

1  
2el.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE  A

EXAMENES PROFESIONALES  
**EVALUACION DE UN CONVERTIDOR DE  
OXIDO COMERCIAL SOBRE PLACAS DE  
ACERO HERRUMBRADAS**

**Trabajo Escrito Vía Cursos de Educación Continua**

Que para obtener el título de  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO

p r e s e n t a

**OSCAR ALBARRAN BELTRAN**



México, D. F.

1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## ÍNDICE

<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>I) Marco teórico.</b>	<b>3</b>
1.1. Clasificación de la agresividad de la atmósfera	3
1.2. Control de la corrosión	10
1.2.1. Los recubrimientos de pintura como protección anticorrosiva	11
1.2.2. Mecanismos de la protección anticorrosiva por pinturas	13
1.2.3 Capacidad protectora de un recubrimiento de pintura	14
1.3. Convertidores de óxido	19
<b>II) Experimentación</b>	<b>21</b>
2.1. Técnica de evaluación	21
2.1.1. Resistencia a la polarización	21
2.2 Parte experimental	22
<b>III) Resultados</b>	<b>25</b>
3.1. Resultados de la prueba de Rp	25
<b>IV) Análisis de resultados</b>	<b>38</b>
4.1. Placas herrumbradas sin convertidor de óxido	38
4.1.1. Potencial de corrosión	38
4.1.2. Resistencia a la polarización	39
4.2. Placas herrumbradas + convertidor de óxido	40
4.2.1. Potencial de corrosión	40
4.2.2. Resistencia a la polarización	40
<b>V) Conclusiones</b>	<b>41</b>
<b>VI) Bibliografía</b>	<b>43</b>

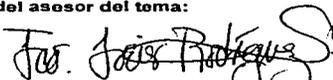
**Jurado asignado:**

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

**Sitio donde se desarrolló el tema:**

**Edificio "D", Facultad de Química.**

**Nombre completo y firma del asesor del tema:**



**Prof. Francisco Javier Rodríguez Gómez.**

**Nombre completo y firma del sustentante:**



**Óscar Albarrán Beltrán.**

*A mis padres :*

*Con admiración y respeto.*

*Gracias por el apoyo incondicional de toda la vida .*

*A mi esposa:*

*Por su paciencia al ayudarme a escribir este trabajo.*

*A mis maestros:*

*A los integrantes del jurado que revisaron este trabajo.*

*gracias por dedicarte un poco de su valioso tiempo.*

*Especialmente a mi asesor por su paciencia y consejos.*

*y en general a todos aquellos profesores que a lo largo*

*de mi travesía por esta querida institución me llenaron*

*de un sin fin de lecciones que tanto me han servido en*

*la vida.*

*A todos. Un millón de Gracias.*

## INTRODUCCIÓN

La corrosión es un proceso espontáneo mediante el cual los metales tienden a regresar a sus estados o formas originales, debido a esto, el Hombre debe luchar continuamente para impedir o detener el proceso.

Dentro de los métodos más usados para combatirla se encuentran los recubrimientos, ya que mediante estos se consigue aislar al metal del medio que lo rodea y así se logra detener al procesc de corrosión.

El aspecto más crítico y costoso en la aplicación de un recubrimiento es la preparación de la superficie metálica ya que de ésta dependerá la efectividad del recubrimiento.

Debido a lo anterior, en los últimos años se han venido estudiando nuevos métodos de preparación de superficies que, sin sacrificar su efectividad, ayuden a reducir los costos en el combate a la corrosión. Dentro de estos métodos se encuentran los compuestos llamados convertidores de óxido.

De manera general, un convertidor de óxido es un compuesto base agua que comúnmente contiene ácido tánico y cuyo objetivo es reaccionar con los productos de corrosión para formar un compuesto estable, que actuará como barrera aislando al metal base del medio agresivo.

El objetivo de este trabajo es evaluar desde el punto de vista electroquímico, específicamente por medio de una prueba de Rp, si un convertidor de óxido comercial puede reducir el proceso de corrosión al aplicarlo sobre una placa de acero herrumbrada.

**Se seleccionó el método de Rp por ser uno de los más rápidos para obtener tendencias del comportamiento de éste convertidor.**

**Si los resultados de Rp muestran que el convertidor de óxido efectivamente reduce el proceso de corrosión, entonces éstos darán las bases para desarrollar otro tipo de pruebas, en futuros trabajos, para obtener mas detalles del proceso, tales como: Composición de productos resultantes de la reacción del convertidor con el óxido de partida, velocidad de reacción, mecanismo de reacción, etc.**

**Si después de analizar todos los detalles respecto al funcionamiento de este convertidor se observa que efectivamente reduce o detiene el proceso de corrosión, se podría llegar a proponer un método alternativo al sistema de pintado tradicional, reduciendo tiempo y costos principalmente en la parte de la preparación de superficie.**

## **I ) MARCO TEORICO.**

Antes de hablar de los convertidores de oxido, se debe establecer el porqué de su necesidad, y para esto necesariamente se debe hacer mención de el efecto que tiene el medio ambiente sobre los metales, y mas especificamente la atmósfera sobre las estructuras metálicas que se encuentran a la intemperie.

Así pues, en este capítulo se hablará de la agresividad de la atmósfera para con los metales, en términos de corrosión, cómo se clasifica a éstas, qué factores se toman en cuenta, qué se hace para proteger a los metales, y finalmente, cómo los convertidores de óxido podrían contribuir a evitar la acción de la atmósfera sobre los metales.

### **1.1 Clasificación de la agresividad de la atmósfera.**

La atmósfera, por su ubicación, se clasifica como sigue:

Rural

Urbana

Industrial

Marina

En donde la más agresiva es la atmósfera marina, además, hay zonas en donde se pueden confinar los tipos de atmósfera, por ejemplo:

Marina-rural

Marina-urbana

Marina-industrial

Cada uno de los tipos de atmósfera mencionados tiene sus propias características, sin embargo, para efectos de clasificación en cuanto a su agresividad se deben evaluar los aspectos más importantes y comunes a todas ellas, como son: el tiempo de humectación y el tipo de contaminantes más corrosivos.

El tiempo de humectación es el período durante el cual una superficie metálica está cubierta por una película de electrolito lo cual favorece al proceso de corrosión atmosférica. Para calcular el tiempo de humectación de una zona determinada se toman en cuenta los periodos en que la humedad relativa es mayor de 80% y la temperatura superior a 0° C. Es importante señalar que el tiempo de humectación calculado así, se debe considerar como teórico ya que para saber el real se deben tomar en cuenta factores particulares de cada caso como son: tipo de metal, forma, peso, orientación, cantidad y tipo de productos de corrosión, contaminantes, etc. En el cuadro I.1 se muestran los tiempos de humectación para diferentes atmósferas.

**Cuadro I.1 Clasificación del tiempo de humectación de superficies metálicas que se corroen (ISO 9223:1992).**

CATEGORÍA	TIEMPO DE HUMECTACIÓN		EJEMPLO
	Horas/año	%/año	
T1	10	0.1	Atmósfera interior climatizada
T2	10-250	0.1-3	Atmósfera interna, excepto espacios interiores no aireados
T3	250-2500	3-30	Atmósfera exterior en regiones secas o muy frías
T4	2500-5500	3-60	Atmósferas exteriores en todas las zonas, excepto en la tropical seca y las zonas frías
T5	5500	60	Lugares no ventilados en regiones muy húmedas

Cabe señalar que el factor más importante dentro de cada categoría de tiempo de humectación es el nivel de contaminación por  $\text{SO}_2$  y/o  $\text{NaCl}$ , además de que existen otros tipos de contaminantes que pueden incrementar la agresividad de la atmósfera, como son: humos de zonas industriales,  $\text{CaCl}_2$  y  $\text{MgCl}_2$  en regiones marítimas,  $\text{Cl}_2$ , ácidos orgánicos, medios para lograr el deshielo, etc. Estos últimos no se toman en cuenta para la clasificación ya que se trata de casos muy particulares.

