
NORMA CUBANA

NC

ISO 9223: 2013
(Publicada por la ISO en 2012)

**CORROSIÓN DE LOS METALES Y ALEACIONES —
CORROSIVIDAD DE ATMÓSFERAS — CLASIFICACIÓN,
DETERMINACIÓN Y ESTIMACIÓN
(ISO 9223: 2012, IDT)**

Corrosion of metal and alloys—Corrosivity of atmospheres—Classification,
determination and estimation

ICS: 77.060

1. Edición Octubre 2013
REPRODUCCIÓN PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 El Vedado, La Habana. Cuba.
Teléfono: 830-0835 Fax: (537) 836-8048; Correo electrónico: nc@ncnorma.cu; Sitio
Web: www.nc.cubaindustria.cu



Cuban National Bureau of Standards

NC-ISO 9223: 2013

Prefacio

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba y representa al país ante las organizaciones internacionales y regionales de normalización.

La elaboración de las Normas Cubanas y otros documentos normativos relacionados se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. Su aprobación es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en las evidencias del consenso.

Esta Norma Cubana:

- Ha sido elaborada por el Comité Técnico de Normalización NC/CTN 41 de Pinturas y Barnices, integrado por representantes de las siguientes entidades:
 - Centro de Ingeniería e Investigaciones Química
 - Empresa de Pinturas Vitral
 - Ministerio de la Industria Alimentaria
 - Ministerio del Comercio Exterior y la Inversión Extranjera
 - Ministerio de Industria
 - Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias
 - Ministerio de la Construcción
 - Corporación CIMEX S.A.
 - GEIQ
 - Ministerio del Transporte
 - FERCIMEX S.A.
 - ABATUR S.A.
 - ENSUNA S.A.
 - Oficina Nacional de Normalización
 - Ministerio de Energía y Minas
- Es una adopción idéntica por el método de traducción de la Norma Internacional *ISO 9223: 2012 Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres – Classification, determination and estimation*
- Incluye los Anexos A, B y C informativos.

© NC, 2013

Todos los derechos reservados. A menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada en alguna forma o por medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias, fotografías y microfilmes, sin el permiso escrito previo de:

Oficina Nacional de Normalización (NC)

Calle E No. 261, El Vedado, La Habana, Habana 4, Cuba.

Impreso en Cuba.

Índice

0	Introducción.....	4
1	Alcance.....	6
2	Referencias normativas	6
3	Términos y definiciones.....	7
4	Símbolos y términos abreviados	8
5	Categoría de la corrosividad de la atmósfera.....	8
6	Clasificación de la corrosividad de la atmósfera.....	8
7	Determinación de la corrosividad sobre la base de la medición de velocidad de corrosión de las muestras estándares.....	9
8	Estimación de la corrosividad basada en la información ambiental.....	9
ANEXO A	13
ANEXO B	15
ANEXO C	19
Bibliografía.....		21

Introducción

Los metales, aleaciones y revestimientos metálicos pueden sufrir corrosión atmosférica cuando sus superficies se humedecen. La naturaleza y el tipo del ataque depende de las propiedades de electrolitos formados en la superficie, particularmente con respecto al nivel y tipo de contaminantes gaseosos y de partículas en la atmósfera y la duración de su acción sobre la superficie metálica.

El carácter del ataque de la corrosión y la velocidad de corrosión son las consecuencias de la corrosión del sistema, que comprende los materiales metálicos, el medio ambiente atmosférico, los parámetros técnicos y las condiciones de operación.

La categoría de corrosividad es una característica técnica que proporciona una base para la selección de materiales y medidas de protección en ambientes atmosféricos sujetos a las exigencias de una aplicación específica, en particular con respecto a la vida útil.

Los datos sobre la corrosividad de la atmósfera son esenciales para el desarrollo y la especificación de una protección optimizada contra la corrosión para los productos manufacturados.

Las categorías de corrosividad se definen por los efectos de la corrosión del primer año en probetas estándar tal como se especifica en la norma NC-ISO 9226. Las categorías de corrosividad se pueden evaluar en términos de los factores atmosféricos más importantes que influyen en la corrosión de los metales y aleaciones.

La medición de los parámetros relevantes para el medio ambiente se especifica en la norma ISO 9225.

Las vías para la determinación y estimación de la categoría de corrosividad de un lugar determinado de acuerdo con esta Norma Cubana, y las relaciones entre ellos se presentan en la Figura 1. Es necesario distinguir entre la determinación de la corrosividad y estimación de la corrosividad. También es necesario distinguir entre la estimación de la corrosividad basada en la aplicación de una función dosis-respuesta y los basados en la comparación con la descripción de los ambientes típicos atmosféricos.

Esta Norma Cubana no toma en cuenta el diseño y el modo de funcionamiento del producto, que puede influir en su resistencia a la corrosión, ya que estos efectos son muy específicos y no se puede generalizar. Los pasos en la elección de la optimización de las medidas de protección contra la corrosión en ambientes atmosféricos se definen en la norma ISO 11303.

