



T
671.732
BRA
C-2



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica



**"Estudio de la Resistencia a la Polarización Para Materiales
Expuestos a Corrosión Atmosférica"**



TESIS DE GRADO

**CIB-ESPOL Previa a la Obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO**

D-16557

Presentada por:

VERONICA ELIZABETH BRAVO GONZALEZ



Guayaquil

Año

Ecuador

1996



AGRADECIMIENTO

A **Dios**, por su eterno amor e infinita misericordia.

A **mi madre**, por dedicar su vida entera a sus hijos, por ser la base fundamental de la mía, por toda su fuerza, amor y apoyo, y porque desde el cielo está viendo cumplir su mayor anhelo.

Al **Ing. Julián Peña Estrella**, mi Director de Tesis, por brindarme todos sus conocimientos con paciencia y dedicación.

Al **Ing. José Pacheco** y al **Sr. Marco Rojano**, por la ayuda y apoyo incondicional que recibí durante la realización de este trabajo y mis años de estudio.





DEDICATORIA



**A mis padres, en especial a
mi madre.**

A mi hermano.

A mi esposo.



A handwritten signature in black ink, appearing to read "Omar Serrano", written over a horizontal line.

Ing. Omar Serrano
SUB-DECANO (e)

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Julián Peña E.", written over a horizontal line.

Ing. Julián Peña E.
DIRECTOR DE TESIS

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Manuel Helguero", written over a horizontal line.

Ing. Manuel Helguero
MIEMBRO TRIBUNAL

A handwritten signature in black ink, appearing to read "José Pacheco", written over a horizontal line.

Ing. José Pacheco
MIEMBRO TRIBUNAL

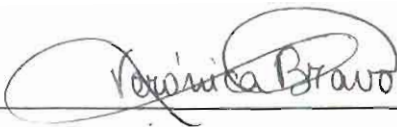




DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta Tesis, le corresponden exclusivamente al autor; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

(Reglamentos de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).



VERONICA ELIZABETH BRAVO GONZALEZ





RESUMEN

El objetivo de este trabajo es realizar estudios electroquímicos por medio de la técnica de resistencia de polarización para determinar el comportamiento de diversos metales que han sido expuestos en algunas ciudades del Ecuador. Este estudio está circunscrito dentro del marco de investigación que la ESPOL está realizando en nuestro país para determinar la incidencia de la corrosión atmosférica sobre los metales.

Los materiales que han sido estudiados corresponden a cuatro metales diferentes tales como Acero, Zinc, Cobre y Aluminio, los mismos que cumplidos un período de exposición determinado en la atmósfera, han ido a análisis electroquímico para determinar su respuesta en términos cinéticos (velocidad de corrosión).

Se ha considerado para la toma de muestras la utilización de probetas que han estado expuestas por un período de un año en las ciudades de Guayaquil, Riobamba, Salinas, Esmeraldas y Galápagos y probetas de 2 años en las mismas ciudades.

El texto de este trabajo está dividido en tres capítulos, los mismos que se detallan a continuación:

En el capítulo uno, se introducen conceptos concernientes a la cinética electroquímica, haciendo una explicación previa de la importancia que tiene el

proyecto MICAT en nuestra región iberoamericana. Así mismo, se conceptúan los fundamentos básicos de la técnica de la Resistencia de Polarización.

En el capítulo dos, se describe el orden metodológico y el alcance de como se realizaron las pruebas experimentales. Las simulaciones en laboratorio consistieron en perturbar con un impulso eléctrico las probetas metálicas y obtener una respuesta cuantificada en términos de voltaje para obtener la resistencia de polarización deseada y relacionarla con la corriente de corrosión. Estas pruebas se realizaron utilizando un potencio-galvanostato de la EG&G Princeton Applied Research Corporation Modelo 362-1 y una solución electrolítica de Na_2SO_4 al 0,1 M.

El comportamiento de las variables obtenidas en el capítulo anterior son analizados en el capítulo tres. En el capítulo tres se hace una confrontación de resultados entre probetas expuestas durante uno y dos años respectivamente. Estos resultados son además comparados con los obtenidos en la fase de experimentación atmosférica (cambio de peso).

INDICE GENERAL



	página
RESUMEN.....	VI
INDICE GENERAL.....	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	X
INDICE DE TABLAS.....	XII
NOMENCLATURA.....	XIII
INTRODUCCION.....	XIV
CAPITULO I: FUNDAMENTOS TEORICOS.....	16
1.1. Proyecto Mapa Iberoamericano de Corrosividad Atmosférica (MICAT).....	16
1.2. Cinética electroquímica para el estudio de la corrosión.....	19
1.3. Técnicas electroquímicas utilizadas para la determinación de la velocidad de corrosión.....	28
1.4. Técnica de la Resistencia a la Polarización.....	32
CAPITULO II: DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE CORROSION.....	39
2.1. Equipo y materiales de experimentación.....	39
2.2. Metodología experimental.....	46
2.3. Obtención de la Corriente de Corrosión (I_{corr}) y Velocidad de Corrosión (V_{corr}).....	52
CAPITULO III: ANALISIS DE RESULTADOS.....	70

3.1. Comportamiento del Acero.....	71
3.2. Comportamiento del Zinc.....	80
3.3. Comportamiento del Cobre.....	88
3.4. Comportamiento del Aluminio.....	96
3.5. Comparación de la Velocidad de Corrosión obtenida por Resistencia a la polarización con la Velocidad de Corrosión obtenida en la fase de experimentación atmosférica (Cambio de Peso).....	104
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	106
ANEXOS.....	111
BIBLIOGRAFIA.....	113

INDICE DE FIGURAS

- 1.- Curvas de polarización anódica y catódica para un sistema reversible simple
($\text{Fe} \leftrightarrow \text{Fe}^{++} + 2\text{e}$)
- 2.- Diagrama de Evans para la corrosión del cobre en agua aireada
- 3.- Datos típicos obtenidos experimentalmente en una polarización lineal
- 4.- Derivación de la ecuación de Stern y Geary
- 5.- Potencio-Galvanostato modelo 362-1
- 6.- Celda Electroquímica K0047
- 7.- Graficador Allen 1000
- 8.- Panel de placas metálicas expuestas a la atmósfera
- 9.- Dimensión de la probeta requerida para análisis de laboratorio
- 10.- Gráfico E vs. i (Cobre serie 11, estación EC-01-C, tercera probeta a 1 hr. de inmersión).
- 11.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Acero a 1 hora de inmersión
- 12.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Acero a 24 horas de inmersión
- 13.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Acero a 48 horas de inmersión
- 14.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Acero a 1 hora de inmersión
- 15.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Acero a 24 horas de inmersión
- 16.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Acero a 48 horas de inmersión

- 17.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Zinc a 1 hora de inmersión
- 18.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Zinc a 24 horas de inmersión
- 19.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Zinc a 48 horas de inmersión
- 20.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Zinc a 1 hora de inmersión
- 21.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Zinc a 24 horas de inmersión
- 22.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Zinc a 48 horas de inmersión
- 23.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Cobre a 1 hora de inmersión
- 24.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Cobre a 24 horas de inmersión
- 25.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Cobre a 48 horas de inmersión
- 26.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Cobre a 1 hora de inmersión
- 27.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Cobre a 24 horas de inmersión
- 28.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Cobre a 48 horas de inmersión
- 29.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Aluminio a 1 hora de inmersión
- 30.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Aluminio a 24 horas de inmersión
- 31.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Aluminio a 48 horas de inmersión
- 32.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Aluminio a 1 hora de inmersión
- 33.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Aluminio a 24 horas de inmersión
- 34.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Aluminio a 48 horas de inmersión

INDICE DE TABLAS

- I. Distribución de las probetas a ensayar
- II. Acero serie 11
- III. Acero serie 12
- IV. Acero serie 21
- V. Zinc serie 11
- VI. Zinc serie 12
- VII. Zinc serie 21
- VIII. Cobre serie 11
- IX. Cobre serie 12
- X. Cobre serie 21
- XI. Aluminio serie 11
- XII. Aluminio serie 12
- XIII. Aluminio serie 21

NOMENCLATURA

i_a :	corriente de oxidación (μA)
i_c :	corriente de reducción (μA)
i_0 :	corriente de equilibrio (μA)
η :	sobrepotencial
E:	potencial
E_{eq} :	potencial de equilibrio
i_{neta} :	corriente neta (μA)
I_a :	corriente total de oxidación (μA)
I_c :	corriente total de reducción (μA)
i_{corr} :	densidad de corriente de corrosión (I/área) ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
W:	pérdida de peso de la especie electroactiva
M:	peso molecular
Z:	número de electrones involucrados en la reacción electroquímica
F:	constante de Faraday (96500 coulombios)
I:	corriente (μA)
t:	tiempo (s)
V_{corr} :	velocidad de corrosión (mV)
A:	área del electrodo (cm^2)
d:	densidad (gr/cm^2)
E_{corr} :	potencial de corrosión (mv)
β_a :	pendiente de Tafel anódica
β_c :	pendiente de Tafel catódica
K1:	constante (factor de conversión)
K2:	constante
Rp:	resistencia a la polarización ($\text{k}\Omega/\text{cm}^2$)
Na_2SO_4 :	sulfato de sodio
TDI:	tiempo de inmersión (hrs.)
TDE:	tiempo de exposición (años)
Vp:	valor promedio

INTRODUCCION

La elaboración de este trabajo de experimentación e investigación se justifica con el interés de conocer por medio del método de resistencia de polarización el nivel de corrosión existente en el Ecuador, tomando en consideración los diferentes tipos de climas y condiciones químicas que rodean cada región. Es por ello que los materiales de estudio (acero, zinc, cobre y aluminio) se han distribuido en cinco estaciones con definidas diferencias ambientales como son Guayaquil, Riobamba, salinas, Esmeraldas y Galápagos.

Nuestra finalidad será determinar la velocidad o rapidez de corrosión de los metales en cada región; también se consideran diferentes tiempos de exposición en la atmósfera. Se espera obtener los mayores niveles de corrosividad en aquellas atmósferas calificadas como altamente agresivas.

Para dar inicio a las pruebas en el laboratorio, las placas metálicas expuestas deben ser retiradas después de cumplir su periodo de exposición sea este uno ó dos años. luego tomarán la forma requerida por la técnica y continuar el procedimiento experimental explicado en detalle en el segundo capítulo.

La técnica de resistencia de polarización es una técnica electroquímica que funciona de la siguiente manera: primero se mide el potencial del material, sobre este se fija una rango de variación de potencial de 25 mV, luego se perturba al material por

medio de impulsos de corriente y éste responderá en los mismos términos dando valores instantáneos de corriente que varían conjuntamente con el potencial. La relación que se genera entre el potencial y la corriente produce gráficamente una pendiente llamada resistencia de polarización, que con la ayuda de básicos procedimientos matemáticos se convertirá finalmente en velocidad de corrosión.



CAPTULO I

FUNDAMENTOS TEORICOS

1.1. PROYECTO MAPA IBEROAMERICANO DE CORROSIVIDAD ATMOSFERICA (MICAT)

El proyecto MICAT tiene como objetivo⁽⁴⁾ conseguir, en diferentes fases un mayor conocimiento acerca de los mecanismos de corrosión en las distintas atmósferas de Iberoamérica; establecer, a través de adecuados tratamientos estadísticos, expresiones matemáticas que permitan al cálculo de la corrosión atmosférica en función de parámetros climáticos y de contaminación, y por último, elaborar el mapa iberoamericano de corrosividad atmosférica. Todo ello permitirá sentar las bases para una selección óptima de los materiales metálicos y recubrimientos (convencionales y avanzados) que deban emplearse en las distintas situaciones de agresividad atmosférica.

Para el cumplimiento de este objetivo es fundamental disponer de una red de estaciones de corrosión atmosférica representativas de las condiciones climáticas imperantes de los países participantes en el proyecto. El conocer la agresividad de las distintas atmósferas, en función exclusiva de las condiciones climáticas, tiene un enorme interés científico y técnico. No hay que olvidar que un gran porcentaje de las estructuras metálicas están ubicadas en zonas densamente pobladas, donde la agresividad atmosférica depende también del grado de contaminación atmosférica por la presencia de agentes contaminantes vertidos a la atmósfera. Por ello, una segunda fase del estudio abordará la contaminación para definir las agresividades atmosféricas de los distintos países iberoamericanos. Además, raramente las estructuras metálicas, en especial de acero, se exponen desnudas a la acción atmosféricas. Debido a la alta corrosibilidad de este material, se puede proteger mediante recubrimientos de pinturas, componentes metálicos, de conversión, etc.

Importancia socioeconómica de la corrosión atmosférica

La acción de la atmósfera sobre los metales constituye uno de los mayores problemas planteados en la corrosión. Las pérdidas directas e indirectas motivadas por la corrosión atmosférica son enormes, lo que es lógico si se tiene en cuenta que la mayoría de los equipos y construcciones metálicas se encuentran al aire libre. Algunos especialistas consideran que más del 50 por 100 de las pérdidas por corrosión se deben a que estas instalaciones están a la

intemperie. Está demostrado, a través de distintos ensayos, que la velocidad de corrosión de los metales en la atmósfera puede ser decenas e incluso centenares de veces mayor en unos lugares que en otros, lo que justifica el interés en conocer las variables fundamentales que operan en la corrosión atmosférica por las que se origina esta gran dispersión de resultados.

La magnitud de la corrosión atmosférica depende fundamentalmente del tiempo que la superficie aparece húmeda, aunque en realidad influyen también una combinación de factores como la lluvia, la humedad relativa, la temperatura, etc. Por todo ello, el clima de la región juega un papel importante en la magnitud de la corrosividad atmosférica. Otro factor que determina la intensidad del fenómeno corrosivo es la composición química de la atmósfera (contaminación del aire con gases, vapores ácidos y aerosoles de agua de mar). El anhídrido sulfuroso y el cloruro sódico son los agentes corrosivos más corrientes de la atmósfera. El cloruro sódico se incorpora a la atmósfera desde el mar, siendo sus efectos muy acusados cerca de la orilla, donde el aire marino transporta grandes cantidades de sal.

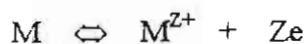
Lejos del mar la contaminación atmosférica depende de la presencia de industrias y de núcleos de población. En este caso, el principal contaminante por su frecuencia e incidencia es el SO_2 , que proviene de la combustión de sólidos y líquidos que contienen azufre.

La trascendencia del fenómeno que nos ocupa justifica la continua búsqueda de relaciones, empíricas o teóricas, entre velocidad de corrosión y factores atmosféricos (meteorológicos y químicos).

1.2. CINÉTICA ELECTROQUÍMICA PARA EL ESTUDIO DE LA CORROSION

Una herramienta muy importante que nos ayuda a determinar si termodinámicamente una reacción puede o no llegar a suceder bajo ciertas condiciones de pH, potencial de electrodo, concentración y presión, a una temperatura dada son los diagramas de equilibrio electroquímicos, pero este análisis termodinámico no nos dice nada acerca de la velocidad con que una reacción ocurrirá.

Para entender claramente el concepto de cinética electroquímica, consideremos el comportamiento de un electrodo metálico en un ambiente en el cual no sufre corrosión, esto es, que se encuentre en estado de equilibrio



La interfase metal-solución en su estado de equilibrio presenta en principio, una situación tranquila. No se produce corriente resultante neta, no se sintetizan sustancias, ni tampoco ocurre ningún cambio en la diferencia de potencial a

través de la interfase. Pero, pese a esta aparente falta de movimiento, las cargas pasan constantemente en uno y otro sentido a través de la interfase. Las reacciones de oxidación y reducción continúan ocurriendo, pero se producen a la misma velocidad. Las corrientes correspondientes a estas reacciones son de la misma magnitud pero de sentidos opuestos

$$\vec{i} = \overset{\leftarrow}{i} \quad (\text{ec. 1})$$

donde:

\vec{i} = corriente de oxidación (anódica)

$\overset{\leftarrow}{i}$ = corriente de reducción (catódica)

Estas corrientes son una medida cuantitativa de la velocidad de la reacción que se produce en la interfase cuando se alcanza el equilibrio. Expresan en función de magnitudes numéricas, la velocidad del tránsito de los electrones en ambos sentidos, entre el electrodo y las partículas del electrolito, cuando no se produce un transporte neto de carga desde una fase a la otra. Caracterizan la velocidad, en términos de velocidad de corriente, del canje o intercambio de electrones entre el metal y la solución en condiciones de equilibrio. A esta magnitud se le denomina densidad de corriente de equilibrio, $i_o^{(1)}$. Se tiene entonces que

$$i_o = \vec{i} = \overset{\leftarrow}{i} \quad (\text{ec. 2})$$

Las densidades de corriente de equilibrio reflejan las propiedades cinéticas de los sistemas de interfase correspondientes y por tanto, varían de una reacción a otra y de un material electrodo a otro.

Cualquier desviación de las condiciones de equilibrio desplazará el potencial del electrodo y las velocidades de las reacciones anódicas y catódicas para producir un flujo neto de electrones diferentes de cero, cuyo valor indicará la extensión con que una velocidad exceda a la otra, o sea, el valor neto de la velocidad de reacción. El cambio de potencial es el sobrepotencial, $\eta^{(1)}$, definido como

$$\eta = E - E_{eq} \quad (\text{ec.3})$$

donde:

E: es el nuevo valor de potencial

E_{eq} : es el potencial de equilibrio

Si $E > E_{eq}$, esto es $\eta > 0$ habrá oxidación, pero si $E < E_{eq}$, $\eta < 0$ entonces habrá reducción.

La corriente neta o velocidad neta de reacción⁽¹⁾ será:

$$i_{neta} = \vec{i} - |\vec{i}| \quad (\text{ec.4})$$

\overleftarrow{i} es el valor absoluto de la corriente catódica, ya que convencionalmente se ha adoptado que i es positiva cuando la reacción procede en la dirección correspondiente a oxidación, reacción anódica (\overrightarrow{i}) e i es negativa cuando se trata de reducción, reacción catódica (\overleftarrow{i}).

La corriente total de disolución del metal, I_a , y la corriente de reducción, I_c (no las densidades de corriente) sobre el metal que se corroe son de la misma magnitud pero de sentido opuesto

$$I_a = -I_c \quad (\text{ec.5})$$

Obviamente, la velocidad de corrosión viene dada directamente por la velocidad de disolución del metal, por tanto la intensidad de corriente de corrosión, $I_{\text{corr}}^{(1)}$, es igual a la corriente de disolución del metal, I_a

$$I_{\text{corr}} = I_a = -I_c \quad (\text{ec.6})$$

Es de anotar que cuando las áreas anódica y catódica son iguales, puede expresarse la velocidad de corrosión : i_{corr} ($i = I/\text{área}$), por consiguiente

$$i_{\text{corr}} = i_a = -i_c \quad (\text{ec.7})$$

Polarización

Dado el caso en que algunas reacciones químicas tienden a alcanzar el equilibrio a una velocidad más baja que la inicial, la acción de la corrosión igualmente tiende a bajar como resultado de los efectos de los productos de las reacciones anódicas y catódicas. La reacción catódica y con ella todas las reacciones de corrosión podrían disminuir si el hidrógeno producido por la reacción catódica no fuera removido por la evolución como gas o por alguna reacción que envuelva oxígeno.

Es posible medir este efecto en términos de potencial del metal sobre el cual esta ocurriendo la reacción. Por ejemplo, si el potencial de la superficie de un metal más noble, el cátodo, pudiese ser medido antes de fluir corriente galvánica por él y subsiguientemente después de que la corriente haya dejado de fluir, se encontrará que el potencial medido ha cambiado a un valor menos noble, esto es, menor ($\eta < 0$).

Similarmente, sobre la superficie anódica se observa que el potencial cambia pero en sentido contrario, aumenta a un valor más noble ($\eta > 0$). Esta variación en el potencial de los electrodos, cuando se hace circular corriente por los mismos, se conoce como *polarización*⁽¹⁾.

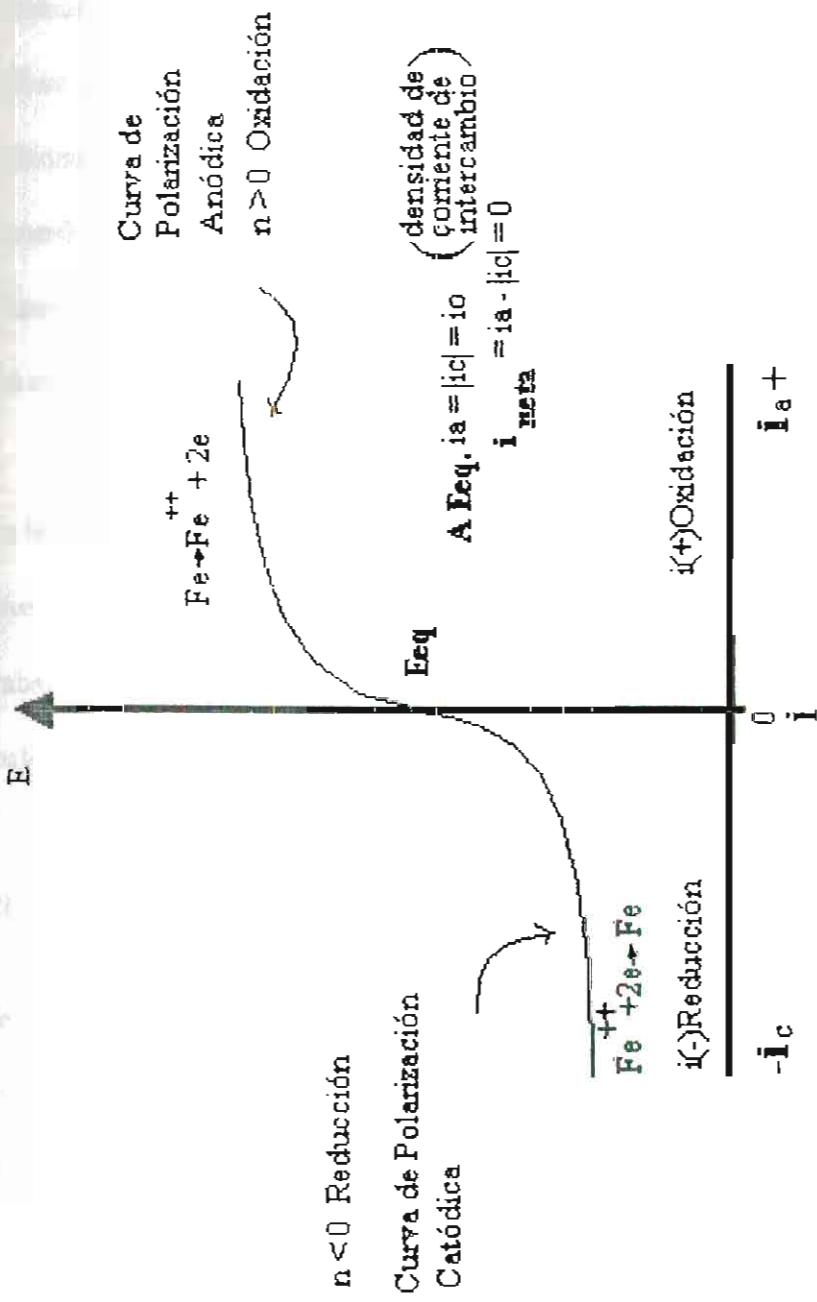


Fig. 1.- Curvas de polarización anódica y catódica para un sistema reversible simple ($Fe \leftrightarrow Fe^{++} + 2e$)

La polarización es una gran ayuda para los estudios experimentales de cinética electroquímica. Es posible establecer relaciones de intensidad de corriente-potencial o curvas de polarización, graficando las variaciones de corriente al aplicar sobrepotenciales positivos o negativos. La figura 1 ilustra las curvas de polarización anódica y catódica para una reacción electroquímica de un electrodo reversible de hierro. Por simplificación representaremos \bar{i} e \vec{i} por i_a e i_c (densidades de corriente anódica y catódica respectivamente), ya que por tratarse del mismo electrodo el área es igual.

En las pruebas experimentales se obtendrán curvas anódicas, dado que éstas nos revelan cuanto se corroen los materiales, siendo este el objetivo de nuestro trabajo. Por otro lado las curvas catódicas nos dicen cuanto se protegen los materiales.

El Diagrama de Evans

Se debe a Ulick Evans⁽⁸⁾, quién lo presentó por primera vez en 1929, la introducción del método gráfico para el análisis de la relación entre velocidad de corrosión y polarización de los electrodos (ánodo y cátodo). El diagrama de Evans⁽¹⁾ es una gráfica lineal de potencial contra la corriente o densidad de corriente. En el diagrama se grafican tanto la curva de polarización para el proceso de reducción, esto es, del agente oxidante responsable de la corrosión, como la curva de polarización anódica para el proceso de disolución del metal.

El punto de intersección de estas dos curvas, proporciona la velocidad de corrosión. Este método es válido, aún cuando la transferencia de carga no sea la que controle la corrosión. El diagrama de Evans ofrece una útil demostración de como la velocidad depende de la separación existente entre los potenciales individuales de equilibrio, esto es, de s (fuerza electromotriz) y de las pendientes promedio de las dos curvas. Mientras más inclinadas sean éstas, menor será la cantidad de corrosión, medida en función de corriente (I) o de densidad de corriente (i).

En el punto de intersección del diagrama de Evans, es obvio que el número total de electrones generado por la disolución del metal debe balancear exactamente al número de electrones que son consumidos por el proceso de reducción catódica. Esto es, las corrientes anódica y catódica deben ser iguales en el potencial de corrosión. Es por esta razón que el diagrama de Evans se dibuja casi universalmente teniendo a la corriente (I) como abscisa. Esto permite tener en cuenta situaciones complicadas, en que las áreas anódica y catódica no son iguales o en las que se tiene una multiplicidad de procesos anódicos y catódicos. Sin embargo, en las situaciones simples en las que las áreas anódica y catódica son iguales entre sí, e iguales al área nominal que presenta el componente hacia el medio ambiente, esto es, en los casos de corrosión uniforme (y solo en estas circunstancias, las densidades de corriente anódica y catódica ($i = (I/\text{área})$) son iguales en el potencial de corrosión.

