

---

**El tiempo de humectación  
en la corrosión atmosférica**

# El tiempo de humectación en la corrosión atmosférica

Asdrúbal Valencia Giraldo

## Resumen

Partiendo de las definiciones básicas de corrosión y de corrosión atmosférica se consideran los factores que la afectan. Se reseñan las características de las atmósferas y se muestra que la corrosión atmosférica es un fenómeno electroquímico donde funcionan celdas electroquímicas con un electrolito que es el agua. Sólo cuando hay agua presente se da el fenómeno corrosivo y por eso el tiempo durante el cual la superficie metálica está húmeda, o tiempo de humectación, es un factor fundamental en la corrosión atmosférica. Se muestra cómo la medición del tiempo de humectación se está atacando con diversas técnicas y cómo este parámetro permitiría predecir el comportamiento corrosivo de los metales.

## Introducción

Corrosión es el deterioro de los materiales, especialmente metálicos, por la interacción con el ambiente que los rodea. Este fenómeno es un problema fundamental en ingeniería por dos razones: la primera es económica, pues su control y prevención cuesta miles de millones de pesos anualmente; la segunda es técnica, porque la corrosión de una estructura industrial típica es un proceso muy complicado, de naturaleza electroquímica, que generalmente requiere que sus muchas variables se estudien desde un enfoque ingenieril interdisciplinario.

Estos dos aspectos de la corrosión, su gran costo financiero y su complejidad producen una situación especial. Las muchas investigaciones realizadas han dado como resultado un buen nivel de conocimiento sobre las varias fases de la corrosión. Además, cada año se llevan a cabo miles de estudios sobre el tema. Sin embargo, en muchas aplicaciones importantes los ingenieros deben basarse en resultados empíricos obtenidos en servicio, pues el comportamiento real puede diferir demasiado de las predicciones de las investigaciones de laboratorio.

No obstante, aunque la teoría de la corrosión no se puede aplicar rigurosamente a todos los problemas prácticos, en muchos casos sus principios básicos ofrecen una guía para el control de la corrosión.

La corrosión se puede enfocar según el mecanismo como ocurre, y se encuentran así una cantidad de denominaciones especializadas; o de acuerdo con el medio en que sucede y así se habla de corrosión de estructuras y tubos enterrados, de corrosión en soluciones, de corrosión marina (en agua de mar), de corrosión por sustancias químicas específicas, de corrosión atmosférica o de corrosión a elevada temperatura.

La corrosión atmosférica ocupa una posición minoritaria en los escritos de los científicos e ingenieros de corrosión, pues los otros tipos antes mencionados son más espectaculares y parecen ofrecer retos científicos más académicos y complicados. Esto es paradójico, porque como se verá, la corrosión atmosférica es de fundamental importancia.

## 1. Corrosión atmosférica en Colombia

Por corrosión atmosférica de los metales se puede entender el ataque que estos sufren en su exposición al aire a temperatura ambiente. Hay estimativos de que cerca del 80% de las estructuras metálicas están sometidas a estas condiciones y en la práctica la mayoría de los daños en estructuras y equipos causados por corrosión, ocurren en la atmósfera. Esto lo atestigua el puesto que ocupa la industria de las pinturas que se dedica a la fabricación y aplicación de sus productos a la protección de los metales; así como la gran escala de las operaciones de la industria del galvanizado. Se estima que en la lucha contra la corrosión atmosférica se consume más del 50% de los costos totales dedicados a luchar contra la corrosión (1,2).

A pesar de la magnitud del problema, en Colombia se le ha prestado hasta ahora, poca atención al flagelo de la corrosión. Con la excepción de algunas empresas gravemente afectadas y un puñado de estudiosos, se puede afirmar que el combate de la corrosión ha pasado desapercibido, no sólo para el gran público, sino para los organismos gubernamentales y particulares que deberían enfrentar con decisión este desangre de la economía nacional.

Hay que pensar que en nuestro país la mayoría de los metales son importados así como los bienes de capital y que el rápido consumo de nuestros limitados recursos, genera costos que son absorbidos por la organización que sufre la pérdida, la cual los pasa luego al consumidor en el precio de sus productos o servicios.

