

9
2es.



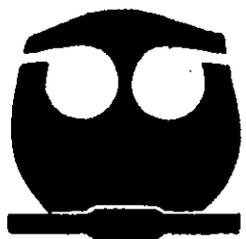
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DETERMINACION DE LA CORROSION EN EL INTERIOR DE LOS EDIFICIOS DE CIUDAD UNIVERSITARIA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA QUIMICA METALURGICA
P R E S E N T A :
CARINA LAZARO LOPEZ



MEXICO, D. F.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

1998

263713



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

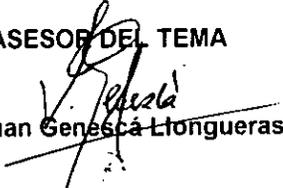
JURADO ASIGNADO:

Presidente Prof. Genescá Llongueras Juan
Vocal Prof. Huerta Cerdán Antonio
Secretario Prof. Rodríguez Gómez Francisco Javier
1er. Suplente Prof. González Sánchez Jorge Antonio
2do. Suplente Prof. Rodríguez Rivera Carlos

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA. Laboratorio de Corrosión.

Departamento de Ingeniería Metalúrgica. Facultad de Química. Edificio D.
UNAM.

ASESOR DEL TEMA


Dr. Juan Genescá Llongueras

SUPERVISOR TÉCNICO


I.Q.M. Carlos Rodríguez Rivera

SUSTENTANTE


Carina Lázaro López.

AGRADECIMIENTOS.

A Dios por el don de la vida.

A mis padres Sr. Alberto y Sra. Paula, por todo su amor.

A Jorge por su comprensión.

A mis hermanos y primos: Maria Isabel, Malena, Gpe. Verónica, Juan, Alberto, Oscar, Gabriel, Carlos, Esperanza, Victor y Reynaldo, por su apoyo.

Al Dr. Juan Genescá Llongueras con cariño por su generosidad al compartir sus conocimientos.

Al Dr. Fco. Javier Rodríguez por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo.

Al M. C. Antonio Huerta Cerdán por su apoyo incondicional.

Al I.Q.M. Carlos Rodríguez Rivera por sus comentarios y asesoría técnica.

Al Dr. Ernesto Jáuregui del Centro de Ciencias de la Atmósfera y al Maestro Antonio Hidalgo del CIDI (Centro de Investigación de Diseño Industrial) por su amistad.

Al I.Q. Luis Mendoza González por su confianza.

A las Maestras Maricela Gutiérrez y Cecilia Salcedo de la USAI (Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación) por su apoyo técnico.

Al Sr. Gabriel Nieto R. por su valiosa y oportuna colaboración.

A mis Compañeros del Laboratorio de Corrosión: Carlos Poblano, Antonio Díaz, Marco Antonio Talavera, Miguel Angel Hernández y especialmente a Trinidad Pérez Q.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE CORROSIÓN ATMOSFÉRICA.	3
CAPITULO II	
TÉCNICA EXPERIMENTAL	38
CAPITULO III	
RESULTADOS	43
CAPITULO IV	
ANÁLISIS DE RESULTADOS	64
CAPITULO V	
CONCLUSIONES	71
CAPITULO VI	
BIBLIOGRAFIA	72
APÉNDICES	75
I. TABLAS DE PÉRDIDA DE PESO Y VELOCIDAD DE CORROSIÓN	76
II. NORMA ISA-S71.04- EN EL IDIOMA INGLÉS	85
III. EJEMPLOS PRÁCTICOS PARA IDENTIFICAR COMPUESTOS INORGÁNICOS EN SUS ESPECTROS DE INFRARROJO	101
IV. CRONOPOTENCIOMETRIA	106

INTRODUCCIÓN.

Actualmente en México se cuenta con muy pocos datos sobre el origen de los contaminantes de interiores y acerca de las reacciones que experimentan en recintos cerrados (oficinas, escuelas, fábricas, edificios comerciales y residenciales) y no se han considerado de hecho, sus efectos en los interiores debido a lo poco que se sabe sobre el particular. Por tal motivo el objetivo de esta tesis es contribuir con datos experimentales acerca de la corrosión de la atmósfera en interiores y la clasificación cualitativa de los contaminantes aerotransportados gaseosos de acuerdo a su nivel de severidad.

Una técnica que ha sido de considerable mérito, implica la exposición de cupones de reactividad limpios (por ejemplo plata y/o cobre) colocados en el medio ambiente de interés en un arreglo que permite la formación de películas manchadas o deslustradas para crecer en sus superficies. Los cupones de reactividad son preparados bajo condiciones de laboratorio y enviadas a los sitios de exposición en bolsas de plástico bajo ligeras presiones positivas de gas inerte nitrógeno. Esto impide la formación de películas deslustradas o manchas antes de la exposición. Después de un período de exposición prescrito (30 días), no obstante este período puede ser menor para medios ambientes muy agresivos, o más grandes para medios ambientes menos severos, los cupones son retornados a el laboratorio para la determinación del tipo de espesor de la película empañada (manchada) por la técnica de reducción catódica electrolítica o por la técnica gravimétrica de pérdida de peso.

El espesor total de película es usado luego para clasificar cualitativamente el medio ambiente en el cual los cupones han sido expuestos, mediante la Norma de la Sociedad de Instrumentos de América ISA-S 71.04-1985 que ha clasificado al medio ambiente como: suave, moderado, fuerte y severo correspondiendo a espesores de película en cupones de cobre de $< 300 \text{ A}^\circ$, $< 1000 \text{ A}^\circ$, $< 2000 \text{ A}^\circ$ y $\geq 2000 \text{ A}^\circ$ respectivamente. Los cupones de reactividad permiten medir la corrosividad resultante relativamente rápido antes de un monitoreo más costoso o antes de que sean emprendidos otros muestreos.

CAPITULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE CORROSIÓN ATMOSFÉRICA.

1.1 CORROSIÓN ATMOSFÉRICA. (1,2,3,4).

En este capítulo se hace una revisión de los principios que rigen la corrosión atmosférica y se pondrá énfasis en los metales cuya corrosión atmosférica en interiores es de consideración, entre éstos metales se encuentra el cobre.

Con mucha frecuencia los metales se encuentran expuestos a la atmósfera más que a cualquier otro ambiente corrosivo. Conviene observar que la corrosión es el problema de deterioración más antiguo que se conoce, aún cuando a la fecha no se ha comprendido enteramente. La principal razón de esto se encuentra en la complejidad de las variables que determinan la cinética de las reacciones de corrosión y esta es la causa de porqué varían las velocidades de corrosión de un lugar a otro, de una hora a otra y de una estación a otra.

Las atmósferas varían considerablemente con respecto a la humedad, temperatura, y contaminantes, de aquí que las velocidades de corrosión atmosférica varíen marcadamente en cualquier parte del mundo. A medida que uno se aproxima a la costa, el aire se carga con mayor cantidad de impurezas que aumentan el contenido de las sales marinas, en particular el NaCl. En las zonas industriales, se encuentran cantidades apreciables de SO_2 el cual se convierte en ácido sulfúrico, y pequeñas cantidades de H_2S , NH_3 , NO_2 y de varias sales suspendidas. Un metal que resiste en una atmósfera determinada puede variar de una resistencia efectiva a otra y por esto el funcionamiento relativo de los metales cambie con la velocidad. Por ejemplo, el plomo funciona en una atmósfera industrial debido a una película protectora de PbSO_4 que se

forma sobre su superficie, mientras que el hierro galvanizado funciona perfectamente en una atmósfera rural pero es relativamente menos resistente a las atmósferas industriales.

1.1.1 CLASIFICACIÓN DE LA CORROSIÓN ATMOSFÉRICA

Oxidación Seca.

Esta se desarrolla en los metales que tienen una energía libre negativa. En los metales que forman óxidos no porosos, las películas alcanzan rápidamente un espesor límite debido a que la difusión iónica a través de las películas de óxido es extremadamente lenta a temperatura ambiente y al alcanzar el espesor límite las películas son invisibles. Por ejemplo, las películas sobre el Fe son típicamente de 30Å de espesor. Para ciertos metales y aleaciones, estas películas están libres de fallas o bien autocristalizan rápidamente de tal manera que ellas confieren una protección extraordinaria sobre el sustrato.

El opacamiento del cobre y plata en el aire seco que tiene trazas de H_2S , es otro ejemplo de una película que crece mediante difusión a través del óxido. En estos casos, los defectos del arreglo sulfuroso permiten a las películas que crezcan hasta alcanzar espesores visibles, formando las películas opacas o deslustradas que son antiestéticas.

Corrosión por películas húmedas visibles e invisibles.

La corrosión húmeda es producida por una película delgada e invisible de una solución electrolítica que se forma sobre la superficie metálica. La corrosión producida por depósitos visibles de rocío, lluvia, brisa marina, etc. y que causan el herrumbramiento

del Fe y del Acero, el herrumbramiento blanco del zinc y la formación de la pátina sobre el cobre y sus aleaciones puede colocarse dentro de esta clasificación.

Los productos de la corrosión pueden ser solubles o insolubles. Si son insolubles, generalmente reducen la velocidad de corrosión mediante el aislamiento del sustrato con la atmósfera. Pero también ellos estimulan la corrosión ofreciendo poca protección física, mientras retengan la humedad en contacto con la superficie metálica durante períodos de tiempo más largos.

Los productos de corrosión solubles pueden acelerar la velocidad de corrosión en dos formas:

1. Pueden aumentar la conductividad de la solución electrolítica y, por lo tanto, disminuir la resistencia interna de las celdas de corrosión.
- 2.-Pueden actuar higroscópicamente para formar soluciones a humedad y por arriba del equilibrio de una solución saturada. El empañamiento del níquel en atmósfera que contiene SO_2 se debe a la formación de NiSO_4 higroscópico y sirve para ejemplificar este tipo de comportamiento. Sin embargo, si los productos de corrosión son solubles e insolubles, protectores o no protectores, la atmósfera corrosiva soportada por el sustrato, frecuentemente referida como micro medio ambiente, está modificada por el macro medio ambiente aportado por el sustrato desnudo. Por esta razón, las velocidades de corrosión rara vez son constantes para períodos prolongados en una exposición atmosférica.

1.1.2 ETAPAS PARCIALES DEL PROCESO DE CORROSIÓN.

Dado el carácter electroquímico de la corrosión atmosférica la formación de una capa de electrolito, bien sea por condensación, absorción, adsorción o precipitación es una

condición previa e indispensable para la formación de los productos de corrosión, formando otras capas primarias de productos de corrosión en las cuales su crecimiento ya no está limitado. Finalmente se llega a una situación estacionaria cuya cinética es la que realmente determina los riesgos de corrosión.

a) Formación de una capa de electrolito

Debido al carácter electroquímico de la corrosión atmosférica se debe sobrepasar un mínimo de humedad para que se produzca una corrosión significativa. Este mínimo de capa de humedad crítica, se sitúa por encima del 60%-70% de humedad relativa. En atmósferas puras sólo se consiguen capas de electrolito sobre las superficies metálicas limpias a humedades relativas cercanas a la de saturación. En cambio en ambientes contaminados tales capas electrolíticas se consiguen a humedades relativas mucho menores.

La interdependencia corrosión-presencia de electrolitos superficiales puede conseguirse impurificando con diversas sales superficiales metálicas. La corrosión aparece cuando la humedad relativa del ambiente supera la de equilibrio sobre soluciones saturadas de tales sales, es decir, cuando éstas captan humedad del ambiente. El electrolito puede no ser agresivo, en cuyo caso no aparece la corrosión simultáneamente a la capa de humedad.

b) Destrucción de las capas primarias de oxidación.

Las capas primarias de oxidación que se forman sobre los metales con vapores ácidos persisten corto tiempo mientras no se recubren con nuevos productos de corrosión, esto sucede en horas o como máximo en días, por lo que se considera a esta etapa como carente de importancia. En aceros inoxidables, aluminio y muchas de sus

aleaciones, la capa primaria de óxido es de características tales que los protege frente a un gran número de ambientes agresivos, manteniéndose en estado pasivo.

c) Formación de capas de productos de corrosión.

En esta etapa se forman productos de corrosión sólidos estables. La cinética de la corrosión atmosférica está determinada por la concurrencia de una humedad relativa superior a la crítica de gases, vapores u otros contaminantes agresivos y al efecto de los productos de corrosión.

Los productos de corrosión pueden actuar impulsando o frenando el ataque. Acelerándolo actúan los productos de corrosión que contengan sales o ácidos solubles, e impedimentos a la corrosión pueden resultar de la formación de sales básicas especialmente de aquellas estables pero poco solubles en ambos márgenes de composición. Estos productos de corrosión dificultan la misma, probablemente porque son capaces de captar y fijar en alguna manera los componentes agresivos de la atmósfera impidiendo que actúen como estimuladores del ataque.

d) Estado estacionario de la corrosión atmosférica.

Los procesos que ocurren en presencia de capas de productos de corrosión son los que fijan la cinética de ataque en un período mas o menos largo con una velocidad de corrosión variable con tendencia a disminuir dependiendo de la composición química del material metálico, y de los factores climatológicos, de la atmósfera del lugar (humedad relativa, temperatura, contaminación, etc.) determinan la velocidad estacionaria de corrosión a través de las propiedades de las capas de productos de corrosión formados (espesor, composición, capacidad de absorción de agua, ácidos, adherencia, resistencia a la absorción, etc.).

Al principio las variables climáticas son las que determinan el ataque para un material dado, a largo plazo el papel principal lo desempeñan las características protectoras de las capas de productos formados.

1.2 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA(5).

1.2.1 FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN INTERIORES.

La mayor parte de los contaminantes encontrados en el interior de los edificios procede del exterior, si bien algunas medidas indican que ciertos productos pueden formarse dentro de ellos. Así, una calefacción de combustión defectuosa es capaz de introducir en el aire de un edificio sustancias tales como CO, SO₂ y partículas sólidas, según el tipo de combustible utilizado. En estos casos hay la posibilidad de que exista un gradiente de concentración de los gases CO y SO₂ desde el edificio hacia el exterior.

Otras fuentes interiores de contaminación son las estufas y los calentadores de gas, que pueden tener escapes (incluido el CO si es gas de hulla) así como producir determinadas concentraciones de SO₂ por combustión de los aditivos aromáticos que contienen azufre. De las cocinas también se liberan productos, en especial gotas de niebla de grasas y aceites, de radio generalmente pequeño y que permanecen durante algún tiempo en el aire antes de sedimentarse. De sobra es conocido su desagradable efecto en las superficies limpias próximas a la cocina.

El humo de los cigarrillos constituye una fuente de contaminación de interiores productora de CO y de partículas sólidas orgánicas. Este medio produce concentraciones de contaminantes superiores a las del exterior, debido al limitado volumen de aire al que se expelen.

1.2.2 CONCENTRACIÓN DE LOS CONTAMINANTES DE INTERIORES.

Estudios con dióxido de azufre revelan que la concentración de este gas en recintos cerrados es sólo un 20% del presente en espacios abiertos. Una experiencia, que consiste en dejar entrar en una habitación a través de una ventana una ráfaga de aire contaminado con dióxido de azufre controlando continuamente la concentración del gas, puso de manifiesto que ésta disminuye según un proceso de primer orden, con una vida media de 40 a 60 minutos. Otra prueba realizada en un gran recinto experimental, revestido con poliuretano, condujo a una vida media de 10 horas, para la disminución de la concentración de SO_2 , lo cual revela el significativo efecto ejercido por la superficie de las paredes en el comportamiento del SO_2 , en recintos cerrados.

Datos respecto al CO ponen de manifiesto que su concentración no disminuye de manera importante cuando se compara su valor en interiores y exteriores, lo que está de acuerdo con la escasa capacidad de este gas para ser absorbido. También indica la facilidad con que el aire del exterior cambia respecto al del interior.

Se han hecho algunas medidas de la concentración del aerosol atmosférico sólido en interiores, y se ha encontrado que sólo es el 20% de la del exterior, y los valores más altos corresponden a edificios con aire acondicionado. La concentración de partículas sólidas en el interior de los edificios de ciudades varía entre 30 y 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tanto en recintos comerciales como residenciales, mientras que la de exteriores oscila entre 80 y 190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Análisis de plomo efectuados en aerosoles sólidos de edificios revelan que la reducción de su concentración, respecto al exterior, es la misma que la observada para el aerosol total. Las concentraciones interiores de este elemento en edificios de ciudades oscilan entre 0.2 y 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

1.2.3 INTERACCIÓN DE LOS CONTAMINANTES CON LOS MATERIALES DE INTERIORES.

Cabe explicar la reducción observada en la concentración del aerosol sólido en interiores por su gran capacidad de adherirse y ser absorbido por las superficies.

Este efecto es comparable con el observado para el SO_2 que también muestra gran capacidad para ser absorbido. En los últimos años se ha investigado la capacidad de sorción para el SO_2 , de muchos materiales en interiores. El alto valor de la velocidad de depósito V_g en pinturas de emulsión, junto con la superficie relativamente elevada de este material, hace pensar que la sorción del SO_2 debe suceder preferentemente sobre estas superficies. En una "casa estándar" las superficies cubiertas con pintura de emulsión se supone corresponden a techos. De acuerdo con esto existe el hecho de que aproximadamente el 40% del SO_2 liberado accidentalmente en el laboratorio se encontró en el techo cubierto con pintura de emulsión.

Asimismo el cuero de las tapicerías tiene elevada capacidad de sorción, pero como la superficie que ocupa en una "casa estándar" es pequeña, sólo justifica una porción pequeña del total absorbido en el interior. La segunda superficie en importancia, de un domicilio, respecto a la sorción de SO_2 es la de los tejidos, que corresponden al 15% del depósito de este gas. La velocidad de depósito sobre fibras naturales es de mayor magnitud que la de fibras artificiales. Se sabe que los productos manufacturados a partir de celulosa experimentan cambios químicos en presencia del SO_2 atmosférico, que se manifiesta en menor resistencia mecánica, probablemente debido a su hidrólisis por H_2SO_4 .

1.3 CORROSIÓN ATMOSFÉRICA DE COBRE.(6)

La velocidad de corrosión de cobre en pruebas de laboratorio es una función de las concentraciones de bióxido de azufre, sulfuro de hidrógeno, ozono y humedad relativa, entre otros. Las velocidades de corrosión observadas en interiores correlacionan razonablemente bien con las concentraciones medidas de azufre reducido (H_2S , S_8). Las velocidades de corrosión de cobre en interiores son 1% de los valores en exteriores. El Cu_2O está presente en la superficie de cobre, la termoquímica y la cinética de la superficie controlan la estabilidad del cobre, en presencia de contaminantes.

El cobre es un material funcional importante, es ampliamente utilizado en medios ambientes industrial, comercial y doméstico. Encontrado en su estado nativo hace aproximadamente 6000 años, es considerado un metal noble. La corrosión del cobre es un problema común, puede ser estéticamente hermoso y frustrantemente complejo. La corrosión atmosférica del cobre ha sido revisada en trabajos realizados por Leidheiser, Rozenfeld (6) y otros, en donde proveen al lector de una perspectiva histórica. La mayoría de estos estudios enfocan su atención a la corrosión urbana exterior. El proceso de corrosión atmosférica es más complejo que la oxidación a elevadas temperaturas, existen teorías que explican razonablemente las velocidades observadas. No existen tales teorías para corrosión atmosférica, aunque se han hecho intentos para correlacionar las velocidades exteriores observadas, para niveles de sulfatos y humedad relativa.

1.3.1 CORROSIÓN DE COBRE EN ATMOSFERAS INTERIORES

La corrosión de materiales en interiores ha recibido menor atención, porque en muchos casos es un problema insignificante. Este no es sin embargo el caso para la industria electrónica ya que la integridad de microconductores, contactos, cables, semiconductores y su almacenamiento integral merecen consideración importante para su seguridad en un medio ambiente interior.

En la tabla I.1 se resume las velocidades de corrosión en interiores para cobre en este estudio. Las velocidades son reportadas como ganancia de peso por centímetro cuadrado por hora. En algunos casos se han convertido las velocidades obtenidas, por reducción catódica y medidas de pérdidas de peso, de otras investigaciones a ganancia de peso .

La presencia de fuentes interiores de H_2S y S_8 se debe considerar para niveles interiores altos. La velocidad de corrosión de cobre muestra una forma muy pronunciada dependiente de la humedad y, por lo tanto de extremos superiores de humedad exterior que pueden causar significativamente corrosión más fácil que en interiores.

El propósito de este documento es sumarse al entendimiento de la corrosión atmosférica del cobre, haciendo particular énfasis a la corrosión en medios ambientes en interiores. Se investigó la dependencia cuantitativa de la humedad relativa y las concentraciones de los contaminantes en el medio ambiente sintético en laboratorio. Los resultados son de sitios programados en Estados Unidos.

TABLA I.I

Velocidades de Corrosión Atmosférica de Cobre en Interiores.

Localización	Tipo de medio ambiente	Velocidadde corrosión ($\mu\text{g}/\text{cm}^2 \text{ hr} \times 10^4$)	Método	Referen- cia
S. Kensington, London, UK	Sótano	83.2	WG	(7)
S. Kensington, London, UK	Techo	78.6	WG	(7)
South West London, UK	Casa	113.3	WG	(7)
New York, NY.	Interior urbano-no A.C.	17.2	WG	(8)
New York, NY.	Interior urbano-no A.C.	18.4	WG	(8)
Buffalo, NY.	Interior urbano-no A.C.	10.7	WG	(8)
Buffalo, NY.	Interior urbano-no A.C.	8.92	WG	(8)
Pittsburgh, P.A.	Interior urbano-no A.C.	32.4	WG	(8)
Pittsburgh, P.A.	Interior urbano-no A.C.	11.6	WG	(8)
Pittsburgh, P.A.	Interior urbano-no A.C.	7.14	WG	(8)
Pittsburgh, P.A.	Interior urbano-no A.C.	10.4	WG	(8)
Cincinnati, OH	Interior urbano-no A.C.	21.2	WG	(8)
Covington, KY	Interior urbano-no A.C.	11.9	WG	(8)
St. Louis, MO	Interior urbano-no A.C.	13.1	WG	(8)
Rockaway, NY	Interior Rural -no A.C.	10.1	WG	(8)
New York, NY	Interior Urbana Encerrada	6.54	WG	(8)
Asbury Park, NJ	Interior Marina-no A.C.	15.0	WG	(8)
Los Angeles, CA	Aire acondicionado-comp.	13.9	WG	(9)
Chicago, Il.	Aire acondicionado-comp.	15.3	WG	(9)
New York, NY	Aire acondicionado-comp.	20.3	WG	(9)
Houston, TX.	Aire acondicionado-comp.	5.49	WG	(9)
Northern Indiana	Aire acondicionado-comp.	42.6	WG	(9)
South Carolina	Aire acondicionado-comp.	94.1	WG	(9)
New Jersey	Area de trabajo Industrial	29.2	WG	(9)
New Jersey	Area de trabajo Industrial	62.7	WG	(9)
Cleveland, OH	Oficina	4.98	CD	(10)
Houston, TX	Oficina	5.63	CD	(10)
New York, NY	Oficina	4.73	CD	(10)
Los Angeles, CA	Oficina	4.06	CD	(10)
Borrego Sp., CA	Oficina	3.38	CD	(10)
Cleveland, OH	Sótano	7.08	CD	(10)
New York, NY	Aire acondicionado-comp.	4.7	CD	(11)
New Jersey	Industria Química	22.5	CD	(11)
Jersey	Industria ref. de aceite	8.0	CD	(11)
Alabama	Industria del papel	137.6	CD	(11)

WG =Ganancia de peso, CD=reducción catódica, A.C.= Aire Acondicionado

1.4 TÉCNICA DE PÉRDIDA DE PESO O GRAVIMÉTRICA.

Consiste en someter a una muestra metálica a un medio agresivo por un periodo determinado de tiempo. La velocidad de corrosión se puede calcular mediante la siguiente ecuación, según la Norma ASTM 631.

$$\text{mpy} = (\text{pp} \times 3.45 \times 10^6) / (\text{A} \times \text{t} \times \rho) \text{ ecuación 1.1}$$

donde pp es la pérdida de peso en gramos

A es el área en cm^2

t es el tiempo en horas

ρ es la densidad del metal

mpy es la velocidad de corrosión en milipulgadas por año.

1.5 IDENTIFICACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE CORROSIÓN DE COMPUESTOS INORGÁNICOS POR ESPECTROSCOPIA INFRARROJO (12, 13, 14, 15, 16).

El espectro infrarrojo de un compuesto químico es una característica única de las moléculas que, en general, se conserva al mezclarlos con otros compuestos. Si no existen interacciones moleculares intensas, el espectro infrarrojo de una mezcla de compuestos es la superposición de los espectros de los componentes puros, siendo la intensidad de las bandas dependiente de la concentración de cada uno de ellos. De aquí, que la comparación del espectro de una mezcla problema con los de un catálogo de compuestos puros permita la determinación de todos sus componentes. Es preciso tener en cuenta las frecuencias características de los diversos grupos atómicos.

En la comparación del espectro problema con los de los posibles componentes, conviene empezar identificando las bandas más intensas, teniendo en cuenta muy especialmente su intensidad relativa. Así, si uno de los posibles componentes tiene dos bandas fuertes de intensidad parecida y en el espectro de la muestra problema sólo aparece una de ellas, puede descartarse con seguridad tal posibilidad, si, por el contrario, aparecen las dos bandas, pero una es débil y la otra intensa, es preciso buscar otro componente que presente absorción en la zona de esta última.

Para estar seguro de la presencia de un compuesto en la mezcla, conviene tener presente que, a veces, no pueden detectarse pequeñas cantidades en el espectro de ciertos componentes. El enmascaramiento de las bandas débiles por otras más intensas puede disminuirse mediante un mayor poder de resolución. La resolución define el grado con que pueden separarse en el espectro dos bandas finas muy próximas.

1.6 Norma ANSI/ISA-S71.04-1985.

Condiciones del Medio Ambiente para Medidas de Procesos y Sistemas de

Control: Contaminantes Aerotransportados.

TABLA DE CONTENIDO

SECCIÓN

- 1.- Propósito
- 2.- Alcance
- 3.- Introducción
- 4.- Contaminantes Aerotransportados. Líquidos
- 5.- Contaminantes Aerotransportados. Sólidos
- 6.- Contaminantes Aerotransportados. Gases
- 7.- Influencias Biológicas

LISTA DE TABLAS

- 1.- Clasificación de contaminantes activos químicamente. Aerosoles Líquidos
- 2.- Clasificación de partículas aerotransportadas
- 3.- Clasificación de la reactividad del medio ambiente.

LISTA DE APÉNDICES

- A. Terminología
- B. B.1 Fuentes Comunes de constituyentes reactivos del medio ambiente
B.2 Emisiones Comunes de procesos industriales naturales
- C. Muestras para reactividad del cobre.

PREFACIO

Este prefacio se incluye para propósitos de información y no es parte de ISA-S 71.04.