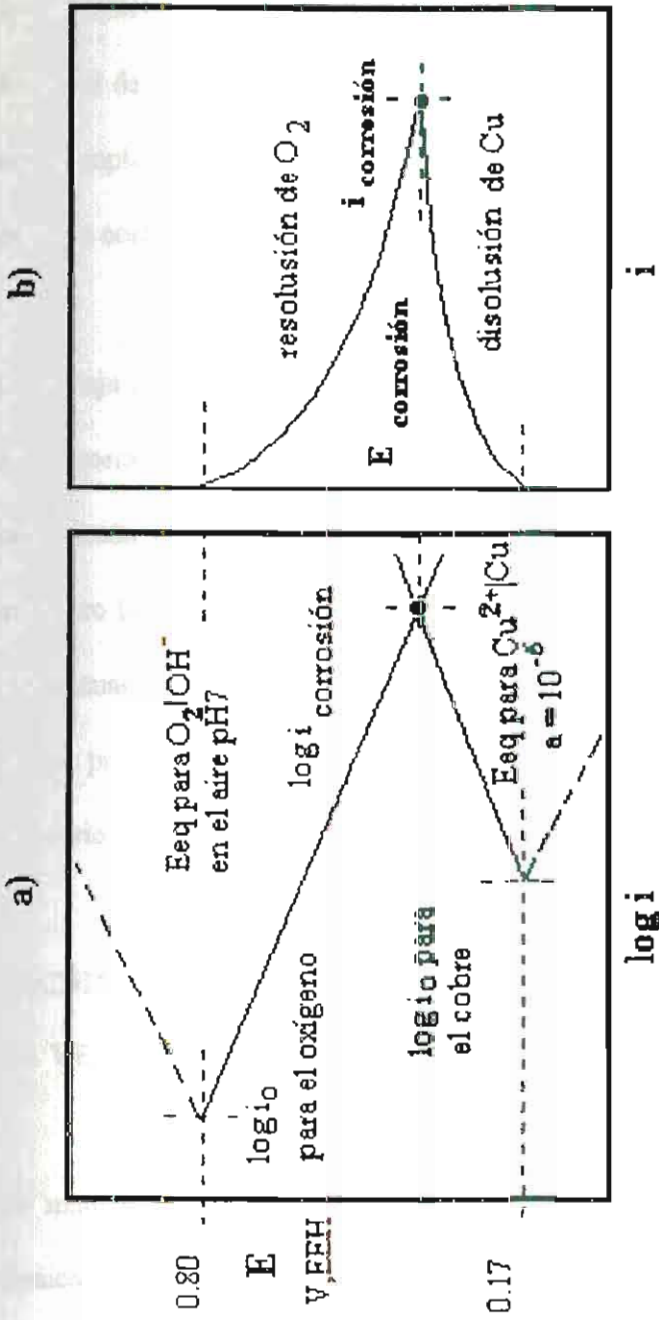


Fig. 2.- Diagramas de Evans para la corrosión del cobre en agua aireada

Las figuras 2a y 2b son los diagramas de Evans para la corrosión del cobre en agua aireada, en la cual las áreas anódica y catódica son iguales y la resistencia del electrolito despreciable. Se han empleado como abscisas: logaritmo de la densidad de corriente ($\log i$) y densidad de corriente (i) respectivamente. En este ejemplo particular, se ha supuesto incorrectamente que solo la transferencia de carga contribuye a la polarización catódica del oxígeno.

La ventaja de utilizar densidades de corriente en lugar de corriente es la de que las primeras proporcionan una densidad de corriente, i_{corr} , en el punto de intersección como se observa en la figura 2. Desde el punto de vista del ingeniero lo que se necesita conocer es i_{corr} . Un diagrama de E vs. I, que se utiliza cuando la corrosión no es uniforme, no proporciona la i_{corr} directamente. Lo que proporciona es el valor del potencial de corrosión, E_{corr} , siendo entonces necesario utilizar este valor para deducir la densidad de corriente anódica.

1.3. TÉCNICAS ELECTROQUÍMICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN

De manera concisa se da a continuación un conocimiento general de estas técnicas electroquímicas y se hará un análisis detallado de la Técnica de Resistencia a la Polarización en la sección 1.4.

Técnica Potenciostática

Ya sabemos que para predecir la velocidad de corrosión de un metal en un medio determinado deben conocerse las curvas de polarización de cada una de las reacciones electroquímicas que acompañan el proceso de corrosión.

Para determinar la curva de polarización se deben aplicar sobrepotenciales constantes, midiendo la respectiva corriente luego que haya alcanzado para cada potencial, un valor estacionario. En algunos intervalos de potencial alcanzar una corriente estacionaria requiere esperas relativamente cortas, del orden de los minutos, en tanto que en las zonas de pasivación la corriente estacionaria suele alcanzarse solo después de una larga espera. Por esto la ASTM ha establecido a través de la norma ASTM G5 variaciones de potencial en escalones de igual valor (50mv) y esperas siempre del mismo tiempo (5 minutos) antes de leer la corriente.

Por medio de la Ley de Faraday determinamos la velocidad de corrosión a partir de la corriente de corrosión⁽¹⁾ :

$$W = (I t m) / (Z F) \quad (\text{ec. 8})$$

donde:

W: pérdida de peso de la especie electroactiva

M: peso molecular

Z: número de electrones involucrados en la reacción electroquímica

F: constante de Faraday (96500 culombios)

I: corriente en amperios

t: tiempo en segundos

W/t es la velocidad de corrosión (V_{corr}) en g/s

La velocidad de corrosión será expresada como milésimas de pulgada por año (mpy), que indica la pérdida de espesor de material.

Dividiendo la ecuación 8 por el área del electrodo (A) en cm^2 y por su densidad (d) en g/cm^3 se tiene que

$$V_{\text{corr}} (\text{cm/s}) = I M / d F A Z \quad (\text{ec. 9})$$

Convirtiendo segundos a años, centímetros a milésimas de pulgada y expresando el término I/A como densidad de corriente de corrosión, i_{corr} , en $\mu\text{A/cm}^2$, la ecuación quedará entonces como

$$V_{\text{corr}} (\text{mpy}) = 0.129 i_{\text{corr}} M / d Z \quad (\text{ec. 10})$$

Esta ecuación se usa para calcular la velocidad de corrosión directamente de i_{corr} .

Técnica Potenciodinámica

Las curvas de polarización potencioestáticas y potenciodinámicas producen información sobre :

- La capacidad de un material a pasivarse espontáneamente en un medio particular.
- La región de potencial bajo la cual el material permanece constante.
- La velocidad de corrosión en la región pasiva.

Morris y Scarberry crearon el método potenciodinámico que permite el análisis de metales que se pasivan espontáneamente. Este método se realiza a alta velocidad de barrido (50 voltios/hora) y las curvas de polarización desarrolladas a esta rápida velocidad de exploración se combinan para producir un diagrama de comportamiento a la corrosión.

La técnica puede usarse para un cálculo directo de la velocidad de corrosión así como para indicar las condiciones de pasividad y tendencia de un metal o aleación a pasivarse.

Técnica Galvanostática

Existe otro modo de determinar una relación entre la corriente y el voltaje, y es manteniendo la corriente constante y midiendo el valor del potencial que corresponden una vez alcanzada la estabilidad.

De esta forma se obtiene la curva de polarización galvanostática. Esta técnica es más simple que la anterior en cuanto a equipo se refiere, pero no puede utilizarse en caso de existir cambios bruscos en la curva corriente-potencial, tal como ocurre durante la pasivación de los metales.

Se aconseja que al tomar medidas de potencial se lo haga con un voltímetro de alta impedancia de entrada, de lo contrario la corriente que circula entre la probeta y el electrodo de referencia puede afectar las mediciones. En la práctica se acostumbra a trabajar con fuentes de corriente continua de elevado voltaje (100-300V). Estos circuitos permiten estabilizar intensidades de corriente del orden de 10-20mA como máximo.

1.4. TÉCNICA DE LA RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN

Diferentes pruebas experimentales han demostrado que para sobrepotenciales de 25mV aproximadamente con respecto al potencial de corrosión, existe una relación lineal entre el cambio de voltaje aplicado y la corriente. Esta

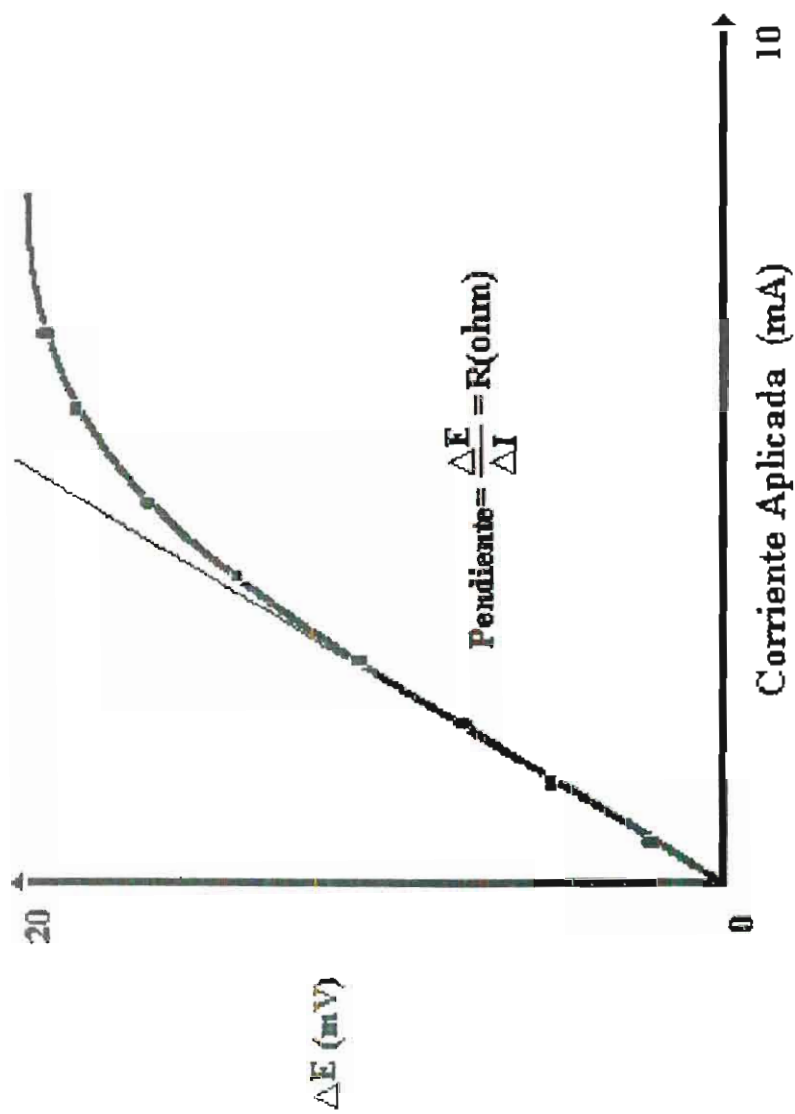


Fig. 3.- Datos típicos obtenidos experimentalmente en una polarización lineal

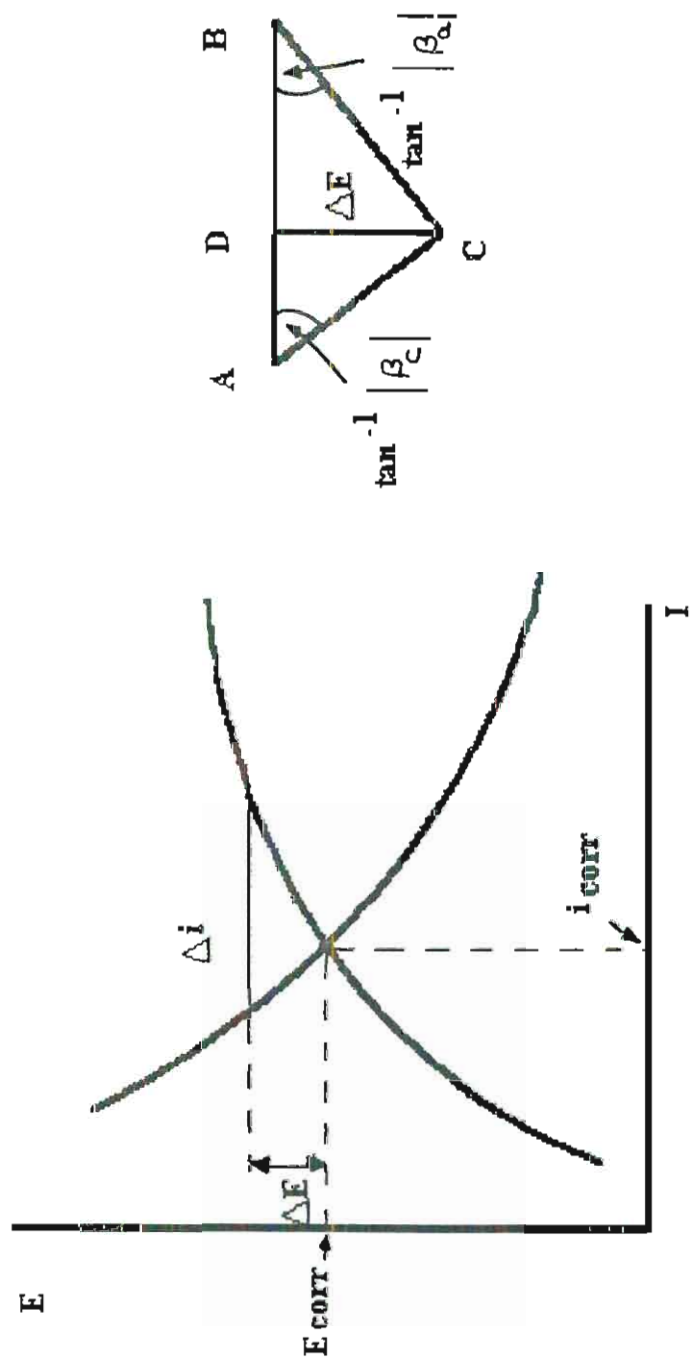


Fig. 4.- Derivación de la ecuación de Stern y Geary

polarización inicial se denomina polarización lineal. La figura 3 ilustra lo anteriormente dicho.

Desde que en 1957 Stern y Geary dieron forma al método⁽⁸⁾, la medida de la “resistencia de polarización” ha sido la técnica que más ha contribuido al avance de la ciencia de la corrosión. Estos establecieron que hay una buena base teórica para la observación experimental, basados en la suposición de que la corrosión se encuentra frecuentemente controlada por el sobrepotencial de activación.

En esta técnica se aplica un pequeño incremento de potencial $\pm \Delta E$, al componente que se corroe libremente. Como consecuencia de ese sobrepotencial la corriente aumenta desde 0 (a E_{corr}) hasta $\pm \Delta I$ (a $E_{corr} \pm \Delta E$), (figura 4).

Al dividir entre el área superficial nominal del componente, se obtiene el cambio correspondiente en la densidad de corriente de corrosión $\Delta i = (\Delta I / \text{área})$. Aquí se supone que la corrosión es uniforme. A partir de la figura 4 puede verse que $\Delta i = AB = AD + DB$.

$$\Delta i = \Delta E / |\beta_c| + \Delta E / |\beta_a| = [(\beta_a + |\beta_c|) / (\beta_a |\beta_c|)] \Delta E \quad (\text{ec. 11})$$

en donde $\beta = dE / di$ a E_{corr}

de la Relación de Tafel⁽¹⁾

$$\eta = b_a \log i_{\text{corr}} / i_o = E_{\text{corr}} - E_{\text{eq}} \quad (\text{ec. 12})$$

$$\eta = (b_a / 2.3) \ln i_{\text{corr}} / i_o$$

$$\ln i_{\text{corr}} / i_o = \eta * 2.3 / b_a$$

$$i_{\text{corr}} = i_o e^{2.3 (E_{\text{corr}} - E_{\text{eq}}) / b_a}$$

$$d i_{\text{corr}} / dE = (2.3 i_o / b_a) e^{2.3 (E_{\text{corr}} - E_{\text{eq}}) / b_a}$$

$$d i_{\text{corr}} / dE = 2.3 i_{\text{corr}} / b_a = 1 / \beta_a$$

$$\beta_a = b_a / 2.3 i_{\text{corr}} \quad \text{y} \quad \beta_c = b_c / 2.3 i_{\text{corr}} \quad (\text{ec. 13})$$

Sustituyendo la ecuación 13 en la 11 se obtiene

$$\Delta E / \Delta i = (b_a * |b_c|) / [2.3 i_{\text{corr}} (b_a + |b_c|)]$$

$$i_{\text{corr}} = [b_a * |b_c|] / [2.3 (b_a + |b_c|)] * [\Delta i / \Delta E] \quad (\text{ec. 14})$$

Este método puede usarse aún cuando la polarización por concentración sea la que controle el proceso de corrosión, siempre y cuando sea posible la calibración.

En este caso $|b_c| \gg |b_a|$ y la ecuación 14 se aproxima a

$$i_{\text{corr}} = (b_a / 2.3) * (\Delta i / \Delta E) \quad (\text{ec. 15})$$

Los instrumentos comerciales para el monitoreo de la velocidad de corrosión, por lo general hacen uso de este método de polarización para producir una lectura directa y rápida de la velocidad de corrosión, tanto a nivel de laboratorio como de planta.

i_{corr} puede relacionarse con la velocidad de corrosión medida, V_c , en unidades de pérdida de espesor por unidad de tiempo (por ejemplo mpy), por

$$V_{corr} = K_1 i_{corr} \quad (\text{ec. 16})$$

donde K_1 es un factor de conversión.

$$K_1 = 0,13 \text{ M/Z d} \quad (\text{ec.17})$$

Como b_a y b_c son relativamente constantes para un sistema dado metal / medio corrosivo, se introduce una nueva constante K_2

$$K_2 = [b_a | b_c |] / [2.3 (b_a + | b_c |)] \quad (\text{ec.18})$$

sustituyendo 16 y 18 en 15, se obtiene

$$\Delta E / \Delta i = K_1 K_2 / V_{corr} \quad (\text{ec.19})$$

la Ley de Ohm⁽¹⁾ establece que

$$E = I R \quad (\text{ec. 20})$$



esto conduce a la siguiente definición

$$\Delta E / \Delta i = R_p \quad (\text{ec. 21})$$

donde R_p es llamada Resistencia a la Polarización⁽¹⁾. De esta manera

$$R_p = K_1 K_2 / V_{\text{corr}} \quad (\text{ec. 22})$$

Estas son las ecuaciones que rigen el comportamiento de los metales al ser sometidos a la prueba de resistencia de polarización. La R_p de los metales se determinará por medio de la ec. 21. La velocidad de corrosión se obtendrá con la ec. 10 que es válida para todas las técnicas electroquímicas, y con los resultados de corriente de corrosión expuestos en la sección 2.3.

CAPITULO II

DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE CORROSION

2.1. EQUIPOS Y MATERIALES DE EXPERIMENTACION

Los cuatro materiales que estuvieron sometidos a las pruebas de corrosión son:

- ACERO
- ZINC
- COBRE
- ALUMINIO

Estos metales fueron seleccionados por el grupo de investigadores responsables del Proyecto MICAT, considerándose a éstos como los representantes de las familias de metales que mayormente se emplean en áreas relacionadas con la salud, como la cirugía, los implantes ortopédicos, o en otras como es el caso de la construcción civil de puentes y viaductos; en la prospección, explotación y distribución de petróleo, gas y sus derivados; y en las industrias química, alimenticia, naval, de papel, aeronáutica y aeroespacial.

Entre el equipo empleado para efectuar las pruebas de resistencia de polarización está el POTENCIO-GALVANOSTATO, presentado por la EG&G Princeton Applied Research Corporation Modelo 362-I. Tiene la capacidad de poder experimentar en él a más de la Técnica de Resistencia de Polarización muchas otras técnicas electroquímicas. Los rangos máximos de corriente y voltaje de trabajo son 1A y 30 V respectivamente.

Los principales dispositivos de que consta se muestran en la figura 5 y son los siguientes:

1. Un panel de seis botones que permiten seleccionar y controlar la técnica que se utilizará.
2. Un registrador del potencial inicial y final que fijan los límites en la prueba.
3. Una perilla que selecciona la velocidad de barrido con el que se generan corrientes y potenciales que varían linealmente con el tiempo.
4. Un pulsador para seleccionar la variable a controlar sea esta la corriente o el voltaje.
5. Un botón pulsador que acciona la celda electroquímica conectada al potencio-galvanostato.
6. El indicador de la variación del voltaje o la corriente según sea el caso.
7. El panel de siete botones con el que se escoge el rango de corriente adecuado para la prueba.

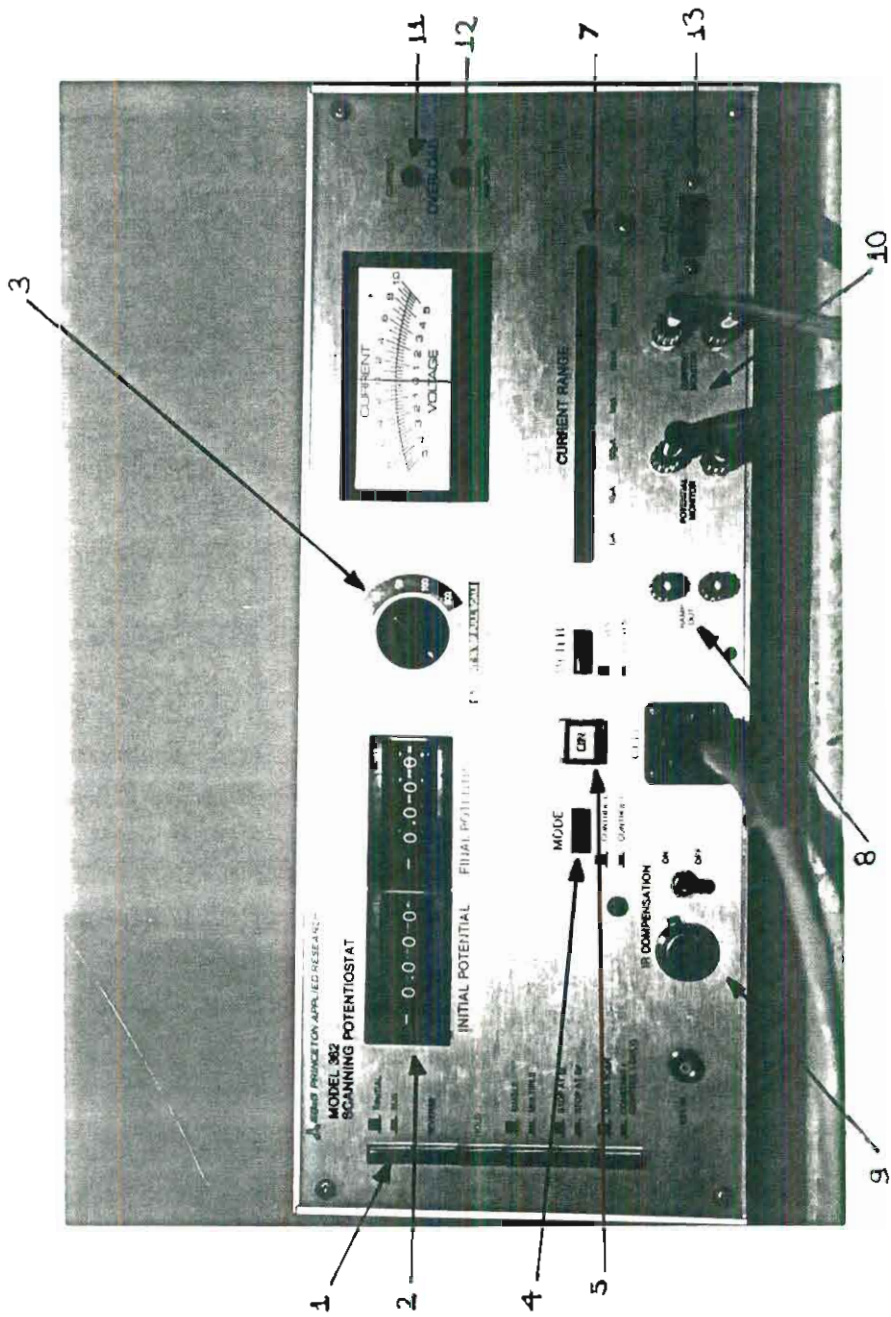


Fig. 5.- Potencio-Galvanostato modelo 362-1.

8. Una entrada para conectar alguna fuente adicional de voltaje si la técnica lo requiere.
9. Un circuito compensador IR con su interruptor de encendido o apagado.
10. Las respectivas entradas y salidas de conectores que se ligarán al graficador para así obtener los potenciales y corrientes esperadas.
11. Un foco indicador que advierte cuando la corriente del circuito excede el doble del rango seleccionado.
12. Otro foco indicador que alerta en el caso de existir alguna mala conexión en el conjunto.
13. Y el botón pulsador de encendido y apagado del potencio-galvanostato.

