

# Valoración de la influencia de la concentración de los compuestos gaseosos del nitrógeno y el azufre sobre la corrosión atmosférica

**Autores:** OSVALDO CUESTA SANTOS, ROBERTO LABRADOR MONTERO, NORMA BETANCOURT GARCÍA\*, FRANCISCO CORVO PÉREZ\*, MARÍA GONZÁLEZ GONZÁLEZ, ARNALDO COLLAZO ARANDA, ANTONIO WALLO VÁZQUEZ, PEDRO SÁNCHEZ NAVARRO, AYSÁ ARRIBA GONZÁLEZ, GILDA ANANÍAS DELGADO.

Centro de Contaminación y Química de la Atmósfera. Instituto de Meteorología. E-mail: ocuesta@met.inf.cu

## Resumen

*La influencia de los contaminantes atmosféricos por lo general aumentan la actividad corrosiva de la atmósfera. En nuestro estudio el Monóxido de Nitrógeno actúa de forma positiva sobre la corrosión del Acero, mientras que el Amoníaco actúa como inhibidor de la corrosión. Ambos resultados se registran en Cuba por primera vez.*

**Palabras claves:** Óxidos de nitrógeno, contaminación atmosférica, corrosión atmosférica, óxidos de azufre

## 1. Introducción

La corrosión es un proceso que causa daños a los materiales por reacciones químicas o electroquímicas con el medio que los rodea. La deposición de contaminantes acidificantes sobre los materiales, frecuentemente incrementa dramáticamente las tasas de deterioro. Muchos tipos diferentes de materiales son afectados; entre ellos, los metales, las superficies pintadas, las rocas calcáreas, yeso, polímeros y papeles. La acidificación del suelo y de las aguas conlleva a aumentos en la corrosión de instalaciones soterradas y tuberías y pueden incluso afectar a las fuentes de agua potable. El análisis de los costos de los daños producidos por la contaminación atmosférica ha demostrado que éstos son comparables con los costos de reducciones de emisiones, por lo que de realizarse habría un ahorro sustancial.

En estudios sistemáticos se ha demostrado que la contaminación por los compuestos de azufre, especialmente el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), tienen un efecto de aceleración en los procesos que degradan a muchos materiales. Estudios más recientes han demostrado la importancia de otros contaminantes tales como el O<sub>3</sub>, dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y los ácidos orgánicos.

La deposición húmeda incluye el transporte de contaminantes acidificantes al objeto a través de la precipitación. A largo plazo y dependiendo de los materiales, el efecto de la precipitación puede ser beneficioso o negativo; en el primer caso por el lavado de la superficie y en el segundo por los efectos de aceleración de la corrosión. (Kucera y Fitz, 1995).

En el presente estudio se valora los efectos de algunos compuestos contaminantes de la atmósfera sobre la corrosión de metales en dos puntos de mediciones con características diferentes. La Estación Casablanca, con influencia antropica directa (nivel de impacto) y la Estación La Palma (rural) que responde al nivel regional de la contaminación. Para este estudio fue necesario realizar una compleja fase experimental durante el periodo de 1998 al 2000, para obtener las muestras de corrosión sobre los metales y los valores experimentales de los contaminantes estudiados. De manera general este resultado profundiza los conocimientos existentes sobre la corrosión y la contaminación atmosférica en la zona tropical húmeda del Caribe.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1 Descripción de las zonas estudiadas

Los procesos de contaminación característicos de cada contexto geográfico difieren substancialmente en sus manifestaciones. Esto está condicionado en lo fundamental por el carácter de los procesos de emisión predominantes, la influencia de determinados factores meteorológicos y las características del relieve.

En la Tabla 1 aparecen las características principales de las Estaciones de la Red de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica del Centro de Contaminación y Química Atmosférica (CECONT), del Instituto de Meteorología, en las cuales se realiza el muestreo sistemático de los principales compuestos gaseosos de Nitrógeno y el Azufre, así como los ensayos de corrosión de los metales, cuya información es la base para la elaboración del presente trabajo.

**Tabla 1. Características principales de las estaciones participantes en el muestreo de los principales compuestos gaseosos del nitrógeno y el azufre.**

<b>ESTACION</b>	<b>LAT.</b>	<b>LONG.</b>	<b>ALTURA (MSNM)</b>	<b>TIPO DE ESTACION</b>	<b>DIST. A LA COSTA (Km)</b>	<b>pH DEL SUELO</b>	<b>VIENTO PREDOM.</b>
<b>La Palma</b>	22°46'	83°33'	47,4	Rural	6,0	5,1	NE
<b>Casablanca</b>	23°10'	82°21'	50,1	Costera influencia industrial y urbana	1,5	5,6-6,0	NE

El contexto geográfico donde se inserta la estación de monitoreo de la contaminación atmosférica en La Palma, es una zona rural con predominio de extensos pinares, sobre todo en los sectores sur y oeste, además del cultivo de la caña de azúcar y otros cultivos menores. Situada a 6 Km de la costa norte aproximadamente, el terreno va cambiando desde llano y bajo en la costa, hasta ligeramente ondulado en las inmediaciones de la estación. La estación de monitoreo se localiza a 3 Km. al este del pueblo que le da nombre, y la zona cuenta con una sola fuente fija de emisión potente, un central azucarero, cuyas expulsiones por razones de ubicación, no afectan directamente el área de la estación.

La estación de monitoreo de Casablanca se encuentra en el lado Este de la cuenca de la bahía habanera. El relieve en las vertientes oriental y occidental de la misma presenta diferencias notables.

Hacia el Este aparece una elevación del terreno en la que destacan las alturas de La Cabaña, Cojímar y Bacuranao, con una altura de hasta 60 m. y cimas aplanadas, mientras que el territorio de la parte occidental constituye una planicie baja extendida en un plano ascendente desde la bahía hacia El Vedado, con la loma del Príncipe como mayor altura.