Este estándar ha sido preparado como parte del servicio en la ISA (Sociedad Americana de Instrumentos) con objeto de uniformidad en el campo de la instrumentación. Para tener valor real, este documento puede ser sujeto a revisión periódica. Para este fin, la Sociedad da la bienvenida a todos los comentarios y a que éstos sean dirigidos a la Secretary Standards and Practices Board, Instrument Society of America, 67 Alexander Drive, P.O. Box 12277, Research Triangle Park, NC 27709, Teléfono (919) 549-84-11.

El Departamento de estándares y Prácticas de ISA está consciente del necesario crecimiento del sistema métrico de unidades en general, y en particular del SIU (Sistema Internacional de Unidades), en la preparación de estándares de instrumentación. El Departamento está además enterado de los beneficios de usar los estándares de ISA y de incorporar referencias deseables al S.I.(y Sistema Métrico) y sus negocios y relaciones profesionales con otros países. Para este fin, este Departamento se esforzó por introducir el S.I. y aceptar el sistema métrico de unidades y revisar los estándares en la mayor extensión posible. La guía práctica métrica, la cual ha sido publicada por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos como ANSI/IEEE y revisiones futuras podrían servir de una guía de referencia para definiciones, símbolos, abreviaciones y factores de conversión.

Este documento es uno de varios estándares cubriendo condiciones del medio ambiente que afectan medidas y sistemas de control. En el desarrollo de este estándar

las metas del comité incluyen lo siguiente: 1.- Proveer un estándar práctico que pueda ser aplicado con un mínimo esfuerzo técnico y de investigación para su uso.

2.- Proveer un método conciso de clasificaciones de estado del medio ambiente para comunicación conveniente entre los usuarios de este estándar.

3.-Cubrir rangos reales de cada parámetro clasificado. Este estándar está limitado a contaminantes transportados por el aire, influencias biológicas únicamente, cubriendo influencias de la contaminación que afectan mediciones de procesos industriales y sistemas de control.

1.-PROPÓSITO

El objetivo de este estándar es clasificar los contaminantes aerotransportados que puedan afectar la medición de los procesos y los instrumentos de control. El sistema de clasificación proporciona el uso y la manufactura de instrumentos con un medio de especificación. Este documento es uno de una serie de estándares en condiciones de medio ambiente para medida de procesos y sistemas de control.

2.-ALCANCE

Este estándar cubre contaminantes aerotransportados e influencias biológicas que afectan las medidas de procesos industriales y equipo de control. Las especificaciones para otras condiciones del medio ambiente incluyendo radiación nuclear y atmósferas peligrosas, están más allá del alcance de este estándar. Este estándar establece las clases de contaminantes aerotransportados para instalaciones fijas (no móviles) durante la operación normal (condiciones de no emergencia) o durante almacenamiento y transportación.

La clasificación de condiciones del medio ambiente establecidas en este estándar es adecuada para su uso en actividades relacionadas a procesos de instrumentación, incluyendo diseño, manufactura, ventas, instalación, prueba, uso y mantenimiento. Esta clasificación puede también usarse como una guía cuando se requiere establecer el control del medio ambiente o construcción de otras protecciones para medidas de procesos industriales y sistemas de control. Esta clasificación pertenece sólo a medio ambiente externo del equipo, el cual puede afectarlo externa o internamente. Los efectos de las condiciones del medio ambiente en la seguridad, comodidad y desempeño del personal de operación y mantenimiento no son considerados en este estándar.

PRECAUCIÓN. Los contaminantes biológicos aerotransportados no son listados en este documento pero pueden causar daño al equipo. La precaución debe ser usada cuando una combinación de factores excede la clase "X". Cuando esto ocurre se sugiere consultar a un especialista químico.

3.-INTRODUCCIÓN

Las clasificaciones del medio ambiente han sido establecidas de acuerdo al tipo de contaminante. Dentro de cada clasificación, también han sido establecidos niveles de severidad. Se han tabulado valores límites de parámetros para cada clasificación y nivel de severidad del contaminante. La clasificación consiste de una letra de la clase de contaminante seguida por una identificación numérica de la severidad.

Algunos de estos contaminantes pueden aparecer en más de una forma, es decir: gas, líquido o sólido. Para propósitos de este documento, un contaminante particular podría

ser clasificado en la forma en la cual es más frecuente que exista bajo condiciones ambientales. El usuario o fabricante debe especificar el funcionamiento del equipo de acuerdo a la clase y nivel de severidad del medio ambiente al que será expuesto. Es posible especificar varias clases de contaminantes y niveles de severidad para el mismo equipo.

Los efectos de temperatura y químicos pueden acelerar las reacciones químicas destructivas, en más del doble por cada 10 grados centígrados de incremento en temperatura. La humedad relativa variable o alta y mezclas de contaminantes pueden acelerar los efectos de corrosividad .(sección 6 , Tabla 3).

Los contaminantes son listados como Clase A, B, etc. o como Clase Especial X con niveles de severidad incrementándose 1,2,3, X. Los contaminantes son listados con un prefijo de "L" para líquido, "G" para gas y "S" para sólidos.

Ejemplo: Los siguientes niveles de severidad de contaminantes aerotransportados son durante el funcionamiento normal.

Contaminantes	Concentración	Referencia Clase/ Severidad	Tabla No.
---------------	---------------	--------------------------------	-----------

LÍQUIDOS:			
Tricloroetileno	<5µg /kg	LA2	1
Aceites	<100µg/kg	LB3	1
Niebla de sales de mar	dentro 0.5 km	LC2	1
SÓLIDOS:			
Tamaño de partícula.	Concentración Nivel		
>1 mm	<1000 µg/m ³	SA1	2
100 a 1000µm	<3000µg/m ³	SB2	2
1 a 100µm	<350 µg/m ³	SC3	2
<1µm	<350µg/m ³	SD3	2
GASES:	Severo >2000A° formación de película en cupones de cobre, después de un mes de exposición.	G3	3

4.-CONTAMINANTES AEROTRANSPORTADOS – LIQUIDOS.

(referido a la tabla 1)

LIQUIDOS. Esta referencia es para líquidos que corroen equipo sin protección. Son transportados al equipo por condensación, lluvia, líquidos rociados, o fluidos de limpieza no especificados pero que podrían ser especificados para la manufactura del equipo por clasificación especial LX.

VAPORES. Los solventes algunas veces se ocupan como vapores, los cuales pueden condensar y formar charcos que llegan a ser corrosivos para instrumentos y controles.

AEROSOLES. Los aerosoles son líquidos llevados en gas o aire en la forma de pequeñas gotas generando nieblas. Los aerosoles pueden variar en composición y son mayor fuente de contaminación química para el equipo.

NIEBLAS DE SALES DE MAR (TABLA 1).

Ejemplos:

Clase LC1 interior mayor que 0.5 km. de la orilla de la playa.

Clase LC2 interior menor que 0.5 km. de la orilla de la playa.

Clase LC3 Instalaciones a la orilla del mar (aceites, aparatos de pesca, etc.)

Ejemplos Generales (referidos a la tabla 1).

Contaminante	Clase de contaminante
--------------	-----------------------

Tricloroetileno	LA2
Aceites (cuartos de máquinas, estaciones compresoras)	LB1
Especiales (los contaminantes se deben especificar)	LX3

TABLA 1

Clasificación de contaminantes activados químicamente:

Líquidos Aerosoles (medidos en µg/kg excepto los especificados)

	Severidad	Severidad	Severidad	Severidad
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel X (especial)

Contaminante	Clase	Valor	Valor	Valor	Valor
Vapores*	LA	<1.0	<5.0	<20.0	≥20.0
Aceites	LB	<5.0	<50.0	<100.0	≥100.0
Niebla de sales de mar.	LC	Mayor que 0.5km dentro	Menor que 0.5km	Instalaciones a la orilla del mar.	T.B.S.
Especial T.B.S.	LX	T.B.S.	T.B.S.	T.B.S..	T.B.S.

*Por ejemplo, tricloroetileno (CH₂ClCCl₂)

NOTAS: 1.0 µg/kg. - 1.0 parte por billón (p/10⁹)

T.B.S. = Para ser Especificada

< se define como "menor que"

> se define como "mayor que"

≥ se define como "mayor que o igual a "

5.- CONTAMINANTES AEROTRANSPORTADOS SÓLIDOS

(referidos a la tabla 2)

Generalidades

El polvo es un contaminante y es una causa de fallas en el equipo. Los tipos de fallas pueden ser mecánicas, químicas, eléctricas, térmicas, o magnéticas. Para maximizar la vida útil del equipo es vital cada esfuerzo que sea hecho para minimizar la exposición a

las partículas aerotransportadas. La sensibilidad del equipo de control a diferentes tipos de partículas varía ampliamente. Algunos de los mayores efectos son discutidos en la siguiente sección. Las especificaciones deberían incluir una descripción de estas características de los tipos de partículas si ellas son relevantes. La clasificación del tamaño de partícula y las concentraciones se dan en la tabla 2.

PROPIEDADES PARTICULARES QUE AFECTAN AL EQUIPO.

Permeabilidad Magnética

Las sustancias permeables magnéticamente pueden acumularse en campos magnéticos; por ejemplo, el movimiento de carretes o movimiento de galvanómetro puede ser severamente restringido o enteramente inmovilizado por sustancias magnéticas acumuladas en zonas del aire de magneto permanente. Así mismo, los motores eléctricos pueden ser seriamente dañados por materiales magnéticos acumulados entre rotor y estator.

Conductividad Térmica

Las propiedades de aislamiento térmico de algunas partículas sólidas pueden causar sobrecalentamiento en sistemas de enfriamiento (el cual puede llegar a aislarse por depósitos superficiales de estas sustancias). Por ejemplo, aletas de enfriamiento de potencia electrónica pueden ser aislados seriamente por fibras textiles.

Conductividad Eléctrica

Las sustancias sólidas son divididas en dos grupos: los buenos conductores eléctricos y sustancias altamente aislantes.

Los conductores eléctricos tales como metales, carbones negros y polvos de carbón,

pueden causar cortocircuitos mientras que se instalan entre terminales.

Las sustancias de aislamiento pueden acumular cargas estáticas que alteran el funcionamiento de computadoras y circuitos integrados. Algunos aislantes adsorben humedad bajo condiciones de alta humedad relativa. Esto causa un incremento en la conductividad y pueden resultar en fallas del equipo debido a fugas eléctricas.

Adhesividad

Esta característica causa que un contaminante pueda ser adherido y acumulado en superficies. Esto intensifica efectos indeseables tales como aislante térmico, alta descarga de voltaje y fallas de comportamiento. Cualidades adhesivas pueden ser inherentes a el contaminante, tales como humo de cigarro, el cual contiene alquitrán pegajoso.

Química

El material particulado aerotransportado varía desde estructura cristalina dura tales como minerales metálicos hasta blandas estructuras porosas tales como polvo atmosférico, ceniza volátil y humo. Las partículas porosas con tamaños menores a un micrómetro pueden adsorber contaminantes gaseosos y humedad. Esto puede causar fallas en el equipo debido a la corrosión acelerada.

Abrasión

Es un factor significativo en la erosión mecánica por contaminantes sólidos de alta velocidad. También contribuye al deterioro acelerado de partes en movimiento.

Explicación de la Tabla 2.

Las partículas sólidas son clasificadas por tamaños.

El medio ambiente debe ser descrito en términos de niveles de severidad y de la concentración para cada clase, clase SA hasta SD.

TABLA 2

CLASIFICACIÓN DE PARTÍCULAS AEROTRANSPORTADAS

Tamaño de Partícula	Clase	Nivel de severidad (Concentraciones medidas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		1	2	3	X
>1mm	SA	< 1000	< 5000	< 10000	$\geq 10\ 000$
100 μm a 1000 μm	SB	< 500	< 3000	< 5000	≥ 5000
1 μm a 100 μm	SC	< 70	< 200	< 350	≥ 350
<1 μm	SD	< 70	< 200	< 350	≥ 350

NOTAS: μm = micrómetro = 0.001 milímetro

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ =microgramos por metro cúbico

6.-CONTAMINANTES AEROTRANSPORTADOS -GASES

Reactividad.

Han sido utilizados dos métodos para la caracterización del medio ambiente. Uno es la medida directa de los contaminantes en aire gaseoso, otra es "seguimiento de la reactividad" la cual provee una cantidad medible del potencial corrosivo de un medio.

Los análisis de contaminación pueden proveer estimados en tiempos cortos para sitios específicos. Altos valores podrían confirmar que existe un medio ambiente severo. El

inverso, sin embargo, no es necesariamente cierto. Los medios ambientes de tipo industrial pueden contener una mezcla compleja de contaminantes que interactúan para acelerar grandemente o retardar la acción corrosiva de especies gaseosas individuales.

Para evitar estas dificultades prácticas, la naturaleza del medio ambiente industrial se define en términos de la velocidad a la cual reaccionan con el cobre. Como una medida directa del potencial corrosivo, monitorear la reactividad involucra la colocación de cupones de cobre preparados especialmente en los medios ambientes de interés.

El cobre ha sido seleccionado como el material de cupón porque existen datos los cuales correlacionan la formación de películas de cobre con los medios ambientes reactivos. Ha probado ser útil particularmente en la caracterización del medio ambiente. Los análisis pueden consistir de mediciones de espesores de película, química de película, o pérdida de peso. La sensibilidad de las técnicas reportadas está dentro del rango requerido para la aplicación de los datos.

En la tabla 3 se establecen cuatro niveles de severidad.

Los niveles de concentración de algunos gases que contribuyen a estas velocidades de reactividad son citados también.

Efectos de la Contaminación.

Cada sitio puede tener diferentes combinaciones y niveles de concentración de contaminantes gaseosos corrosivos. La degradación desempeñada puede ocurrir rápidamente o en algunos años, dependiendo de los niveles de concentración en

particular y combinaciones presentes en un sitio. Los párrafos siguientes describen como varios contaminantes contribuyen a la degradación del funcionamiento del equipo.

Humedad Relativa.

La elevada humedad relativa acelera en forma exponencial la corrosión causada por contaminantes gaseosos. De igual importancia es el reconocimiento del hecho de que la fluctuación dramática de la temperatura, afecta la humedad relativa y frecuentemente induce a la condensación local. Aunque el agua está presente universalmente en atmósferas industriales, la concentración varía ampliamente. A continuación se describen las formas importantes de los promotores de la corrosividad del equipo.

1. Directamente, como un reactivo químico atacando metales y plásticos.
2. Interactivamente con los otros constituyentes atmosféricos, en la mayoría de los casos formando una combinación más reactiva. Un ejemplo de esto es el SO_2 el cual combinado con el agua forma H_2SO_4 .
3. Electroquímicamente. Muchas especies, al disolverse en el agua forman una solución conductora si, existen diferencias de potencial eléctrico entre dos metales distintos, las condiciones para los procesos de corrosión galvánica o electrolítica están dadas. Estos son fenómenos diferentes, pero ambos son causados y/o promovidos por un electrolito.

Compuestos Inorgánicos Clorados

(Expresados como Cl_2 en la Tabla 3).

Este grupo incluye Cl_2 , ClO_2 , HCl , etc., y la reactividad depende de la composición específica del gas. En presencia de humedad éstos gases generan iones Cl^- los cuales reaccionan rápidamente con el Cu , Sn , Ag y aleaciones de Fe .

Estas reacciones son significativas aún cuando los gases están presentes a niveles bajos del orden de ppb. Por ejemplo, la corrosividad del aire conteniendo 1 ppb de Cl_2 podría probablemente colocar ese medio ambiente en la clase G2 Moderada, categoría descrita en la explicación de Niveles de Severidad de Contaminantes. Una concentración de 10 ppb podría probablemente incrementar el nivel de severidad a clase G3 o GX. Estas reacciones son atenuadas en atmósferas secas. A concentraciones más altas, muchos elastómeros y algunos plásticos son oxidados por exposición a gases clorados. Particular cuidado debe darse al equipo expuesto a atmósferas que contienen contaminantes clorados.

Las fuentes de iones cloruros, tales como compuestos para limpieza, vapores de torres de enfriamiento, etc. deben considerarse al clasificar ambientes de tipo industrial.

Efectos de los Compuestos de S activos

(Expresado como H_2S en Tabla 3)

Este grupo incluye H_2S , S elemental y compuestos orgánicos de S , tales como los mercaptanos. Cuando se presentan a niveles bajos de ppb la rapidez de ataque de Cu , Ag , Al y aleaciones de Fe se incrementa. La presencia de humedad y pequeñas cantidades de componentes clorados inorgánicos aceleran grandemente la corrosión

sulfurosa. Sin embargo, el ataque ocurre aún en ambientes de humedad relativa baja. En los procesos industriales los rangos de S activo y cloruros inorgánicos son la causa predominante de corrosión atmosférica.

Óxidos de Azufre

(Expresados como SO_2 y SO_3 en Tabla 3)

Las formas oxidadas de S (SO_2 y SO_3) son generados como productos de la combustión de combustibles fósiles. Niveles bajos del orden de ppb de óxidos de S pueden pasivar metales reactivos y así retardar la corrosión.

A niveles elevados atacan a cierto tipo de mampostería, metales, elastómeros y plásticos. La reacción en mampostería y metales normalmente ocurre cuando los gases se disuelven en el agua para formar sulfatos y ácido sulfúrico.

Óxidos de Nitrógeno

(Expresados como NO_x , Tabla 3)

Los compuestos NO_x (NO , NO_2 , N_2O_4) son formados como productos de la combustión de combustibles fósiles y tienen un papel crítico en la formación de O_3 en la atmósfera. Ellos son también llevados por tener un efecto catalítico en la corrosión de metales base por cloruros y sulfuros. En presencia de humedad, algunos de estas formas gaseosas forman HNO_3 el cual ataca a los materiales más comunes.

HF

(Expresado como fluoruro de hidrógeno en la tabla 3)

Este compuesto es un miembro de la familia de los halógenos y reacciona como los compuestos clorados inorgánicos.

Amoniaco y Derivados.

(Expresados como NH_3 en la tabla 3)

Formas reducidas de N (NH_3 , aminas, iones NH_4^+) existen principalmente en plantas fertilizantes, aplicaciones en agricultura y plantas químicas. El cobre y sus aleaciones son particularmente susceptibles a corrosión en medio ambiente de NH_3 .

Especies Fotoquímicas

(Expresadas como O_3 en la tabla 3).

La atmósfera contiene una amplia variedad de especies inestables reactivas, las cuales son formadas por la reacción de la luz del sol con la humedad y otros constituyentes atmosféricos. Algunos tienen tiempos de vida medidos en fracciones de un segundo, y participan en reacciones rápidas en cadena.

Además del ozono, una lista de ejemplos podrían incluir el radical hidroxil, así como radicales de hidrocarburos, hidrocarburos oxigenados, NO_x , SO_x y H_2O . Debido a la naturaleza transitoria de la mayoría de estas especies, sus efectos primarios se aprecian en instalaciones externas y recintos. En general, plásticos y elastómeros son más susceptibles que los metales a los efectos fotoquímicos.

Oxidantes Fuertes

Estos incluyen al O_3 , además de ciertos gases clorados (Cl_2 , ClO_2).

El ozono es una forma inestable del O_2 , el cual está formado a partir de oxígeno diatómico por descarga eléctrica o por radiación solar en la atmósfera. Estos gases son poderosos blanqueadores y agentes oxidantes. Atacan la superficie de algunos elastómeros y plásticos. La oxidación fotoquímica y el efecto combinado de oxidantes y

luz ultravioleta (luz del sol) es particularmente potente. El ozono puede también funcionar como un catalizador en la corrosión por cloruros y sulfuros de metales, pero su papel preciso no es claro.

EXPLICACIÓN DE LOS NIVELES DE SEVERIDAD DE LOS CONTAMINANTES

Hay una amplia distribución de las concentraciones de los contaminantes y niveles de reactividad dentro de las industrias que aplicadas a medidas de procesos y equipo de control en medios ambientes son severamente corrosivos, mientras otros son suaves. El propósito de la clasificación de contaminantes es definir el medio ambiente en base a la velocidad de corrosión del cobre de alta conductividad libre de oxígeno, el cual es preparado y probado como se describe en el apéndice C.

Nivel de severidad G1 Suave.

Un medio ambiente suficientemente controlado tal que la corrosión no es un factor determinante en la confiabilidad del equipo.

Nivel de Severidad G2 Moderado.

Un medio ambiente en el cual los efectos de corrosión son medibles y puede ser un factor determinante en la confiabilidad del equipo

Nivel de Severidad G3.Fuerte

Un medio ambiente en el cual existe una alta probabilidad de que ocurra el ataque corrosivo. Estos niveles severos deben inducir al control del medio ambiente y al diseño especial del empaque de equipo y aparatos.

Nivel de Severidad GX. Severo.

Un medio ambiente en el cual solamente aparatos y equipo especialmente

empaquetados y diseñados podrían tener expectativas para sobrevivir. Las especificaciones para equipo y aparatos de esta clase son una materia de negociación entre usuario y proveedor.

TABLA 3

CLASIFICACIÓN DE LA REACTIVIDAD DEL MEDIO AMBIENTE.

Nivel de Severidad	G1 Suave	G2 Moderado	G3 Fuerte	GX Severo
Nivel de reactividad de Cobre (en angstroms)*	< 300	<1000	<2000	≥2000

Los niveles de concentración de gas son mostrados para propósito de referencia estos son llevados para aproximar los estados de niveles de reactividad del cobre, previendo que la humedad relativa sea menor a 50%. Para una concentración dada de gas, el nivel de severidad (y el nivel de reactividad del cobre) puede incrementarse en un nivel para cada 10% de incremento en la humedad relativa sobre 50% o para una velocidad de humedad relativa de cambios más grandes de 6% por hora.

Concentración de Gas.+

Contaminante	Gas	Concentración			
		<3	<10	<50	≥50
Grupo A++	H ₂ S	<3	<10	<50	≥50
	SO ₂ , SO ₃	<10	<100	<300	≥300
	Cl ₂	<1	<2	<10	≥ 10
Especies Reactivas	NO _x	<50	<125	<1250	≥1250
	Grupo Bξ	HF	<1	<2	<10
NH ₃		<500	<10000	<25000	≥25000
O ₃		<2	< 25	<100	≥100

NOTAS. * Medidas en angstroms después de un mes de exposición. Ver Apéndice C. Item Números 2,3.
 +mm³ /m³ (milímetros cúbicos por metros cúbicos) partes por billón promedio para periodos de prueba para gases en los Grupos A y B
 ++Los contaminantes del grupo A ocurren frecuentemente juntos y los niveles de severidad incluyen efectos sinérgicos de estos contaminantes.
 ξ Los efectos sinérgicos de los contaminantes del grupo B no son conocidos hasta ahora.

7. INFLUENCIAS BIOLÓGICAS

La flora y fauna son importantes constituyentes del medio ambiente y pueden influir en procesos industriales, equipo y aparatos de control. Generalmente un clima tropical tiene más contaminantes vivos pero otros climas pueden tener problemas similares. Por ejemplo, los insectos pueden causar paros inesperados de equipo neumático por bloqueo de los orificios con un cemento de arcilla semejante al que ellos usan para formar sus nidos. También el material aislante es frecuentemente sujeto a daño por cucarachas y roedores, etc. ya que remueven el aislante por mordiscos en los cables o alambres. La acumulación de hongos, animales muertos (insectos) pueden causar fallas mecánicas, eléctricas, o térmicas del equipo. El tema flora y fauna es una clasificación general de plantas y animales (insectos) y no es suficientemente específica para ser usada. Por lo tanto, cualquier crecimiento de vida vegetal o animal que pueda afectar el funcionamiento del equipo debe ser considerado.

APÉNDICE A TERMINOLOGÍA

- Corrosión. Deterioración de una substancia (generalmente un metal) a partir de una reacción con su medio ambiente.
- Contaminante. Aquel que hace impuro o sucio por contacto o mezcla.
- Corrosion Electroquímica. La corrosión de un metal causada por el flujo de corriente a través del electrolito entre las áreas anódica y catódica.
- Erosión. Deterioración por la acción abrasiva de fluidos, generalmente acelerados por la presencia de partículas sólidas en suspensión.
- Haluros. Componentes que contienen flúor, bromo, cloro, o yodo.
- Halógenos. Bromo, Cloro, Flúor, o Yodo.
- Higroscópico. Teniendo una tendencia a absorber agua.
- Oxidación. Pérdida de electrones por un constituyente en una reacción química.
- Óxido. Compuesto químico, combinación de metal con oxígeno.
- Reducción. Ganancia de electrones por un constituyente en una reacción química

Apéndice B - Sección 1

Algunas Fuentes comunes de constituyentes reactivos del medio ambiente.

Categoría	Símbolo	Constituyente	Algunas Fuentes Comunes
Gas	H ₂ S	Acido sulfhídrico	Emissiones geotérmicas, actividades microbiológicas; procesamiento de combustibles fósiles, pulpa de madera, tratamiento de aguas de desecho, combustión de combustibles fósiles, fusión de minerales, emisiones de autos, manufactura de ácido sulfúrico.
Gas	SO ₃ , SO ₂	óxidos de azufre	Combustión de combustibles fósiles, emisiones de autos, fusión de minerales, manufactura de ácido sulfúrico, humo de tabaco.
Gas	S _H , R-SH	Mercaptanos	Fundiciones, manufactura de azufre
Gas	HF	Fluoruro de Hidrógeno	Manufactura de: fertilizantes, aluminio, cerámicos, aceros, dispositivos electrónicos, combustibles fósiles.
Gas	NO _x	Óxidos de nitrógeno	Emissiones de automóviles, combustión de combustibles fósiles, microbios, industria química.
Gas	N ₂	Nitrógeno Orgánico Activado	Emissiones de automóviles, desperdicio de animales, combustión de vegetales, aguas negras, pulpa de madera.
Gas	NH ₃	Amoniaco	Microbios, aguas negras, manufactura de fertilizantes, vapor geotérmico, equipo de refrigeración, productos de limpieza, máquinas de reproducción (impresión azul) heliográficas.
Sólido	C	Carbón	Combustión incompleta (constituyente de aerosoles), fundición.
Gas	CO	Monóxido de Carbono	Combustión, emisiones de automóviles, microbios, árboles y pulpa de papel.
Gas	Cl ₂ , ClO ₂	Cloro Dióxido de cloro	Manufactura de cloro, manufactura de aluminio, molinos de papel, descomposición de desechos, productos de limpieza.
Gas	HCl	Cloruro de Hidrógeno	Emissiones de automóviles, combustión, procesos oceánicos, combustión de polímeros.
Gas	HBr, HI	Componentes Halogenados	Emissiones de automóviles.
Líquido	Cl ⁻	Iones cloruro	Contenido de aerosoles, procesos oceánicos, procesamiento de minerales.
Gas	O ₃	Ozono	Principalmente procesos atmosféricos fotoquímicos involucran óxidos de nitrógeno e hidrocarburos oxigenados, emisiones de automóviles, filtros electrostáticos, etc.
Gas	C _n H _n	Hidrocarburos	Emissiones de automóviles, procesamiento de combustibles fósiles, humo de tabaco, tratamiento de agua, microbios. Muchas otras fuentes, ambas natural e industrial, molinos de papel.
Sólido		polvo inorgánico	Cristal de roca, combustión, soplado de arena y muchas fuentes industriales.

