

Nº 71
25J.



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

Corrosión Atmosférica en Materiales
Ingenieriles, Aplicación de la Técnica
Alambre sobre Tornillo

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO METALURGICO
P R E S E N T A N
Hernández Peña Patricia de J.
Martínez Barragán Lina



México, D.F.

1992

FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

INDICE

3. INTRODUCCION	1
II. CORROSION	4
Clasificación de los procesos de corrosión	4
III. CORROSION ATMOSFERICA	6
Etapas parciales del proceso de corrosión	8
Velocidad de corrosión	11
Influencia del espesor de la capa de humedad	12
Formación de películas de humedad	13
Papel de la herrumbre	15
Contaminación atmosférica	16
Actuación de los contaminantes	17
Corrosividad de las atmósferas	19
Mecanismo de corrosión del hierro	21
Mecanismo de la corrosión atmosférica de los metales no ferrosos	23
IV. TECNICA "ALAMBRE SOBRE TORNILLO"	25
V. PARTE EXPERIMENTAL	29
Materiales	29
Lugares y períodos de exposición	32
Preparación de pupitres	34
Preparación de estaciones	36
Técnicas de limpieza	38
Soluciones decapantes empleadas	39

<i>VJ. DISCUSION DE RESULTADOS</i>	<i>41</i>
<i>VJJ. CONCLUSIONES</i>	<i>49</i>
<i>VJJJ. BIBLIOGRAFIA</i>	<i>51</i>

1. INTRODUCTION

1. INTRODUCCION

Se entiende por corrosión a la reacción del metal o de una aleación con el medio, con deterioro de las propiedades metálicas; a causa de este fenómeno los metales pierden su estado elemental y retornan al estado combinado de origen.

Todos los metales muestran tendencia inherente a reaccionar con el medio (atmósfera, agua, suelo, etc.) este proceso es natural y espontáneo. Los efectos de la corrosión se hacen patentes con sólo mirar alrededor de uno mismo: ejemplo: clavos herrumbrosos, deterioro de carrocerías, etc..

La acción de la atmósfera sobre los metales constituye uno de los mayores problemas planteados por la corrosión, debido a que el 80% de las estructuras metálicas están sometidas a la atmósfera a temperatura ambiente y el oponerse a dicho ataque se consume el 50% de los costos totales dedicados a luchar contra la corrosión, por lo que es muy importante conocer las predicciones de corrosión atmosférica que nos sirven de orientación respecto a las medidas protectoras para la conservación del metal.

En la corrosión atmosférica es corriente el efecto de microclimas (variaciones ambientales importantes a lo largo de cortas distancias) por lo que es necesario multiplicar las estaciones de ensayo para deducir comportamientos globales y no particulares.

El ensayo "alambre sobre tornillo" o "Wire on bolt" es una importante herramienta de trabajo en los estudios de corrosión atmosférica, que consiste en la evaluación de la pérdida de peso que experimenta un alambre que ha estado expuesto durante cierto tiempo en la atmósfera, enrollado firmemente en la rosca de un tornillo por lo normal de comportamiento catódico con respecto al alambre (ánodo) y en ocasiones, de un tornillo de plástico. El ensayo "alambre sobre tornillo", es un método rápido, poco costoso y fácil de ejecución en el que se juxtaponen tres diferentes fenómenos que aceleran el proceso corrosivo: corrosión atmosférica propiamente dicha, de la superficie del alambre libremente expuesta a la atmósfera, corrosión en los resquicios alambre-tornillo y corrosión galvánica entre el alambre (ánodo) y el tornillo (cátodo).

El objetivo de este trabajo es confirmar las posibilidades del método "Alambre sobre Tornillo" para mediciones de corrosividad de materiales ingenieriles, tales como aluminio, hierro, cobre y zinc en diversas atmósferas variables como marina, industrial, urbana.

Otro de los objetivos de este ensayo es el de realizar una clasificación de las atmósferas o de los diversos climas presentes en una región.

La importancia de tener clasificada, en orden a su corrosividad las diferentes atmósferas, ayuda a seleccionar los materiales metálicos y recubrimientos óptimos para una protección eficaz contra la corrosión,

teniendo en cuenta que las variables que influyen en la corrosión son: tiempo de humectación de la superficie metálica, factores de contaminación y meteorológicos, condiciones de exposición, naturaleza del metal y propiedades de los productos de corrosión.

II. CORROSION

CORROSION

Se entiende por corrosión al ataque que sufre el material por reacción con el medio ambiente con el consiguiente deterioro de sus propiedades.

La corrosión transforma nuevamente los metales en compuestos más estables (óxidos). Por lo que la tendencia del metal a la corrosión estará determinada por la diferencia de energía entre el estado metálico y el de sus productos de corrosión. Ya que los metales se encuentran en la naturaleza en forma de compuestos estables (minerales) como pueden ser sulfuros, óxidos, etc. mediante el aporte de energía se pueden obtener metales puros.

CLASIFICACION DE LOS PROCESOS DE CORROSION

1.- Según el medio.

a) Corrosión química o seca.- es aquella que ocurre en la atmósfera seca a elevadas temperaturas. Por lo general se trata de un ataque homogéneo en toda la superficie metálica estando presente una interfase metal-gas o metal-medio no iónico (O_2 , Cl_2 , SO_2 , etc.).

b) Corrosión Electroquímica o Húmeda.- es la que se produce en presencia de un electrolito para que produzca un transporte simultáneo de iones a través del mismo y de electrones a través del metal. Ejemplo: corrosión atmosférica, marina, etc.

2.- Según la morfología del ataque.

a) Corrosión uniforme.

b) Corrosión no uniforme o localizada.

Corrosión por picaduras

Corrosión en grietas

Corrosión intergranular o intercrystalina

Corrosión transcristalina

Corrosión selectiva

III. CORROSION ATMOSFERICA

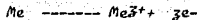
CORROSION ATMOSFERICA

Se entiende por corrosión atmosférica el deterioro que sufren los materiales al estar expuestos a la atmósfera a temperatura ambiente poniendo los metales su estado elemental y retornando al estado combinado de origen, ya que todos los metales tienden a reaccionar con el medio ambiente.

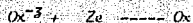
La Corrosión Atmosférica representa un grave problema económico debido a que la mayoría de los materiales se encuentran al aire libre, consumiéndose el 50 % de los gastos totales destinados a prevenir la corrosión. Es por esto, que es necesario conocer las predicciones acerca de la corrosión atmosférica para tener en cuenta el material que se va a utilizar así como las medidas de protección necesarias, y en que época utilizarlas, además de hacer comparaciones entre el comportamiento de metales ingenieriles en distintas atmósferas agresivas.

Este proceso discontinuo se realiza mediante un mecanismo electroquímico llevándose a cabo las semi-reacciones anódicas y catódicas cuando se forma una capa de electrolito además de la presencia de oxígeno.

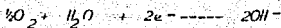
Las reacciones anódicas son las que ocurren con la disolución en determinados puntos de la superficie (ánodo), de acuerdo con el proceso parcial:



siendo z la valencia de los iones metálicos que pasan a formar parte del producto de corrosión. Junto con la reacción anódica, debe existir al menos una reacción catódica, que consuma los electrones liberados en la reacción anódica. Esta reacción puede expresarse por la ecuación:



Las reacciones catódicas de mayor interés: son la reducción de protones en medios ácidos y la de oxígeno disuelto en medio neutro o alcalinos.



ETAPAS PARCIALES DEL PROCESO DE CORROSION

Dado el carácter electroquímico de la corrosión atmosférica la formación de una capa de electrolito, bien sea por condensación, absorción o adsorción o precipitación, es condición previa e indispensable para el desencadenamiento del problema que para él produce desperfectos a través de una destrucción de las capas primarias de productos de corrosión, formando otras 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. El proceso global puede considerarse constituido por las siguientes etapas parciales:

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 humedad o humedad crítica, se sitúa por encima del 60%-70% de humedad relativa. Varios investigadores demostraron que en atmósferas puras sólo se consiguen capas de electrolito sobre las superficies metálicas limpias a humedades relativas cercanas a la saturación. En cambio en ambientes contaminados tales capas electrolíticas se consiguen a humedades mucho menores.

Una demostración de la interdependencia corrosión-presencia de electrolitos superficiales puede conseguirse impurificando con diversas sales superficies 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. Hay que tener en cuenta que 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 los nuevos productos de corrosión, esto sucede en horas o como máximo de días; por lo que se considera esta etapa como carente de importancia.

En algunos materiales, como los aceros inoxidable, el aluminio y muchas de sus aleaciones, la capa primaria de óxido es de características tales que los protege frente a 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.

La influencia de 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 puede resultar de la formación de sales básicas especialmente de aquellas estables y poco solubles en amplios 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 periodo más o menos largo con una velocidad de corrosión variable con tendencia a disminuir. 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.). Todo indica que si al principio las variables climáticas son las determinantes del ataque para un material dado, a largo plazo el papel principal lo pasan a desempeñar las características protectoras de las capas de productos formados.

LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN ESTA BASADA EN:

a) Proceso anódico.

El metal se disuelve dentro de su delgada capa de electrolito, en el que la concentración de cationes se eleva hasta la precipitación de algún compuesto poco soluble de poco poder protector, probablemente hidróxidos porosos en medio neutros.

La fácil llegada de oxígeno a la superficie metálica a través de la delgada capa de electrolito produce la pasivación anódica sobre todo en determinados metales y aleaciones.

b) Proceso catódico.

La mayoría de los metales expuestos a la atmósfera bajo la capa de humedad se corroen por el proceso de reducción de oxígeno.

c) Resistencia óhmica.

El adelgazamiento de la capa de electrolito va acompañada por un aumento de resistencia óhmica entre las zonas anódicas y catódicas de las minúsculas pilas locales de corrosión que se distribuyen sobre el metal. El corto radio de acción de los microelectrodos debajo de capas sumamente delgadas explica la mayor uniformidad de la corrosión atmosférica.

INFLUENCIA DEL ESPESOR DE LA CAPA DE HUMEDAD EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN

El espesor de las capas formadas por condensación de humedad sobre las superficies verticales oscila entre unos 10 a 50 μm . Y que las capas más gruesas tienden a escurrir. Sobre las superficies horizontales son posibles espesores de 50 a 100 μm . La dependencia entre la corrosión atmosférica y el espesor de la capa de electrolito sobre la superficie metálica se representa en la figura No. 1.

Cuando los espesores de la capa de electrolito son hasta de unos 100 Å la corrosión es prácticamente inexistente, la resistencia óhmica de la capa de electrolito es enorme y la disolución metálica difícil. A espesores crecientes la velocidad de corrosión aumenta por disminuir la resistencia de la capa de electrolito, y además, la polarización anódica. Cuando se tienen unidades o decenas de micra la velocidad de corrosión pasa por un máximo disminuyendo después con los posteriores aumentos de espesor de la capa de electrolito para estacionarse prácticamente a partir de las 0.4 a 0.7 micras.

