

## CALIBRACION DE LA AGRESIVIDAD DE LA ATMOSFERA DEL SUROESTE DE LA CIUDAD DE MEXICO

Juan GENESCA y Carlos RODRIGUEZ

Departamento de Metalurgia, Facultad de Química, UNAM, Ciudad Universitaria, Coyoacán 04510 D.F. México

(Recibido septiembre 1992, aceptado diciembre 1992)

Palabras clave: calibración, corrosividad atmosférica, ensayo CLIMAT

### RESUMEN

Se presentan diferentes metodologías para calibrar la agresividad de una determinada atmósfera desde el punto de vista de la corrosividad. Las técnicas empleadas, ensayo CLIMAT (alambre sobre tornillo), relación entre la corrosión del acero y la del zinc, velocidad de corrosión de probetas metálicas planas de Fe, Zn, Al y Cu después de un año de exposición y datos climatológicos y de contaminación, se han aplicado al caso concreto de la atmósfera de Ciudad Universitaria, en el suroeste de la Ciudad de México, en la cual existe una estación de corrosión atmosférica, encontrándose excelente concordancia entre ellas, lo cual permite calificar a la misma como de agresividad media a baja (rural), cuando por su situación geográfica se había presupuesto que era de naturaleza urbana.

### ABSTRACT

Different test methods have been applied to calibrate the corrosivity of the atmosphere of the University City, in the metropolitan area of Mexico City, in which an atmospheric corrosion station is situated. These techniques namely CLIMAT testing, relation between steel and zinc, the characterization of the atmosphere in relation to its aggressivity (time of wetness, and SO<sub>2</sub> and NaCl pollution levels) and the determination of the corrosivity categorie comparing it with corrosion measurements on standard specimens have shown that the corrosivity of the atmosphere of the University City is medium to low, even though its geographic situation had been classified as urban.

---

### INTRODUCCION

Por lo general, la corrosividad atmosférica se deduce del grado de corrosión experimentado por probetas metálicas expuestas en una atmósfera determinada. El conocimiento de las corrosividades de las atmósferas de un país está siendo objeto en todo el mundo de amplias investigaciones. Varios países han conseguido, o están en camino de ello, confeccionar mapas de corrosividad atmosférica, del mismo modo que desde hace ya muchos años los servicios meteorológicos construyeron sus mapas climáticos.

Es frecuente encontrar en la bibliografía trabajos sobre el comportamiento de metales, aleaciones y recubrimientos protectores en la atmósfera, donde ésta

se califica de una manera un tanto burda. Sin embargo, la clasificación simplista de las atmósferas en rural, urbana, industrial y marina, únicamente por la proximidad al mar o núcleos urbanos o industriales, no da, la mayoría de las veces, una idea ni siquiera aproximada, de la verdadera corrosividad atmosférica.

La importancia de tener clasificadas, en orden a su corrosividad, las distintas atmósferas de un país se justifica sólo con pensar que los datos de corrosividad ayudan en la tarea de seleccionar los materiales metálicos y recubrimientos óptimos para una protección eficaz contra la corrosión.

Llegar al conocimiento exacto de la corrosividad atmosférica, sin ser un problema difícil, no deja de

presentar cierta complejidad, pues no hay que olvidar que en la corrosión de los metales en la atmósfera influyen un gran número de variables. Por citar las más importantes: tiempo de humectación de la superficie metálica, grado de contaminación de la atmósfera, tipo de metal y tiempo de exposición.

A partir de 1989 y dentro del proyecto Mapa Iberoamericano de Corrosividad Atmosférica (MICAT) (Morcillo 1992) en el marco del Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo del V Centenario (CYTED-D), se dispone en México de una serie de estaciones para el estudio de la corrosividad atmosférica: Acapulco, Cuernavaca, Mérida, Sisal, San Luis Potosí y Distrito Federal. Esta última se encuentra ubicada en las instalaciones de la Facultad de Química de la UNAM, en el suroeste de la Ciudad de México, en una situación en la que se le puede asignar una atmósfera del tipo urbano.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos para calibrar la atmósfera que circunda a la estación, basándose para ello en distintos estimadores: ensayo CLIMAT (iniciales de Classification of Industrial and Marine Atmospheres), conocido en castellano como ensayo "alambre sobre tornillo", relación entre la corrosión del hierro y la del zinc y la metodología propuesta por la Organización Internacional de Estandarización (ISO 1992a), en la cual se clasifican las atmósferas de

acuerdo con variables climatológicas y de contaminación por una parte y por otra conforme a los valores de velocidad de corrosión de probetas de Fe, Zn, Al y Cu determinados después de un año de exposición.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Ensayo CLIMAT (alambre sobre tornillo)*

En la figura 1 se observa la forma de las muestras "alambre sobre tornillo". Para la preparación de las mismas, se siguió la metodología descrita en la literatura especializada (Morcillo y Feliu 1977).