Hacia el sur se manifiesta también un ascenso del relieve hacia las zonas de Luyanó y La Víbora, coincidiendo en esta región, los municipios más densamente poblados y la mayor concentración de industrias de la ciudad. De esta localidad puede decirse por tanto, que es costera con moderada influencia industrial y urbana.

## 2.2 Información meteorológica y climática

La información meteorológica de las variables temperatura seca, rapidez del viento, humedad relativa, cantidad de lluvia caída y otras se obtuvo del Centro del Clima, consultando los libros de registro diario de las observaciones meteorológicas en cada una de las estaciones estudiadas en los días, meses y años de interés.

## 2.3 Métodos de muestreo y análisis de los gases contaminantes de nitrógeno y azufre.

Para elaborar el presente trabajo se tomaron los datos validados del Laboratorio Central del Centro de Contaminación y Química Atmosférica (CECONT) del Instituto de Meteorología, el cual se guía en lo fundamental por las metodologías recomendadas por la Organización Meteorológica Mundial para el muestreo y análisis químico de estos compuestos a escala regional. También se toman en cuenta las normas cubanas para la toma de las muestras (NC 93-02-203:1986; NC 93-02-102:1987) y las indicadas por instituciones internacionales (Martínez y Romeu, 1997). El experimento fue realizado entre Agosto de 1998 y Mayo del 2000.

La captación de los Oxidos de Nitrógeno ( $\text{NO}_2 + \text{NO}$ ) y  $\text{SO}_2$  se realizó utilizando el procedimiento de los tubos de absorción, donde los elementos muestreados se obtuvieron del aire mediante una columna de gránulos de vidrio impregnados en una solución absorbadora (Volberg, 1982; WMO, 1988). Para el caso de los  $\text{NO}_x$ , la solución absorbadora es de Yoduro de Potasio, mientras que para el  $\text{SO}_2$  es de Tetracloromercuriato de sodio. Para ambas especies se utilizaron como portadores, los tubos de absorción CT- 112 y CT 212 respectivamente.

Otro compuesto del Nitrógeno evaluado en este estudio es el amoniaco ( $\text{NH}_3$ ). Este fue muestreado utilizando el método del frasco burbujeador, en el cual se hace pasar un flujo de aire a través una solución de ácido sulfúrico contenida en dicho frasco.

Para las determinaciones de la concentración de cada gas contaminante se emplearon métodos espectrofotométricos.

## 2.4 Métodos de muestreo y análisis en los ensayos de corrosión.

Los ensayos de corrosión fueron realizados por el Departamento de Corrosión del Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC), los cuales desde

la década del 80 se encuentran realizando estudios referidos al tema de la corrosión de los metales en varias zonas del territorio nacional.

Los materiales metálicos utilizados para la evaluación de la corrosión fueron acero de bajo carbono AISI 1020, cobre técnicamente puro y una aleación de Aluminio (2024). Se utilizaron muestras de 10cm x 15cm x 1mm colocadas en soportes metálicos a 45° de inclinación y de frente al sur. Para soportar las muestras se utilizaron aislantes de material inerte con respecto a la corrosión. Las probetas fueron expuestas para períodos de 1, 3, 6 y 12 meses. Antes de su exposición a la atmósfera, las probetas fueron lavadas con detergente, decapadas en las soluciones correspondientes de acuerdo al tipo de material y pesadas con una precisión de  $\pm 0.1$  mg.

Todos los ensayos fueron realizados de acuerdo a lo establecido en la siguiente norma: ISO 8565:92. Metals and alloys. Atmospheric corrosion testing. General requirements for field test.

La evaluación de la corrosión se realizó por variación de masa, utilizándose una balanza analítica con precisión de 0.1 mg. En el caso del aluminio mediante la realización de curvas de Impedancia Electroquímica.

La evaluación de salinidad de la atmósfera se realizó mediante un método acumulativo (vela seca) de acuerdo con la norma cubana NC 12-01-09:89 SNPCC que determina la velocidad de deposición de cloruros en superficie. Determinación del contenido de cloruros en la atmósfera. Método de análisis.

La evaluación del  $SO_2$  del aire se realizó por el método conocido como Filtrasita, consistente en la utilización de un papel de filtro embebido en carbonato de sodio establecido en la norma cubana NC 12-01-08:89. SNPCC. Determinación del contenido de

Dióxido de azufre en la atmósfera. Método de análisis químico. Determina, al igual que en el caso de la salinidad, la velocidad de deposición sobre superficies.

El empolvamiento general se determinó colocando placas Petri de acuerdo con la metodología reportada en el libro «Resistencia a la Corrosión de Metales y Recubrimientos metálicos en condiciones atmosféricas» (Berukshtis, 1971) que da como resultado una velocidad de deposición de polvo sobre la superficie bajo la acción del viento reinante. Al polvo depositado se le determinó también el contenido de iones cloruro y sulfato.

Las mediciones de impedancia fueron hechas en un equipo electroquímico AUTO-AC DSP producido por ACM Instruments. La amplitud de la señal sinusoidal fue de 10 mV y el rango de frecuencias fue desde  $1.10^{-3}$  hasta  $3.10^3$  Hz. Los datos fueron procesados mediante el programa EQUIVALENT CIRCUIT. Las mediciones se realizaron por duplicado.

Se utilizó un electrodo de platino platinado como electrodo auxiliar y el electrodo de Ag/AgCl como referencia. Para trazar los diagramas se pegó a la superficie del aluminio un tubo de PVC de 3.5 cm de diámetro donde se adicionó la solución de cloruro de sodio y se introdujeron los electrodos auxiliar y de referencia.