Cuando el espesor de las capas supera el máximo de la curva, la reacción catódica se convierte en determinante del proceso de corrosión. El papel del factor óhmico pierde importancia, la misma que la polarización anódica pues la difusión del oxígeno a la superficie metálica es el proceso más lento.

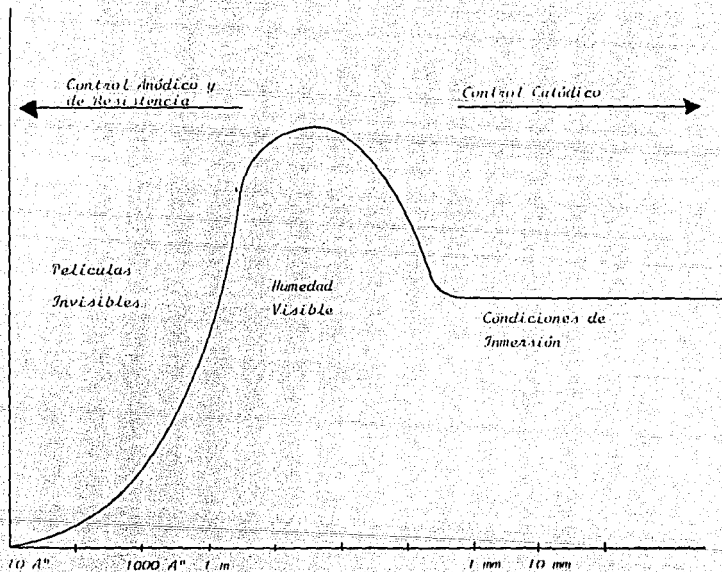


Fig. 1. Influencia de la capa de humedad en la velocidad de corrosión.

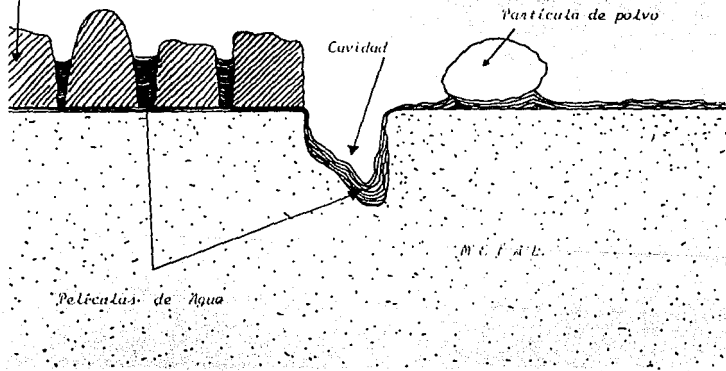
FORMACION DE PELICULAS DE HUMEDAD

Condensación de humedad. El agua se deposita con formación de innumerables gotas que tienen lugar cuando la humedad relativa de la atmósfera sobrepasa al 100% o sea cuando la temperatura del metal desciende por debajo del punto de rocío. Aún a humedades relativas inferiores al 100% la superficie metálica puede recubrirse de una película de humedad. Son factores importantes al respecto, la condensación por adsorción, la condensación capilar y la condensación química.

a) La condensación por adsorción.— Actúan fuerzas físicas de atracción entre moléculas de agua y la superficie sólida. Los investigadores indican que a humedad relativa del 60% se forman películas de espesor equivalente a unas 20 moléculas de agua; a humedades relativas del 80% las películas llegan a 45 moléculas. Sin embargo tales espesores son excesivamente pequeños para dar lugar a corrosiones significativas.

b) Condensación capilar.— (Fig. 2). La presión de saturación y, por tanto, la humedad relativa local es función del radio de curvatura del menisco del líquido del capilar. Cuando más fino sea el canal o la cavidad capilar más probable es que se produzca en su interior una condensación importante, siempre que el líquido moje la pared del capilar (menisco cóncavo). Agentes de condensación capilar son los productos de corrosión porosos, grietas, resquicios, cavidades y zonas de contacto de las partículas de polvo entre sí y en la superficie metálica.

o de Corrosión



Condensación Capilar

c) Condensación química.- Esta forma de humectación se debe a las propiedades higroscópicas de ciertas sustancias depositadas sobre la superficie metálica en los propios productos de la corrosión.

Precipitación atmosférica.- La lluvia en particular es la causa directa de la formación de películas sobre las superficies metálicas.

Aún cuando cualquiera de estos factores justifique de por sí la presencia de humedad sobre la superficie de los metales, su efecto sobre el espesor de la capa de electrolito es muy diferente normalmente, los mayores espesores se obtienen a temperaturas inferiores al punto de rocío o cuando el metal sufre la acción directa de la lluvia o niebla espesa. Por el contrario en el caso de humedades relativas lejanas a la saturación, las capas de humedad son extremadamente delgadas, en especial cuando no existen sustancias absorbentes sobre la superficie metálica.

PAPEL DE LA HERRUMBRE

Cuando el proceso de corrosión se prolonga, se forman hidróxidos, óxidos y películas diversas sobre la superficie de los metales, los que actuando de barrera, disminuyen la velocidad de corrosión. La magnitud del fenómeno corrosivo depende de la influencia de los propios productos de corrosión. Cualquier cambio en las propiedades de la herrumbre u óxidos formados motivada por cambios en la composición del metal ensayado o en el grado y tipo de contaminación del medio ambiente, podrá desempeñar un importante papel en la evolución de los productos de corrosión.

El óxido férrico hidratado, que se forma durante la corrosión del acero contiene moléculas de agua en exceso. El segundo componente en importancia de la herrumbre es la humedad, alrededor del 12% de la herrumbre está constituida por agua de la que cerca de la mitad es humedad libre disponible para el proceso corrosivo. Con el envejecimiento la herrumbre se deshidrata y cambia algo de volumen, lo que da origen a quebraduras y desconchaduras en la capa de óxido.

Si al principio la velocidad de corrosión es alta, se produce una especie de acción de cuña en la interfase metal/óxido que actúa desfavorablemente en la continuidad de la capa de herrumbre. Por ello la velocidad de corrosión suele amoniguarse con el tiempo tanto más lentamente cuando más corrosiva sea la atmósfera.

CONTAMINACION ATMOSFERICA

La composición de la capa de electrolito en la superficie metálica es función de la contaminación de la atmósfera. Un factor perjudicial de la herrumbre es la humedad; sus efectos se agravan al tener sales solubles con altos contenidos de compuestos de azufre y cloruros.

Los factores de contaminación (contaminantes gaseosos y sólidos) junto con los factores meteorológicos (humedad, lluvia, niebla y rocío) determina la intensidad y naturaleza de los procesos corrosivos.

Los principales contaminantes corrosivos de la atmósfera son: el dióxido de azufre que proviene de dos fuentes principales: de la oxidación en el aire del ácido sulfhídrico producido por la industria química y de la combustión de combustibles fósiles que contienen azufre.

El cloruro de sodio que llega a la atmósfera desde el mar y algunas veces desde suelos salinos. En lugares de muy alta contaminación salina la corrosión es función lineal del tiempo lo que prueba que la herrumbre formada bajo estas condiciones no es protectora. El grado de contaminación salina depende de la distancia al mar, mientras mayor es la distancia del mar la corrosión decae.

La velocidad de corrosión marina depende de la dirección y velocidad del viento. El ángulo de exposición ejerce también algún efecto en la corrosión debido a la sedimentación del polvo y sales sobre la superficie, en el grado de lavado por la lluvia y en la extensión del periodo de humectación superficial.

ACTUACION DE LOS CONTAMINANTES

Los contaminantes atmosféricos aceleran la corrosión a través de sus efectos en la conductividad del electrolito, el proceso anódico y el proceso catódico.

De la contaminación por dióxido de azufre en la herrumbre se forma ácido sulfúrico el cual reacciona con el fierro para dar sulfato ferroso y a su vez se regenera por hidrólisis de esta sal en presencia de humedad. El ácido sulfúrico y el cloruro de sodio son electrolitos fuertes que elevan la conductividad de la película acuosa sobre el metal. Las películas de polvo sedimentadas, que actúan como centros de condensación capilar de humedad, de propiedades higroscópicas y absorbentes de contaminantes gaseosos, contribuyen a disminuir la resistencia óhmica de las pilas de corrosión. La influencia de la contaminación atmosférica en el proceso anódico tiene relación con la simplificación del electrolito y la presencia de iones cloruros y otros iones despolarizantes que destruyen películas pasivas. La presencia de anhídrido sulfuroso ocasiona un descenso del pH destruyendo las películas protectoras y, por tanto, incrementando la disolución anódica del metal.

El proceso catódico de reducción de oxígeno controla la velocidad de corrosión de las superficies metálicas cuando tiene gruesas películas de humedad. En el caso de una contaminación elevada por productos ácidos, la reacción catódica de descarga de iones hidrógeno puede participar activamente en el proceso catódico. A partir de un determinado nivel de acidez, el anhídrido sulfuroso se comporta por sí mismo como oxidante y acelera el proceso catódico decenas y cientos de veces.

Las partículas de hollín son eléctricamente conductoras y promueven el proceso catódico además de formar micropilas galvánicas en contacto con el metal y facilitan la reacción catódica.

CORROSIVIDAD DE LAS ATMOSFERAS

Por el grado de contaminación y naturaleza de los contaminantes se clasifican las atmósferas en:

Atmósfera Rural.- Casi libre de contaminación con pocos contaminantes inorgánicos y orgánicos debido a la combustión de productos domésticos. Su principal agente corrosivo es la humedad, la presencia de oxígeno y el bióxido de carbono.

Puede considerarse una atmósfera árida o tropical como un caso especial de ambiente rural porque tiene humedad relativa extrema y condensaciones. La atmósfera rural es generalmente poco corrosiva.

Atmósfera Urbana.- Es similar a la rural pero tiene contaminación más intensa de combustión doméstica y de vehículos automotores. Los contaminantes típicos son: el bióxido de azufre, partículas suspendidas, aumento de bióxido de carbono y óxido de nitrógeno.

Atmósfera Industrial.- Es más perjudicial que la urbana debido a la proximidad de zonas industriales. Tiene mayores concentraciones de bióxido de azufre, cloruros, fosfatos, óxidos de nitrógeno y otras emisiones industriales. Estas emisiones combinadas con precipitaciones o rocío forman un líquido corrosivo.

