

# La corrosión atmosférica del acero galvanizado en el Ecuador

Francisco X. Cadena<sup>1\*</sup>, Jaime E. Sosa<sup>2</sup>

(1) Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador  
(correo-e: francisco.cadena@epn.edu.ec)

(2) Facultad de Ingeniería Química, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.  
(correo-e: jaime.sosa@epn.edu.ec)

\* Autor a quien debe ser dirigida la correspondencia

## Introducción

El acero galvanizado es uno de los materiales más utilizados en estructuras y partes expuestas a la atmósfera (en interiores o exteriores), debido a su buena resistencia a la corrosión atmosférica y su relativo bajo costo.

La protección del zinc se produce por tres razones:

1. El efecto "barrera": al recubrirse el acero con zinc, se evita el contacto directo del acero con las especies agresivas del medio. El grado de protección alcanzado depende del espesor del recubrimiento y del ambiente al cual se encuentra expuesto.
2. Los productos de corrosión del zinc: en ciertas atmósferas, suelen ser protectores. El grado de protección que proporcionan los productos de corrosión, están relacionadas de propiedades tales como su composición química, conductividad, adherencia, solubilidad, higroscopicidad y morfología. Estas propiedades dependen de la composición y la historia metalúrgica del metal, además de las variables medioambientales, como se ha expuesto anteriormente. En cada tipo de atmósfera (rural, urbana, industrial, marina y mixtas) se pueden formar diversos compuestos de zinc.
3. Su acción galvánica: cuando hay defectos, poros o roturas en el recubrimiento, el zinc ejerce una protección galvánica o catódica en estos sitios, formando una película de productos de corrosión densa y adherente que "rellena" las discontinuidades. El grado de protección depende de las dimensiones de las discontinuidades y del espesor del recubrimiento.

Los factores que determinan el grado de agresividad de una atmósfera, pueden clasificarse en dos: Meteorológicos y de Contaminación. El más importante de los primeros es el tiempo en el cual la atmósfera iguala o supera el 80% de la humedad relativa (tiempo de humectación), en Ecuador hemos encontrado atmósferas de categoría de humedad muy alta. En cuanto a los factores de contaminación, los valores más importantes son aquellos que corresponden a la concentración de SO<sub>2</sub> y cloruros, los primeros se presentan en atmósferas de tipo urbana e industrial y los segundos cerca del mar.

### *Factores Meteorológicos:*

- Humedad Relativa (HR)
- Tiempo de humectación (TDH)
- Temperatura (T)
- Otros (viento, lluvia, rocío)

### *Factores de contaminación:*

- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)
- Cloruros (Cl<sup>-</sup>)
- Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)
- Partículas atmosféricas

## **Ensayos de corrosión**

### *Ensayos de campo*

Para poder obtener los valores más precisos de la corrosividad atmosférica se pueden realizar ensayos de campo ubicando una estación en algún lugar de geográfico de interés y monitorizando el grado de afectación en función del tiempo. Adicionalmente, se determina el tipo y forma de productos de corrosión que se presentan en las diferentes localidades geográficas. Para completar la información, se deben registrar también los parámetros meteorológicos y de contaminación comentados anteriormente. El procedimiento para este tipo de pruebas se rige por las normas ISO 8565 y ASTM G50.

### *Ensayos de laboratorio*

Existen diferentes tipos de ensayos de laboratorio para estudiar y simular los efectos de la corrosión atmosférica, entre ellos hay varios de tipo electroquímico: voltametría, impedancia, ruido electroquímico y otros empleando cámaras en las que se nebuliza una determinada solución corrosiva y en las que se puede simular los ciclos de lluvia, humectación, secado que se presentan en el medio ambiente atmosférico. Las más conocidas siguen las normativas ASTM B117 Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) (ambiente marino) y ASTM G85 Standard Practice for Modified Salt Spray (Fog) (ambiente industrial).