Las mediciones de impedancia faradaica permiten determinar las características de la interfase metal/medio ambiente, lo cual resulta de gran importancia para el estudio de los fenómenos de corrosión. Así mismo, mediante los diagramas de Nyquist es posible calcular la velocidad de corrosión de un metal en una solución electrolítica.

### 3. Resultados y discusión

En las Tablas 2, 3, 4 y 5 se muestran los valores de corrosión obtenidos en las dos estaciones estudiadas.

Tabla 2. Valores medios de corrosión para la Estación Casablanca.

	Mensuales		Trimestrales		Semestrales		Anuales	
	Kacero (g/m <sup>2</sup> )	Kcobre (g/m <sup>2</sup> )	Kacero (g/m <sup>2</sup> )	Kcobre (g/m <sup>2</sup> )	Kacero (g/m <sup>2</sup> )	Kcobre (g/m <sup>2</sup> )	Kacero (g/m <sup>2</sup> )	Kcobre (g/m <sup>2</sup> )
<b>Media</b>	67.5	2.8	172.6	8.7	249.1	16.0	355.4	29.0
<b>Dev. Std</b>	21.1	--	32.0	--	67.8	--	--	--
<b>Mínimo</b>	36.3	--	133.7	--	175.1	--	--	--
<b>Máximo</b>	113	--	219.7	--	308.1	--	--	--

Tabla 3. Valores medios de corrosión para la Estación La Palma.

	Mensuales		Trimestrales		Semestrales		Anuales	
	Kacero (g/m <sup>2</sup> )	Kcobre (g/m <sup>2</sup> )	Kacero (g/m <sup>2</sup> )	Kcobre (g/m <sup>2</sup> )	Kacero (g/m <sup>2</sup> )	Kcobre (g/m <sup>2</sup> )	Kacero (g/m <sup>2</sup> )	Kcobre (g/m <sup>2</sup> )
<b>Media</b>	34.9	2.9	125.2	2.9	165.8	8.4	227.7	9.6
<b>Desv. Std</b>	18.9	--	--	--	--	--	--	--
<b>Mínimo</b>	21.5	--	--	--	--	--	--	--
<b>Máximo</b>	48.2	--	--	--	--	--	--	--

De la Tabla 2 y 3 se puede observar en primer lugar que la corrosión del acero aumenta en las dos estaciones al aumentar el tiempo de exposición, no así el cobre que si bien aumenta en Casablanca tiene muy poca variación en La Palma dados los pequeños valores de corrosión que se obtienen en esta zona. Esto puede corroborarse en las Figuras 1 y 2 donde se han reflejado los dos metales en los 4 períodos evaluados para ambas estaciones.

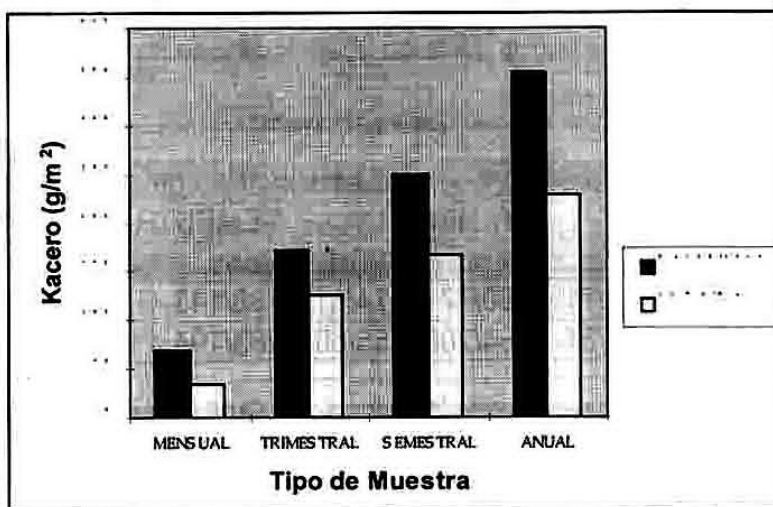


Fig. 1. Valores medios de corrosión del acero para ambas estaciones.

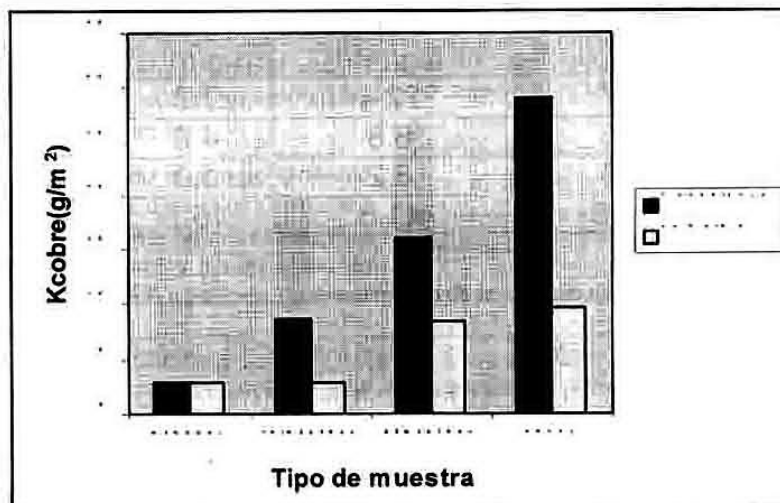


Fig. 2. Valores medios de corrosión del cobre para ambas estaciones.

En la Tabla 4 vemos que en el caso del aluminio la corrosión por pérdida de peso muestra valores muy pequeños y si además tenemos en cuenta que la corrosión del aluminio transcurre al inicio por un período de transición y sólo después de un año de exposición, es que se estabiliza, por lo que no podemos por los datos obtenidos llegar a conclusiones, sin embargo si analizamos la Tabla 5

puede verse que a medida que transcurre el tiempo de exposición al igual que en el caso del acero y el cobre hay un incremento de la corrosión, lo que nos dice que el Método de determinación de picaduras a pesar de ser más engorroso nos brinda resultados más seguros. Otro hecho a destacar es que la profundidad media de las picaduras se mantuvo sin variaciones apreciables.