Apéndice B - Sección 2

Emisiones Comunes de Procesos Industriales y Naturales.

Microbios	H ₂ , NO _x , CO, NH ₃ , H ₂ S, gran variedad de tipo orgánico.
Aguas sucias	NH ₃ , aldehidos, muchos orgánicos, mercaptanos, S, CO, H ₂
Geotérmico	H ₂ , SO ₂ , H ₂ S.
Areas Pantanosas	H ₂ S, NH ₃ , SO ₂ .
Materia Animal	Muchos orgánicos, principalmente oxigenados.
Incendios Forestales	HCl, CO, CO ₂ .
Océanos	NaCl, iones cloruro

Procesos Industriales

Emisiones

Generación de potencia	SO ₂ , C, CO, NO _x , hidrocarburos, orgánicos.
Combustión de automóviles	SO ₂ , SO ₃ , HCl, HBr, NO _x , hidrocarburos orgánicos,
Combustión de diesel	CO, NO _x , muchos orgánicos.
Procesamiento de combustibles fósiles	H ₂ S, S, SO ₂ , NH ₃ , hidrocarburos, otros orgánicos, mercaptanos
Manufactura de plásticos	todos orgánicos, aldehidos, alcoholes, NH ₃ , SO ₂
Plantas de Cemento	SO ₃ , polvo, SO ₂ , NO _x , CO.
Alto Homo	H ₂ S, SO ₂ , CO, C, HF, polvo de carbón.
Horno Eléctrico de Acero	C, CO, H ₂ S, SO ₂
Plantas de Coque	H ₂ S, CO, HCN, polvo de carbón
Manufactura de pulpa	Cl ₂ , CO, H ₂ S, SO ₂ fibras de madera, polvo.
Plantas de cloro	Cloruros, componentes clorados NaCl.
Manufactura de Fertilizantes	HF, NH ₃ , CH ₄ , gas, líquidos, polvo, ácidos.
Procesamiento de alimentos	Hidrocarburos, muchos orgánicos
Manufactura de gasolinas y vapores combustibles	Hidrocarburos, hidrocarburos oxigenados.
Manufactura de Baterías	SO ₂ , ácidos, polvos.
Hule	H ₂ S, S _n , R-SH
Manufactura de Pinturas	C, hidrocarburos, hidrocarburos oxigenados, polvo.
Manufactura de Aluminio	HF, SO ₂ , C, polvo
Fusión de Minerale	SO ₂ , CO, H ₂ , polvo
Humo de tabaco	CO, H ₂ S, SO ₂ , HCN, alquitrán y partículas

APÉNDICE C

Muestras para reactividad del cobre.

1.- Preparación de la muestra de cobre (tamaño nominal 15 cm²) de 99.99% de pureza, libre de oxígeno de alta conductividad (OFHC), 0.635 mm de espesor de lámina, ½ -3/4 de dureza.

Lijar con papel metalográfico usando lubricante de cera en lija 240x, 400x,600x.

Limpia con algodón remojado en acetona caliente grado reactivo, enjuagar en alcohol isopropílico caliente. Almacenar en contenedor de vidrio purgado con nitrógeno seco.

La preparación de las muestras debe hacerse lo más próximo al tiempo de colocación.

2.- Exposición de las muestras.

Los tres cupones de cobre deben ser colocados verticalmente en el sitio a donde van a ser monitoreados. Se debe tener cuidado particular para evitar la contaminación de las superficies tales como huellas digitales. La instalación debe ser en un área en la cual la velocidad de flujo de aire sea característica del lugar. La corrosión se define en términos del espesor de película de corrosión la cual se forma durante un mes de exposición. Es de reconocer que la película formada podría ser pequeña en áreas medias pero rápidas en sitios severos. Para facilitar las medidas de espesor de película, en estas condiciones extremas, los tiempos de prueba pueden ser extendido a tres meses en sitios medios o reducidos a dos semanas en medios ambientes severos. La corrosión de cobre no es lineal, así cambios a este tipo deben ser hechos con gran cuidado.

La experiencia ha demostrado que mediciones sobre tiempos más largos o más cortos de prueba pueden ser reducidos a un valor normalizado de un mes usando la relación:

$$X_1 = X(t_1/t)^A \text{ ecuación 1.2}$$

donde:

X_1 es el espesor de película equivalente después de un mes.

X es la medida de espesor de película después de un tiempo t

t_1 son treinta días

t es el tiempo actual de prueba (días)

A es igual a 0.3 para G1, 0.5 para G2, 1 para G3 y para GX.

3.- Análisis de la muestra.

El espesor de película debe ser determinada por reducción catódica utilizando el método de W. E. Campbell y U. B. Thomas, "Estudios de Deslustre", Publicaciones Técnicas sistema telefónico Bell, Monograma 13, 1170 (1939).

4.- Referencias.

Abbott, W.H. "Los efectos del medio ambiente en la operación de equipo eléctrico y electrónico en la industria de la pulpa y el papel". Documento presentado a la IEEE Sociedad de aplicaciones industriales 1983 conferencia técnica del papel y la pulpa, Mayo de 1983. Memorias de la Conferencia IEEE, New York, Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, Corp. 1983.

Rice, D.W. et al. "Corrosión atmosférica de Cobre y Plata "J. Soc. Electroquímica 128, No. 2 (Febrero de 1981): 275-284.

CAPITULO II

TÉCNICA EXPERIMENTAL.

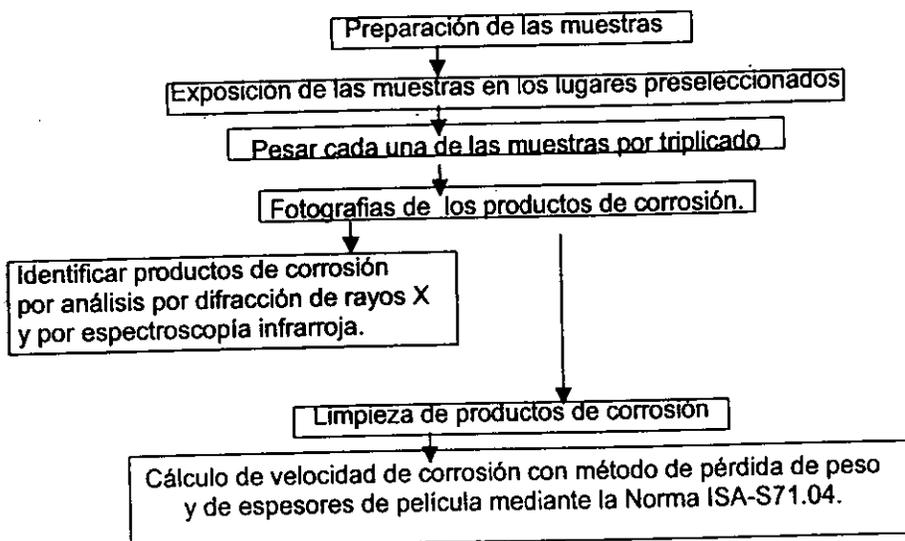
II.1 Introducción.

El plan de trabajo consiste en evaluar el espesor de las películas formadas utilizando la norma ISA-S71.04-1985 para clasificar la atmósfera en el interior de los edificios de Ciudad Universitaria.

Después de un mes de exposición se pesa cada muestra, se identifica y se toman fotografías de cada cupón antes de aplicar la técnica de pérdida de peso para calcular la velocidad de corrosión.

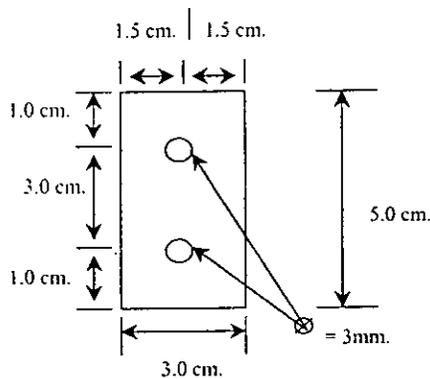
Se analizarán los productos de corrosión formados mediante las técnicas de Difracción de Rayos X y Espectroscopia Infrarroja.

Diagrama de bloques de las principales actividades realizadas en esta Tesis.



II.1.1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Se cortan 10 muestras de 3x5 cm, de cobre de 99.99% de pureza, libre de oxígeno, de alta conductividad (OFHC). A cada cupón se le hace dos perforaciones de 3 mm. de diámetro a 1 cm del lado de 3.0 cm. y a 1.5 cm del lado de 5.0 cm.



Cada uno de los cupones se lija por ambos lados, en lija 600 utilizando nujol como lubricante. Se limpia con algodón remojado en acetona caliente y se enjuaga en alcohol isopropílico caliente. Para mantener caliente (no en ebullición) la acetona y el alcohol isopropílico se colocan en vasos de precipitados en un mismo baño maría. Temperatura de ebullición: Acetona 56.5°C, alcohol isopropílico 82.4 °C.

La preparación de las muestras debe hacerse lo más próximo al tiempo de colocación, para evitar que se contaminen. Las muestras preparadas se guardan dentro de una bolsa de plástico libre de aire en un desecador (máximo un día).

II.1.2 SITIOS DE EXPOSICIÓN.

Los sitios de exposición para los cupones de cobre fueron tres: el Laboratorio de Fundición, una Oficina sin aire acondicionado y el Laboratorio de Corrosión, todos localizados en el edificio "D" de la Facultad de Química. Los cupones se colocaron por triplicado en cada sitio elegido.

II.1.3. EXPOSICIÓN DE LAS MUESTRAS.

Los tres cupones de cobre se colocan verticalmente en el dispositivo entre las placas de acrílico, ajustando con los pernos, a una distancia de 2.5 cm del cupón a cada lado de la placa de acrílico, en el sitio a donde van a ser expuestos durante un mes. Es importante que durante el tiempo de colocación y retiro de los cupones, éstos se manipulen con algodón o papel, evitando el contacto directo con los dedos para no contaminarlos.

Transcurrido un mes de exposición a la atmósfera, los cupones se retiran y se etiquetan con los siguientes datos: fecha de inicio y término de la exposición, número de muestra y, a qué sitio pertenecen. Se pesa cada uno de los cupones por triplicado y se observan al microscopio para tomar fotografías. Las fotografías más representativas de los productos de corrosión encontrados se muestran en el capítulo III.

II.2 LIMPIEZA DE LOS PRODUCTOS DE CORROSIÓN.

Se utilizó una balanza analítica marca Oerling, modelo NA 164, para pesar cada una de las muestras, hasta obtener peso constante. La solución decapante se prepara

mezclando 250 ml de HCl (densidad 1.19g/ml) con 250 ml de agua destilada.

Se inyecta nitrógeno puro para evitar la remoción de cobre, en 80 ml de la solución decapante contenida en un vaso de precipitados de 100 ml, se introduce el cupón durante un minuto, se enjuaga con acetona, se seca, se pesa por triplicado y se calcula el peso promedio: Esta serie de operaciones se repite tres veces más de ser necesario. Los resultados obtenidos de pérdida de peso se muestran en el anexo I, y en donde también se presentan las velocidades de corrosión calculadas a partir de la ecuación (I.1).

Aplicando la ecuación (I.2) se obtiene el espesor de la película, éstos resultados se presentan en las tablas del capítulo III.

II.3 IDENTIFICACION DE PRODUCTOS DE CORROSIÓN

ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X.

Los análisis fueron hechos en la USAI (Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación), utilizando el método de Polvo con muestras expuestas durante un mes a la atmósfera del laboratorio de corrosión. El equipo utilizado opera a 35Kv, 30mA, produce una radiación Cuka₁, se utilizó una velocidad de barrido igual a 1.5°/min. y un monocromador secundario de cobre (cátodo de cobre). Paralela a esta prueba se enviaron dos muestras a las instalaciones del CINVESTAV-Mérida, para identificar y medir el espesor de la película de los productos de corrosión, usando el método de Difracción de Rayos X por Haz Rasante. En la sección de resultados se presentan algunos de los difractogramas obtenidos para muestras expuestas a la atmósfera del laboratorio de corrosión y el laboratorio de fundición durante uno y tres meses.

II.3.2 ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPIA INFRARROJO.

Se utilizaron cuatro muestras expuestas a la atmósfera del laboratorio de fundición, durante 3 y 4 meses.

Con objeto de investigar las bandas presentes, los espectros en el infrarrojo de los productos de corrosión de cobre fueron obtenidos en un espectrofotómetro marca Perkin Elmer 1605 series 1600 FIR utilizando la técnica de Transformada de Laplace en la USAI (Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación) en muestras expuestas a la atmósfera durante tres meses.

Para las muestras expuestas durante cuatro meses a la atmósfera, el análisis se realizó en el Instituto de Física utilizando un espectrofotómetro marca Nicolet modelo 510FT-IR y la técnica utilizada fue por Reflectancia Difusa.

En el capítulo III se muestran las figuras de los espectros obtenidos por Infrarrojo correspondientes a la identificación de los productos de corrosión de cobre.

Cronopotenciometria

Se había pensado en un inicio que la técnica de cronopotenciometria permitiría una identificación fácil de los óxidos formados en las probetas expuestas. En la realidad no fue así, sin embargo dada la importancia de esta técnica en trabajos futuros se remite al lector al apéndice IV para una mejor comprensión de la misma.

CAPITULO III

RESULTADOS.

TABLAS

Fig. III.1 TABLA III.1

Velocidades de corrosión para cupones de cobre (milimicras/mes).

Primavera (marzo -abril -mayo)	Verano (junio-julioagosto)
Temperatura promedio 16°C	Temperatura promedio 18°C
Humedad Relativa 45%	Humedad Relativa 47%

LUGARES	MES 1 MARZO- ABRIL	MES 2 ABRIL- MAYO	MES 3 MAYO- JUNIO	MES 4 JUNIO- JULIO	MES 5 JULIO- AGOSTO	MES 6 AGOSTO- SEP.
Lab. de Fundición	57.8557	50.3093	71.66908	61.6289	75.4640	77.9795
Lab. de Corrosión	52.8248	60.3712	67.9176	55.3402	67.9176	47.7939
Oficina	52.8248	40.2475	40.2475	27.6701	37.7320	42.7629

Fig. III.2 TABLA III.II

ESPEORES EN (°A) DE LOS PRODUCTOS DE CORROSIÓN EN MUESTRAS DE COBRE EXPUESTAS A LA ATMOSFERA.

LUGARES	MES 1 MARZO- ABRIL	MES 2 ABRIL- MAYO	MES 3 MAYO- JUNIO	MES 4 JUNIO- JULIO	MES 5 JULIO- AGOSTO	MES 6 AGOSTO -SEP.
Lab. de Fundición	599	480	705	436	742	767
Lab. de Corrosión	547	585	668	391	668	470
Oficina	547	490	396	225	371	420

Fig. 1. VELOCIDADES DE CORROSION PARA CUPONES DE Cu ($m\mu/mes$)

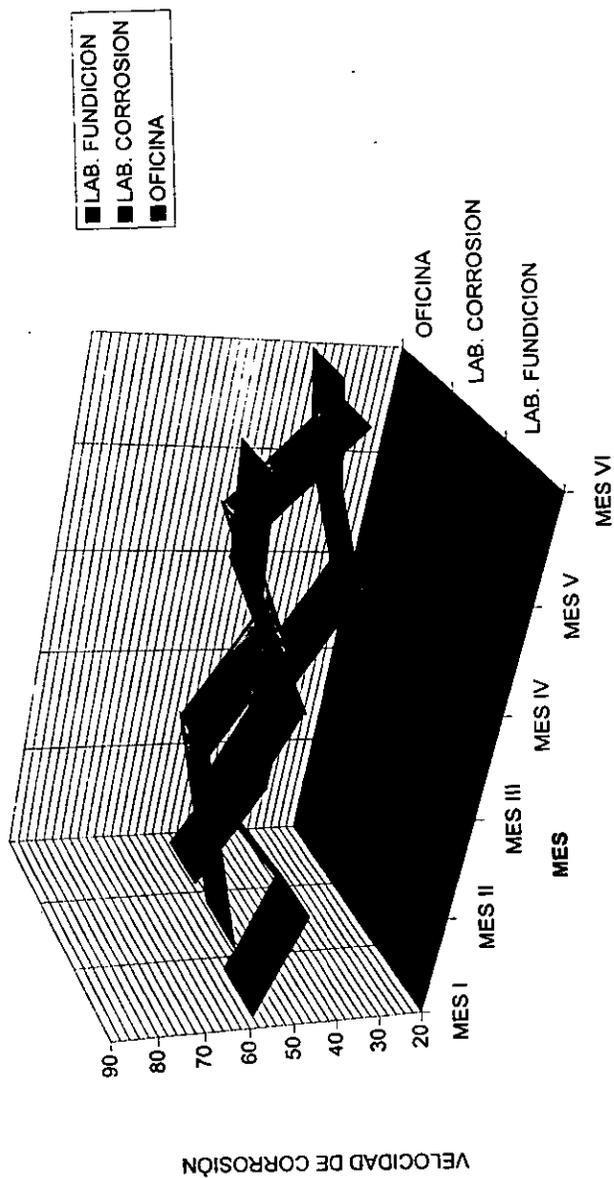


Fig. 2. COMPARACION VELOCIDADES DE CORROSION EN $m\mu/mes$ EN LOS SITIOS DE EXPOSICION

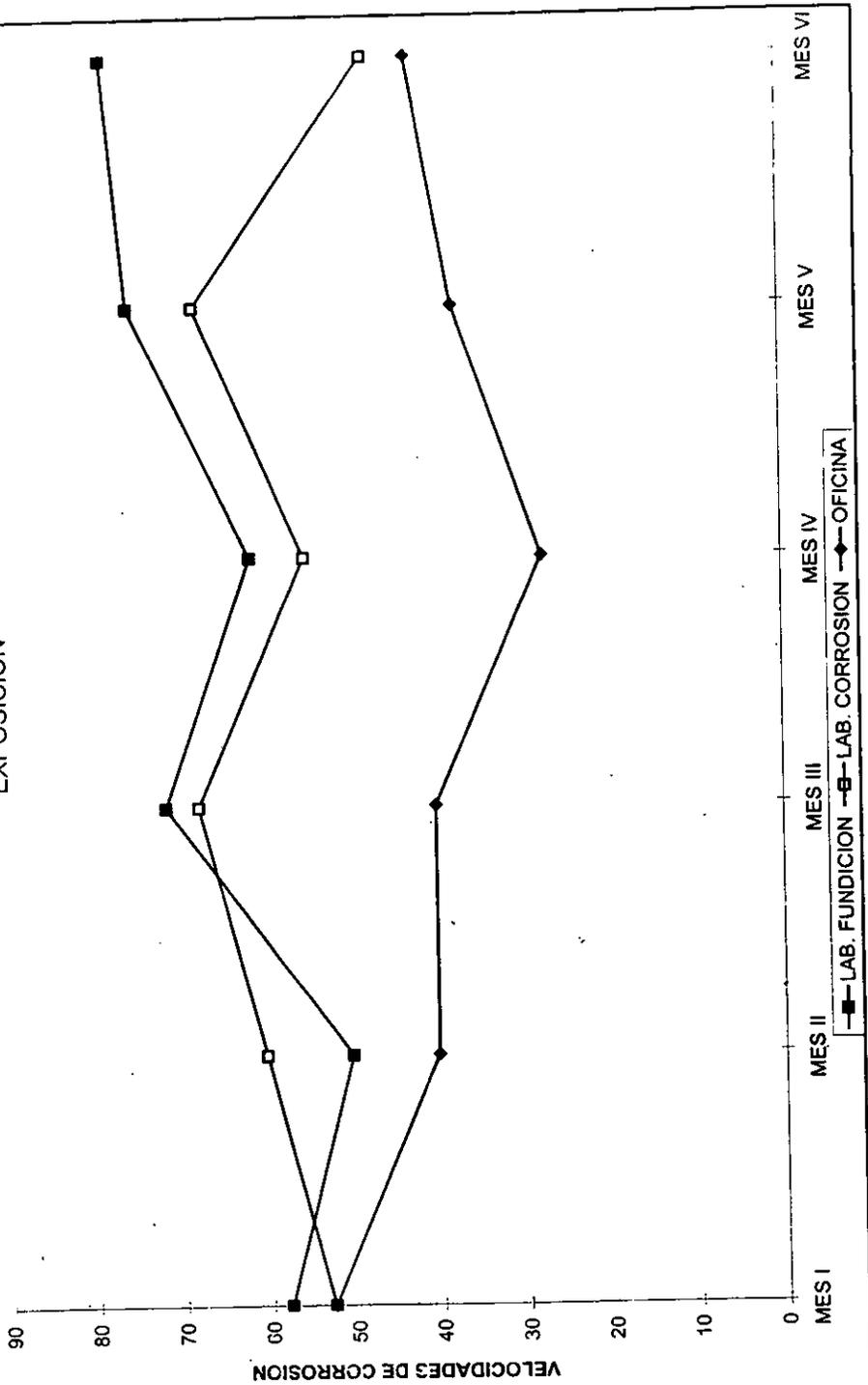


Fig. 3. VELOCIDADES DE CORROSION EN $m\mu/mes$ EN EL LABORATORIO DE FUNDICION

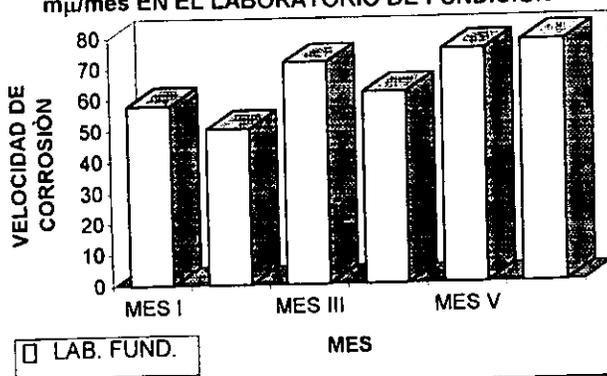


Fig.4 VELOCIDADES DE CORROSION EN MILIMICRAS/MES EN EL LAB. DECORROSION .

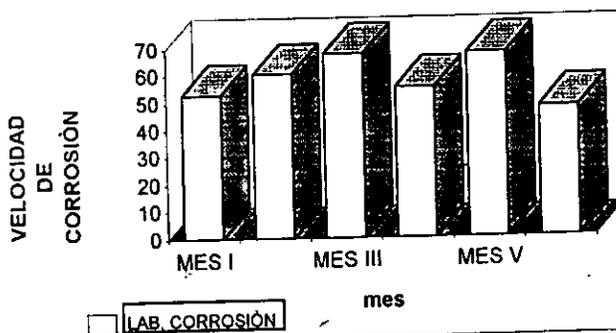
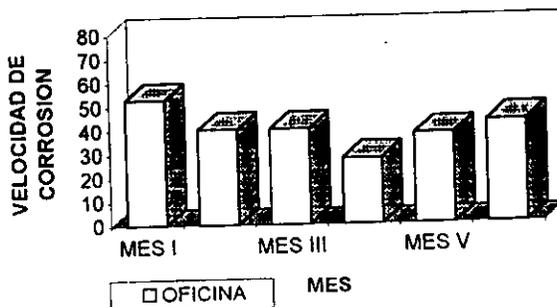


Fig. 5. VELOCIDADES DE CORROSION EN $m\mu/mes$ EN LA OFICINA.



III.1.1 FOTOGRAFIAS.

Las figuras III.1.1 a III.1.6 presentan las fotografías después de un mes de exposición a la atmósfera y las III.1.7 pertenecen a muestras después de tres meses de exposición.

En la fig. III.1.1a se presenta la fotografía a 300 aumentos, de una muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de fundición.

En la fig. III.1.1b se presenta la fotografía a 150 aumentos, de una muestra expuesta a la atmósfera de una oficina.

En la fig. III.1.2a se presenta la fotografía a 12 aumentos, de una muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de corrosión.

En la fig. III.1.2 b se presenta la fotografía a 32 aumentos, de una muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de corrosión.

En la fig. III.1.3a se presenta la fotografía a 150 aumentos, de una muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de corrosión.

En la fig. III.1.3 b se presenta la fotografía a 37.5 aumentos, de una muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de fundición.

En la fig. III.1.4a se presenta la fotografía a 150 aumentos, de una muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de fundición.

En la fig. III.1.4 b se presenta la fotografía a 150 aumentos, de una muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de corrosión.

En la fig. III.1.5a se presenta la fotografía a 75 aumentos, de una muestra expuesta a la atmósfera de una oficina.

En la fig. III.1.5b se presenta la fotografía a 75 aumentos, de una muestra expuesta a la atmósfera de una oficina.

En la fig. III.1.6a se presenta la fotografía a 150 aumentos, de una muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de fundición.

En la fig. III.1.6 b se presenta la fotografía a 300 aumentos, de una muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de corrosión.

En la fig. III.1.7a se presenta la fotografía a 37.5 aumentos, de una muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de fundición.

En la fig. III.1.7b se presenta la fotografía a 75 aumentos, de una muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de fundición.



Fig. III.1.1a Muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de fundición.
durante el mes I (marzo) . 300 aumentos.

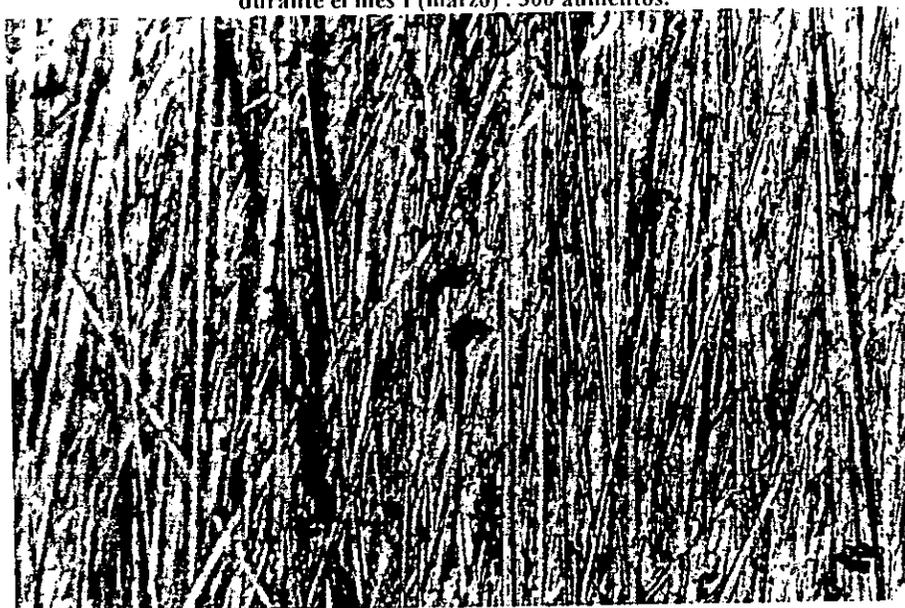


Fig. III.1.1b Muestra expuesta a la atmósfera de una oficina.
durante el mes I (marzo) . 150 aumentos.