### *Pronóstico de la evolución de la corrosión en función del tiempo de exposición*

Tanto del punto de vista del fabricante como del consumidor resulta muy importante conocer cómo evoluciona el grado de protección del zinc a lo largo del tiempo para estimar cuánto puede durar su protección. Si bien se puede llegar a hacer apreciaciones generales a partir del tipo de atmósfera a la que se encuentra expuesto, es posible llegar a estimaciones mucho más precisas a través de diferentes tipos de ensayos atmosféricos y su debida interpretación.

## **Normativas ISO**

Las normativas ISO 9223 e ISO 9224, clasifican en 6 categorías el grado de corrosividad atmosférico. Si se realiza un ensayo en un sitio específico durante un año y se determina la pérdida de espesor sufrida en ese tiempo (o relacionando los valores de tiempo de humectación, concentración de SO<sub>2</sub>

y cloruros), se podrá estimar lo que sucede en los próximos 10 años e incluso en su estado estacionario, con la ayuda de los valores tabulados dentro de un rango determinado. Los valores que las normativas ISO han desarrollado se aplican para: acero, zinc, cobre y aluminio. En la tabla 1 se observan los valores de las normas ISO antes dichas (las categorías y sus valores correspondientes a 10 años y en estado estacionario) del material del zinc.

Para algunas aplicaciones de ingeniería, se pueden usar valores de corrosión orientados más generales definidos en intervalos de tasas de corrosión promedio para las categorías de corrosividad. Se considera que las tasas de corrosión promedio de hasta 10 años corresponden al periodo inicial de exposición. Las tasas de corrosión promedio por periodos de más de 10 años se consideran tasas de corrosión en estado estable.

#### Modelos Matemáticos

Aunque las normativas ISO ya permiten una predicción bastante buena, más precisos aún son los modelos de orden potencial que relacionan la corrosión en función del tiempo:

$$C=at^n$$

Donde:

C = corrosión en términos de pérdida de espesor o de masa por unidad de área

t=tiempo

a, n son constantes que dependen del tipo de metal y de las características de la atmósfera en la cual está expuesto el material

Para poder determinar los valores de "a" y "n" es necesario realizar ensayos de corrosión, los modelos más precisos suelen requerir al menos 4 años, aunque con los valores del primer año, se puede tener ya una estimación bastante aceptable. Para nuestro estudio, realizaremos ensayos de hasta 7 años de duración.

#### Resultados de los ensayos de corrosión atmosférica

Se han realizado algunos estudios de corrosividad atmosférica en el Ecuador bajo la responsabilidad de las universidades: ESPOL, Universidad Técnica de Manabí y Escuela Politécnica Nacional. Desde hace más de un año, la EPN en conjunto con la Federación Ecuatoriana de Industrias del Metal FEDIMETAL y el apoyo de la Asociación Internacional del Zinc IZA ha emprendido en el estudio más completo realizado hasta ahora, instalado estaciones de ensayo en las ciudades de: Quito, Guayaquil, Cuenca, Portoviejo, Manta, Machala, Esmeraldas y Latacunga, en las cuales se ensayan diferentes tipos de materiales: acero al carbono, acero galvanizado, galvalume, magnelis, prepintados, sistemas dúplex y revestimientos alquídicos con nanopartículas. Se ha ensayado con muestras de acero galvanizado en caliente con un espesor de 98 micras (99,8 % de zinc y 0,2% de Al).