Un componente que forma parte del conjunto para el estudio de la corrosión es la CELDA DE CORROSION K0047 que se observa en la figura 6 y consta de lo siguiente:

1. Un frasco de cristal que es la base-sostenedor del resto de elementos de la celda.
2. El electrodo de referencia de calomel saturado
3. El capilar Luigin G0095
4. Un porta-sostenedor del capilar Luigin
5. Dos electrodos inertes de grafito con sus respectivos sostenedores
6. Un tubo para fuga de posibles gases producidos
7. Un tubo adaptador-sostenedor de cristal que porta el electrodo de trabajo, objeto del análisis. A su vez éste consta de lo siguiente :

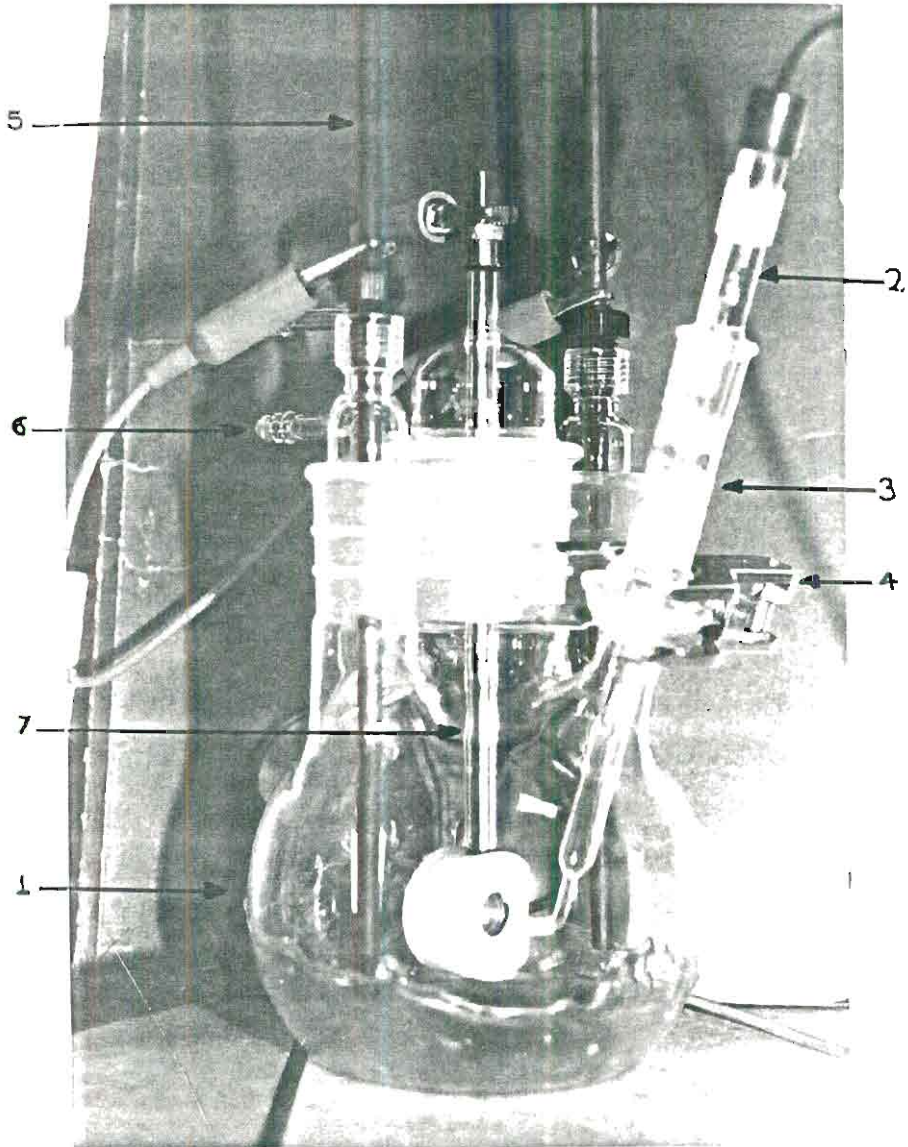


Fig. 6.- Celda Electroquímica K0047

1. Una tuerca grafilada
2. Una arandela metálica
3. Cuatro arandelas de teflón
4. Una varilla conductora de electricidad
5. El portaespecimen de teflón con su interior de acero inoxidable
6. La tapa del portaespecimen
7. Una junta de teflón
8. Un tornillo ajustador del espécimen.

Se tiene también el GRAFICADOR ALLEN 1000 que se aprecia en la figura 7 el cual consta de:

1. Dos perillas mediante las cuales se escoge la escala requerida tanto para el eje X como para el Y.
2. Dos perillas que permiten posicionar el inicio u origen del gráfico
3. Un botón chequeador de la posición cero
4. Un brazo que se desplaza en las dos dimensiones el cual lleva la plumilla
5. Dos botones-palancas que seleccionan la unidad de graficación: cm - pulg.
6. Las entradas y salidas de los conectores que están ligados al potencio-galvanostato

Para mayor control y exactitud de los valores recibidos se insertó al conjunto de trabajo un MULTIMETRO que nos permitió registrar los potenciales en mV.

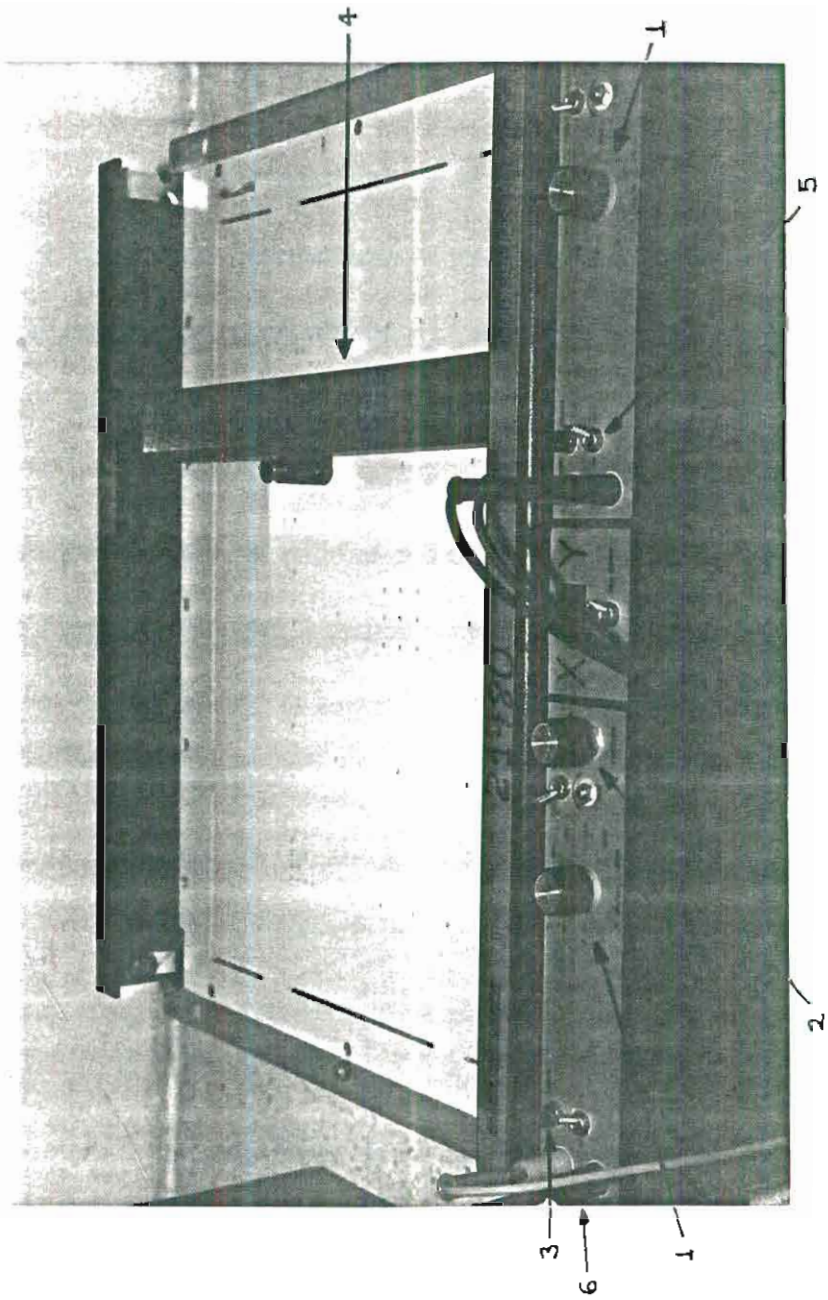


Fig. 7.- Graficador Allen 1000.

La solución empleada como electrolito será 0,1M Na_2SO_4 en condiciones estáticas y en contacto con el aire.

2.2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Antes de describir el procedimiento en el laboratorio es conveniente explicar el tiempo de exposición y procedencia de los metales en estudio. EL período que debieron permanecer en exposición a la atmósfera fue de 1 y 2 años. En total son tres los grupos de probetas analizadas, de los cuales dos estuvieron expuestos a 1 año pero sus inicios de ciclo se dieron en épocas distintas del año. Por lo cual se ha dado una codificación que nos permite diferenciar los tiempos y fase de exposición de éstas, teniendo como fase 1 a aquel grupo que primero fue puesto en exposición y 2 al segundo. En definitiva tendremos los siguientes grupos o series de probetas:

Serie 11 (un año de exposición, primera fase)

Serie 12 (un año de exposición, segunda fase)

Serie 13 (dos años de exposición, primera fase)

Las regiones o estaciones en las que permanecieron las probetas son las siguientes:

EC-01-A Estación GUAYAQUIL

EC-02-B Estación RIOBAMBA

EC-03-C Estación SALINAS

EC-04-D Estación ESMERALDAS

EC-05-E Estación GALAPAGOS

En la figura 8 se expone claramente la forma de disponer las probetas para su permanencia en la estación asignada durante el correspondiente periodo de exposición.

Procedimiento de la prueba

1. Luego de ser retiradas, las placas deben ser llevadas a un taller mecánico donde se dará forma a la probeta, el diámetro requerido para que ingrese fácilmente pero sin fugas en el portaespecimen es 1,5cm (figura 9), pero en definitiva el diámetro de contacto con el electrolito es 1,1 cm.
2. Las mediciones de resistencia de polarización se realizarán después de 1 hora de inmersión del material en la solución de Na_2SO_4 y también a las 24 y 48 horas. Estas mediciones se realizarán sobre la cara expuesta de la probeta. Cabe mencionar que de cada placa que llega al laboratorio se obtienen nueve probetas, de las cuales se reparten tres para cada tiempo de inmersión, en la Tabla I se detalla se mejor manera la distribución de las probetas a ensayar.
3. Cuando ya se ha cumplido el tiempo de inmersión de las probetas se procede a preparar el equipo.

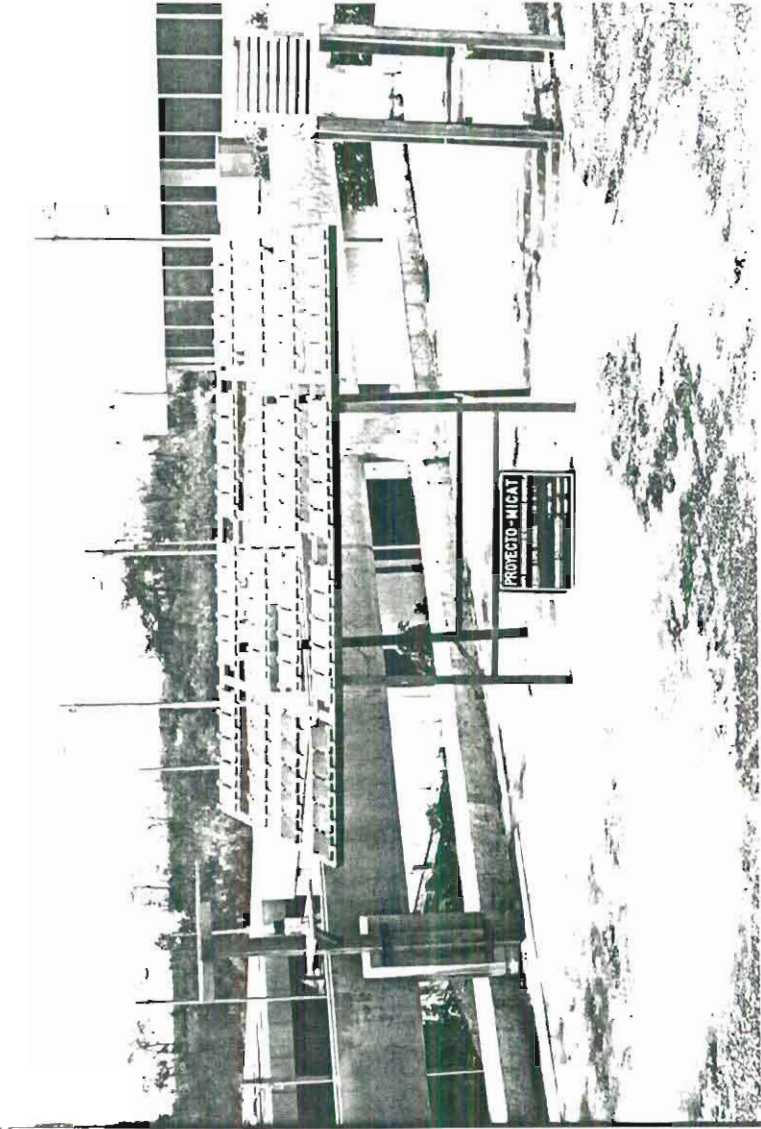


Fig. 8.- Panel de probetas expuestas a la atmósfera.

COBRE.

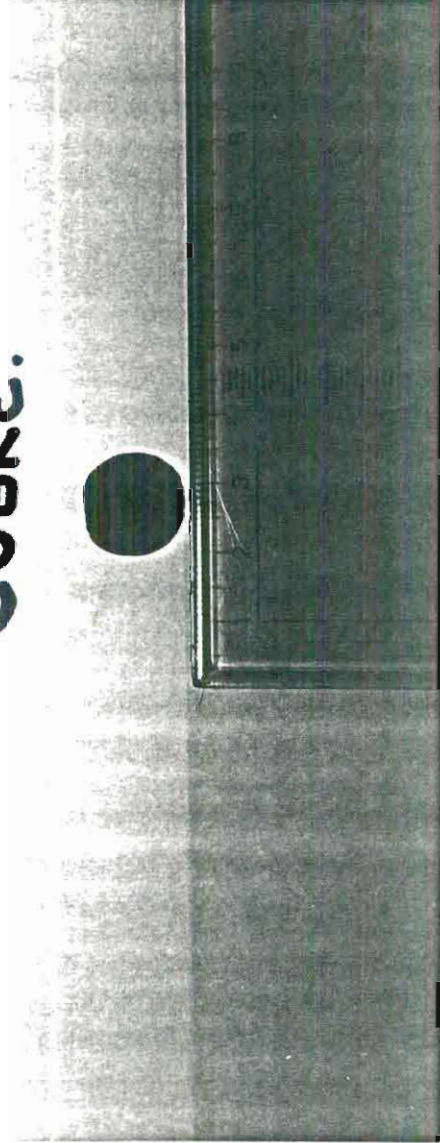


Fig. 9.- Dimensión de la probeta requerida para análisis de laboratorio.

TABLA I
DISTRIBUCION DE LAS PROBETAS A ENSAYAR

Estación de Ensayo	Serie 11			Serie 12			Serie 21			Subtotal
	1hr.	24hrs.	48hrs.	1hr.	24hrs.	48hrs.	1hr.	24hrs.	48hrs.	
EC-01-A	Ac	3	3	3	3	3	3	3	3	27
	Zn	3	3	3	3	3	3	3	3	27
	Cu	3	3	3	3	3	3	3	3	27
	Al	3	3	3	3	3	3	3	3	27
EC-02-B	Ac	3	3	3						3
	Zn	3	3	3						3
	Cu	3	3	3						3
	Al	3	3	3						3
EC-03-C	Ac	3	3	3	3	3	3	3	3	27
	Zn	3	3	3	3	3	3	3	3	27
	Cu	3	3	3	3	3	3	3	3	27
	Al	3	3	3	3	3	3	3	3	27
EC-04-D	Ac	3	3	3	3	3	3	3	3	27
	Zn	3	3	3	3	3	3	3	3	27
	Cu	3	3	3	3	3	3	3	3	27
	Al	3	3	3	3	3	3	3	3	27
EC-05-E	Ac	3	3	3	3	3	3	3	3	27
	Zn	3	3	3	3	3	3	3	3	27
	Cu	3	3	3	3	3	3	3	3	27
	Al	3	3	3	3	3	3	3	3	27
TOTAL									444	

4. Se ensambla la celda de corrosión, los electrodos deben estar inmersos en la solución electrolítica así como el electrodo de referencia dentro del capilar Luigin.
5. Sin encender aún nada se conecta el cable celda del equipo a la celda electroquímica por medio de los lagartos a cada dispositivo según corresponda.
6. Las terminales del cable tienen diferentes colores el cable verde se conecta al electrodo de trabajo, el cable rojo a los electrodos de grafito y el blanco al electrodo de referencia.
7. Como el escalón de potencial es relativamente pequeño necesito el multímetro para saber exactamente el potencial de equilibrio entre el electrodo de referencia y la probeta a analizar. Para esto enlazo el multímetro con el cable blanco.
8. Fijar el potencial inicial (potencial de equilibrio) y el potencial final (potencial de equilibrio más 25mV) en el registrador.
9. Seleccionar el modo de control E con el respectivo pulsador, dado que es el potencial la variable a controlar.
10. Seleccionar el rango de corriente adecuado, algunas veces se debe tantear éste seleccionando un rango inferior e ir observando en cual la aguja indicadora mantiene un comportamiento estable. Para realizar este paso el botón que activa la celda debe estar encendido momentáneamente.

11. Se selecciona la razón de barrido, debido a que la rampa de voltaje es pequeña ésta debe ser sumamente pequeña, 0,2 mV/seg. Una velocidad de barrido pequeña proporciona mayor exactitud en la curva de polarización.
12. Del panel de botones (1), se presiona el botón (HOLD) que impide el inicio del barrido y el detenedor de barrido (STOP AT E_f o E_i).
13. Después que el graficador es conectado al potencióstato por medio de los conectores, se enciende primero el graficador realizando los respectivos ajustes a la escala, luego se presiona el botón que enciende el potencióstato y el pulsador que activa la celda.
14. Presionar del banco (1) el botón (RUN) y liberar (HOLD) con lo cual se inicia el proceso.
15. Una vez terminada la curva se da por terminada la prueba, apagando primero el graficador, luego el potencióstato y finalmente la celda.

2.3. OBTENCIÓN DE LA CORRIENTE DE CORROSIÓN (I_{corr}) Y LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN (V_{corr}).

Una vez descrito el procedimiento de la parte operativa de esta investigación lo que se pretende en esta sección es determinar los parámetros con que se evaluará la velocidad de corrosión en función del potencial y la corriente; lo que en su momento fue descrito en el capítulo 1 sección 4.

De esta forma, se está en capacidad de determinar la V_{corr} del acero, zinc, cobre y aluminio, que han estado expuestos a la atmósfera para los tiempos de inmersión 1, 24 y 48 horas en la solución de Na_2SO_4 .

Por último se presentarán dichos resultados condensados desde la tabla II a la XIII, obteniéndose un valor promedio (V_p) de cada tres muestras ensayadas.

Para obtener los valores de I_{corr} y V_{corr} se requiere de un procedimiento matemático como el que detalla a continuación.

Se mencionó anteriormente que la variable de control en el proceso experimental es el potencial, siendo su rango de control ($E_{\text{corr}} \pm 25\text{mV}$). Se utilizan rangos positivos cuando la prueba es catódica y rangos negativos cuando es anódica, para el estudio de degradación de los materiales se requiere de la prueba anódica. El ensayo nos da una respuesta en términos de corriente en μA , que debe ser convertida luego en densidad de corriente ($i = I/\text{Area}$).

El gráfico que se obtiene se expresa en términos de $E(\text{mV})$ vs. $i(\mu\text{A}/\text{cm}^2)$, como se puede apreciar en la figura 10 para un caso del cobre serie 11. De la relación lineal entre el potencial y la densidad de corriente se genera una pendiente que es la Resistencia de Polarización, una vez obtenido el valor de la pendiente se determina la I_{corr} y la V_{corr} de la siguiente manera y para esto se tomará como

ejemplo al Cobre serie 11, estación EC-03-C, tercera probeta a 1 hr. de inmersión.

$$R_p = \Delta E / \Delta i$$

$$R_p = 16,5 \text{ k}\Omega/\text{cm}^2$$

$$\text{De } I_{\text{corr}} = K_2 / R_p$$

Donde K_2 , *Constante de Resistencia de Polarización* y siendo el valor sugerido por el Proyecto MICAT para los casos tratados $K_2 = 26 \text{ mV}$, se tiene

$$I_{\text{corr}} = 26\text{mV} / 16,5 \text{ k}\Omega/\text{cm}^2$$

$$I_{\text{corr}} = 1,793 \text{ }\mu\text{A}/\text{cm}^2$$

con la ec.10:

$$V_{\text{corr}} (\text{mpy}) = 0.129 i_{\text{corr}} M / d Z$$

donde

$$M_{\text{Cu}} = 63,54 \text{ gr}$$

$$d_{\text{Cu}} = 8,96 \text{ gr}/\text{cm}^2$$

$$Z_{\text{Cu}} = 2$$

$$V_{\text{corr}} = (0,129 * 1,793 * 63,54) / (8,96 * 2)$$

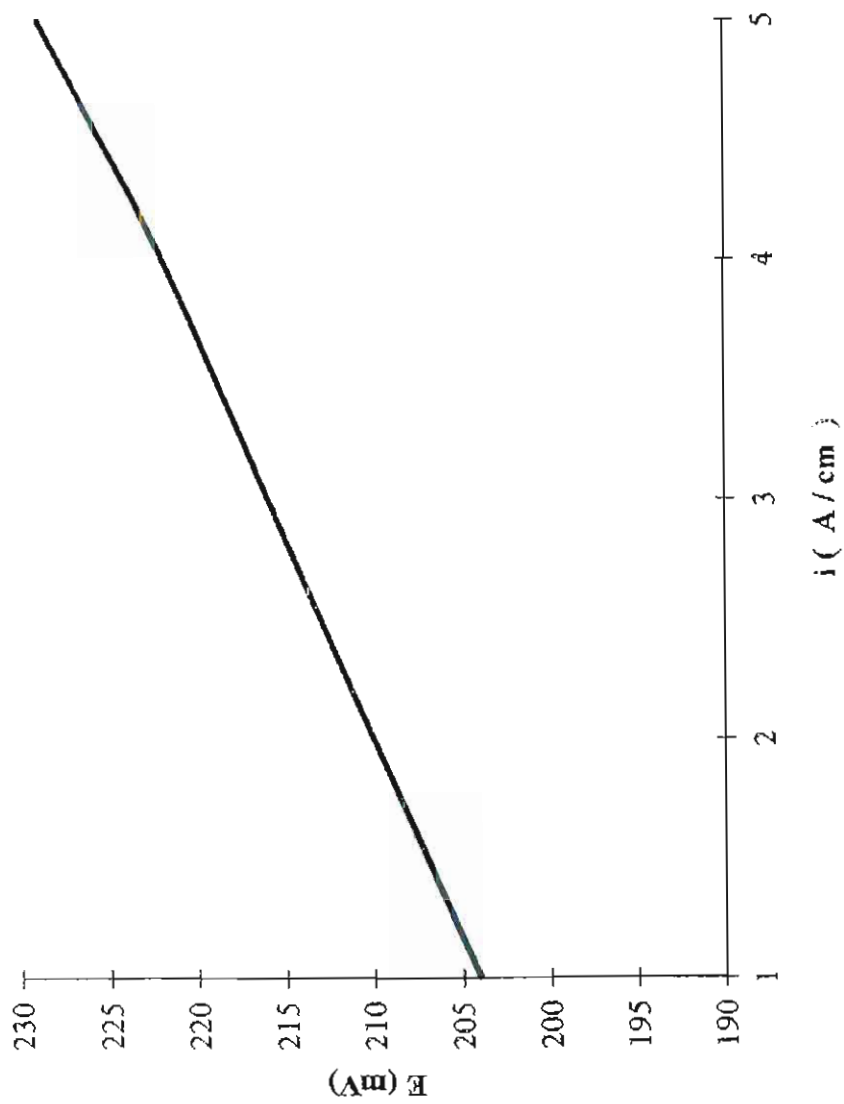


Fig. 10.- Gráfico E vs. i (cobre serie II, estación EC-01-C, tercera probeta a 1 hr. de inmersión).

$$\underline{V_{\text{corr}} = 0.820 \text{ mpy}}$$

De este modo se calcularon los resultados mostrados en las tablas II, II y III para el Acero; IV, V y VI para el Zinc; VII, VIII y IX para el Cobre; X, XI y XII para el Aluminio.