Observaciones:

- 1) De acuerdo con el cuadro I.1 tomado de la norma ISO 9223:1992, para tiempos de humectación T1 no se espera condensación. Para tiempos T2, se considera poco probable la formación de líquido sobre la superficie metálica y los tiempos T3-T5 representan períodos de condensación y precipitación.
- 2) El tiempo de humectación de determinada zona depende directamente de la relación temperatura-humedad relativa de la atmósfera externa.
- 3) En atmósferas internas sin aire acondicionado, el control de la humedad mediante fuentes de vapor permite alcanzar tiempos de humectación entre T3-T4.
- 4) En tiempos de humectación T1 y T2, la probabilidad de corrosión es mayor en superficies donde puede depositarse suciedad.
- 5) Los efectos de la corrosión en atmósferas con tiempos de humectación T3-T5 tienen lugar desde el primer día de exposición y proceden de manera continua. Los factores cinéticos del proceso quedan definidos por el nivel y tipo de contaminante.

Dentro de los contaminantes que más favorecen al proceso de corrosión atmosférica se encuentran el SO<sub>2</sub> y los cloruros y es por ésto, que para fines de clasificación sólo se toman en cuenta las velocidades de depósito de SO<sub>2</sub> y NaCl, lo cual se muestra en los cuadros I.2 y I.3.

**Cuadro I.2. Clasificación de la contaminación por sustancias sulfurosas representadas por el nivel de SO<sub>2</sub> ( ISO 9223:1992 ).**

VELOCIDAD DE DEPÓSITO DE SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>2</sup> * día)	CONCENTRACIÓN DE SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> Ó ppm)	CATEGORIA
10	0.012	P0
10-35	0.012-0.04	P1
35-80	0.04-0.09	P2
80-200	0.09	P3

Observaciones:

1) Las cantidades de SO<sub>2</sub> determinadas por depósito, Pd, o volumétricamente, Pc, son equivalentes para efectos de clasificación. La relación entre ambas magnitudes puede formularse de la siguiente manera:

$$Pd = Pc * 800$$

2) La velocidad de depósito de SO<sub>2</sub> y la concentración representan un promedio anual.

3) Cualquier concentración inferior a P0, se considera no representativa desde el punto de vista de la corrosión.

4) Una categoría de contaminación por encima de P3 se considera extrema y es típica de determinados microclimas.

La clasificación de la contaminación por pulverizaciones o aerosoles salinos representada por el nivel de NaCl se relaciona con atmósferas exteriores en ambientes marinos.

**Cuadro I.3. Clasificación de la contaminación por aerosoles salinos representados por NaCl. (ISO 9223:1992).**

<b>VELOCIDAD DE DEPÓSITO DE NaCl (mg/m<sup>2</sup>·día)</b>	<b>CATEGORÍA</b>
3	S0
3-60	S1
60-300	S2
300-1500	S3

Observaciones:

- 1) La clasificación anterior está basada en la determinación de la velocidad de depósito de cloruros por el método de la candela húmeda. (ISO 9225).
- 2) Los resultados obtenidos por la aplicación de diferentes métodos para la determinación del contenido salino de la atmósfera no son siempre directamente comparables ni convertibles.
- 3) La porción mas significativa de la contaminación es la causada por el NaCl, y la restante se debe a MgCl<sub>2</sub>, KCl y otros constituyentes del agua de mar.
- 4) La concentración de NaCl está expresada como promedio anual.
- 5) Las velocidades de depósito inferiores a S0 se consideran no representativas para el ataque corrosivo.
- 6) Grados de contaminación por encima de S3 se consideran extremos.

7) Los aerosoles salinos dependen fuertemente de las variables que influyen en el transporte de las partículas salinas tierra adentro, como dirección del viento, velocidad, topografía local, etc.

La situación geográfica y las condiciones climáticas pueden hacer variar la extensión del territorio afectado por la salinidad tierra adentro.

Para efectos prácticos, la corrosividad de la atmósfera se divide en cinco categorías, las cuales se presentan en el cuadro 1.4.

**Cuadro 1.4. Categorías de la corrosividad de la atmósfera (ISO 9223:1992)**

CATEGORÍA	CORROSIVIDAD
1	Muy Baja
2	Baja
3	Media
4	Alta
5	Muy Alta

Para tener una idea más clara de lo que representa la clasificación del cuadro 1.4, en el cuadro 1.5 se muestran los valores numéricos correspondientes a la velocidad de corrosión del primer año de exposición para cada una de las categorías propuestas. Se debe señalar que el criterio de clasificación propuesto está basado en probetas rectangulares planas y que los valores presentados no deben extrapolarse para hacer predicciones de larga duración.

**Cuadro I.5. Pérdidas por corrosión durante el primer año de exposición para las diferentes categorías de corrosividad (ISO 9223:1992).**

CATEGORIA	PERDIDA DE PESO (g/m <sup>2</sup> )				PROFUNDIDAD DE PICADURA (m <sup>3</sup> )
	ACERO	Zn	Cu	Al	
1	1-10	0.7	0.9	0.0	0
	0.15-1.25	0.1	0.1	0.0	
2	10-200	0.7-5	0.9-5	0.6	20
	1.25-25	0.1-0.7	0.1-0.6	0.25	
3	200-400	5-15	5-12	0.6-2	50
	25-50	0.7-12	0.6-1.3	0.25-0.8	
4	400-650	15-30	12-25	2-5	50-150
	50-80	1.2-4.2	1.3-2.8	0.8-2	
5	650	30	25	5	150
	80	4.2	2.8	2	

Finalmente se presenta el cuadro I.6. en el cual, se correlacionan el tiempo de humectación, la presencia de contaminantes y la pérdida en peso para los metales de mayor interés, todo esto con el objeto de estimar la corrosividad de una determinada atmósfera de una manera más estandarizada.

**Cuadro I.6. Estimación de la corrosividad de la atmósfera  
por categorías ISO 9223:1992.**

	T1			T2			T3			T4			T5							
	S0-S1	S2	S3																	
P0-P1	1	1	1-2	1	2	3-4	2-3	3-4	4	3	4	5	4	5	5					
P2	1	1	1-2	1-2	2-3	3-4	3-4	3-4	4-5	4	4	5	5	5	5					
P3	1-2	1-2	2	2	3	4	4	4-5	5	5	5	5	5	5	5					
<b>ZINC Y COBRE</b>																				
	S0-S1	S2	S3																	
P0-P1	1	1	1	1	1-2	3	3	3	3-4	3	4	5	4	5	5					
P2	1	1	1-2	1-2	2	3	3	3-4	4	3-4	4	5	5	5	5					
P3	1	1-2	2	2	3	3-4	3	3-4	4	4-5	5	5	5	5	5					
<b>ALUMINIO</b>																				
	S0	S1	S2	S3	S0	S1	S2	S3	S0	S1	S2	S3	S0	S1	S2	S3				
P0-P1	1	2	2	2	1	1	2-3	4	3	3	3-4	4	3	3-4	3-4	5	4	5	5	5
P2	1	1	2	2-3	1-2	1-2	3-4	4	3	3	4	4-5	3-4	4	4	5	4	5	5	5
P3	1	1	2-3	3	2	3-4	4	4	3	4	4-5	5	4-5	5	5	5	5	5	5	5

### 1.2 Control de la corrosión

Dado que la corrosión es un proceso espontáneo, todos los métodos que existen para controlarla tienen como objetivo interferir con su mecanismo de reacción y hacer que éste sea lo más ineficiente posible. Para que exista un proceso de corrosión debe formarse una pila y, por lo consiguiente deben existir: un ánodo, un cátodo, un conductor metálico y una solución conductora, además de una diferencia de potencial entre el ánodo y el catodo. La eliminación de por lo menos uno de estos factores podría detener el proceso.

**En la práctica existen tres métodos para luchar contra la corrosión:**

**1 ) Aislamiento eléctrico del material.**

Esto puede lograrse mediante el empleo de pinturas o resinas, depósitos metálicos o por aplicación de otros recubrimientos protectores.

De esta forma, se puede lograr aislar el metal del contacto directo con el medio agresivo.