Las muestras "alambre sobre tornillo" quedaron expuestas en la azotea del edificio "D" de la Facultad de Química de la UNAM a principios de noviembre de 1989, retirándose las probetas al cabo de tres meses. En la tabla I se presentan los resultados encontrados. El ensayo "alambre sobre tornillo" al favorecer la acumulación de líquidos corrosivos en los resquicios y tener alta relación superficie/masa del alambre, acelera su corrosión, siendo por tanto una herramienta muy valiosa en lo referente a la corrosión galvánica, dentro de la corrosión metálica atmosférica. La corrosión galvánica experimentada por el alambre se calcula por diferencia entre las pérdidas de peso de los alambres enro-

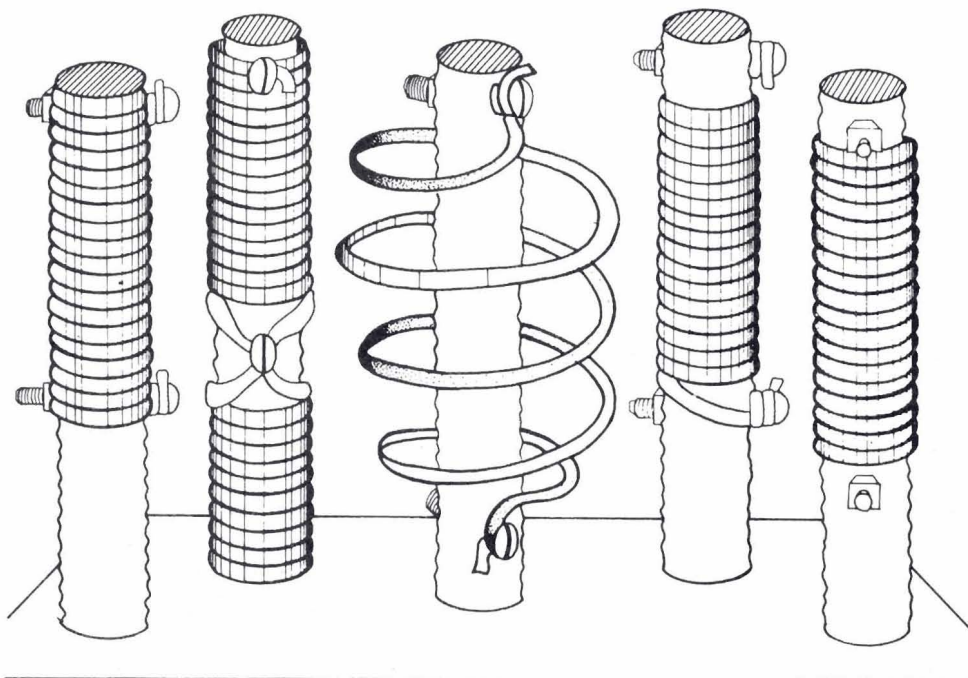


Figura 1. Probetas "alambre sobre tornillo"

TABLA I. PERDIDA DE PESO (%) DEL ALAMBRE EN PROBETAS "ALAMBRE SOBRE TORNILLO" AL CABO DE TRES MESES DE EXPOSICION

Alambre		Aluminio		
Tornillo	Cobre	Hierro	Plástico	Alambre suelto
Cd. Universitaria	0.20	0.67	0.07	0.44
Alambre		Hierro		
Tornillo	Cobre	Plástico	Alambre suelto	
Cd. Universitaria	5.22	4.15	5.72	

llados sobre el tornillo metálico y sobre el plástico. La tabla II, que detalla la corrosión galvánica en las diversas muestras después de tres meses de exposición, ha sido escrita a partir de la tabla I, del modo antes mencionado.

El funcionamiento del par galvánico depende, entre otros factores, de la atmósfera donde se encuentre actuando. Estudios anteriores realizados por Doyle y Godard (1969) han indicado que la probeta Al-Fe es muy sensible a la atmósfera marina y poco a la industrial, mientras que la probeta Al-Cu es sensible a ambos tipos de atmósfera. En el caso de la atmósfera analizada la mayor corrosión ha correspondido al par Fe-Cu.

#### Las probetas de alambre sobre tornillo de plástico y alambre suelto (en espiral)

La compañía ALCAN (Godard 1963) utiliza estos dos tipos de probetas para conocer la corrosividad general de una determinada atmósfera. Se diferencia de las probetas alambre sobre tornillo metálico en que en el par alambre-plástico se ha suprimido el efecto galvánico y en la probeta de alambre suelto queda eliminado, además, el efecto del resquicio. Naturalmente, al no actuar los mismos fenómenos de corrosión sobre

una y otra de estas dos probetas "no galvánicas", las pérdidas de peso pueden variar. A primera vista, sorprende que se corroa algo más, por lo general, el alambre suelto que el firmemente arrollado sobre el tornillo de plástico, aunque este hecho ya fue comprobado por otros investigadores (Morcillo y Feliu 1977). Probablemente sea debido al predominio sobre el efecto del resquicio del factor de apantallamiento de una parte de la superficie del alambre por el propio tornillo.