Es evidente pues, que Colombia debe abocar el tema de la corrosión de una manera seria y sistemática y uno de los organismos del Estado que ha emprendido esta tarea es Colciencias. Es así como con la colaboración de organismos internacionales como la OEA y el BID, Colciencias ha establecido en el país un Proyecto Nacional de Corrosión en el que participan sobre todo las grandes universidades públicas, encaminado al estudio de la corrosión.

La facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia a través del Departamento de Ingeniería Metalúrgica y del Centro de Investigaciones Ambientales y la Corporación Tecnológica de Bolívar en Cartagena, han conformado un grupo de ingenieros dedicados al estudio de la corrosión atmosférica especialmente. En la actualidad este grupo adelanta los proyectos de investigación denominado: *Estudios de corrosividad atmosférica en la Bahía de Cartagena, mapa Iberoamericano de Corrosión Atmosférica y los problemas de corrosión y su incidencia en la economía nacional - Diagnóstico e identificación de líneas de acción.*

Se consideró la bahía de Cartagena porque es uno de los lugares más afectados por la corrosión atmosférica, que en general es un problema gravísimo en la Costa Atlántica. De esta manera si allí se obtienen los resultados esperados, estos se podrían utilizar para ser aplicados en cualquier otra región del país.

La corrosión atmosférica está condicionada por el ambiente en que ocurra, así se habla de atmósferas rurales, urbanas, industriales y marinas; cada una con unas características propias.

La atmósfera rural es aquella donde el aire es limpio, sin contaminantes químicos fuertes. En este tipo de atmósferas la corrosión no suele tomar valores alarmantes. Sin embargo, en otras atmósferas donde hay contaminantes, como los gases que producen los vehículos y la actividad industrial, o las partículas de sal que el viento esparce en las costas, la corrosión de los metales se acelera notablemente.

La expansión de la industria y el constante crecimiento de las ciudades ha contaminado la atmósfera cada vez más, provocando el deterioro rápido de los materiales. Como compensación, las técnicas de protección han alcanzado paralelamente un desarrollo importante, de modo que hoy día se dispone de una amplísima gama de recubrimientos protectores. De estos recubrimientos los más importantes son las pinturas anticorrosivas; es por eso, que en los estudios iniciales del proyecto en la bahía de Cartagena se estudian tres ubicaciones que representan tres tipos de atmósferas: marina, marina-urbana y marina-industrial. En cada sitio se ensaya los dos tipos de acero más utilizados actualmente en la región, en sus estados sin pintar y protegidos con tres sistemas diferentes de pintura. Así se podrá obtener resultados que permitan seleccionar las combinaciones de material y sistema de pintura más adecuados para cada ambiente. Por ello, es de anotar que la colaboración de empresas como Pintuco y Simesa ha sido fundamental, así como el apoyo brindado por otros organismos como la Armada Nacional, el Himat e Intercol.

Se considera que este proyecto es apenas el inicio de unos estudios que en los países industrializados se hicieron ya hace cincuenta años. Sin embargo, los resultados obtenidos en esas latitudes no son aplicables en nuestro medio, por las condiciones típicas del trópico y las específicas de Colombia. Por eso este proyecto que tiene un costo de unos 30 millones de pesos, debe arrojar resultados que no sólo den beneficio económico inmediato, sino que generen conocimientos, actitudes y evidencias que permitan a la nación enfrentar el problema de la corrosión con armas propias y de una manera racional y eficaz. Algo que estaba en mora de hacerse.

Este grupo de corrosión, como pionero en este tipo de estudios en Colombia, ha debido enfrentarse a múltiples desafíos, emanados muchos de la naturaleza misma de tan complejo problema, de lo cual se pretende dar una visión en las páginas siguientes, recordando que este es sólo uno de los múltiples aspectos que se han estado considerando durante el avance del proyecto y que se espera complementar con otros artículos futuros.

## **2. Causas de la corrosión atmosférica**

Prácticamente todos los metales se corroen en la atmósfera, pero sin duda los de mayor importancia económica son los féreos, es por ello que las discusiones presentadas se referirán básicamente a las aleaciones con base hierro y más específicamente al acero.