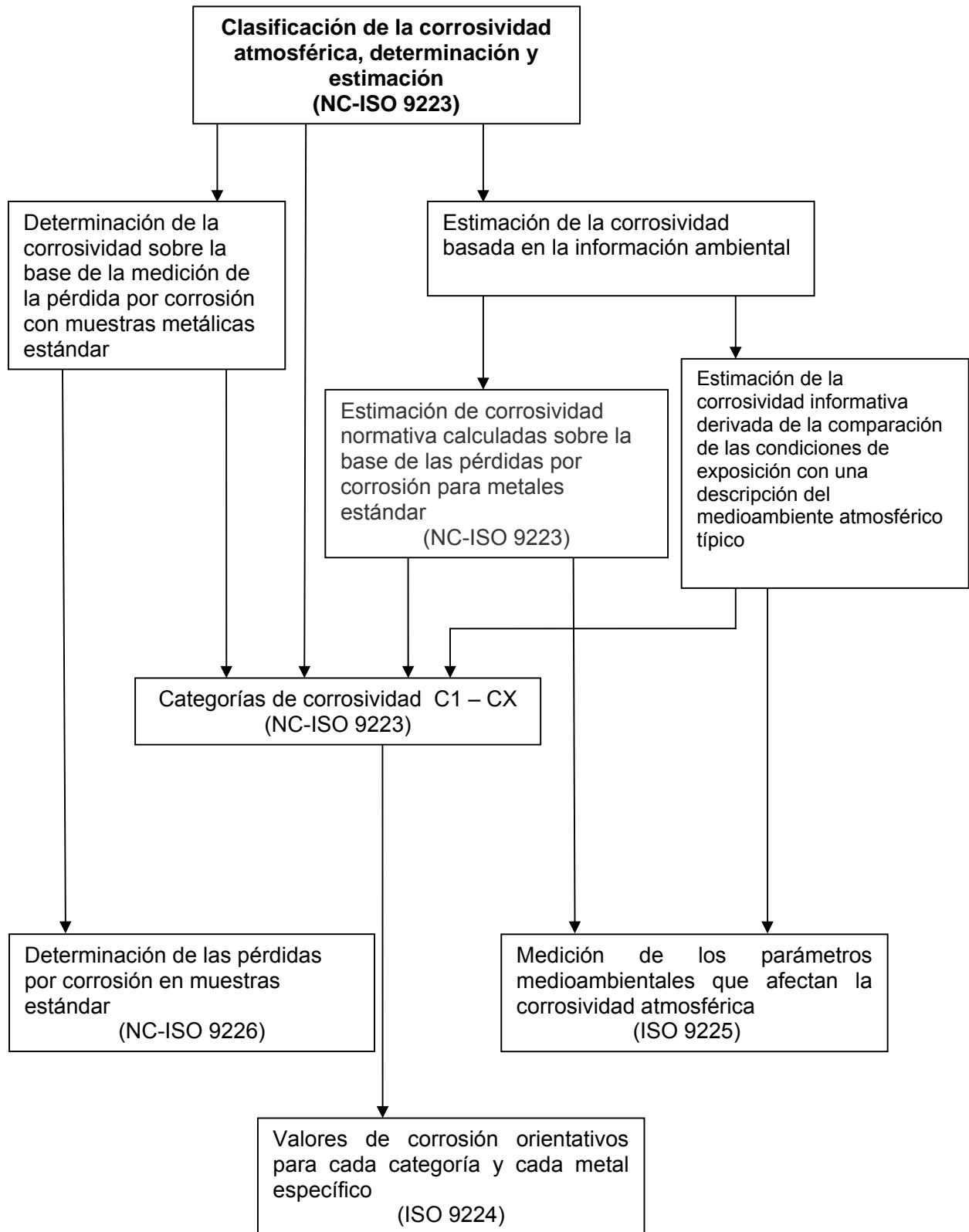


Figura 1 — Clasificación de la corrosividad atmosférica

CORROSIÓN DE LOS METALES Y ALEACIONES — CORROSIVIDAD DE ATMÓSFERAS — CLASIFICACIÓN, DETERMINACIÓN Y ESTIMACIÓN

1 Alcance

Esta Norma Cubana establece un sistema de clasificación de la corrosividad de los ambientes atmosféricos en el que se:

- definen las categorías de corrosividad de los ambientes atmosféricos por la velocidad de corrosión del primer año de muestras estándar,
- ofrecen funciones de dosis-respuesta para la estimación normativa de la categoría de corrosividad basadas en el cálculo de la pérdida por corrosión del primer año de los metales normales, y
- hace posible una estimación informativa de la categoría de corrosividad basada en el conocimiento de la situación ambiental local.

Esta Norma Cubana especifica los factores claves en la corrosión atmosférica de metales y aleaciones. Estos son el complejo de temperatura-humedad, la contaminación por dióxido de azufre y la salinidad en el aire.

La temperatura también se considera un factor importante para la corrosión en las zonas fuera de la zona templada macroclimática. El complejo de temperatura-humedad puede evaluarse en términos de tiempo de humectación. Efectos de la corrosión de otros contaminantes (ozono, óxidos de nitrógeno, partículas) puede influir en la agresividad y la evaluación de un año de la pérdida por corrosión, pero estos factores no se consideran determinantes en la apreciación de la corrosividad de acuerdo con esta Norma Cubana.

Esta Norma Cubana no hace referencia a la corrosividad de las atmósferas de servicios específicos, por ejemplo, atmósferas en las industrias químicas o metalúrgicas.

Las categorías de corrosividad clasificadas y los niveles de contaminación introducidos se pueden usar directamente para los análisis técnicos y económicos de los daños por corrosión y para una elección racional de las medidas de protección contra la corrosión.

2 Referencias normativas

Los documentos de referencia siguientes son indispensables para la aplicación de este documento. Para las referencias fechadas, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha, se aplica la última edición del documento referenciado (incluyendo cualquier modificación).

ISO 8044 Corrosión de metales y aleaciones — Términos y definiciones básicas

ISO 9224 Corrosión de metales y aleaciones — Corrosividad de atmósferas — Valores orientativos para las categorías de corrosividad

ISO 11844-1 Corrosión de metales y aleaciones — Clasificación de baja corrosividad de los ambientes interiores — Parte 1: Determinación y estimación de la corrosión interior

ISO 11844-2 Corrosión de metales y aleaciones — Clasificación de baja corrosividad de los ambientes interiores — Parte 2: Determinación del ataque corrosivo en ambientes interiores

ISO 11844-3 Corrosión de metales y aleaciones — Clasificación de baja corrosividad de los ambientes interiores — Parte 3: Medición de parámetros ambientales que afectan a la corrosividad de interior

3 Términos y definiciones

A los efectos de este documento, se aplican los siguientes los términos y definiciones dados en la norma ISO 8044:

3.1 corrosividad de la atmósfera

capacidad de la atmósfera para causar corrosión en un sistema de corrosión dado

3.2 categoría de corrosividad de la atmósfera

valoración estandarizada de corrosividad de la atmósfera en relación con el efecto de la corrosión de un año

3.3 tipo de atmósfera

caracterización de la atmósfera sobre la base de criterios de clasificación adecuados diferente de la corrosividad o de los factores de operación complementarios

EJEMPLO Rural, urbano, industrial, naval, química, etc.