**2 ) Cambiando el sentido de la corriente en la pila de corrosión.**

Por ejemplo, conectando eléctricamente al acero con un metal más activo (magnesio o cinc) se puede llegar a evitar la corrosión en el acero, ya que dejará de actuar como ánodo y tomará el papel de cátodo, dejando el papel de ánodo al metal más activo. Éste es el principio de la protección catódica.

**3 ) Polarización del mecanismo electroquímico.**

Ésto se puede lograr eliminando el oxígeno disuelto en el medio o mediante la adición de inhibidores, los cuales pueden llegar a polarizar uno de los electrodos de la pila de corrosión y por lo tanto, detener o por lo menos disminuir sus efectos.

Para los fines que este trabajo persigue sólo interesa profundizar en el método que considera el aislamiento eléctrico del metal, es decir, en los recubrimientos.

**1.2.1 Los recubrimientos de pintura como protección anticorrosiva.**

Se estima que de todas las superficies metálicas expuestas a la atmósfera, entre el 85 y 90 % de ellas están protegidas por algún tipo de recubrimiento, que generalmente es algún tipo de pintura. Ésto se debe principalmente a que este método presenta ventajas como: gran variedad de tipos con diferentes características y resistencias, aplicación sencilla y a pie de obra, posibilidad de combinación con recubrimientos metálicos y, lo más importante, el costo relativamente bajo.

A grandes rasgos, una pintura es una mezcla líquida que al ser aplicada sobre una superficie tiene la propiedad de formar una capa continua y de transformarse en película sólida.

La pintura líquida consta de tres componentes fundamentales: el aglutinante o resina y el disolvente, los cuales forman la fase continua, y el pigmento, el cual forma la fase dispersa, además de estos tres componentes, la pintura líquida se compone de otros elementos que se adicionan con fines específicos, por ejemplo, diluyentes, plastificantes, materiales de relleno, colorantes especiales, etc.

El proceso de curado o formación de película sólida se puede llevar a cabo por alguno de los siguientes mecanismos:

#### 1 ) Oxidación

La película se forma como resultado de la reacción del aglutinante con el oxígeno del aire.

#### 2 ) Evaporación

La resina, que es el formador de película, queda sobre la superficie una vez que el disolvente ha escapado a la atmósfera.

#### 3 ) Condensación

El polímero se forma debido a la reacción entre sí de dos o más componentes de la pintura, no siendo ninguno de ellos, por sí solo, formador de película.

#### 4 ) Coalescencia

La película sólida es el resultado de la coalescencia de partículas dispersas cuando el material dispersante abandona la película líquida. El agente dispersante es generalmente el agua, aunque también puede serlo un disolvente débil

## **1.2.2 Mecanismos de la protección anticorrosiva por pinturas.**

### **1 ) Efecto barrera**

El efecto barrera consiste en interponer una película continua de un material dielectrico solido entre la superficie metálica y el medio corrosivo, reduciendo así el acceso del oxígeno y la humedad a la superficie del metal y por lo tanto impidiendo la reacción catódica del proceso corrosivo.

### **2 ) Resistencia ionica**

La corriente de la pila de corrosión puede reducirse a niveles muy bajos por el impedimento que la película de pintura ofrece al movimiento de los iones del electrolito que se forma en la interfase metal/pintura.

La resistencia iónica estará afectada por los siguientes factores:

- A ) Presencia de electrolitos en o debajo de la película de pintura.**
- B ) Penetración de agua u otros electrolitos a través del recubrimiento**
- C ) Espesor de película.**

### **3 ) Efecto inhibidor**

Este mecanismo de protección anticorrosiva lo presentan aquellas películas de pintura que en su formulacion contienen pigmentos, por lo general de naturaleza inorgánica, que inhiben la reacción de corrosión. Los inhibidores pueden actuar de manera directa o indirecta. La acción directa corresponde a los inhibidores llamados solubles que promueven el mantenimiento de una película superficial de óxido protector sobre el metal. La acción indirecta la efectúan los inhibidores llamados básicos, vía la formación de compuestos insolubles por su reacción con los productos o subproductos del vehículo.

#### **4 ) Efecto de protección catódica**

Ciertas pinturas están formadas a base de pigmentos metálicos que actúan como ánodo en beneficio del soporte metálico que actúa como cátodo.

#### **1.2.3 Capacidad protectora de un recubrimiento de pintura.**

Para que un sistema de pintura desarrolle íntegramente las propiedades anticorrosivas para las que fue diseñado, se requiere que por lo menos cumpla con los siguientes requisitos:

- 1 ) Que el recubrimiento esté bien formulado.
- 2 ) Que se haya realizado un buen sistema de pintado.
- 3 ) Que la pintura haya sido correctamente aplicada.

#### **Fomulación:**

La pintura debe formularse para tener resistencia química frente al ambiente en que va a quedar expuesta además de tomar en cuenta el factor de resistencia a la corrosión del sustrato metálico sobre el cual será aplicada.

La resistencia química se obtiene mediante la selección adecuada del aglutinante o tipo genérico de revestimiento orgánico, y para obtener una buena resistencia frente a la corrosión se debe poner cuidado en los factores de permeabilidad y pigmentación.

**Diseño del sistema de pintado:**

Por lo general, en la protección por recubrimientos, no se emplea solo una pintura sino una serie de ellas, cada una con distinta misión, que constituyen lo que se denomina el sistema de pintura, éste se puede llegar a componer hasta por cuatro diferentes pinturas: pintura de pretratamiento, imprimación, intermedia y acabado. Tales componentes, además de cumplir con su papel particular en el sistema, deben estar relacionados unos con otros de modo que el sistema completo se comporte como un simple elemento. Entre las pinturas componentes del sistema, destaca el papel que representa la de imprimación, ya que sobre ésta recaen dos grandes responsabilidades del recubrimiento: control de corrosión y adherencia.

En el diseño de un recubrimiento anticorrosivo, más que hablar de sistema de pintura se debe hablar de un sistema de pintado, el cual involucra no solamente al tipo y espesor de las diferentes pinturas, sino también la preparación de la superficie metálica, modo y condiciones de aplicación del recubrimiento, entre otros factores, los cuales en conjunto determinarán la vida y efectividad del recubrimiento protector.

De todo el sistema de pintado, los factores más importantes a considerar son:

- 1 ) Preparación de superficie.
- 2 ) Compatibilidad entre pinturas.
- 3 ) Espesor del sistema de pintura.

#### 1. Preparación de superficie

Una adecuada preparación de superficie contribuye más que ningún otro factor al éxito de los sistemas protectores de pintura, ya que de ella dependen la limpieza y la rugosidad de la superficie metálica, las cuales a su vez favorecerán una mejor adherencia del recubrimiento.

La adherencia de un recubrimiento a la superficie metálica es la propiedad más importante de todo el sistema, ya que si ésta es débil, se anulan por completo las propiedades protectoras del recubrimiento.

El procedimiento general para una preparación de superficie consiste en: desengrasado, limpieza manual, y limpieza mecánica.

#### A ) Desengrasado.

El objetivo de esta operación es eliminar cualquier tipo de contaminante depositado en la superficie metálica, como polvo, grasa o aceite. Para esto se pueden usar disolventes orgánicos o detergentes en solución acuosa. Actualmente se recomienda evitar el uso de productos que provoquen daños al ser humano y a su ambiente, por lo que esta área se está volviendo de especial importancia para la industria en general y especialmente para la de recubrimientos.

Es importante señalar que después de esta operación, la superficie metálica además de estar libre de los contaminantes mencionados debe estar perfectamente seca ya que de lo contrario se estaría promoviendo la corrosión, que es precisamente lo que se quiere evitar.

#### B ) Limpieza manual.

El objetivo de esta operación es remover los productos de corrosión débilmente adheridos a la superficie metálica además de el óxido de partes inaccesibles para la limpieza mecánica y se lleva a cabo usando raspadores, cepillos de alambre y lijas.

Al terminar esta operación la superficie metálica debe quedar libre de polvo, grasa y productos de corrosión débilmente adheridos como cascarilla además de estar perfectamente seca.