Atmósfera Marina.- Contiene sales, básicamente cloruros que se depositan en los materiales desde el mar a través de los vientos. La cantidad de sales en el área marina es más perjudicial cerca de la

orilla donde el aire transporta grandes cantidades de sal influyendo también dirección y velocidad del viento.

Se pueden presentar mezclas de influencia entre atmósferas, por ejemplo:

Urbana-marina

Industrial-marina

Urbana-industrial-marina

Para clasificar una atmósfera se deben tomar en cuenta los factores climáticos y de contaminación. Una de las peores combinaciones que afectan la corrosividad de las atmósferas es la combinación industrial-marina con un clima de alta humedad.

MECANISMO DE CORROSION DEL HIERRO

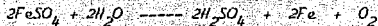
En la corrosión del hierro por dióxido de azufre se superponen varias etapas que implican la formación y regeneración de ácido sulfúrico, de forma que el contaminante desempeña el papel de catalizador de proceso, formándose esencialmente FeOOH como producto de corrosión.

Las distintas etapas de proceso puede condensarse en las siguientes reacciones:

Reacción inicial:



Ciclo de Catalistas:



Las dos últimas reacciones muestran como el ácido sulfúrico se regenera hasta que se forma, en otra reacción secundaria, un sulfato difícilmente soluble, no identificado, que fija el contaminante rompiendo el ciclo catalítico.

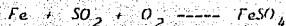
En lugar del SO_2 pueden desempeñar su papel otros estimuladores, como el ácido clorhídrico (HCl g), cloro (Cl_2) ó cloruro de sodio (NaCl). En la fig. 13) se representa el esquema general del proceso catalítico de corrosión del hierro, con diferentes posibilidades de actuación de los cloruros, según su procedencia.

MECANISMO DE CORROSION DEL HIERRO

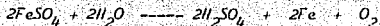
En la corrosión del hierro por dióxido de azufre se superponen varias etapas que implican la formación y regeneración de ácido sulfúrico, de forma que el contaminante desempeña el papel de catalizador de proceso, formándose esencialmente FeOOH como producto de corrosión.

Las distintas etapas de proceso puede condensarse en las siguientes reacciones:

Reacción inicial:



Ciclo de Catálisis:



Las dos últimas reacciones muestran como el ácido sulfúrico se regenera hasta que se forma, en otra reacción secundaria, un sulfato difícilmente soluble, no identificado, que fija el contaminante rompiendo el ciclo catalítico.

En lugar del SO_2 pueden desempeñar su papel otros estimuladores, como el ácido clorhídrico (HCl g), cloro (Cl_2) ó cloruro de sodio (NaCl). En la fig. (13) se representa el esquema general del proceso catalítico de corrosión del hierro, con diferentes posibilidades de actuación de los cloruros, según su procedencia.

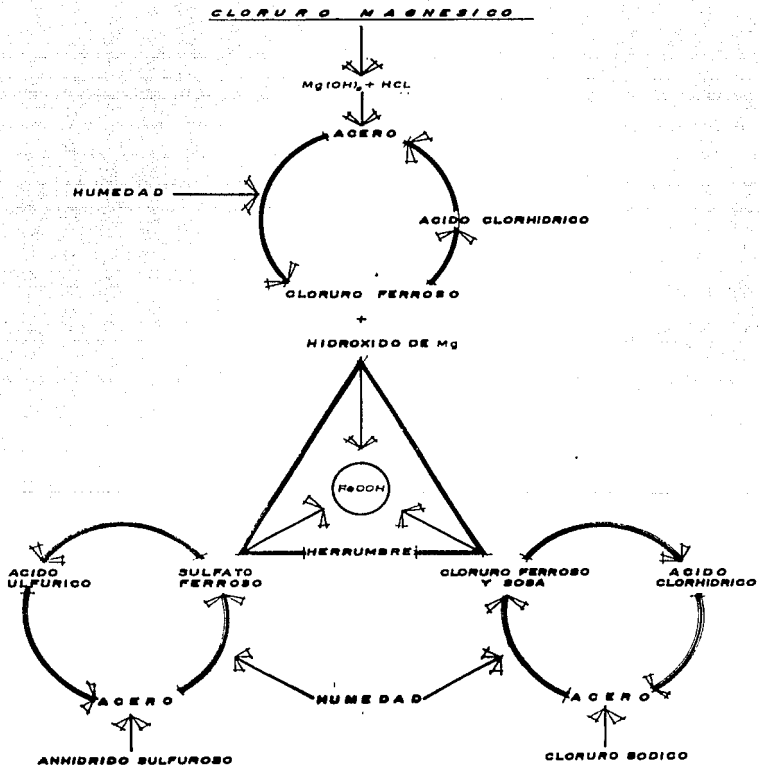
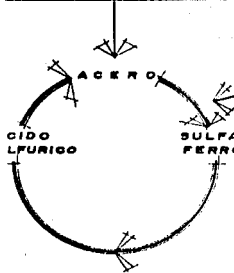
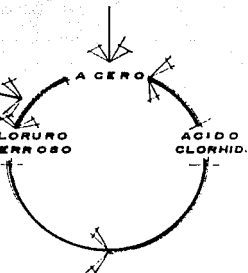


Fig. 3 Mecanismo de corrosión del hierro.

ANHIDRIDO SULFUROSO



CLORUROS



HUMEDAD

HERRUMBRE

La solución electrolítica que hace posible la corrosión hace que los iones Fe^{2+} en presencia de suficiente oxígeno se oxiden a Fe^{3+} , y estos, según las condiciones del medio, se transforman en α -goetita ($\alpha-FeOOH$, $Fe_2O_3 \cdot H_2O$), el producto más frecuente de la corrosión y el componente mayoritario de la herrumbre. A este producto final puede llegarse a través de la formación intermedia e hidrólisis de varios óxidos e hidróxidos de hierro.

La goetita es la fase termodinámica más estable, incluso más que la hematita ($\alpha-Fe_2O_3$) en presencia de agua; si bien al no ser muy diferentes una de la otra, ambas coexisten frecuentemente en la herrumbre.

En atmósferas contaminadas con cloruros o con dióxido de azufre debería fijarse por adsorción una parte de los estimuladores del ataque a los óxidos e hidróxidos constituyentes de la herrumbre. Aunque el mayor componente de ésta siga siendo la goetita, hay que contar con la aparición de hidroxisales cristalizadas, las cuales, sin embargo, apenas se detectan en los diagramas de rayos X.

En condiciones extremas de contaminación por dióxido de azufre se puede llegar a la formación de sulfatos básicos con sustanciales modificaciones en las características de las capas de productos de corrosión. Cualquiera que sea la composición de las capas de productos de corrosión, su capacidad de protección del metal subyacente es muy limitada, siendo en muchas circunstancias incluso contraproducentes, al facilitar la captación de sustancias agresivas.

MECANISMO DE LA CORROSION ATMOSFERICA DE LOS METALES NO FERROSOS

En los metales como cobre, zinc o aluminio los contaminantes entran a formar parte de los productos de corrosión.

En estos metales no se requiere el uso de medidas protectoras ya que los mismos productos de corrosión desempeñan tal misión o como sucede en el caso del aluminio las propias capas primarias de oxidación ejercen esta función.



determinando la estequiometría de los productos de corrosión el tipo y concentración de contaminantes. Los cloruros pueden desempeñar, de la procedencia que fueren, el mismo papel desempeñado por el SO_2 en las reacciones anteriores, aunque el mecanismo de actuación de ambos no tenga porque ser idéntico, actuando los cloruros muchas veces a través simplemente de la ruptura de las capas protectoras.

La cinética del ataque en estos metales es considerablemente más lenta como consecuencia del carácter protector de los productos de corrosión y la ausencia de efectos catalíticos de los contaminantes. Científicamente no está claro si el ataque es poco intenso porque su mecanismo no es catalítico o porque el carácter protector de los productos formados lo impide.

Si la razón fuera la primera la corrosión debería ser proporcional a la concentración de contaminantes de acuerdo con las reacciones, lo cual no es necesariamente exacto. Si fuese la segunda exclusivamente, no dependería el ataque tan acusadamente del medio ambiente, como ocurre con frecuencia. Lo más probable, es la coincidencia de un mecanismo de ataque no catalítico con la formación de productos de corrosión protectores lo que determina la magnitud de ataque.

En el caso del aluminio se afirma que en lugar de sulfatos básicos cristalizados, la corrosión conduce a un hidróxido amorfo fuertemente peptizado.

Las X moléculas de sulfato que entran a formar parte del producto de corrosión, según la segunda reacción, desaparecerían, pues, se desconoce la existencia de sulfatos básicos para el aluminio.

JV. TÉCNICA

ALAMBRE SOBRE TORNILLO

TECNICA ALAMBRE SOBRE TORNILLO

La técnica "Alambre sobre Tornillo" o "Wire on Bolt" fue iniciada en Estados Unidos por Bell Telephone Laboratories y desarrollada por Alcan International Limited. También se le llama "Ensayo CLIMAT" iniciales de Classification of Industrial and Marine Atmospheres.

Los usos de esta técnica han servido para medir resistencia del aluminio al ataque atmosférico, el comportamiento de cables conductores de aluminio reforzados con acero en localidades costeras, la localización de fuentes de emisión atmosférica, etc.

La valoración de la corrosividad atmosférica es muy valiosa porque sirve para predecir la elección y espesor del material además de las medidas de protección apropiadas y la planificación de estructuras metálicas en donde se desconoce la corrosividad del lugar, así como los tratamientos protectores para combatir la corrosividad en materiales almacenados. La corrosividad atmosférica se deduce del grado de corrosión experimentada por muestras metálicas expuestas en una atmósfera durante cierto tiempo.

De los datos obtenidos en el ensayo, varios países han elaborado mapas de corrosividad, teniendo una clasificación más real de las atmósferas, ya que en la corrosión de los metales influyen un gran número de variables siendo los más importantes tiempo de humectación de la superficie metálica, grado de contaminación, tipo de metal, dirección de vientos, etc., además de la cercanía a zonas urbanas, industriales o marítimas.

En la técnica "Alambre sobre Tornillo" se juxtaponen tres diferentes fenómenos que aceleran el proceso corrosivo:

- 1.- Corrosión atmosférica, de la superficie del alambre libremente expuestos a la atmósfera.
- 2.- Corrosión en los resquicios alambre-tornillo
- 3.- Corrosión galvánica entre el alambre (ánodo) y el tornillo (cátodo).

La técnica "Alambre sobre Tornillo" favorece la acumulación de líquidos corrosivos en los resquicios, y el tener una alta relación superficie/masa del alambre, acelera su corrosión.

La corrosión galvánica experimentada por el alambre se calcula por diferencia entre las pérdidas de peso de los alambres enrollados sobre el tornillo metálico y sobre plástico. El funcionamiento del par galvánico depende, entre otros factores de la atmósfera en que se encuentre actuando.