3.4 complejo temperatura-humedad

efecto combinado de la temperatura y la humedad relativa sobre la corrosividad de la atmósfera

3.5 tiempo de humectación

período en el que una superficie metálica está cubierta por las películas de electrolito adsorbido y / o líquido capaces de causar la corrosión atmosférica

3.6 nivel de contaminación

contados rangos en función de las mediciones cuantitativas de determinadas sustancias químicamente activas, gases corrosivos o partículas suspendidas en el aire (tanto natural como el resultado de la actividad humana) que son diferentes de los componentes normales del aire

3.7 categoría de ubicación

condiciones de exposición típicas convencionalmente definidas de un componente o estructura

EJEMPLO Exposición al aire libre, bajo techo, en un espacio cerrado, etc.

3.8 función de la dosis-respuesta

relación derivada de los resultados de las pruebas de campo para el cálculo de la pérdida por corrosión de los valores medios de los parámetros ambientales.

4 Símbolos y términos abreviados

4.1 Símbolos

r_{corr}	velocidad de corrosión para el primer año de exposición atmosférica
T	temperatura del aire
Pd	tasa de deposición de SO ₂
Pc	concentración de SO ₂
Sd	tasa de deposición Cl ⁻¹
τ	tiempo de humectación

4.2 Términos abreviados

C	categoría de corrosividad atmosférica
HR	humedad relativa

5 Categoría de la corrosividad de la atmósfera

La agresividad de la atmósfera se divide en seis categorías (ver Tabla 1).

Tabla 1 — Categorías de corrosividad de la atmosférica

Categoría	Corrosividad
C1	Muy Baja
C2	Baja
C3	Media
C4	Alta
C5	Muy Alta
CX	Extrema

6 Clasificación de la corrosividad de la atmósfera

La corrosividad de los ambientes atmosféricos se clasifican ya sea por la determinación de la corrosividad de conformidad con la Cláusula 7 ó, cuando ello no sea posible, por la estimación de la corrosión, de conformidad con la Cláusula 8. Ambos métodos de la evaluación de la corrosividad representan un enfoque generalizado y se caracterizan por algunas incertidumbres y limitaciones.

Una categoría de corrosividad determinada a partir de la pérdida por corrosión del primer año refleja la situación medioambiental específica del año de la exposición.

Una categoría corrosividad estimada a partir de la función de dosis-respuesta refleja la incertidumbre estadística de la función dada.

Una categoría de corrosividad estimada utilizando el procedimiento informativo sobre la base de la comparación de las condiciones ambientales locales con la descripción de ambientes típicos de la atmósfera puede llevar a interpretaciones erróneas. Este enfoque se va a utilizar si los datos experimentales no están disponibles.

El Anexo A define las incertidumbres relacionadas con la determinación y estimación normativa de las categorías de corrosividad atmosférica.

Una clasificación detallada de baja corrosividad de las atmósferas interiores que cubren la corrosividad las categorías C1 y C2, en términos de esta norma se especifica en la norma ISO 11844-1, ISO 11844-2 e ISO 11844-3.

7 Determinación de la corrosividad sobre la base de la medición de velocidad de corrosión de las muestras estándares

Los valores numéricos de la velocidad de corrosión del primer año para metales estándares (acero al carbono, zinc, cobre, aluminio) se dan en la Tabla 2 para cada categoría de corrosividad. Las pruebas de exposición de un año deben comenzar en la primavera o el otoño. En climas con marcadas diferencias estacionales, se recomienda el tiempo de inicio en el período más agresivo. La velocidad de corrosión de primer año no puede ser extrapolada para la predicción del comportamiento a largo plazo de la corrosión. Los modelos específicos de cálculo, los valores indicativos de la corrosión y la información adicional sobre comportamiento a largo plazo a la corrosión, se dan en la norma ISO 9224.

Tabla 2 — Velocidad de corrosión, r_{corr} , para el primer año de exposición para las diferentes categorías de corrosividad

Categoría de corrosividad	Velocidad de corrosión de los metales				
	Unidades	r_{corr}			
		Acero al carbono	Zinc	Cobre	Aluminio
C1	g/(m ² .a) µm/a	$r_{\text{corr}} \leq 10$ $r_{\text{corr}} \leq 1.3$	$r_{\text{corr}} \leq 0.7$ $r_{\text{corr}} \leq 0.1$	$r_{\text{corr}} \leq 0.9$ $r_{\text{corr}} \leq 0.1$	Despreciable
C2	g/(m ² .a) µm/a	$10 < r_{\text{corr}} \leq 200$ $1.3 < r_{\text{corr}} \leq 25$	$0.7 < r_{\text{corr}} \leq 5$ $0.1 < r_{\text{corr}} \leq 0.7$	$0.9 < r_{\text{corr}} \leq 5$ $0.1 < r_{\text{corr}} \leq 0.6$	$r_{\text{corr}} \leq 0.6$ -
C3	g/(m ² .a) µm/a	$200 < r_{\text{corr}} \leq 400$ $25 < r_{\text{corr}} \leq 50$	$5 < r_{\text{corr}} \leq 15$ $0.7 < r_{\text{corr}} \leq 2.1$	$5 < r_{\text{corr}} \leq 12$ $0.6 < r_{\text{corr}} \leq 1.3$	$0.6 < r_{\text{corr}} \leq 2$ -
C4	g/(m ² .a) µm/a	$400 < r_{\text{corr}} \leq 650$ $50 < r_{\text{corr}} \leq 80$	$15 < r_{\text{corr}} \leq 30$ $2.1 < r_{\text{corr}} \leq 4.2$	$12 < r_{\text{corr}} \leq 25$ $1.3 < r_{\text{corr}} \leq 2.8$	$2 < r_{\text{corr}} \leq 5$ -
C5	g/(m ² .a) µm/a	$650 < r_{\text{corr}} \leq 1500$ $80 < r_{\text{corr}} \leq 200$	$30 < r_{\text{corr}} \leq 60$ $4.2 < r_{\text{corr}} \leq 8.4$	$25 < r_{\text{corr}} \leq 50$ $2.8 < r_{\text{corr}} \leq 5.6$	$5 < r_{\text{corr}} \leq 10$ -
CX	g/(m ² .a) µm/a	$1500 < r_{\text{corr}} \leq 5500$ $200 < r_{\text{corr}} \leq 700$	$60 < r_{\text{corr}} \leq 180$ $8.4 < r_{\text{corr}} \leq 25$	$50 < r_{\text{corr}} \leq 90$ $5.6 < r_{\text{corr}} \leq 10$	$r_{\text{corr}} > 10$ -