Cuando el hombre inscribía en lo sobrenatural todo aquello que no podía explicar de una manera sencilla, se dieron casos como el de Plinio, quien decía que el hierro se oxidaba debido a una maldición que los dioses le infligieron por ser usado en la guerra (3). Desde entonces, y hasta 1800 poco se avanzó en el conocimiento sobre los mecanismos de oxidación y corrosión en el aire. Pero desde ese año en adelante empezaron a desarrollarse diversas teorías, muchas ya superadas, que desembocaron en el estado actual en que se ha demostrado que la corrosión atmosférica es un fenómeno electroquímico. Es decir que la corrosión atmosférica de los metales es un proceso de

naturaleza electroquímica pues precisa de reacciones anódicas y catódicas. En las áreas anódicas, los átomos del metal abandonan la red cristalina metálica con la liberación de electrones, los cuales se trasladan a través del metal hasta las áreas catódicas donde son consumidos por la reacción con iones de hidrógeno en solución, para dar hidrógeno gaseoso, o se pueden combinar con agua y oxígeno para formar iones hidróxilos. Por consiguiente, la corrosión es mantenida por los procesos simultáneos en las áreas catódicas y anódicas del metal. La producción de electrones en el ánodo es una oxidación y su consumo en el cátodo es una reducción.

Diversos factores, cada uno de los cuales es de por sí un amplio tema de estudio, pueden originar la acción electroquímica; algunos son: la presencia de impurezas en el metal, discontinuidad en las capas de óxido, heterogeneidades en la superficie metálica, aireación diferencial, etc. El concepto electroquímico es relativamente fácil de entender cuando se habla de corrosión en un medio acuoso. Sin embargo en la corrosión atmosférica del acero, la aparente ausencia de un electrolito produjo mucha confusión y reluctancia a aceptar la teoría electroquímica. Pero debe tenerse en cuenta que este electrolito, que es el agua, puede llegar a la superficie metálica de varias maneras:

- Como gotas de humedad condensada, esto es por la presencia de una película húmeda observable a simple vista. Esto corresponde a una humedad de 100% o a contacto directo con el agua (lluvia, nieve, rocío, etc.). Aquí puede hablarse de corrosión mojada.
- Como una película de electrolito extremadamente delgada e invisible que se forma en la superficie por capilaridad, adsorción o condensación química. Cuando no hay humedad se dice que la corrosión es seca, que es un proceso puramente químico en el cual el metal reacciona con el oxígeno gaseoso y se conoce simplemente como oxidación. Esto sólo es peligroso a temperaturas elevadas; a temperatura ambiente lo único nocivo es en sentido estético, la formación de una pátina de óxido sobre la superficie metálica original.

Se comprende pues que la corrosión atmosférica deletérea sólo puede ocurrir cuando las microceldas están operando, esto es, en la presencia de un electrolito, lo cual significa que la corrosión atmosférica únicamente sucede cuando la superficie está húmeda; sin embargo no se ha clarificado cuál es el espesor mínimo de la película de electrolito, requerido para que la celda funcione.

Este tiempo durante el cual la superficie metálica permanece húmeda es lo que se denomina "tiempo de humectación".

El tiempo de humectación varía con las condiciones climáticas en el sitio mismo, es decir con el microclima y tiene que ver con las condiciones psicrométricas del aire, velocidad del viento y composición de la atmósfera.

### **3. Factores que afectan la corrosión atmosférica**

En ausencia de agua que moje la superficie metálica (escapes, lluvia, rocío, etc.), es necesario sobrepasar un mínimo de humedad relativa para que se produzca una corrosión significativa. Este mínimo de humedad o "humedad crítica" es una función compleja de múltiples factores, pero en la generalidad de los casos se sitúa por encima de 60-70% de humedad relativa (HR). Se ha demostrado que en atmósferas puras sólo

se consiguen capas de electrólito sobre la superficie metálica limpia cuando la humedad relativa está cercana a la saturación. En cambio en ambientes contaminados tales capas se consiguen a humedades mucho menores (5). En otras palabras, la tasa de corrosión de un metal depende no solamente de la presencia de agua en la superficie metálica sino también de las características de la película de electrólito que se forma (concentración de contaminantes, espesor de la película, temperatura, etc.). Se comprende entonces, que en los estudios de corrosión atmosférica, entre otros muchos factores, es esencial el conocimiento de las propiedades físicas y químicas de la atmósfera.