**C ) Limpieza mecánica.**

Mediante este tipo de limpieza se persigue llegar a alguno de los siguientes acabados:

**C 1 ) Preparación comercial.**

Por lo menos un 66% de la superficie metálica debe quedar libre de toda impureza visible, lo cual se comprueba visualmente mediante la comparación contra estándares.

**C 2 ) Preparación cercana al metal blanco.**

En este tipo de preparación se persigue que por lo menos el 95% de la superficie metálica quede libre de óxido y otras impurezas visibles, se supervisa por el mismo método que la preparación comercial.

**C 3 ) Preparación a metal blanco.**

En este tipo de preparación el 100% de la superficie metálica debe quedar libre de cualquier impureza.

Para obtener cualquiera de los acabados mencionados, normalmente se aplica una limpieza con chorro de abrasivos, la cual puede variar tanto en tipo y complemento del abrasivo, como en características del equipo para su aplicación.

Es importante señalar que la preparación de superficie, además de ser el factor que determina la eficacia y durabilidad del recubrimiento, es la parte más costosa del sistema de pintado, pudiendo llegar a representar hasta el 80% del costo total cuando se trata de un acabado al metal blanco.

Debido a lo anterior han surgido algunas alternativas para la preparación de superficies metálicas, dentro de las cuales se encuentran los convertidores de óxido, que son precisamente el tema central de este trabajo y por lo cual se tratarán de manera más detallada en un inciso posterior.

## **2 ) Compatibilidad entre pinturas.**

La incompatibilidad entre pinturas puede deberse a diferentes causas y por lo tanto manifestarse con la aparición de diferentes defectos, entre los cuales se encuentran: el ampollamiento, las arrugas, los levantamientos, el sangrado, etc.

Por ejemplo, la aplicación de una pintura de alta resistencia química puede producir el levantamiento de una imprimación al aceite recientemente aplicada; los fuertes disolventes de la primera penetran en la pintura de imprimación y dañan el sistema de pintura, tal incompatibilidad podría dejar de serlo si hubiera pasado suficiente tiempo desde la aplicación de la imprimación, lo cual hubiera permitido la completa polimerización de ésta. La recomendación anterior no es práctica, ya que el hecho de esperar cualquier cantidad de tiempo, eleva el costo del proceso, por lo tanto se debe evitar la combinación de estas pinturas.

Con el objeto de evitar posibles problemas de compatibilidad, se recomienda seguir las siguientes reglas:

- A ) Utilizar combinaciones donde no se conozcan limitaciones de compatibilidad.**
- B ) Utilizar pinturas de acabado pertenecientes a la misma familia que la pintura de imprimación.**
- C ) Procurar que todas las pinturas del sistema provengan del mismo fabricante.**
- D ) Seguir al pie de la letra las recomendaciones de aplicación que dicta el fabricante.**

### **3 ) Espesor del sistema de pintura.**

La eficiencia del efecto barrera que presenta un recubrimiento está relacionada directamente con el espesor de éste. La penetración de humedad u otros agentes agresivos del medio puede reducirse notablemente mediante la aplicación de un recubrimiento con suficiente espesor, y mejor aun si éste se obtiene mediante la aplicación de capas sucesivas, ya que esto reduce la existencia de poros, microporos, u otros vacíos que aumenten la permeabilidad del sistema.

### **1.3 Convertidores de óxido**

La experiencia ha demostrado que el factor más importante para garantizar el buen funcionamiento de un recubrimiento, además de su durabilidad, es sin duda la preparación de la superficie a recubrir.

Sin embargo, los altos costos y los inconvenientes asociados con los métodos tradicionales, han alentado los esfuerzos para desarrollar alternativas de preparación de superficies metálicas, principalmente de aplicación industrial.

Lo ideal sería poder aplicar un recubrimiento sin tener que hacer una preparación de superficie; para llegar a esto, una de las alternativas propuestas hasta ahora es el uso de los convertidores de óxido.

Los convertidores de óxido son productos a base de agua que reaccionan directamente con una superficie oxidada para formar un complejo órganometálico inerte, insoluble en agua, que puede ser recubierto con alguna otra capa de recubrimiento, es decir, que se puede usar como primario en un sistema de pintura. La mayoría de los convertidores de óxido comerciales incorporan a sus componentes algún tipo de compuesto polihidroxiado, que puede ser algún tanino.

La transformación de una superficie oxidada, debida a la acción del convertidor, en una superficie de color azul oscuro o negro, se ha atribuido a la formación de uno o varios compuestos complejos, entre la parte polifenólica de la resina tánica y los óxidos e hidróxidos del hierro. Aunque seguramente se forman diferentes tipos de complejos, el complejo hierro-tanato ha sido mencionado como el principal producto.

También es posible que se forme el complejo hierro-tanato como resultado de la naturaleza reductora del tanino. En algunos casos se ha sugerido que la estabilización de la superficie oxidada con una solución de tanino puede llevar a la formación de magnetita después de un cierto tiempo, debido a la reducción del complejo hierro-tanato. Sin embargo, la naturaleza y extensión exacta de la reacción y de las especies reactivas involucradas no se tienen bien definidas, y sería tema de un trabajo futuro.

Los complejos hierro-tanato formados a partir de la herrumbre, han sido caracterizados por análisis de rayos X como estructuras amorfas. Se ha propuesto que la película de complejo hierro-tanato resultante existe como una red muy cerrada de eslabones con muchos cruces de iones férricos y moléculas de tanino. La información comercial cita la insolubilidad en agua de estas películas y por lo tanto su resistencia a la corrosión está indicada por el tipo de tanino usado.

La transformación de una superficie oxidada, debida a la acción del convertidor, en una superficie de color azul oscuro o negro, se ha atribuido a la formación de uno o varios compuestos complejos, entre la parte polifenólica de la resina tánica y los óxidos e hidróxidos del hierro. Aunque seguramente se forman diferentes tipos de complejos, el complejo hierro-tanato ha sido mencionado como el principal producto.

También es posible que se forme el complejo hierro-tanato como resultado de la naturaleza reductora del tanino. En algunos casos se ha sugerido que la estabilización de la superficie oxidada con una solución de tanino puede llevar a la formación de magnetita después de un cierto tiempo, debido a la reducción del complejo hierro-tanato. Sin embargo, la naturaleza y extensión exacta de la reacción y de las especies reactivas involucradas no se tienen bien definidas, y sería tema de un trabajo futuro.

Los complejos hierro-tanato formados a partir de la herrumbre, han sido caracterizados por análisis de rayos X como estructuras amorfas. Se ha propuesto que la película de complejo hierro-tanato resultante existe como una red muy cerrada de eslabones con muchos cruces de iones férricos y moléculas de tanino. La información comercial cita la insolubilidad en agua de estas películas y por lo tanto su resistencia a la corrosión está indicada por el tipo de tanino usado.

## II) EXPERIMENTACIÓN

### 2.1 Técnica de Evaluación

Las técnica que se usó para la evaluación del convertidor de óxido fue: Resistencia a la polarización.

Se decidió usar esta técnica porque es rápida, se hace in situ, y puede dar una buena primera aproximación del funcionamiento del convertidor de óxido frente a la corrosión

#### 2.1.1 Resistencia a la Polarización

La prueba de resistencia a la polarización es un método electroquímico que ayuda a medir la velocidad instantánea de corrosión, la medida que se obtiene con éste se expresa como  $R_p$  ( $\text{Ohm}\cdot\text{cm}^2$ ), medida que se define como la tangente a la curva de polarización en el potencial de corrosión.

Cuando se trata de una reacción controlada por transferencia de carga, la  $J_{\text{corr}}$  está relacionada con la  $R_p$  por la ecuación de Stern y Geary.

$$J_{\text{corr}} = \frac{b_a \cdot b_c}{2.303 (b_a + b_c)} \cdot \frac{1}{R_p} = B / R_p$$

Donde  $b_a$  y  $b_c$  son las pendientes de Tafel de las reacciones anódica y catódica. Si la reacción o el proceso está controlado por difusión, la ecuación anterior se reduce a:

$$J_{\text{corr}} = \frac{b_a}{2.303} \cdot \frac{1}{R_p}$$

La determinación de la  $R_p$  se lleva a cabo normalmente en las proximidades del potencial de corrosión, de preferencia con un barrido potenciodinámico de 40 mV., 20 en sentido catódico y 20 en sentido anódico.