Resulta interesante ensayar la representación pérdida de peso del alambre de aluminio sobre tornillo de acero frente a la pérdida de peso del mismo alambre sobre tornillo de cobre, con los datos disponibles referentes a otros países (Morcillo y Feliu 1977). En la figura 2 se observa que los puntos correspondientes a las atmósferas marinas se sitúan cerca de una hipotética línea recta, en tanto que los puntos relativos a las atmósferas industriales quedan colocados encima de dicha línea, de la que se apartan tanto más cuanto mayor sea el componente industrial. Los puntos correspondientes a las atmósferas rurales y urbanas se agrupan en la proximidad del origen de coordenadas.

En dicha representación, la estación de Ciudad Universitaria ocupa un lugar característico de una atmósfera rural.

TABLA II. CORROSION GALVANICA EN DIFERENTES PARES BIMETALICOS AL CABO DE TRES MESES DE EXPOSICION (DIFERENCIA ENTRE LAS PERDIDAS DE PESO, EN TANTO POR CIENTO, DEL ALAMBRE ENROLLADO SOBRE EL TORNILLO METALICO Y SOBRE EL TORNILLO DE PLASTICO)

Estación	Al-Cu	Al-Fe	Fe-Cu
Cd. Universitaria	0.13	0.60	1.07

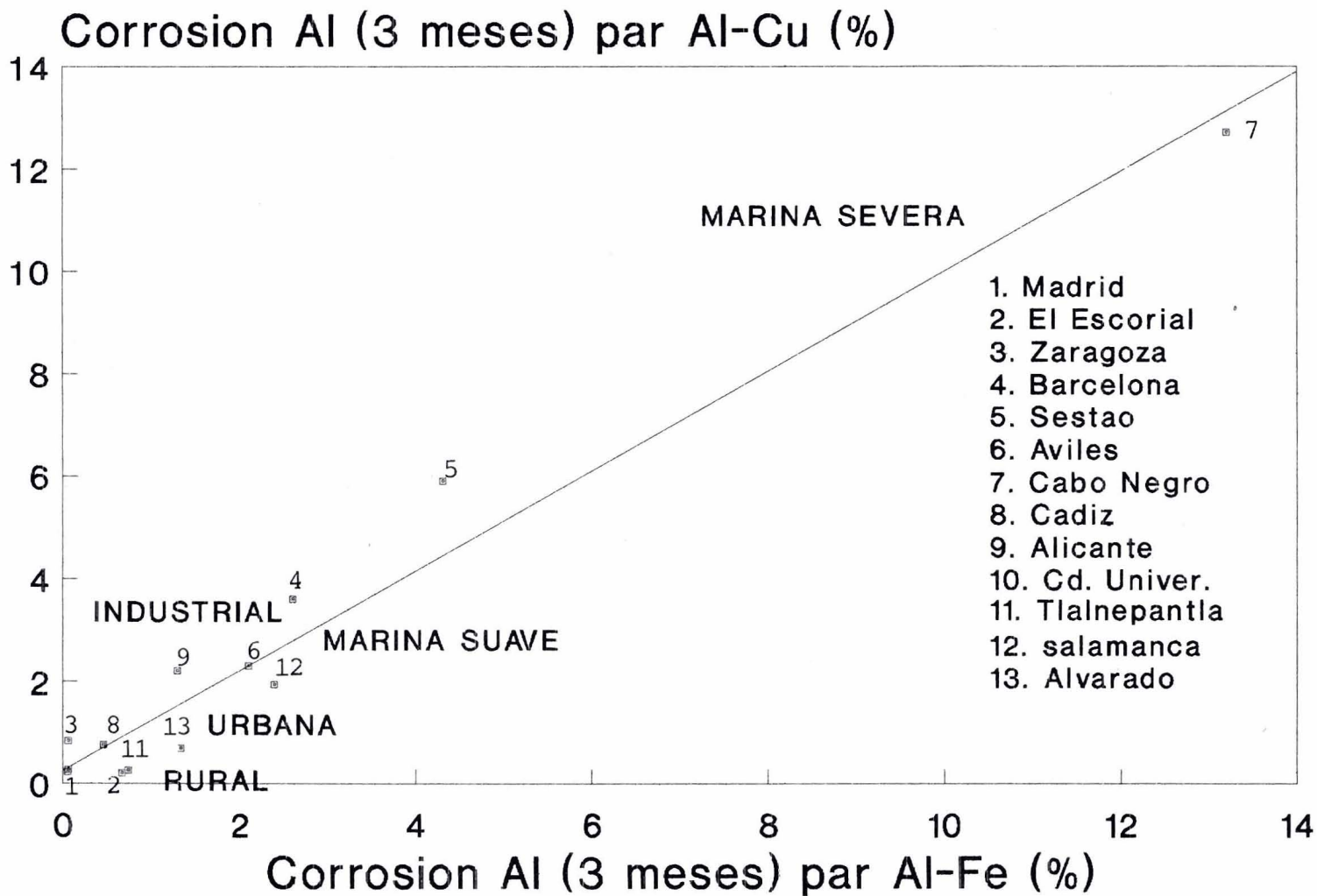


Figura 2. Clasificación de la atmósfera en función de la corrosión de alambre de Al

## RELACION ENTRE LA CORROSION DEL ACERO Y LA DEL ZINC

Varios investigadores (Mohler 1974, Feliu y Morcillo 1975) han utilizado la relación existente entre la corrosión que experimenta el acero y el zinc para la calibración de las atmósferas.