Tabla 1. Estaciones de ensayo en el proyecto

Ciudades	Código	DSNM (m)	Longitud	Latitud	Tipo de Estación
Santo Domingo	SD	625	79°12'23.7"W	0°13'56.9"S	Subtropical
Guayaquil (Sector Centro )	G1	4	79°56'06.5"W	2°06'12.3"S	Urbana Marina
Guayaquil (Puerto Marítimo)	G2	4	79°52'37.1"W	2°08'56.6"S	Marina
Portoviejo	P	53	80°27'24.0"W	1°02'29.5"S	Urbana
Quito (Centro norte)	Q1	2850	78°29'44.8"W	0°11'03.6"S	Urbana
Quito (centro sur)	Q2	2850	78°29'19.9"W	0°12'36.2"S	Urbana
Latacunga	L	2750	78°36'54.9"W	0°47'23.3"S	Urbana
Machala	MC	12	79°58'34.3"W	3°15'10.1"S	Marina Urbana
Manta	MN	6	80°44'43.8"W	0°57'05.4"S	Marina Urbana
Cuenca	C	2560	78°58'23.6"W	2°52'54.0"S	Industrial
Esmeraldas	E	15	79°40'36.2"W	0°55'50.2"N	Marina Industrial

Transcurrido un año de exposición se puede ya inferir algunas conclusiones importantes, como se aprecia en la Tabla 2, el revestimiento de zinc tuvo mayores pérdidas de espesor en zonas industriales con niveles de contaminación elevados, como Cuenca en menor proporción en aquellas ciudades donde hubo tiempos de humectación altos en el año de exposición, como Santo Domingo y Esmeraldas. El resultado obtenido en Cuenca responde también a las grandes cantidades de material particulado presente en cada uno de los revestimientos. Por otra parte, en zonas marinas como Guayaquil se obtuvo una pérdida de material menor en comparación con las mencionadas anteriormente. Para el Ecuador, las categorías de agresividad atmosférica para el zinc están entre las categorías 2 y 3 de las normas ISO.

Tabla 2 Resultados de la corrosión atmosférica del acero galvanizado en las diferentes estaciones al cabo de 1 año de exposición y su comparación con los valores del acero al carbono en el mismo periodo

Estación código	Corrosión galvanizado ( $\mu\text{m}$ )	Categoría corrosividad ISO	Grado de contaminación $\text{SO}_2$	Grado de contaminación cloruros	Tiempo de Humectación	Corrosión Acero al C ( $\mu\text{m}$ )
Quito (Centro Norte)	0,3	C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	T <sub>4</sub>	7,3
Portoviejo	0,4	C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	T <sub>5</sub>	8,7
Quito (Centro Sur)	0,4	C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	T <sub>4</sub>	9,7
Santo Domingo	1,0	C <sub>3</sub>	P <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	T <sub>5</sub>	9,7
Guayaquil (sector Centro)	0,4	C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	T <sub>4</sub>	14,5
Manta	0,5	C <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	T <sub>5</sub>	20,3
Latacunga	0,5	C <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	S <sub>0</sub>	T <sub>4</sub>	21,3
Machala	0,4	C <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	T <sub>4</sub>	21,6
Guayaquil (Puerto)	0,6	C <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	T <sub>4</sub>	22,8
Cuenca	1,5	C <sub>3</sub>	P <sub>1</sub>	S <sub>0</sub>	T <sub>4</sub>	41,9
Esmeraldas	0,8	C <sub>3</sub>	P <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	T <sub>5</sub>	51,8

Se han colocado –en la última columna de la tabla- los valores de corrosión obtenidos en el mismo período de ensayo, para el acero al carbono. Se puede evidenciar el significativo grado de protección que resulta debido a la protección del galvanizado

Los ensayos continuarán por un período de 7 años, con lo cual se podrán establecer modelos bastante precisos para el pronóstico de la corrosión atmosférica y se ampliarán a 6 sitios en el Oriente ecuatoriano.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a la Escuela Politécnica Nacional, al Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros por el financiamiento otorgado para la realización del Proyecto Junior 17-02 “Desarrollo de revestimientos poliméricos de alto desempeño para la protección de materiales sometidos a condiciones atmosféricas agresivas en el Ecuador”. También presentan sus agradecimientos a FEDIMETAL, a IZA, a la Dirección de Aviación Civil, a los Departamentos de Física y de Materiales (EPN) y a la Secretaría del Ambiente de Quito por su colaboración en el estudio