Tabla 4. Valores de corrosión del aluminio obtenidos de los diagramas de Impedancia electroquímica expresados en mm/a.

ESTACIÓN	CORROSIÓN DEL ALUMINIO ( mm/a)			
	MENSUAL	TRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL
Casablanca	$8.51.10^{-3}$	$5.78.10^{-3}$	$5.41.10^{-3}$	$2.24.10^{-3}$
La Palma	$9.69.10^{-3}$	$6.78.10^{-3}$	$2.67.10^{-3}$	$7.44.10^{-3}$

Tabla 5. Valores de corrosión del aluminio expresados en # picaduras/cm<sup>2</sup>

ESTACIÓN	CORROSIÓN DEL ALUMINIO ( #pic/cm <sup>2</sup> ) Y PROF.(µm)							
	MENSUAL		TRIMESTRAL		SEMESTRAL		ANUAL	
	Dens.	Prof.	Dens.	Prof.	Dens.	Prof.	Dens.	Prof.
	95/109	62/71	160/77	74/81	186/143	77/80	275/239	62/74
La Palma	91/96	67/81	264/208	55/60	283/194	74/81	-	-

De las Tablas se observa claramente que la agresividad corrosiva en Casablanca es mucho mayor que en La Palma, por lo tanto, es de esperar las mismas diferencias entre los niveles de contaminación entre ambas estaciones.

En las Tablas 6 y 7 se reflejan los valores medios de la velocidad de deposición de cloruros y los compuestos de azufre determinados para todo el experimento.

Tabla 6. Valores medios de velocidad de deposición de contaminantes. Estación Casablanca.

	Cl <sup>-</sup> (vela seca) (mg/m <sup>2</sup> d)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (Filtrasita) (mg/m <sup>2</sup> d)	Cl <sup>-</sup> (polvo) (mg/m <sup>2</sup> d)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (polvo) (mg/m <sup>2</sup> d)
Media	9.7	22.4	7.3	15.9
Desv. Std	6.5	8.8	4.6	6.0
Mínimo	3.3	8.2	1.6	7.7
Máximo	26.5	41.6	15.7	26.2

Tabla 7. Valores medios de velocidad de deposición de contaminantes. Estación La Palma.

	Cl <sup>-</sup> (vela seca) (mg/m <sup>2</sup> d)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (Filtrasita) (mg/m <sup>2</sup> d)	Cl (polvo) (mg/m <sup>2</sup> d)	SO <sub>4</sub> (polvo) (mg/m <sup>2</sup> d)
Media	7.9	15.1	4.4	13.5
Desv. Std	3.5	5.3	2.7	5.2
Mínimo	2.3	7.2	1.7	5.4
Máximo	13.5	23.4	10	20.1

La diferencia entre los valores medios de velocidad de deposición de contaminantes no es tan apreciable entre las estaciones como la marcada diferencia obtenida en los valores de corrosión, fundamentalmente para el acero, no obstante se presentaron valores superiores en la estación Casablanca, como era de esperarse. Todo esto está relacionado al entorno de cada estación, pues como se dijo anteriormente, la estación La Palma se encuentra ubicada en una región rural, mientras que

Casablanca se ubica en una zona industrializada, cercana a importantes fuentes de emisión de gases contaminantes. La poca diferencia entre los valores de velocidad de deposición puede estar dada por la cercanía de la estación La Palma con la costa norte occidental.

La Figura 3 nos muestra el comportamiento en el tiempo de ensayo de la velocidad de deposición de cada contaminante para las dos estaciones.

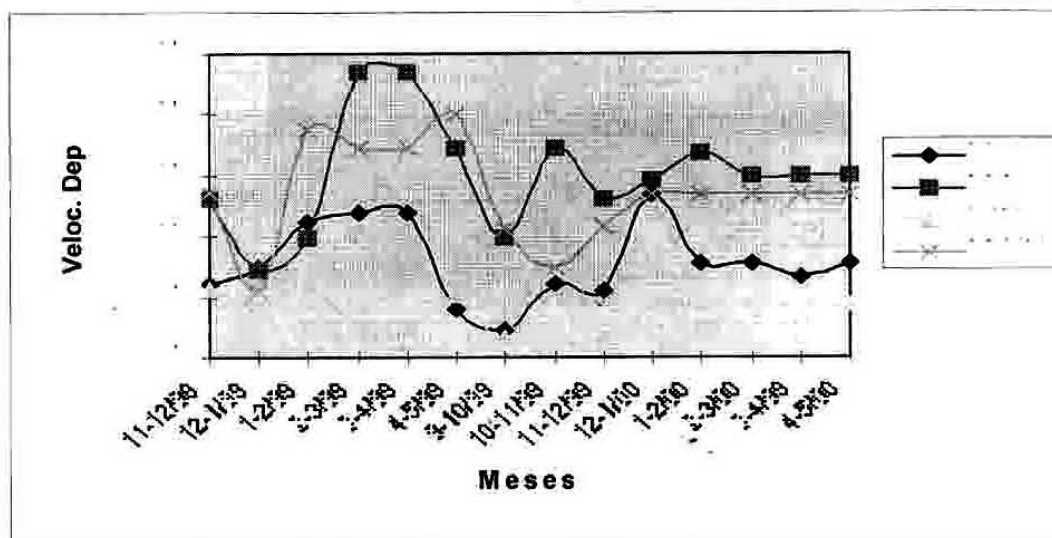


Fig. 3. Velocidad de deposición media para el cloruro y el sulfato en las dos estaciones.