El tiempo de humectación de la superficie metálica y el nivel de contaminación atmosférica no suelen ser factores constantes sino que varían de uno a otro periodo del año. Dependiendo del periodo en que se expongan las probetas "Alambre sobre Tornillo", la incidencia de estos factores en el grado de corrosión del alambre será distinto.

Para conocer la corrosividad de una atmósfera es conveniente realizar ensayos "Alambre sobre Tornillo" de tres meses de duración durante las cuatro estaciones del año con lo que se tendrá información acerca del periodo del año en que la corrosividad es más acusada.

En ocasiones dentro de una misma estación y para un período dado de exposición, se presentan variaciones en los datos correspondientes a una misma combinación.

A primera vista, sorprende que se corroa más, por lo general, el alambre suelto que el firmemente enrollado sobre el tornillo de plástico, lo cual se debe, probablemente, al efecto de apantallamiento de una parte de la superficie del alambre por el propio tornillo, inhibiendo el proceso de corrosión.

La técnica "Alambre sobre Tornillo" consiste en la evaluación de la pérdida de peso que experimenta un alambre que ha estado expuesto durante tres meses enrollado en tornillos de diversos materiales en una determinada atmósfera. Cuando los tornillos son metálicos, éstos tienen un comportamiento catódico con respecto al alambre (ánodo).

Las muestras con los diferentes pares se exponen por triplicado y con un ángulo de 45° con respecto a la horizontal en las determinadas localidades.

Al final del ensayo de tres meses se obtiene el porcentaje de pérdida de peso con respecto al peso original, al eliminar los productos de corrosión.

Una de las ventajas de éste método es su bajo costo, porque tanto los tornillos como las bases se pueden seguir utilizando en experimentos posteriores una vez que se limpien de cualquier residuo de productos de corrosión.

Se considera un método rápido porque el proceso corrosivo se acelera por los factores antes mencionados. Otra de las ventajas del método es su fácil traslado y colocación en los lugares destinados a observación.

V. PARTE EXPERIMENTAL

PARTE EXPERIMENTAL

La técnica "Alambre sobre Tornillo" o "Wire on Bolt" es un ensayo que no se ha realizado con anterioridad en México, motivo por el cual el desarrollo de esta práctica se basó en las experiencias del Departamento de Corrosión y Protección del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (C.E.N.I.M.) en España, modificándose su aplicación en algunos detalles.

MATERIALES:

a) Alambre de acero de bajo carbón 1018.

Diámetro: 1 mm.

Longitud: Variable, aproximadamente 1 metro.

b) Alambre de aluminio comercial.

Diámetro: 1.6 mm. (1*)

Longitud: Variable, aproximadamente 1 metro.

c) Tornillo de acero.

Diámetro: 10 mm.

Longitud: 130 mm.

Estos tornillos fueron maquinados de varillas de acero 1010, en el taller mecánico del Edificio "D", de la Facultad de Química; teniendo una rosca de 13 hilos por pulgada en sólo 10 cm. de su longitud, con perforaciones en ambos extremos de la cuerda para insertar las aletas que sujetan el alambre.

ESTA TESIS DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

d) Tornillos de cobre:

Diámetro: 10 mm.

Longitud: 130 mm.

Maquinados de varilla de cobre comercial con las mismas características y dimensiones que para los anteriores.

e) Tornillos de Nylacero.

Diámetro: 16 mm.

Longitud: 130 mm.

Maquinados de varilla de nylacero con las mismas características, cambiándose las dimensiones por no encontrar en existencia comercial las dimensiones requeridas, evitando así un desperdicio del material.

f) Tornillería de Latón.

Diámetro: 3 mm.

Longitud: 35 mm.

Los tornillos de latón de cabeza cuadrada con sus respectivas tuercas nos sirven para sujetar el alambre en los tornillos.

h) Bases de Madera.

Longitud: 1.5 metros (**)

Ancho: 0.100 metros (**)

Altura: 0.050 metros (**)

A las bases de les realizó un corte diagonal de 45° , realizando en este lado las perforaciones de 2 centímetros de profundidad, y un centímetro de diámetro para los tornillos de acero y de cobre,

para los tornillos de plástico el diámetro fue de 1.60 centímetros. Las perforaciones estuvieron separadas entre sí por 5 centímetros. Si las perforaciones se hicieran sobre una base horizontal, entonces ésta se coloca en unas escuadras de tal manera que queden a 45° con respecto a la horizontal como se muestra en la figura No.4.

Las dimensiones de las bases se eligieron en base al número de tornillos por cada estación.

* La variación en las especificaciones originales de un milímetro se debe a que no se encontró en existencia comercial alambre de ese calibre.

** Dimensiones aproximadas.

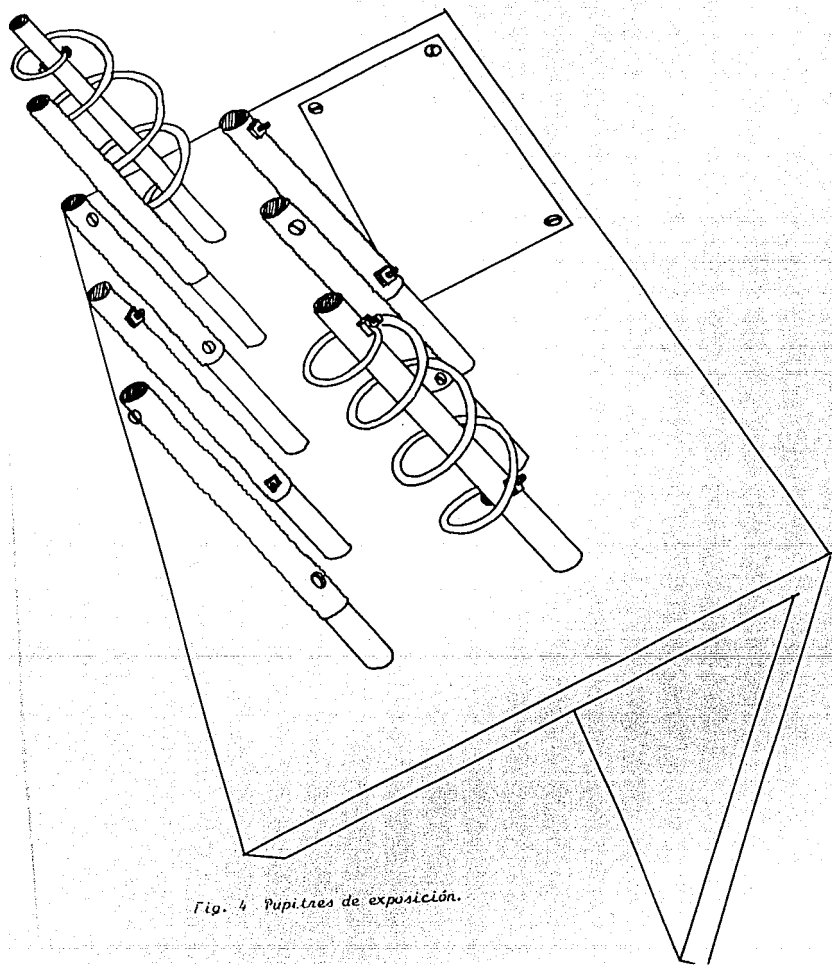


Fig. 4 Pupitres de exposición.

LUGARES Y PERIODOS DE EXPOSICION

La selección de los lugares de exposición se realizó haciendo una clasificación cualitativa del tipo de atmósfera, además de la disponibilidad de poder colocar en determinados lugares.

De acuerdo a esta clasificación se seleccionaron las siguientes atmósferas para ubicar los pupitres de exposición:

ATMOSFERA URBANA

ATMOSFERA INDUSTRIAL-URBANA

ATMOSFERA INDUSTRIAL-SEVERA

ATMOSFERA MARGINA

Se consideró como una atmósfera Urbana el sur de la ciudad de México en el Edificio "D", de la Facultad de Química, U.N.A.M., por su ubicación entre escuelas y casas.

Como atmósfera Industrial-Urbana se consideró la zona norte de la ciudad, por su cercanía a un gran número de industrias como fundidoras, cementeras, etc. siendo el lugar Tlalnepanlla. Se considera urbana porque el pupitre fue colocado en un fraccionamiento a 2 kilómetros aproximadamente de las industrias.

La zona Industrial-Severa fue considerada Salamanca, en el corredor industrial donde se encuentran industrias como Negromex, Fertimex y Pemex colocándose el pupitre en lo alto de unos reactores catalíticos, de la empresa Negromex. La orientación estuvo en función de la facilidad de exposición (de sur a norte).

Para una atmósfera Marina se eligió Alvarado, Veracruz; las muestras se colocaron a una distancia de 500 metros del mar aproximadamente y con una orientación tal del pupitre, que los tornillos estaban de cara al mar.

PREPARACION DE PUPITRES

Las muestras en los pupitres se colocan por triplicado por lo que nos dió un total de 21 probetas por cada pupitre, de los cuales 12 son de plástico, 6 de cobre y 3 de hierro. En los de plástico se enrolla el alambre de aluminio y de acero, firmemente enrollado y en espiral; en los tornillos de cobre se enrollan alambre de aluminio y de acero y en los tornillos de acero únicamente alambre de aluminio. Estas combinaciones se muestran en la Tabla No. 1

Una vez limpios y pesados y habiéndose aislado las terminales con laca se colocan a presión sobre las bases de madera, las cuales se pusieron sobre unas escuadras para tenerlas a 45° con respecto a la horizontal. Las probetas se colocaron a lo largo de la base con el objeto de no crear un efecto pantalla de los mismos tornillos.

El peso del alambre se obtuvo por diferencia entre el tornillo con el alambre ya sujeto menos el peso del tornillo con las terminales previamente pesados. Estas mediciones se realizaron en balanza analítica para una mayor precisión en los datos.

Tabla No. 1: COMBINACIONES "ALAMBRE SOBRE TORNILLO" ESTUDIADAS

ALAMBRE	TORNILLO
Aluminio	Hierro
	Cobre
	Plástico (Enrollado)
	Plástico (Espiral)
Acero	Cobre
	Plástico (Enrollado)
	Plástico (Espiral)

PREPARACION DE LAS ESTACIONES

Cada probeta con sus conexiones (tornillos y tuercas de latón) se pesó previamente, obteniéndose un P_1 ; luego, se enrollan los alambres previamente limpios y se sujetaron en los extremos (Fig. 5 y 6). Esta operación se realizó con guantes para evitar contaminarlos. Se volvieron a pesar, obteniendo un peso P_2 , donde la diferencia entre $P_2 - P_1$ nos dió el peso del alambre (P_3).