### **3.1. Composición química de la atmósfera importante en corrosión.**

#### **3.1.1. Nitrógeno y gases inertes.**

En la mayoría de los casos estos gases se pueden ignorar pues no reaccionan con el metal en condiciones normales. Sólo bajo ciertas circunstancias deben tenerse en cuenta.

#### **3.1.2. Oxígeno y ozono.**

Ciertamente el oxígeno es muy importante por su presión parcial tan elevada y gran reactividad. El ozono es peligroso sobre todo para los elastómeros y otras sustancias orgánicas que se usan como recubrimientos.

#### **3.1.3. Agua.**

Es superfluo hacer más énfasis sobre el papel fundamental del agua en el proceso corrosivo.

#### **3.1.4. Dióxido de carbono.**

No es muy importante en la corrosión atmosférica aunque participa en la formación de productos secundarios en los metales no féreos.

#### **3.1.5. Dióxido de azufre.**

Es un gas extremadamente reactivo y es el principal estimulante de la corrosión por su elevada solubilidad en agua.

#### **3.1.6. Sulfuro de hidrógeno.**

Este contaminante afecta significativamente la corrosión de los metales no féreos, a pesar de su baja concentración en la atmósfera.

#### **3.1.7. Otros gases acidulados.**

Tales como óxido nítrico, cloro, cloruro de hidrógeno, ácido fórmico y acético cuando están presentes (lo cual es raro) pueden ser nocivos.

#### **3.1.8. Sales.**

Los cloruros son componentes químicos sumamente activos, sobre todo en las costas marinas. Otras sales como sulfato o nitrato de amonio pueden presentarse también.

### 3.1.9. Amoníaco.

Las sales de amonio tienen muy baja tensión superficial y promueven la humectación de las superficies metálicas.

### 3.1.10. Material particulado.

Puede ser muy perjudicial según la cantidad y composición al promover la condensación y otros efectos fisicoquímicos.

## 3.2. Propiedades físicas de la atmósfera importantes en corrosión.

### 3.2.1. Temperatura.

Las variaciones de temperatura, que producen cambios en la humedad relativa, son de importancia significativa en la corrosión atmosférica.

### 3.2.2. Presión del aire.

Este parámetro en sí no tiene efecto directo sobre la corrosión atmosférica.

### 3.2.3. Movimiento del aire.

El viento que causa fluctuaciones rápidas de temperatura y humedad y que transporta contaminantes y partículas abrasivas, es un factor fundamental en la corrosión atmosférica.

### 3.2.4. Radiación.

La radiación solar en zonas tropicales puede ser importante por su influjo sobre el tiempo de humectación, al provocar evaporación sobre las superficies metálicas. Sobre los recubrimientos orgánicos tiene un efecto decisivo y afecta además la evolución de los contaminantes atmosféricos por la acción de la luz ultravioleta.

## 3.3. Microclima.

Se concluye que la atmósfera es un ambiente corrosivo desde el punto de vista de las cantidades generales, ya sean meteorológicas o químicas. Pero en unas mismas condiciones dos estructuras pueden corroerse de modo diferente, esto se debe al microclima, que introduce otros factores más específicos. Entre estos están:

- La distancia del objeto a la superficie de la tierra y la naturaleza de esta superficie.
- La masa del objeto metálico.
- La configuración de la estructura.
- La orientación de la estructura.
- La naturaleza y color de las superficies expuestas.

## 4. Tiempo de humectación.

Habiendo hecho referencia a los principales factores que controlan la corrosión atmosférica y sabiendo que ésta es un proceso discontinuo que sólo puede ocurrir cuando

están presentes las capas de electrolito en las cuales se dan las reacciones anódicas y catódicas, la discusión se centrará ahora en el ya definido tiempo de humectación y su relación con la corrosión.