TABLE II
ACERO SERIE 11

Estación de Ensayo	1 h				24 h				48 h				
	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	
EC-01-A	1	-535	0,008	3250	1489	-554	0,008	3467	1589	-531	0,085	305	139,8
	2	-532	0,009	2921	1338	-550	0,01	2714	1244	-519	0,095	274	125,6
	3					-582	0,01	2689	1232	-539	0,105	226	103,6
EC-02-B	Vp	-533,5	0,008	3086	1414	-562	0,009	2957	1355	-529,7	0,095	268,3	123
	1	-582	0,003	10400	4766	-583	0,005	5474	2508	-471	0,019	1390	636,9
	2	-586	0,003	8125	3723	-580	0,005	5200	2383	-480	0,02	1300	595,7
EC-03-C	3	-588	0,002	12530	5742	-574	0,004	5943	2723				
	Vp	-585,3	0,003	10352	4743	-579	0,005	5339	2538	-475,5	0,019	1345	616,5
	1	-582	0,153	169,9	77,87	-536	0,225	115,6	52,95	-523	1,283	20,26	9,284
EC-04-D	2	-537	0,124	209,7	96,08	-563	0,28	92,86	42,55	-502	1,066	24,39	11,18
	3									-456	1,375	18,91	8,665
	Vp	-539,5	0,139	189,8	86,97	-549,5	0,253	104,2	47,75	-493,7	1,241	21,19	9,708
EC-05-E	1	-565	0,35	74,28	34,04	-580	1,522	17,08	7,828	-570	0,3	86,66	39,71
	2	-545	0,35	74,28	34,04	-572	1,45	17,93	8,217	-571	0,373	69,7	31,94
	3	-535	0,33	78,79	36,1	-574	1,15	22,61	10,36				
EC-05-E	Vp	-548,3	0,343	75,78	34,73	-575,3	1,374	19,31	8,801	-570,5	0,337	78,18	35,82
	1	-541	0,024	1083	496,3	-555	0,033	800	366,6	-531	0,1	260	119,1
	2	-545	0,023	1156	529,7	-553	0,03	866,7	397,1	-555	0,112	232	106,3
EC-05-E	3	-551	0,026	1000	458,2								
	Vp	-545,7	0,024	1080	494,7	-551	0,031	833,3	381,9	-543	0,106	246	112,7

TABLA III
ACERO SERIE 12

Estación de Ensayo	1 h				24 h				48 h				
	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	
EC-01-A	1	-471	0,293	89	40,78	-533	0,37	70	32,08	-514	0,082	317	145,3
	2	-497	0,345	75	34,37	-530	0,37	70	32,08	-523	0,112	232	106,3
	3					-533	0,35	74,28	34,04	-520	0,072	361	165,4
	Vp	-484	0,319	82	37,57	-532	0,363	71,43	32,73	-519	0,089	303,3	139
EC-02-B	1												
	2												
	3												
EC-03-C	Vp												
	1	-541	0,25	104	47,66	-538	0,238	109	49,95	-511	0,543	47,93	21,96
	2	-571	0,29	89	40,78	-571	0,333	78	35,74	-501	0,55	47,27	21,66
	3					-569	0,367	70,9	32,49	-493	0,54	48,15	22,06
EC-04-D	Vp	-556	0,27	96,6	44,22	-559,9	0,312	85,97	39,39	-501,7	0,544	47,78	21,9
	1	-511	0,33	79	36,2	-563	0,389	66,84	30,63	-554	0,475	55	25,2
	2	-529	0,353	73,59	33,72	-570	0,35	74,28	34,04	-556	0,425	61	27,95
	3	-521	0,373	69,64	31,91	-566	0,39	66,67	30,55				
EC-05-E	Vp	-520,9	0,352	74,08	33,94	-566,9	0,376	69,26	31,74	-553	0,45	58	26,58
	1	-529	0,3	86,67	39,71	-567	0,53	49,06	22,48	-577	0,7	37	16,95
	2	-523	0,315	82,54	37,82	-569	0,76	34,21	15,68	-565	0,82	32	14,66
	3	-525	0,32	81,25	37,23	-564	0,535	48,51	22,23	-569	0,677	38	17,41
	Vp	-525,7	0,312	83,49	38,26	-566,7	0,608	43,93	20,13	-570,3	0,732	35,67	16,34

TABLA IV
ACERO SERIE 21

Estación de Ensayo	1 h				24 h				48 h				
	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	
EC-01-A	1	-529	0,233	111,6	51,13	-549	0,475	54,75	25,09	-544	0,02	1306	598,4
	2	-525	0,267	97,49	44,67	-547	0,35	74,28	34,04	-541	0,021	1238	567,3
	3					-550	0,443	58,69	26,89	-535	0,018	1413	647,5
	Vp	-527	0,25	104,5	47,9	-548,7	0,423	62,57	28,67	-540	0,02	1319	604,4
EC-02-B	1												
	2												
	3												
	Vp												
EC-03-C	1	-574	0,28	92,86	42,55	-557	0,4	65	29,78	-514	0,45	57,78	26,48
	2	-583	0,26	100	45,82	-565	0,383	67,88	31,1	-504	0,5	52	23,83
	3	-586	0,25	104	47,66	-564	0,427	60,89	27,9	-500	0,47	55,32	25,35
	Vp	-581	0,253	98,95	45,34	-562	0,403	64,39	29,6	-506	0,473	55,03	25,22
EC-04-D	1	-504	0,38	68,42	31,35	-569	0,813	31,98	14,65	-557	1,785	14,56	6,672
	2	-514	0,27	96,29	44,12	-562	0,88	29,54	13,54	-561	1,866	13,93	6,383
	3	-517	0,36	72,22	33,09	-563	0,743	34,99	16,03	-559	1,54	16,88	7,735
	Vp	-517	0,337	78,98	36,19	-564,7	0,812	32,17	14,74	-559	1,73	15,12	6,93
EC-05-E	1	-525	0,347	74,93	34,33	-574	0,406	64,04	29,34	-574	0,47	55,32	25,35
	2	-520	0,385	67,53	30,95	-576	0,33	78,78	36,1	-570	0,5	52	23,83
	3					-575	0,375	69,33	31,77	-578	0,417	62,35	28,57
	Vp	-522,5	0,366	71,23	32,64	-575	0,37	70,72	32,4	-574	0,462	56,56	25,92

TABLA V
ZINC SERIE 11

Estación de Ensayo	1 h				24 h				48 h				
	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm ²)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm ²)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm ²)	Vcorr (mpy)	
EC-01-A	1	-811	0,355	73,24	43,26	-831	0,733	35,4	20,91	-819	1,58	16,46	9,722
	2	-804	0,39	66,6	39,34	-812	0,75	34,6	20,44	-811	2	13	7,678
	3	-815	0,4	65	38,39	-821,5	0,52	50	29,53	-808	1,75	14,86	8,777
EC-02-B	Vp	-810	0,382	68,28	40,33	-821,5	0,668	40	23,62	-812,7	1,777	14,77	8,725
	1	-745	1,166	22,2	13,11	-741	1,575	16,5	9,745	-780	2,05	12,68	7,489
	2	-748	1,162	22,4	13,23	-762	1,2	21,6	12,76	-769	1,8	14,44	8,529
EC-03-C	3	-744	1,2	21,6	12,76					-782	2	13	7,678
	Vp	-745,7	1,176	23,07	13,08	-751,5	1,388	19,05	11,05	-777	1,195	13,67	7,899
	1	-757	70	0,38	0,224	-776	14,38	1,8	1,063	-805	102,5	0,26	0,154
EC-04-D	2	-756	95	0,28	0,165	-758	13,67	1,9	1,122	-806	125	0,2	0,118
	3	-758	85	0,3	0,177					-806	150	0,18	0,106
	Vp	-757	83,33	0,32	0,189	-767	14,02	1,85	1,093	-805,7	125,8	0,215	0,126
EC-05-E	1	-801	0,75	34,6	20,44	-820	1,725	15,08	8,907	-778	2,05	12,68	7,489
	2	-791	0,86	30,2	17,84	-830	2,25	11,56	6,828	-789	1,75	14,86	8,777
	3	-792	0,887	29,2	17,25	-828	1,5	17,34	10,24	-793	2,15	12,1	7,146
EC-05-E	Vp	-794,7	0,892	31,33	18,51	-826	1,825	14,66	8,658	-786,7	1,983	13,21	7,804
	1	-802	0,83	31,4	18,55	-791	1,35	19,26	11,38	-791	6,9	3,76	2,221
	2	-800	0,75	34,6	20,44	-805	1,465	17,72	10,47	-798	8,4	3,1	1,831
EC-05-E	3					-817	1,15	22,8	13,47	-791	7	3,72	2,197
	Vp	-801	0,79	33	19,49	-804,3	1,322	19,93	11,77	-793,3	7,433	3,527	2,083

TABLA VI
ZINC SERIE 12

Estación de Ensayo	1 h				24 h				48 h				
	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	
EC-01-A	1	-743	1,1	23,6	13,94	-740	0,875	29,8	17,6	-771	1,915	12,58	7,43
	2	-752	1,34	21,8	12,88	-735	0,81	32	18,9	-766	1,55	16,78	9,911
	3					736	0,835	31,2	18,43	-771	2,165	12,02	7,099
	Vp	-747,5	1,22	22,7	13,41	-746,3	0,84	31	18,31	-769,3	1,877	13,79	8,147
EC-02-B	1												
	2												
	3												
EC-03-C	Vp												
	1	-760	51,5	0,5	0,295	-786	62	0,42	0,248	-747	75	0,34	0,201
	2	-769	50	0,52	0,307	-784	60	0,428	0,253	-760	91	0,28	0,165
	3	-755	35	0,74	0,437	-787	62,5	0,416	0,246	-758	65	0,4	0,236
EC-04-D	Vp	-761,3	45,5	0,587	0,346	-785,7	61,6	0,421	0,249	-755	77	0,34	0,201
	1	-724	3,885	6,7	3,957	-740	4,65	5,6	3,307	-726	7,1	3,68	2,173
	2	-731	3,5	7,42	4,382	-751	6,85	3,8	2,244	-723	7,5	3,46	2,044
	3	-739	2,7	9,64	5,694	-741	6,15	4,22	2,492				
EC-05-E	Vp	-731,3	3,962	7,92	4,678	-744	5,883	4,54	2,681	-724,5	7,3	3,57	2,109
	1	-793	28,25	0,92	0,543	-757	7,5	3,28	1,937	-750	23	1,14	0,673
	2	-796	24,5	1,06	0,626	-747	8,335	3,12	1,843	-748	26,25	1	0,591
	3	-803	22,5	1,16	0,685	-756	8	3,26	1,925				
Vp	-797,3	25,08	1,047	0,618	-753,3	7,945	3,22	1,902	-749	24,63	1,07	0,632	

TABLA VII
ZINC SERIE 21

Estación de Ensayo	1 h				24 h				48 h			
	Ecorr (mV)	Rp (K . cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K . cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K . cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)
EC-01-A	1	0,75	34,6	20,44	-753	0,775	33,55	19,82	-773	1,025	25,37	14,98
	2	-767	0,65	23,62	-754	0,75	34,67	20,47	-779	0,56	46,43	27,42
	3	-764	1,025	15	-749	0,565	36,49	21,55	-778	0,665	39,25	23,18
	Vp	-763,3	0,808	19,69	-752	0,697	34,9	20,61	-776,7	0,75	37,01	21,85
EC-02-B	1											
	2											
	3											
	Vp											
EC-03-C	1	-757	88,5	0,177	-752	125	0,2	0,118	-725	325	0,08	0,047
	2	-759	90	0,165	-749	157,5	0,16	0,094	-728	300	0,086	0,051
	3	-765	85	0,177					-729	320,8	0,08	0,047
	Vp	-760,3	87,83	0,173	-750,5	141,5	0,18	0,106	-727,3	315,3	0,082	0,048
EC-04-D	1	-741	8,05	3,23	-755	12,7	2,048	1,21	-806	12,17	2,136	1,262
	2	-747	9,15	2,84	-764	10,25	2,536	1,498	-800	12,15	2,144	1,266
	3	-746	10,25	2,54	-751	7,5	3,466	2,047	-808	16,75	1,704	1,006
	Vp	-744,7	9,15	2,87	-756,7	10,15	2,683	1,585	-804,7	13,69	1,995	1,178
EC-05-E	1	-755	15,5	1,68	-766	15,75	1,65	0,975	-766	8,375	3,104	1,833
	2	-768	12,5	2,08	-768	16,63	1,564	0,924	-750	9,4	2,774	1,638
	3	-750	13,5	1,92					-763	8,65	3,014	1,78
	Vp	-757,7	13,83	1,893	-767	16,19	1,607	0,949	-759,7	8,808	2,964	1,751

TABLA VIII
 COBRE SERIE 11

Estación de Ensayo	1 h				24 h				48 h				
	Ecorr (mV)	Rp (K . cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K . cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K . cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	
EC-01-A	1	11,87	2,19	1,002	-194	20	1,3	0,595	-189	52	0,5	0,229	
	2	-177	8,9	2,95	1,349	-182	19,5	1,33	0,608	45	0,578	0,264	
	3	-167	10,83	2,4	1,098	-193	17,33	1,5	0,686	43,5	0,598	0,274	
Vp	-174,3	10,53	2,513	1,15	-189,7	18,94	1,377	0,65	-187,7	46,83	0,559	0,256	
EC-02-B	1	-188	7,65	3,399	1,555	-174	7,2	3,611	1,652	11,5	2,261	1,034	
	2	-200	7	3,714	1,699	-195	6,7	3,88	1,775	8,2	3,171	1,45	
	3					-185	9,2	2,826	1,293	11	2,364	1,081	
Vp	-194	7,325	3,557	1,627	-184,7	7,7	3,439	1,573	-192,3	10,23	2,599	1,189	
EC-03-C	1	-234	22,5	1,155	0,528	-202	21	1,238	0,566	-182	37,5	0,693	0,317
	2	-268	18,3	1,42	0,65	-202	24	1,083	0,495	-198	38,75	0,671	0,307
	3	-204	16,5	1,793	0,82	-207	21	1,238	0,566	-189	32,5	0,8	0,366
Vp	-235,3	19,1	1,456	0,666	-203,7	22	1,186	0,543	-189,7	36,25	0,721	0,33	
EC-04-D	1	-169	2,45	10,61	4,853	-161	4	6,5	2,973	-321	8,7	2,988	1,367
	2	-169	3,35	7,761	3,55	-169	4,35	5,977	2,734	-203	7	3,714	1,699
	3	-165	3	8,667	3,964	-169	6,4	4,063	1,858	-279	9,9	2,626	1,201
Vp	-167,7	2,933	9,013	4,122	-166,3	4,917	5,513	2,522	-267,7	8,533	3,109	1,422	
EC-05-E	1	-172	6,2	4,193	1,918	-191	7,2	3,611	1,652	-163	37,5	0,693	0,317
	2	-167	6	4,33	1,981	-185	10,6	2,453	1,122	-176	33,75	0,77	0,352
	3					-184	9,2	2,826	1,293	-163	32,5	0,8	0,366
Vp	-169,5	6,1	4,262	1,949	-186,7	9	2,963	1,355	-167,3	34,58	0,754	0,345	

TABLE IX
COBRE SERIE 12

Estación de Ensayo	1 h				24 h				48 h				
	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	
EC-01-A	1	-290	5,5	4,727	2,162	-177	6	4,333	1,982	-207	8,5	3,059	1,399
	2	-286	6	4,333	1,982	-151	4,251	6,118	2,798	-195	13	2	0,915
	3					-154	9	2,889	1,321	-197	12,2	2,131	0,975
Vp	-288	5,75	4,53	2,072	-160,7	6,417	4,447	2,034	-199,7	11,23	2,397	1,096	
EC-02-B	1												
	2												
	3												
Vp													
EC-03-C	1	-181	9,67	2,689	1,23	-231	11,47	2,267	1,037	-183	13	2	0,915
	2	-186	8	3,25	1,487	-253	10	2,6	1,189	-163	9,5	2,737	1,252
	3	-187	10	2,6	1,189					-180	11	2,364	1,081
Vp	-184,7	9,223	2,846	1,302	-242	10,74	2,434	1,113	-175,3	11,17	2,367	1,083	
EC-04-D	1	-281	2,375	10,95	5,007	-172	12,3	2,114	0,967	-174	11,66	2,23	1,02
	2	-354	2,36	11,02	5,041	-154	10,25	2,536	1,16	-173	13,5	1,925	0,881
	3	-347	2,65	9,811	4,488	-157	11,5	2,26	1,034	-175	12	2,167	0,991
Vp	-327,3	2,462	10,39	4,845	-161	11,35	2,303	1,054	-174	12,39	2,107	0,964	
EC-05-E	1	-487	0,313	82,98	37,95	-396	8,25	3,151	1,441	-285	6,87	3,784	1,731
	2	-501	0,273	95,12	43,51	-371	7	3,714	1,699	-329	5,73	4,535	2,074
	3					-381	7,5	3,467	1,586	-216	10,33	2,517	1,151
Vp	-494	0,293	89,05	40,73	-382,7	7,583	3,444	1,575	-276,7	7,643	3,612	1,652	

TABLA X
COBRE SERIE 21

Estación de Ensayo	1 h				24 h				48 h				
	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	
EC-01-A	1	-477	1,525	17,05	7,798	-196	4,25	6,117	2,798	-242	7	3,714	1,699
	2	-459	1,2	21,67	9,911	-206	3,2	8,125	3,716	-289	8,4	3,095	1,416
	3	-481	1,92	13,54	6,194	-208	4	6,5	2,973	-247	9,7	2,681	1,226
EC-02-B	Vp	472,3	1,548	17,42	7,968	203,3	3,817	6,914	3,162	259,3	8,367	3,163	1,447
	1												
	2												
EC-03-C	Vp												
	1	-433	7,75	3,356	1,535	-391	15	1,733	0,793	-221	7,1	3,662	1,675
	2	-412	8	3,25	1,487	-355	18,3	1,421	0,65	-201	8,3	3,132	1,433
EC-04-D	Vp	407,3	8,417	9,114	1,425	382,7	16,77	1,561	0,714	311	7,7	3,397	1,554
	1	-280	6,375	4,078	1,865	-172	2,5	10,4	4,757	-210	6,2	4,193	1,918
	2	-232	4,73	5,493	2,513	-147	2,26	11,5	5,26	-248	7,8	3,333	1,525
EC-05-E	Vp	251,7	5,435	4,857	2,222	149,7	2,61	10,13	4,632	244	5,958	3,769	1,724
	1	-469	1,7	15,29	6,996	-357	21,67	1,2	0,549	-273	4,65	5,591	2,557
	2	-514	2,025	12,84	5,873	-315	17,67	1,472	0,673	-320	5,05	5,148	2,355
EC-05-E	Vp	495,3	1,828	1,43	6,541	336	19,67	1,336	0,611	296,5	4,85	5,37	2,456
	1												
	2												

TABLA XI
ALUMINIO SERIE II

Estación de Ensayo	1 h				24 h				48 h				
	Ecorr (mV)	Rp (K.cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K.cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K.cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	
EC-01-A	1	18,5	1,405	0,604	-474	24,5	1,061	0,456	-391	39	0,667	0,287	
	2	-509	22,81	1,139	0,489	-456	28	1,928	0,828	-412	51	0,51	0,219
	3	-539	12,3	2,114	0,908	-471	26	1	0,43	-389	49	0,531	0,228
Vp	-530,3	17,87	1,553	0,667	-467	26,17	1,33	0,571	-397	46,33	0,569	0,245	
EC-02-B	1	-526	0,533	48,75	20,95	-538	0,45	57,78	24,83	-521	0,38	68,42	29,4
	2	-547	0,7	37,14	15,96	-530	0,625	61,18	26,29	-544	0,455	57,14	24,55
	3												
Vp	-536,5	0,617	42,95	18,45	-534	0,538	59,48	25,56	-533	0,418	62,78	26,98	
EC-03-C	1	-472	24	1,083	0,465	-454	27,5	0,945	0,406	-446	30	0,867	0,373
	2	-522	17	1,529	0,657	-446	30	0,866	0,372	-434	40	0,65	0,279
	3	-524	17,5	1,486	0,639	-389	32,5	0,8	0,344	-441	9,3	2,796	1,201
Vp	-506	19,5	1,366	0,587	-429,7	30	0,87	0,374	-440	25,43	1,438	0,618	
EC-04-D	1	-537	20	1,3	0,559	-510	50	0,52	0,223	-492	55	0,473	0,203
	2	-544	35	0,743	0,319	-497	55	0,423	0,182	-432	46,5	0,559	0,24
	3					-522	48	0,542	0,233	-423	62	0,317	0,136
Vp	-540,5	27,5	1,022	0,439	-509,7	51	0,495	0,213	-449	54,5	0,45	0,193	
EC-05-E	1	-529	23	1,13	0,486	-430	38,5	0,675	0,29	-410	30,5	0,852	0,366
	2	-494	28	0,929	0,399	-444	47,5	0,547	0,235	-436	40	0,65	0,279
	3	-489	22	1,181	0,507	-441	40,3	0,645	0,277	-435	35	0,743	0,319
Vp	-504	24,33	1,08	0,464	-438,3	42,1	0,622	0,267	-427	35,17	0,748	0,322	

TABLA XI
ALUMINIO SERIE 11

Estación de Ensayo	1 h				24 h				48 h				
	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	
EC-01-A	1	-543	18,5	1,405	0,604	-474	24,5	1,061	0,456	-391	39	0,667	0,287
	2	-509	22,81	1,139	0,489	-456	28	1,928	0,828	-412	51	0,51	0,219
	3	-539	12,3	2,114	0,908	-471	26	1	0,43	-389	49	0,531	0,228
EC-02-B	Vp	-530,3	17,87	1,553	0,667	-467	26,17	1,83	0,571	-397	46,33	0,569	0,245
	1	-526	0,533	48,75	20,95	-538	0,45	57,78	24,83	-521	0,38	68,42	29,4
	2	-547	0,7	37,14	15,96	-530	0,625	61,18	26,29	-544	0,455	57,14	24,55
EC-03-C	3												
	Vp	-536,5	0,617	42,95	18,45	-534	0,508	59,48	25,56	-533	0,418	62,78	26,98
	1	-472	24	1,083	0,465	-454	27,5	0,945	0,406	-446	30	0,867	0,373
EC-04-D	2	-522	17	1,529	0,657	-446	30	0,866	0,372	-434	40	0,65	0,279
	3	-524	17,5	1,486	0,639	-389	32,5	0,8	0,344	-441	9,3	2,796	1,201
	Vp	-506	19,5	1,366	0,587	-429,7	20	0,87	0,374	-440	26,43	1,498	0,618
EC-05-E	1	-537	20	1,3	0,559	-510	50	0,52	0,223	-492	55	0,473	0,203
	2	-544	35	0,743	0,319	-497	55	0,423	0,182	-432	46,5	0,559	0,24
	3					-522	48	0,542	0,233	-423	62	0,317	0,136
EC-05-E	Vp	-540,5	27,5	1,002	0,489	-509,7	51	0,495	0,213	-449	54,5	0,45	0,193
	1	-529	23	1,13	0,486	-430	38,5	0,675	0,29	-410	30,5	0,852	0,366
	2	-494	28	0,929	0,399	-444	47,5	0,547	0,235	-436	40	0,65	0,279
EC-05-E	3	-489	22	1,181	0,507	-441	40,3	0,645	0,277	-435	35	0,743	0,319
	Vp	-504	24,33	1,08	0,464	-438,3	42,1	0,622	0,267	-427	35,17	0,748	0,322

TABLA XII
ALUMINIO SERIE 12

Estacion de Ensayo	1 h				24 h				48 h				
	Ecorr (mV)	Rp (K . cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K . cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K . cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	
EC-01-A	1	41	0,634	0,272	-450	50	0,52	0,223	-503	39,5	0,658	0,283	
	2	-475	52,5	0,495	0,213	-401	32	0,812	0,349	-474	36	0,722	0,31
	3	-466	44,5	0,584	0,251	-464	35	0,743	0,319	-447	35	0,743	0,319
EC-02-B	Vp	-475,3	46	0,571	0,245	-438,3	39	0,692	0,297	-474,7	36,83	0,708	0,304
	1												
	2												
EC-03-C	Vp												
	1	-527	13,75	1,89	0,812	-515	17,25	1,507	0,648	-480	18,33	1,418	0,609
	2	-518	13,75	1,89	0,812	-495	12,4	2,097	0,901	-488	15,5	1,677	0,721
EC-04-D	3	-516	13	2	0,859					-443	21,25	1,223	0,526
	Vp	-520,3	13,5	1,927	0,828	-505	14,83	1,802	0,774	-470,3	18,36	1,409	0,618
	1	-502	1,27	20,47	8,796	-530	1,2	21,66	9,307	-525	7,33	3,545	1,523
EC-05-E	2	-544	1,22	21,31	3,494	-600	1,35	19,26	8,276	-542	5,1	5,098	2,191
	3	-531	0,99	26,26	11,28								
	Vp	-525,7	1,16	22,68	7,858	-565	1,275	20,46	8,791	-533,5	6,215	4,322	1,857
EC-05-E	1	-507	29,8	0,872	0,375	-469	47	0,553	0,238	-498	24	1,083	0,465
	2	-452	32	0,812	0,349	-465	42	0,619	0,266	-459	30	0,867	0,373
	3	-450	37	0,703	0,302	-442	47,5	0,547	0,235	-472	32,67	0,796	0,342
Vp	-469,7	32,93	0,796	0,342	-458,7	45,5	0,573	0,246	-476,3	28,89	0,915	0,393	

TABLA XIII
ALUMINIO SERIE 21

Estación de Ensayo	1 h				24 h				48 h				
	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	Ecorr (mV)	Rp (K .cm)	Icorr (A/cm)	Vcorr (mpy)	
EC-01-A	1	-533	24,5	1,061	0,456	-453	17	1,529	0,657	-407	21,5	1,209	0,519
	2	-543	25,75	1,009	0,434	-474	14,4	1,805	0,776	-413	22	1,182	0,508
	3	-541	25,75	1,009	0,434								
EC-02-B	Vp	-599	25,55	1,026	0,441	-463,5	15,7	1,667	0,716	-410	21,75	1,196	0,514
	1												
	2												
EC-03-C	Vp												
	1	-517	12	2,167	0,931	-435	10,4	2,5	1,074	-437	8,5	3,059	1,314
	2	-464	14,33	1,814	0,779	-443	15,5	1,677	0,721	-452	11	2,364	1,016
EC-04-D	Vp	-476,7	13,78	1,905	0,818	-444	12,91	2,068	0,897	-443,3	9,6	2,74	1,165
	1	-482	41,25	0,63	0,271	-368	47	0,553	0,238	-407	83,5	0,311	0,134
	2	-482	45,33	0,573	0,246	-415	35	0,577	0,248	-401	80	0,325	0,14
EC-05-E	Vp	-482	43,29	0,602	0,258	-409,3	40,83	0,591	0,243	-404	81,75	0,318	0,137
	1	-491	5,9	4,407	1,894	-487	61,25	0,424	0,182	-443	64	0,406	0,174
	2	-502	5,4	4,815	2,069	-431	58,67	0,443	0,19	-459	54,67	0,476	0,205
Vp	-496,5	5,65	4,611	1,981	-450,3	59,75	0,455	0,186	-451	59,34	0,441	0,189	

CAPITULO III

ANALISIS DE RESULTADOS

Una vez obtenidos los resultados de las variables que son de nuestro interés, se presenta en los numerales siguientes el análisis del comportamiento de dichas variables ya sea en términos de tiempo de inmersión (TDI) de las probetas metálicas a 1, 24, y 48 horas, para los materiales de estudio: Acero, Zinc, Cobre y Aluminio. Se presentarán gráficas en forma de diagrama de barras en las que se analizará el comportamiento para las cinco estaciones pertenecientes al Proyecto MICAT.

Por conveniencia, se ha considerado cuantificar la respuesta a la polarización en términos de resistencia eléctrica de estos materiales en función del periodo o tiempo de exposición (TDE) al que han sido sometidas estas probetas en dichas estaciones. Como consecuencia de este análisis se evaluará la velocidad de corrosión que han sufrido los metales en estos periodos de exposición. Por lo tanto, el detalle se lo hará analizando:

- Diagramas de Barras R_p vs. TDE para todas las estaciones
- Diagramas de Barras V_{corr} vs. TDE para las mismas estaciones

3.1. COMPORTAMIENTO DEL ACERO

1. Existe un definido incremento de la resistencia de polarización a medida que el tiempo de inmersión de la muestra ensayada se incrementa. Esto hace pensar que a 1 hora de inmersión la película formada no es lo suficientemente estable si la comparamos con las muestras a 24 y 48 horas respectivamente.
2. Recordando que la resistencia de polarización es el inverso de la corriente de corrosión, a una tensión constante, se tiene por ende que las probetas evaluadas a 1 hr. de inmersión tienen mayor facilidad para corroerse que las evaluadas con inmersiones a 24 y 48 hrs.
3. Si enfocamos nuestra atención en las probetas de Acero expuestas por estación no hay un comportamiento definido entre las expuestas a la atmósfera a 1 año y 2 años. esto puede ser atribuible a que los productos de corrosión formados en la superficie de estos aceros han sido obtenidos en tiempos que meteorológicamente no son similares; explicado cinéticamente se tiene una independencia de la variable velocidad de corrosión en función de 1 y 2 años de exposición en el medio.

4. Lo explicado nos hace ver que el producto de corrosión que se forma en una superficie en su fase inicial es dependencia exclusiva de las variables climatológicas, pues a no dudar, una capa adherente e impermeable se formará mientras menos haya sido el tiempo de humectación (TDH)⁽¹⁰⁾ que ha recibido dicha muestra. Es decir, que la muestra de acero se corroerá más rápidamente en la medida que se incremente dicho tiempo de humectación.