Posteriormente se pintaron con laca las terminales para evitar otra acción galvánica en esos puntos. Los pares expuestos para este estudio se muestran en la Tabla No. 1.

Las probetas se colocaron en las bases de madera para su exposición por un periodo de tres meses en los lugares antes descritos. Fig. 7.

Cuando el ensayo ha concluido, los alambres se desbobinan de las probetas cortando los extremos que fueron pintados quitándoles a éstos la laca con acetona y pesándolos (P_4), sustrayendo este peso del alambre (P_3). Siendo el P_5 el peso inicial del alambre en estudio.

$$P_5 = P_3 - P_4$$

Los alambres se someten a una limpieza con soluciones decapantes específicas para cada metal que solo remueven los productos de corrosión sin afectar el material.

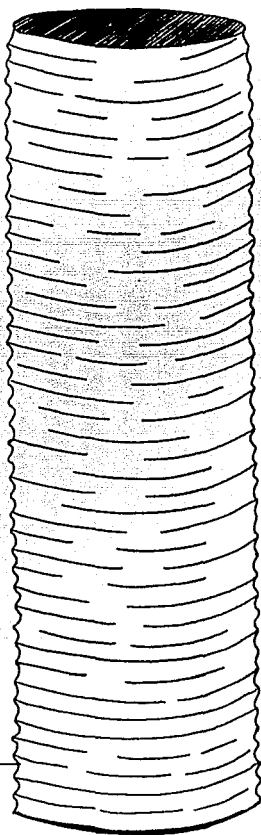


Fig. 5 Tornillo pesado previamente antes de enrollar el alambre.

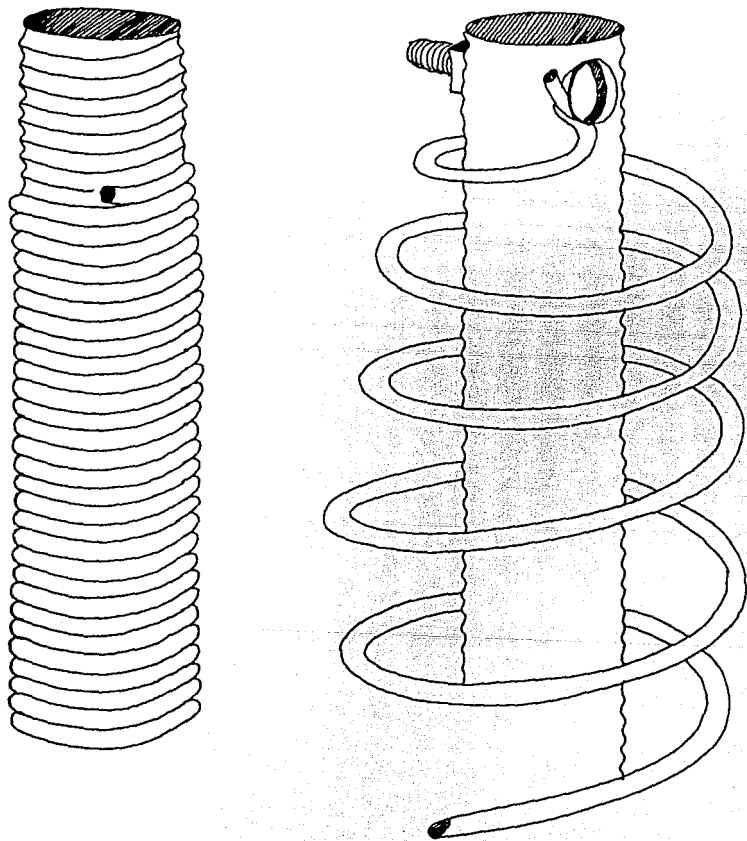


Fig. 6 Tornillo con alambre sujeto a estudio.

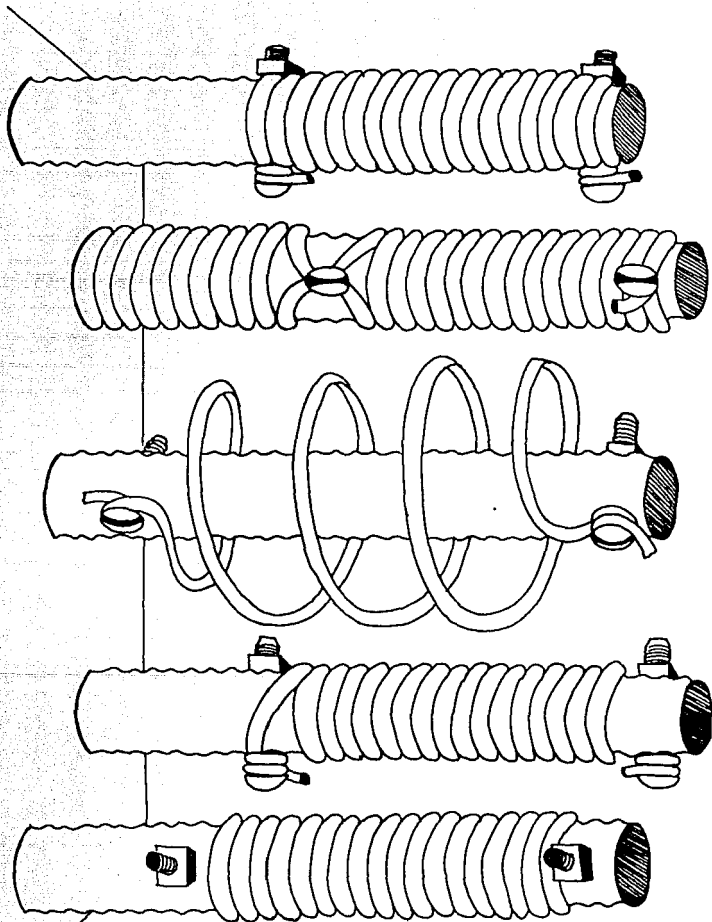


Fig. 7 Pruebas "Alambre sobre Tornillo".

Ya limpios y secos, se pesan nuevamente, teniendo el peso final (P_6). Los resultados se obtienen en porciento de pérdida de peso con respecto al peso original.

$$\% \text{ de Pérdida de Peso} = \frac{P_6 - P_5}{P_5} \times 100$$

TECNICAS DE LIMPIEZA

Antes de la Exposición:

Los alambres son lijados para quitar la capa de óxido adherido, procurando que al final quede la misma apariencia en toda su longitud. Los residuos se quitan con un algodón impregnado con acetona, haciendo ésta operación con guantes para no contaminarlos.

Los tornillos se sumergen en acetona con la finalidad de desprender la grasa que les quedó en el maquinado.

Después de la Exposición:

Alambres: Cuando ha terminado el ensayo, el alambre se quita con mucho cuidado del tornillo, debido a que en algunos casos se encuentran en mal estado y pueden perderse partes del alambre; se cortan con cuidado los extremos que fueron pintados, quitándoles la laca con acetona y secándose bien.

El resto del alambre se sumerge en las soluciones decapantes específicas para cada material basadas en las normas ISO/DP-8407.

SOLUCIONES DECAPANTES EMPLEADAS

Para alambre de Aluminio:

Acido Nítrico (HNO_3) sp.gr. 1.42 saturado con

Oxido Crómico (Cr_2O_3)

Temperatura: 20 a 25° C

Estos alambres se sumergen durante 5 minutos, se enjuagan, se cepillar y se sumergen nuevamente en la solución; esto se repite las veces que sea necesario (generalmente de 4 a 5 veces); en el caso de no realizar el cepillado es conveniente dejar por más tiempo el alambre en la solución.

En los alambres de aluminio enrollados en tornillos de acero en las zonas de atmósfera industrial-severa (Salamanca) y marina (Alvarado) fue necesario dejarlos en la solución durante 24 horas debido a la adhesión de los productos de corrosión. Aún así fue necesario un proceso de cepillado.

Para alambre de Acero:

1000 ml. de Acido clorhídrico (HCl) sp.gr. 1.19

20 gr. de Trióxido de Antimonio (Sb_2O_3).

50 gr. de Cloruro Estanoso (SnCl_2).

Temperatura: 20 a 25°C.

Los alambres se sumergen en la solución durante 20 a 30 segundos, se enjuagan, secándose inmediatamente para evitar la formación de una capa de óxido que pueda afectar el resultado final.

Para Tornillos de Acero:

Estos tornillos se sumergen en la misma solución que se utilizó para los alambres de acero, siendo el tiempo de limpieza variable, según el lugar en donde hayan sido expuestos; por ejemplo, para los lugares de atmósferas Industrial-Severa (Salamanca) y Marina (Alvarado) fue de 20 minutos aproximadamente y para los tornillos que estuvieron expuestos en atmósferas Urbana (Distrito Federal) y atmósfera Industrial-Urbana (Tlalneptlla), el tiempo de limpieza fue de 10 minutos. Estos tornillos también se secan inmediatamente para evitar que se oxiden nuevamente.

Para Tornillos de Cobre:

Acido Clorhídrico (HCl) al 50%.

El tiempo de limpieza es mayor en los tornillos que estuvieron expuestos con alambre de acero y para los lugares de exposición de atmósferas Industrial-Severa y Marina.

Para Tornillos de Nylacero:

Estos tornillos se lavan, se cepillan sumergiéndose posteriormente en acetona para quitar los residuos de los productos de corrosión.

Los tornillos que sujetaron al alambre de acero, el tiempo de limpieza fue mayor, así como los que estuvieron expuestos en atmósfera Industrial-Severa.

VJ. DISCUSION DE RESULTADOS

DISCUSION DE RESULTADOS

En ensayo de "Alambre sobre Tornillo" es una importante herramienta de trabajo en los estudios de corrosión atmosférica. Como ya se ha indicado, esta técnica fue iniciada en los Estados Unidos por los Bell Telephone Laboratories y posteriormente desarrollada por Alcan International, consiste fundamentalmente en la evaluación de la pérdida de peso que experimenta un alambre que ha estado expuesto durante cierto tiempo en la atmósfera, arrollado firmemente a las rosas de un tornillo por lo normal de comportamiento catódico con respecto al alambre (ánodo) y, en ocasiones, de un tornillo de plástico.

En principio, este ensayo fue diseñado para estudios de corrosión galvánica en la atmósfera, resultando más efectivo que el método de los discos de diferentes metales utilizado por el Subcomité VIII del Comité B-3 de la A.S.T.M.

En la actualidad, la compañía Alcan lo utiliza para predecir en un corto espacio de tiempo (tres meses) la resistencia al ataque atmosférico del aluminio, en particular, cuando se encuentra en contacto con metales distintos.

Godard y colaboradores (26) son los que más han aplicado este ensayo y a ellos se debe su empleo como método de clasificación de las atmósferas marinas e industriales.