La pérdida total de peso  $M$ , durante un cierto período de exposición es la suma de las pérdidas por corrosión ocurridas durante  $n$  períodos separados de tiempo,  $t_{h,i}$ .

$$M = \sum_i \sum_j t_{h,i} a_{ij} \quad (1)$$

donde  $t_{h,i}$  son los tiempos de humectación correspondientes al intervalo  $i$  de temperatura y al intervalo  $j$  de humedad relativa y  $a_{ij}$  son las tasas de corrosión promedio durante los respectivos períodos (6).

Se colige que uno de los aspectos más importantes de la investigación en corrosión atmosférica, es la determinación experimental de las tasas de corrosión  $a_{ij}$ , el tiempo de humectación  $t_{h,i}$  y la frecuencia de actividad corrosiva  $n$ , durante un período de tiempo dado. Igualmente importante es la definición de los modelos del proceso de corrosión atmosférica que puedan describir la dependencia de  $a_{ij}$ ,  $t_{h,i}$  y  $n$  respecto a los parámetros de corrosión atmosférica y las propiedades de las superficies corroídas.

Por las razones anteriores en los últimos años se ha prestado gran atención a los métodos electroquímicos de medición de la corrosión, ya que estas técnicas tienen la importante ventaja de que el comportamiento de la corrosión atmosférica se puede rastrear continuamente y se pueden establecer correlaciones con los parámetros atmosféricos que se registran en el mismo lugar. Sin embargo los problemas enfrentados por estas técnicas son grandes, pues la corrosión ocurre bajo capas delgadísimas de electrolito que están presentes sólo durante una fracción de tiempo de exposición. Además los productos de corrosión y los contaminantes juegan un papel dominante al determinar el tipo y concentración del electrolito y por tanto a  $t_{h,i}$ .

En este orden de ideas, se comprende que la situación presente en el estudio de los fenómenos de corrosión atmosférica es muy diferente al estudio de la corrosión en un volumen grande de electrolito, donde normalmente se investigan pequeños electrodos limpiados cuidadosamente, inmersos en un electrolito de composición controlada. En cambio para estudiar la corrosión atmosférica con métodos electroquímicos, se requieren técnicas que se puedan usar con capas delgadísimas de electrolito ( $<500\mu_m$ ) y teniendo en cuenta los efectos de los productos de corrosión y de los contaminantes(7).

La ecuación (1) se puede hacer más específica si se tienen en cuenta los contaminantes, al menos los principales: ión cloruro y dióxido de azufre.

$$M = \sum_i \sum_j a^+_{ij} t_{h,i} [Cl^-]_{ij} + \sum_i \sum_j a^-_{ij} t_{h,i} [SO_2]_{ij} \quad (2)$$

Como se verá, en determinadas condiciones de temperatura y humedad relativa la velocidad de corrosión es constante. Sin embargo, debe señalarse que el modelo es limitado, pues no es válido para las etapas iniciales cuando aún la velocidad de corrosión no ha alcanzado un valor estacionario.

La determinación empírica de las velocidades de corrosión ( $a_{ij}$ ) puede efectuarse mediante ensayos simulados en cámaras climáticas o con ensayos de campo. El primer

método plantea muchos problemas prácticos. El segundo es más factible: se hacen ensayos naturales para distintos tiempos de exposición, se miden  $M$ ,  $t_{h,i}$ ,  $[Cl]_i$  y  $[SO_2]_i$ , y se analiza la ecuación (2) mediante regresión lineal para calcular las velocidades de corrosión  $a_i$ .

## 5. Medición del tiempo de humectación y de la tasa instantánea de corrosión.

Se han hecho muchos intentos para determinar y seguir los cambios de  $t_h$  y establecer correlaciones entre  $t_h$  y los parámetros atmosféricos, sin olvidar la naturaleza química de los productos de corrosión y de la superficie metálica, los cuales determinan la humedad crítica relativa por encima de la cual empieza la condensación.

Los primeros intentos de medir  $t_h$  fueron los de Sereda (8) y Tomashov (1).

