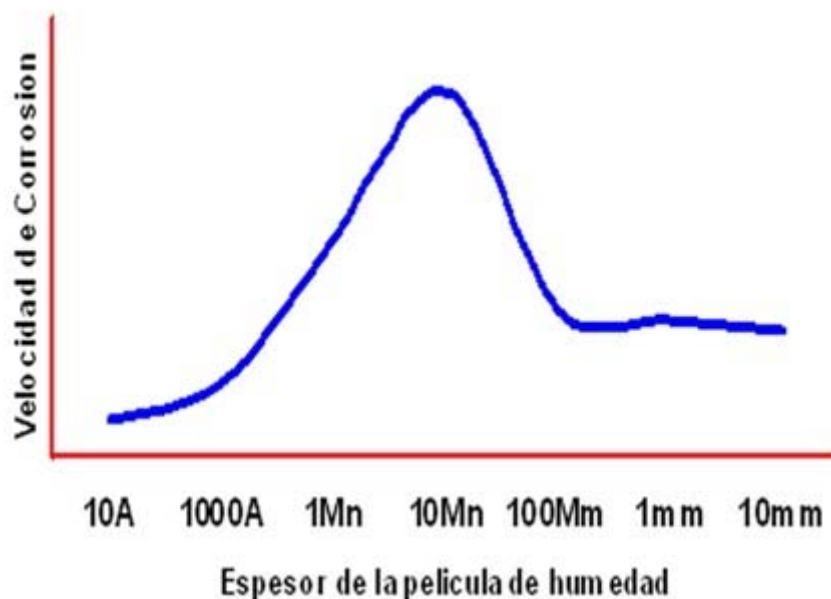


Figura 1: Velocidad de Corrosión en función del espesor de la película de humedad.

Procedimientos para la formación de películas de humedad.

Son varios los factores responsables del depósito de agua sobre la superficie metálica. En primer lugar debe citarse la condensación de humedad con formación de innumerables gotas, que tienen lugar cuando la temperatura del

metal desciende por debajo del punto de rocío. Aún a humedades relativas inferiores al 100% la superficie metálica puede recubrirse de una película de humedad. Son factores importantes al respecto la condensación por absorción, la condensación capilar y la condensación química.

Causas de la formación de películas de humedad.

- Condensación por absorción
- Condensación capilar
- Condensación química
- Precipitaciones atmosféricas

En la condensación por absorción actúan fuerzas físicas de atracción entre moléculas de agua y la superficie sólida. Las investigaciones indican que a una humedad relativa del 60% se forman películas de espesor equivalentes a unas 20 moléculas de agua, para el 80% las películas llegan a 45 moléculas. Sin embargo, tales espesores son excesivamente pequeños para dar lugar a corrosiones significativas.

Debe tenerse en cuenta que la presión de saturación y, por tanto la humedad relativa local es función del radio de curvatura del menisco del líquido en el capilar. Cuanto más fino sea el canal o la cavidad capilar más probable es que se produzca en su interior una condensación importante, siempre claro está, que el líquido moje la pared del capilar (menisco cóncavo). Agentes de condensación capilar son los productos de corrosión porosos, grietas, resquicios, cavidades y zonas de contactos de las partículas de polvo entre sí y con la superficie metálica.

La llamada condensación química constituye otra forma de humectación, la cual se debe a las propiedades higroscópicas de ciertas sustancias depositadas sobre la superficie del metal y de los propios productos de la corrosión. Las precipitaciones atmosféricas, lluvias en particular, son causa directa de la formación de películas sobre la superficie de los metales.

Aún cuando cualquiera de estos factores justifique por sí la presencia de humedad sobre la superficie de los metales, su efecto sobre el espesor de la capa de electrolito es muy diferente. Normalmente, los mayores espesores se obtienen a temperaturas inferiores al punto de rocío o cuando el metal sufre la acción directa de la lluvia o niebla espesa. Por lo contrario, en el caso de humedades relativas lejanas a la saturación las capas de humedad son extremadamente delgadas, en especial cuando no existen sustancias absorbentes sobre la superficie metálica.