5. La cinética del proceso corrosivo de acuerdo a las figuras 15, 16 y 17 es mayor en su fase inicial y tiende a disminuir en el transcurso del tiempo. Esto corrobora lo indicado anteriormente en lo que respecta a la nucleación del proceso corrosivo puesto que la capa de corrosión inicial determinará si con el transcurrir del tiempo se forman productos de corrosión activos o pasivos.

6. Existe una dispersión acentuada en las muestras de la estación Guayaquil en las que de la tasa de corrosión salen valores demasiados elevados, esto puede ser atribuible a que de estas probetas fueron removidos sus productos de corrosión previo a la fase de inmersión de 1, 24 y 48 horas. Por tanto al no existir interfase metal-electrolito es obvio pensar que hubo más probabilidad de transferencia de electrones cuantificable en términos de una alta velocidad de corrosión que es la que se aprecia en los picos de la estación EC-01-A.

7. De la referencia (10), se ha analizado el comportamiento de dichos materiales en términos de V_{corr} y es interesante darnos cuenta que las mayores tasas de corrosión se dan en las estaciones de Esmeraldas, Salinas y Galápagos respectivamente.

8. El incremento de la V_{corr} en función del tiempo de exposición es apreciable con mayor determinación en el caso de las probetas inmersas 48 horas, es decir, el máximo tiempo para el equilibrio químico entre el metal y el electrolito.

Los resultados de estas experimentaciones se encuentran en las tablas I, II y III de donde se obtuvieron las gráficas R_p vs. TDE y V_{corr} vs. TDE, las mismas que están sintetizadas en las figuras 11, 12, 13, 14, 15 y 16.

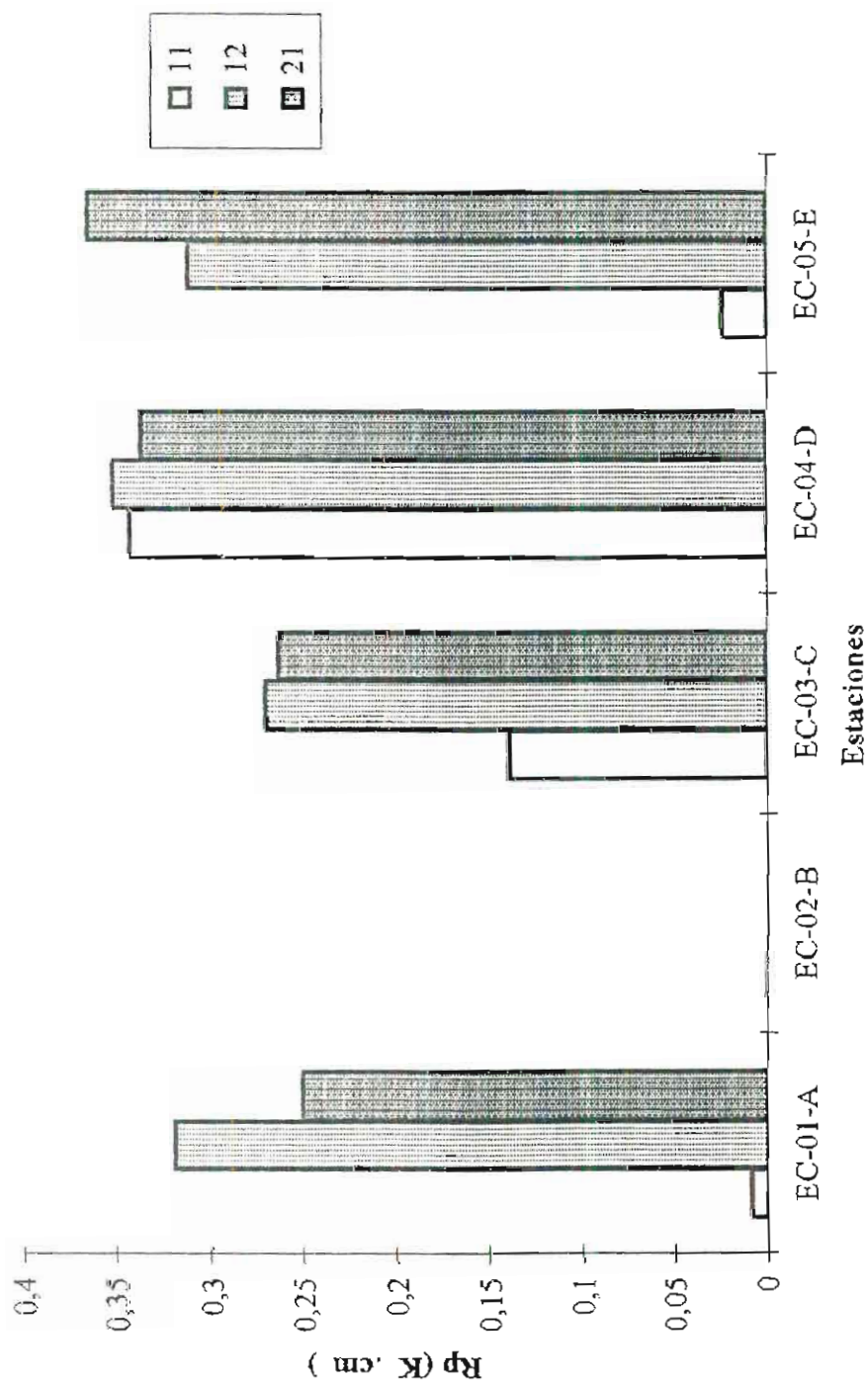


Fig. 11 .- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Acero a 1 hora de inmersión.

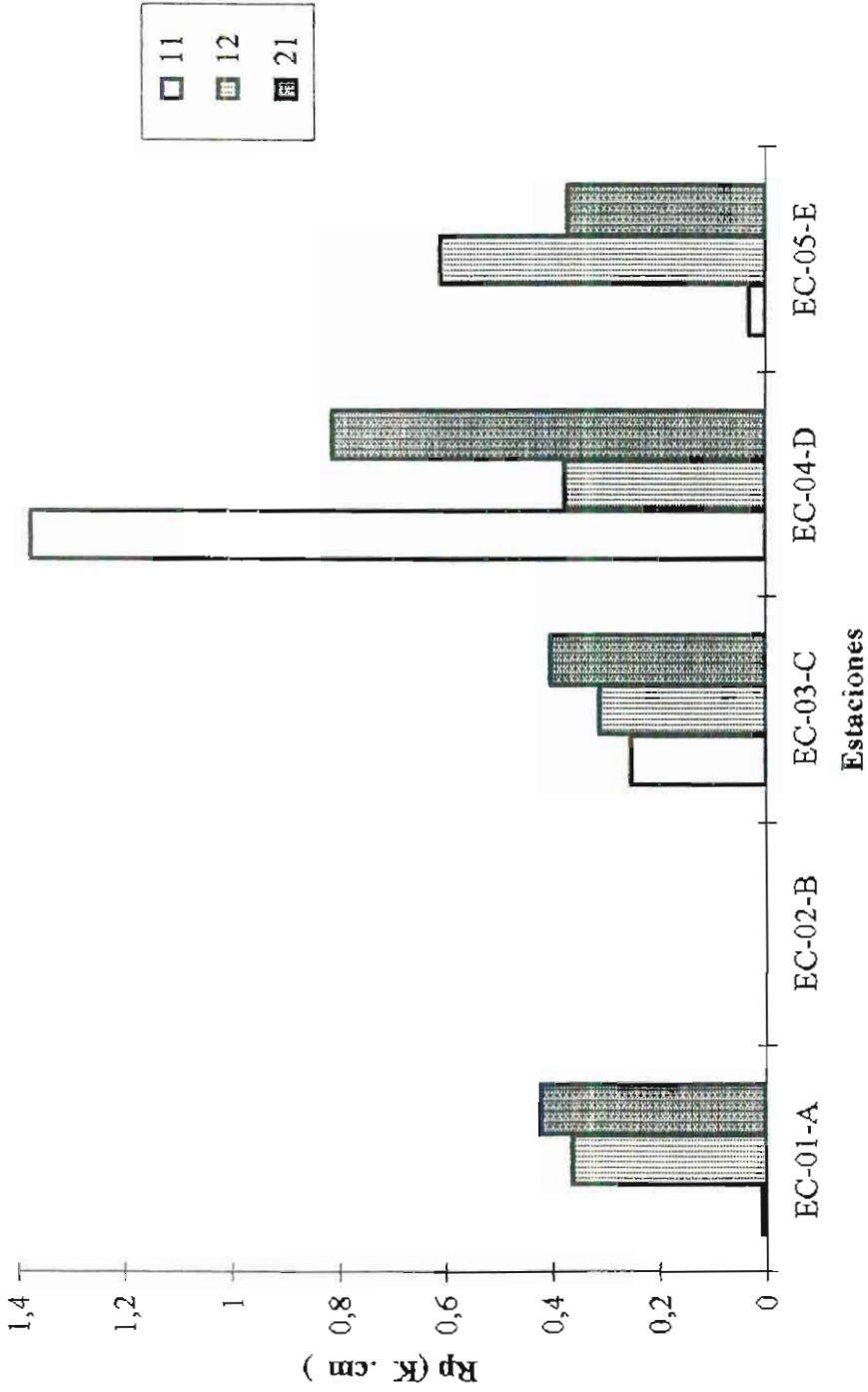


Fig. 12.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Acero a 24 horas de inmersión.

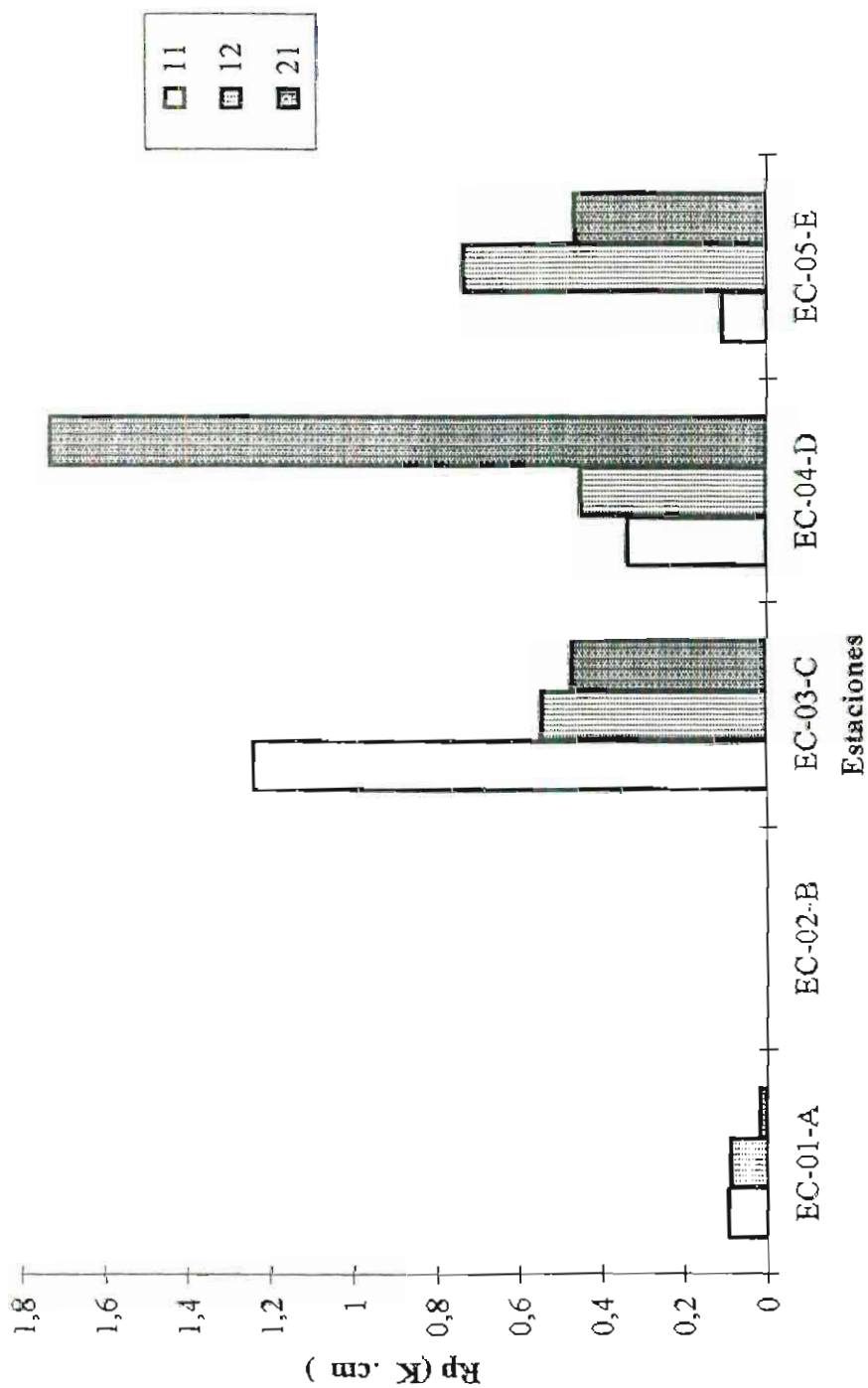


Fig. 13.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Acero a 48 horas de inmersión.

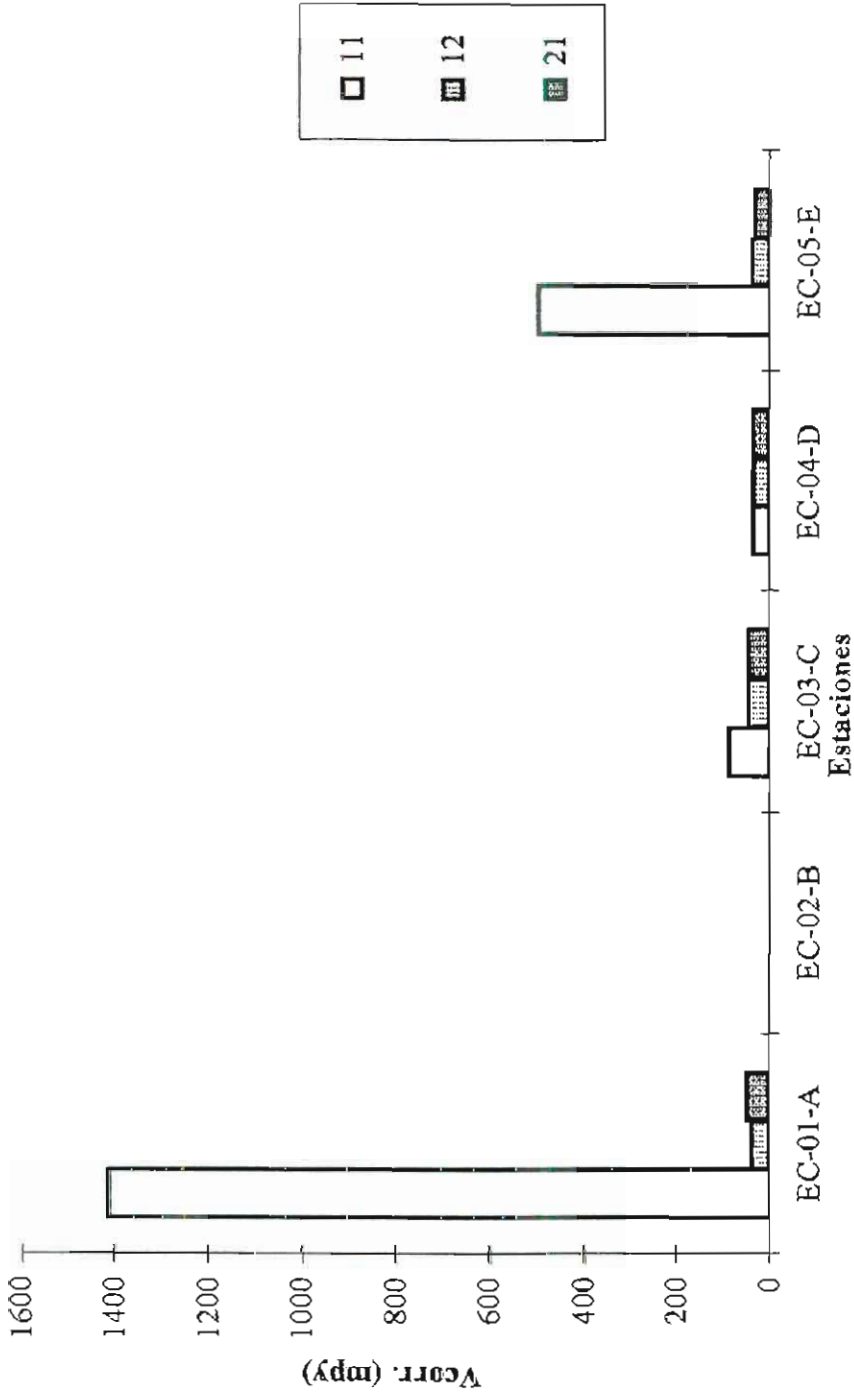


Fig. 14.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Acero a 1 hora de inmersión.

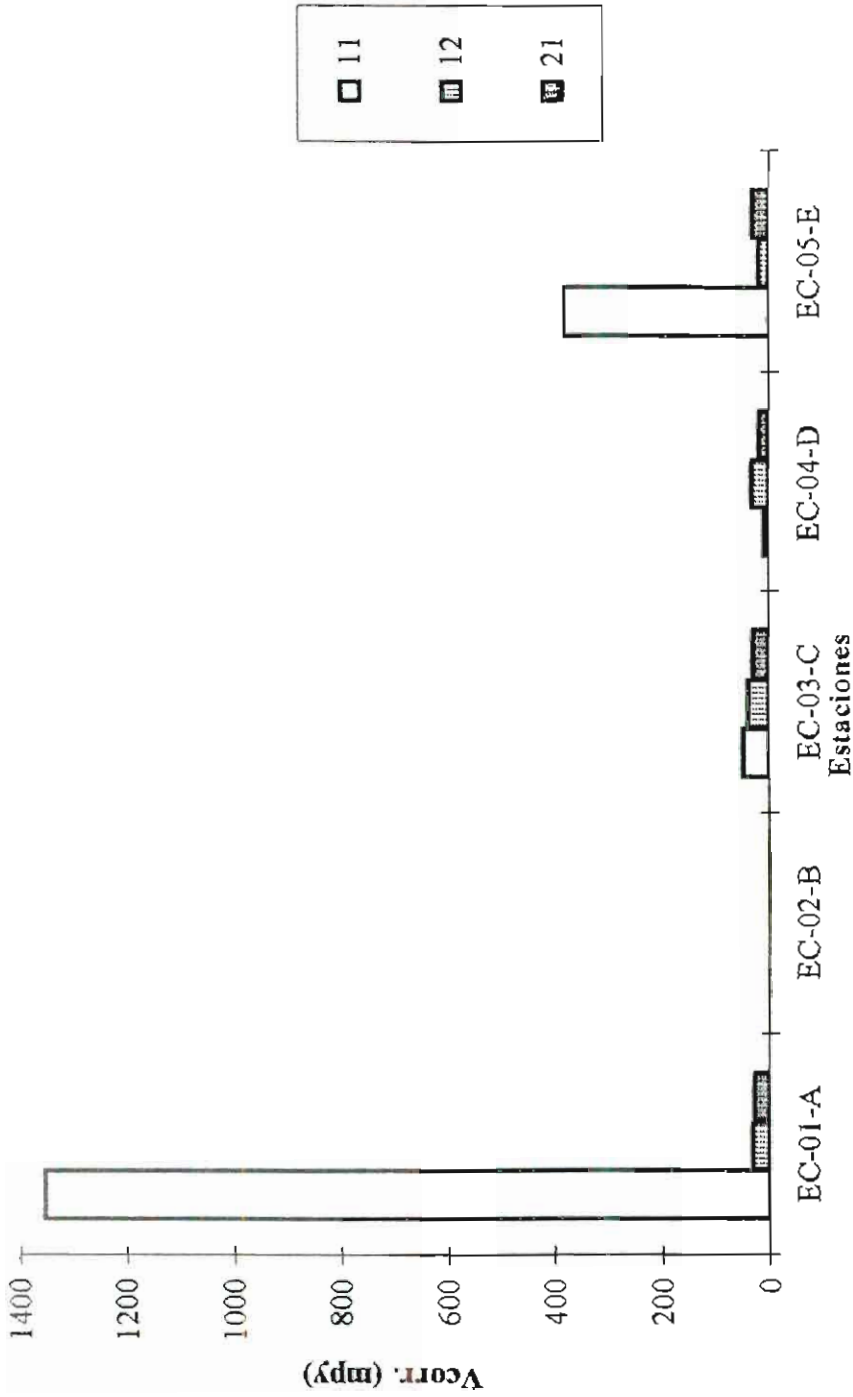


Fig. 15.- Diagrama de Corrosión del Acero a 24 horas de inmersión.

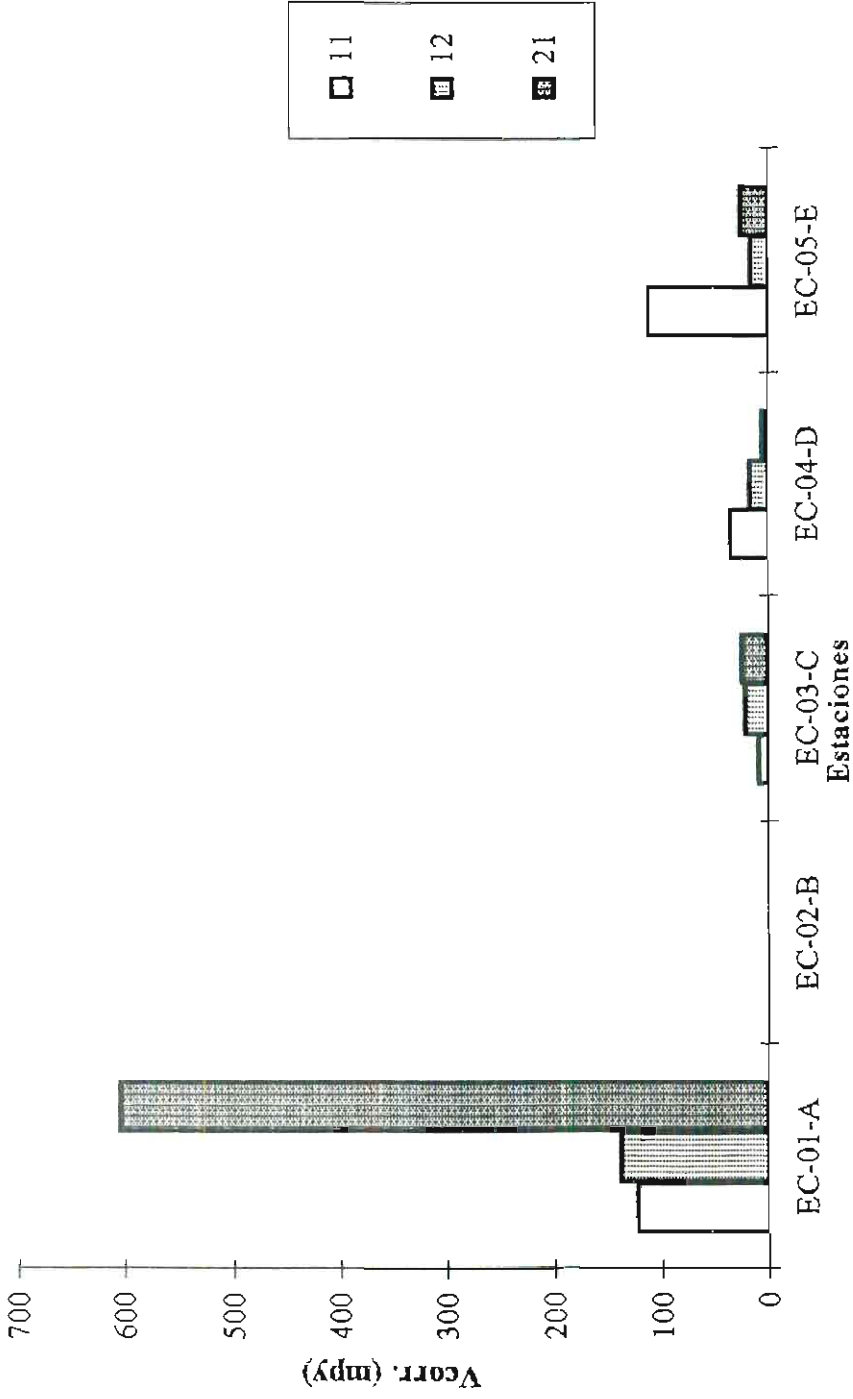


Fig. 16.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Acero a 48 horas de inmersión.

COMPORTAMIENTO DEL ZINC

1. El incremento de la resistencia de polarización es notoria a medida que se incrementa el tiempo de inmersión, como era de esperar la película que se forma en la superficie del metal se acentúa en la etapa final de inmersión.
2. Existe incremento de R_p en casi todos los casos en referencia a los años de exposición. De tal manera que se observa el decremento de la velocidad de corrosión a medida que aumenta el tiempo de exposición.
3. En el caso de las probetas de un mismo TDE, pero de diferentes épocas (serie 11 y 12), no existe una conducta determinada pero en la mayoría de ellas la V_{corr} desciende de la serie 11 a la 12, esta indeterminación se debe a las variaciones del clima que existen en cada región y en cada época del año.
4. En la estación EC-01-A, región urbana por preferencia, se obtienen los mayores valores de V_{corr} , siendo aún mayor en el primer año de exposición, serie 11. Estos valores se producen debido al mayor contacto en la fase de experimentación probeta-electrolito, a causa de la ausencia en algunas áreas de productos de corrosión en la probeta estudiada.
5. Dando un ligero vistazo a las figuras 20, 21 y 22, se puede notar que en la estación EC-01-C los niveles de V_{corr} son mínimos con respecto a las otras

estaciones. Los productos de corrosión generados en este caso, y debido a los resultados se pueden definir como adherente e impermeable.

6. Entre los grupos de series de las diferentes estaciones, la estación EC-01-B (Riobamba) siempre se encontrará una sola columna correspondiente a la serie 11, debido a factores que escapan del control científico del proyecto suscitados en la mencionada estación. El comportamiento de esta región es regular comparada con el grupo de estaciones.