En la Fig. 1 se muestra el principio del sensor de Sereda.

Una placa de zinc tiene un electrodo de platino pegado a ella pero separado con un aislamiento adhesivo de un espesor de 0.1mm. Hay conexiones eléctricas a los dos metales, cuando la humedad cierra el circuito entre ellos, se tiene una batería que genera alrededor de 1v. Cuando el voltaje es mayor de 0.2v se activa un "timer" para medir el tiempo de humectación. La interfaz platino-zinc es de 53 cm de longitud y los circuitos eléctricos son tales que el flujo es 1/50 A una vez empieza el intervalo de humedad. O sea que el tiempo de humectación se define arbitrariamente como el tiempo durante el cual la diferencia de potencial excede 0.2v. Sereda encontró grandes variaciones en  $t_h$  para distintas ubicaciones y épocas del año (9), el significado de las cuales no se explica completamente. En la mayoría de los casos se han buscado correlaciones entre  $t_h$  y la humedad relativa (HR), pero no directamente con las tasas de corrosión. En 1982, Sereda (10) basado en ensayos llevados a cabo por el comité G01.04 de la ASTM, encontró que no se pueden establecer correlaciones únicas entre  $t_h$  y los parámetros atmosféricos como HR; sin embargo Sereda y sus colaboradores han continuado perfeccionando sus métodos y afirman haber adelantado en este sentido.

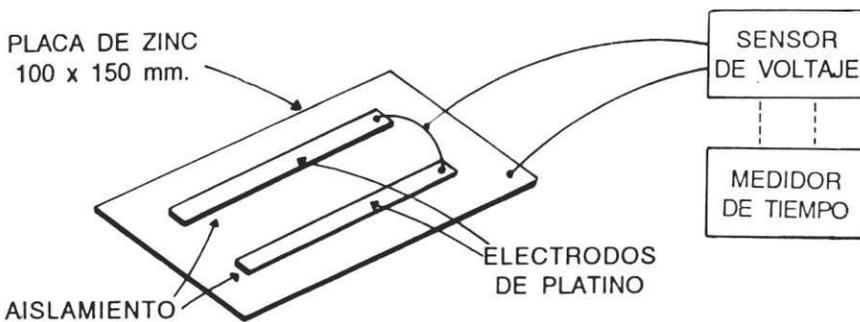


FIGURA 1. Medidor de tiempo de humectación según el principio de Sereda (8).

El otro enfoque para medir  $t_n$ , fue el iniciado por Tomashov (1) quien usó una "batería de corrosión galvánica" usando un galvanómetro sensible o un microamperímetro registrador, en este caso no sólo se medía el tiempo de humectación, sino que por medio de mediciones de corriente se podía calcular la pérdida de peso por corrosión en un determinado período.

Kucera y Mattson (10,11) desarrollaron esta técnica. Estos investigadores usaron dos tipos diferentes de celdas, una galvánica y otra electrolítica. En la fig. 2 se muestra su construcción. Cada celda está constituida por 20 placas (65x10x0.5 mm) que forman una unidad embebida en resina epóxica. Las placas se aíslan unas de otras por medio de láminas de 0.1 mm de espesor hechas de policarbonato o teflón. Las celdas se pulen metalográficamente a fin de que las secciones rectas de las placas queden expuestas. Las dimensiones totales de la celda son 80x25x15 mm, y el área total expuesta por los electrodos es de 6.5 cm<sup>2</sup>, esto para poder usar la celda en espacios restringidos.

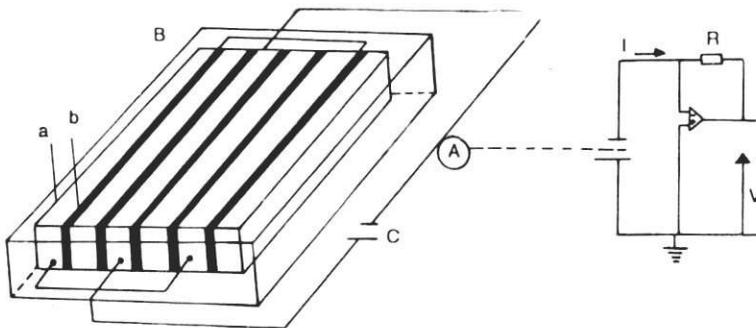


FIGURA 2. Aparato de Kucera y Mattson para medir corrosión atmosférica, (A) amperímetro de resistencia cero, cuyo circuito se muestra a la derecha; (B) celda del tipo electrolítico (a-electrodos, b-aisladores), (C) fuente externa de FEM.