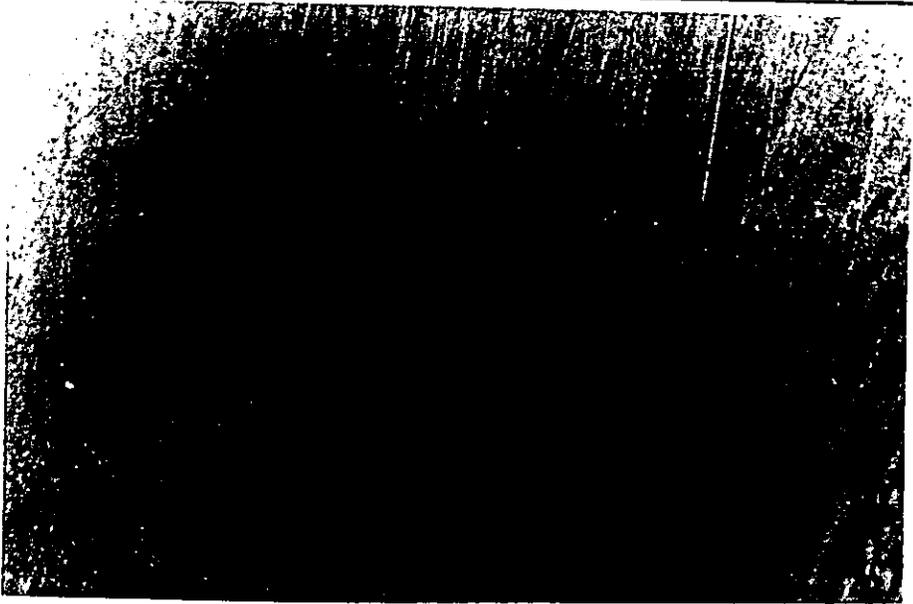


Fig. III.1.2a Muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de corrosión durante el mes II (abril). 12 aumentos



Fig. III.1.2 b Muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de corrosión. durante el mes II (abril). 32 aumentos

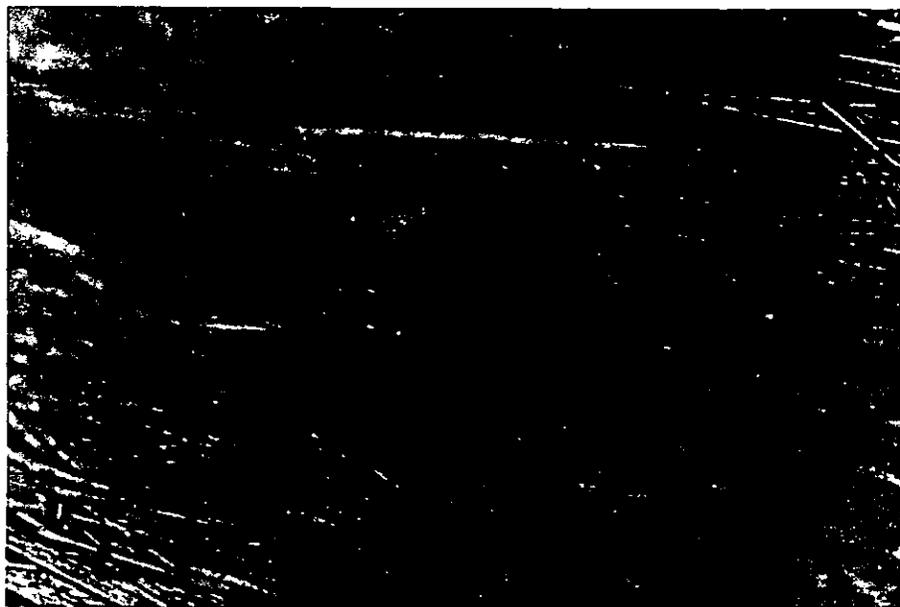


Fig. III.1.3a Muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de corrosión durante el mes III (mayo). 150 aumentos.

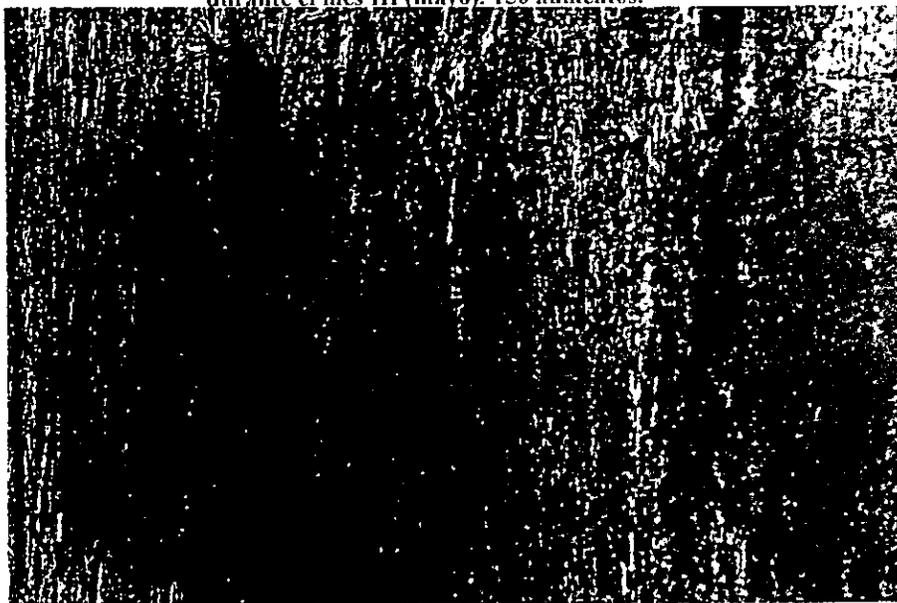


Fig. III.1.3 b Muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de fundición. durante el mes III (mayo). 37.5 aumentos.



Fig. III.1.4a Muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de fundición.
durante el mes 1V (junio). 150 aumentos.

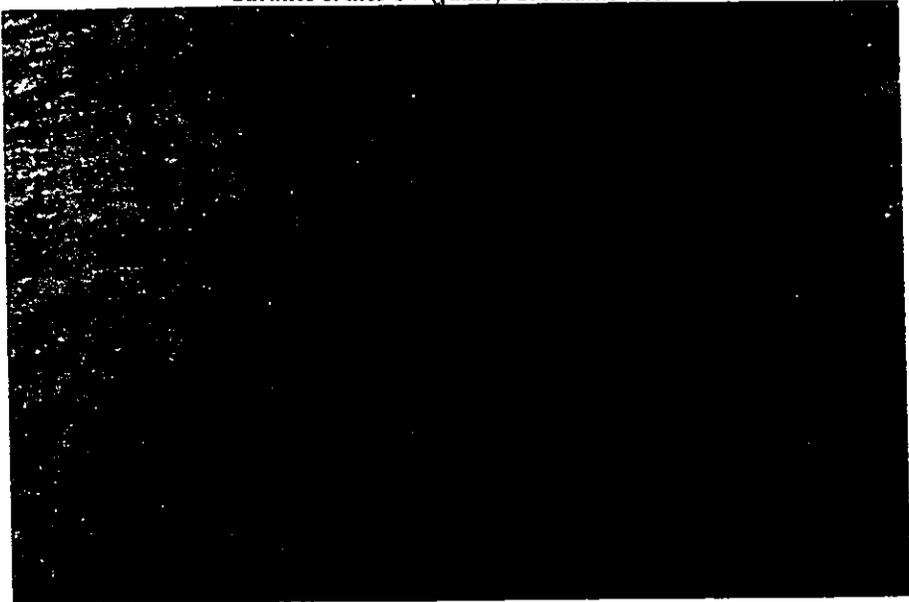


Fig. III.1.4b Muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de corrosión
durante el mes 1V (junio). 150 aumentos.

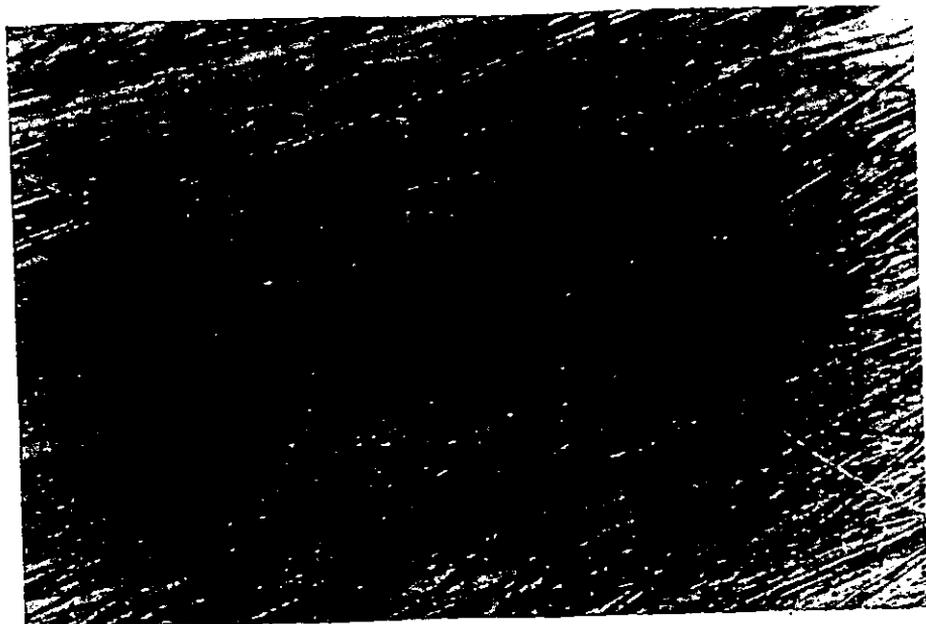


Fig. III.1.5a Muestra expuesta a la atmósfera de una oficina durante el mes V (julio) 75 aumentos.

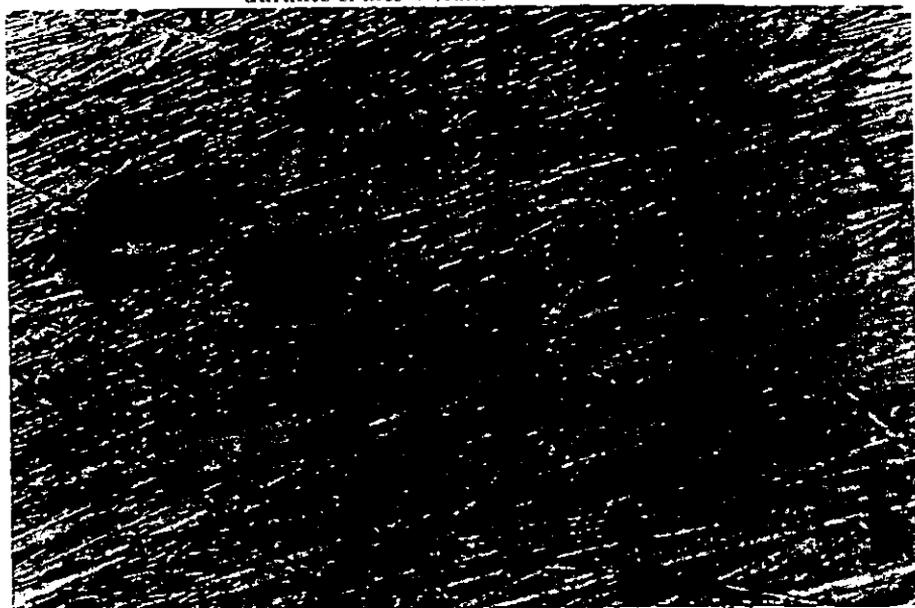


Fig. III.1.5b Muestra expuesta a la atmósfera de una oficina durante el mes V (julio) 75 aumentos



Fig. III.1.6a Muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de fundición durante el mes VI (Agosto) . 150 aumentos

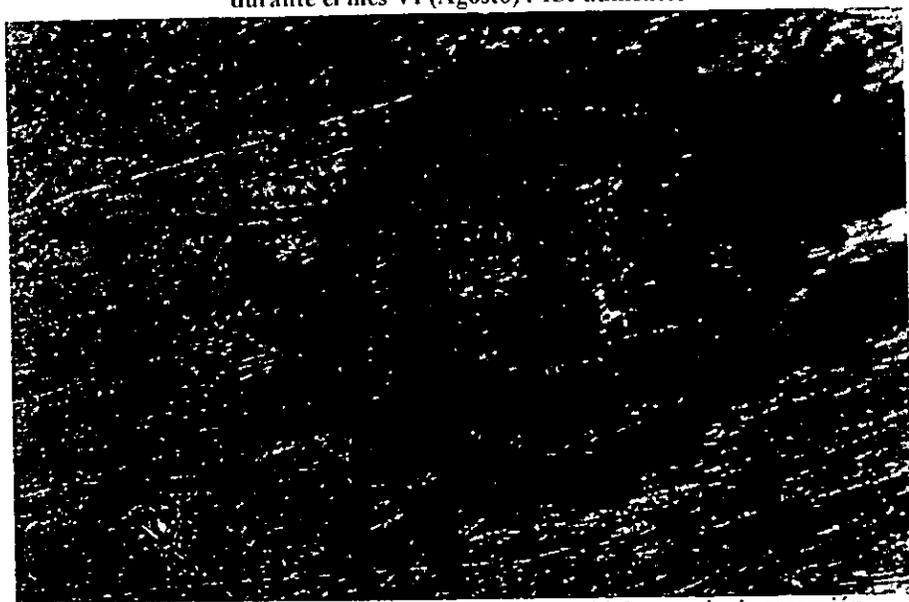


Fig. III.1.6b Muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de corrosión durante el mes VI (Agosto) . 300 aumentos

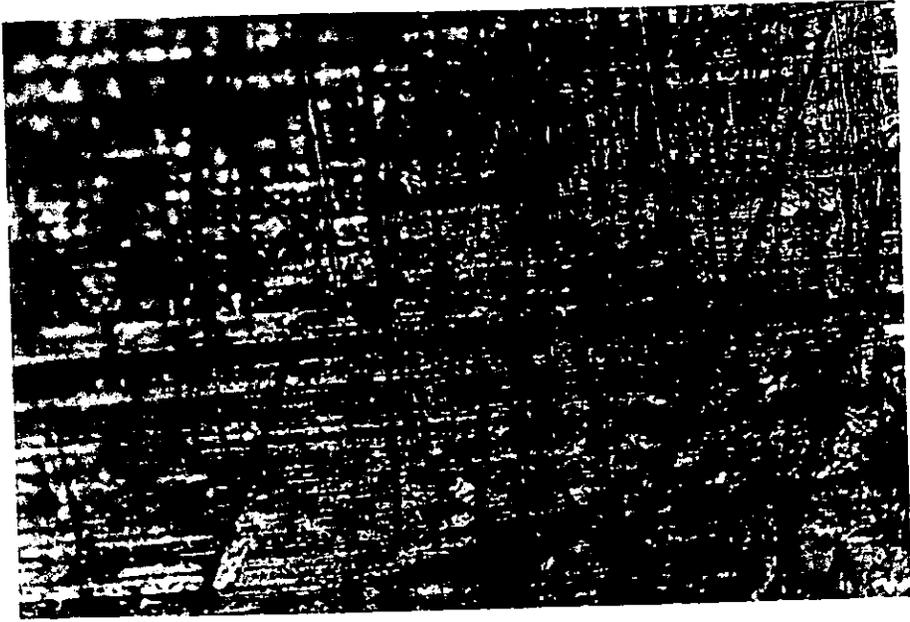


Fig. III.1.7a Muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de fundición durante tres meses. 37.5 aumentos.

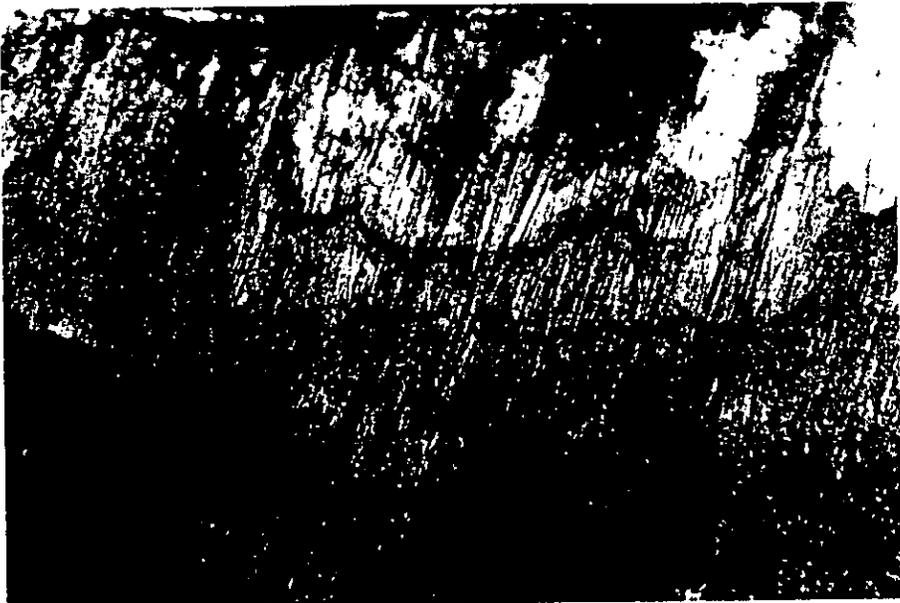


Fig. III.1.7b Muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de fundición durante tres meses. 75 aumentos.

III.2 DIFRACCIÓN DE RAYOS X.

A continuación ilustramos algunos difractogramas obtenidos por Difracción de Rayos X utilizando el método del Polvo.

En el difractograma de la fig. II.2.1 corresponde a la muestra de cobre (1CuA2) después de un mes de exposición a la atmósfera de laboratorio de corrosión, en él se indican los índices de los planos que originan las diversas reflexiones, así como también algunas distancias interplanares y sus correspondientes intensidades.

El difractograma de la fig. II.2.2 pertenece a la muestra (Cu-III) expuesta a la atmósfera del laboratorio de fundición durante tres meses.

Los difractogramas de las figs. II.2.3 y II.2.4 pertenecen a la muestra (Cu1VI) correspondiente a tres meses de exposición a la atmósfera del laboratorio de corrosión, pero en la fig. II.2.4 se muestran las líneas superpuestas de los probables productos de corrosión que se esperaban identificar.

Como se ha podido observar en los correspondientes difractogramas, no se ha detectado la evidencia de la formación de los productos de corrosión, se identifica al cobre únicamente.

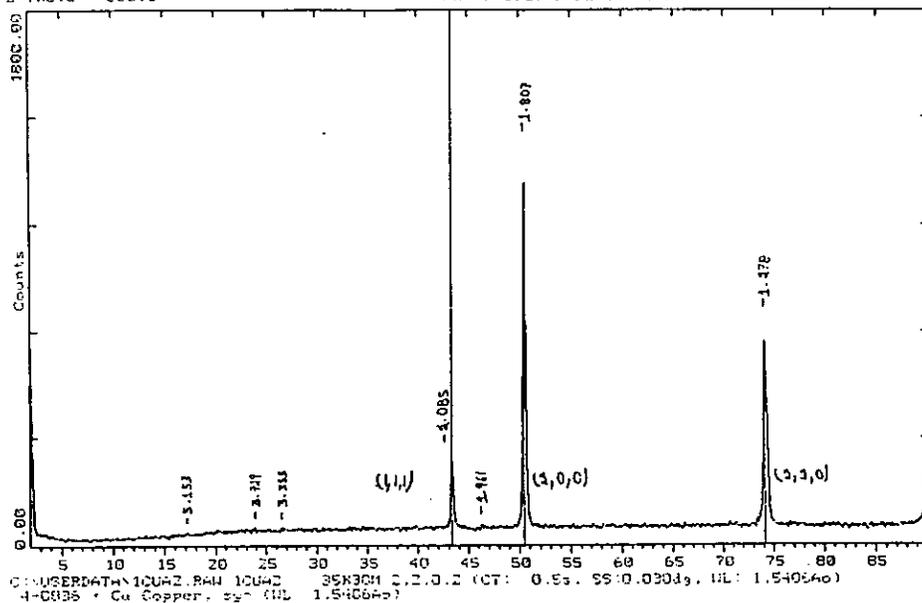


Fig. II. 2.1 Difractograma correspondiente a la muestra de cobre (ICuA2) después de un mes de exposición a la atmósfera del laboratorio de corrosión.

04-0636		Wavelength 1.54056				
Cu		d Å	Int	h	k	l
Copper		2.08600	100	1	1	1
		1.60600	46	2	0	0
		1.27200	20	2	2	0
		1.09000	17	3	1	1
Copper, syn		1.04360	5	2	2	2
Rad: CuKα1	λ: 1.5405	Filter: Ni Beta N	d-sp			
Cut off:	Int: Diffract.	1/feet				
Ref: Swanson, Patge, Natl. Bur. Stand. (U.S.) Circ. 539 1, 15 (1952)						
Sys: Cubic		SG: (Fm3m (225))				
a: 3.6150	b:	c:	A:	C:		
w:	p:	r:	Z: 4	mp 1083		
Ref: Reid						
Dx: 0.435	Dm: 8.950	SE/PGM: Fg=59(012), 8/				
Color: Red						
Pattern taken at 25 C. Sample from metallurgical laboratory of NRS, Gaithersburg, Maryland, USA. CAS # 7440-50-8. It had been heated in an H2 atmosphere at 360 C. Impurities from 0.001-0.015, Ag, Al, Bi, Fe, Si, Zn. Opaque mineral optical data on specimen from unspecified locality. BSEI-6465. Emp # 27. VMIN-00-99-104. Ref: IMA Commission on Ore Microscopy (1977). Measured density and color from Dana's System of Mineralogy, 7th Ed., 199. Cu type, gold group, gold subgroup. FSC c74. Met. C.55. Volume(CD). 47-24.						

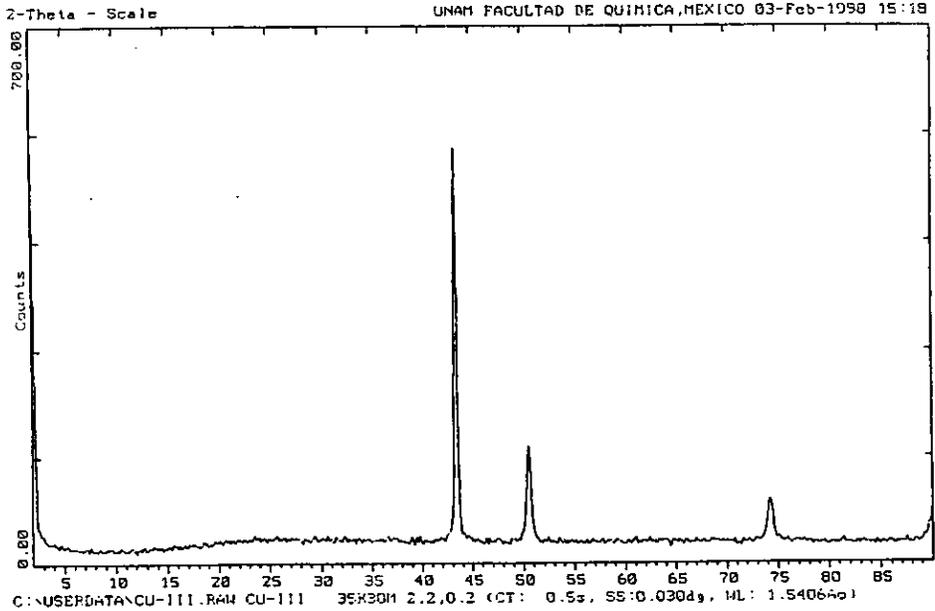


Fig. II-14 Difractograma correspondiente a la muestra (Cu-III) expuesta a la atmósfera del laboratorio de fundición durante tres meses.