De las tablas IV, V y VI se obtuvieron las figuras 17, 18, 19, 20, 21 y 22 a partir de los cuales se realizó el siguiente anterior

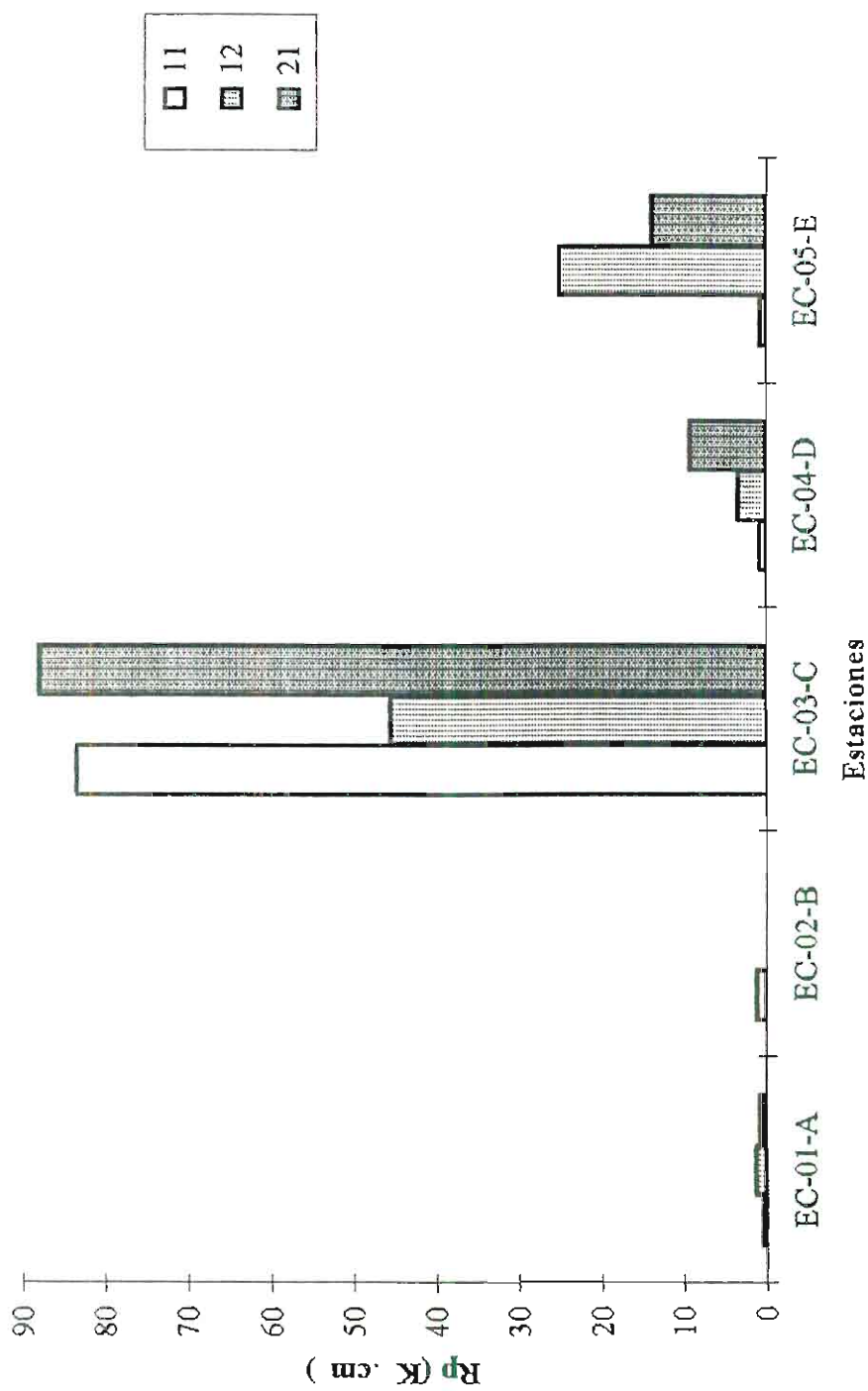


Fig. 17.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Zinc a 1 hora de inmersión.

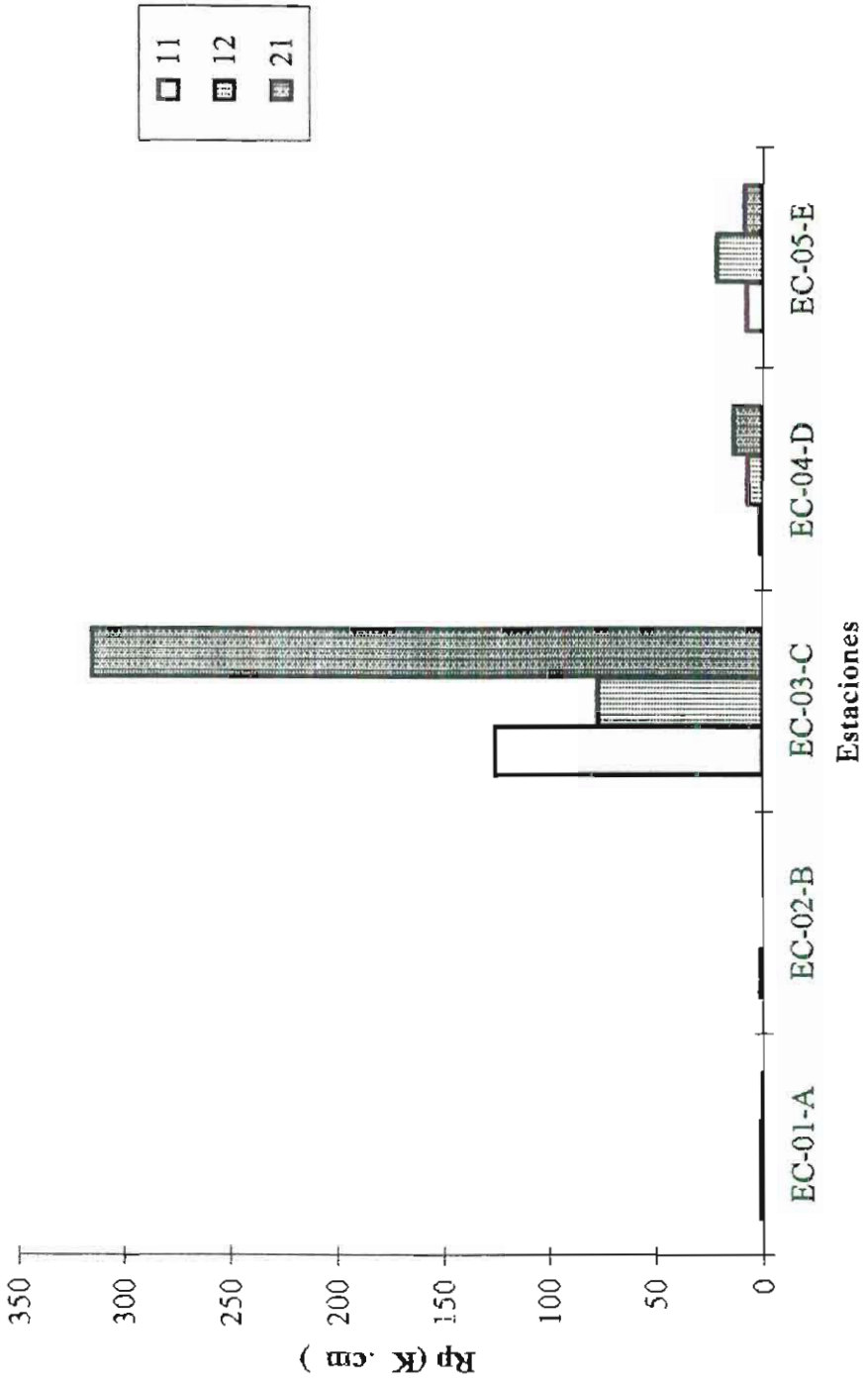


Fig. 18.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Zinc a 24 horas de inmersión.

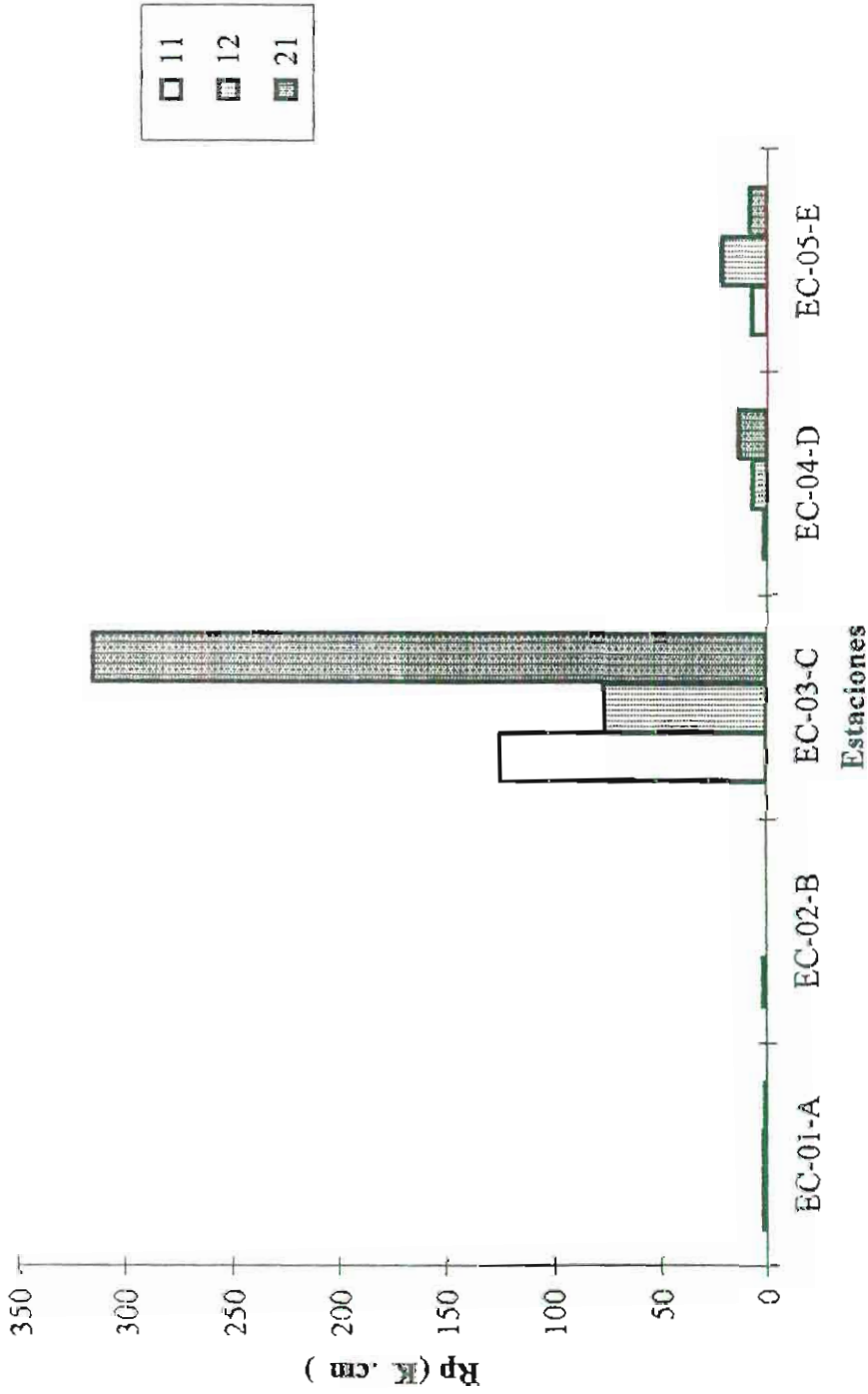


Fig. 19.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Zinc a 48 horas de inmersión.

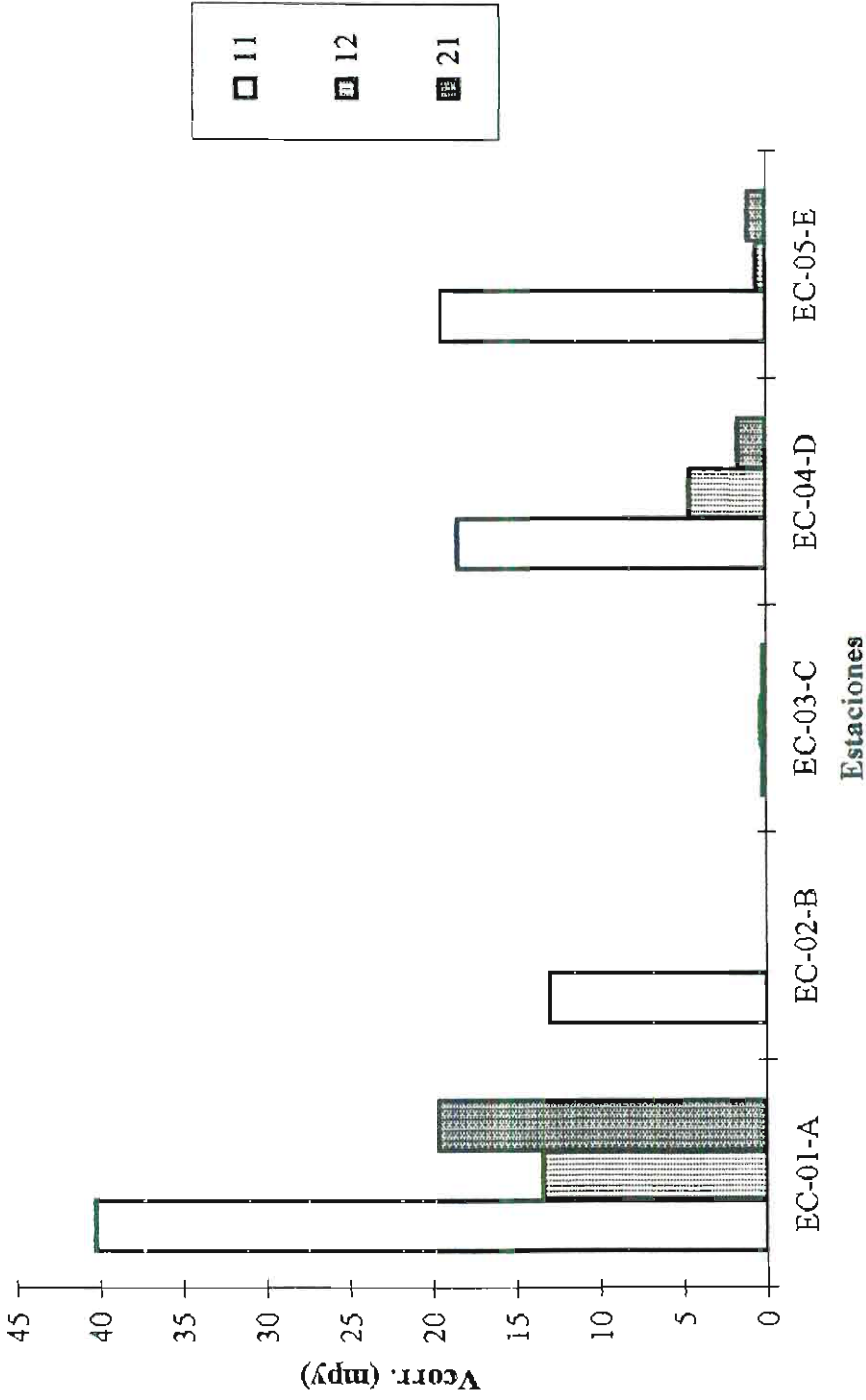


Fig. 20.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Zinc a 1 hora de inmersión.

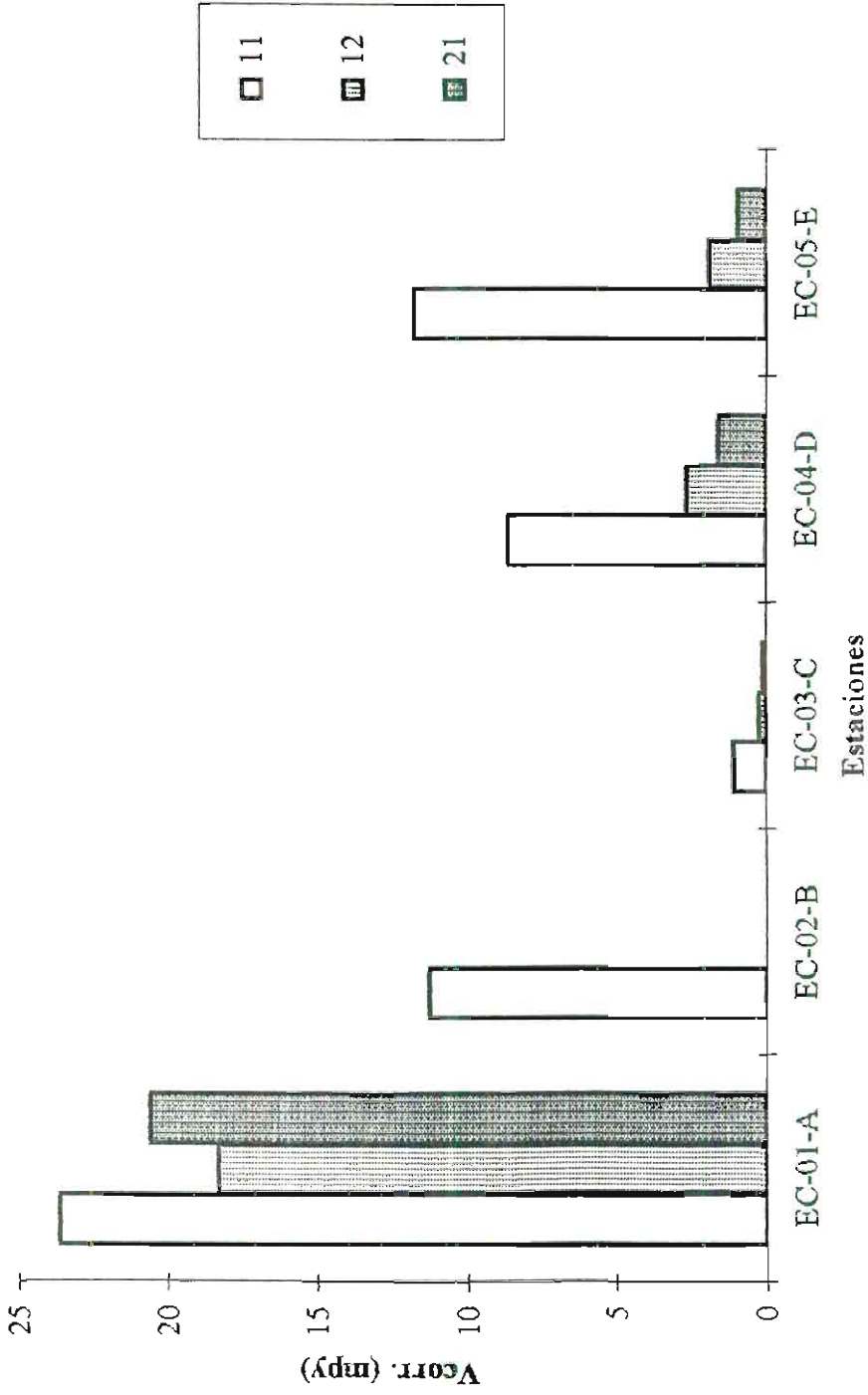


Fig. 21.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Zinc a 24 horas de inmersión.

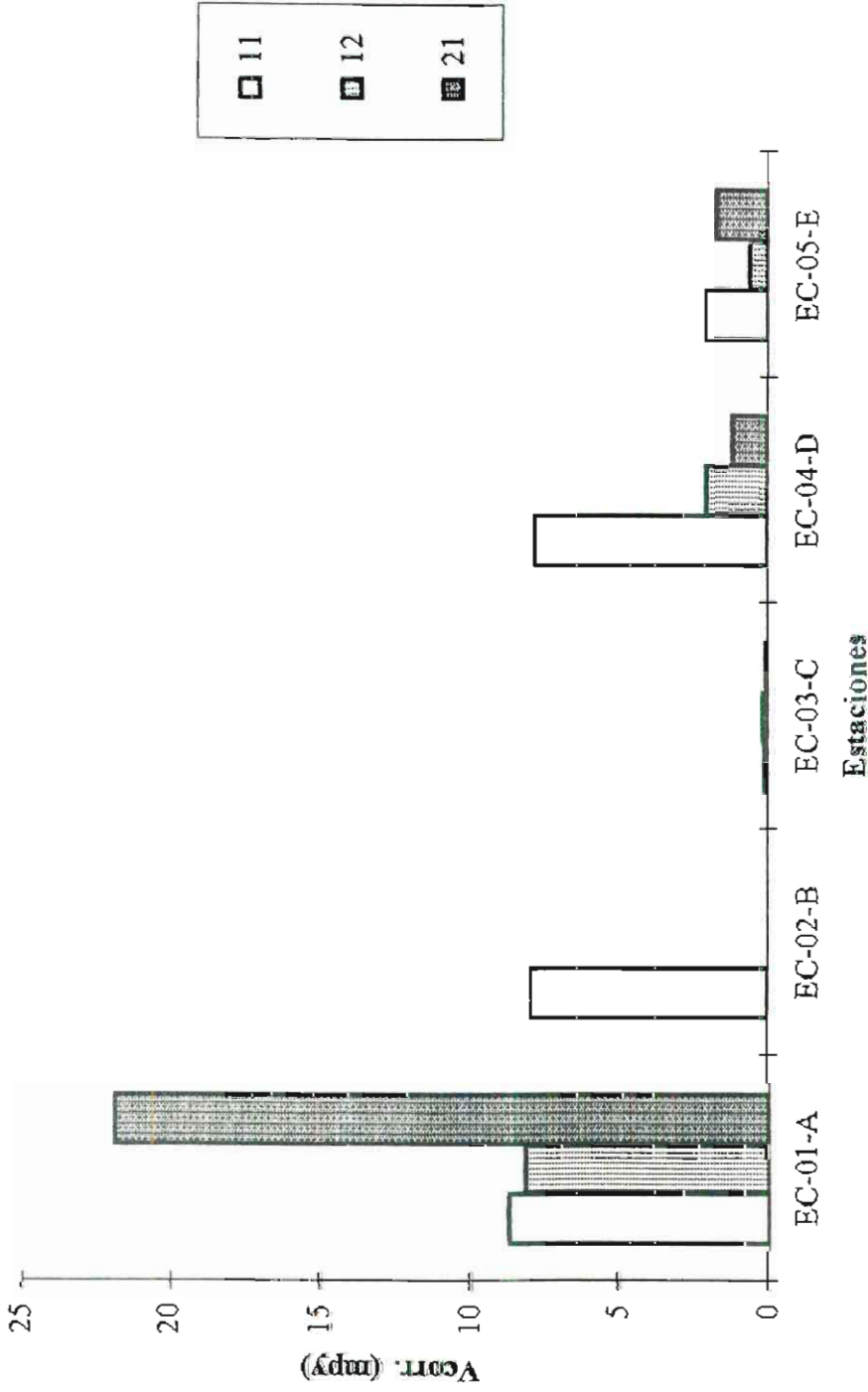


Fig. 22.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Zinc a 48 horas de inmersión.

3.3. COMPORTAMIENTO DEL COBRE

1. Analizando las figuras 23, 24 y 25 se ve claramente que los niveles de resistencia de polarización aumentan conforme al orden del TDI 1, 24 y 48 hrs. Además se aprecia una acentuada tendencia a disminuir la R_p del primer al segundo año de exposición. La resistencia también sufre un decremento en la serie 12 comparada con la serie 11, a pesar de experimentar el mismo tiempo de exposición.
2. El comportamiento del cobre ha sido uno de los más regulares. La V_{corr} toma cotas inferiores mientras permanecen las probetas mayor tiempo inmersas en la solución, este proceder confirma la idea que cuando el metal tiene poco tiempo en el electrolito es muy susceptible a la corrosión produciendo los máximos valores de rapidez de corrosión.
3. Tomando en cuenta que el equilibrio cinético-químico se experimenta a las 48 hrs. de inmersión se puede subrayar que las máximas cotas de V_{corr} se obtienen de las estaciones EC-01-C (Salinas), EC-01-D (Esmeraldas) y EC-01-E (Galápagos). Aunque en las figuras 27 y 28 correspondientes a 1 y 24 hrs. el nivel de la estación EC-01-A tiene una altitud considerable.
4. Existe un nivel mucho mayor de la rapidez del desarrollo de la corrosividad de la serie 21 con respecto a la serie 11 en todas las estaciones, diciendo con ello

que el material experimenta un natural aumento de degradación a medida que transcurre el tiempo de exposición al medio ambiente. De igual manera se nota una diferencia considerable en los valores de velocidad de corrosión entre la primera y segunda fase a un año de exposición, parece ser que para el cobre en la segunda de éstas hubo una agresividad en el medio apreciablemente alta con respecto a la primera. Estos comportamientos son muy oportunos pues son uniformes en el grupo de estaciones.

5. Cabe anotar que al cobre se lo puede considerar como un metal noble dentro de este grupo, con más pureza que el acero o zinc (acero galvanizado). Además si se analiza la naturaleza de los productos de corrosión del acero en comparación con los del cobre se nota de una porosidad e inadherencia tal que hasta el proceso manual de las probetas podría afectar de alguna manera a los productos de corrosión. con lo que resulta apropiado afirmar que los resultados obtenidos en este metal son por demás esperados de acuerdo a su género.

De las tablas VII, VIII y IX se obtuvieron las figuras 23, 24, 25 26, 27 y 28 las cuales nos ayudaron a describir el comportamiento del cobre.