La celda galvánica está constituida por diez placas de acero de 0.07% C y diez placas de cobre, las placas de cada grupo están conectadas en paralelo. La celda electrolítica está constituida por 20 placas del mismo metal sea acero, zinc o cobre. Diez electrodos se conectan a una terminal y los otros diez se conectan en paralelo a otra terminal. Los terminales se conectan a una fuente externa de fuerza electromotriz.

Los ensayos iniciales con los dos tipos de celdas (con una FEM de 100 mv impuesta a la celda electrolítica) mostraron que la corriente, al exponer la celda a diferentes condiciones atmosféricas variaba entre  $10^{-10}$  y  $10^{-3}$  A. Para medir estas corrientes tan bajas se usó un amplificador operacional de resistencia cero y un registrador automático.

Esta misma línea de experimentación ha sido seguida por Mansfeld y sus colaboradores (11,12) usando placas de cobre (OFHC) y acero 43 40 o placas de cobre y placas de zinc (99.9%) separadas con "mylar" de 0.06 mm de espesor. Kucera (13) ha descrito un instrumento que tiene un integrador electrónico y permite encontrar la corriente corrosiva durante un tiempo dado y calcular la tasa de corrosión, así pueden encontrarse relaciones entre las tasas determinadas por pérdida de peso y las medidas en celdas

electrolíticas, esta relación como ya se mencionó es relativamente constante, pero varía para distintos sitios de exposición.

Mansfeld (15,16) ha hecho un excelente resumen de todos los grupos que trabajan con este tipo de aparato, probando la existencia de una relación empírica entre la corriente que fluye a través de la celda y la tasa de corrosión cuando se aplica una diferencia de potencial entre ánodos y cátodos. Esta relación es conocida como factor de la celda FC.

$$FC = M_e/M_r \quad (3)$$

$M_e$  = Pérdida de peso estimada al integrar la corriente en un medidor electroquímico.

$M_r$  = Pérdida real de peso en probetas expuestas simultáneamente.

Este FC es casi constante para un metal dado en determinada ubicación geográfica, pero hasta cierto punto depende del nivel de contaminantes en la atmósfera. Sin embargo la corriente de la celda se correlaciona con los factores climáticos de una manera similar a como lo hace con las tasas de corrosión. Por ejemplo, la agresividad de la atmósfera en el clima tropical húmedo de Cuba se puede calcular aproximadamente teniendo en cuenta la influencia de la salinidad y el  $SO_2$ , y se observa que es inversamente proporcional a la radiación solar (18).

## Conclusión

Es indudable que se han hecho avances en el uso de técnicas electroquímicas para el seguimiento y control de la corrosión en aplicaciones industriales donde los sensores se exponen a situaciones que implican gran volumen. En condiciones de corrosión atmosférica sólo se ha empezado el seguimiento continuo de la tasa de corrosión por estos métodos. En la mayoría de los casos los sensores electroquímicos solamente han determinado pequeñas fracciones de la tasa de corrosión de probetas de metal expuestas en los mismos sitios de ensayo. Es por eso que se necesita mucha más investigación para desarrollar la medición cuantitativa de la tasa de corrosión bajo condiciones de corrosión atmosférica.

En el actual estudio que la Facultad lleva a cabo en la bahía de Cartagena el énfasis es en la medición de la corrosión mediante evaluación cualitativa y pérdida de peso; eventualmente el tiempo de humectación se mediría con sensores de oro-cobre desarrollados en Brasil (19), pero se piensa que la tecnología nuestra está en capacidad de construir sensores similares y mejorados, los cuales serían muy útiles en otros proyectos de investigación que establecerían modelos para predecir el comportamiento en corrosión a largo plazo. Proyectos de esta índole necesariamente serían interdisciplinarios con la inclusión tal vez de ingenieros electrónicos, mecánicos, eléctricos y de sistemas.