NOTA 1 El criterio de clasificación se basa en los métodos de determinación de la velocidad de corrosión de las muestras estándar para la evaluación de la corrosión (véase la norma ISO 9226).

NOTA 2 La velocidad de corrosión, expresada en gramos por metro cuadrado al año [g / (m² · a)], es recalculada en micrómetros por año (µm / a) y redondeada.

NOTA 3 Los materiales metálicos estándares se caracterizan en la norma ISO 9226.

NOTA 4 El aluminio experimenta una corrosión uniforme y localizada. Las velocidades de corrosión que aparecen en esta tabla se calculan como la corrosión uniforme. La profundidad máxima de picadura o el número de picaduras puede ser el mejor indicador del daño potencial. Esto depende de la aplicación final. La corrosión uniforme y la corrosión localizada no pueden ser evaluadas después del primer año de la exposición debido a los efectos de pasivación y reducción de la velocidad de corrosión.

NOTA 5 Las velocidades de corrosión que exceden los límites superiores en la categoría C5 se consideran extremos. La categoría de corrosividad CX se refiere a los ambientes específicos marinos y marino/ industrial (ver Anexo C).

8 Estimación de la corrosividad basada en la información ambiental

8.1 Estimación de Corrosividad – Generalidades

Si no es posible determinar las categorías de corrosividad por la exposición de muestras estándares, la estimación de la corrosividad puede basarse en la pérdida de corrosión calculada a partir de los datos ambientales o de la información relativa a las condiciones ambientales y de la situación de la exposición.

8.2 Estimación normativa de la corrosividad calculada sobre la base de primer año de pérdidas por corrosión

Se proporcionan las funciones dosis-respuesta para cuatro metales estándares que describen el ataque de la corrosión después del primer año de exposición al aire libre como una función de una deposición seca SO_2 , la deposición de cloruro seco, temperatura y humedad relativa. Las funciones se basan en los resultados de la exposición en campos de corrosión de todo el mundo y cubren las condiciones climáticas de la Tierra y la situación de la contaminación dentro del alcance de esta Norma Cubana. Algunas de las limitaciones e incertidumbres se caracterizan en el Anexo A.

Funciones dosis-respuesta para el cálculo de la pérdida por corrosión del primer año de los metales estructurales:

Utilice la ecuación (1) para el acero al carbono:

$$r_{\text{corr}} = 1.77Pd^{0.52} \cdot \exp(0.020RH + f_{\text{St}}) + 102Sd^{0.62} \cdot \exp(0.033RH + 0.040T) \quad (1)$$

$$f_{\text{St}} = 0.150(T-10) \text{ cuando } T \leq 10 \text{ } ^\circ\text{C}; \text{ de lo contrario } -0.054(T-10)$$

$$N=128, R^2=0.85$$

Utilice la ecuación (2) para el zinc:

$$r_{\text{corr}} = 0.0129Pd^{0.44} \cdot \exp(0.046RH + f_{\text{Zn}}) + 0.0175Sd^{0.57} \cdot \exp(0.008RH + 0.085T) \quad (2)$$

$$f_{\text{Zn}} = 0.038(T-10) \text{ cuando } T \leq 10 \text{ } ^\circ\text{C}; \text{ de lo contrario } -0.071(T-10)$$

$$N=114, R^2=0.78$$

Utilice la ecuación (3) para el cobre:

$$r_{\text{corr}} = 0.0053Pd^{0.26} \cdot \exp(0.059RH + f_{\text{Cu}}) + 0.010Sd^{0.27} \cdot \exp(0.036RH + 0.049T) \quad (3)$$

$$f_{\text{Cu}} = 0.126(T-10) \text{ cuando } T \leq 10 \text{ } ^\circ\text{C}; \text{ de lo contrario } -0.080(T-10)$$

$$N=121, R^2=0.88$$

Utilice la ecuación (4) para el aluminio:

$$r_{\text{corr}} = 0.0042Pd^{0.73} \cdot \exp(0.025RH + f_{\text{Al}}) + 0.0018Sd^{0.60} \cdot \exp(0.020RH + 0.094T) \quad (4)$$

$$f_{\text{Al}} = 0.009(T-10) \text{ cuando } T \leq 10 \text{ } ^\circ\text{C}; \text{ de lo contrario } -0.043(T-10)$$

$$N=113, R^2=0.65$$

donde

r_{corr} es la velocidad de corrosión de metal del primer año, expresado en micrómetros por año ($\mu\text{m} / \text{a}$);

T es la temperatura media anual, expresada en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$);

HR es la humedad relativa media anual, expresado en porcentaje (%);

P_d es la deposición de SO_2 promedio anual, expresada en miligramos por metro cuadrado por día [$\text{mg} / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$];

S_d es la deposición de Cl^- promedio anual, expresada en miligramos por metro cuadrado por día [$\text{mg} / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$].

Para más detalles sobre los parámetros ambientales, véase la Tabla 3, que también da los intervalos de medición de los parámetros. Si P_d se sustituye por $0,8 P_c$ en las funciones de dosis-respuesta, como se explica en la nota al pie en el cuadro de la Tabla 3, P_c también será una media anual.