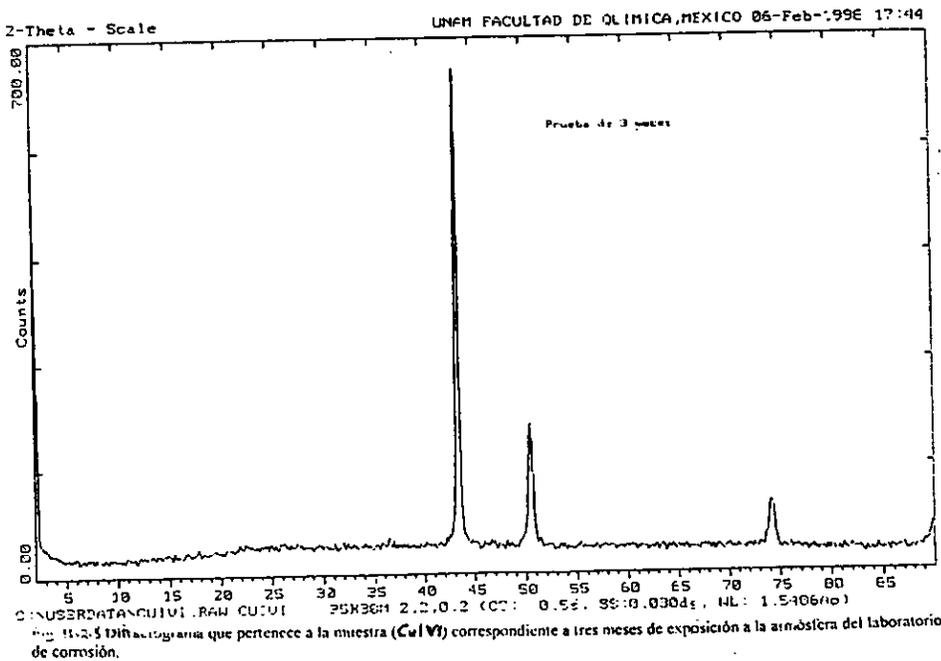
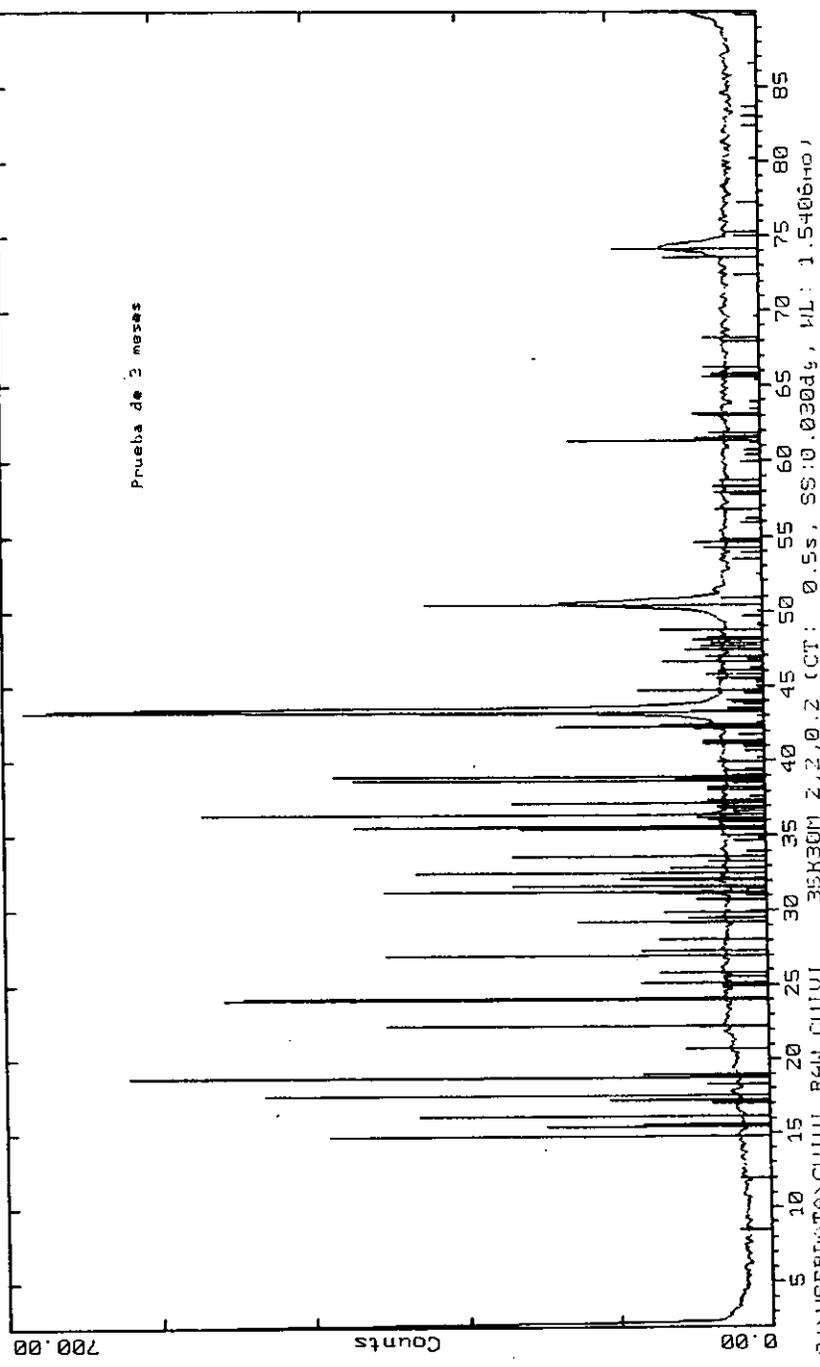


Fig. II-15 Difractograma que pertenece a la muestra (Cu-VI) correspondiente a tres meses de exposición a la atmósfera del laboratorio de corrosión.

Z-Theta - Scale



C:\USER\DATA\CUIVI.RAW CUIVI 35K30M 2.2,0.2 (CT: 0.5s, SS:0.0300s, WL: 1.5406Ao)
4-0836 * Cu Copper, syn (WL: 1.5406Ao)
41-0254 * CuO Tenorite, syn (WL: 1.5406Ao)
5-0667 * Cu2O Cuprite, syn (WL: 1.5406Ao)
41-1390 * Cu2(CO3)(OH)2 Malachite, syn (WL: 1.5406Ao)
11-0646 * Cu5O4.5H2O Chalcantite, syn (WL: 1.5406Ao)

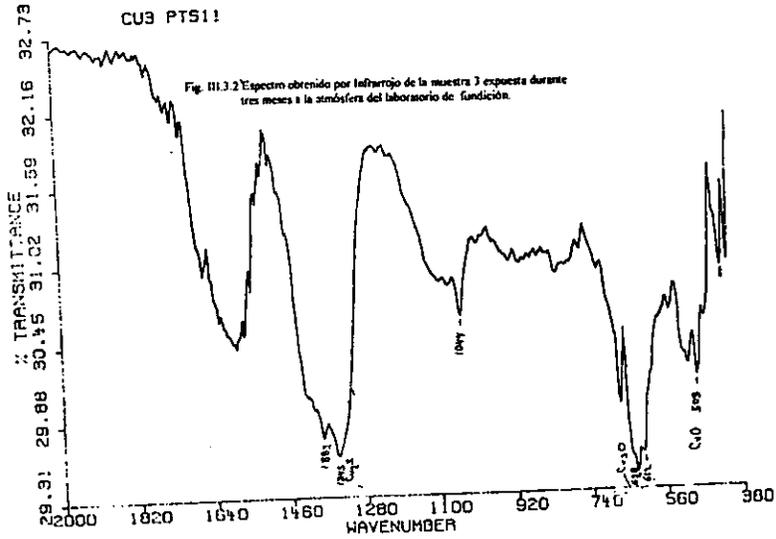
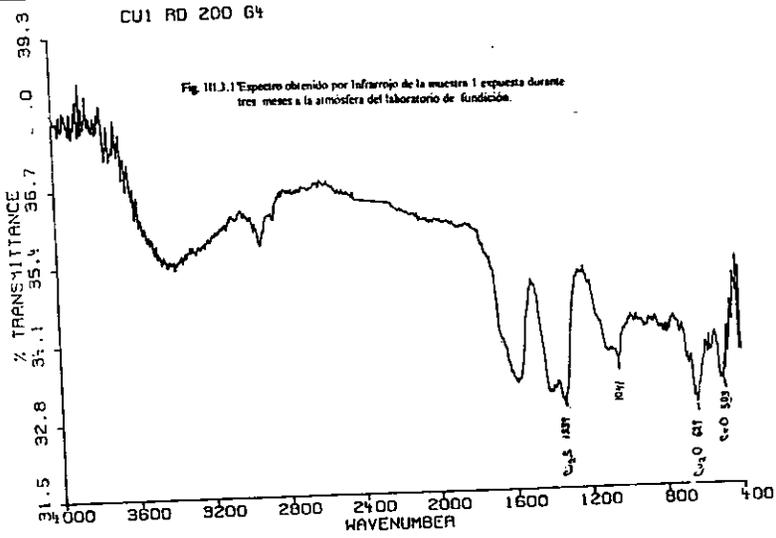
Fig. II.1.4 Difractograma que pertenece a la muestra (Cu|VI) expuesta durante tres meses a la atmósfera del laboratorio de corrosión. Se muestran las líneas superpuestas de los probables productos de corrosión que se esperaban identificar.

Tabla de Productos de Corrosión y espectros por Infrarrojo.

Fig. III. 3 TABLA III.III

Productos de Corrosión en muestras del Laboratorio de Fundición, identificados por Análisis de Espectroscopia Infrarrojo.

TIEMPO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4
1(TRES MESES) JUN-SEP 97 Instituto de Física	CuO , Cu_2O , Cu_2S , $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$		CuO , Cu_2O , Cu_2S , $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$	
2 (CUATRO MESES) JUN-OCT 97 USAI	Cu_2O , $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ H_2O , OH^-	Cu_2O , $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ H_2O , OH^-	CuO , Cu_2O , $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ H_2O , OH^-	Cu_2O , $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, H_2O , OH^-



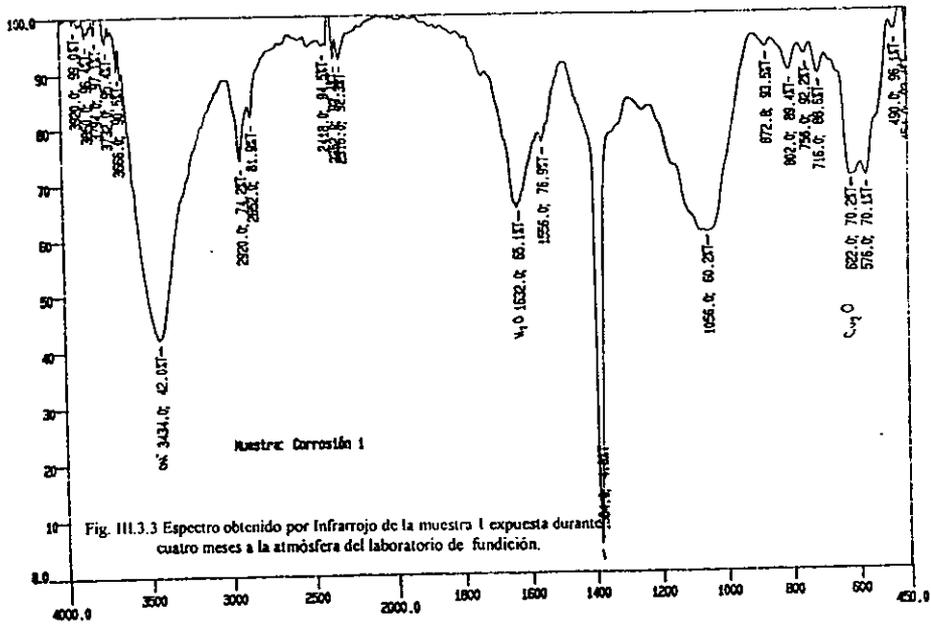


Fig. III.3.3 Espectro obtenido por Infrarrojo de la muestra 1 expuesta durante cuatro meses a la atmósfera del laboratorio de fundición.

DI-1

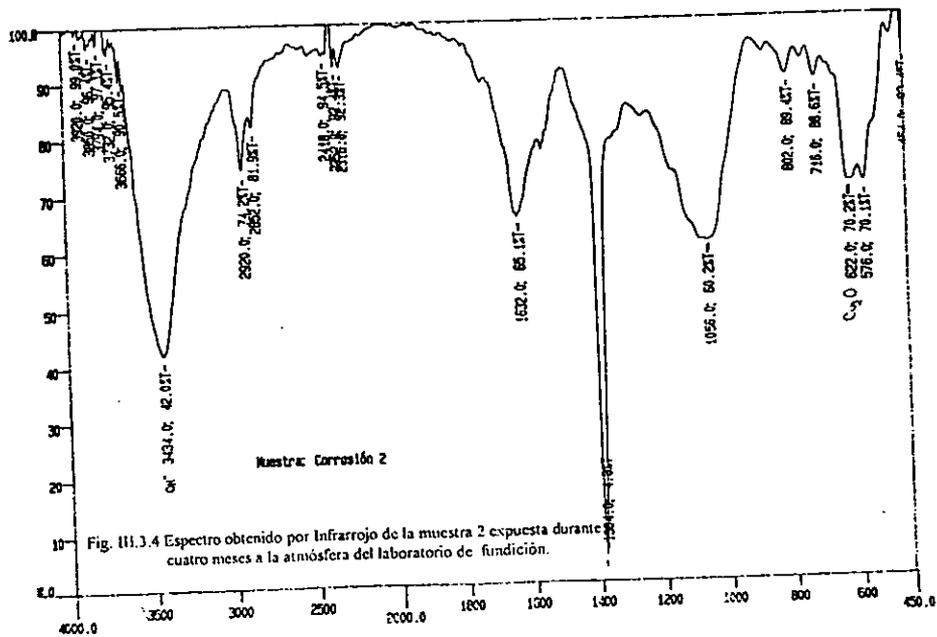


Fig. III.3.4 Espectro obtenido por Infrarrojo de la muestra 2 expuesta durante cuatro meses a la atmósfera del laboratorio de fundición.

DI-1

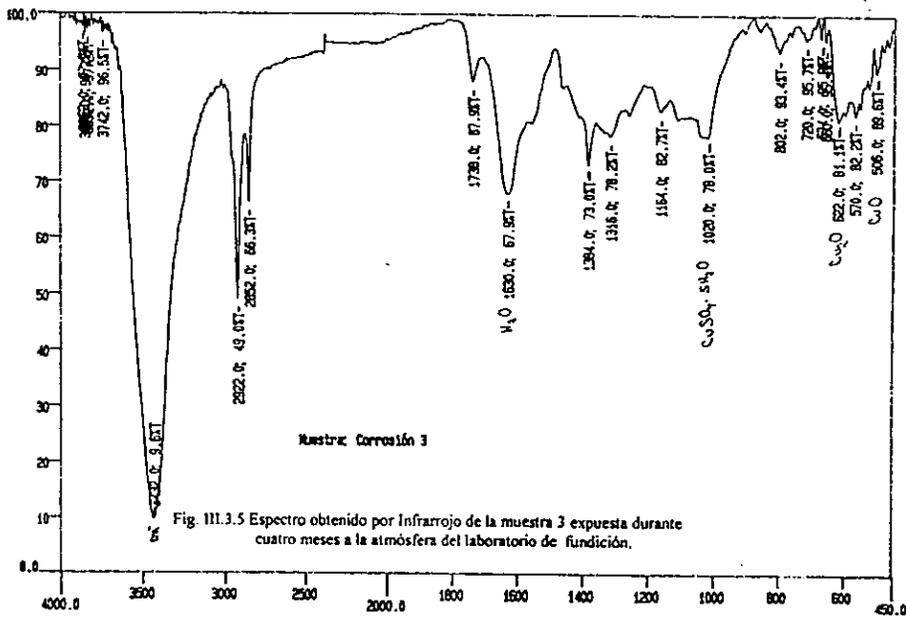


Fig. III.3.5 Espectro obtenido por Infrarrojo de la muestra 3 expuesta durante cuatro meses a la atmósfera del laboratorio de fundición.

DR-1

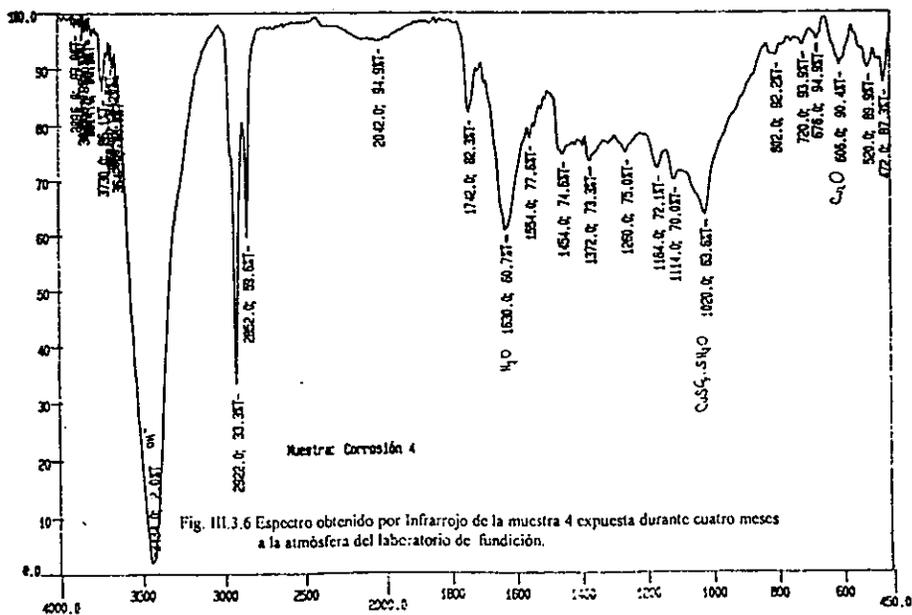


Fig. III.3.6 Espectro obtenido por Infrarrojo de la muestra 4 expuesta durante cuatro meses a la atmósfera del laboratorio de fundición.

DR-1

CAPITULO 1V

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En este capítulo se presenta el análisis de los resultados obtenidos de la velocidad de corrosión atmosférica en interiores de los edificios de Ciudad Universitaria, fotografías, espesores de película, espectros obtenidos por infrarrojo y difractogramas.

IV.1 VELOCIDADES DE CORROSIÓN.

En la tabla III.1 se presentan los resultados de las velocidades de corrosión de las muestras después de un mes de exposición a las atmósferas del laboratorio de corrosión, laboratorio de fundición y oficina.

Las velocidades de corrosión más altas fueron de: 77.97 mm para las muestras expuestas en el laboratorio de fundición en el mes de agosto, 67.91 mm para el laboratorio de corrosión en el mes de mayo y 52.82 mm para la oficina en el mes de marzo.

Las menores velocidades de corrosión que se observaron fueron de: 50.31 mm para el laboratorio de fundición en el mes de abril, 47.79 mm para el laboratorio de corrosión en el mes de agosto y de 27.67 mm para la oficina en el mes de junio. De acuerdo con los valores observados para las velocidades de corrosión podemos decir que, es mayor en los laboratorios y menor en la oficina, aunque en el laboratorio de fundición es mayor respecto al laboratorio de corrosión. Sin embargo, la diferencia entre las respectivas velocidades de corrosión es poco significativa.

La temperatura fue de 16°C y la humedad relativa 45% durante la primavera, y en verano la temperatura fue de 18°C y la humedad relativa 47%, al relacionar estos datos

con la velocidad de corrosión, encontramos que en el caso de los laboratorios la velocidad de corrosión es ligeramente mayor durante el verano, pero no así para el caso de la oficina.

Los valores obtenidos de velocidad de corrosión tienden a dar valores por encima de los obtenidos comparados con los de la literatura.

IV.1.1 FOTOGRAFÍAS.

Sólo se presentan dos fotografías por cada mes de exposición. Las figs. III.1.1a a III.1.1b muestran las fotografías de las muestras expuestas durante un mes a la atmósfera.

Las fotografías de las muestras expuestas durante el mes I (marzo) se muestran en las figs. III.1.1a y III.1.1b. En la fig. III.1.1a se observan productos de corrosión de color café rojizo y verde, la muestra estuvo expuesta a la atmósfera de laboratorio de fundición. En la fig. III.1.1b se observan productos de corrosión de color negro y café rojizo.

En la fig. III.1.2a que pertenece a la fotografía a 12 aumentos de una muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de corrosión se observan productos de corrosión de color café rojizo con una mancha de color negro en forma de aureola y dentro de ésta pequeñas formas redondas de color negro. La fig. III.1.2b presenta a la misma muestra pero ahora a 32 aumentos. Esta muestra pertenece al mes de exposición II (abril).

En la fig. III.1.3a que pertenece a la fotografía de la muestra expuesta a la atmósfera de laboratorio de corrosión, se observa productos de corrosión color café rojizo y negro.

En la fig. III.1.3b que pertenece a la fotografía de la muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de fundición se observan productos de corrosión de color café rojizo y negro. Ambas muestras se expusieron durante el mes III (mayo).

En la fig. III.1.4a que pertenece a la muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de corrosión, se observan productos de corrosión de color café rojizo y negro. En la fig. III.1.4b se presenta la fotografía de la muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de corrosión en donde se observan productos de corrosión de color café rojizo, negro y verde. Ambas fotografías pertenecen al mes IV (junio).

En las siguientes dos figuras, fig. III.1.5a y en la fig. III.1.5b se muestran las fotografías a 75 aumentos, correspondientes a la exposición a la atmósfera de una oficina durante el mes V (julio). Se observan productos de corrosión de color café rojizo, verde y negro.

En la fig. III.1.6a se muestra la fotografía que pertenece a la muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de fundición, los productos de corrosión observados son azul, verde, negro, café rojizo. En la fig. III.1.6b se muestra la fotografía perteneciente a la muestra expuesta a la atmósfera del laboratorio de corrosión, en donde se observan productos de corrosión de color café rojizo y verde. Ambas fotografías pertenecen al mes de exposición VI (agosto).

Finalmente, las figs. III.1.7a y III.1.7b corresponden a fotografías de muestras expuestas a la atmósfera del laboratorio de fundición durante el mes VII (julio a sep.). Los productos de corrosión observados en la fotografía de la fig. III.1.7a son de color café rojizo, verde, negro y además se observan formas redondas pequeñas de color

azul, lila, violeta, verde y negro. En la figura III.1.7b los productos de corrosión observados son de color café rojizo, negro, azul, verde.

Los colores presentes en los productos de corrosión son: café rojizo, negro, azul, verde. En la mayoría de las muestras se observa una coloración ligeramente más intensa en las orillas y esquinas comparada con el centro. En las muestras se observan en mayor abundancia el color café rojizo y en menor cantidad negro, verde, azul, en la superficie de las muestras expuestas a la atmósfera interior. La variedad de colores indica la presencia de diferentes gases en la atmósfera tales como CO , CO_2 , SO_2 , H_2S , oxígeno y humedad de la atmósfera entre otros.

Debido a la reacción del cobre con la atmósfera interior, se forma una delgada película que transforma la superficie del cobre y dicha película crece uniformemente consumiendo el metal, formando de esta manera los productos de corrosión, visibles a simple vista por su coloración, entre los cuales se encuentran: óxidos, hidróxidos, carbonatos, algunos compuestos de azufre tales como sulfuros y sulfatos. Esto confirma la complejidad de la forma de los productos de corrosión.

IV.2 ESPESORES DE PELICULA

Respecto a los espesores de película se observa en la tabla III.II que, son mayores a $300 \text{ }^\circ\text{A}$ y menores a $1000 \text{ }^\circ\text{A}$, esto permite clasificar a los contaminantes gaseosos como clase G2. Excepto para el mes de junio para la oficina, en donde el valor es $< 300 \text{ }^\circ\text{A}$ y pertenece a la clase G1.

En la tabla III.II se presentan los resultados del espesor de las películas formadas, calculadas a partir de la ecuación (I.2) de acuerdo a la norma ISA-S71.04.

IV.3. IDENTIFICACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE CORROSIÓN

IV.3.1 POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X.

Los resultados de los análisis hechos en la USAI (Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación), y los realizados en las instalaciones del CINVESTAV-Mérida, para las muestras expuestas a la atmósfera interior durante uno y tres meses, permiten sugerir que, aunque la película formada es visible a simple vista, el hecho de que no se haya podido identificar a los productos de corrosión por Difracción de Rayos X utilizando los métodos de Polvo y Haz Rasante y sólo se encontró la presencia de cobre, esto se debe posiblemente a que el espesor de la película es muy pequeño, o bien a que los productos de corrosión son compuestos con estructuras amorfas y por lo tanto éstos no presentan el fenómeno de difracción.

IV.3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA IDENTIFICACIÓN DE PRODUCTOS DE CORROSIÓN POR ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO.

La obtención del espectro por Infrarrojo fue fundamental para la identificación de los productos de corrosión de cobre ya que permitió la asignación de los grupos presentes. Aún cuando no esta descrita su caracterización en el software del banco de datos para compuestos inorgánicos, la incertidumbre de la presencia de los productos de corrosión quedó resuelta mediante el análisis del espectro de los productos de corrosión del cobre comparado con el espectro estándar de referencia bibliográfica para compuestos puros. Hay que mencionar que prácticamente todos los espectros tienen los mismos desplazamientos químicos excepto en los espectros en donde se encuentra el grupo OH y H₂O, en todos los demás existe una buena correspondencia.

Fue necesario separar las bandas que se obtenían en una región muy pequeña del espectro mediante mayor resolución y de esta manera eliminar la ambigüedad existente en la asignación por analogías de ciertas bandas del espectro infrarrojo

Del estudio de los espectros en el Infrarrojo, se observa que las bandas de absorción varían en los espectros, lo cual es debido a la presencia de los diferentes productos de corrosión. Sin embargo es posible asignar como probables bandas debidas a los productos de corrosión de cobre, a las siguientes absorciones:

Para las muestras del tiempo de exposición 1 (tres meses) analizadas en el Instituto de Física, tenemos:

muestra 1 CuO (503 cm^{-1}), $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ (1041 cm^{-1}), Cu_2O (629 cm^{-1}),

Cu_2S (1339 cm^{-1}). Ver fig. III.3.1.

muestra 3 Cu_2O (612 y 628 cm^{-1}), $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ (1044 y 1382 cm^{-1}), Cu_2S (1345 cm^{-1}).

Ver fig. III.3.2.

Para las muestras del tiempo de exposición 2 (cuatro meses) analizadas en la USAI (Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación), tenemos:

muestra 1 Cu_2O (622 cm^{-1}), $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ (1056 y 1384 cm^{-1}), H_2O (1632 cm^{-1}),

OH^- (3434 cm^{-1}). Ver fig. III.3.3.

muestra 2 Cu_2O (622 cm^{-1}), $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ (1056 y 1384 cm^{-1}), H_2O (1632 cm^{-1}),

OH^- (3434 cm^{-1}). Ver fig. III.3.4

muestra 3 Cu_2O (622 cm^{-1}), CuO (506 cm^{-1}), $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ (1384 cm^{-1}),

H_2O (1630 cm^{-1}), OH^- (3432 cm^{-1}), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (1020 y 674 cm^{-1}).

Ver fig. III.3.5.

muestra 4 Cu_2O (606 cm^{-1}), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (1020 cm^{-1}), H_2O (1630 cm^{-1}),

OH- (3434 cm^{-1}). Ver fig. III.3.6.

En las muestras de 3 meses de exposición se encuentran presentes: Cu_2O , $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$, CuO , Cu_2S . Ver Tabla III.III.

En las muestras de 4 meses de exposición se encontraron presentes: Cu_2O , $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$, CuO , $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, H_2O , OH-. Ver Tabla III.III.

Las bandas se observan en los espectros de las figs. III.3.1 a III.3.6.

Debido a la mezcla y a la pequeña cantidad de los diferentes productos de corrosión del cobre, las bandas de absorción observadas no son lo suficientemente intensas, además se observa que un mismo tipo de vibración puede aparecer en posiciones ligeramente diferentes. Al aumentar el tiempo de exposición de 3 a 4 meses, el Cu_2S se transforma en $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, debido a la oxidación natural del ambiente.

Se determinaron los espectros en el infrarrojo en la región entre 4000 y 450 cm^{-1} , y para su interpretación se estudiaron los espectros de los productos de corrosión posibles. El resultado es la asignación, como probables bandas debidas a los productos de corrosión del cobre a las siguientes absorciones: Cu_2O ($610\text{-}629\text{ cm}^{-1}$), CuO (503 cm^{-1}), $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ (1056 y 1384 cm^{-1}), H_2O (1630 cm^{-1}), OH- (3432 cm^{-1}), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (1020 cm^{-1}), Cu_2S (1339 cm^{-1} y 1345 cm^{-1}).

Las bandas observadas a 3434 cm^{-1} y 1630 cm^{-1} para los complejos de cobre, permiten suponer que se encuentra presente agua de cristalización.

La existencia en el espectro problema de las bandas más intensas de los compuestos puros, permite incluir la presencia en la muestra de los compuestos identificados. En este caso, sin el espectro infrarrojo no hubiese sido posible identificar los productos de corrosión expuestos a la atmósfera.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

Se ha puesto a prueba la técnica recomendada por la Norma ISA-S71.04, para evaluar la corrosividad de atmósferas interiores. Dicha norma, ha permitido determinar la diferente corrosividad de tres atmósferas interiores propias del Departamento de Ingeniería Metalúrgica.