Alcan no sólo lo ha utilizado para estudios de corrosión galvánica atmosférica sino también para decidir sobre la adecuabilidad

de cables conductores de aluminio reforzados con acero en localidades costeras y para la localización de fuentes de emisión de contaminación atmosférica y planificación de estructuras metálicas en lugares donde la corrosividad atmosférica no es conocida.

Como ya se ha señalado, la corrosividad atmosférica se deduce del grado de corrosión experimentado por muestras metálicas expuestas en una atmósfera determinada.

El grupo de corrosión de la Facultad de Química consciente del servicio que puede prestar al país con la determinación de los índices de corrosividad de sus atmósferas, ha emprendido, desde hace años, investigaciones en este sentido. En este trabajo se trata las posibilidades de este método para la clasificación de nuestras atmósferas y las mediciones de corrosividad.

Para ello se han seleccionado cuatro atmósferas tipo representativas de las diferentes atmósferas que pueden encontrarse en México.

Como representativa de una atmósfera urbana se ha tomado la prevaeciente en Ciudad Universitaria, en el Distrito Federal. Como industrial, la del corredor industrial de Salamanca, Guanajuato; industrial-urbana la de Tlalniepantla en el Estado de México y como atmósfera marina la de Alvarado, Veracruz.

Se pretende con este trabajo, no sólo probar la bondad del método para el caso particular de México, sino también comprobar si este ensayo permite calificar las atmósferas seleccionadas, y por tanto comprobar su clasificación a priori, en base a la comparación con datos publicados por otros autores en diferentes países.

Las muestras "Alambre sobre Tornillo" quedaron expuestas en los lugares seleccionados a principios de septiembre del año de 1986, excepto las de Salamanca que se expusieron en octubre del mismo año. Se retiraron las probetas al cabo de tres meses. En las tablas 2, 3, 4 y 5 y en las figuras 8 y 9 se presentan los resultados obtenidos.

El dispositivo "Alambre sobre Tornillo" al favorecer la acumulación de líquidos corrosivos en los resquicios y tener una alta relación superficie/masa del alambre, acelera su corrosión, siendo por tanto una herramienta muy valiosa en lo referente a la corrosión galvánica, dentro de la corrosión metálica atmosférica. La corrosión galvánica experimentada por el alambre se calcula por diferencia entre las pérdidas de peso de los alambres arrollados sobre el tornillo metálico y sobre el plástico. La tabla 6 que detalla la corrosión galvánica en las diferentes muestras después de tres meses de ensayo ha sido obtenida a partir de las tablas 2, 3, 4 y 5 del modo antes mencionado.

El funcionamiento del par galvánico depende, entre otros factores, de la atmósfera donde se encuentre actuando.

Estudios anteriores realizados por Doyle y Godard (27) han indicado que la probeta Al-Fe es más sensible a la atmósfera marina y poco a la atmósfera industrial, mientras que la probeta Al-Cu es sensible a ambos tipos de atmósfera.

Si bien los resultados obtenidos en este caso son limitados y parciales, debido a que son las primeras probetas evaluadas en México, no se corresponden con lo señalado por Doyle y Godard. Como se comprueba en la tabla 4 la probeta Al-Fe no es especialmente sensible a la atmósfera

marina (Alvarado), siendo el valor obtenido, 0.91 del mismo orden de magnitud que para la atmósfera de Salamanca, 0.96 (Tabla 6).

En lo que se refiere a la probeta Al-Cu, resultó ser especialmente sensible al caso de una atmósfera industrial-severa (Salamanca), como sucede para la probeta Fe-Cu.

Cabe destacar el caso de la probeta de Al-Fe, ya que los resultados obtenidos para el caso de atmósferas libres de cloruros son notoriamente altos, en contradicción con lo reportado previamente en la literatura (Feliu y Morcillo)* referente al tema, en la cual se señala una corrosión galvánica despreciable.

Los alambres de acero exhiben las velocidades de corrosión galvánica más altas, con la mayor corrosión global; destacando el alto valor para el caso de Salamanca.

* M.Morcillo y S. Feliu, Revista Metalurgia CENAM 13 (4) 212 (1977)

TABLA No. 2
 ATMOSFERA URBANA
 CIUDAD UNIVERSITARIA, EDIFICIO "D", FACULTAD DE QUIMICA, D.F.)

	PESO INICIAL:	PESO FINAL:	DIFERENCIA:	%
	9.4278	9.4174	0.0104	0.112
Al/Plas. Enrollado	11.0653	11.0565	0.0088	0.082
	x	x	x	x
PROMEDIO				0.092
	2.6465	2.6313	0.0152	0.572
Al/Plas. Espiral	1.9179	1.9120	0.0059	0.312
	x	x	x	x
PROMEDIO				0.442
	6.8164	6.8047	0.0117	0.172
Al/Cu Enrollado	7.9284	7.9119	0.0165	0.212
	7.4200	7.4038	0.0162	0.222
PROMEDIO				0.202
	2.1304	2.1228	0.0076	0.362
Al/Acero Enrollado	2.1633	2.1420	0.0213	0.982
	x	x	x	x
PROMEDIO				0.672
	12.5118	11.9499	0.5619	4.492
Acero/Pl. Enrollado	13.1660	12.6650	0.5010	3.812
	x	x	x	x
PROMEDIO				4.152
	3.0316	2.8639	0.1677	5.532
Acero/Pl. Espiral	2.7885	2.6253	0.1632	5.852
	3.5374	3.3331	0.2043	5.782
PROMEDIO				5.722
	8.6555	8.1921	0.4634	5.352
Acero/Cu Enrollado	8.9178	8.4590	0.4588	5.142
	9.0885	8.6180	0.4705	5.182
PROMEDIO				5.232

* DATOS NO OBTENIDOS

TABLA No. 3

ATMOSFERA INDUSTRIAL URBANA
 TULUMEPANTLA, ESTADO DE MEXICO

	PESO INICIAL:	PESO FINAL :	DIFERENCIA :	% :
	10.5845	10.5641	0.0164	0.152
Al/Plas. Enrollado	10.5848	10.5641	0.0207	0.202
	»	»	»	»
PROMEDIO				0.182
	2.0460	2.0393	0.0067	0.332
Al/Plas. Espiral	2.2900	2.2805	0.0095	0.402
	2.2262	2.2197	0.0065	0.292
PROMEDIO				0.342
	7.2106	7.1937	0.0169	0.232
Al/Cu Enrollado	7.3135	7.2999	0.0136	0.192
	7.2706	7.2475	0.0231	0.322
PROMEDIO				0.252
	5.6916	5.6568	0.0348	0.612
Al/Acero Enrollado	5.8125	5.7635	0.0490	0.842
	5.6701	5.6263	0.0438	0.772
PROMEDIO				0.742
	12.8310	12.2772	0.5538	4.322
Acero/Pl. Enrollado	14.0178	13.4083	0.6095	4.352
	11.4454	11.0115	0.4339	3.792
PROMEDIO				4.152
	2.7312	2.6506	0.0806	2.952
Acero/Pl. Espiral	3.4038	3.2752	0.1286	3.782
	3.2806	3.1468	0.1338	4.082
PROMEDIO				3.602
	8.3558	7.8784	0.4774	5.712
Acero/Cu Enrollado	9.0980	8.6169	0.4811	5.292
	8.5701	8.0984	0.4717	5.502
PROMEDIO				5.502

» DATOS NO OBTENIDOS

TABLA No. 4

ATMOSFERA MARINA
OLIVARADO, VENEZUELA

	PESO INICIAL	PESO FINAL	DIFERENCIA	%
	9.7916	9.7856	0.0060	0.062
Al/Plas. Enrollado	10.5579	10.5426	0.0153	0.142
	11.0635	10.9493	0.1142	1.032
PROMEDIO				0.412
	2.6729	2.6500	0.0229	0.862
Al/Plas. Espiral	3.2837	3.2608	0.0229	0.702
	2.5079	2.4827	0.0252	1.002
PROMEDIO				0.852
	7.4939	7.4518	0.0421	0.562
Al/Cu Enrollado	7.1933	7.1368	0.0565	0.792
	x	x	x	x
PROMEDIO				0.672
	5.9383	5.8399	0.0984	1.662
Al/Acero Enrollado	6.5434	6.4776	0.0658	1.012
	x	x	x	x
PROMEDIO				1.332
	10.8933	10.3300	0.5633	5.172
Acero/Pl. Enrollado	11.7554	11.1864	0.5690	4.822
	13.0634	12.5954	0.4680	3.582
PROMEDIO				4.532
	2.5163	2.4098	0.1065	4.232
Acero/Pl. Espiral	3.3033	3.1188	0.1845	5.592
	3.5524	3.3885	0.1639	4.612
PROMEDIO				4.812
	8.7466	8.2650	0.4816	5.512
Acero/Cu Enrollado	8.1983	7.7417	0.4566	5.572
	9.0396	8.6085	0.4311	4.772
PROMEDIO				5.282

x DATOS NO OBTENIDOS

TABLA No.5
 ATMOSFERA INDUSTRIAL SEVERA
 CORREDOR INDUSTRIAL DE SALAMANCA, GUANAJUATO

	PESO INICIAL :	PESO FINAL :	DIFERENCIA :	%
	10.5475	10.4195	0.1280	1.21
Al/Plas. Enrollado	10.8313	10.6528	0.1785	1.65
	"	"	"	"
PROMEDIO				1.43
	2.9302	2.7499	0.1803	6.15
Al/Plas. Espiral	2.1041	1.9442	0.1599	7.60
	1.8526	1.7200	0.1326	7.16
PROMEDIO				6.97
	6.7899	6.6583	0.1316	1.94
Al/Cu Enrollado	7.6210	7.4754	0.1456	1.91
	"	"	"	"
PROMEDIO				1.92
	5.7404	5.5990	0.1414	2.45
Al/Acero Enrollado	5.8449	5.7097	0.1352	2.31
	"	"	"	"
PROMEDIO				2.39
	13.5195	12.8600	0.6595	4.88
Acero/Pl. Enrollado	12.9495	12.3370	0.6125	4.73
	12.6455	12.0786	0.5669	4.48
PROMEDIO				4.70
	3.3150	3.0754	0.2396	7.23
Acero/Pl. Espiral	2.5775	2.3939	0.1836	7.12
	3.1045	2.8900	0.2245	7.23
PROMEDIO				7.19
	8.7730	7.7398	1.0332	11.78
Acero/Cu Enrollado	8.8289	7.7014	1.1275	12.77
	9.1125	7.6257	1.4868	16.32
PROMEDIO				13.62

" DATOS NO OBTENIDOS

*LAS PROBETAS DE ALAMBRE SOBRE TORNILLO DE PLÁSTICO Y
ALAMBRE SUELTO (EN ESPIRAL)*

Alcan utiliza estos dos tipos de probetas para conocer la corrosividad general de una determinada atmósfera. Se diferencian de las probetas alambre sobre tornillo metálico en que en el par alambre-plástico se ha suprimido el efecto galvánico y en la probeta de alambre suelto queda eliminado, además, el efecto del resquecivo.

