

## Corrosión Metálica en Ambientes Exteriores e Interiores en las ciudades de Quito y Esmeraldas

Cadena F.\*; Quiroz F. \*; Aldás M.\*; Lascano L.\*\*; Valle V.\*\*\*

\*Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria,  
Departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología, Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros  
Quito, Ecuador (francisco.cadena@epn.edu.ec)

\*\* Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ciencias, Departamento de Física.  
Quito, Ecuador (luis.lascano@epn.edu.ec)

\*\*\*Quito, Ecuador (vladimirvalle81@hotmail.com)

---

**Resumen:** Se presentan los resultados de la medición de la corrosión metálica de: acero, acero galvanizado, cobre y aluminio en el caso de la corrosión en ambientes exteriores, y de acero, estaño y cobre en ambientes interiores. Las estaciones de ensayo se ubican en las ciudades de Quito y Esmeraldas, los ensayos se realizaron utilizando las normas ISO y ASTM. Los resultados muestran que los niveles de corrosividad son más altos en la ciudad de Esmeraldas (particularmente para la corrosión en ambientes interiores) debido a la presencia de fuentes de contaminación atmosférica, como son la refinería y la termoeléctrica situadas en esa zona, la influencia marina resulta poco significativa debido a la distancia y ubicación de la estación de ensayo en la ciudad de Esmeraldas.

**Palabras clave:** Corrosión atmosférica, corrosión en exteriores, corrosión en interiores, acero

**Abstract:** This work reports the assessments of corrosion measurement on steel, galvanized steel, copper and aluminum in the case of outdoor atmospheric corrosion, and steel, tin and copper indoor atmospheric corrosion. The test stations are located in the cities of Quito and Esmeraldas. Additionally, assays were performed using ISO and ASTM standards. Main results show that corrosivity levels are higher in Esmeraldas (particularly indoors corrosion) due to the presence of pollution sources such as refinery and the thermoelectric stations located in that area. Furthermore, in Esmeraldas the influence of the sea is not significant due to the distance and location of the test stations.

**Keywords:** Atmospheric corrosion, outdoor corrosion, indoor corrosion, steel.

---

### 1. INTRODUCCION

Como es conocido, se calcula entre 2 y 5% del PIB de un país las pérdidas, tanto directas como indirectas, causadas por la corrosión [9]. De ellas, el 50% se atribuye a la corrosión atmosférica, este fenómeno se produce tanto en ambientes exteriores como interiores; en los primeros se ha realizado una gran cantidad de investigaciones, determinándose la influencia directa que tienen los parámetros meteorológicos (particularmente el tiempo de humectación) como la concentración de la contaminación atmosférica (fundamentalmente de dióxido de azufre SO<sub>2</sub> en ambientes urbanos y de cloruros Cl<sup>-</sup> en marinos). En cambio, en el caso de la corrosión en ambientes interiores, las investigaciones son más recientes y aún se encuentran bajo estudio propuestas para precisar y acordar normas de ensayo para este tipo de ambientes.

Las actividades de las industrias de la telecomunicación y de transporte de energía eléctrica resultan seriamente afectadas por el influjo de la corrosión atmosférica, en los dos tipos de ambientes. Resulta preciso, para determinar las acciones a llevar adelante para minimizar estas afectaciones, que pueda

cuantificarse el ataque corrosivo y que, sobre la base de estos valores, se categorice el tipo de atmósfera.

En el Ecuador existen algunos estudios de corrosión en ambientes exteriores [7], pero éste es el primero que se realiza en ambientes interiores. De hecho, nuestro grupo ha realizado varias experimentaciones en las mismas estaciones midiendo la corrosión en la intemperie.

### 2. CONTENIDO

#### 2.1 Metodología

##### 2.1.1 Materiales

Los materiales metálicos utilizados fueron: acero de bajo contenido de carbono, acero galvanizado, cobre, estaño y aluminio que, previa su exposición, fueron desengrasados con metil-etil-cetona.