Se puede observar que los valores de velocidad de deposición media del sulfato en ambas estaciones son superiores a los valores del cloruro, por lo que puede suponerse que este factor (el sulfato) en condiciones de intemperie tiene un rol importante en el proceso de corrosión en este caso. Debe tenerse en cuenta que el sulfato representa la contribución tanto del sulfato como de otros compuestos de azufre, tales como el  $SO_2$ ,  $SO_3$  y otros, ya que tanto el método de captación como la técnica analítica son sensibles a todos estos compuestos de azufre.

Hasta aquí hemos analizado el comportamiento del acero (por ser el de mayores valores de corrosión), desde el punto de vista de los parámetros tradicionales, es decir, salinidad y compuestos de azufre obtenidos por métodos acumulativos. Veamos ahora la influencia que sobre el proceso de corrosión pueden presentar otros contaminantes de la atmósfera que se encuentran en estado gaseoso, como son el  $SO_2$ , los  $NO_x$  y el  $NH_3$ .

En la Figura 4 se muestra la relación entre los valores de velocidad de deposición obtenidos para los compuestos de azufre por métodos acumulativos y los valores de concentración media mensual del  $SO_2$  gaseoso detectado por métodos volumétricos en la

estación Casablanca. Los valores de concentración de este gas se mantienen en un nivel bajo y estable en todo el período, por lo que de la figura no puede determinarse si hay o no correlación entre ambos parámetros.

Este comportamiento fue similar en la estación de La Palma. Sin embargo, al hacer un análisis de regresión lineal entre ambos parámetros no se obtuvieron buenos coeficientes de correlación para 1 y 3 meses pero ya para 6 meses se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.69, lo que nos indica que el análisis debe hacerse para tiempos de exposición mayores (1 año) para obtener una buena correlación.

Por tal motivo se determinó realizar la matriz de correlación entre todos los elementos estudiados para ambas estaciones; obteniéndose que no existe correlación ni entre estos dos factores ni entre el  $SO_2$  con los restantes parámetros de corrosión estudiados tomándose como criterio el valor 0.85 como significativo. Para el caso de los compuestos gaseosos del Nitrógeno solo se obtuvo buena correlación para el  $NO$  y el  $NH_3$  con los valores de corrosión de acero en el caso de muestras trimestrales.

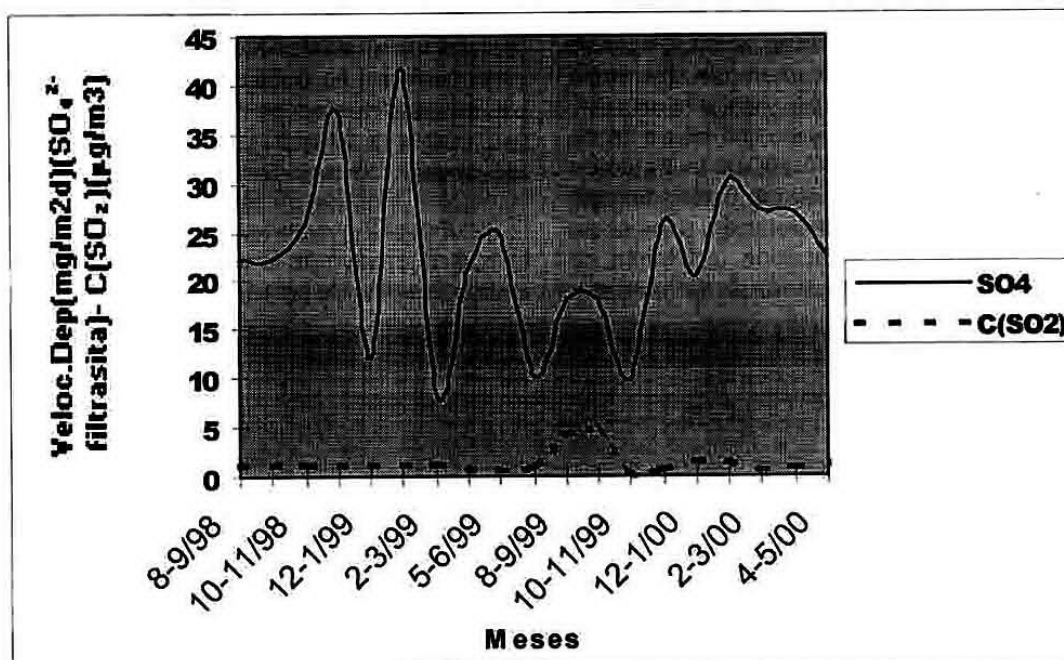


Fig. 4. Relación entre los valores de velocidad de deposición de los compuestos de azufre y los valores de concentración media mensual del  $\text{SO}_2$  gaseoso en la estación Casablanca.

En las Figuras 5 y 6 se ha reflejado la relación de las concentraciones de  $\text{NO}$  y  $\text{NH}_3$  con los valores de corrosión de las probetas de acero para los períodos de 1 y 3 meses en la estación de Casablanca. Se ve que el caso de muestras mensuales la relación no es tan marcada como ocurre para las muestras trimestrales, a pesar de que en el caso de estas últimas el número de datos es menor. Debe señalarse que esta correlación no se había obtenido en trabajos realizados anteriormente, quizás debido a que estos fueron realizados en zonas rurales donde las concentraciones de los  $\text{NO}_x$  eran bajas al igual que en La Palma. Sin embargo, en la estación Casablanca donde los niveles de contaminación por compuestos del Nitrógeno son altos por encontrarse ésta en una zona altamente industrializada, este comportamiento puede ser esperado.