Algunos factores que pueden influir en las medidas de la  $R_p$  son:

a) En medio ácido, la adsorción de Hidrógeno atómico en el metal y la absorción de Hidrógeno en el seno del mismo pueden dar lugar a efectos de histéresis en la curva de polarización, afectando así los valores de la  $R_p$

b) Las medidas de la  $R_p$  están también influenciadas por la adsorción de los productos intermedios de la reacción formados en el proceso de disolución anódica. El grado de cubrimiento de estos depende de diferentes factores del sistema como: Potencial, pH, estructura superficial, tiempo de polarización, etc.

Dentro de las ventajas que representa este método se encuentran:

a) La posibilidad de conocer la velocidad de corrosión en el momento mismo en que se esta haciendo la prueba.

b) La rapidez en las medidas, su gran sensibilidad, posibilidad de registro y por lo tanto de seguimiento y automatización.

## **2.2 Parte Experimental**

Para hacer una medición de  $R_p$  se necesita construir una celda electroquímica, la cual debe contar con los siguientes elementos:

**a) Un electrolito**

En este caso el electrolito fue una solución al 3% de cloruros como cloruro de sodio (NaCl).

Se decidió usar este electrolito por considerarlo lo suficientemente agresivo como para pensar que si el convertidor de óxido muestra un buen comportamiento, en términos de corrosión, en este medio, su comportamiento será superior en medios menos agresivos.

**b) Tres electrodos.**

1.- Un electrodo de referencia.

2.- Un contraelectrodo.

3.- Un electrodo de trabajo.

En este caso el electrodo de referencia fue un electrodo de calomelano saturado, el contraelectrodo fue un electrodo de grafito y el papel de electrodo de trabajo fue tomado por placas de acero 1020 de 1.5 X 10 cm. herrumbradas durante un año en atmósfera de tipo rural ( Ciudad Universitaria), con diferente preparación.

**Placa No 1:** Placa herrumbrada con convertidor de óxido.

**Placa No 2:** Placa herrumbrada con convertidor de óxido.

El convertidor de óxido que se usó, es un producto comercial y está compuesto de: Resina de látex sintético, ácido orgánico, glicoles y agua.

Es importante señalar que el convertidor de óxido se aplicó directamente sobre las placas sin hacer preparación alguna a éstas.

**Placa No 3: Placa herrumbrada sin convertidor de óxido.**

**Placa No 4: Placa herrumbrada sin convertidor de óxido.**

**c) Un potenciostato.**

**Una vez construida la celda electroquímica, se requiere de un equipo que pueda perturbar al sistema electrodo-electrolito por medio de una señal de tipo eléctrico, en este caso se trató de una señal de potencial, y el equipo usado fue un potenciostato VIMAR, en el cual también se fueron registrando las respuestas del sistema de estudio en términos de corriente.**

**Todas las placas estuvieron sumergidas en la solución de cloruros durante 26 días y en este tiempo se tomaron 16 lecturas a cada una de ellas.**

### III) RESULTADOS

#### 3.1. Resultados de la prueba de Rp

En esta parte se muestran los resultados de la prueba de resistencia a la polarización a la cual se sometieron las cuatro placas.

En las tablas 3.1. a 3.4. se pueden ver los valores de potencial de corrosión ( $E_{corr.}$ ), de potencial anódico y catódico aplicados para la prueba ( $E_a$  y  $E_c$ ), las corrientes anódica y catódica registradas ( $i_a$  e  $i_c$ ), y finalmente en la última columna el valor de resistencia a la polarización calculado.

**TABLA 3.1. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE Rp DE LA PLACA No 1.**

DIA	Ecorr. (V)	Ea. (V)	Ec. (V)	ia. (mA)	ic. (mA)	Rp. (Ohm*cm <sup>2</sup> )
1	-0.556	-0.536	-0.576	0.665	-0.554	32.76
2	-0.586	-0.566	-0.606	0.630	-0.620	32.00
3	-0.599	-0.579	-0.619	1.151	-0.781	20.70
4	-0.634	-0.614	-0.654	0.944	-0.831	22.53
10	-0.617	-0.597	-0.637	0.850	-0.610	27.39
11	-0.600	-0.580	-0.620	0.680	-0.520	33.33
12	-0.597	-0.577	-0.617	0.450	-0.440	40.40
16	-0.623	-0.603	-0.643	0.310	-0.230	74.07
17	-0.609	-0.589	-0.629	0.320	-0.190	78.43
18	-0.627	-0.607	-0.647	0.250	-0.210	86.95
19	-0.618	-0.598	-0.638	0.260	-0.170	93.02
22	-0.627	-0.607	-0.647	0.210	-0.150	111.11
23	-0.607	-0.587	-0.627	0.180	-0.140	125.00
24	-0.617	-0.597	-0.637	0.180	-0.140	125.00
25	-0.629	-0.609	-0.649	0.120	-0.140	153.84
26	-0.638	-0.618	-0.658	0.190	-0.160	114.28

**TABLA 3.2. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE Rp DE LA PLACA No 2.**

DIA	Ecorr. (V)	Ea. (V)	Ec. (V)	Ia. (mA)	Ic. (mA)	Rp. (Ohm*cm <sup>2</sup> )
1	-0.380	-0.360	-0.400	0.690	-0.140	48.19
2	-0.518	-0.498	-0.538	0.520	-0.330	47.05
3	-0.579	-0.559	-0.599	0.711	-0.568	31.27
4	-0.585	-0.565	-0.605	0.959	-0.640	25.01
10	-0.621	-0.601	-0.641	0.832	-0.692	26.24
11	-0.603	-0.683	-0.623	0.870	-0.610	27.02
12	-0.606	-0.586	-0.626	0.880	-0.510	28.77
16	-0.638	-0.618	-0.648	0.660	-0.570	32.52
17	-0.626	-0.606	-0.646	0.720	-0.490	33.05
18	-0.562	-0.542	-0.582	0.820	-0.330	34.78
19	-0.637	-0.617	-0.657	0.500	-0.130	63.49
22	-0.647	-0.627	-0.667	0.570	-0.420	40.40
23	-0.628	-0.608	-0.648	0.540	-0.390	43.00
24	-0.633	-0.613	-0.653	0.340	-0.370	56.33
25	-0.649	-0.629	-0.669	0.400	-0.310	56.33
26	-0.650	-0.630	-0.670	0.500	-0.350	47.05