Es interesante observar cómo se sitúan las estaciones de ensayo en una representación doble logarítmica de las corrosiones experimentadas por el hierro frente a las del zinc. Tomando los valores reportados por Morcillo y Feliu (1977) para diferentes estaciones españolas, se puede comprobar que la mayoría de los puntos relativos a las estaciones de ambiente industrial y urbano se distribuyen, sin mucha dispersión, a lo largo de una línea recta (Fig. 3). Las atmósferas clasificadas como eminentemente marinas acostumbra tener sus puntos bastante por encima de aquella línea y las rurales por debajo.

Introduciendo en esta gráfica los datos de la estación de Ciudad Universitaria, tomados de la tabla X, se puede comprobar que la atmósfera correspondiente sería de tipo rural (Fig. 3).

## CARACTERIZACION DE LA ATMOSFERA CON RELACION A SU AGRESIVIDAD

Para propósitos prácticos se toman como factores claves de la corrosión producida por la atmósfera los siguientes: el tiempo de humectación y los niveles de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NaCl}$  (ISO 1992a).

Como una estimación del tiempo de humectación calculado ( $\tau$ ) de una superficie que se corroe, se consideran aquellos periodos en que la humedad relativa (HR) es mayor de 80% y la temperatura superior a los  $0^\circ\text{C}$  (ISO 1992a). Este tiempo de humectación calculado de esta manera, no corresponde necesariamente al tiempo de humectación real, ya que la humectación (mojado) está influenciada por el tipo de metal, forma, peso y orientación del objeto, cantidad de productos de corrosión, naturaleza, así como del tipo de contaminantes, amén de otros factores. Estas consideraciones pueden aumentar o disminuir el tiempo de humectación real. Sin embargo, el criterio propuesto es, por lo general, suficientemente preciso para la caracterización de las atmósferas. Hay que tener en cuenta que la fiabilidad del tiempo de humectación calculado, disminuye con el grado de abrigo de la superficie metálica.

El tiempo de humectación determinado experimentalmente se obtiene por varios sistemas de medida. El tiempo medio puede depender además, del tipo de instrumento o sensor utilizado. Asimismo, los tiempos de humectación indicados por diferentes sistemas de medida no son comparables directamente y son convertibles sólo dentro de unos límites caracterizados por el binomio temperatura-humedad.

Cabe hacer notar las siguientes observaciones:

i) el factor más importante dentro de una categoría particular de tiempo de humectación es el nivel de contaminación por  $\text{SO}_2$  ó  $\text{NaCl}$  y que,

ii) existe otro tipo de contaminantes que pueden ejercer un efecto agresivo:  $\text{NO}_x$ , humos industriales en zonas industriales,  $\text{CaCl}_2$  y  $\text{MgCl}_2$  en las regiones marítimas o bien la presencia de contaminantes específicos de un determinado microclima:  $\text{Cl}_2$ , ácidos orgánicos, medios para lograr el deshielo, etc. Estos tipos de contaminación no se toman en cuenta como criterio de clasificación (ISO 1992a).

### *Clasificación del tiempo de humectación*

El tiempo de humectación depende, como se ha visto, de la zona macroclimática y del tipo de localización.

La clasificación propuesta por la ISO (1992a) para la atmósfera se presenta en la tabla III. Los valores clasificados están basados en características de larga duración de zonas macroclimáticas, para condiciones típicas de las categorías o tipos de localización.

### *Clasificación de las categorías de contaminación*

Las categorías que se consideran están definidas para la contaminación de la atmósfera por  $\text{SO}_2$  y aerosoles de agua de mar (ISO 1992a). Estos dos tipos de contaminantes son representativos de atmósferas tales como: rural, urbana, industrial y marina. Los otros tipos de contaminantes se consideran añadidos (por ejemplo,  $\text{NO}_x$  en atmósferas urbanas e industriales). La clasificación de la contaminación debida al  $\text{SO}_2$  para atmósferas exteriores estándar, se presenta en la tabla IV.

La clasificación de la contaminación por pulverizaciones o aerosoles salinos que se propone en la tabla V