Al hacer el análisis de regresión paso a paso para todos los contaminantes con respecto a la corrosión del acero, se obtuvo la siguiente ecuación significativa para los tres meses de exposición:

$$\text{Kacero} = 67.16 \pm 16.44 + 0.28 \pm 10[\text{Cl}^-] + 1.01 \pm 10[\text{NO}]$$

$$r = 0.95$$

$$n = 12$$

$$p = 0.00001$$

donde  $[\text{Cl}^-]$  y  $[\text{NO}]$  son la velocidad de deposición de cloruros y la concentración de  $\text{NO}$  respectivamente.

Como se observa, existe un factor que refuerza la corrosión del acero, lo que puede explicar la mayor corrosión del acero en Casablanca a pesar de que no hay gran diferencia en los valores de la deposición de  $\text{Cl}^-$  obtenidos en el ensayo.

Cuando se tomaron en consideración solamente los contaminantes gaseosos se obtuvo la siguiente ecuación:

$$\text{Kacero} = 162.54 \pm 34.91 + 0.92 \pm 0.11[\text{NO}] + 0.35 \pm 0.13[\text{NH}_3] - 0.17 \pm 0.14[\text{SO}_2]$$

$$r = 0.95$$

$$n = 12$$

$$p < 0.0001$$

donde:  $[\text{NO}]$ ,  $[\text{NH}_3]$  y  $[\text{SO}_2]$  son las correspondientes concentraciones de los contaminantes.

En este caso aparece nuevamente el  $\text{NO}$  como factor que incide en la corrosión del acero de forma positiva y los otros dos negativamente. El carácter de inhibidor de la corrosión es conocido en el caso del  $\text{NH}_3$  no así para el  $\text{SO}_2$ , que quizás como son pequeños los valores obtenidos hay un efecto de interacción competitiva con el  $\text{NO}$  que provoca este comportamiento. Esto debe ser aclarado para mayores tiempos de exposición del acero, pues tres meses es un tiempo demasiado corto para dar conclusiones definitivas.

Puede observarse en la siguiente ecuación para 6 meses de exposición que aunque con muy pocos datos esta situación cambia para este tiempo, pues ya no aparece el NO y sí el efecto del SO<sub>2</sub>.

$$K_{acero} = 131.61 \pm 5.82 + 1.50 \pm 0.59[SO_2] - 0.70 \pm 0.59[NH_3]$$

$$r = 0.99$$

$$n = 9$$

$$p = 0.001$$

La influencia de variables meteorológicas importantes como la temperatura y la humedad relativa no son tratadas a profundidad en este estudio debido a que numerosos han sido los trabajos que han expuesto la influencia de estos dos factores sobre la corrosión de los metales (Catalá et al, 1992). El efecto sinérgico de estas variables ha dado lugar a un parámetro denominado Tiempo de Humectación. Se ha llegado a la conclusión en muchos de estos trabajos que debido a las características climáticas de nuestro país (tropical-húmedo) la combinación de los factores temperatura-humedad relativa favorece los procesos de corrosión de los metales (Mertel, 1985).

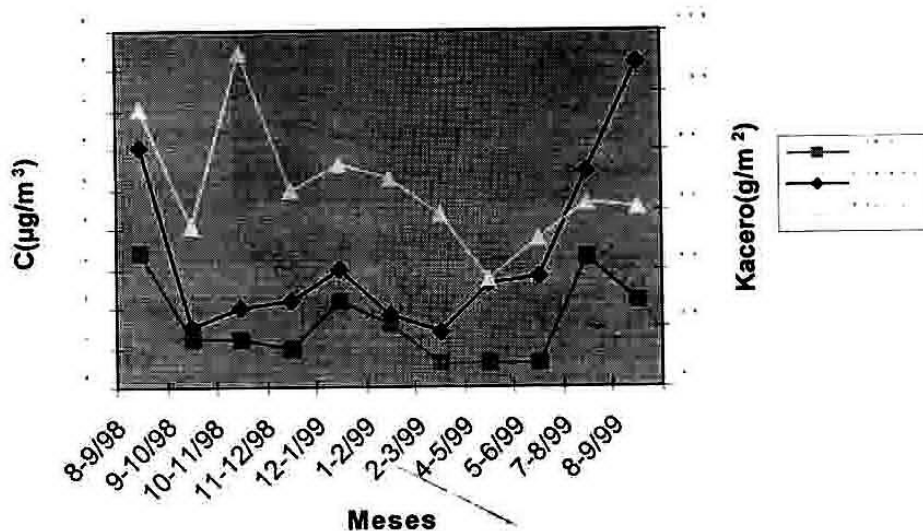


Fig. 5. Relación entre las concentraciones medias de NO y NH<sub>3</sub> con los valores de corrosión de acero para muestras mensuales. Estación Casablanca.

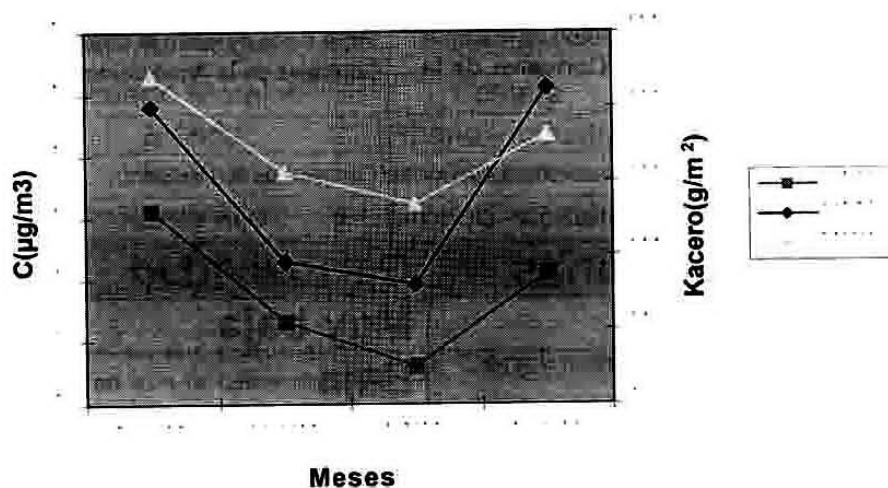


Fig. 6. Relación entre las concentraciones medias de NO y NH<sub>3</sub> con los valores de corrosión de acero para muestras trimestrales. Estación Casablanca.