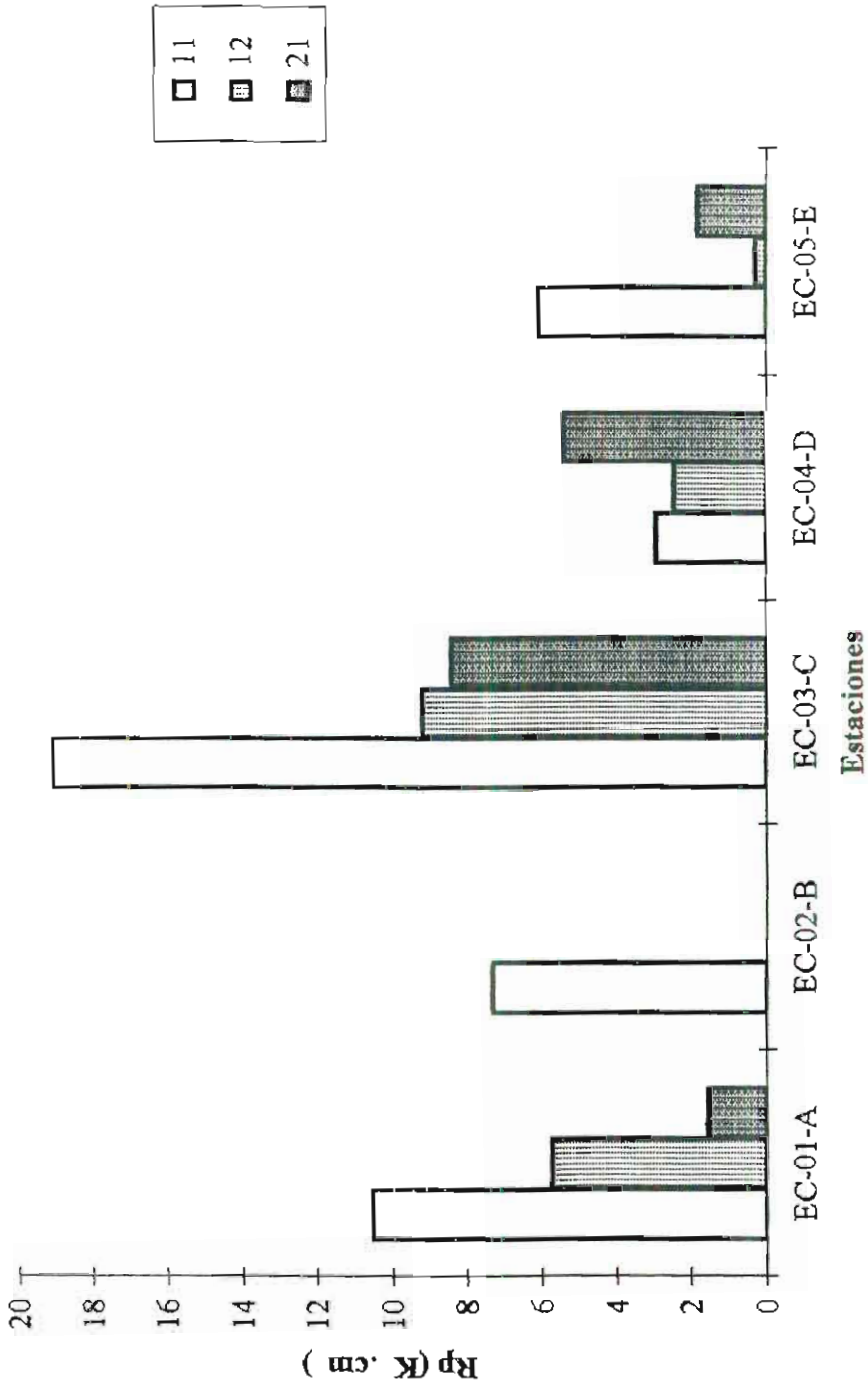


Fig. 23.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Cobre a 1 hora de inmersión.

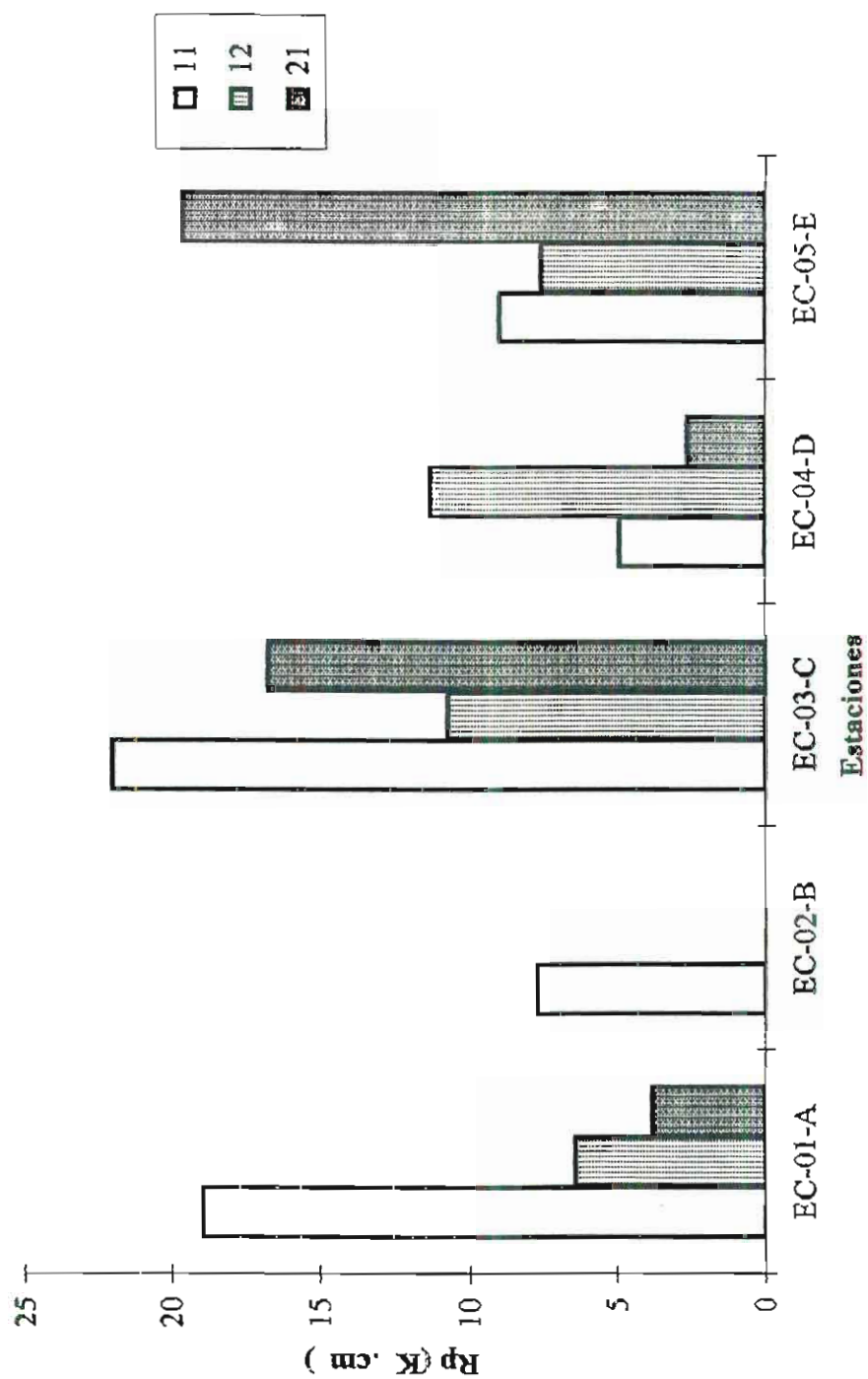


Fig. 24.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Cobre a 24 horas de inmersión.

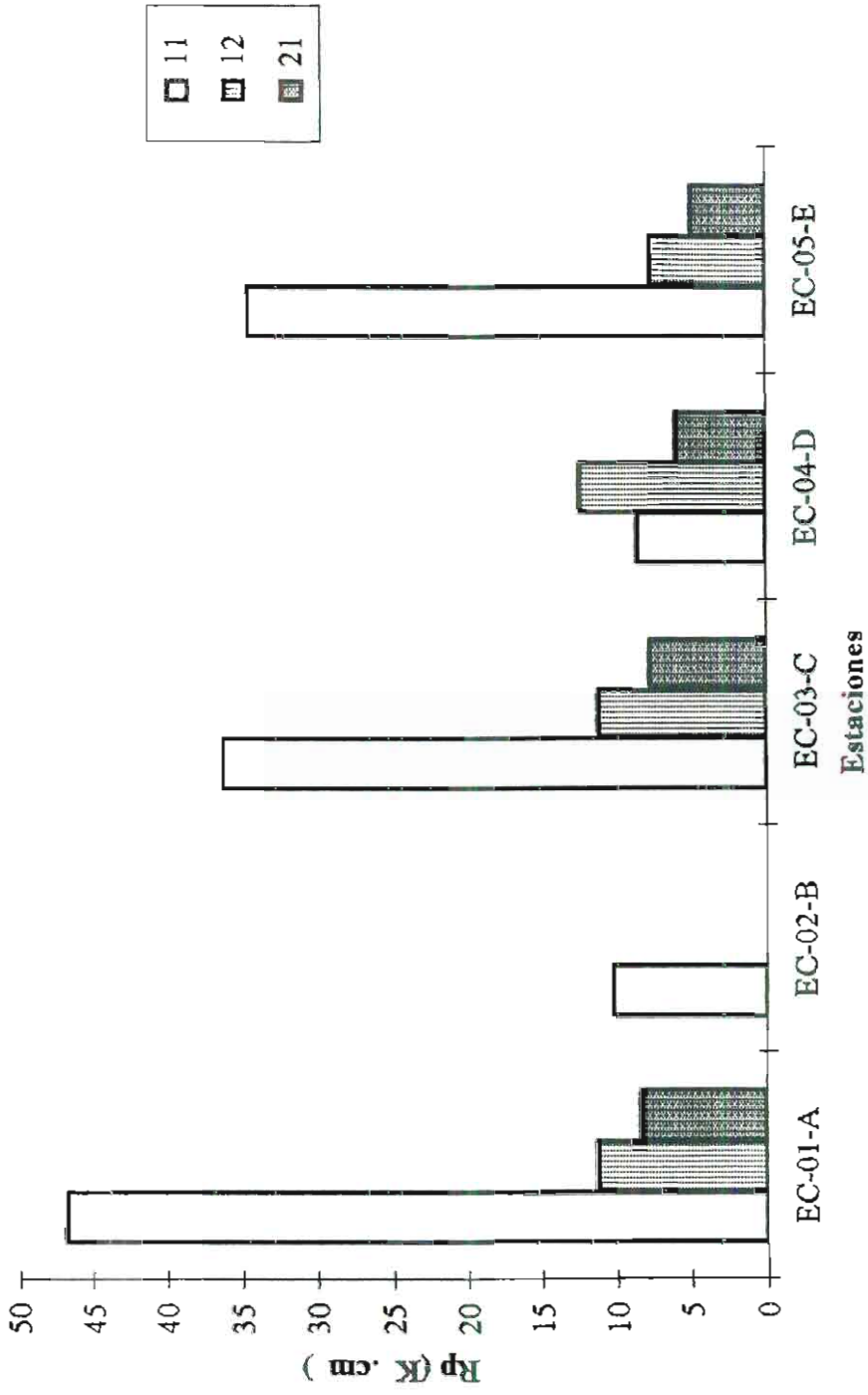


Fig. 25.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Cobre a 48 horas de inmersión.

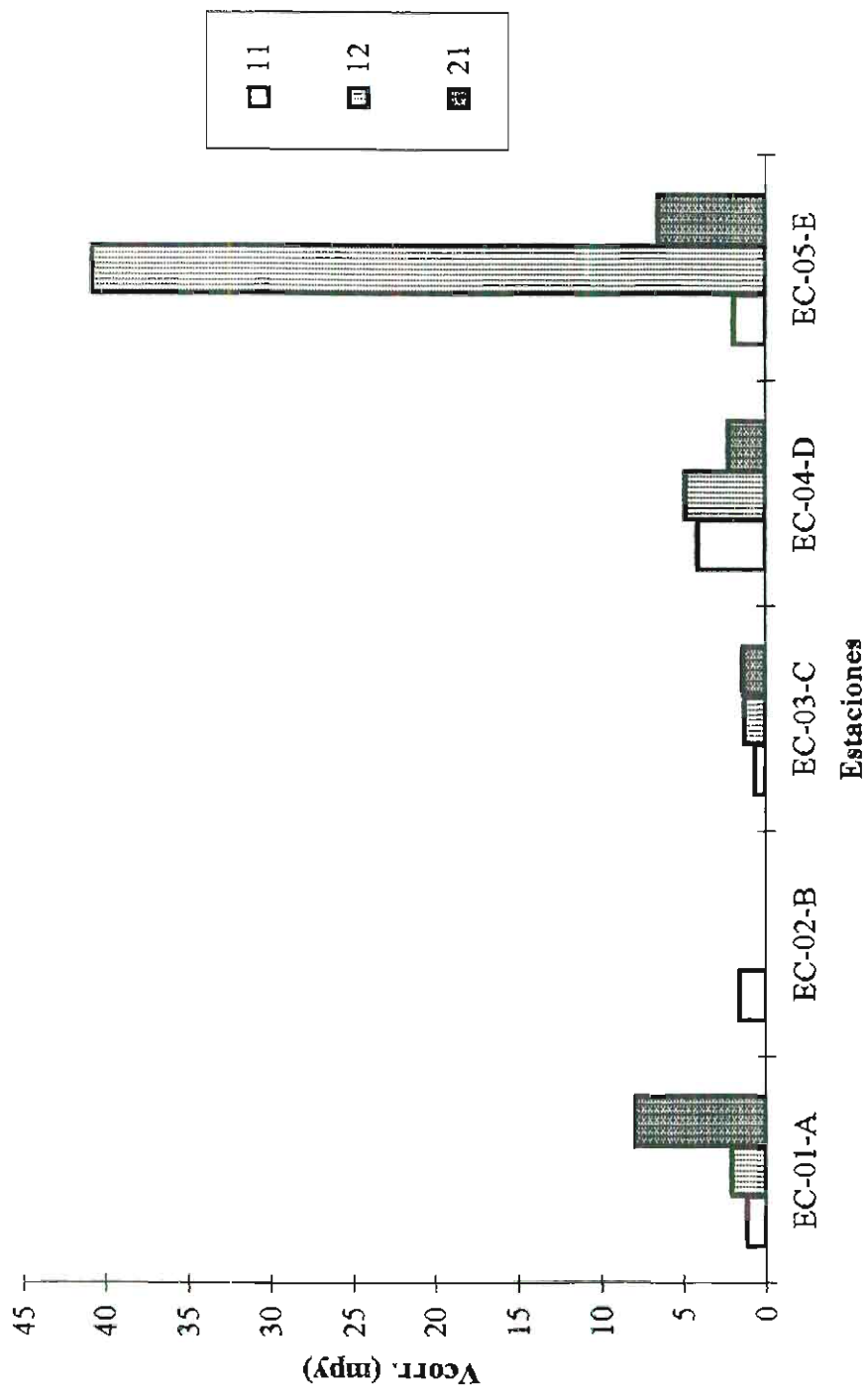


Fig. 26.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Cobre a 1 hora de inmersión.

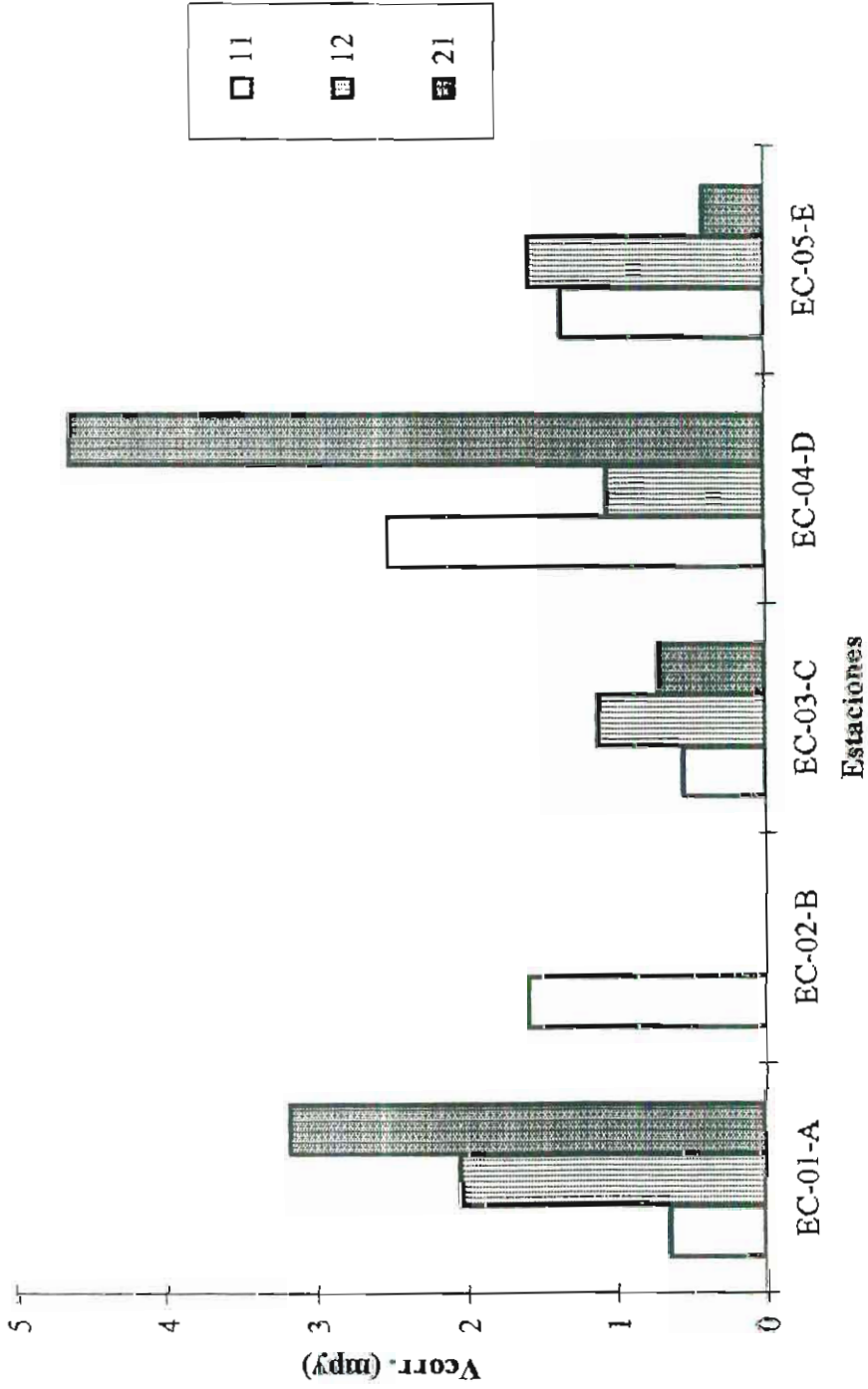


Fig. 27.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Cobre a 24 horas de inmersión.

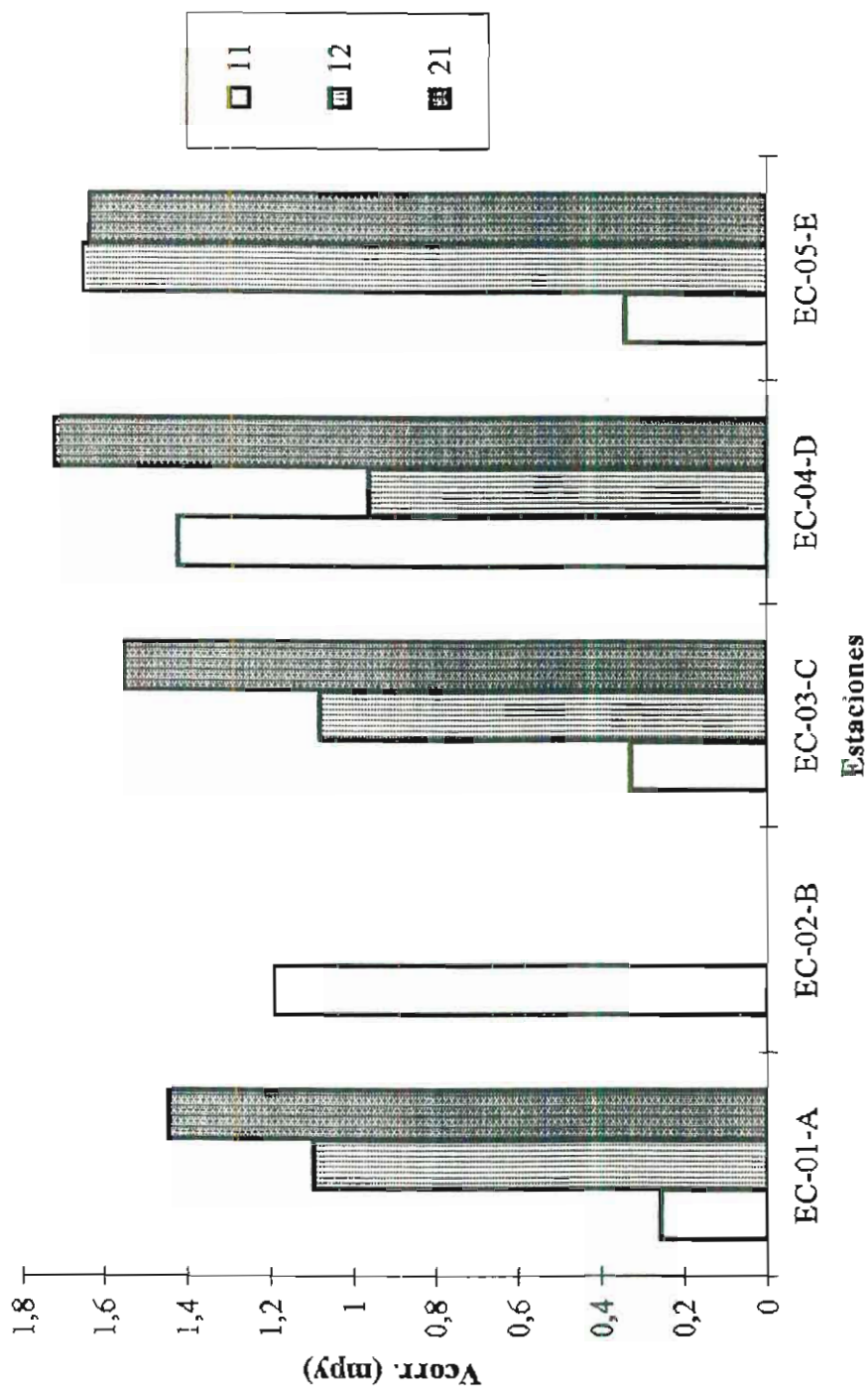


Fig. 28.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Cobre a 48 horas de inmersión.

3.4. COMPORTAMIENTO DEL ALUMINIO

1. Los márgenes de la cinética de corrosión disminuyen al igual que en los casos anteriores a medida que se aumenta el tiempo de inmersión y es que como ya se ha comprobado la estabilidad se logra al máximo de 48 hrs. pero la disminución es mínima para este metal, lo que nos plantea que éste alcanza un equilibrio más rápidamente que el resto de materiales.
2. El máximo valor de V_{corr} se obtiene en la estación Salinas, dado que la atmósfera reinante en la zona es evidentemente marina y considerando que las mayores concentraciones de cloruro de sodio se encuentran en las orillas de la playa, se puede atribuir en este caso a estos factores las cifras de corrosividad en el área.
3. Refiriéndose a la relación de degradación entre 1 y 2 años de exposición en su orden se observa un ligero incremento en las probetas de 2 años en la estación Guayaquil y Salinas; en las estaciones Esmeraldas y Galápagos se podrían considerar estables los niveles, estas relaciones fueron tomadas del caso más estable que es 48 hrs.
4. En las probetas de grupos de 1 año se describe una mayor velocidad de corrosión en todas las estaciones, para la segunda fase. Para estas probetas

el temporal de la fase que significativamente más agresivo que el de las probetas de la primera.

Con los valores de las tablas X, XI y XII se obtuvieron las figuras 29, 30, 31, 32, 33, y 34 por medio de estas se logran las afirmaciones descritas.

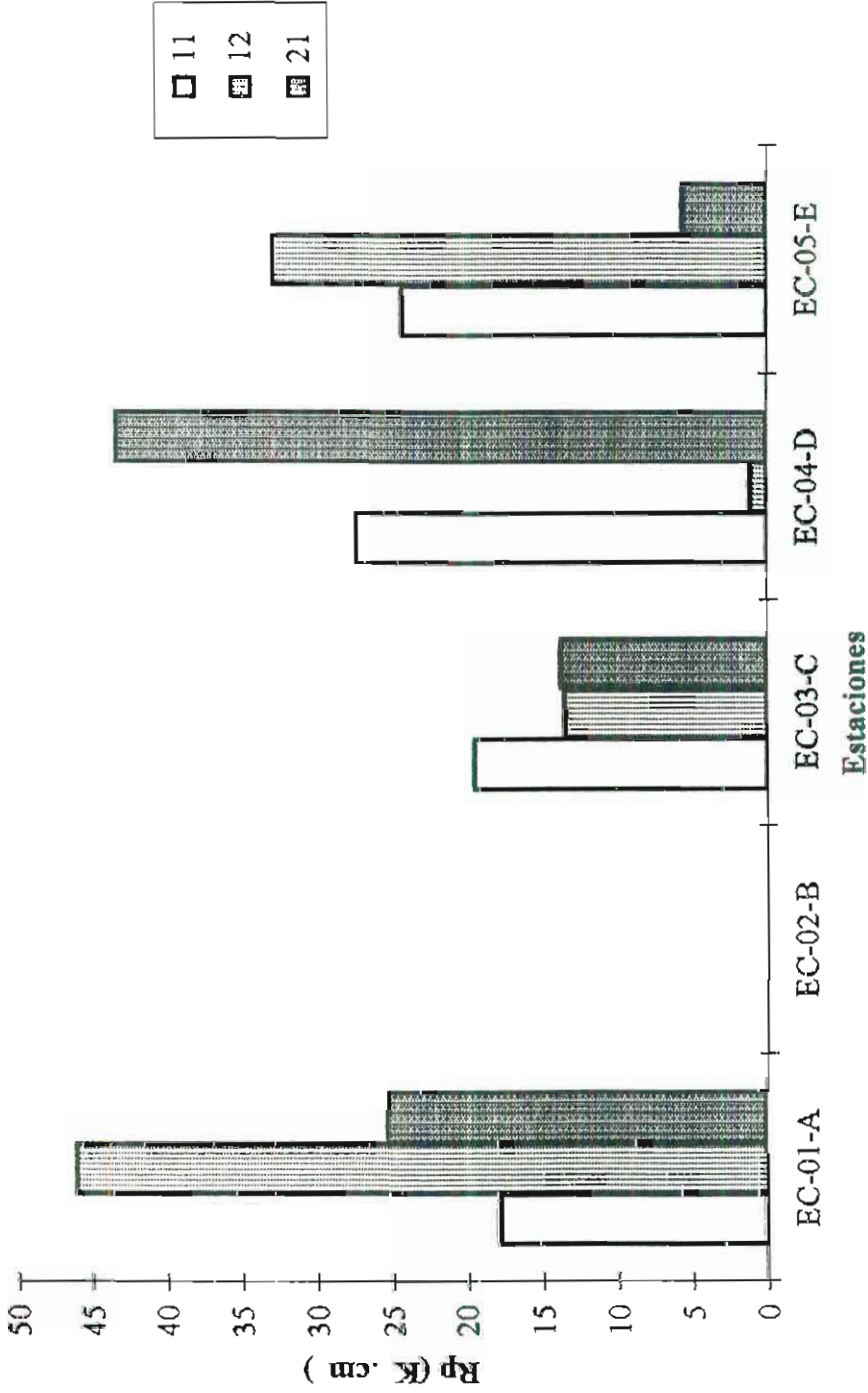


Fig. 29.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Aluminio a 1 hora de inmersión.