El tamaño de las muestras fue de: 100 mm × 150 mm × 0.9 mm en el caso de los ensayos en ambientes exteriores y en el caso de ambientes interiores de dos tipos: 20 mm × 50 mm × 0.9 mm y 10 mm × 50 mm × 0.9 mm.

Para el caso del estudio de la corrosión en ambientes interiores, se colocó un dispositivo electrónico (módem)

dentro de la cabina. El cual se trata de un equipo dado de baja por su obsolescencia pero que funciona aún y, por tanto, puede monitorizarse el efecto del medioambiente sobre su desempeño. La Fig. 1. esquematiza la cabina empleada para dichos ensayos.

2.2.- Estaciones de campo

Se seleccionaron dos ciudades, la primera la ciudad de Quito ubicada a 2835 m sobre el nivel del mar y que corresponde, en general, a un ambiente urbano. La segunda, en la ciudad de Esmeraldas cerca del mar y con influjo de los procesos de la refinería estatal y de la termoeléctrica localizadas a pocos kilómetros de la misma.

Quito se encuentra rodeada de montañas con una longitud aproximada de 50 Km y un ancho de 8 Km. Se han seleccionado 7 sitios para ubicar las estaciones de ensayo, 5 en la zona urbana y 2 en los valles cercanos que conforman su área metropolitana. En todas ellas se han ubicado estaciones para medir la corrosión atmosférica en ambientes exteriores y en una de ellas (denominada “Escuela Politécnica Nacional”) se ha construido una estructura para colocar muestras para la evaluación de la corrosión en interiores. La estación denominada “Pinturas Cóndor” corresponde a un área urbano-industrial, la estación “Centro Histórico” corresponde a la zona en la cual se concentra el Patrimonio Arquitectónico colonial de la ciudad. El resto de estaciones se consideran de tipo urbano.

La ciudad de Esmeraldas se encuentra en la parte nororiental del país, frontera con Colombia. Se ha ubicado una estación en la terraza del edificio del Municipio de la ciudad. Para el caso de las experiencias en ambientes exteriores, se colocaron en cada estación tres muestras de metal, expuestas con un ángulo de inclinación de 45° de acuerdo con las normativas: ASTM G1 [2], G7 [3] y G50 [4]. Para el caso de las experiencias en ambientes interiores se construyeron cabinas metálicas en cuyo interior se colocaron muestras de: acero, níquel, plata, estaño y cobre basándose en las normas de la European Telecommunication Estándar [10].

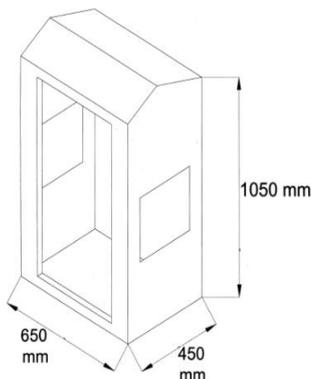


Figura 1. Esquema de la cabina para ensayos en ambientes interiores

2.3. Obtención de los datos meteorológicos y de contaminación

En la ciudad de Quito los datos fueron obtenidos por la “Secretaría de Ambiente Municipio del Distrito Metropolitano de Quito” quien dispone de estaciones de monitoreo automáticas. En Esmeraldas, la información meteorológica fue provista por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología” (INHAMI), mientras que la determinación de los datos de velocidad de deposición de cloruros fueron obtenidos por el método de la candela húmeda (ASTM G140) [6] y el SO<sub>2</sub> atmosférico fue obtenido por la técnica descrita en la norma ASTM G91 [5].

Para el estudio de la corrosión en ambientes interiores, los contaminantes ambientales fueron determinados mediante medidores pasivos colocados en el interior de las cabinas de ensayo siguiendo las recomendaciones del grupo de trabajo ISO TC 156/WG 4 - N 382 [12].

2.4. Técnicas de evaluación para las muestras metálicas

Las características morfológicas de la herrumbre formada fueron analizadas por medio de un microscopio óptico (Thomas Scientific 1230CM).

El ataque corrosivo de las muestras expuestas a los ambientes exteriores se calculó mediante la pérdida de peso de las muestras siguiendo el procedimiento descrito en la norma ASTM G1. Para el caso de las muestras en ambientes interiores, éste fue evaluado considerando los documentos de trabajo ISO/TC 156 WG 4-N358 [13].