La relación existente entre los niveles de corrosión y las precipitaciones puede ser inversa, si se tiene en cuenta que la lluvia al caer lava la superficie de la muestra en exposición y elimina de ésta los contaminantes depositados, disminuyendo así su

efecto. Para corroborar este comportamiento se plotearon los valores de Kacero y cantidad de lluvia caída versus tiempo (Fig. 7) y se obtuvo que solamente para el primer trimestre del experimento se cumplía la condición planteada al inicio.

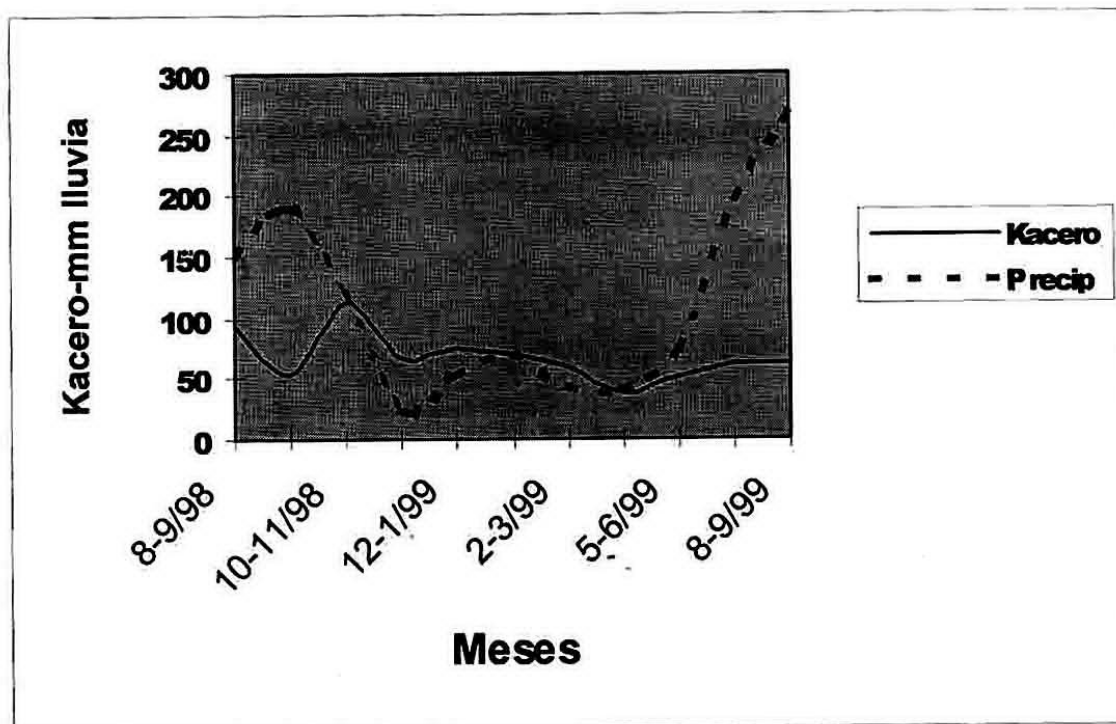


Fig. 7. Relación existente entre los niveles de corrosión de acero y las precipitaciones para la estación Casablanca.

#### Clasificación de la Agresividad Corrosiva.

Tomando en consideración la Norma ISO 9223:92 «Corrosion of Metals and Alloys. Corrosivity of Atmospheres. Classification» (ISO 1992) se realizó la clasificación de la Agresividad Corrosiva de la

atmósfera basándonos en los valores de Corrosión y la Velocidad de deposición media anuales de los contaminantes obtenidos en las dos estaciones. La Tabla 8 nos muestra la clasificación de la Agresividad Corrosiva de la Atmósfera según la norma.

Tabla 8. Clasificación de la Agresividad Corrosiva de la Atmósfera.

Categorías	Corrosividad
C1	Muy baja
C2	Baja
C3	Media
C4	Alta
C5	Muy Alta

Las categorías obtenidas para cada metal se muestran en la Tabla 9. Podemos afirmar que de los tres metales analizados, el cobre en la estación Casablanca es el que está siendo mayormente afectado por los procesos de corrosión atmosférica. El acero, a pesar de haber sido el que mostró mayores valores de corrosión, presenta una corrosividad media. Por último, el aluminio es el metal que mayor resistencia corrosiva mostró, ya que los niveles obtenidos son del orden de  $10^{-3}$  mm/a, lo que nos indica una agresividad de la atmósfera muy baja.

Realizando una comparación entre la evaluación de la agresividad en nuestro estudio con datos reportados de trabajos anteriores en otras estaciones de nuestro país y zonas del Caribe (Corvo, 1998) se tiene que existe similitud entre los resultados

obtenidos, pues para estaciones urbano - industrial como Vía Blanca y rural como Quivicán se obtuvo categoría C3 para la agresividad de la atmósfera.

Para estaciones de la región caribeña como Puerto Progreso y Puerto Morelos en México; y La Voz en Venezuela, se obtuvo categoría C5, ya que estas estaciones se encuentran muy cercanas a la costa; al igual que la estación costera de Playa Viriato en la costa norte de Ciudad de La Habana cuya clasificación está fuera de los parámetros de la Norma pues los valores obtenidos nos da una clasificación >C5. Las estaciones de características similares a las nuestras como Mérida en México (urbana - industrial); Punto Fijo y El Tablazo de Venezuela (urbano - costera y industrial - rural respectivamente) obtuvieron categoría C3 (Tabla 10).