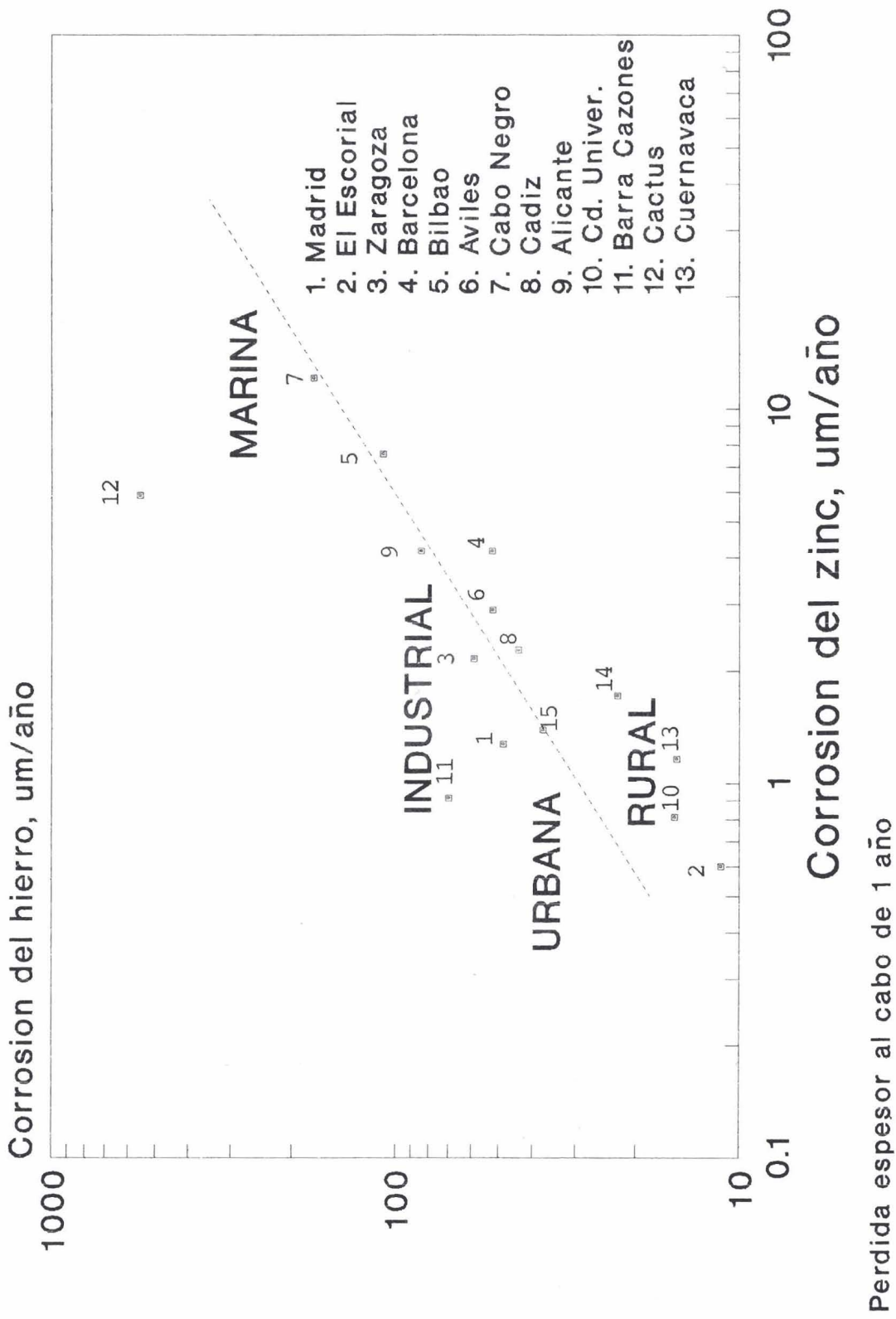


Figura 3. Clasificación de la atmósfera en función de la corrosión de probetas planas de acero y zinc

TABLA III. CLASIFICACION DEL TIEMPO DE HUMECTACION DE SUPERFICIES METALICAS QUE SE CORROEN

Categoría	Tiempo de humectación		Ejemplo
	horas/año	%año	
$\tau_1$	<10	<0.1	Atmósfera interior climatizada
$\tau_2$	10 — 250	0.1 — 3	Atmósfera interna, excepto espacios interiores no-ai-rados
$\tau_3$	250 — 2500	3 — 30	Atmósfera exterior en regiones secas o muy frías
$\tau_4$	2500 — 5500	30 — 60	Atmósferas exteriores en todas las zonas, excepto la tropical seca y las frías
$\tau_5$	>5500	>60	Lugares no ventilados en regiones muy húmedas

Observaciones:

- i. para tiempos de humectación  $\tau_1$  no se espera condensación. Para  $\tau_2$  la probabilidad de formación de líquido en la superficie metálica es baja. Los tiempos de humectación  $\tau_3 - \tau_5$  incluyen periodos de condensación y precipitación.
- ii. El tiempo de humectación de un determinado lugar depende del complejo temperatura — humedad de la atmósfera externa.
- iii. En atmósferas internas sin aire acondicionado, el control de la humedad mediante fuentes de vapor, permite tener tiempos de humectación en el intervalo  $\tau_3 - \tau_4$ .
- iv. Para tiempos de humectación  $\tau_1$  y  $\tau_2$  la corrosión procede de acuerdo a las leyes de probabilidad. La probabilidad de corrosión es mayor en las superficies en las cuales pueda depositarse suciedad.
- v. Los efectos de la corrosión en atmósferas con tiempos de humectación  $\tau_3 - \tau_5$  tienen lugar desde el primer día de exposición (si no existe un tiempo de inducción) y procede de una manera continua. El nivel y tipo de contaminante son los factores cinéticos decisivos.

representada por el nivel de NaCl, tiene que ver con atmósferas exteriores en ambientes marinos. La situación geográfica y las condiciones climáticas pueden cambiar la distancia afectada por la salinidad tierra adentro.