Naturalmente, al no actuar los mismos fenómenos de corrosión sobre una y otra de estas dos probetas "no galvánicas", las pérdidas de peso pueden variar.

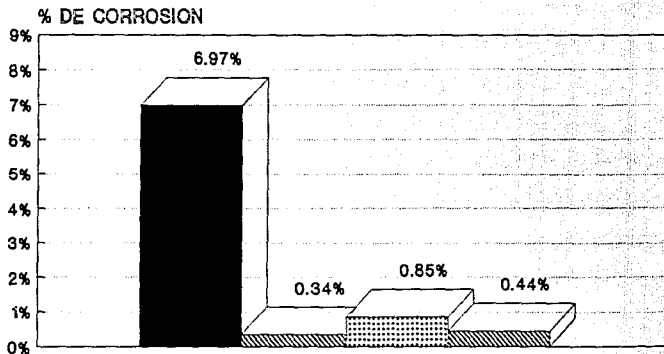
A primera vista, sorprende que se corroa algo más, por lo general, el alambre suelto que el firmemente arrollado sobre el tornillo de plástico, (Tabla 2, 3, 4 y 5), aunque este hecho ya fue comprobado por otros investigadores (Feliu y Morcillo). Probablemente sea debido al predominio sobre el efecto del resquecivo del efecto de apantallamiento de una parte de la superficie del alambre por el propio tornillo.*

* M. Morcillo y S. Feliu, Revista Metalurgia CENJM 13 (4) 212 (1977).

FIGURA No. 8.1

CORROSION ATMOSFERICA

Metales Expuestos a diferentes tipos de Atmosferas



Al/Plas. Espiral

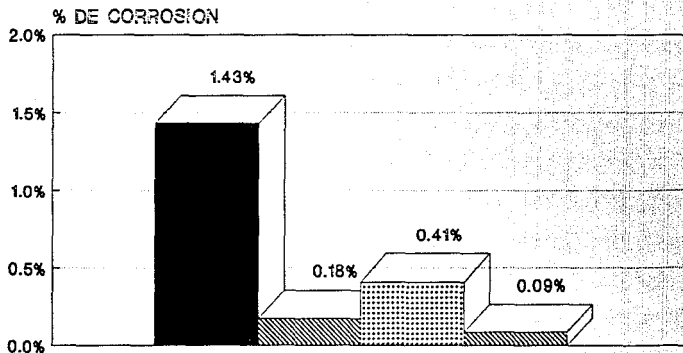
■ ATM.IN.SEV. ▨ ATM.IN.URB. ▩ ATM. MARINA ▧ ATM. URBANA

PERDIDA DE PESO (% PROMEDIO)

FIGURA No. 8.2

CORROSION ATMOSFERICA

Metales Expuestos a diferentes tipos de Atmosferas



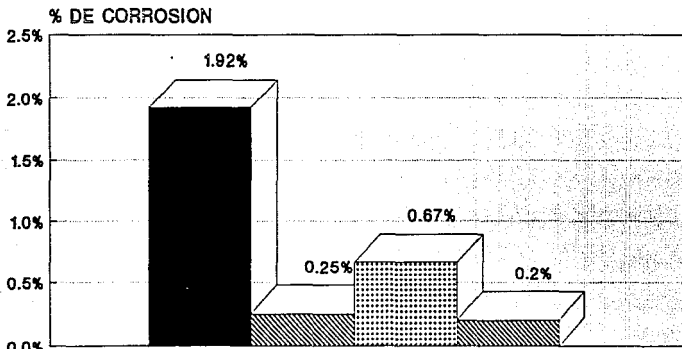
Al/Plas. Enrollado

■ ATM.IN.SEV. ▨ ATM.IN.URB. ▩ ATM. MARINA ▧ ATM. URBANA

PERDIDA DE PESO (% PROMEDIO)

CORROSION ATMOSFERICA

Metales Expuestos a diferentes tipos de Atmosferas



Al/Cu Enrollado

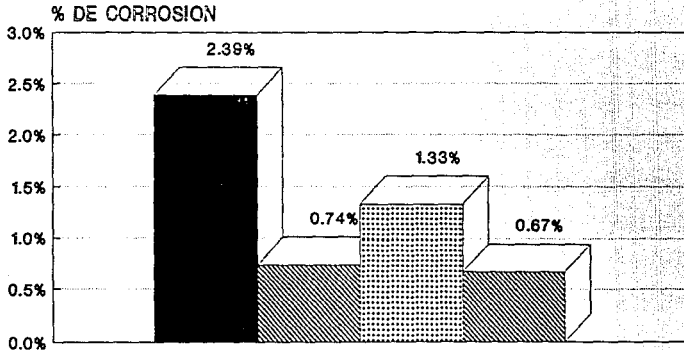
■ ATM.IN.SEV. ▨ ATM.IN.URB. ▩ ATM. MARINA ▧ ATM. URBANA

PERDIDA DE PESO (% PROMEDIO)

FIGURA No. 8.4

CORROSION ATMOSFERICA

Metales Expuestos a diferentes
tipos de Atmosferas



Al/Acero Enrollado

■ ATM. IN. SEV. ▨ ATM. IN. URB. ▩ ATM. MARINA ▧ ATM. URBANA

PERDIDA DE PESO (% PROMEDIO)

FIGURA No. 9.1

CORROSION ATMOSFERICA

Metales Expuestos a diferentes tipos de Atmosferas

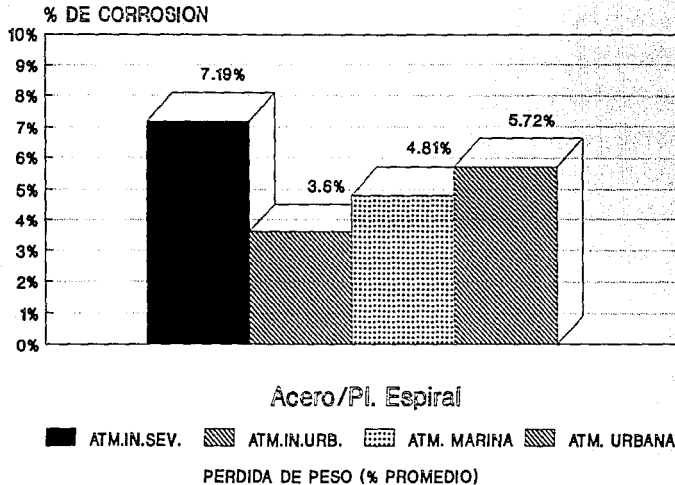
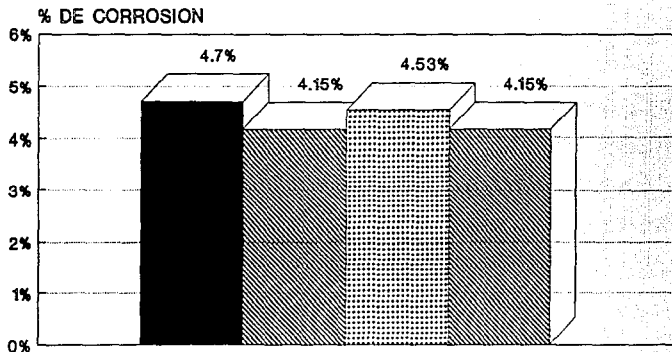


FIGURA No. 9.2

CORROSION ATMOSFERICA

Metales Expuestos a diferentes tipos de Atmosferas



Acero/Pl. Enrollado

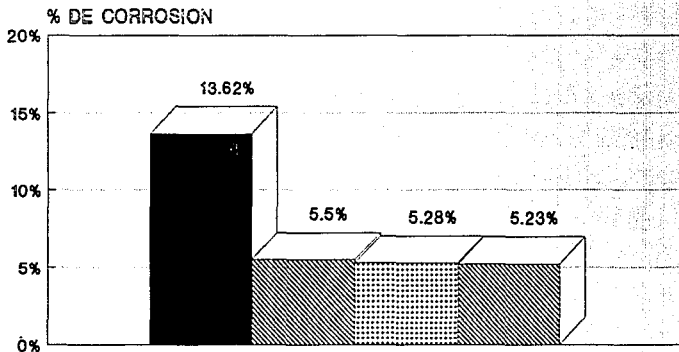
■ ATM.IN.SEV. ▨ ATM.IN.URB. ▩ ATM. MARINA ▧ ATM. URBANA

PERDIDA DE PESO (% PROMEDIO)

FIGURA No. 9.3

CORROSION ATMOSFERICA

Metales Expuestos a diferentes tipos de Atmosferas



Acero/Cu Enrollado

■ ATM.IN.SEV. ▨ ATM.IN.URB. ▩ ATM. MARINA ▧ ATM. URBANA

PERDIDA DE PESO (% PROMEDIO)

<i>ESTACION</i>	<i>Al-Cu</i>	<i>Al-Fe</i>	<i>Fe-Cu</i>	<i>TIPO DE ATMOSFERAS</i>
<i>México, D.F.</i>	<i>0.13</i>	<i>0.60</i>	<i>1.07</i>	<i>Urbana</i>
<i>Tlalneantla</i>	<i>0.07</i>	<i>0.56</i>	<i>1.33</i>	<i>Industrial-Urbana</i>
<i>Salamanca</i>	<i>0.50</i>	<i>0.96</i>	<i>8.92</i>	<i>Industrial-severa</i>
<i>Alvarado</i>	<i>0.25</i>	<i>0.91</i>	<i>0.79</i>	<i>Marina</i>

Tabla 6.- Corrosión Galvánica en diferentes pares bimetalicos al cabo tres meses de exposición (diferencia entre las pérdidas de peso, en tanto por ciento, del alambre enrollado sobre el tornillo metálico y sobre el tornillo de plástico).

LA CORROSIVIDAD EN MEXICO

Uno de los primeros pasos hacia la consecución del mapa de corrosividad atmosférica de México, es la calibración de las estaciones de ensayos de corrosión atmosférica que actualmente se tienen repartidas por la geografía mexicana.

En un país como México están presentes todos los tipos de atmósferas, desde las rurales hasta las industriales ó marinas-severas, con una amplia gama de combinaciones intermedias. Saber calibrar desde el punto de vista de la corrosión, tales atmósferas, es un objetivo importante. En cuanto a como se puede calibrar una atmósfera, son varios los métodos disponibles. Sin embargo, en este trabajo se presenta únicamente el ensayo "Alambre sobre Tornillo" como método para calibrar una atmósfera desde el punto de vista de su agresividad.