La contaminación por gases en el interior de los edificios de Ciudad Universitaria pertenece a la clase G2, ya que en general para los tres lugares seleccionados los valores de los espesores de las películas se encuentran dentro del mismo orden de magnitud.

Los valores de las atmósferas presentan nivel de corrosividad menor al supuesto. De las atmósferas estudiadas la más agresiva es la de laboratorios aunque no se han encontrado diferencias significativas entre ambas.

La principal dificultad encontrada ha estado en la identificación de los productos de corrosión. Se han probado diferentes técnicas de análisis: Difracción de Rayos X por Haz Rasante y por Método de Polvo, Análisis por Espectroscopia Infrarroja pareciendo ser la más promisoría ésta última.

Un caso especial fue la técnica de Cronopotenciometría, la cual es muy prometedora pero no fue relevante en éste caso.

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFIA

1. Corrosion, Metals Handbook, Ninth Edition Vol. 13, ASM International Metals Park, Ohio 44073, 1987.
2. Juan Genescá LI. Más allá de la Herrumbre III, Corrosión y medio ambiente. Fondo de Cultura Económica. 1995.
3. Allen J. Bard, Encyclopedia of Electrochemistry of the Elements, Vol. II, Marcel Dekker, Inc. New York, 1974.
4. Florian Mansfeld, Corrosion Mechanisms, Chemical Industries Vol. 28, 1987.
5. D. J. Spedding, Contaminación Atmosférica, Editorial Reverté, S. A., 1981.
6. Rice, D.W., et al., Atmospheric Corrosion of Copper and Silver, J. Electrochem. Soc. 128, no. 2 (February 1981): 275-284.
7. W.H.J. Vernon, Trans. Faraday J. Electrochem. Soc. 23, 113(1921); 23, 162 (1927); 27, 264 (1931); 29, 35 (1933); 31, 1668 (1935).
8. W.E. Campbell and H.P. Thomas, Holm Conference Proceedings, pp. 233-265, (1968).
9. D.W. Rice, R.J. Cappell, W. Kinsolving, and J.J. Laskowki, J. Electrochem. Soc. 127, 891 (1980).
10. S.P. Sharma, J. Electrochem. Soc., 125, 2005 (1978).
11. R.V. Chiarenzelli, IEEE Trans. Parts, Mater. Packag., pmp-3, 89 (1967).
12. Richard A. Nyquist and Ronald O. Kagel, Infrared Spectra of Inorganic Compounds (3800-45 cm^{-1}), Academic Press, Inc., 1992.

13. J.A. Gadsden Aric, *Infrared Spectra of Minerals and Related Inorganic Compounds*, Butterworth Group Addresses, 1975.
14. Jesús Morcillo y Ramón Madroñero, *Aplicaciones Prácticas de la Espectroscopia Infrarroja*, Facultad de Ciencias Universidad de Madrid, 1962.
15. Cornelius S. Hurlbuz, Jr., *Manual de Mineralogía de Dana*, Ed. Reverte S. A. 1974.
16. John Wiley & James R. Craig & David J. Vaughan, *Ore Microscopy and Ore Petrography*, Sons. Inc. 1981.
17. Philip H. Rieger, *Electrochemistry*, Prentice-Hall, Inc. (1989)
18. Allen J. Bard, Larry, R. Faulkner, *Electrochemical Methods Fundamentals and Applications*, John Wiley and Sons., Inc. (1980).
19. Digby D. Macdonald, *Transient Techniques in Electrochemistry*, Plenum Press, New York (1977).
20. Bockris, Conway, White, *Modern Aspects of Electrochemistry*, Vols. 2 y 8,
21. Chawla, S.K., Rickett, B. J. and Payer, J.H., *Formation of Copper Sulfide in Moist Air -Sulfur Dioxide*, *Corrosion of electronic and Magnetic Materials*, ASTM STP 1148, P.J. Peterson, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1992, pp. 21-35.

22. Kruger, J., "Some Brief Remarks on Electrochemical Reduction in Corrosion and Metal Artifacts- A dialogue Between Conservators and Archaeologists and Corrosion Scientist, NBS Special Publication 479, B.F. Brown, H.C. Burnett, W.T. Chase, M. Goodway, J. Kruger, and M- Pourbaix, Eds., National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD, 1977, p. 1730.
23. Vedel, J. and Soubbeyrand, M., Electrochemical Analysis of Copper Oxides Present in Copper Sulfides, Journal of the Electrochemical Society, Vol. 127, 1980, p. 1730.
24. Peide, Z. Procter, R. P. M., Grant W. A., and Ashworth, V., Tarnishing of Ion Implanted Copper in Hydrogen Sulfide Containing Atmospheres, Nuclear Instruments and Methods, Vol. 209/210, 1983, p. 841.
25. Fiauld, C., Safavi, M., and Vedel, J., Identification of the Corrosion Products Formed on Copper in Sulfur Containing Environments, *Werstoffe Korrosion*, Vol. 35, 1984, p. 361.
26. Hoar, T. P. and Stockbridge, C.D., Coulometric Reduction of Cuprous Sulfide Films on Copper, *Electrochimica acta*, Vol. 3, 1960, p. 94.
27. Allen, J. A., Oxide Films on Electrolytically Polished Copper Surfaces, *Transactions of the Faraday Society*, Vol. 48 I, 1952, p. 273.
28. Torres García E., I.Q.M., Pasivación de una aleación 77% Zn, 12%Al y 1% Cu, Tesis, Fac. Química, 1990.

LISTA DE APÉNDICES

I. TABLAS DE PÉRDIDA DE PESO Y VELOCIDAD DE CORROSIÓN

II. NORMA ISA-S71.04- EN EL IDIOMA INGLÉS

**III. EJEMPLOS PRÁCTICOS PARA IDENTIFICAR COMPUESTOS
INORGÁNICOS EN SUS ESPECTROS DE INFRARROJO**

IV. CRONOPOTENCIOMETRIA

APÉNDICE I
TABLAS DE PÉRDIDA DE PESO Y VELOCIDADES DE CORROSIÓN

TABLA 1

MES 1 MARZO-ABRIL
LABORATORIO DE CORROSIÓN
MUESTRA 1C.1

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2do ciclo	3er. ciclo
1.3404	1.3396	1.3394	1.3384
1.3404	1.3397	1.3387	1.3384
1.3400	1.3395	1.3385	1.3385
1.3404	1.3395	1.3385	1.3385

MUESTRA 1C.2

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2do ciclo	3er. ciclo
1.2453	1.2447	1.2447	1.2447
1.2452	1.2446	1.2445	1.2447
1.2453	1.2446	1.2445	1.2447
1.2453	1.2445	1.2447	1.2447

MUESTRA 1C.3

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2do ciclo	3er. ciclo
1.3325	1.3323	1.3322	1.3320
1.3325	1.3322	1.3322	1.3319
1.3325	1.3323	1.3323	1.3321
1.3327	1.3323	1.3322	1.3320

PÉRDIDA DE PESO (GRS.)

MUESTRA	0.0005
1C.1	0.0005
1C.2	0.0007
1C.3	0.0007

VELOCIDAD DE CORROSIÓN (MILICENTÍMETROS)

MUESTRA	80,3712
1C.1	45,2784
1C.2	52,8248
1C.3	52,8248

TABLA 2

MES 1 MARZO-ABRIL
OFICINA
MUESTRA 1a.1

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2do ciclo	3er. ciclo
1.3244	1.3241	1.3233	1.3238
1.3244	1.3241	1.3240	1.3240
1.3244	1.3241	1.3240	1.3238
1.3244	1.3241	1.3239	1.3239

MUESTRA 1a.2

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2do ciclo	3er. ciclo
1.3104	1.3101	1.3097	1.3098
1.3105	1.3100	1.3097	1.3099
1.3104	1.3100	1.3098	1.3097
1.3104	1.3100	1.3097	1.3097

MUESTRA 1a.3

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2do ciclo	3er. ciclo
1.3254	1.3245	1.3247	1.3248
1.3252	1.3247	1.3248	1.3248
1.3254	1.3248	1.3247	1.3247
1.3255	1.3247	1.3247	1.3248

PÉRDIDA DE PESO (GRS.)

MUESTRA	0.0007
1a.1	0.0007
1a.2	0.0007
1a.3	0.0007

VELOCIDAD DE CORROSIÓN (MILICENTÍMETROS)

MUESTRA	52,8248
1a.1	52,8248
1a.2	52,8248
1a.3	52,8248

TABLA 4

**MES 2 ABRIL- MAYO
LABORATORIO DE FUNDICIÓN**

MUESTRA 2F.1

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
	1,3345	1,3336	1,3336
	1,3342	1,3337	1,3336
	1,3346	1,3337	1,3336
	1,3344	1,3337	1,3336

MUESTRA 2F.2

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
	1,3112	1,3105	1,3107
	1,3113	1,3110	1,3108
	1,3113	1,3113	1,3109
	1,3113	1,3109	1,3108

MUESTRA 2F.3

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
	1,3238	1,3231	1,3232
	1,3240	1,3236	1,3232
	1,3239	1,3236	1,3232
	1,3239	1,3234	1,3232

PERDIDA DE PESO (GRS.)

MUESTRA	
2F.1	0,0008
2F.2	0,0005
2F.3	0,0007

VELOCIDAD DE CORROSION (MILMICRAS/MES)

MUESTRA	
2F.1	60,3712
2F.2	37,7320
2F.3	52,8248

TABLA 3

**MES 1 MARZO - ABRIL
LABORATORIO DE FUNDICIÓN**

MUESTRA 1F.1

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
	1,2318	1,2311	1,2308
	1,2320	1,2310	1,2310
	1,2319	1,2314	1,2310
	1,2319	1,2314	1,2310

MUESTRA 1F.2

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
	1,2675	1,2674	1,2671
	1,2676	1,2674	1,2672
	1,2676	1,2674	1,2673
	1,2676	1,2674	1,2672

MUESTRA 1F.3

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
	1,2855	1,2845	1,2844
	1,2855	1,2846	1,2844
	1,2855	1,2847	1,2843
	1,2855	1,2846	1,2844

PERDIDA DE PESO (GRS.)

MUESTRA	
1F.1	0,0008
1F.2	0,0004
1F.3	0,0011

VELOCIDAD DE CORROSION (MILMICRAS/MES)

MUESTRA	
1F.1	60,3712
1F.2	30,1856
1F.3	63,0104

TABLA 5

TABLA 6

MES 2 ABRIL-MAYO
OFICINA

MES 2 ABRIL-MAYO
LABORATORIO DE CORROSION

MUESTRA 20.1

ciclo de limpieza		
1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
1.3361	1.3355	1.3354
1.3359	1.3355	1.3356
1.3361	1.3355	1.3356
1.3360	1.3355	1.3355

MUESTRA 20.2

ciclo de limpieza		
1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
1.3225	1.3220	1.3219
1.3225	1.3222	1.3218
1.3225	1.3221	1.3222
1.3225	1.3221	1.3219

MUESTRA 20.3

ciclo de limpieza		
1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
1.3481	1.3475	1.3475
1.3485	1.3476	1.3477
1.3483	1.3475	1.3477
1.3483	1.3475	1.3476

PERDIDA DE PESO (GRS.)

MUESTRA	0.0008
20.1	0.0004
20.2	0.0007
20.3	

VELOCIDAD DE CORROSION (MILMICRAS/MES)

MUESTRA	37.7320
20.1	30.1856
20.2	52.6248
20.3	

MUESTRA 2C.1

ciclo de limpieza		
1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
1.3544	1.3538	1.3537
1.3542	1.3538	1.3537
1.3542	1.3538	1.3536
1.3543	1.3537	1.3536

MUESTRA 2C.2

ciclo de limpieza		
1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
1.3710	1.3703	1.3702
1.3711	1.3701	1.3702
1.3710	1.3703	1.3702
1.3710	1.3702	1.3700

MUESTRA 2C.3

ciclo de limpieza		
1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
1.3298	1.3288	1.3289
1.3309	1.3288	1.3285
1.3309	1.3289	1.3287
1.3309	1.3289	1.3287

PERDIDA DE PESO (GRS.)

MUESTRA	0.0008
2C.1	0.0008
2C.2	0.0010
2C.3	

VELOCIDAD DE CORROSION (MILMICRAS/MES)

MUESTRA	45.2784
2C.1	60.3712
2C.2	75.4640
2C.3	

TABLA 8

MES 3 ABRIL-MAYO
LABORATORIO DE CORROSION
MUESTRA 3C.1

ciclo de limpieza		
1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
1.2733		
1.2733 DRx	DRx	DRx
1.2733		
1.2733		

MUESTRA 3C.2

ciclo de limpieza		
1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
1.2747	1.2739	1.2738
1.2745	1.2735	1.2735
1.2746	1.2737	1.2738
1.2746	1.2737	1.2737

MUESTRA 3C.3

ciclo de limpieza		
1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
1.3058	1.3050	1.3058
1.3057	1.3058	1.3058
1.3057	1.3058	1.3058
1.3058	1.3059	1.3059

PERDIDA DE PESO (g.)

MUESTRA	DRx
3C.1	0.0009
3C.2	0.0009
3C.3	0.0009

VELOCIDAD DE CORROSION (MILIGRAMOS)

MUESTRA	DRx
3C.1	67.8178
3C.2	67.8178
3C.3	67.8178

TABLA 7

MES 3 MAYO-JUNIO
LABORATORIO DE FUNDICION
MUESTRA 3F.1

ciclo de limpieza		
1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
1.3458		
1.3452 DRx		
1.3451		
1.3454		

MUESTRA 3F.2

ciclo de limpieza		
1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
1.2483	1.2481	1.2478
1.2482	1.2481	1.2477
1.2487	1.2480	1.2479
1.2481	1.2481	1.2480

MUESTRA 3F.3

ciclo de limpieza		
1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
1.3148	1.3143	1.3141
1.3153	1.3142	1.3140
1.3148	1.3140	1.3140
1.3150	1.3142	1.3140

PERDIDA DE PESO (ORB.)

MUESTRA	DRx
3F.1	0.0011
3F.2	0.0008
3F.3	0.0008

VELOCIDAD DE CORROSION (MILIGRAMOS)

MUESTRA	DRx
3F.1	83.0104
3F.2	60.3712
3F.3	60.3712

DRx (Muestras para análisis de Dirección de Rayos X)

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

TABLA 9

**MES 3 MAYO-JUNIO
OFICINA**

MUESTRA 30.1

ciclo de limpieza			
1er. ciclo	2/o ciclo	3er. ciclo	
1.2906	1.2900	1.2888	
1.2904	1.2899	1.2898	
1.2905	1.2898	1.2898	
1.2905	1.2899	1.2899	1.2897

MUESTRA 30.2

ciclo de limpieza			
1er. ciclo	2/o ciclo	3er. ciclo	
1.2729	1.2725	1.2724	
1.2732	1.2728	1.2724	
1.2730	1.2725	1.2725	
1.2730	1.2725	1.2725	1.2724

MUESTRA 30.3

ciclo de limpieza			
1er. ciclo	2/o ciclo	3er. ciclo	
1.2619	1.2617	1.2615	1.2614
1.2621	1.2615	1.2614	1.2613
1.2618	1.2615	1.2613	1.2614
1.2619	1.2616	1.2614	1.2614

PERDIDA DE PESO (GRS.)

MUESTRA	
30.1	0.0006
30.2	0.0005
30.3	0.0005

VELOCIDAD DE CORROSION (MILMICRAS/MES)

MUESTRA	
30.1	45.2764
30.2	37.7320
30.3	37.7320

TABLA 10

**LABORATORIO DE FUNDICION
MES 4 JUNIO-JULIO**

MUESTRA 4F.1

ciclo de limpieza			
1er. ciclo	2/o ciclo	3er. ciclo	
1.3200	1.3190	1.3180	1.3179
1.3202	1.3185	1.3179	1.3178
1.3201	1.3180	1.3179	1.3178
1.3201	1.3185	1.3179	1.3178

MUESTRA 4F.2

ciclo de limpieza			
1er. ciclo	2/o ciclo	3er. ciclo	
1.3505	1.3506	1.3587	1.3588
1.3605	1.3594	1.3589	1.3583
1.3604	1.3594	1.3588	1.3588
1.3605	1.3585	1.3588	1.3588

MUESTRA 4F.3

ciclo de limpieza			
1er. ciclo	2/o ciclo	3er. ciclo	
1.3042	1.3035	1.3027	1.3027
1.3043	1.3030	1.3027	1.3027
1.3043	1.3029	1.3028	1.3028
1.3043	1.3031	1.3027	1.3027

PERDIDA DE PESO (GRS.)

MUESTRA	
4F.1	0.0016
4F.2	0.0017
4F.3	0.0016

VELOCIDAD DE CORROSION (MILMICRAS/MES)

MUESTRA	
4F.1	60.3712
4F.2	64.1444
4F.3	60.3712

TABLA 12

MES 4 JUNIO JULIO
OFICINA

MUESTRA 4o.1

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
	1.3070	1.3067	1.3062
	1.3070	1.3064	1.3061
	1.3070	1.3064	1.3063
	1.3070	1.3065	1.3061

MUESTRA 4 o.2

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
	1.3310	1.3306	1.3305
	1.3309	1.3304	1.3304
	1.3310	1.3303	1.3303
	1.3310	1.3304	1.3304

MUESTRA 4o.3

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
	1.3036	1.3028	1.3030
	1.3036	1.3030	1.3029
	1.3036	1.3028	1.3027
	1.3036	1.3029	1.3028

PERDIDA DE PESO (GRS.)

MUESTRA

4O.1 0.0008

4O.2 0.0008

4O.3 0.0008

VELOCIDAD DE CORROSION (MILMICRAS/MES)

MUESTRA

4O.1 30.1656

4O.2 22.6392

4O.3 30.1656

TABLA 11

MES 4 JUNIO-JULIO
LABORATORIO DE CORROSION

MUESTRA 4C.1

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
	1.2596	1.2584	1.2578
	1.2596	1.2584	1.2578
	1.2587	1.2583	1.2579
	1.2597	1.2584	1.2579

MUESTRA 4C.2

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
	1.3100	1.3092	1.3088
	1.3100	1.3089	1.3088
	1.3100	1.3088	1.3085
	1.3100	1.3090	1.3086

MUESTRA 4C.3

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2to ciclo	3er. ciclo
	1.2667	1.2660	1.2659
	1.2669	1.2656	1.2654
	1.2667	1.2655	1.2655
	1.2668	1.2656	1.2657

PERDIDA DE PESO (GRS.)

MUESTRA

4C.1 0.0018

4C.2 0.0014

4C.3 0.0012

VELOCIDAD DE CORROSION (MILMICRAS/MES)

MUESTRA

4C.1 87.9176

4C.2 52.8246

4C.3 45.2784

TABLA 14

MES 5 JULIO-AGOSTO
LABORATORIO DE CORROSION

MUESTRA 5C.1

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2/o ciclo	3/er. ciclo
1.2462	1.2457	1.2455	1.2457
1.2462	1.2455	1.2457	1.2455
1.2462	1.2455	1.2455	1.2454
1.2462	1.2456	1.2456	1.2455

MUESTRA 5C.2

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2/o ciclo	3/er. ciclo
1.3347	1.3337	1.3336	1.3336
1.3345	1.3336	1.3337	1.3337
1.3346	1.3336	1.3337	1.3337
1.3346	1.3336	1.3337	1.3337

MUESTRA 5C.3

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2/o ciclo	3/er. ciclo
1.3126	1.3117	1.3116	1.3114
1.3125	1.3116	1.3116	1.3114
1.3126	1.3116	1.3116	1.3115
1.3126	1.3116	1.3116	1.3114

PERDIDA DE PESO (GRS.)

MUESTRA	0.0006
5C.1	0.0008
5C.2	0.0012
5C.3	

VELOCIDAD DE CORROSION (MILIMICRAS/MES)

MUESTRA	45.2784
5C.1	67.9176
5C.2	90.5668
5C.3	

TABLA 13

MES 5 JULIO-AGOSTO
LABORATORIO DE FUNDICION

MUESTRA 5F.1

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2/o ciclo	3/er. ciclo
1.2945	1.2936	1.2935	1.2931
1.2946	1.2934	1.2934	1.2930
1.2944	1.2936	1.2935	1.2930
1.2945	1.2935	1.2935	1.2930

MUESTRA 5F.2

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2/o ciclo	3/er. ciclo
1.2536	1.2527	1.2527	1.2525
1.2535	1.2526	1.2526	1.2523
1.2535	1.2526	1.2526	1.2523
1.2535	1.2526	1.2526	1.2524

MUESTRA 5F.3

	ciclo de limpieza		
	1er. ciclo	2/o ciclo	3/er. ciclo
1.2560	1.2553	1.2548	1.2548
1.2558	1.2550	1.2547	1.2547
1.2560	1.2550	1.2548	1.2548
1.2559	1.2551	1.2548	1.2548

PERDIDA DE PESO (GRS.)

MUESTRA	0.0010
5F.1	0.0009
5F.2	0.0011
5F.3	

VELOCIDAD DE CORROSION (MILIMICRAS/MES)

MUESTRA	75.4640
5F.1	67.9176
5F.2	83.0104
5F.3	

TABLA 16

LABORATORIO DE FUNCION
MES 6 AGOSTO-SEPTIEMBRE

TABLA 15

MES 6 JULIO-AGOSTO

OFICINA

MUESTRA SF.1

ciclo de limpieza			
1er. ciclo	2ºo ciclo	3er. ciclo	3er. ciclo
1.2793	1.2785	1.2780	1.2779
1.2792	1.2788	1.2790	1.2779
1.2792	1.2782	1.2790	1.2779
1.2792	1.2784	1.2780	1.2779

MUESTRA SF.2

ciclo de limpieza			
1er. ciclo	2ºo ciclo	3er. ciclo	3er. ciclo
1.2808	1.2798	1.2798	1.2797
1.2807	1.2798	1.2797	1.2797
1.2807	1.2797	1.2797	1.2796
1.2807	1.2798	1.2797	1.2797

MUESTRA SF.3

ciclo de limpieza			
1er. ciclo	2ºo ciclo	3er. ciclo	3er. ciclo
1.3098	1.3092	1.3099	1.3090
1.3098	1.3082	1.3099	1.3099
1.3099	1.3091	1.3098	1.3098
1.3099	1.3092	1.3099	1.3099

PERDIDA DE PESO (GRS.)

MUESTRA	0.0012
GF.1	0.0010
GF.2	0.0008
GF.3	0.0008

VELOCIDAD DE CORROSION (MILMICRAS/MES)

MUESTRA	90.5468
GF.1	75.4640
GF.2	87.9176
GF.3	

MUESTRA So.1

ciclo de limpieza			
1er. ciclo	2ºo ciclo	3er. ciclo	3er. ciclo
1.2187	1.2183	1.2183	1.2183
1.2187	1.2183	1.2183	1.2183
1.2188	1.2182	1.2182	1.2183
1.2187	1.2183	1.2183	1.2183

MUESTRA So.2

ciclo de limpieza			
1er. ciclo	2ºo ciclo	3er. ciclo	3er. ciclo
1.2650	1.2655	1.2654	1.2653
1.2650	1.2655	1.2655	1.2653
1.2659	1.2657	1.2655	1.2654
1.2650	1.2656	1.2655	1.2653

MUESTRA So.3

ciclo de limpieza			
1er. ciclo	2ºo ciclo	3er. ciclo	3er. ciclo
1.2793	1.2785	1.2785	1.2784
1.2790	1.2789	1.2788	1.2785
1.2790	1.2787	1.2785	1.2786
1.2791	1.2787	1.2785	1.2785

PERDIDA DE PESO (GRS.)

MUESTRA	0.0004
SO.1	0.0005
SO.2	0.0006
SO.3	0.0006

VELOCIDAD DE CORROSION (MILMICRAS/MES)

MUESTRA	30.1656
SO.1	37.7320
SO.2	48.2784
SO.3	

TABLA 18

MES 6 AGOSTO-SEPTIEMBRE

OFICINA

MUESTRA 60.1

ciclo de limpieza			
1er. ciclo	2do ciclo	3er. ciclo	
1,3101	1,3097	1,3096	1,3094
1,3102	1,3098	1,3095	1,3096
1,3101	1,3098	1,3095	1,3096
1,3101	1,3097	1,3095	1,3095

MUESTRA 60.2

ciclo de limpieza			
1er. ciclo	2do ciclo	3er. ciclo	
1,2485	1,2480	1,2483	1,2483
1,2484	1,2486	1,2488	1,2488
1,2484	1,2486	1,2488	1,2488
1,2484	1,2488	1,2488	1,2488

MUESTRA 60.3

ciclo de limpieza			
1er. ciclo	2do ciclo	3er. ciclo	
1,3132	1,3131	1,3128	1,3127
1,3133	1,3131	1,3128	1,3128
1,3133	1,3132	1,3128	1,3128
1,3133	1,3131	1,3128	1,3128

PERDIDA DE PESO (GRS.)

MUESTRA	0,0006
60.1	0,0006
60.2	0,0005
60.3	0,0005

VELOCIDAD DE CORROSION (MILMICRAS/MES)

MUESTRA	45,2784
60.1	45,2784
60.2	37,7320
60.3	37,7320

TABLA 17

MES 6 AGOSTO-SEPTIEMBRE

LABORATORIO DE CORROSION

MUESTRA 6C.1

ciclo de limpieza			
1er. ciclo	2do ciclo	3er. ciclo	
1,2747	1,2741	1,2741	1,2738
1,2747	1,2741	1,2740	1,2738
1,2746	1,2742	1,2741	1,2738
1,2747	1,2741	1,2741	1,2738

MUESTRA 6C.2

ciclo de limpieza			
1er. ciclo	2do ciclo	3er. ciclo	
1,2028	1,2022	1,2022	1,2018
1,2027	1,2022	1,2022	1,2019
1,2027	1,2022	1,2022	1,2020
1,2027	1,2022	1,2022	1,2018

MUESTRA 6C.3

ciclo de limpieza			
1er. ciclo	2do ciclo	3er. ciclo	
1,2827	1,2819	1,2820	1,2818
1,2828	1,2820	1,2820	1,2818
1,2828	1,2822	1,2820	1,2820
1,2828	1,2820	1,2820	1,2818

PERDIDA DE PESO (GRS.)

MUESTRA	0,0006
6C.1	0,0005
6C.2	0,0006
6C.3	0,0006

VELOCIDAD DE CORROSION (MILMICRAS/MES)

MUESTRA	45,2784
6C.1	37,7320
6C.2	60,3712
6C.3	60,3712

APÉNDICE II

ANSI/ISA-S71.04-1985

APPROVED FEBRUARY 3, 1986.

AMERICAN NATIONAL STANDARD

**ENVIRONMENTAL CONDITIONS FOR PROCESS
MEASUREMENT AND CONTROL SYSTEMS: AIRBORNE
CONTAMINANTS.**

INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA

PREFACE

This preface is included for informational purposes and is not part of ISA- S71.04.