Categorías de la corrosividad de la atmósfera

Para efectos prácticos, la corrosividad de la atmósfera se divide en cinco categorías, como se indica en la tabla VI (ISO 1992a).

TABLA IV. CLASIFICACION DE LA CONTAMINACION POR SUSTANCIAS SULFUROSAS REPRESENTADAS POR EL NIVEL DE SO<sub>2</sub>

Velocidad de deposición SO <sub>2</sub> mg/m <sup>2</sup> día	Concentración SO <sub>2</sub> mg/m <sup>3</sup> ó ppm	Categoría
<10	<0.012	P <sub>0</sub>
>10 — 35	0.012 — 0.04	P <sub>1</sub>
>35 — 80	0.04 — 0.09	P <sub>2</sub>
>80 — 200	0.09 — 0.25	P <sub>3</sub>

Observaciones:

- i. Las cantidades de SO<sub>2</sub> determinadas por deposición, P<sub>d</sub>, ó volumétricamente, P<sub>c</sub>, son equivalentes a efectos de clasificación. La relación entre ambas magnitudes puede formularse aproximadamente como:

$$P_c = P_d * 0.8$$

- ii. La velocidad de deposición de SO<sub>2</sub> y la concentración representan un promedio anual.
- iii. Cualquier concentración inferior a P<sub>0</sub> se considera no importante desde el punto de vista de la corrosión.
- iv. Una contaminación por encima de P<sub>3</sub> se considera extrema y es típica de determinados microclimas.

TABLA V. CLASIFICACION DE LA CONTAMINACION POR AEROSOLES SALINOS REPRESENTADOS POR EL NaCl

<i>Velocidad deposición NaCl, mg/m<sup>2</sup> día</i>	<i>Categoría</i>
<5	S <sub>0</sub>
5 — 100	S <sub>1</sub>
100 — 500	S <sub>2</sub>
500 — 1500	S <sub>3</sub>

Observaciones:

- i. La clasificación anterior está basada en la determinación de la velocidad de deposición de cloruros por el método de la candela húmeda.
- ii. Los resultados obtenidos por la aplicación de diferentes métodos para la determinación del contenido salino de la atmósfera no son siempre directamente comparables ni convertibles.
- iii. La porción más significativa de la contaminación es la causada por el NaCl, siendo la restante debida a MgCl<sub>2</sub>, KCl y otros constituyentes del agua de mar.
- iv. La concentración de NaCl está expresada como promedio anual.
- v. Las velocidades de deposición inferiores a S<sub>0</sub> se consideran como no importantes para el ataque corrosivo.
- vi. Grados de contaminación por encima de S<sub>3</sub> se consideran extremos.
- vii. Los aerosoles salinos dependen fuertemente de las variables que influyen en el transporte de las partículas salinas tierra adentro, tales como: dirección del viento, velocidad, topografía local, etc. La situación geográfica y las condiciones climáticas pueden cambiar la distancia afectada por la salinidad tierra adentro.

TABLA VI. CATEGORIAS DE LA CORROSIVIDAD DE LA ATMOSFERA

<i>Categoría</i>	<i>Corrosividad</i>
1	Muy baja
2	Baja
3	Media
4	Alta
5	Muy alta

*Determinación de las categorías de corrosividad para las mediciones de velocidad de corrosión en probetas metálicas*

En la tabla VII se muestran los valores numéricos correspondientes a la velocidad de corrosión del primer año de exposición para cada una de las categorías antes mencionadas (ISO 1992a). Los valores señalados no pueden extrapolarse para realizar predicciones de larga duración.

*Determinación de la categoría de corrosividad de una atmósfera a partir de datos del ambiente*

Las diferentes categorías de corrosividad concuerdan con los efectos progresivos de la contaminación y el tiempo de humectación (ISO 1992a). A medida que se eleva la corrosividad de la atmósfera, aumenta, por lo general, la velocidad de corrosión de los metales. En la tabla VIII se representa dicha clasificación.

Uno de los factores que determina primariamente la intensidad del fenómeno corrosivo en la atmósfera es la composición química de la misma. El SO<sub>2</sub> y el NaCl son los agentes corrosivos más comunes. El NaCl se incorpora a la atmósfera desde el mar, mientras que lejos de éste, la contaminación atmosférica depende de la presencia de industrias y núcleos de población, siendo el contaminante principal por su frecuencia e incidencia sobre el proceso corrosivo el SO<sub>2</sub>, proveniente del quemado de combustibles sólidos y líquidos que contienen azufre.

La exposición de probetas metálicas a la atmósfera con objeto de evaluar tanto la velocidad como el tipo de corrosión, debe ir acompañada de la estimación de la cantidad de SO<sub>2</sub> que incide sobre su superficie. Esta determinación debe ser sencilla y fiable, para lo cual y dentro del proyecto MICAT se ha seleccionado el método de los platos de sulfatación con PbO<sub>2</sub> (ASTM 1991).