Tabla 3 — Parámetros utilizados en la derivación de las funciones dosis-respuesta, como símbolo, descripción, intervalo y las unidades

Símbolo	Descripción	Intervalo	Unidades
T	Temperatura	-17,1 a 28,7	$^{\circ}\text{C}$
RH	Humedad Relativa	34 a 93	%
P_d	Deposición de SO_2	0,7 a 150,4	$\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$
S_d	Deposición de Cl^-	0,4 a 760,5	$\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$

Los valores determinados del dióxido de azufre (SO_2) por el método de deposición, P_d , y el método volumétrico, P_c , son equivalentes a los efectos de esta Norma Cubana. La relación entre las mediciones utilizando ambos métodos pueden ser de aproximadamente expresada como $P_d = 0,8 P_c$ [P_d en $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, P_c en $\mu\text{g}/\text{m}^3$].
 NOTA Todos los parámetros se expresan como promedios anuales

Se debe tener cuidado al extrapolar las ecuaciones fuera de los intervalos de los parámetros ambientales para sus cálculos (por ejemplo en las zonas costeras).

8.3 Estimación de la corrosividad informativa sobre la base de la descripción de las condiciones de exposición

La corrosividad de un ambiente atmosférico aumenta con el efecto del complejo de temperatura-humedad (que abarca también el tiempo de humectación) y los niveles de otros agentes corrosivos.

En el Anexo B se presentan los tipos y los niveles de contaminación atmosférica típicos.

El impacto del medio ambiente influye sobre las condiciones de exposición (categoría de la ubicación) del material, componente o estructura.

En el Anexo C se presenta una descripción cualitativa de los entornos típicos relacionados con las categorías de corrosividad atmosférica para los fines de la estimación de la corrosividad informativa.

Anexo A (informativo)

Fuentes de incertidumbre asociadas a la determinación y estimación de la corrosión atmosférica

A.1 Generalidades

La corrosividad de los ambientes atmosféricos se clasifican ya sea mediante la determinación de la categoría de corrosividad basada en la exposición de muestras o por estimación basada en los parámetros ambientales y el uso de una función de dosis-respuesta. El uso de estas dos denominaciones diferentes para la evaluación de una categoría de corrosividad implica que dos diferentes niveles de incertidumbre se pueden esperar de la determinación (de baja incertidumbre) y de los procedimientos de la estimación (alta incertidumbre). Este anexo sirve para establecer los dos niveles de incertidumbre.

La base de los datos recogidos en este anexo es un análisis estadístico realizado por separado en relación con la derivación de las funciones dosis-respuesta para el procedimiento de estimación.

A.2 Distribución de errores

En las velocidades de corrosión se observan distribuciones Log-normal, es decir, distribuciones normales de los valores logarítmicos. Si la incertidumbre se expresa por una desviación estándar de los valores logarítmicos, s , entonces:

$$\Delta \ln (r_{\text{corr}}) = \pm s \quad (\text{A.1})$$

Esto significa que el intervalo de incertidumbre en general es asimétrico y se puede expresar como $r_{\text{corr}} \cdot e^{\pm s}$. Sin embargo, si s es pequeño, se convierte en un intervalo simétrico aproximadamente. Esto puede ser ilustrado por los siguientes dos ejemplos. Si $s = 0,7$, entonces $e^s = 2$ y $e^{-s} = 1/2$, que corresponde a un intervalo de -50% al 100%. Por otro lado, si $s = 0,01$, $e^s = 1,01$, y $e^{-s} = 0,99$, que corresponde a un intervalo de -1% a 1% o $\pm 1\%$

A.3 Niveles de incertidumbre

La Tabla A.1 ofrece los niveles estimados de incertidumbre. La gran diferencia entre los dos procedimientos se desprende de la tabla y esto es lo que motiva a las dos denominaciones diferentes de la evaluación. En A.4 se da una descripción de las posibles fuentes de error y una explicación de estos errores se incluyen en los valores dados en la Tabla A.1.

Tabla A.1— Niveles estimados de incertidumbre para la evaluación de la categoría de corrosividad sobre la base de la determinación (la exposición de las muestras) y la estimación (la función dosis-respuesta)

Metal	Nivel de incertidumbre	
	Determinación	Estimación
Acero al carbono	± 2	-33% a 50%
Zinc	± 5	-33% a 50%
Cobre	± 2	-33% a 50%
Aluminio	± 5	-50% a 100%

A.4 Fuentes de incertidumbre

En cuanto a la determinación de las categorías de corrosividad sobre la base de la exposición de las muestras, en primer lugar, debe aclararse que los niveles indicados en la Tabla A.1 se expresan, por un valor promedio calculado a partir de tres valores individuales y no por un valor de la corrosión individual.

Los niveles de incertidumbre dadas en la Tabla A.1, tanto para la determinación y la estimación, se basan en la exposición de los materiales en muchos sitios de ensayo diferentes, pero sólo por un período de exposición. Por lo tanto, los valores deben tener una validez general, pero la variación en el ataque de la corrosión que se produce de año en año, dependiendo de las variaciones naturales del clima, no está incluida en los valores de la Tabla A.1.

En cuanto a la estimación de las categorías de corrosividad sobre la base de las funciones de dosis-respuesta, la incertidumbre total se compone de dos partes, la incertidumbre en las funciones de dosis-respuesta y la incertidumbre en las mediciones de parámetros ambientales. De éstas, la incertidumbre en las funciones de dosis-respuesta es dominante. Además, los valores de la Tabla A.1 se basan en una incertidumbre promedio en el intervalo de parámetros utilizados en la función. Como para todas las funciones de regresión, esta incertidumbre es más baja en la gama media, correspondiente a la corrosividad categoría C3, y superior a los rangos inferiores y superiores, que corresponden a la corrosividad categorías C1 y C5. La incertidumbre de la categoría CX es el más alto y no está cubierto por este cálculo.

Anexo B (informativo)

Caracterización de la atmósfera en relación a su corrosividad

Es necesario que el método de clasificación para la estimación de la corrosividad informativa sea simple y fácil de usar en lo que respecta a la elección de los parámetros a considerar. A los efectos de esta norma cubana, los factores clave de la atmósfera de la corrosión de metales y aleaciones son el complejo de la temperatura, humedad y los niveles de contaminación de dióxido de azufre y de cloruro.