La naturaleza del óxido que se forma sobre la superficie, al interrelacionar con la atmósfera, puede tener diferentes comportamientos. Por ejemplo, el cinc y el magnesio, a pesar de ser termodinámicamente inestables en muchas atmósferas, se corroen a velocidades menores que el acero al carbono. Esto se debe a que los productos de corrosión del cinc y el magnesio son más compactos y resistentes que los óxidos de hierro hidratado que se forma sobre el acero al carbono.

Pero es de gran importancia los efectos de los contaminantes que puedan existir tanto en los productos de la corrosión como en la atmósfera, principalmente cuando estas son marinas o industriales por la diversidad de productos que pueden depositarse sobre la superficie metálica.

Influencia de la contaminación atmosférica en los procesos corrosivos

La composición de la capa del electrolito en la superficie metálica es función de la contaminación de la atmósfera. Aunque el contenido de la herrumbre es ya de por sí un factor perjudicial, sus efectos se agravan al hallarse presentes sales solubles. Al respecto, está demostrado que la herrumbre llega a contener cantidades apreciables de sulfatos y cloruros.

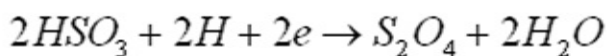
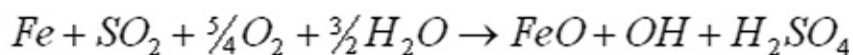
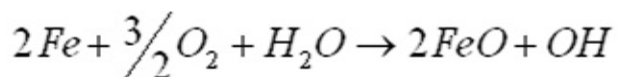
Los factores de contaminación (contaminantes gaseosos y sólidos) junto con los factores meteorológicos (humedad, lluvia, niebla y rocío) determinan la intensidad y naturaleza de los procesos corrosivos, potenciando a menudo sus efectos al actuar simultáneamente.

Sobre la superficie metálica podemos encontrar infinidad de partículas pero las más comunes son el polvo de la tierra, los humos que contienen carbón y cenizas, sales de cloruro de sodio, partículas de cemento y gases como SO_2 , NH_3 , NO_2 , H_2S , CO , CO_2 , entre otros.

Está demostrado que el NaCl y el SO_2 son los principales contaminantes corrosivos de la atmósfera. El cloruro de sodio llega a la atmósfera desde el mar y, algunas veces, desde suelos salinos. Al anhídrido sulfuroso se encuentra en el aire que ha sido contaminado por humos industriales y de hogares domésticos, proveniente de combustibles líquidos y sólidos. Los niveles más altos de contaminación sulfurosa se registran en las áreas de emplazamiento de industrias y en las grandes ciudades, a veces dentro de un radio de 10 a 15 km.

Cuanto mayor es la concentración atmosférica en SO_2 ó NaCl tanto mayor es la velocidad de corrosión a igualdad de otros parámetros. El ángulo de exposición ejerce también algún efecto en la corrosión, ya que influye en la sedimentación de polvo y sales en la superficie metálica, en el grado de lavado por la lluvia y en la extensión del periodo de humectación superficial. Los efectos del ángulo de exposición pueden cambiar según se trate de una atmósfera salina o de una industrial.

Los contaminantes atmosféricos aceleran la corrosión a través de sus efectos sobre la conductividad del electrolito, el proceso anódico y el proceso catódico. Durante la formación de la herrumbre en una atmósfera contaminada con SO_2 se produce ácido sulfúrico:



Aún cuando el ácido sulfúrico reaccione con el hierro para dar sulfato de hierro, se regenera por hidrólisis de esta sal en presencia de más humedad. El ácido sulfúrico lo mismo que el cloruro sódico, son electrolitos fuertes que elevan considerablemente la conductividad de la película acuosa sobre el metal. También las partículas de polvo sedimentadas, que actúan de centros de condensación capilar de humedad y tienen propiedades higroscópicas y absorbentes de contaminantes gaseosos, contribuyen a disminuir la resistencia óhmica de las pilas de corrosión.