Los platos de sulfatación se preparan mezclando PbO<sub>2</sub>, goma de tragacanto, papel de filtro y agua destilada, vaciando la mezcla formada en cápsulas Petri de poliestireno, dejándola secar en una estufa hasta obtener una pasta. Los platos así preparados se exponen a la atmósfera en plazos de 30 días.

El análisis consiste en una turbidimetría, transformando los iones sulfato en sulfato de bario mediante cloruro bórico.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Se ha determinado la velocidad de depósito de SO<sub>2</sub> por el método de los platos de sulfatación durante doce meses (noviembre 1989 a noviembre 1990) con una periodicidad mensual, en la estación de ensayo de corrosión atmosférica de Ciudad Universitaria, situada en la Facultad de Química, Edificio D, encontrándose un valor promedio para el periodo estudiado de:

$$20.08 \text{ mg/m}^2 \times \text{día}$$



TABLA VII. PERDIDAS POR CORROSION PARA EL PRIMER AÑO DE EXPOSICION PARA LAS DIFERENTES CATEGORIAS DE CORROSIVIDAD

Categoría	Pérdida de peso				Profundidad PIC. $\mu\text{m}$
	ACERO	ZINC	COBRE	ALUMINIO	
1. $\text{g}/\text{m}^2$	1-10	<0.7	<0.9	desprec.	_____
$\mu\text{m}$	0.15-1.25	<0.1	<0.1	desprec.	_____
2. $\text{g}/\text{m}^2$	10-200	0.7-5	0.9-5	<0.6	
$\mu\text{m}$	1.25-25	0.1-0.7	0.1-0.6	<0.25	20
3. $\text{g}/\text{m}^2$	200-400	5-15	5-12	0.6-2	
$\mu\text{m}$	25-50	0.7-12	0.6-1.3	0.25-0.8	50
4. $\text{g}/\text{m}^2$	400-650	15-30	12-25	2-5	
$\mu\text{m}$	50-80	1.2-4.2	1.3-2.8	0.8-2	50-150
5. $\text{g}/\text{m}^2$	>650	>30	>25	>5	
$\mu\text{m}$	>80	>4.2	>4.2	>2.8	>150

Observaciones:

i. El criterio de clasificación propuesto, está basado en probetas rectangulares planas.

Dentro de la clasificación establecida por la ISO (1992a), relativa a la agresividad de las atmósferas, el valor anterior está dentro de la categoría  $P_1$  (Tabla IV), lo cual junto al tiempo de humectación característico de la zona,  $\tau_3 - \tau_4$  (Genesca *et al.* 1988) Tabla III), configuran una atmósfera con características de corrosividad baja a media (Tablas VI y VIII) estableciéndose para los cuatro metales estudiados la siguiente categoría, de acuerdo con la tabla VII:

metal	categoría
Fe	2
Zn	3
Cu	3
Al	3

Durante el mismo periodo de tiempo, se han expuesto probetas metálicas de Fe, Zn, Al y Cu en la estación de Ciudad Universitaria, de acuerdo con la metodología señalada por la ISO (1992b).

Los resultados encontrados después de la exposición de las probetas durante un año se presentan en la tabla IX y de acuerdo con la tabla VII, les corresponde la categoría señalada. Como se nota existe una muy buena concordancia y si acaso puede decirse que la predicción de la agresividad de la atmósfera a partir de los

parámetros tiempo de humectación y contaminación por  $\text{SO}_2$  es ligeramente por exceso para el caso del Cu y del Al.

## CONCLUSION

La calibración de la agresividad de la atmósfera propia de Ciudad Universitaria, en la Ciudad de México, efectuada durante el periodo comprendido entre noviembre de 1989 y noviembre de 1990, realizada por diferentes métodos, ensayo "alambre sobre tornillo", relación entre la corrosión del acero y la del zinc, predicción basada en parámetros climatológicos y de contaminación y estimación fundamentada en la velocidad de corrosión experimentada por probetas metálicas expuestas directamente a la atmósfera durante 1 año, ha dado lugar a que la misma debe considerarse como rural y de corrosividad baja a media, encontrándose una buena concordancia entre todos los métodos.

## RECONOCIMIENTOS

El presente trabajo se incluye dentro de las acciones realizadas por el Grupo Mexicano de Corrosión Atmosférica en el proyecto Mapa Iberoamericano de Corrosividad Atmosférica (MICAT) en el marco del Programa de Ciencia y Tecnología para el desarrollo del V Centenario (CYTED — D). Las IQM Lina Martínez y Patricia Hernández tuvieron a su cargo la preparación y el análisis de las probetas "alambre sobre tornillo".