Para las posiciones sin protección, el impacto de la corrosión se marca señala en términos de deposición seca y húmeda. La deposición húmeda incluye el transporte por medio de la precipitación y la deposición seca se manifiesta por cualquier otro procedimiento de transporte.

En las posiciones protegidas, sólo se produce la deposición seca. Debe ser considerado el efecto acumulativo de las contaminantes, incluidas las partículas. Los problemas específicos de la corrosividad atmosférica bajo atmósferas agresivas interiores se caracterizan en la norma ISO 11844-1, 11844-2 e ISO 11844-3.

El humedecimiento de las superficies es causada por muchos factores, por ejemplo, el rocío, la lluvia, la nieve derretida y un alto nivel de humedad. El tiempo durante el cual la humedad relativa es mayor que 80% a una temperatura superior a 0 °C se utiliza para estimar el tiempo de humectación, τ , de las superficies corroídas. El tiempo de humectación es subestimado por el tiempo que la temperatura supera los 0 °C y 80% HR en zonas frías (depresión del punto de congelación).

La información sobre el tiempo de humectación calculado es muy útil para la estimación de la corrosividad atmosférica informativa.

La Tabla B.1 presenta el tiempo de humectación característicos para diferentes condiciones de exposición.

El factor más importante dentro del complejo temperatura y humedad es el causado por el nivel de contaminación por dióxido de azufre en el aire o la salinidad. El nivel de contaminación se mide de acuerdo con las especificaciones de la norma ISO 9225.

Otros tipos de contaminación también pueden ejercer un efecto [óxidos de nitrógeno (NO_x), el ácido nítrico (HNO_3) y polvo industrial en las zonas pobladas e industriales] o la contaminación específica operativa y tecnológica de microclimas [sulfuro de hidrógeno (H_2S), de cloro (Cl_2), de ácidos orgánicos y agentes de deshielo]. Estos tipos de contaminación no se han utilizado como criterios de clasificación.

De acuerdo con esta norma cubana los otros tipos de contaminación deben ser considerados como los que acompañan [por ejemplo, los óxidos de nitrógeno (NO_x) en ambientes urbanos] o los específicos de operación (por ejemplo, vapores de ácidos en los microclimas de explotación). Las concentraciones de los contaminantes más importantes en los diferentes ambientes atmosféricos se listan en la Tabla B.2.

La disminución de los niveles de dióxido de azufre en muchas partes del mundo y los niveles elevados de óxidos de nitrógeno causado por el aumento del tráfico, junto con el ozono y las partículas, ha creado una nueva situación del medio ambiente multicontaminante. En otras partes del mundo, en relación con el desarrollo rápido de la industria, el efecto de la corrosión por la contaminación por SO₂ se intensifica y domina todavía.

La contaminación atmosférica considerada para la clasificación de corrosividad en el marco de esta Norma Cubana se divide en dos grupos: la contaminación por dióxido de azufre (SO₂) y por la salinidad en el aire. Estos dos tipos de contaminación son representativos de ambientes rurales, urbanos, industriales y marinos. La agrupación de la contaminación por dióxido de azufre (SO₂) para ambientes al aire libre estándares se da en la Tabla B.3.

La agrupación de la salinidad en los niveles característicos de los tipos de ambientes se muestra en la Tabla B.4. Es necesario tener en cuenta la gran importancia de la acumulación de cloruro en las superficies no lavadas por la lluvia, especialmente en sitios húmedos.

El tiempo de humectación es subestimado por el tiempo que la temperatura supera los 0 ° C y 80% HR en zonas frías (depresión del punto de congelación).

Tabla B.1 — Tiempo de humectación en diferentes condiciones de exposición

Tiempo de humectación h/a	Nivel	Ejemplo de ocurrencia
$\tau \leq 10$	τ_1	Microclimas internos con control climático
$10 < \tau \leq 250$	τ_2	Microclimas internos sin control climático con excepción de espacios internos sin aire acondicionado en los climas húmedos
$250 < \tau \leq 2500$	τ_3	Ambientes al aire libre en climas secos y fríos, y algunas zonas de climas templados, cobertizos bien ventilados en los climas templados
$2500 < \tau \leq 5500$	τ_4	Ambientes al aire libre en todos los climas (a excepción de los climas secos y fríos); cobertizos ventilados en condiciones húmedas, cobertizos sin ventilación en los climas templados
$5500 < \tau$	τ_5	Algunas zonas de climas húmedos; cobertizos ventilados en condiciones de humedad
<p>NOTA 1 El tiempo de humectación de una localidad dada depende del complejo temperatura-humedad de la atmósfera al aire libre y la categoría de la localización, y se expresa en horas por año (h/a).</p> <p>NOTA 2 Las superficies protegidas en ambientes marinos, en donde se depositan los cloruros, pueden experimentar un aumento sustancial de los tiempos de humectación debido a la presencia de sales higroscópicas.</p> <p>NOTA 3 En ambientes interiores sin control climático, las fuentes de vapor de agua causan mayores tiempos de la humectación.</p>		

Tabla B.2 — Concentración al aire libre de algunos de los contaminantes más importantes en diferentes tipos de ambientes