3. RESULTADOS

3.1. Datos meteorológicos y de contaminación en las estaciones de ensayo

En la Tabla 1 se representan los valores contaminación y tiempo de humectación exteriores, categorizados de acuerdo con la normativa ISO 9223 [14].

Tabla 1. Categorización de las estaciones de ensayo de acuerdo con las normativas ISO.

Estación de ensayo	[SO <sub>2</sub> ] Categoría ISO	[Cl <sup>-</sup> ] Categoría ISO	Tiempo humectación Categoría ISO
Quito	P <sub>0</sub> -P <sub>1</sub>	S <sub>0</sub>	τ <sub>4</sub>
Esmeraldas	P <sub>1</sub> - P <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	τ <sub>4</sub>

Las dos ciudades tienen un nivel de tiempo de humectación alto y corresponden a la misma categoría ISO; sin embargo, debido a su cercanía al mar, en la ciudad de Esmeraldas el nivel es mayor. Los niveles de contaminación debido al SO<sub>2</sub>

son más altos en la ciudad de Esmeraldas ocasionadas por su cercanía a la refinera y a una central termoeléctrica. Las concentraciones de cloruros no son muy altas porque las gotas de agua, arrastradas por la brisa marina, llegan en pequeña cantidad a la zona de la estación de ensayo, tanto por la distancia al mar como por la existencia de varias edificaciones que se interponen en su camino.

Al interior de las cabinas, los valores de contaminación por SO<sub>2</sub> disminuyen a P<sub>0</sub> en Quito y P<sub>1</sub> en Esmeraldas y los niveles de cloruros a S<sub>0</sub>. Pero la humedad relativa HR se mantiene alta (t<sub>4</sub>), los valores de la temperatura alcanzan niveles muy altos, en Quito se llega a superar los 40 °C (en horas del mediodía).

3.2.- Apariencia general del ataque corrosivo

En general, el ataque corrosivo en la intemperie presenta un aspecto mucho más uniforme que el que se presenta dentro de la cabina de ensayo. Esta diferencia se puede apreciar muy claramente para el caso del acero tal como puede apreciarse en las fotografías de la Fig. 2.

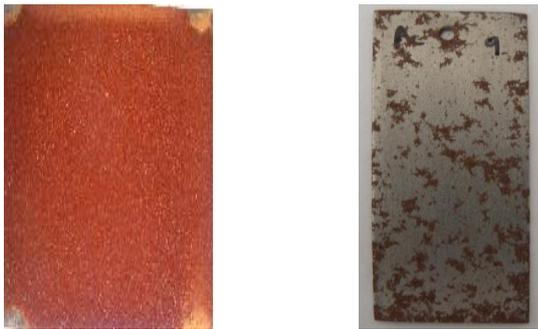


Figura 2. A la izquierda, fotografía de una muestra de acero expuesta a la intemperie y a la derecha expuesta dentro de la cabina de ensayo

3.3.- Corrosión en ambientes exteriores

En cuanto a los valores de corrosión del acero, a todas las estaciones de la ciudad de Quito, les corresponde la categoría 2 de las normas ISO (corrosividad débil) mientras que a la ciudad de Esmeraldas le corresponde la categoría 3 (mediana corrosividad) como se muestra en la Tabla 2. Los valores obtenidos están en completa consonancia con los datos meteorológicos y de contaminación que se han registrado para cada estación.

Tabla 2.- Valores de la corrosión al cabo de un año de exposición para el acero

Ciudad	Estación	Penetración (µm)	Categoría Normativa ISO
Quito	Río Coca	17.1	2
Quito	San Gabriel	15.0	2
Quito	Escuela Politécnica	15.1	2
Quito	Centro Histórico	8.0	2
Quito	Pinturas Cóndor	18.0	2
Quito	Valle los Chillos	14.5	2
Quito	Valle Tumbaco	11.2	2
Esmeraldas	Municipio	32.6	3

En las Tablas 3 y 4 se muestran los resultados para el acero galvanizado y para el aluminio respectivamente. En este último, el ataque corrosivo se reporta en unidades de g/m<sup>2</sup> debido a que el mismo es de tipo *por picaduras*. En los dos materiales se advierte que la corrosividad es débil para todas las estaciones de Quito y mediana en las estaciones de la ciudad de Esmeraldas.