This standard has been prepared as part of the service in the Instrument Society of America (ISA) toward a goal of uniformity in the field of instrumentation. To be of real value, this document should not be static, but should be subject to periodic review. Toward this end, the Society welcomes all comments and criticisms, and asks that they be addressed to the Secretary, Standards and Practices Board, Instrument Society of America, 67 Alexander Drive, P.O. Box 12277, Research Triangle Park, NC 27709, Telephone (919) 549-8411.

The ISA Standards and Practices Department is aware of the growing need for attention to the metric system of units in general, and the International System of Units (SI) in particular, in the preparation of instrumentation standards. The Department is further aware of the benefits to U.S.A. users of ISA standards of incorporating able references to the SI (and the metric system) in this business and professional dealings with other countries. Toward this end, the Department will endeavor to introduce SI-acceptable metric units in all new and revised standards to the greatest extent possible. The Metric Practice Guide, which has been published by the Institute of Electrical and Electronics Engineers as ANSI/IEEE Std. 268-1982, and future revisions will be the reference guide for definitions, symbols, abbreviations, and conversion factors.

It is the policy of the Instrument Society of America to encourage and welcome the participation of all concerned individuals and interests in the development of ISA standards. Participation in the ISA standards-making process by an individual in no way constitutes endorsement by the employer of that individual, of the Instrument Society of America, or of any of the standards that ISA develops.

The information contained in the preface, footnotes, and appendices is included for information only and is not a part of the standard.

This document is one of several standards covering various environmental conditions affecting process measurement and control systems. In developing this standard, the committee goals included the following.

1. To provide a practical standard that can be applied with a minimum of research and technical effort by the user.
2. To provide a concise method of stating environmental classifications for convenient communication between users of the standard.
3. To cover real-world ranges of each classified parameter.

This standard is limited to airborne contaminants and biological influences only, covering contamination influences that affect industrial process measurement and control systems. The persons listed below served as members of ISA Committee SP71, which prepared this standard.

NAME	COMPANY
W. Holway, Chairman	The Foxboro Company
D. Boyle	National Bureau of Standards (retired)
D. Cummins	Purafil, Inc.
J. Duffy	Fisher Controls Company
K. Gulick	Digital Equipment Corporation
M. Huza	Circul-Aire Inc.
F. Kent	Fischer and Porter Company
E.J. Laderoute	The Foxboro Company
M. Lombardi	Honeywell, Inc.
R. Magnuson	Hewlett Packard
W. T. Mitchell	Dow Chemical, USA.
R. Prescott(Director)	Moore Products
E. Rasmussen	Fluor Engineers & Constructors, Inc.
W.T. Rhodes	Conoco, Inc.
R. H. Walton	Exxon Company, USA

TABLE OF CONTENTS

SECTION

- 1.Purpose
- 2.Scope
- 3.Introduction
- 4.Airborne Contaminants -Liquids
- 5.Airborne Contaminants - Solids
- 6.Airborne Contaminants- Gases
- 7.Biological Influences

LIST OF TABLES

- 1.Classification of Chemically active contaminants-Liquid Aerosols
- 2.Classification of Airborne Particulates
- 3.Classification of Reactive Environments

LIST OF APPENDICES

- Appendix A Terminology
- Appendix B Section 1 Some Common Sources of Reactive Environmental
Constituents.
- Section 2 Some Common Emissions of Natural and Industrial
Processes.
- Appendix C Copper Reactivity Samples.

1.-PURPOSE

The purpose of this standard is to classify airborne contaminants that may affect process measurement and control instruments.

The classification system provides user and manufacturers of instruments with a means of specifying the type and concentration of airborne contaminants to which a specified instrument may be exposed.

This document is one of a series of standards on environmental conditions for process measurement and control systems

2.-SCOPE

This standard covers airborne contaminants and biological influences that affect industrial process measurement and control equipment. Specifications for other environmental conditions, including nuclear radiation and hazardous atmospheres, are beyond the scope of this standard.

This standard establishes airborne contaminant classes for fixed (non-mobile) installations during normal operation (nonemergency conditions) or during transportation and storage.

The classes of environmental conditions stated in this standard are suitable for use in activities related to process instrumentation, including design, manufacturing, sales, installation, test, use, and maintenance. These classes may also be used as a guide when establishing requirements for environmental control of buildings or other protective housings for industrial process measurement and control systems.

These classifications pertain only to the environment external to the equipment which may affect the equipment externally or internally.

The effects of environmental conditions on safety, comfort, and performance of operating and maintenance personnel are not considered in this standard.

CAUTION. Airborne or biological contaminants not listed in this document could cause equipment damage. Caution should be used when a combination of factors approach or surpass class "x". Obtaining the guidance of a chemical specialist is suggested when this condition occurs.

3.-INTRODUCTION

Environmental classifications have been established according to the type of contaminant. Within each classification, severity levels have also been established. Parameter limit values are tabulated for each classification and severity level of the contaminant. The classification consists of a class contaminant letter followed by a severity identification numeral.

Some of these contaminants may appear in more than one form, i.e., gas, liquid, or solid. For the purpose of this document, a particular contaminant will be classified in the

form in which it most often exists under ambient conditions.

The user or equipment manufacturer should specify the equipment performance in the stated environmental class and severity level. It is possible to specify several sets of contaminant classes and severity levels for the same equipment.

Chemical/temperature effects may cause the rates of destructive chemical Reactions to more than double for every 10°C increase in temperature

High or variable relative humidity and contaminant mixtures may accelerate corrosive effects. These concerns are addressed in Section 6 and Table 3.

Contaminants are listed as Class A, Class B, etc., or as Special Class X with increasing Severity Levels 1, 2, 3, and X.

The contaminants are listed with a prefix of "L" for liquid, "G" for gas and "S" for solids.

An example of table usage would be:

EXAMPLE

Suitable to operate for normal life in the following Airborne Contaminant Severity Levels:

Contaminat	Concentration	Reference Class/Severity Table No.	
Liquids: Trichlorethylene Oils Sea salt mist	<5µg /kg <100µg/kg Within 0.5km inland	LA2 LB3 LC2	1 1 1
Solids: Particle size >1 mm 100 to 1000µm 1 to 100µm <1µm	Concentration Level <1000 µg/m ³ <3000µg/m ³ <350 µg/m ³ <350µg/m ³	SA1 SB2 SC3 SD3	2 2 2 2
Gases: Harsh:	>2000A° film formation on exposed copper coupon after one month exposure.	G3	3

4.-AIRBORNE CONTAMINANTS-LIQUIDS

(Refer to Table 1)

Liquids- This refers to liquids that will corrode unprotected equipment. They are transported to the equipment by condensation , rain, splashing liquids, or cleaning fluids sprayed from hoses. The majority of these are not classified, but should be specified to

the manufacturers of equipment by special classification LX.

Vapors-Solvents sometimes occurs as vapors, which may condense and form puddles that become corrosive to instruments and controls.

Aerosols- Aerosols are liquids carried in gas or air in the form of small droplets generating mists.

Aerosols can vary in composition and are a major source of chemical contamination to equipment.

Sea Salt Mist (Refer to Table 1)

Example: Class LC1: Inland more than 0.5 km from shore

Class LC2: Inland less than 0.5 km from shore

Class LC3: Offshore installations (oil rigs, etc.)

General Examples (Refer to Table 1)

Contaminant Classes	Contaminant
---------------------	-------------

Trichlorethylene	LA2
Oils(engine rooms, compressor station)	LB1
Specials (contaminant must be specified)	LX3

Table 1

Classification of Chemically Active Contaminants:

Liquid Aerosols (Measured in $\mu\text{g}/\text{kg}$ except as specified)

Severity Level 1	Severity Level 2	Severity Level 3	Severity Level X (special)
------------------	------------------	------------------	----------------------------

Contaminant	Class	Value	Value	Value	Value
Vapors*	LA	<1.0	<5.0	<20.0	≥ 20.0
Oils	LB	<5.0	<50.0	<100.0	≥ 100.0
Sea salt mist	LC	More than 0.5km inland	Within 0.5km inland	Offshore installation	T.B.S.
Special T.B.S.	LX	T.B.S.	T.B.S.	T.B.S.	T.B.S.

*For example, trichlorethylene (CHCl_2)

NOTES: $1.0 \mu\text{g}/\text{kg}$ - 1.0 part per billion ($\text{p}/10^9$)

T.B.S. = To Be Specified

< is defined as "less than"

> is defined as "more than"

\geq is defined as "greater than or equal to"

5.-AIRBORNE CONTAMINANTS -SOLIDS

(Refer to Table 2)

General

Dust is a universal contaminant and is cause of environmentally induced equipment failures. Failure modes may be mechanical, chemical, electrical, thermal, or magnetic. To maximize equipment reliability and life, every effort should be made to minimize exposure to airborne particulates. The sensitivity of control equipment to different types of particulates varies widely. Some of the major effects are discussed in Section 5.2. Specifications should include a description of these characteristic types of particulates if they are relevant. Particle size and concentration classifications are given in Table 2.

Particulate Properties that Affect Equipment

Magnetic Permeability. Magnetically permeable substances can accumulate in magnetic fields; for example, the movement of forcecoils or galvanometer movements can be severely restricted or entirely demobilized by magnetic substances accumulating in air gaps of the permanent magnets. Likewise, electrical motors can be seriously damaged by magnetic materials accumulating between rotor and stator.

Thermal Conductivity. The thermal insulating properties of some solid particles can cause overheating of cooling systems (which become insulated by surface deposits of these substances). For example, the cooling fins of power electronics can be seriously insulated by textile fibers.

Electrical Conductivity. Solid substances are divided into two groups, the good electrical conductors and the highly insulating substances.

Electrical conductors -such as metals, carbon blacks, and coal dusts- can cause short circuits when settling between terminals.

Insulating substances can accumulate static charges that upset the functioning of computers and integrated circuits. Some insulators adsorb moisture under conditions of high relative humidity. This causes an increase in conductivity and can result in equipment failures due to electrical leakage.

Adhesiveness. This characteristic causes a contaminant to adhere to and accumulate on surfaces. This intensifies undesirable effects such as thermal insulation, high voltage discharge, and bearing failures. Adhesive qualities may be inherent to the contaminant, such as tobacco smoke, which contains sticky tars.

Chemical. Airborne particulate matter varies from hard crystalline structures such as metallic ores to soft porous structures such as atmospheric dust, fly ash, and smoke. Porous particles with sizes less than one micrometer may adsorb gaseous contaminants and moisture. This can cause equipment failure due to accelerated corrosion.

Abrasiveness. Abrasiveness is a significant factor in mechanical erosion by high velocity solid contaminants. It also contributes to the accelerated wear of moving parts.

Explanation of Table 2

Solid particulates are classified by size. The environment should be described in terms of concentration severity level for each class, Classes SA through SD.

TABLE 2
Classification of Airborne Particulates

Particle Size	Class	Severity Level (Concentration measured in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		1	2	3	X
>1mm	SA	< 1000	< 5000	< 10000	$\geq 10\ 000$
100 μm to 1000 μm	SB	< 500	< 3000	< 5000	≥ 5000
1 μm to 100 μm	SC	< 70	< 200	< 350	≥ 350
<1 μm	SD	< 70	< 200	< 350	≥ 350

NOTES: μm = micrometer = 0.001 millimeter
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ = micrograms per cubic meter.

6.-AIRBORNE CONTAMINANTS -GASES (Refer to Table 3)

Reactivity

Two methods have been used for environmental characterization. One is a direct measure of selected gaseous air pollutants. The other, which can be termed "reactivity monitoring" provides a quantitative measure of the overall corrosion potential of an environment.

Pollution analysis may provide short-term estimates for specific sites. High values will confirm that a severe environment exists. The reverse, however, is not necessarily true. Industrial environments may contain a complex mixture of contaminants that interact to greatly accelerate (or retard) the corrosive action of individual gas species.

To avoid these practical difficulties, the nature of industrial environments is defined in terms of the rate at which they react with copper. As a direct measure of overall corrosion potential, reactivity monitoring involves the placement of specially prepared copper coupons in the operating environments. Copper has been selected as the coupon material because data exists which correlates copper film formation with reactive (corrosive) environments. It has proven to be particularly useful for environmental characterization. Analyses may consist of measurements of film thickness, film chemistry, or weight loss.

Sensitivity of reported techniques is well within the range required for meaningful application data. Four levels of corrosion severity are established in table 3. Concentration levels of some gases that contribute to these reactivity rates are also cited.

Contamination Effects

Each site may have different combinations and concentration levels of corrosive gaseous contaminants.

Performance degradation can occur rapidly or over many years, depending on the particular concentration levels and combinations present at a site. The following paragraphs describe how various pollutants contribute to equipment performance degradation.

Relative Humidity

High relative humidity accelerates the corrosion caused by gaseous contaminants in an exponential manner. Equally important is the recognition of the fact that temperature fluctuations dramatically affect relative humidity and often induce local condensation. Although water is universally present in industrial atmospheres, the concentration varies widely. It promotes the corrosive degradation of equipment in the three major ways described below.

1. Directly, as a reactive chemical attacking metals and plastics.
2. Interactively with other atmospheric constituents, in most cases forming a more reactive combination. An example of this is sulfur dioxide, SO_2 , which combines with water to form sulfurous acid.
3. Electrochemically: Many species when dissolved in water form a conductive solution. When electric potential differences exist between two dissimilar metals, the conditions for electrolytic or galvanic corrosion processes are set up. These are different phenomena, but both are caused by and/or promoted by an electrolyte.

Inorganic Chlorine Compounds

(expressed as Cl_2 in Table 3)

This group includes chlorine, chlorine dioxide, hydrogen chloride, etc., and reactivity will depend upon the specific gas composition. In the presence of moisture, these gases generate chloride ions which react readily with the copper, tin, silver, and iron alloys. These reactions are significant even when the gases are present at low parts per billion levels. For example, the corrosivity of air containing 1 part per billion of chlorine would probably place that environment in the "Moderate" Class G2 category described in 6.3.2. A concentration of 10 parts per billion would probably increase the severity level to Class G3 or GX. These reactions are attenuated in dry atmospheres. At higher concentrations, many elastomers and some plastics are oxidized by exposure to chlorinated gases. Particular care must be given to equipment which is exposed to atmospheres which contain chlorinated contaminants. Sources of chloride ions, such as cleaning compounds and cooling tower vapors, etc., should be considered when classifying industrial environments. They are seldom absent in major installations.

Active Sulfur Compounds

(Expressed as H_2S in Table 3)

This group includes hydrogen sulfide, elemental sulfur, and organic sulfur such as the mercaptans. When present at low parts per billion levels, they rapidly attack copper, silver, aluminum, and iron alloys. The presence of moisture and small amounts of inorganic chlorine compounds greatly accelerate sulfide corrosion. Note, however, that attack still occurs in low relative humidity environments. Active sulfurs rank with inorganic chlorides as the predominant cause of atmospheric corrosion in the process industries.

Sulfur Oxides

(Expressed as SO_2 and SO_3 in Table 3)

Oxidized forms of sulfur (SO_2 , SO_3) are generated as combustion products of sulfur-bearing fossil fuels. Low parts per billion levels of sulfur oxides can passivate reactive metals and thus retard corrosion. At higher levels they attack certain types of masonry, metals, elastomers, and plastics. The reaction with masonry and metals normally occurs when these gases dissolve in water to form sulfurous and sulfuric acid.

Nitrogen Oxide

(Expressed as NO_x in Table 3)

NO_x compounds (NO , NO_2 , N_2O_4) are formed as combustion products of fossil fuels and have a critical role in the formation of ozone in the atmosphere. They are also believed to have a catalytic effect on corrosion of base metals by chlorides and sulfides. In the presence of moisture, some of these gases form nitric acid which, in turn, attacks most common materials.

Hydrogen Fluoride

(Expressed as HF in Table 3)

This compound is a member of the halogen family and reacts like inorganic chloride compounds.

Ammonia and Derivatives

(Expressed as NH_3 in Table 3)

Reduced forms of nitrogen (ammonia, amines, ammonium ions) occur mainly in fertilizer plants, agricultural applications, and chemical plants. Copper and copper alloys are particularly susceptible to corrosion in ammonia environments.

Photochemical Species

(Expressed as O_3 in Table 3)

The atmosphere contains a wide variety of unstable, reactive species which are formed by the reaction of sunlight with moisture and other atmospheric constituents. Some have lifetimes measured in fractions of a second as they participate in rapid chain reactions. In addition to ozone, a list of examples would include the hydroxyl radical as well as radicals of hydrocarbons, oxygenated hydrocarbons, nitrogen oxides, sulfur oxides, and water. Because of the transient nature of most of these species, their primary effects are on outdoor installations and enclosures. In general, plastics and elastomers are more susceptible than metals to photochemical effects.

Strong Oxidants

This includes ozone plus certain chlorinated gases (chlorine, chlorine dioxide). Ozone (O_3) is an unstable form of oxygen which is formed from diatomic oxygen by electrical discharge or by solar radiation in the atmosphere. These gases are powerful bleaching and oxidizing agents. They attack the surface of many elastomers and plastics. Photochemical oxidation- the combined effect of oxidants and ultraviolet light (sunlight)- is particularly potent. Ozone may also function as a catalyst in sulfide and chloride corrosion of metals, but its precise role is unclear.

Explanation of Contaminant Severity Levels

There is broad distribution of contaminant concentrations and reactivity levels existing within industries using process measurement and control equipment. Some environments are severely corrosive, while others are mild.

The purpose of the contaminant classes is to define environments on the basis of corrosion rate of oxygen-free high conductivity copper, which is prepared and tested as described in Appendix C.

Severity Level G1

Mild - An environment sufficiently well-controlled such that corrosion is not a factor in determining equipment reliability.

Severity Level G2

Moderate - An environment in which the effects of corrosion are measurable and may be a factor in determining equipment reliability.

Severity Level G3

Harsh - An environment in which there is a high probability that corrosive attack will occur. These harsh levels should prompt further evaluation resulting in environmental controls or specially designed and packaged equipment.

Severity Level GX

Severe - An environment in which only specially designed and packaged equipment would be expected to survive. Specifications for equipment in this class are a matter of negotiation between user and supplier.

TABLE 3

Classification of Reactive Environments

Severity Level	G1 Mild	G2 Moderate	G3 Harsh	GX Severe
Copper Reactivity Level (in angstroms)*	< 300	<1000	<2000	≥2000

The gas concentration levels shown below are provided for reference purposes.

They are believed to approximate the Cooper Reactivity Levels stated above, providing the relative humidity is less than 50%. For a given gas concentration, the Severity Level (and Copper Reactivity Level) can be expected to be increased by one level for each 10% increase in relative humidity above 50% or for a relative humidity rate of change greater than 6% per hour.

Gas Concentration+

Reactive species	Contaminant	Gas	Concentration			
		Group A++	H ₂ S	<3	<10	<50
SO ₂ , SO ₃			<10	<100	<300	≥300
Cl ₂			<1	<2	<10	≥10
NO _x			<50	<125	<1250	≥1250
Group Bξ		HF	<1	<2	<10	≥10
		NH ₃	<500	<10000	<25000	≥25000
		O ₃	<2	<25	<100	≥100

NOTES: *Measured in angstroms after one month's exposure. See Appendix C. Item Numbers 2,3.

+mm³/m³ (cubic millimeters per cubic meter) parts per billion average for test period for the gases in Groups A and B.

++The group A contaminants often occur together and the reactivity levels include the synergistic effects of these contaminants.

ξThe synergistic effects of Group B contaminants are not known at this time.

7. BIOLOGICAL INFLUENCES

Flora and fauna are important constituents of the environment in which industrial process measurement and control equipment is expected to function properly. Usually a tropical climate has more living contaminants, but other climates can have similar problems.

For example, insects can cause unexpected shutdowns of pneumatic equipment by blocking off all breather openings with a clay-like cement which they use to form their nests. Also, insulating material is often subject to damage by cockroaches and rodents, etc., which simply remove the insulation by nibbling it off the wires. The accumulation of fungi, molds, dead animals or insects can cause mechanical, electrical, or thermal equipment failures.

The subject of "flora and fauna" is a general classification for plant growth and animal (insect) life and is not specific enough to be useful. Therefore, any plant growth or animal life which may affect equipment performance should be considered.

APPENDIX A

TERMINOLOGY

Corrosion-Deterioration of a substance (usually a metal) because of a reaction with its environment.

Contaminant-That which contaminants to make impure or corrupt by contact or mixing.

Electrochemical Corrosion - Corrosion of metal caused by current flowing through an electrolyte between anode and cathode areas.

Erosion-Deterioration by the abrasive action of fluids, usually accelerated by the presence of solid particles in suspension.

Halide-Compound containing fluorine, bromine, chlorine, or iodine.

Halogen - Bromine, chlorine, fluorine, or iodine.

Hygroscopic - Having a tendency to absorb water.

Oxidation- Loss of electrons by a constituent of a chemical reaction.

Oxide -Chemical compound of an element, usually metal, with oxygen.

Reduction .-Gain of electrons by a constituent of a chemical reaction.

APPENDIX B - SECTION 1

Some Common Sources of Reactive Environmental Constituents.

Category	Symbol	Constituent	Some Common Sources
Gas	H ₂ S	Hydrogen sulfide	Geothermal emissions, microbiological activities, fossil fuel processing, wood pulping, sewage treatment, combustion of fossil fuel, auto emissions, ore smelting, sulfuric acid manufacture.
Gas	SO ₂ , SO ₃	Sulfur oxides	Combustion of fossil fuel, auto emissions, ore smelting, sulfuric acid manufacture, tobacco smoke.
Gas	S _H , R-SH	Mercaptans	Foundries, sulfur manufacture.
Gas	HF	Hydrogen fluoride	Fertilizer manufacture, aluminum manufacture, ceramics manufacture, steel manufacture, electronic device manufacture, fossil fuel.
Gas	NO _x	Oxides of nitrogen	Automobile emissions, fossil fuel combustion, microbes, chemical industry.
Gas	N ₂	Active organic nitrogen	Automobile emissions, animal waste, vegetable combustion, sewage, wood pulping.
Gas	NH ₃	Ammonia	Microbes, sewage, fertilizer manufacture, geothermal steam, refrigeration equipment, cleaning products, reproduction (blueprint) machines.
Solid	C	Carbon	Incomplete combustion (aerosol constituent), foundry.
Gas	CO	Carbon monoxide	Combustion, automobile emissions, microbes, trees, wood pulping.
Gas	Cl ₂ , ClO ₂	Chlorine, Chlorine dioxide	Chlorine manufacture, aluminum manufacture, paper mills, refuse decomposition, cleaning products.
Gas	HCl	Hydrogen chloride	Automotive emissions, combustion, oceanic processes, polymer combustion..
Gas	HBr, HI	Halogen compounds	Automotive emissions.
Liquid	Cl	Chloride ions	Aerosol content, oceanic processes, ore processing.
Gas	O ₃	Ozone	Atmospheric photochemical processes mainly involving nitrogen oxides and oxygenated hydrocarbons, automotive emissions, electrostatic filters.
Gas	C _n H _n	Hydrocarbons	Automotive emissions, fossil fuel processing, tobacco smoke, water treatment, microbes. Mainly other sources, both natural and industrial, paper mill.
Solid		Inorganic dust	Crystal rock, rock and ore processing, combustion, blowing sand and many industrial sources.

APPENDIX B - Section 2

Some Common Emissions of Natural and Industrial Processes.

Natural Processes	Emissions
Microbes	H ₂ , NO _x , CO, NH ₃ , H ₂ S, large variety of organics of many types.
Sewage	NH ₃ , aldehydes, many organics, mercaptans, S, CO, H ₂ , H ₂ .
Geothermal	H ₂ , SO ₂ , H ₂ S.
Marshy area	H ₂ S, NH ₃ , SO ₂ .
Animal matter	Many organics, mainly oxygenated
Forest fire	HCl, CO, CO ₂ .
Oceans	NaCl, chloride ions

Industrial Processes	Emissions
Power generation	SO ₂ , C, CO, NO _x , hydrocarbons, organics.
Automotive combustion	SO ₂ , SO ₃ , HCl, HBr, NO _x , hydrocarbons organics, CO, HBr.
Diesel Combustion	CO, NO _x , many organics.
Fossil fuel processing	H ₂ S, S, SO ₂ , NH ₃ , hydrocarbons, other organics, mercaptans.
Plastic manufacture	All organics, aldehydes, alcohols, NH ₃ , SO ₂ .
Cement plants	SO ₃ , dust, SO ₂ , NO _x , CO.
Steel blast furnaces	H ₂ S, SO ₂ , CO, HF, coal dust.
Steel electric furnace	C, CO, H ₂ S, SO ₂ .
Coke plants	H ₂ S, CO, HCN, carbons, dust.
Pulp manufacture	Cl ₂ , CO, H ₂ S, SO ₂ , wood fibers, dust.
Chlorine plants	Chlorine, chlorine compounds, NaCl.
Fertilizer manufacture	HF, NH ₃ , CH ₄ , gas, liquids, dust, acids.
Food processing	Hydrocarbons, many organics.
Rubber manufacture	H ₂ S, S _H , R-SH
Paint manufacture	C, hydrocarbons, oxygenated hydrocarbons, dust.
Aluminum manufacture	HF, SO ₂ , C, dust.
Ore smelting	SO ₂ , CO, H ₂ , dust.
Tobacco smoke	CO, H ₂ S, SO ₂ , HCN, tars and particulates.
Gasoline and fuel vapors	Hydrocarbons, oxygenated hydrocarbons.
Battery manufacture	SO ₂ , acids, dust.

APPENDIX C - Copper Reactivity Samples

1. Sample Preparation- Copper samples (nominal size 15 cm²) should be prepared from 99.99 purity, oxygen-free high conductivity (OFHC), 0.635 mm thick sheet; ½ -3/4 hard.

Prepare as follows:

- 1-Abrade with 240X metallograph paper using a wax lubricant.
- 2-Abrade with 400X metallograph paper as in Step 1 .
- 3-Abrade with 600X metallograph paper as in Step 1*.
- 4-Scrub with cotton soaked in hot reagent grade acetone.
- 5-Dip in hot reagent grade isopropyl alcohol.
- 6-Store in glass containers purged with dry nitrogen.

*Steps (3) through (5) should be done as near to placement time as possible.

2. Sample Exposure - Three copper coupons should be placed vertically at the site being monitored. Particular care should be taken to avoid surface contamination such as fingerprints. Installation should be in area which has air flow rates that are characteristic of the site.

Corrosion is defined in terms of the corrosion film thickness which builds up with one month of exposure. It is recognized that film buildup will be quite slow in mild areas but rapid in severe sites. To facilitate film thickness measurements in these extreme conditions, test times can be extended to three months at mild sites or reduced to two weeks in harsh environments. Copper corrosion is nonlinear, so changes of this type must be made with great care. Experience has shown that measurements over longer or shorter test times can be reduced to a normalized one month value by using the relationship

$$X_1 = X(t_1/t)^A$$

where X_1 is the equivalent film thickness after one month

X is the measured film thickness after time t

t_1 is thirty days

t is the actual test time (days)

A is equal to 0.3 for G1, 0.5 for G2, 1 for G3 and GX.