Si se tiene en cuenta que la corrosión atmosférica se debe al funcionamiento de micropilas, con los ánodos y cátodos muy próximos, se comprenderá que el efecto de la resistencia óhmica sea secundario, destacándose cuando las zonas anódicas y catódicas estén muy separadas o cuando la película de humedad sea muy delgada.

La influencia de la contaminación atmosférica en el proceso anódico guarda relación con la acidificación del electrolito y la presencia de iones cloruros y de otros iones despolarizantes que tienden a destruir eventuales películas pasivantes. El descenso del PH asociado a la presencia de anhídrido sulfuroso, que se oxida a ácido sulfúrico sobre el metal contribuye a la destrucción de las películas protectoras y por tanto, a la disolución anódica del metal.

Se ha dicho que el proceso catódico de reducción del oxígeno controla la velocidad de corrosión de la superficie metálica cuando estas se hallan cubiertas por gruesas películas de humedad. Sin embargo, en el caso de contaminación elevada por productos ácidos, la reacción de descarga de iones hidrógeno puede participar también activamente en el proceso catódico. Se ha establecido, además, que a partir de un determinado nivel de acidez el anhídrido sulfuroso es capaz de comportarse por sí mismo como un oxidante y acelerar el proceso catódico decenas de cientos de veces.

Para valorar debidamente el papel del dióxido de azufre es necesario tener en cuenta que su solubilidad es 1300 veces mayor que la del oxígeno. Por esto, aunque sea baja la concentración de ese gas en el aire, en la delgada película del electrolito puede elevarse considerablemente. Las partículas de hollín, que son eléctricamente conductoras promueven igualmente el proceso catódico, pues además de formar micropilas galvánicas en contacto con el metal, despolarizan la reacción catódica.

En el caso del agua de mar de las atmósferas marinas, es mucho más agresiva que cualquier otra debido a los valores de salinidad que fluctúan entre el 4-5%. La mayor parte de estas sales son cloruros de sodio y magnesio pero pueden

encontrarse también sulfatos y bicarbonatos. La conductividad específica del agua de mar oscila entre $2 \cdot 10^{-2}$ a 1 cm^{-1} y el PH entre 7 y 8.

Por el grado de contaminación y naturaleza de los contaminantes cabe distinguir entre atmósferas industriales, marinas, urbanas y rurales. De igual forma se encuentra la mezcla de los factores que caracterizan cada una de ellas de forma combinada. Además deben considerarse los factores climáticos que influyen y determinan en muchos casos la clasificación de las atmósferas.

A partir de esta categorización es posible redefinir la agresividad del medio a través de los valores más significativos de los parámetros analizados. Una evaluación preliminar puede seguir las siguientes recomendaciones.

Ambiente muy agresivo:

- La atmósfera se considerará marina industrial, es decir que posea sales solubles provenientes del mar o de suelos salinos y que existan otros contaminantes como el anhídrido sulfuroso provenientes de humos industriales, polvos, gases, vapores.
- La humedad relativa tendrá un valor desde el 75% hasta un 85% o mayor que éste, para ambos periodos.
- Las temperaturas serán altas desde los 23°C hasta los 32°C o mayor que éste.
- En el caso de las lluvias tendrán una variación de (5 – 246)mm o mayor.
- Se considerará más del 70% de la superficie de los elementos expuesta a la acción del viento o al medio.

Ambiente agresivo:

- Los contaminantes que contiene el aire hacen que la atmósfera sea completamente industrial, lo que significa que solo aparezcan el anhídrido sulfuroso, humos, polvos, vapores y gases.
- La humedad relativa en ambos periodos varía (74 – 86)%.
- Las temperaturas son relativamente altas para ambos periodos, desde los 26 hasta los 34°C .
- La variación de las lluvias se encuentra (1 – 252)mm.
- Se considera desde 50% hasta el 70% de la superficie expuesta a la acción del viento o al medio.

Ambiente poco agresivo:

- La atmósfera estará libre de sales y sulfatos y para el caso de otros tipos de contaminantes que se mencionan anteriormente se presentarán en un porcentaje pequeño.
- La humedad relativa varía desde (70 – 73)%.
- Las temperaturas varían ($23 - 26^{\circ}\text{C}$).
- Las lluvias varían desde (1 – 252)mm, y se presentan pocas veces al año.
- Se considera que entre el 25% y el 50% de la superficie estarán expuesta al medio o al viento.