En la Tabla 5 se registran los valores de corrosión para el cobre, los mismos que presentaron mayor variabilidad. En la mayoría de las estaciones de la ciudad de Quito la corrosividad es mediana, salvo la estación de San Gabriel en la cual es baja; no obstante, las diferencias en valores absolutos es menor. En el caso de la ciudad de Esmeraldas todas las estaciones reportan valores altos de corrosividad.

Tabla 3.- Valores de la corrosión al cabo de un año de exposición para el acero galvanizado

Ciudad	Estación	Penetración (µm)	Categoría Normativa ISO
Quito	Río Coca	0.33	2
Quito	San Gabriel	0.37	2
Quito	Escuela Politécnica	0.35	2
Quito	Centro Histórico	0.33	2
Quito	Pinturas Cóndor	0.43	2
Quito	Valle los Chillos	0.39	2
Quito	Valle Tumbaco	0.35	2
Esmeraldas	Municipio	0.90	3

Tabla 4.- Valores de la corrosión al cabo de un año de exposición para el aluminio

Ciudad	Estación	Corrosión(g/m <sup>2</sup> )	Categoría Normativa ISO
Quito	Río Coca	0.54	2
Quito	San Gabriel	0.46	2
Quito	Escuela Politécnica	0.46	2
Quito	Centro Histórico	0.49	2
Quito	Pinturas Cóndor	0.55	2
Quito	Valle los Chillos	0.48	2
Quito	Valle Tumbaco	0.33	2
Esmeraldas	Municipio	0.90	3

Tabla 5.- Valores de la corrosión al cabo de un año de exposición para el cobre

Ciudad	Estación	Penetración (µm)	Categoría Normativa ISO
Quito	Río Coca	0.63	3
Quito	San Gabriel	0.52	2
Quito	Escuela Politécnica	1.00	3
Quito	Centro Histórico	0.71	3
Quito	Pinturas Cóndor	0.68	3
Quito	Valle los Chillos	1.05	3
Quito	Valle Tumbaco	0.92	3
Esmeraldas	Municipio	1.64	4

## 2.2.- Ensayos en ambientes interiores

En la Tabla 6 se indican las velocidades de corrosión al término de un año en la ciudad de Quito y en la tabla 7 las correspondientes a la ciudad de Esmeraldas. Se puede advertir que existen algunas diferencias en los valores que se obtienen en función del tamaño de la muestra, en consonancia con los trabajos reportados en otros países. [8]

Tabla 6.- Valores de la corrosión en ambientes interiores en la ciudad de Quito al cabo de 1 año de exposición

Material	Dimensión (mm)	Velocidad de corrosión (µm/año)
Acero	10	0.65
	20	0.99
Estaño	10	0.51
	20	0.57
Cobre	10	1.76
	20	1.70

Tabla 7.- Valores de la corrosión en ambientes interiores en la ciudad de Esmeraldas al cabo de 1 año de exposición

Estaño	10	0.71
	20	0.90
Cobre	10	2.32
	20	2.45

De acuerdo con los resultados alcanzados, a la corrosividad del acero en Quito, le corresponde la categoría media (IC3) de la norma ISO 1184 y al cobre la categoría alta (IC4).

Para el caso del cobre, considerando la norma IEC 60654-4 [11], a Quito le corresponde una categoría moderada (C2) y para Esmeraldas la más alta de esta categorización (C3). Si se toma como referencia la normativa ANSI/ISA-S71.04 [1] a la atmósfera de Quito le corresponde una categoría moderada (G2) y alta (G3) para Esmeraldas.

Para el caso del estaño, los valores son típicos para este tipo de atmósferas, tal como se ha reportado en la literatura [8].