Tabla 9. Categorías de la Agresividad Corrosiva de la Atmósfera obtenidas para cada metal en las dos estaciones.

Metal	Categoría. Casablanca	Categoría. La Palma
Acero	C3	C3
Cobre	C5	C3
Aluminio	C1	C1

Tabla 10. Algunos datos acerca de la agresividad corrosiva en Cuba y zonas del Caribe.

País	Estación	Tipo	Agresividad Corrosiva
Cuba	Vía Blanca	Industrial - costera	C3
	Quivicán	Rural	C3
	Viriato	Costera	>C5
México	Puerto Progreso	Costera	C5
	Puerto Morelos	Costera	C5
	Mérida	Urbano - industrial	C3
Venezuela	La Voz	Costera	C5
	Punto Fijo	Urbano - costera	C3
	El Tablazo	Industrial - rural	C3

Los valores reportados en el presente estudio confirman la potencialidad que la contaminación atmosférica representa en el aumento de la corrosión de los materiales, tanto a nivel de impacto (urbano), como a nivel regional (rural). La tendencia actual al incremento de la contaminación atmosférica en nuestro país, debido a la reanimación económica y al aumento del tráfico vehicular se manifestará en el futuro en un aumento de la corrosión.

#### 4. Conclusiones y Recomendaciones.

❖ La trascendencia económica que tiene la corrosión atmosférica motivada por el aumento de los niveles regionales de la contaminación del aire justifica la continuación de estudios integrales en este sentido. La evaluación de la Agresividad Corrosiva de la

Atmósfera indicó para la Estación Casablanca una corrosividad media para el Acero, muy alta para el Cobre y muy baja para el Aluminio; mientras que para la Estación La Palma se obtuvo una corrosividad media para el Acero, media para el Cobre y muy baja para el Aluminio.

❖ Los resultados obtenidos de la actividad corrosiva en las estaciones estudiadas demuestran que entre los parámetros aeroquímicos los más influyentes fueron el Cloruro, Monóxido de Nitrógeno, el Amoniaco y el Dióxido de Azufre.

❖ Los Cloruros y el NO son factores que refuerzan la actividad corrosiva sobre el Acero (AISI 1020), lo que explica su mayor incidencia en la estación Casablanca. De los contaminantes gaseosos, el NO incide en la corrosión del Acero de forma positiva y el NH<sub>3</sub> y el SO<sub>2</sub> negativamente. El carácter inhibidor sobre la corrosión es conocido en el caso del Amoniaco, no así para el SO<sub>2</sub>. Este último aspecto debe ser aclarado para mayores tiempos de exposición del acero.

❖ Dado la importancia que representan las pérdidas económicas en las estructuras metálicas y equipos por la corrosión atmosférica, se debe continuar estudiando la influencia de la calidad del aire en los entornos donde se prevén incrementos en las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

## 5. Referencias Bibliográficas

**Berukstis, G. K and Klark, G. B. (1971):** Resistencia a la corrosión de metales y recubrimientos metálicos en condiciones atmosféricas. Editorial Nauka. Moscú.

**Catalá F., Gorrita N., Rodríguez E. y Bolaños R. (1992):** Caracterización de la agresividad corrosiva de la atmósfera en la región «Morro-Cabañas». Revista CENIC. Vol. 23. pp. 75.

**Corvo, F. (1998):** Algunos resultados más recientes de los estudios de Corrosión Atmosférica en Cuba. 5ª Semana Técnica Nacional de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales. Medellín, Colombia.

**ISO 9223. (1992):** «Corrosion of Metals and Alloys. Corrosivity of Atmospheres. Classification»

**Kucera, V. and Fitz, (1995):** Direct and indirect air pollution effects on materials including cultural monuments. Water, Air Soil Pollution **85**:153-165.

**Martínez, A.P. y I. Romeu (1997):** Introducción al Monitoreo Atmosférico. ECO/OPS, Metepec, Estado de México.

**Mertel, J. (1985):** Peculiaridades de la corrosión atmosférica del acero de bajo contenido de carbono en Ciudad de la Habana y sus aplicaciones técnico-económicas. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. La Habana.

**ISO 8565:92 Metals and alloys.** Atmospheric corrosion testing. General requirements for field test.

**NC 12-01-08 (1989): SNPCC.** Determinación del contenido de Dióxido de azufre en la atmósfera. Método de análisis químico.

**NC 12-01-09 (1989): SNPCC.** Determinación del contenido de cloruros en la atmósfera. Método de análisis.

**NC: 93-02-104 (1986):** Atmósfera: Reglas para la Vigilancia de la Calidad del Aire. Norma Cubana. Comité Estatal de Normalización.

**NC: 93-02-203 (1986):** Atmósfera: Requisitos Generales para el Muestreo del Aire. Norma Cubana. Comité Estatal de Normalización.

**NC: 93-02-102 (1987):** Atmósfera: Términos y Definiciones. Norma Cubana. Comité Estatal de Normalización.

**Volberg, Sh. (1982):** Instrucciones metodológicas para el análisis químico del aire atmosférico por tubos de absorción. (en ruso). Comité Estatal de Hidrometeorología, Leningrado, URSS. 34 pp.

**World Meteorological Organization. (1988):** International Operations Handbook for measurement of Background Atmospheric Pollution. WMO No. 491

*Abstract:*

*In general the influence of atmospheric pollutants increased the corrosive activity of atmosphere. In this study case monoxide nitrogen acts of positive manner over steel's corrosion, while the ammonium like inhibitor of corrosion. By first both results are registered.*

**Key words:** Nitrogen oxides, Air pollution, Atmospheric corrosion, Sulphur oxides