## Referencias

1. Tomashov, N.D. Theory of Corrosion and Protection of Metals. McMillan Co, New York, 1966
2. Barton, K. Protection Against Atmospheric Corrosion. John Wiley, New York, 1976
3. Larrabee, C.P. "Mechanisms by which ferrous metals corrode in the atmosphere". Corrosion, vol. 15, p.36, Oct., 1959
4. González, J.A. y J.M./ Bastidas. "Corrosión Atmosférica del Al, Cu y Zn". Rev. Ib. Corr y Protec. vol 13, p.7, Enero-Febrero, 1982
5. González, J.A. et al. : "Electrochemical sensors for atmospheric corrosion rates". British Corrosion Journal. vol 19, p.89, Febr. 1984
6. Pascual, R.D. et al. : "Problemas relacionados con la corrosión atmosférica en función del tiempo de humectación". Rev. Ib. de Corr. y Protec. p.2, Julio-Agosto, 1981.
7. Mikhailovskii, Y.N. et al. "Physicomathematical simulation of steel corrosion under atmospheric conditions". Protection of Metals. vol 13, part. 5, p.429, 1978
8. Sereda, P. J./ ASTM. BULL. No. 246, May., p.47, 1960
9. Sereda, P.J./ "Weather factors affecting Corrosion of Metals". Corrosion in Natural Environments. ASTM STP 558, ASTM, p.1, 1974
10. Sereda, P.J./ et al "Measurement of the time-of-wetness by moisture sensors and their calibration". Atmospheric Corrosion of Metals. ASTM STP 767, ASTM, p.267, 1982
11. Mansfeld, F. and J.V. Kenkel. "Electrochemical monitoring of atmospheric Corrosion Phenomena". Corrosion Science. vol. 16, p. 111, 1976
12. Mansfeld, F. and J.V. Kenkel. "Electrochemical measurements of time-of-wetness and atmospheric corrosion rates". Corrosion. vol 33, p. 13, Jan., 1977
13. Kucera, V. and E. Mattson. "Electrochemical Technique for Determination of the Instantaneous Rate of Atmospheric Corrosion". Corrosion in Natural Environments. ASTM STP 558, p. 239, 1974
14. Kucera, V. and Mattson. "Atmospheric Corrosion - an electrochemical method for determination of the instantaneous rate of atmospheric corrosion". Swedisch Bulding Research Summaries, SI, p.1, 1976
15. Mansfeld, F. "Electrochemical methods for atmospheric corrosion studies". Atmospheric Corrosion. W.H. Ailor (ed.), John Wiley, New York, p. 139, 1982
16. Mansfeld, F. "New Approaches to Atmospheric Corrosion Research using Electrochemical Techniques". Corrosion Processes. John Wiley, p.1, 1982

17. Pascual, R.D. y F.E. Corvo "Sobre la determinación del tiempo de humectación y su relación con la corrosión atmosférica del acero CT-3 en un clima tropical húmedo". Rev. Ib. de Corr y Protec. p. 41, May-Jun., 1980
18. Grossmann P.R. "Investigation of Atmospheric Exposure Factors that determine time -of-wetness of Outdoor Structures". Atmospheric Factors Affecting the Corrosion of Engineering Metals./ ASTM STP 646, ASTM, p.5, 1978
19. Serra, E. e M.J.S. DaSilva. "Apresentacao de un dispositivo de contagem do tempo de superficie humida nos estudos de corrosao atmosferica". Corrosao e Protecao de Materiais. vol. 3, p.115, Abril, 1984
20. Metikos, M. and C.Zernik. "Monitoring atmospheric corrosion with electrochemical methods in laboratory environment" Werkstoffe und Korrosion. vol. 35, p.116, March, 1985
21. Jirovsky, I. et al. "Measuring time of surface wetness to determine atmospheric corrosion". Atmospheric Corrosion. WH. Ailor(ed.) John Wiley, New York, p.69, 1982