**TABLA 3.3. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE Rp DE LA PLACA No 3**

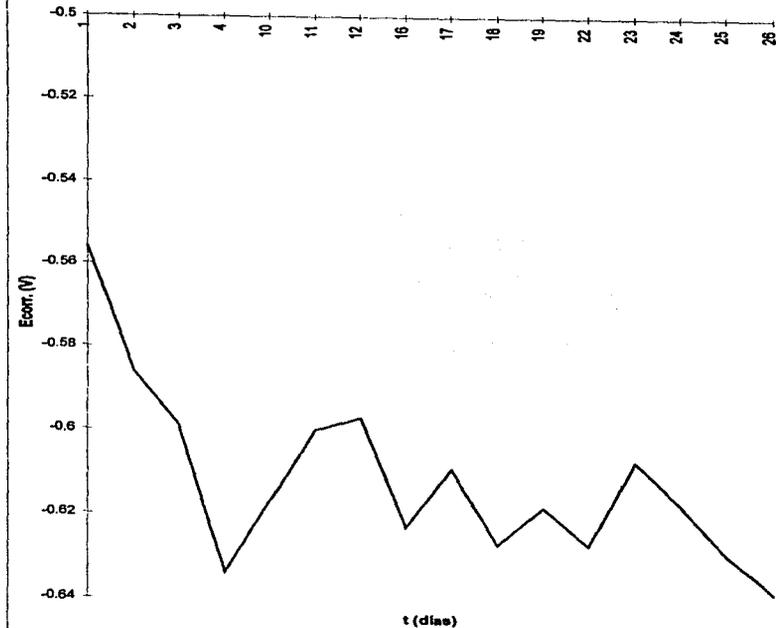
DIA	Ecorr. (V)	Ea. (V)	Ec. (V)	ia <sub>c</sub> ( $\mu$ A)	ic <sub>c</sub> ( $\mu$ A)	Rp. (Ohm $\cdot$ cm <sup>2</sup> )
2	-0.472	-0.452	-0.492	0.900	-0.310	33.05
3	-0.585	-0.565	-0.605	1.210	-0.710	20.83
4	-0.602	-0.582	-0.622	1.122	-0.704	21.90
10	-0.651	-0.631	-0.671	0.680	-0.398	37.10
11	-0.634	-0.614	-0.654	0.560	-0.510	37.38
12	-0.634	-0.614	-0.654	0.640	-0.440	37.03
16	-0.658	-0.638	-0.678	0.470	-0.370	47.61
17	-0.642	-0.622	-0.662	0.660	-0.330	40.40
18	-0.655	-0.635	-0.675	0.530	-0.380	43.95
19	-0.647	-0.627	-0.667	0.340	-0.390	54.79
22	-0.652	-0.632	-0.672	0.510	-0.320	48.19
23	-0.633	-0.613	-0.653	0.550	-0.340	44.94
24	-0.638	-0.618	-0.658	0.550	-0.310	46.51
25	-0.645	-0.625	-0.665	0.490	-0.390	45.45
26	-0.638	-0.618	-0.658	0.680	-0.330	39.60

**TABLA 3.4. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE Rp DE LA PLACA No 4.**

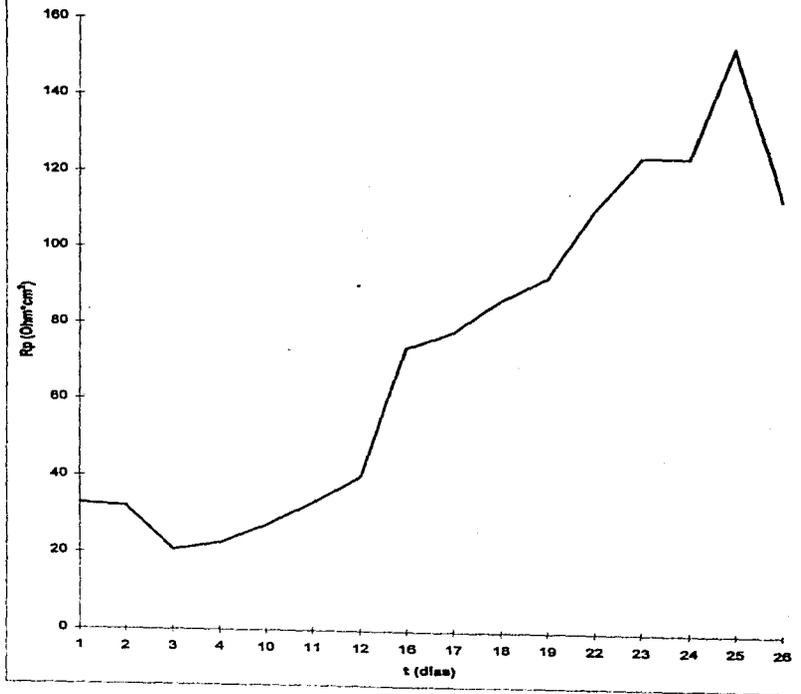
DIA	Ecorr. (V)	Ea.(V)	Ec. (V)	Ia.( $\mu$ A)	Ic( $\mu$ A)	Rp. (Ohm $\cdot$ cm $^2$ )
2	-0.513	-0.493	-0.533	0.652	-0.497	34.81
3	-0.566	-0.546	-0.586	0.920	-0.589	26.50
4	-0.587	-0.567	-0.607	0.912	-0.595	26.54
10	-0.638	-0.618	-0.658	0.540	-0.458	40.08
11	-0.626	-0.606	-0.646	0.630	-0.560	33.61
12	-0.653	-0.633	-0.673	0.480	-0.390	45.97
16	-0.636	-0.616	-0.656	0.580	-0.300	45.45
17	-0.644	-0.624	-0.664	0.550	-0.350	44.44
18	-0.638	-0.618	-0.658	0.550	-0.330	45.45
19	-0.642	-0.622	-0.662	0.510	-0.360	45.97
22	-0.638	-0.618	-0.658	0.400	-0.290	57.97
23	-0.633	-0.613	-0.653	0.670	-0.330	40.00
24	-0.648	-0.628	-0.668	0.440	-0.400	47.61
25	-0.648	-0.628	-0.668	0.360	-0.340	57.14

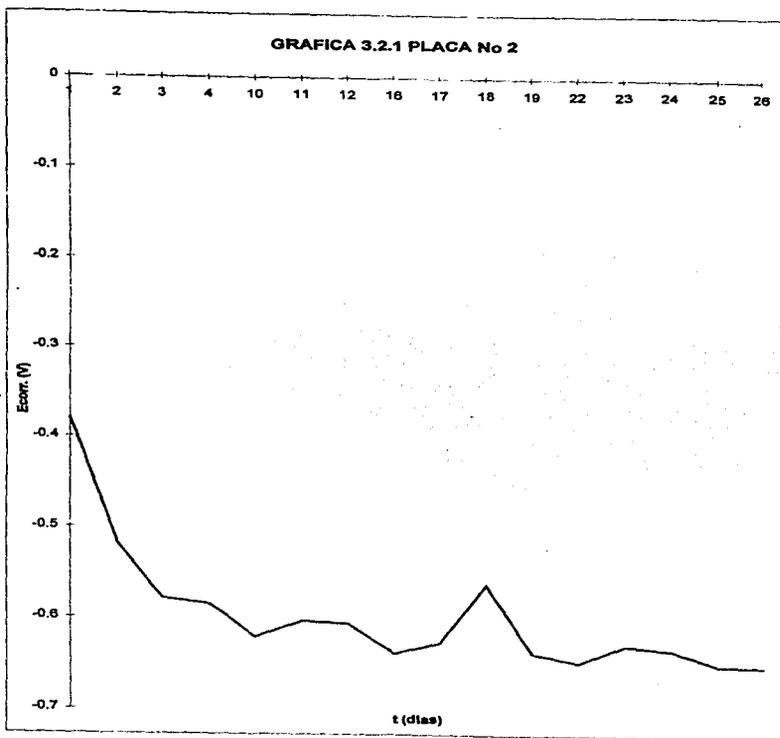
En las gráficas 3.1.1, 3.2.1, 3.3.1 y 3.4.1 se observa cómo se comporta el potencial de corrosión o de reposo con respecto al tiempo en cada una de las placas, y en las gráficas 3.1.2, 3.2.2, 3.3.2 y 3.4.2 se observa cómo varía la resistencia a la polarización con respecto al tiempo para las mismas placas.