Contaminante	Concentración/deposición (valor medio anual)	Fuente
SO ₂	rural: 2 – 15 (µg/m ³) urbana: 5 – 100 (µg/m ³) industriales: 50 – 400 (µg/m ³)	Las principales fuentes de SO ₂ son el uso del carbón y el petróleo y las emisiones de plantas industriales.
NO ₂	rural: 2 – 25 (µg/m ³) urbana: 20 – 150 (µg/m ³)	El tráfico es la principal fuente de emisiones de NO ₂ .
HNO ₃	rural: 0,1 – 0,7 (µg/m ³) urbano / industrial: 0,5 – 4 (µg/m ³)	HNO ₃ se correlaciona con el NO ₂ . Las altas concentraciones de NO ₂ , compuestos orgánicos y luz UV aumentan la concentración
O ₃	20 a 90 (µg/m ³)	O ₃ se forma en la atmósfera por una interacción entre la luz del sol, el oxígeno y los contaminantes. Las concentraciones son más altas en atmósferas contaminadas rurales y menor en áreas de alto tráfico urbano
H ₂ S	normalmente: 1 – 5 (µg/m ³) industrial y refugio de animales: 20 – 250 (µg/m ³)	Hay algunas fuentes naturales, por ejemplo pantanos y actividades volcánicas. La industria de la celulosa y el papel y los criaderos dan las concentraciones más altas.
Cl ₂	normalmente: 0,1 (µg/m ³) algunas plantas de la industria: hasta 20 (µg/m ³)	La fuente principal son las emisiones de la industria de pulpa y papel.
Cl ⁻	0,1 – 200 (µg/m ³) dependiendo de la situación geográfica - en ambientes marinos 300 – 1 500 (µg/m ³)	Las fuentes principales son el mar y el deshielo de las carreteras
NH ₃	normalmente concentraciones bajas: < 20 (µg/m ³) cerca de la fuente: hasta 3 000 (µg/m ³)	La fertilización en las áreas agrícolas y las emisiones de la producción de la industria de alimentos pueden dar valores promedio más altos.
Partículas- PM ₁₀	zonas rurales: 10 – 25 (g/m ³) urbano / industrial: 30 – 70 (g/m ³)	Rural: en gran medida los componentes inertes Urbana: las áreas de alta concentración de tráfico, componentes corrosivos Industriales: las emisiones de la producción pueden dar altas concentraciones.
Partículas (depósitos de polvo)	rural: 450 a 1 500 [mg / (m ² .a)] urbano / industrial: 1 000 – 6 000 [mg / (m ² .a)]	Rural: en gran medida los componentes inertes Urbanos e industriales: componentes activos de corrosión (NO ₃ ⁻ , Cl ⁻ SO ₄ ²⁻)
Hollín	rural: < 5 [mg / (m ² .a)] urbano e industrial: hasta el 75 [mg / (m ² .a)]	La quema de carbón y la madera es una fuente importante. El hollín de los coches diesel es otra fuente.

NOTA Esta tabla presenta los límites generales de las concentraciones o la deposición de contaminantes. El valor real (actual) de los intervalos es desigual en las diferentes partes del mundo, según el nivel de industrialización y la aplicación de medidas para la reducción de la contaminación (medidas legales, otras tecnologías, etc.)

Tabla B.3 — Agrupación de la contaminación por sustancias que contienen azufre representado por SO₂

Velocidad deposición de SO ₂ mg/(m ² .d)	La concentración de SO ₂ µg/m ³	Nivel
$P_d \leq 4$	$P_c \leq 5$	P ₀ Ambiente rural
$4 < P_d \leq 24$	$5 < P_c \leq 30$	P ₁ Atmósfera urbana
$24 < P_d \leq 80$	$30 < P_c \leq 90$	P ₂ Ambiente industrial
$80 < P_d \leq 200$	$90 < P_c \leq 250$	P ₃ Atmósfera industrial altamente contaminada

NOTA 1 Los métodos de determinación de dióxido de azufre (SO₂) se especifican en la norma ISO 9225.

NOTA 2 Los métodos para determinar los valores de la deposición del dióxido de azufre (SO₂), P_d, y volumétrico, P_c, son equivalentes a los efectos de esta Norma Cubana. La relación entre las mediciones utilizando ambos métodos puede ser aproximadamente expresada como: $P_d = 0,8 P_c$. Este factor de conversión se basa en la medición de depósitos en las superficies de tipo alcalinas.

NOTA 3 A los efectos de esta Norma Cubana, la tasa de deposición del dióxido de azufre (SO₂) y la concentración se calculan a partir de mediciones continuas durante al menos un año y se expresan como la media anual. Los resultados de mediciones a corto plazo pueden variar considerablemente de los valores a largo plazo. Tales resultados se utilizan solamente de forma orientativa.

Nota 4 Los rangos presentados abarcan los niveles comunes en los distintos tipos de ambientes. Los valores extremos se muestran en la Tabla B.2.

Tabla B.4 — Agrupación de la contaminación por la salinidad del aire representada por cloruros

Velocidad deposición de cloruros mg/(m ² .d)	Nivel
$S_d \leq 3$	S ₀
$3 < S_d \leq 60$	S ₁
$60 < S_d \leq 300$	S ₂
$300 < S_d \leq 1500$	S ₃

NOTA 1 Los niveles de salinidad del aire de acuerdo con esta Norma Cubana están basados en el método de la bujía húmeda especificado en la norma ISO 9225.

NOTA 2 Los resultados obtenidos por la aplicación de varios métodos (por ejemplo: método de la placa seca) para la determinación del contenido de salino en la atmósfera no siempre son directamente comparables ni convertibles. En la norma ISO 9225 se dan factores de conversión derivados.

NOTA 3 A los efectos de esta Norma Cubana, la velocidad de deposición de cloruros se expresa como valor promedio anual. Los resultados de mediciones a corto plazo son muy variables y dependen fuertemente de los efectos climatológicos.

NOTA 4 Una contaminación extrema por cloruros, la cual es típica de fuertes salpicaduras y del aerosol marino, está fuera del alcance de esta Norma Cubana.

NOTA 5 La salinidad en el aire depende en gran medida de las variables que influyen en el transporte tierra adentro de la sal marina, tales como la dirección y la velocidad del viento, la topografía local, la distancia del lugar de exposición del mar, etc.