TABLA VIII. ESTIMACION DE LA CORROSIVIDAD DE LA ATMOSFERA POR CATEGORIAS

			P <sub>0</sub> -P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
Acero al carbón	$\tau_1$	S <sub>0</sub> -S <sub>1</sub>	1	1	1-3
		S <sub>2</sub>	1	1	1-2
		S <sub>3</sub>	1-2	1-2	2
	$\tau_2$	S <sub>0</sub> -S <sub>1</sub>	1	1-2	2
		S <sub>2</sub>	2	3-4	3
		S <sub>3</sub>	3-4	3-4	4
	$\tau_3$	S <sub>0</sub> -S <sub>1</sub>	2-3	3-4	4
		S <sub>2</sub>	3-4	3-4	4-5
		S <sub>3</sub>	4	4-5	5
	$\tau_4$	S <sub>0</sub> -S <sub>1</sub>	3	4	5
		S <sub>2</sub>	4	4	5
		S <sub>3</sub>	5	5	5
	$\tau_5$	S <sub>0</sub> -S <sub>1</sub>	4	5	5
		S <sub>2</sub>	5	5	5
		S <sub>3</sub>	5	5	5
Cinc y cobre	$\tau_1$	S <sub>0</sub> -S <sub>1</sub>	1	1	1
		S <sub>2</sub>	1	1	1-2
		S <sub>3</sub>	1	1-2	2
	$\tau_2$	S <sub>0</sub> -S <sub>1</sub>	1	1-2	2
		S <sub>2</sub>	1-2	2	2
		S <sub>3</sub>	3	3	3-4
	$\tau_3$	S <sub>0</sub> -S <sub>1</sub>	3	3	3
		S <sub>2</sub>	3	3-4	3-4
		S <sub>3</sub>	3-4	4	4
	$\tau_4$	S <sub>0</sub> -S <sub>1</sub>	3	3-4	4-5
		S <sub>2</sub>	4	4	5
		S <sub>3</sub>	5	5	5
	$\tau_5$	S <sub>0</sub> -S <sub>1</sub>	4	5	5
		S <sub>2</sub>	5	5	5
		S <sub>3</sub>	5	5	5
Aluminio	$\tau_1$	S <sub>0</sub>	1	1	1
		S <sub>1</sub>	1	1	1
		S <sub>2</sub>	2	2	2-3
	$\tau_2$	S <sub>3</sub>	2	2-3	3
		S <sub>0</sub>	1	1-2	2
		S <sub>1</sub>	1	1-2	3-4
	$\tau_3$	S <sub>2</sub>	2-3	3-4	4
		S <sub>3</sub>	4	4	4
		S <sub>0</sub>	3	3	3
	$\tau_4$	S <sub>1</sub>	3	3	4
		S <sub>2</sub>	3-4	4	4
		S <sub>3</sub>	4	4-5	5
	$\tau_5$	S <sub>0</sub>	3	3-4	4-5
		S <sub>1</sub>	3-4	4	5
		S <sub>2</sub>	3-4	4	5
	S <sub>3</sub>	5	5	5	
	S <sub>0</sub>	4	4	5	
	S <sub>1</sub>	5	5	5	
	S <sub>2</sub>	5	5	5	
	S <sub>3</sub>	5	5	5	

TABLA IX. VELOCIDAD DE CORROSION DE PROBETAS METALICAS PLANAS DURANTE EL PERIODO NOVIEMBRE 1989-NOVIEMBRE 1990

Metal	Velocidad corrosión, micrómetros	Categoría
Fe	15.404	2
Zn	0.8105	3
Cu	0.4842	2
Al	0.1563	2

## REFERENCIAS

- ASTM (American Society for Testing Materials) (1991). Standard practice for monitoring atmospheric SO<sub>2</sub> using the sulfation plate technique. Filadelfia, Vol. 03.02, pp. 362-366. G 91-86.
- Doyle D.P. y Godard H.P. (1969). Rapid determination of corrosivity of an atmosphere to aluminium. Proceedings of the Third International Congress on Metallic Corrosion. MIR Publishers, Moscú, Vol. 4, pp. 429-437.
- Feliu S. y Morcillo M. (1975). Estudio de la corrosión del acero dulce, cinc y cobre en la atmósfera de Madrid. Rev. Metal. Madrid 11, 159-170.
- Genesca J., Avila J., Feliu S. y Morcillo M. (1988). Corrosión atmosférica. I. Agresividad potencial de la atmósfera en ausencia de contaminantes. Rev. Latinoam. Met. Mater. 8, 52-62.
- Godard H.P. (1963). Galvanic corrosion behavior of aluminium in the atmosphere. Mater. Prot. 2, 38-43.
- ISO (International Organization for Standardization) (1992a). Corrosion of metals and alloys. Classification of corrosivity categories of atmospheres. Ginebra, Suiza. 9223.
- ISO (International Organization for Standardization) (1992b). Corrosion of metals and alloys. Corrosivity of atmospheres. Methods of determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity. Ginebra, Suiza. 9226.
- Mohler J.B. (1974). Corrosivity of the atmosphere. Plating 61, 62-65.
- Morcillo M. y Feliu S. (1977). Análisis de la corrosividad atmosférica en España mediante probetas "alambre sobre tornillo". Rev. Metal. Madrid 13, 212-221.
- Morcillo M. (1992). Mapa iberoamericano de corrosividad atmosférica (MICAT). Primeros resultados. Rev. Iber. Corros. Prot. 23, 79-84.