3. Sample Analysis - Film thickness should be determined by cathodic reduction using the method of W.E. Campbell and U. B. Thomas, "Tarnish Studies," Bell Telephone System Technical publications, Monograph 13, 1170 (1939).

4. References

Abbott, W. H. "The effects of operating Environments on Electrical and Electronic Equipment Reliability in the Pulp and Paper Industry." Paper presented at the IEEE Industry Applications Society 1983 Pulp and Paper Technical Conference, May 1983. IEEE Conference Record, New York; Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1983.

Rice, D. W., et al. "Atmospheric Corrosion of Copper and Silver ." J. Electrochem. Soc. 128, no. 2 (February 1981): 275-284.

APÉNDICE III.

Ejemplos prácticos para identificar los compuestos inorgánicos en sus espectros.

Las bandas se clasifican como: v.s. (muy fuerte) >80% de absorción, s (fuerte) < 80% de absorción, m (media) < 40% de absorción, W (débil) < 20% de absorción, v.w. (muy débil) 10% de absorción. inf. = (inflexión), sh= (hombro), b= (ancho), sp= (pico).

Ejemplo Práctico No. 1

El espectro No. 1 fue registrado en nujol, corresponde a una mezcla de compuestos inorgánicos cuyo análisis catiónico sólo ha revelado la presencia de sodio. Indíquese su composición cualitativa, sabiendo que únicamente puede contener alguno de los compuestos cuyos espectros se dan en las siguientes páginas.

Solución.

La comparación del espectro problema con los de las sustancias puras dadas permite deducir las siguientes conclusiones:

1. La banda aguda hacia 830 cm^{-1} sólo puede atribuirse a la presencia de NaNO_2 o de NaNO_3 , siendo este último menos probable porque en él la banda esta localizada a una frecuencia algo más alta (840 cm^{-1}) y, sobre todo, por la ausencia de la banda ancha e intensa hacia 1360 cm^{-1} . La presencia de NaNO_2 se confirma por la banda ancha e intensa que aparece hacia 1250 cm^{-1} .

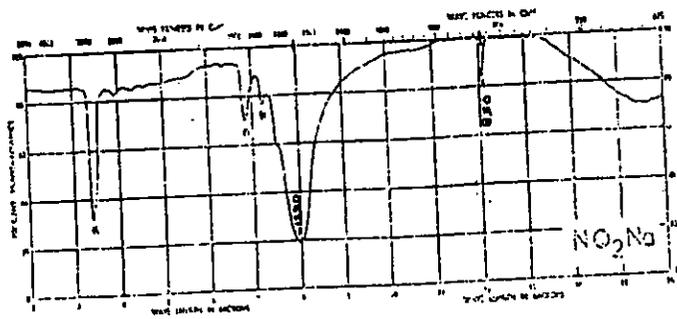
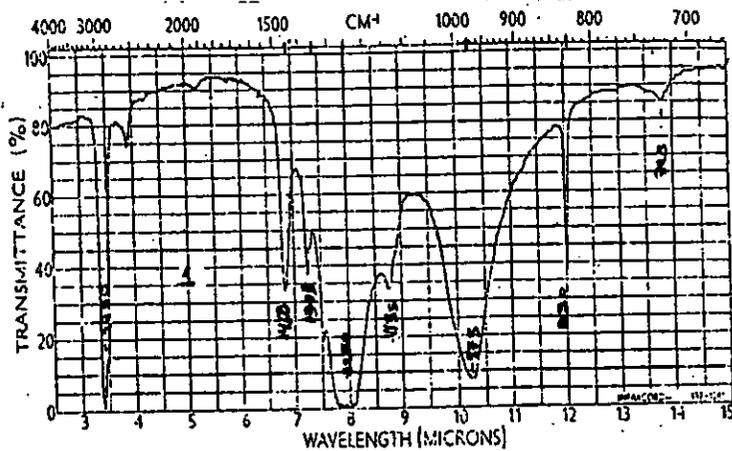
2. La banda ancha hacia 975 cm^{-1} sólo puede atribuirse a la presencia de Na_2SO_3 , o de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$. Este último queda descartado por la ausencia de las bandas a 1060 y 1180 cm^{-1} . La banda débil hacia 1135 cm^{-1} , en el espectro problema, confirma la presencia de Na_2SO_3 .

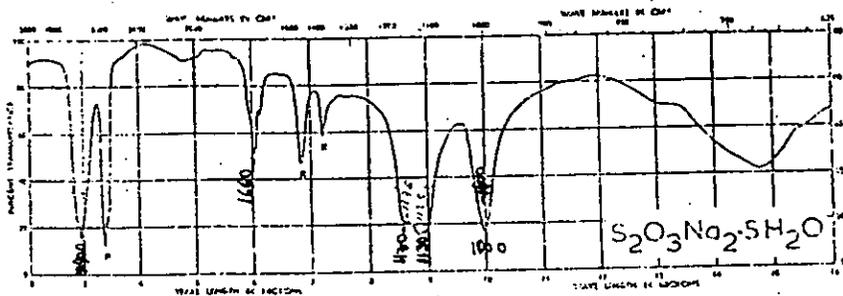
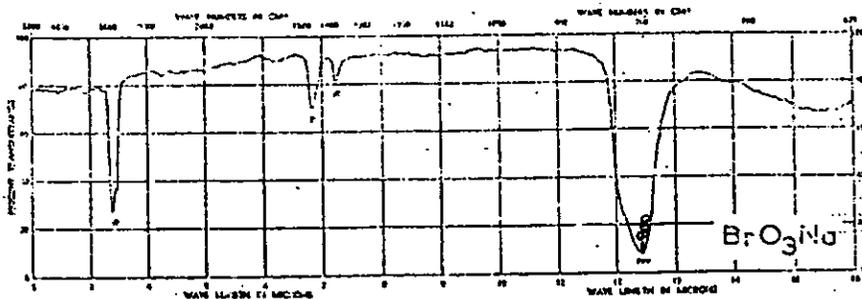
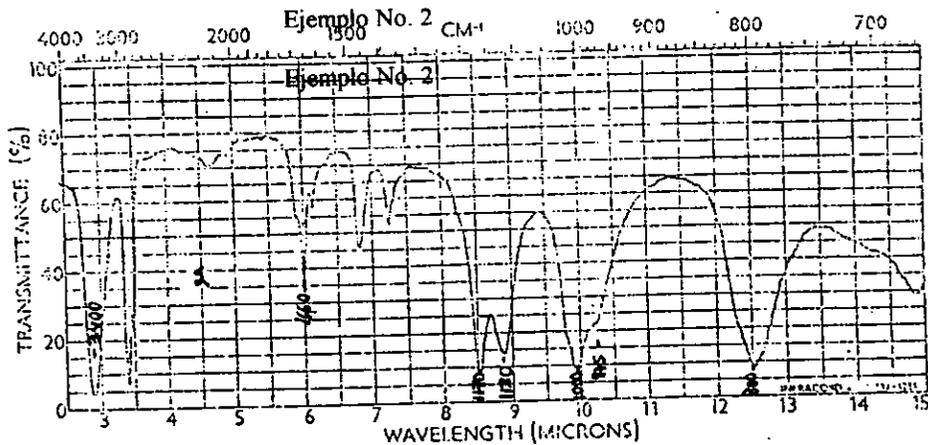
3. El resto de los compuestos dados puede excluirse fácilmente dada la ausencia en el espectro problema de sus bandas más intensas.

La composición cualitativa de la mezcla problema es por tanto, $\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{NaNO}_2$. Con los espectros de estas dos sustancias puras se puede justificar todas las bandas del espectro problema (las bandas de nujol, son las que aparecen hacia 2950 , 1460 , 1375 y 725 cm^{-1}).

La intensidad relativa de las bandas sugiere una mayor proporción, en la mezcla, de NaNO_2 .

Ejemplo No. 1





Ejemplo Práctico No. 2

El espectro No. 2 corresponde también a una mezcla de sales sódicas. Indíquese su composición cualitativa.

Solución.

De la comparación con los espectros de los compuestos puros, puede deducirse lo siguiente:

1. La banda ancha hacia 800 cm^{-1} sólo puede atribuirse a la presencia de NaBrO_3 .

2. Las bandas que aparecen hacia 3400 , 1660 , 1170 , 1130 y 1000

cm^{-1} indican, sin lugar a dudas, la presencia de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Nótese el hombro que aparece hacia 970 cm^{-1} en la banda a 1000 cm^{-1} del tiosulfato, que sugiere la existencia de otro compuesto.

Se trata, por lo tanto, de una mezcla de NaBrO_3 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y Na_2SO_3 . Todas las bandas del espectro problema quedan así justificadas. Obsérvese la forma ligeramente diferente de las bandas de la zona $1175\text{-}1125\text{ cm}^{-1}$, que no pueden explicarse con la presencia de ningún otro componente.

APÉNDICE IV

CRONOPOTENCIOMETRÍA (17, 18,19,20).

La cronopotenciometría es una clase de medida electroanalítica en la cual el potencial es medido como una función del tiempo, en tanto que la señal de excitación es la corriente constante. A esta técnica se le conoce también como Reducción Galvanostática.

Análisis por Reducción Coulométrica.(21)

Es una técnica importante para estudiar películas superficiales en metales. La reducción coulométrica puede dar información cuantitativa y química acerca de los constituyentes de la película. Las especies electroactivas insolubles presentes dentro de la película son reducidas a potenciales característicos, y la carga requerida para reducirlos está relacionada con la cantidad en la película. Los principios de reducción coulométrica usados para la identificación de los productos de corrosión en superficies de metales han sido discutidos por Kruger (22).

Los potenciales de reducción para óxidos de cobre presentes en películas de CuS fueron determinados por Vedel (23). En el trabajo hecho por Peide et al.(24) acerca de la composición de las películas deslustradas formadas en cobre expuestas por 168 hrs. en aire húmedo (100% HR a 25 °C) conteniendo 0.05 partes volumétricas por millón de H₂S, usando reducción coulométrica encontró que las películas contenían CuS, Cu₂S CuO, Cu₂O y el examen de la superficie corroída por SEM revela productos de corrosión circulares dentro del rango de 25 a 100 µm. de tamaño.

Fiauld et al (25) estudió los productos de corrosión en cobre expuesto a aire húmedo que contenía SO₂, H₂S, SO₂+ H₂S, usando voltametría catódica. Los componentes identificados en las películas fueron Cu₂S, CuO, Cu₂O y una mezcla de los compuestos CuO+Cu₂O.

Hoar y Stockbridge (26) demostraron que los potenciales de reducción para varios compuestos en películas empañadas dependen de las características de la densidad de corriente aplicada.

Basados en estos estudios, se han compilado en la tabla I.2, los potenciales de reducción coulométrica para óxidos y sulfuros de cobre. Los valores dependen de las condiciones de prueba tales como pH de la solución y densidad de corriente de reducción. Los análisis de reducción del espesor de película pueden calcularse usando las leyes de Faraday y los equivalentes electroquímicos de los compuestos, como fue descrito por Allen (27).

Los análisis preliminares de reducción coulométrica se realizaron en muestras de cobre deslustradas bajo las siguientes condiciones: la reducción coulométrica fue hecha en solución deareada de 0.1M KCl aplicando una densidad de corriente de 0.05 mA/cm². El potencial del electrodo fue registrado contra un electrodo de calomelanos saturado (SCE). Los resultados son reportados a continuación.

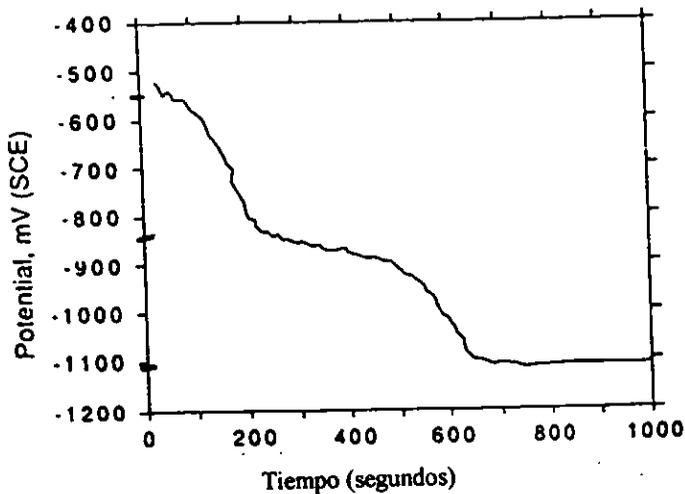
TABLA I.III

Potenciales electroquímicos de reducción para óxidos y sulfuros de cobre reportados en la literatura.

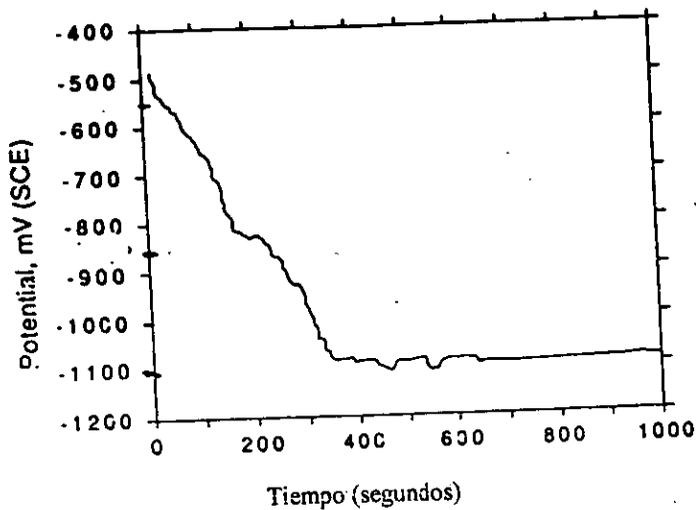
Fuente	Ref.	Condiciones de Prueba	Compuesto	Potencial mV_{SCE}
Peide et al.	24	0.1M Na_2CO_3 , 100-500 $\mu A/cm^2$	CuO, Cu ₂ O CuS Cu ₂ S	-150 -650 -800 -1070
Hoar y Stockbridge	26	0.2 M KCl, amortiguada 300 $\mu A/cm^2$	Cu ₂ S H ⁺	-896 a -946 -1038
Vedel y Soubeyrand	23	0.1 M acetato de sodio	En Cu ₂ S CuO Cu ₂ O CuS Cu ₂ S H ₂ O	Contra Cu ₂ S/Cu +840 +550 +300 0 -210
Zapipour	Comunicación Privada		CuO Cu ₂ O CuS Cu ₂ S	-200 -600 -800 -1100

La reducción coulométrica fue investigada en cupones expuestos en ambientes con trazas de SO_2 durante 12 y 60 hr. los diagramas de reducción de estos cupones se ilustran en la fig. a y b respectivamente. En ambos casos, se observan tres detenciones (escalones) en el potencial. El primer detenimiento (escalón) se encuentra a $-550 mV_{SCE}$ corresponde a la reducción del Cu_2O en la película. El segundo detenimiento o escalón a $-840 mV_{SCE}$ está dentro del rango de valores reportados para CuS y Cu_2S , posiblemente el Cu_2S es no estequiométrico. El tercer escalón es a $-1100 mV_{SCE}$ que corresponde a la reducción del ión H^+ . La duración del segundo escalón se incrementa grandemente con el incremento del tiempo de exposición al medio ambiente. Ver fig. I.

Fig. I. Diagrama potencial- tiempo obtenido por análisis de reducción electroquímica de Cobre, expuesto al aire con 110 ppb SO_2 + 70% HR a 30°C para a) 12 hr. y b) 60 hr.



a) 12 hrs. de exposición.



b) 60 hrs. de exposición.

En cronopotenciometría (28) el estudio de la transformación de los productos de cobre formados en función del tiempo de inmersión se ha efectuado mediante la obtención de las correspondientes curvas potencial-tiempo. Los productos de corrosión se reducen como consecuencia de la densidad de corriente catódica aplicada. La reducción de las especies aparece como un escalón. Se puede observar en todos los casos, la aparición de un único escalón de reducción, comprobándose que el potencial del mismo se desplaza hacia valores más negativos de potencial, a medida que aumenta el tiempo de inmersión.

Por lo general, los productos de corrosión adherentes se reducen en el orden del potencial: óxido, hidróxido, sal básica, a medida que el electrodo se polariza catódicamente. La reducción de los productos de corrosión formados, debe de tener lugar en principio, reducen en el metal, pero los de naturaleza coloidal ligeramente adheridos a la superficie, no son reducibles.

Cuanto mayor es el espesor de la capa de los productos de corrosión, más negativo es el potencial de reducción, por lo tanto la presencia de un solo escalón de reducción, sugerirá que los productos de corrosión formados son en su mayoría de naturaleza coloidal.

El valor del potencial de reducción suministra información sobre la composición química de la película, y el tiempo que ha durado la reducción puede suministrar información sobre el espesor de la película, puesto que se conocen los coulombios que se han pasado: $Q = I \times t$.

Los potenciales de reducción y los tiempos de reducción pueden suministrar información sobre la naturaleza y espesor de la película formada.

TÉCNICA EXPERIMENTAL.

Se cortan 6 muestras de cobre de 99.99% de pureza (HCFO), dos muestras de 4X4 cm, dos de 4X3 cm y dos de 13.3 cm², cada una de las muestras se lijan en lija 600 utilizando nujol como lubricante, se limpian con algodón remojado en acetona caliente y se enjuagan en alcohol isopropílico caliente.

Las dos muestras de 4X4 cm, una de 4X3 cm se introducen en NaCl al 3% durante una semana y las demás muestras se sumergen durante tres semanas.

En un vaso de precipitados de 200 ml cerrado con un tapón de hule, conteniendo NaCl 3% se introducen, el electrodo de cobre (electrodo de trabajo), el electrodo de calomelanos saturado (electrodo de referencia) y el electrodo de grafito (contraelectrodo). Éstos electrodos se conectan a sus respectivas terminales utilizando un potenciostato marca EGeG PARC (Princeton Applied Reseach) modelo Versastat. El primer paso consiste en el control de software, determinando en pantalla las condiciones de corriente catódica aplicada, tiempo preseleccionado, área del electrodo de trabajo, densidad del electrodo de trabajo, etc.

Las medidas se realizan imponiendo una corriente catódica constante y un tiempo preseleccionado para cada electrodo de trabajo, y de esta manera se obtiene la variación del potencial con respecto al tiempo (cronopotenciogramas) o curvas de reducción galvanostática

En este caso sólo se indica algunos cronopotenciogramas en donde la contribución de la técnica fue importante.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En las figuras III.4.1, III.4.2 y III.4.3 se muestran los cronopotenciogramas obtenidos experimentalmente, en éstas curvas se parte de la aplicación de una corriente catódica constante para reducir los óxidos formados hasta la evolución de hidrógeno, suponiendo que dichos óxidos son: CuO (negro) y Cu₂O(rojizo) en soluciones de NaCl 3%

En la fig. III.4.1 se observa el Cronopotenciograma correspondiente a la muestra GALV V de 16 cm sumergida una semana en una solución de NaCl 3%, en él se puede observar que el potencial de reducción es de -300mV, al aplicar una corriente catódica de 1900 microamperes, durante un tiempo de prueba de 1350 segundos

En la fig. III.4.2 se observa el cronopotenciograma correspondiente a la muestra GALV J, se presenta un escalón de potencial de reducción en -270 mV. aplicando una corriente de 1900 microamperes, en un tiempo de prueba de 850 segundos, la muestra de 12 cm permaneció sumergida en NaCl 3% durante 1 semana. A -275 mV se observa desprendimiento de hidrógeno.

En la fig. III.4.3 se observa el cronopotenciograma correspondiente a la muestra GALV Q expuesta durante tres semanas en una solución de NaCl 3%, existe un escalón de potencial de reducción a -810 mV; y la evolución de hidrógeno se observa para potenciales del orden de -815 mV y 350 segundos, aplicando una corriente catódica de 5000 microamperes, en un área de 13.5 cm y en un tiempo de prueba de 600 segundos.

En todas las mediciones de potencial se utilizó un electrodo de calomelanos saturado. Para un tiempo de permanencia de las probetas de siete días (una semana), y aplicando una corriente catódica de 1900 microamperes el cambio en la pendiente a -270 y a-300 mV, indica que se efectúa la reducción de un óxido de cobre, posiblemente. Se propone que el potencial de reducción para el CuO es igual a -300 mV.

En base a lo anterior parece evidente la formación de una película de óxido de cobre, al sumergir el electrodo de cobre en solución de NaCl 3% después de una y tres semanas de exposición.

La naturaleza de los productos de corrosión observados según su color son: rojizo Cu₂O, verde CuCl₂·3Cu(OH)₂, formados al sumergirlos en NaCl 3%. Es importante mencionar que esta información aunque muy valiosa, no es ni mucho menos definitiva, hay que complementarla con otros datos obtenidos.

Model: 350/532 Corrosion Analysis Software, v. 2.23
 File Name: 350532.Plot: 08/11/97 2 ES 06L300STAT2Z
 File Status: NORMAL Date Run: 05-12-97 Time Run: 12:58:18
 CP PMS vs. R CT PMS ID PMS PL NONE
 TP 0.125E-01 T1 0.200E-03 SP 00
 I1 1.000E-03 SD Pass DI NONE
 RT HIGH STABILITY REF 0.00000 User WSE SOLID DI 0.000E+00
 PE 1.000E-01 LS SD DI 0.190
 DEH 0.000E-00 RJ SD CC 0.170

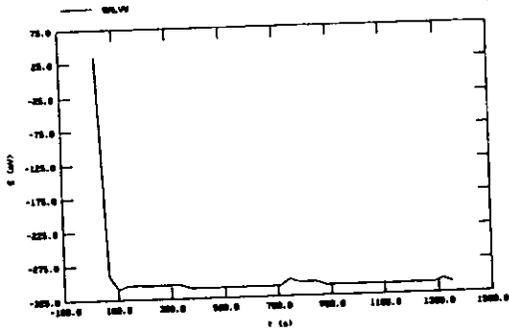


FIG. III.4.1 Crocopotenciograma de la muestra Galv V, expuesta tres semanas en NaCl 3%.

Model: 350/532 Corrosion Analysis Software, v. 2.23
 File Name: 350532.Plot: 08/11/97 2 ES 06L300STAT2Z
 File Status: NORMAL Date Run: 05-29-97 Time Run: 19:14:30
 CP PMS vs. R CT PMS ID PMS PL NONE
 TP 0.125E-01 T1 0.200E-03 SP 00
 I1 1.000E-03 SD Pass DI NONE
 RT HIGH STABILITY REF 0.00000 User WSE SOLID DI 0.000E+00
 PE 1.000E-01 LS SD DI 0.170
 DEH 0.000E-00 RJ SD CC 0.170

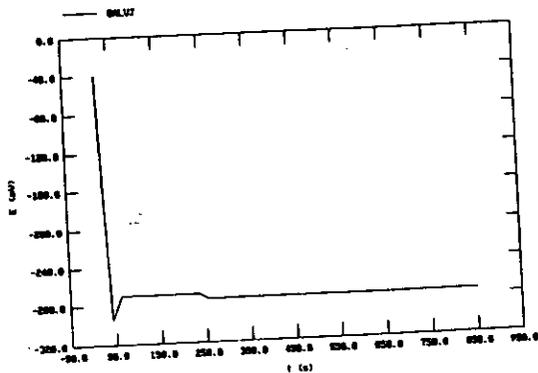
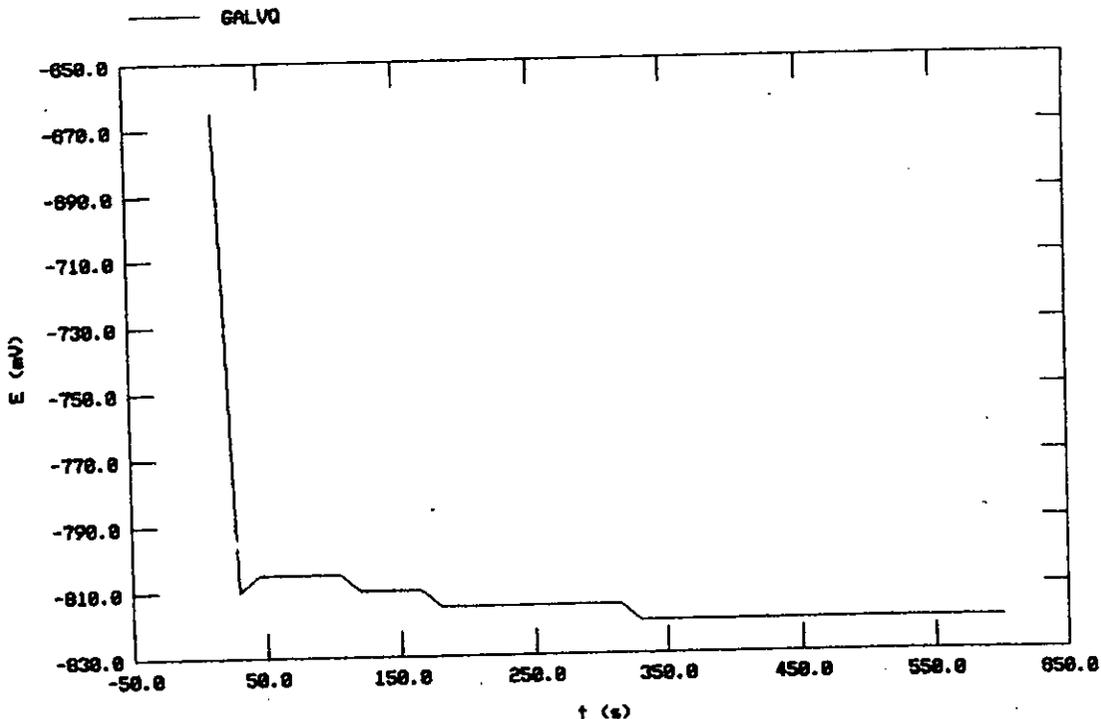


FIG. III.4.2 Crocopotenciograma de la muestra Galv I, expuesta tres semanas en NaCl 3%.

Model 352/252 Corrosion Analysis Software, v. 2.23
 Filename: b:\GALVQ Pstat: VStat11 Ver 2 GS GALVANOSTATIC
 File Status: NORMAL Date Run: 05-30-97 Time Run: 18:29:38
 CP PASS vs. R CT PASS ID PASS
 TP 1.500E+01 T1 0.000E+02 NP 40
 I1 5.000E-03 S0 Pass IR NONE FL NONE
 RT HIGH STABILITY REF 0.24150 SCE WRK SOLID
 AR 1.350E+01 LS NO EM 0.000E+00
 DEN 0.900E+00 AU NO OC -0.342



III.4.3 Cronopotenciograma de la muestra Galv Q,
 expuesta durante tres semanas en NaCl 3%.