Anexo C
(informativo)

Descripción de los ambientes típicos atmosféricos relacionados con la estimación de las categorías de corrosividad

Tabla C.1 — Descripción de los ambientes típicos atmosféricos relacionados con la estimación de las categorías de corrosividad

Categoría de corrosividad ^a	Corrosividad	Entornos típicos - Ejemplos ^b	
		Interior	Aire libre
C1	Muy baja	Espacios con calefacción de baja humedad relativa y contaminación insignificante, por ejemplo, oficinas, escuelas, museos	Zona seca o fría, ambiente atmosférico con contaminación y tiempo de humectación muy bajos, por ejemplo ciertos desiertos, Ártico Central / Antártida
C2	Baja	Espacios sin calefacción con temperatura y humedad relativa variable. Baja frecuencia de la condensación y de baja contaminación, por ejemplo, salas de almacenamiento, y de deporte	Zona templada, medio ambiente con baja contaminación atmosférica ($\text{SO}_2 < 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), por ejemplo, áreas rurales, ciudades pequeñas. Zona seca o fría, ambiente atmosférico con corto tiempo de humectación, por ejemplo desiertos, zonas subárticas
C3	Media	Espacios con frecuencia moderada de condensación y contaminación moderada por procesos productivos, por ejemplo, plantas procesadoras de alimentos, lavanderías, fábricas de cerveza, lácteos.	Zona templada, medio ambiente con contaminación atmosférica media ($\text{SO}_2: 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) o algún efecto de los cloruros, por ejemplo, las zonas urbanas, zonas costeras con baja deposición de cloruros. Zona subtropical y tropical, atmósfera con baja contaminación
C4	Alta	Espacios con alta frecuencia de condensación y alta contaminación por procesos productivos, por ejemplo plantas de procesamiento industrial, piscinas	Zona templada, medio ambiente con la contaminación atmosférica alta ($\text{SO}_2: 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$) o un efecto sustancial de los cloruros, por ejemplo, áreas urbanas contaminadas, áreas industriales, zonas costeras sin aerosol de agua salada o, la exposición al fuerte efecto de las sales de deshielo. Zona subtropical y tropical, atmósfera con contaminación media
C5	Muy alta	Espacios con muy alta frecuencia de condensación y / o con una alta contaminación por procesos productivos, por ejemplo minas, cavernas con fines industriales, naves sin ventilación en las zonas tropicales y subtropicales	Zonas templadas y subtropicales, medio ambiente con la contaminación atmosférica muy alta ($\text{SO}_2: 90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y/o un efecto significativo de cloruros, por ejemplo, zonas industriales, zonas costeras, posiciones protegidas en la costa

Tabla C.1 (Continuación)

Categoría de corrosividad ^a	Corrosividad	Entornos típicos - Ejemplos ^b	
		Interior	Interior
CX	Extrema	Espacios de condensación casi permanente, o largos períodos de exposición a efectos de la humedad extrema y/o con altos niveles de contaminación por procesos productivos, por ejemplo, naves sin ventilación en las zonas tropicales húmedas, con una penetración de la contaminación del aire libre, incluyendo cloruros en el aire y la corrosión estimulante de partículas	Zona subtropical y tropical (tiempo de humectación muy alto), el medio ambiente atmosférico con alta contaminación por SO ₂ (superior a 250 µg/m ³), incluyendo factores acompañantes y de la producción y/o un efecto fuerte de cloruros, por ejemplo, zonas industriales extremas, zonas costeras y en alta mar, contacto ocasional con niebla salina
<p>NOTA 1 La deposición de cloruros en las zonas costeras es fuertemente dependiente de las variables que influyen en el transporte tierra adentro de la sal de mar, tales como la dirección y velocidad del viento, la topografía local, islas protegidas del viento fuera de la costa, distancia del lugar del mar, etc</p> <p>NOTA 2 El Efecto extremo por los cloruros, lo cual es típico de las salpicaduras del mar o un aerosol de sal gruesa, está fuera del alcance de esta Norma Cubana.</p> <p>NOTA 3 La clasificación de corrosividad de las atmósferas de servicios específicos, por ejemplo, en las industrias químicas, está fuera del alcance de esta Norma Cubana.</p> <p>NOTA 4 Las superficies que están protegidas y no se lavan con la lluvia en ambientes atmosféricas marinos donde se depositan y acumulan los cloruros puede experimentar una categoría corrosividad mayor debido a la presencia de sales higroscópicas.</p> <p>NOTA 5 Una descripción detallada de los tipos de entornos de interior dentro de las categorías de corrosividad C1 y C2 se dan en la norma ISO 11844-1. Se definen y clasifican categorías de corrosividad interior de IC1 a IC5.</p>			
<p>^a En los entornos con una "categoría CX" esperada, se recomienda determinar la clasificación de la corrosividad atmosférica con pérdidas de corrosión en un año.</p> <p>^b La concentración de dióxido de azufre (SO₂) se debe determinar por lo menos durante un año y se expresa como el promedio anual.</p>			

Bibliografía

- [1] ISO 9225 Corrosión de metales y aleaciones - Corrosividad de atmósferas - Medición de parámetros ambientales que afectan a la corrosividad de las atmósferas
- [2] NC-ISO 9226 Corrosión de metales y aleaciones - Corrosividad de atmósferas - Determinación de la velocidad de corrosión de las muestras estándar para la evaluación de la corrosividad
- [3] ISO 11303 Corrosión de metales y aleaciones - Directrices para la selección de métodos de protección contra la corrosión atmosférica
- [4] KNOTKOVA, D., KUCERA, V., BOSCHEK, P., "La clasificación de la corrosividad de la atmósfera: sistema de clasificación estandarizado y enfoque para el ajuste", ASTM STP 1421. Corrosión Atmosférica al aire libre. 2002, pp 107
- [5] Mikhailov, AA, TIDBLAD, J. y KUCERA, V., El sistema de clasificación de la norma ISO 9223 y las funciones de dosis-respuesta en la evaluación de la corrosividad de las atmósferas exteriores. Protección de los Metales, **40** (6), pp 541-550, 2004
- [6] MORCILLO, M. ALMEIDA, E., CHICO, B., De la Fuente, D., Análisis de la norma ISO 9223 (clasificación de la corrosividad de la atmósferas) a la luz de la información obtenida en el MiCAT Iberoamericana, ASTM STP 1421. Corrosión Atmosférica al aire libre, 2002, pp 59
- [7] KNOTKOVA, D., KREISLOVA, K., DEAN, S.W., "ISO CORRAG Programa Internacional para la exposición a la atmósfera: Resumen de los resultados", ASTM Datos de la serie 71. ASTM International, PA, EE.UU., 2010