Ambiente no agresivo:

- La atmósfera en este tipo de ambiente no presentará ningún tipo de contaminantes.
- Será una atmósfera seca, es decir, las lluvias son muy escasas en ambos periodos.
- Temperaturas agradables (21 – 23)°C.
- La humedad relativa menor o igual del 60%.
- Menos del 25% de la superficie está expuesta a la acción del viento o al medio.

CONCLUSIONES

Con lo referido anteriormente es posible conocer y aplicar los métodos y técnicas normalizadas para la protección anticorrosiva de las estructuras metálicas siempre que se conozcan detalladamente las características medioambientales de la zona donde esta ubicada la obra. La solución idónea a esta problemática, tiene que necesariamente abordar en primer término, que las medidas que se apliquen para una protección efectiva, deben llevar implícito disminuir los efectos de los contaminantes sobre las superficies metálicas internas no protegidas adecuadamente en nuestras condiciones. Además considerar que la solución a los problemas de diseño anticorrosivo, aumenta de la eficiencia de los sistemas de protección con pintura, pero exige organizar las actividades de mantenimiento. Es importante destacar que el incorrecto diseño de los sistemas de pintura provoca el rápido deterioro de los elementos estructurales y presupone el gasto adicional de recursos de todo tipo. En las condiciones climáticas de la Provincia Holguín, y fundamentalmente para la protección en las zonas de la costa norte y zonas industriales, una solución económica, lo constituye la introducción de técnicas de conservación y materiales de gran difusión y comercialización en nuestro país, incluso de producción nacional.

BIBLIOGRAFÍA

1. Domínguez, J. A. Introducción a la corrosión y protección de metales. La Habana, Cuba Edición ENPES-MES, 1987. 484 p.
2. Echeverría, C. La Corrosión atmosférica del acero y la protección temporal de los centrales azucareros en la provincia de Matanzas. Matanzas, Cuba. 1991. 256 h. [Tesis de opción al grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias Técnicas]
3. Jones, D. Principles and prevention of corrosion. EUA. Prentice-Hall, 1996. 230 p.
4. Kelly, A. Gestión del mantenimiento industrial. Madrid: Fundación REPSOL, 1998. 218 p.
5. Khanna, A. S. High temperature oxidation and corrosion. EUA: ASTM International, 2002. 78 p.

6. La Corrosión en la Industria azucarera. La Habana: Editorial GEPLACEA, 1985. 302. [Serie Mantenimiento Industrial]
7. Maurin J, A. Manual de anticorrosión. España.:Editorial Urmo, 1966. 646 p.
8. Navarrete, E. Mantenimiento industrial. La Habana: Editorial ENPES- ISJAE. 1986. 3t.
9. Navarro, T. F. Metodología para la conservación de obras de Arquitectura con utilización de la DIP. Holguín. 2001. 548h. [Tesis de opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas].
10. NC 12: Sistema de Normas de Protección Contra la Corrosión.
11. Pierre, R. Handbook of corrosion engineering. New York: Mc Graw Hill, 1999. 870p.
12. Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión / José A. González ...[et al.]. Madrid: [S.N.], 1984. 684p.
13. Tomashov, M. D. Theory of corrosion and protection of metals. La Habana, Cuba. Edición Revolucionaria, 1965. 450p.
14. Uhlig, H. H. Corrosion and corrosion control. La Habana: Edición Revolucionaria, 1962. 367p.

DATOS DE LOS AUTORES

Nombres:

Ing. Veronica Avila Ayón
Dr. Ing. Ana Luisa Rodríguez Quesada
Ing. Yecenia Lías Rodríguez

Correo:

veronica@facing.uho.edu.cu

Centro de trabajo:

Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya".
Gaveta Postal 57 CP 80100, Ave. XX Aniversario, Piedra Blanca, Holguín
Telef. 481302-481324