GRAFICA 3.1.1 PLACA No 1

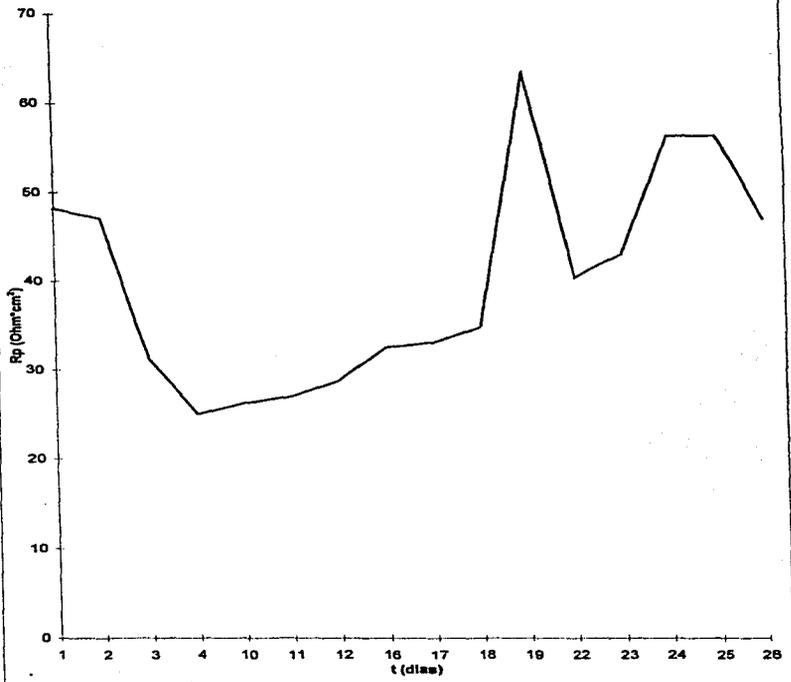


GRAFICA 3.1.2 PLACA No. 1

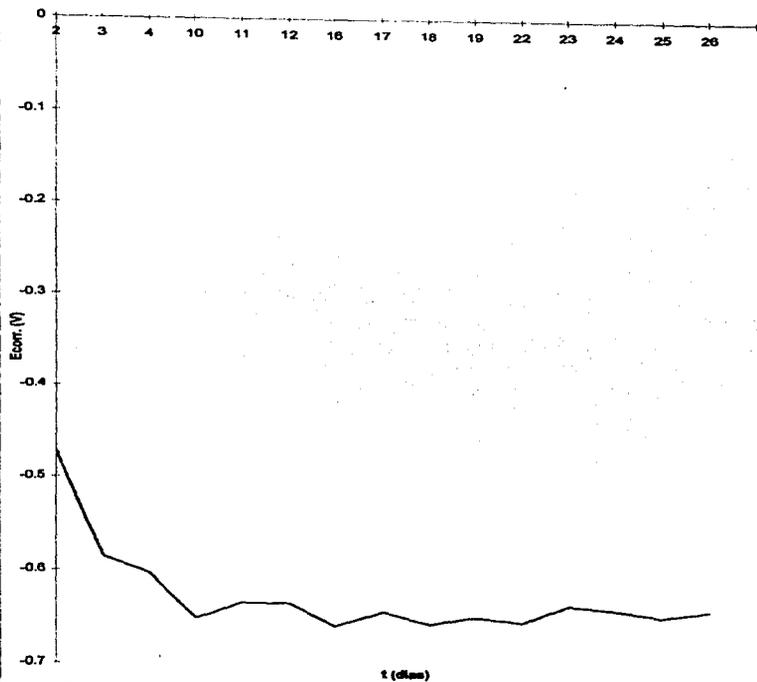




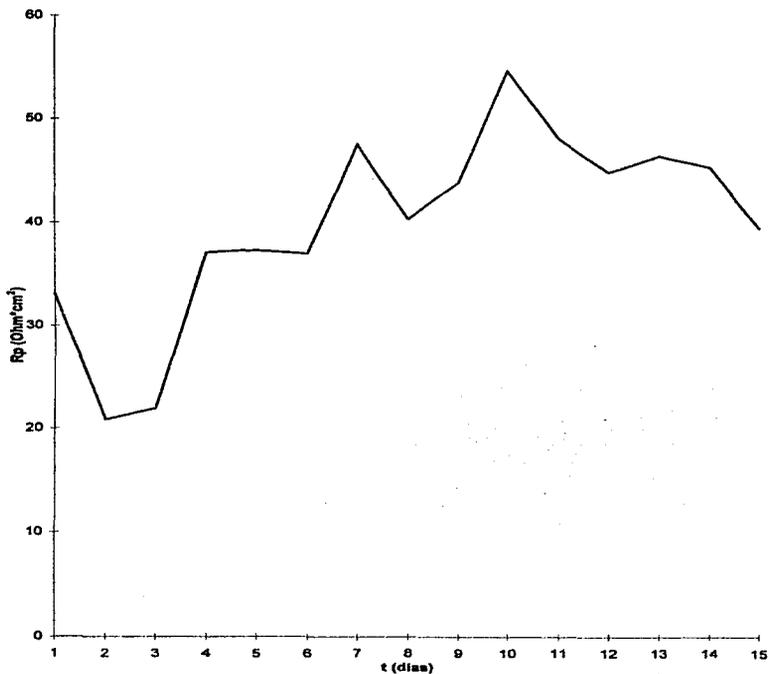
GRAFICA 3.2.2 PLACA No 2

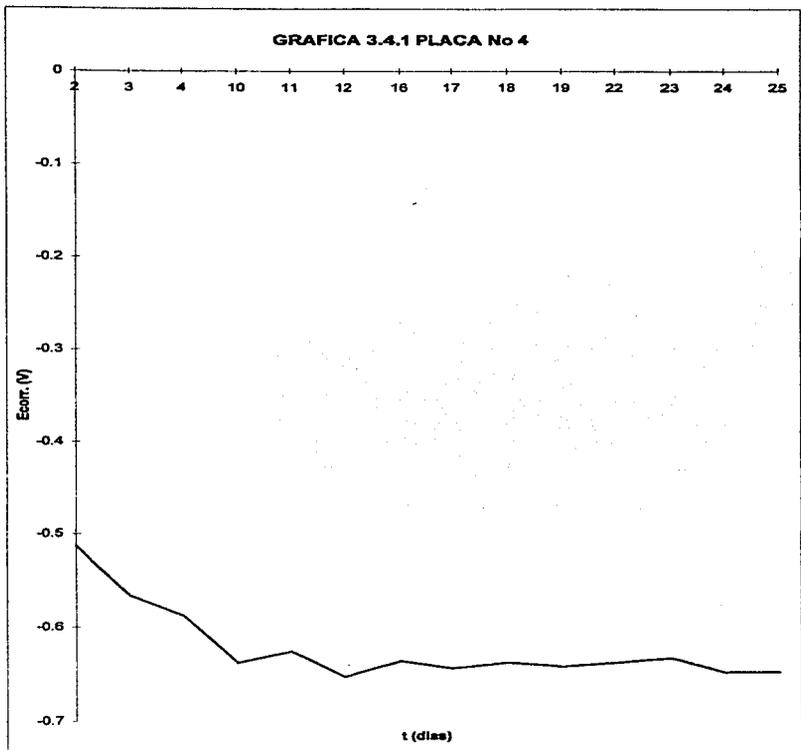


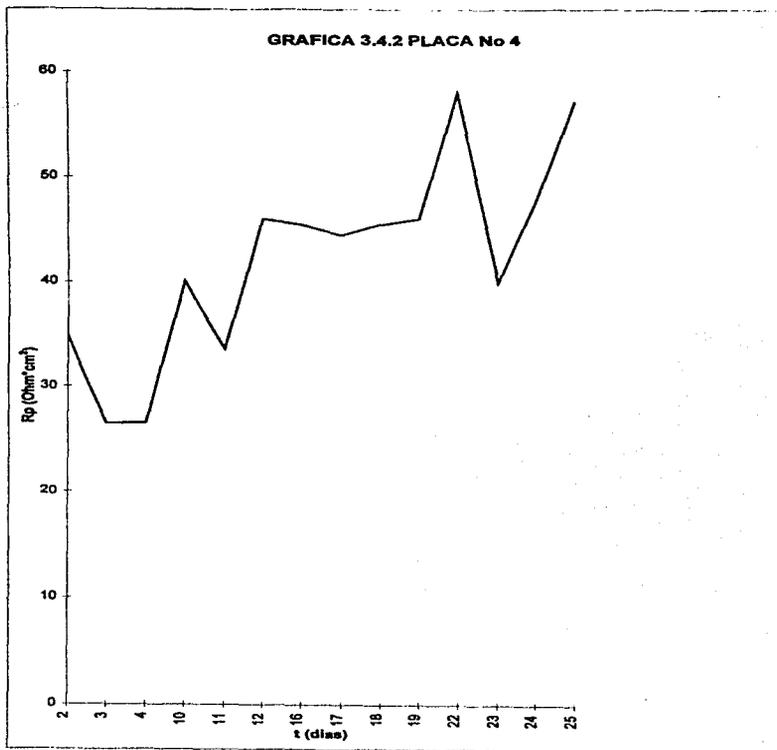
GRAFICA 3.3.1 PLACA No 3



GRAFICA 3.3.2 PLACA No 3







#### **IV ) ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos en la prueba de Rp ; en primer término se habla de lo observado en las placas herrumbradas sin convertidor de óxido ni preparación alguna, y posteriormente de las placas herrumbradas que fueron recubiertas con el convertidor de óxido comercial.