ENSAYO "ALAMBRE SOBRE TORNILLO"

Resulta interesante ensayar la representación pérdida de peso del alambre de aluminio sobre tornillo de acero frente a pérdida de peso del mismo alambre sobre tornillo de cobre con los datos disponibles referentes a diferentes países del mundo. En la figura 10 se observa que los puntos correspondientes a las atmósferas marinas se sitúan cerca de una hipotética línea recta, en tanto que los puntos relativos a las atmósferas industriales quedan colocados encima de dicha línea, de la que se apartan tanto más cuanto más importante sea el componente industrial. Los puntos correspondientes a las atmósferas rurales y urbanas se agrupan en la proximidad del origen de coordenadas.

En dicha representación, las estaciones de ensayo mexicanas ocupan las siguientes posiciones.

En dicha representación, los valores correspondientes a diferentes estaciones de ensayo españolas (1 a 9) se ajustan bastante bien. Sin embargo los datos de las estaciones de ensayo mexicanas, Cd. Universitaria núm. 10, Tlalnepantla núm. 11, Salamanca núm. 12 y Alvarado núm. 13, no parecen corresponder a lo inicialmente supuesto (véase página 32).

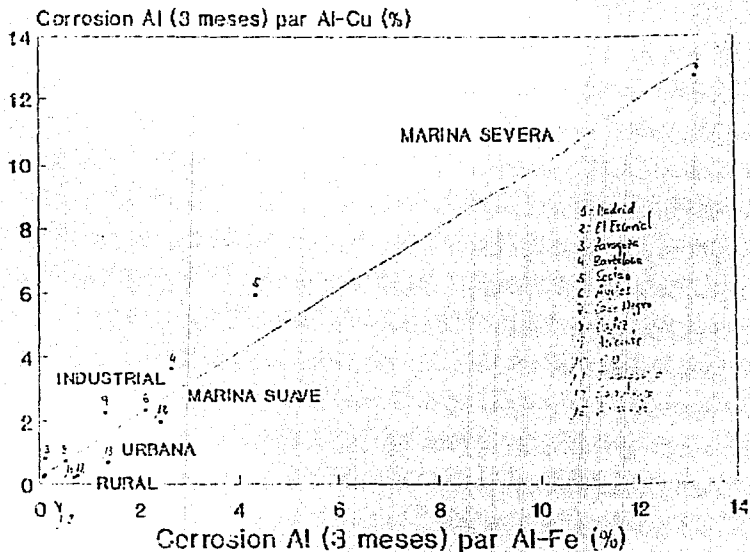
Con la precaución debida a que se trata de los primeros valores obtenidos en México con esta metodología, cabe destacar que las atmósferas de Cd. Universitaria y Tlalnepantla estarían en esta representación calificadas como atmósferas rurales, mientras Salamanca quedaría dentro de las atmósferas urbanas y Alvarado, muy alejada de las características de una atmósfera suave, su agresividad medida en los términos de este ensayo, correspondería a la propia de una atmósfera

urbana.

Una posible explicación a esta calificación "por defecto" respecto a valores reportados en la bibliografía, podría estar en un menor nivel ó concentración de los contaminantes presentes en cada atmósfera. No disponiéndose de los datos correspondientes, lo anterior quedaría en el terreno de las hipótesis.

FIGURA No. 10

Corrosion alambre Al



VIII. CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

1.- Se ha utilizado el ensayo CLIMAT para calibrar la agresividad de cuatro atmósferas mexicanas diferentes, clasificadas previamente como:

Cd. Universitaria

Tlalnepantla

Salamanca

Alvarado

En base a los resultados obtenidos y de acuerdo a valores reportados en la bibliografía, las atmósferas anteriores presentan en todos los casos un nivel de agresividad menor al supuesto.

2.- Los resultados obtenidos en los cuatro casos de atmósferas estudiadas, no se corresponden con los estándares internacionales.

3.- El par Al-Fe no ha sido especialmente sensible a la atmósfera marina de Alvarado, obteniéndose valores del mismo orden que para la atmósfera de Salamanca.

4.- Las probetas Al-Cu y muy especialmente Fe-Cu han presentado los valores de velocidad de corrosión más altos para el caso de la atmósfera de Salamanca.

5.- De las cuatro atmósferas estudiadas, la más agresiva ha resultado ser la de Salamanca, seguida de la de Alvarado, Cd. Universitaria y Tlalnepantla. Para estas dos últimas atmósferas, no se ha encontrado diferencias significativas entre ambas.

VIII. BIBLIOGRAFIJA

BIBLIOGRAFIA

- 1) *The corrosion and oxidation of metals: scientific principles and practical applications.*
U.R.Evars
Ed. Edward Arnold (1977).
- 2) *Handbook on corrosion testing and evaluation.*
W.H.Ailon.
Ed. Wiley
- 3) *Corrosion testing for metals finishing.*
U.E. Carter.
Ed. Butterworth Scientific. Cap. 6 (1982).
- 4) *Corrosión y protección de los metales en la atmósfera.*
S.Feliu y M.Morcillo
- 5) *Corrosion engineering.*
M.G.Fontana, N.D.Greene
Ed. Mc. Graw-Hill 2a. ed. (1983).
- 6) *Teoría y práctica de la lucha de la corrosión.*
J.A.González Fernández
CENQA (1984).
- 7) *Termodinámica y cinética de corrosión.*
J. Avila y J. Genesca
Fac. de Química, U.N.A.M. (1985).
- 8) *Más allá de la herrumbre.*
J. Avila y J. Genesca
Fondo de cultura económica, México, D.F. (1986).

- 9) Atmospheric galvanic couple corrosion.
G. Compton, A. Mendizaga and W. Bradley
Vol. 11 Núm. 383 (1955).
- 10) Método rápido para determinar la corrosividad de la atmósfera en cualquier localidad.
D.P. Doyle y H.P. Gindard
Rev. Nature, Vol. 200 Núm. 4912 Pág. 1167-1168 (1963).
- 11) Conductor recommendations for Bahrain based on CLIMAT data final report.
Alcan International Limited, Research Centre (1973).
- 12) Estudio de la corrosión del acero dulce, cinc y cobre en la atmósfera de Madrid.
S. Feliu y M. Morcillo
Rev. Metal CENIM Vol.11 Núm.4 Pág. 159-170 (1975).
- 13) Análisis de la corrosividad atmosférica en España mediante probetas "Alambre sobre Tornillo".
M. Morcillo y S. Feliu
Rev. Metalurgia CENIM Vol. 13 Núm.4 Pág. 212-221 (1977).
- 14) Agresividad atmosférica y predicciones de corrosión.
S. Feliu
Rev. Corrosión y Protección Vol.8 Núm.1 Pág. 3-9 (1977).
- 15) Datos de corrosión atmosférica en España y su Interpretación.
S. Feliu y M. Morcillo
Rev. Metal CENIM Vol.14 Núm.4 -Pag. 198-203 (1978).
- 16) Corrosión atmosférica del Al, Cu, Fe y Zn. (7.ª Parte). Su importancia, mecanismos y métodos de estudio.
J.A. González y J. M. Bastidas
Rev. Iberoam. de Cor. y Prot. Pág.7-18 (1980).

- 17) *Corrosión atmosférica del Al, Cu, Fe y Zn (III. Parte). Análisis del comportamiento en atmósferas controladas a partir de datos gravimétricos.*
J. A. González y J. M. Bastidas
Rev. Iberoam. de Corr. y Prot. Pág. 19-26 (1980).
- 18) *Corrosión atmosférica del Al, Cu, Fe y Zn (III. Parte). Posibilidades de las técnicas electroquímicas para estimar la velocidad de corrosión instantánea en atmósferas controladas.*
J. A. González, J. M. Bastidas y S. Feliu
Rev. Iberoam. de Corr. y Prot. Pág. 20-26 (1980).
- 19) *Corrosión atmosférica del Al, Cu, Fe y Zn (IV. Parte). Posibilidades de las técnicas electroquímicas para predecir el comportamiento en ambientes naturales.*
J. A. González, J. M. Bastidas y S. Feliu
Rev. Iberoam de Corr. y Prot. Pág. 9-13 (1980).
- 20) *Corrosión atmosférica del Al, Cu, Fe y Zn (V. Parte). Factores desencadenantes y condicionantes y predicción de la corrosión atmosférica.*
J. A. González y J. M. Bastidas.
Rev. Iberoam. de Corr. y Prot. Pág. 7-12 (1980).
- 21) *La corrosión de los metales en las atmósferas de la Cuenca del Tajo.*
S. Feliu y M. Morcillo
Rev. CENIM Pág. 7-14 (1981).
- 22) *La corrosión de los metales en las grandes ciudades. Efecto de la contaminación atmosférica.*
M. Morcillo y S. Feliu
Rev. Metal CENIM Vol. 19. Núm. 2 Pág. 61-66 (1983).
- 23) *Un método electroquímico para el estudio del efecto de la contaminación sulfurosa de Madrid sobre la corrosión metálica.*
J. A. González, S. Feliu y J. M. Bastidas
Rev. Química teórica y aplicada. Pág. 65-70 (1982).

- 24) *Datos de corrosión atmosférica en España. Resultados de seis años de exposición.*
M. Morcillo y S. Feliu
Rev. Iberoam de Corr. y Prot. Pág. 89-93 (1983).
- 25) *La corrosividad atmosférica en Cataluña-Baleares.*
S. Feliu, L. Victori, E. Julve, M. Morcillo, E. Miro, J. Cullerell, A. Monclus, A. Pascual y A. de Yllana.
Rev. Iberoam. de Corr. y Prot. Vol. 15 Núm. 3 Pág. 17-20 (1984).
- 26) *Galvanic corrosion behavior of aluminium in the atmosphere.*
H. P. Godard
Aluminium Laboratories Limited. Pág. 43-47 (1963).
- 27) *A rapid method for predicting adequate service lives for overhead conductors in marine atmospheres.*
N. P. Doyle y T. E. Wright
Kingston Pág. 1-5 (1970).
- 28) *Efecto de la orientación de la superficie metálica en la corrosión atmosférica. Datos de dos estaciones.*
S. Feliu y M. Morcillo
Rev. CENYM Pág. 13-16.
- 29) *La contaminación agente desencadenante de la corrosión. Efecto de la contaminación sulfurosa en la corrosión atmosférica del acero en Madrid.*
S. Feliu, M. A. Guillen y P. Fernández Manzano.
Rev. CENYM
- 30) *Corrosión atmosférica de los materiales metálicos.*
S. Feliu
Rev. CENYM