El equipo electrónico aún continúa en funcionamiento, mostrando afectación por los depósitos de material sólido que se deposita sobre él, se continuará monitorizando sus posibles cambios.

## 4. CONCLUSIONES

La ciudad de Quito tiene una atmósfera con tiempos de humectación bastante altos pero, al menos por el momento, presenta valores de corrosividad exterior no muy altos debido a que los valores de concentración de SO<sub>2</sub> son aún pequeños. No obstante, esto podría cambiar puesto que el parque automotor crece de manera acelerada.

En la estación del "Centro Histórico" se registran los menores valores de corrosividad debido a que se han implementado, hace ya algunos años, políticas restrictivas del tráfico vehicular, una de ellas la peatonización los días domingos.

En el caso de la ciudad de Esmeraldas, resulta preocupante los niveles de contaminación, los cuales tienen como origen los procesos productivos de la refinera, la termoeléctrica y también el tráfico que se presenta en los alrededores del Municipio (zona de ensayo). Tanto la refinera y termoeléctrica de Esmeraldas se encuentran en un proceso de mejoras y es de esperar que, sus emisiones atmosféricas se reduzcan.

Nuestro grupo ha realizado varias experiencias de ensayos atmosféricos en el último decenio, hasta el momento, no se advierten mayores cambios en los valores de la corrosividad. En cuanto a la corrosividad de los ambientes interiores, tanto en Quito, como en Esmeraldas (más en esta última) los ambientes resultan ser considerablemente agresivos para los dos materiales, especialmente para el cobre. Por esta razón, es indispensable que se deben adoptar medidas de protección

adecuada para los equipos eléctricos y electrónicos expuestos en estas ciudades. El tiempo de humectación en las dos ciudades es alto, adicionalmente, el parámetro ambiental diferencial más crítico es la concentración de SO<sub>2</sub> que es más alta en Esmeraldas y por eso la diferencia en los valores de la corrosividad atmosférica entre las dos ciudades.

Una vez que se ha determinado la corrosividad metálica y categorizado de acuerdo a las normas respectivas, se puede proceder a tomar las precauciones del caso para lo cual existe variada documentación disponible.

[12] ISO TC 156/WG 4-N 382 “Measurement of environmental parameters affecting indoor corrosivity”, 2003.

[13] ISO TC 156/WG 4-N358 “Classification of corrosivity of indoor atmospheres. Determination of corrosion attack in indoor atmospheres”, 2003.

[14] ISO 9223 Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Clasification”, 2001.

## REFERENCIAS

[1] ANSI/ISA-71.04-2013 Environmental Conditions for Process Measurement and Control Systems: Airborne Contaminant

[2] ASTM, G1 Standard Practice for Preparing, Clearing and Evaluation Corrosion Test Specimens, 2003.

[3] ASTM, G7/G7M Standard Practice for Atmospheric Environmental Exposure Testing of Nonmetallic Materials, 2003.

[4] ASTM, G50 Standard Practice for Conducting Atmospheric Corrosion Testson Metals, 2001.

[5] ASTM, G91 Standard Practice for Monitoring Atmospheric SO<sub>2</sub> Using the Sulfation Plate Technique, 2004

[6] ASTM, G140 Standard Test Method for Determining Atmospheric Chloride Deposition Rate by Wet Candle Method, 2002.

[7] F. Cadena, El deterioro de los materiales de ingeniería y la contaminación atmosférica en el Ecuador, Revista Aire Puro, Corpaire No. 5 Julio 2008.

[8] F. Corvo, A.D. Torrens, N. Betancourt, J. Pérez, E. Gonzalez “Indoor atmospheric corrosion in Cuba. A report about indoor localized corrosion”. *Corrosion Science*, 49 (2007) 418-435

[9] L. Latanison, “Atmospheric Corrosion”, *Materials Performance*, vol. 26, 1987, pp 9 -15.

[10] European Telecommunication Estándar for equipment practice ETS 300 119-2D. Engineering requirements for racks and cabinet, 1994.

[11] IEC International Electrotechnical Commission 60654-4 Operating conditions for industrial-process measurement and control equipment. Part 4: Corrosive and erosive influences, 1987.