##### **4.1 Placas herrumbradas sin convertidor de óxido.**

En este caso se trata de placas de acero 1020 que fueron preoxidadas durante un año en una atmósfera de tipo rural (Ciudad Universitaria), en cuyas superficies se puede apreciar la presencia de un óxido rojo (Hematita).

##### **4.1.1 Potencial de corrosión.**

Analizando las gráficas 3.3.1 y 3.4.1 se puede señalar lo siguiente:

- a) En ambos casos se nota un descenso en el Ecorr. durante los diez primeros días y después se mantiene constante, alrededor de 0.650 V.
- b) De manera general el Ecorr. se desplaza hacia potenciales más catódicos, lo cual indicaría que el proceso de corrosión no se detiene, por lo menos durante los 26 días de prueba.

#### 4.1.2 Resistencia a la polarización.

Dentro de los resultados a analizar se presentan gráficas de  $R_p$  contra tiempo en vez de velocidad de corrosión contra tiempo ó " $i$ " de corrosión contra tiempo, esto se debe a que no se tienen los valores correctos de las pendientes de Tafel; se podría pensar en realizar una aproximación tomando el valor de "B" como 0.026 que funciona para casos que involucran a un sustrato metálico expuesto a un electrolito, sin embargo no es este el sistema bajo estudio ya que se trata de una superficie herrumbreada expuesta a un electrolito.

Analizando las gráficas 3.3.2 y 3.4.2 se puede señalar lo siguiente:

a) Los valores obtenidos de  $R_p$  para ambas probetas son muy bajos, sabiendo que la  $R_p$  es inversamente proporcional a la velocidad de corrosión, esto se vería reflejado en velocidades de corrosión muy altas, lo cual es lógico ya que se trata de un acero que primero fue herrumbreado en una atmosfera rural (Ciudad Universitaria) y posteriormente inmerso en un medio mucho más agresivo (cloruros).

b) La  $R_p$  en ambos casos presenta una muy ligera tendencia a aumentar, lo cual se debe reflejar en una ligera reducción de la velocidad de corrosión. esto se puede deber a que los productos que se siguen formando en la superficie herrumbreada son de igual naturaleza que los ya existentes, es decir, que se sigue formando un óxido poroso, y es por esto que el aumento en los valores de la  $R_p$  es mínimo.

Grandes aumentos en los valores de la  $R_p$  indicarían la formación de un óxido protector.

## **4.2 Placas herrumbradas + Convertidor de óxido.**

### **4.2.1 Potencial de corrosión.**

Analizando las gráficas 3.1.1 y 3.2.1 se puede señalar lo siguiente:

- a) En ambos casos el potencial de corrosión muestra una clara tendencia a disminuir, es decir, a desplazarse en dirección catódica, además lo hace con una pendiente mayor que en el caso de las placas sin convertidor.
  
- b) Es importante señalar que en este caso el potencial de corrosión no se estabiliza después de los primeros 10 días de prueba como sucedió con las placas sin convertidor, sino casi al final del tiempo de prueba, es decir 26 días.

### **4.2.2 Resistencia a la polarización.**

Analizando las gráficas 3.1.2 y 3.2.2 se puede señalar lo siguiente:

- a) En la gráfica 3.1.2 se puede observar cómo los valores de  $R_p$  aumentan de 30 a 160 ( $\text{Ohm}\cdot\text{cm}^2$ ), lo cual representa aproximadamente cuatro veces más que en las probetas sin convertidor, lo cual se debe reflejar en una mayor reducción de la velocidad de corrosión.
  
- b) En la gráfica 3.2.2, independientemente de la gran fluctuación de los valores de  $R_p$ , se observa una tendencia de éstos a aumentar, aunque en este caso el incremento solo va de 25 a 60 ( $\text{Ohm}\cdot\text{cm}^2$ )

Comparando las gráficas 3.1.2 y 3.2.2, observamos que presentan valores de  $R_p$  muy diferentes a pesar de que se les aplicó el mismo tratamiento, la explicación de este comportamiento es que el estado superficial al momento de aplicarles el convertidor no fue el mismo para ambas, y esto se puede verificar observando los valores de  $E_{\text{corr}}$  al inicio de la prueba.

## V ) CONCLUSIONES

Tomando en cuenta que el objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento de un convertidor de óxido comercial, desde el punto de vista electroquímico, específicamente con una prueba de Rp, se concluye lo siguiente:

a) El hecho de que el potencial de corrosión tienda a disminuir en las placas que fueron recubiertas con el convertidor indica que se sigue llevando a cabo una reacción de oxidación, inclusive de una manera más evidente de lo que pudiera haber sido sin aplicar el convertidor.

b) El hecho de que los valores de Rp tiendan a aumentar puede llevar a pensar que los nuevos productos de corrosión, derivados de la reacción entre el convertidor y el óxido original, sí tienden a detener el proceso de corrosión del metal, que en este caso fue acero 1020.

c) Es importante señalar que el incremento en el valor de Rp no fue uniforme para las dos probetas con convertidor, esto se debe a que las superficies de partida no tenían las mismas características, lo cual se comprueba con la diferencia mostrada en los potenciales de corrosión al tiempo cero.

Con base en lo señalado en los incisos a,b y c se puede decir que el convertidor de óxido evaluado sí puede ayudar a frenar o reducir el proceso de corrosión en acero, y por lo tanto se puede pensar en diseñar un proceso alternativo a los sistemas de pintado tradicionales, que incluya a los convertidores de óxido como sustitutos del primario, con el objeto de reducir costos principalmente en la parte de preparación de la superficie, que por cierto es la más costosa, además de asegurar el anclaje y la adherencia de la primera capa del sistema de pintura.

Es importante señalar que los resultados de este trabajo sólo representan una primera aproximación a lo que se propone en el párrafo anterior, y que para poder comprobar esta teoría se deben hacer otro tipo de pruebas que ayuden a definir cada uno de los detalles del funcionamiento de los convertidores de óxido, como son: Preparación óptima de la superficie a recubrir, método de aplicación del recubrimiento, resultados con diferentes productos de partida, tipos y mecanismos de reacción, compatibilidad con diferentes acabados, etc.

## VI) BIBLIOGRAFÍA.

- 1) Genescá, J. y Ávila, J. "Más allá de la herrumbre I", 1986, Fondo de cultura económica S.A. de C.V. Primera edición del No. 9 de la colección "La ciencia desde México" México.
- 2) Genescá, J. y Ávila, J. "Más allá de la herrumbre II", 1989, Fondo de cultura económica S.A. de C.V. Primera edición del No. 79 de la colección "La ciencia desde México" México.
- 3) Genescá, J. "Más allá de la herrumbre III", 1994, Fondo de cultura económica S.A. de C.V. Primera edición del No. 121 de la colección "La ciencia desde México" México.
- 4) Meas, Y., Genescá, J., Ávila, J., López, W. y Rodríguez, P. "Tres métodos para evaluar una velocidad de corrosión", enero-abril 1991, Ingeniería hidráulica en México, México.
- 5) Diplomado básico en ingeniería de corrosión y protección, apuntes, Modulo I : "Teoría de la corrosión I", 1996, México.
- 6) Diplomado básico en ingeniería de corrosión y protección, apuntes, Modulo II : "Teoría de la corrosión II", 1996, México.
- 7) Diplomado básico en ingeniería de corrosión y protección, apuntes, Modulo III : "Prevención y control de la corrosión", 1996, México.
- 8) Morcillo, M. (1991) " Hacia un mejor conocimiento del sistema metal-pintura, problemática y tendencias." en: "Corrosión y protección metálicas" Cap. 16, Vol. II, Feliú, S., Andrade, M.C. (coordinadores) Consejo superior de Investigaciones científicas, Madrid.