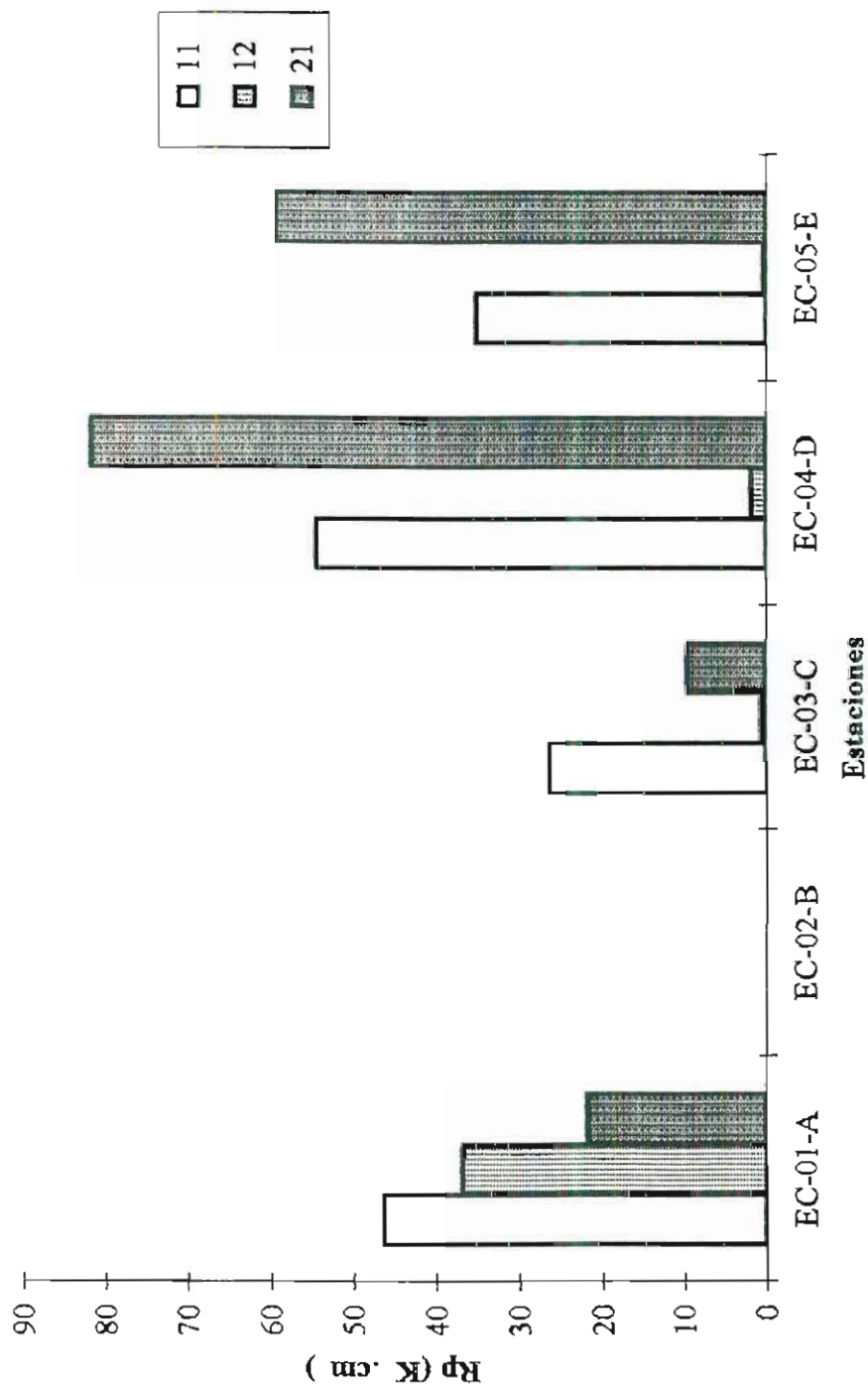


Fig. 30.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Aluminio a 24 horas de inmersión.

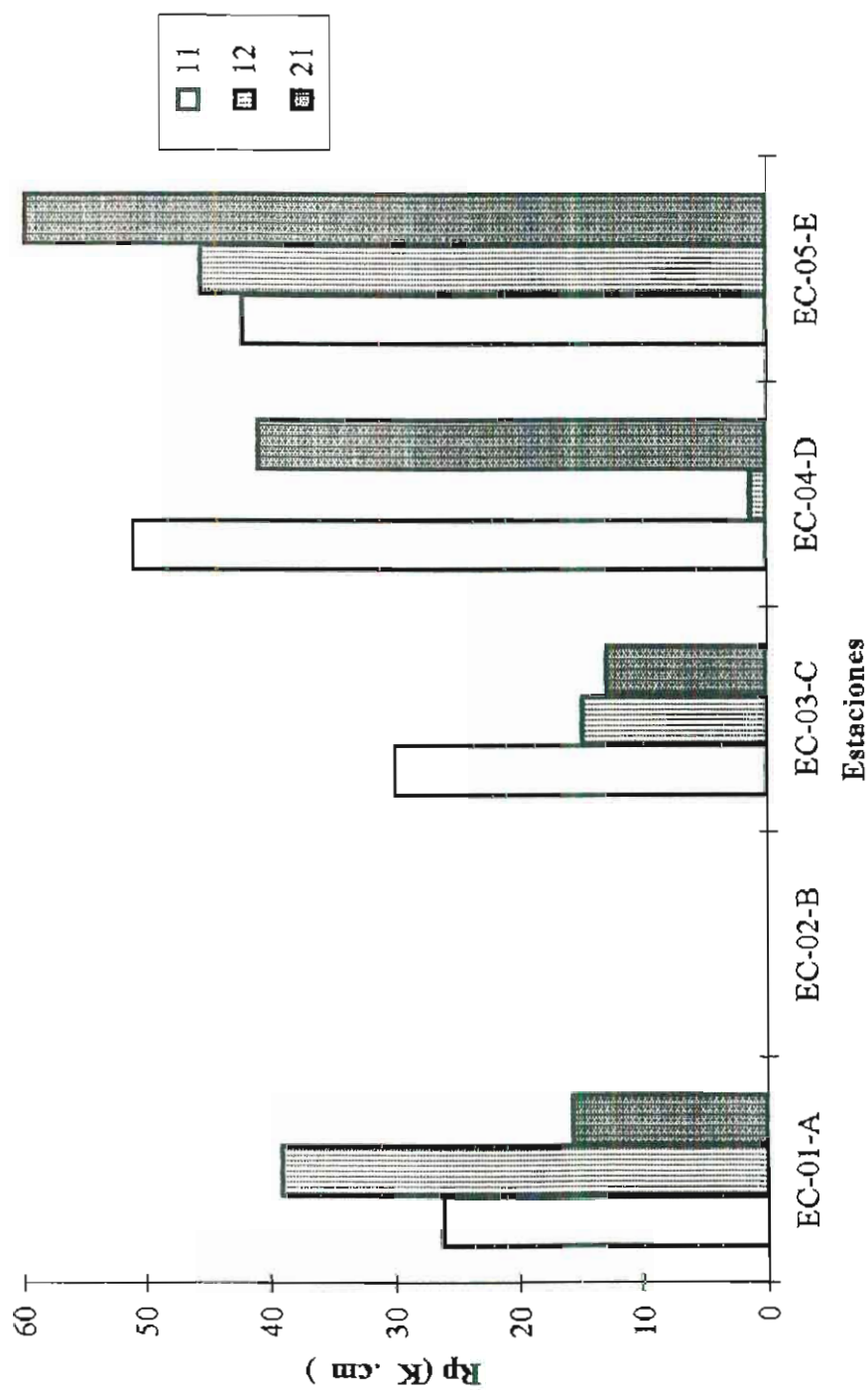


Fig. 31.- Diagrama de la Resistencia de Polarización del Aluminio a 48 horas de inmersión.

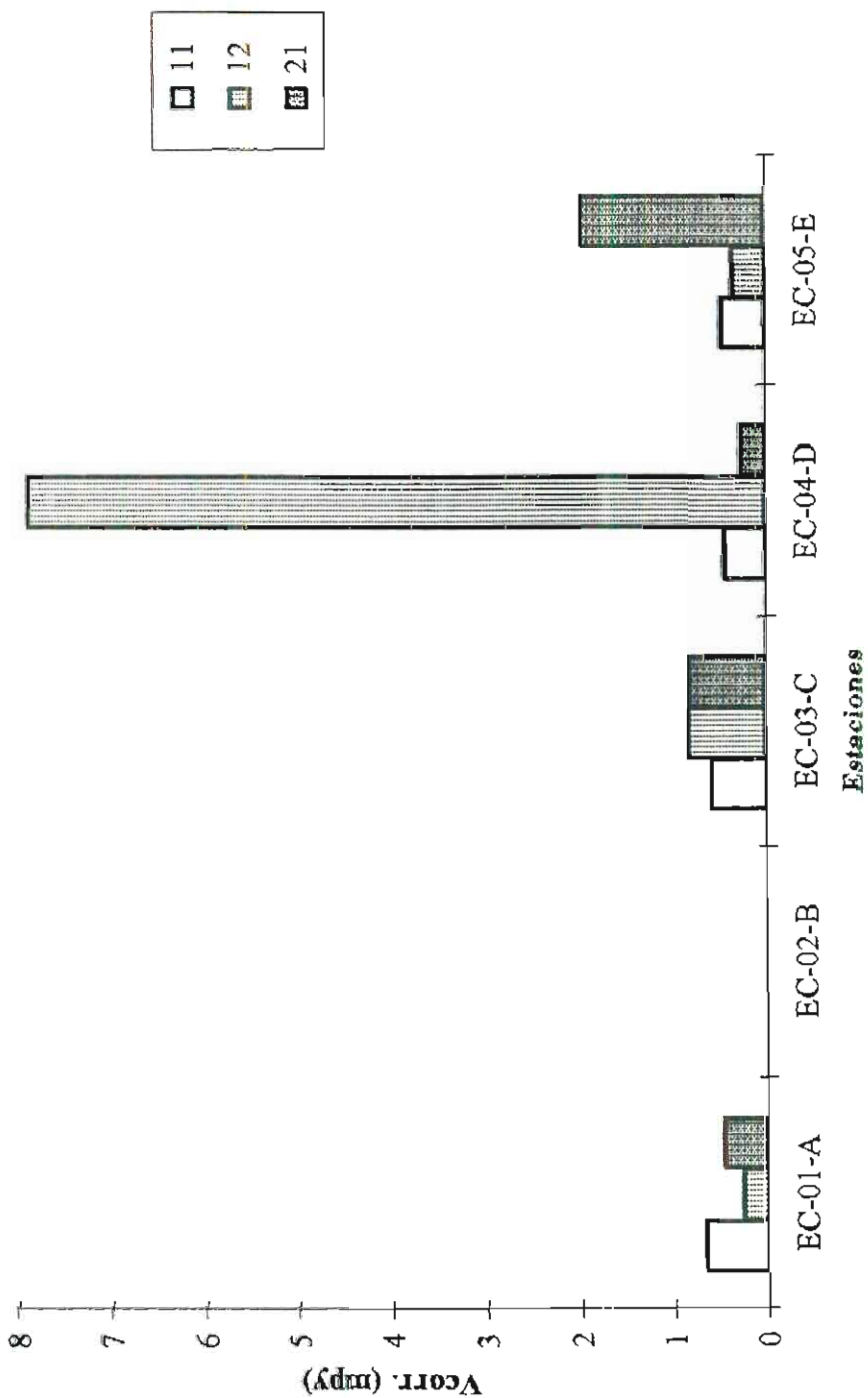


Fig. 32.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Aluminio a 1 hora de inmersión.

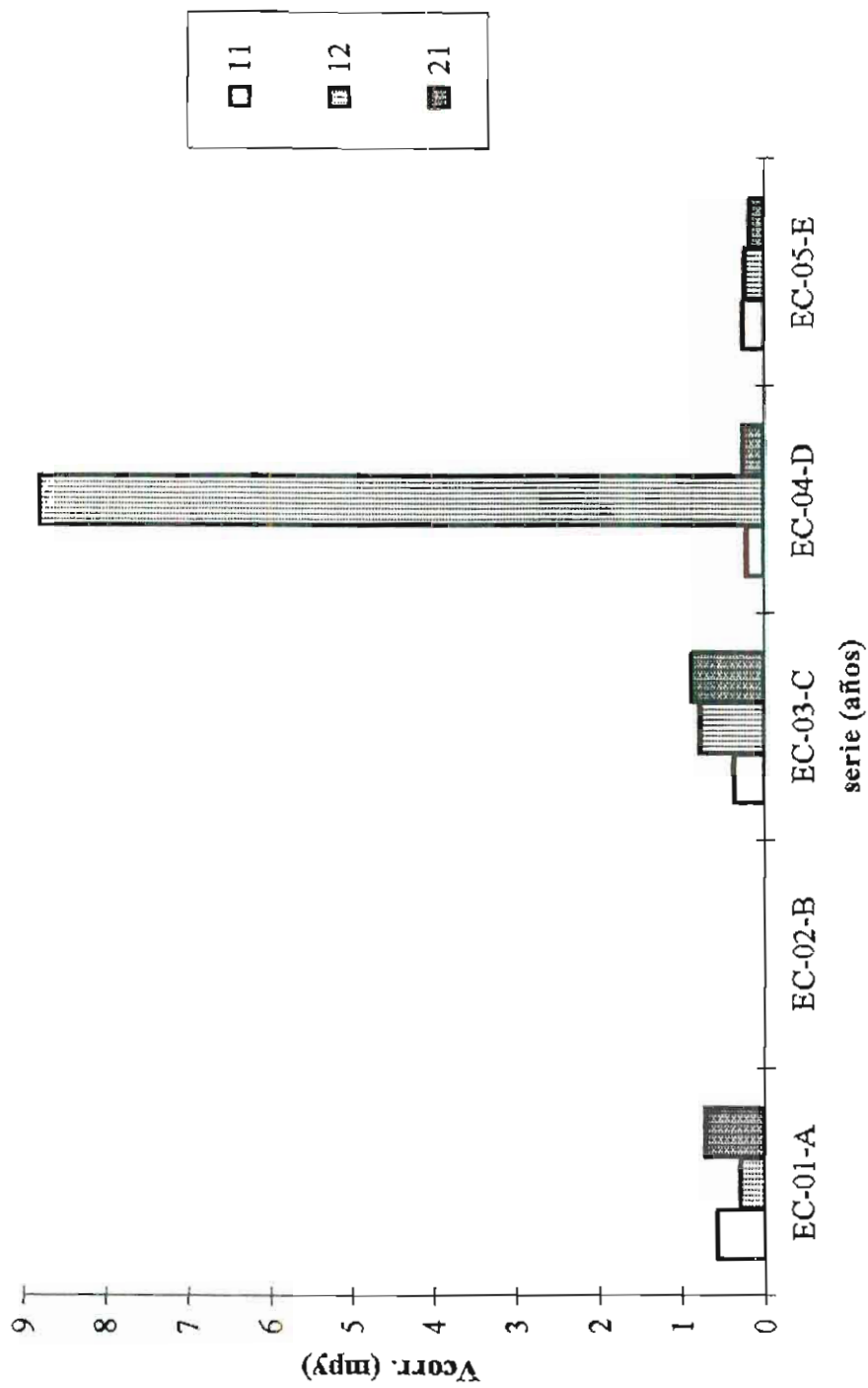


Fig. 33.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Aluminio a 24 horas de inmersión.

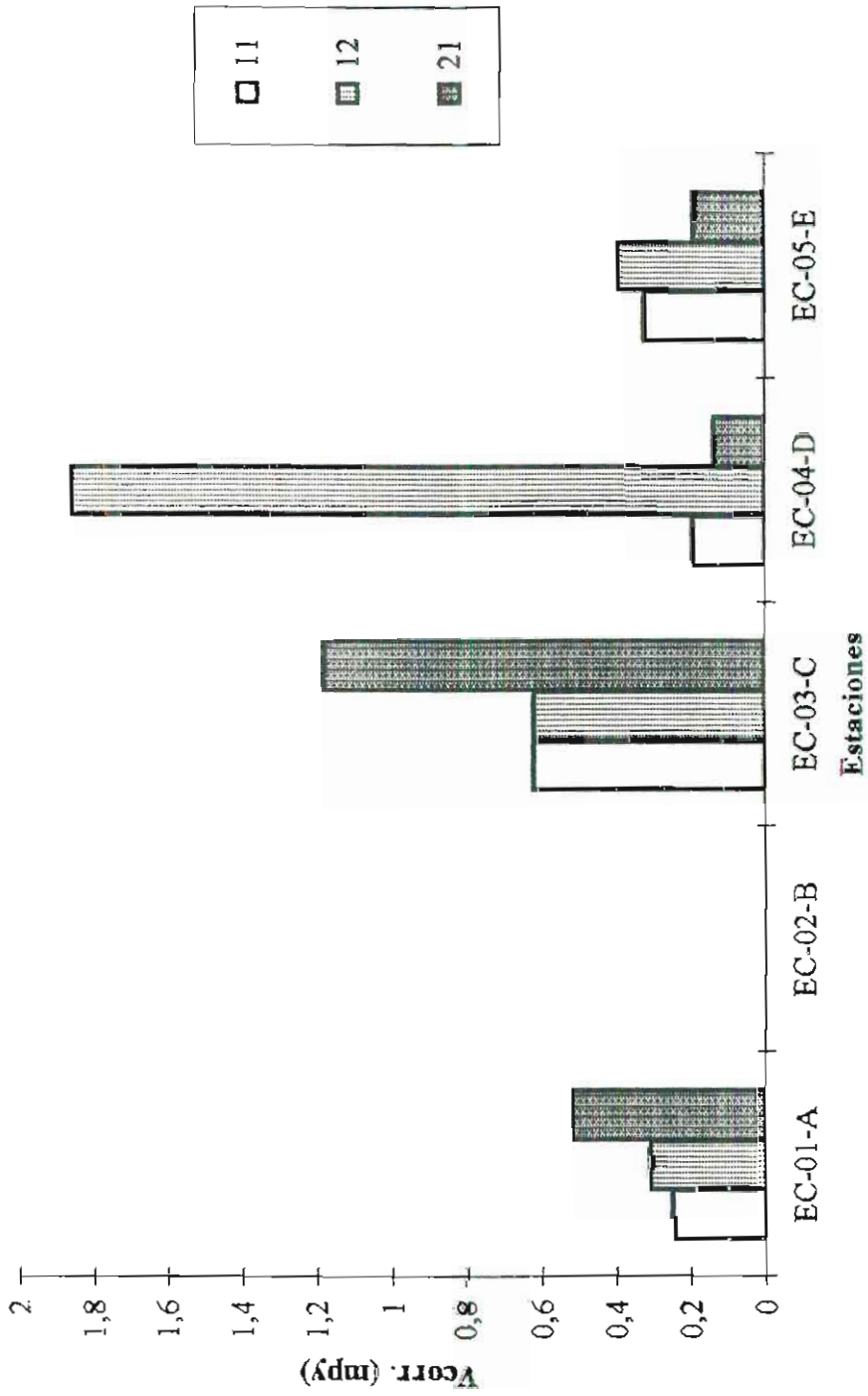


Fig. 34.- Diagrama de la Velocidad de Corrosión del Aluminio a 48 horas de inmersión.

3.5. COMPARACION DE LA VELOCIDAD DE CORROSION OBTENIDA POR RESISTENCIA A LA POLARIZACION CON LA VELOCIDAD DE CORROSION OBTENIDA EN LA FASE DE EXPERIMENTACION ATMOSFÉRICA (CAMBIO DE PESO).

El análisis se hará a nivel del primer año de exposición, debido a que las pruebas realizadas por este método sólo fueron con placas expuestas dentro de este periodo.

1. Es conveniente destacar que la técnica de cambio de peso se puede considerar como muy precisa a causa de que las pruebas se manejan dentro de parámetros puntuales y concisos, y no dentro de valores instantáneos o variables.
2. Comparando los niveles de velocidad de corrosión del acero se tienen valores considerables en Galápagos y Esmeraldas, en la técnica de R_p también se dan estos niveles pero además en la estación Guayaquil también se obtienen altos valores de corrosividad. En la estación Riobamba no se define ningún valor debido a que con estas probetas se experimentó un comportamiento bastante irregular y se decidió no incluirlos.
3. Para el zinc se tienen picos en Salinas, Esmeraldas y Galápagos, por R_p los mayores niveles se dan en Guayaquil y Esmeraldas. El zinc debido a su

naturaleza se considera un metal de difícil control en la producción de sus productos de corrosión, pues al generarse otros tipos de óxidos a causa de sus componentes se afectarán de alguna manera los resultados.

4. En el caso del cobre se obtienen resultados muy similares a los de resistencia de polarización, con la excepción de Riobamba posiblemente por las razones expuestas anteriormente.
5. Comparando los resultados de velocidad de corrosión del aluminio se obtienen niveles altos en casi todas las estaciones, siendo el menor en Galápagos; de igual forma se da este comportamiento con nuestra pero los menores niveles se encuentran en Guayaquil y Salinas.

Todos los análisis realizados en esta sección se hicieron comparando los resultados del método de cambio de peso empleado en la Tesis de Wilson Quito⁽¹⁰⁾ con los obtenidos a 48 horas de inmersión mediante resistencia de polarización ya que estos se logran cuando la estabilidad electroquímica del sistema metal-electrolito se ha alcanzado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye lo siguiente:

1. La técnica de resistencia de polarización ayuda a identificar la cinética de un proceso corrosivo en una material, independientemente del tiempo de exposición al que han estado expuestas.
2. Esta técnica es el método más rápido para obtener una respuesta de velocidad de corrosión, aún así no es precisamente la más precisa, pero por otro lado da una idea clara de los niveles de corrosividad que se desean conocer. Al igual que cualquier técnica experimental tiene sus ventajas e inconvenientes.
3. Los resultados son obtenidos controlando un rango de potencial, perturbando al material mediante impulsos de corriente respondiendo este en iguales términos

pero en valores instantáneos. De la relación que se genera entre el potencial y la corriente surge la resistencia de polarización.

4. Los valores obtenidos en las tres series descritas no guardan una relación definida entre sí, debido a que los productos de corrosión adquiridos dependen exclusivamente de los factores climatológicos suscitados en cada región y en cada época.
5. Si al iniciar una etapa de exposición de material, el clima se comporta agresivamente los productos de corrosión a formarse serán de una textura débil y permeable. Por otro lado si el clima toma una conducta pasiva los productos serán adherentes y impermeables.
6. La textura de la capa de productos de corrosión es muy importante al momento de cortar las placas metálicas, ya que mientras más adherente sea, menor es el riesgo de perderla en alguna proporción en el proceso de corte.
7. La resistencia de polarización incrementa conforme aumenta el tiempo de inmersión dentro de la solución electrolítica con la que se hizo la experimentación, lo que nos dice que la película formada sobre la superficie de la placa corroída alcanza su mayor espesor a 48 horas de inmersión. La estabilidad electroquímica

se alcanza en el máximo tiempo de inmersión, dentro de este periodo los variables logran una mayor definición.

8. La velocidad de corrosión del cobre y el aluminio es máxima en las estaciones de Salinas, Esmeraldas y Galápagos.
9. Para Riobamba no se pudieron hacer análisis para dos años de exposición debido a que éstas mientras permanecían en dicha estación fueron substraídas
10. Por el método de cambio de peso los mayores niveles de velocidad de corrosión se obtuvieron en las ciudades de Salinas, Esmeraldas y Galápagos. En la técnica de resistencia a la polarización, el cobre y el aluminio tuvieron un comportamiento similar al del método de cambio de peso; aunque el zinc y el acero manifestaron sus mayores niveles en las mismas ciudades pero esta vez incluyendo a Guayaquil.
11. Las dispersiones presentadas en algunos casos como Guayaquil se atribuyen a que los productos de corrosión fueron removidos previo a la fase de inmersión. Lo que hace considerar que las mayores velocidades de corrosión del acero y zinc se obtuvieron en las estaciones de Salinas, Esmeraldas y Galápagos.

12. Los niveles de velocidad de corrosión aumentó de uno a dos años de exposición en las probetas de cobre para todas las estaciones. El aluminio también experimenta la misma relación en la mayoría de sus estaciones.

Se recomienda lo siguiente:

1. Se sugiere que para futuras experimentaciones en la que se emplee un método electroquímico, las placas sean manejadas con mayor cuidado, debido a que cualquier desprendimiento de productos de corrosión afectará de alguna manera en los resultados.
2. Se deberá realizar cambios de la solución electrolítica al menos cada tres ensayos y preferentemente experimentar con el mismo material en cada una de dichas pruebas, esto prevendrá de una posible contaminación de los productos de corrosión dentro de la solución.
3. Mantener el equipo y principalmente la celda electroquímica con absoluta limpieza antes y después de los ensayos diarios es fundamental para el éxito de las mismas.
4. Impulsar el estudio de otras técnicas electroquímicas para análisis de otros materiales sometidos a diversas condiciones de agresividad en medios electrolíticos.

5. Se debería realizar otra investigación de resistencia de polarización aplicada a la siguiente fase del proyecto MICAT, la cual consistiría en evaluar el comportamiento de metales recubiertos expuestos a la atmósfera.

ANEXOS

ANEXO I

COMPOSICION (%) DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

Material	Composición química (%)					
	Mn	Si	C	Zn	Cu	Otros
Acero	0,34	0,07	0,05			0,023 S 0,023 P
Zinc	0,26	0,07	0,04	100		0,012 S 0,025 P
Cobre					99,9	
Aluminio						

ANEXO II

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Material	Densidad (gr./cm)	Peso Molecular (gr.)	Electrones transferidos
Acero	7,86	55,84	2
Zinc	7,14	65,38	2
Cobre	8,96	63,54	2
Aluminio	2,7	26,98	3

BIBLIOGRAFIA

1. Gustavo Vila Casado, "Corrosión: electroquímica, mecanismos y métodos de control", Bogotá, Universidad Nacional, 1990, pag. 67-73, 94-98, 105-128.
2. MICAT A-47, "Procedimientos para estudios especiales con la cuarta probeta"
3. MICAT A-53, "Ensayos electroquímicos: medidas de resistencia de polarización"
4. CYTED-D, "Corrosión e impacto ambiental sobre materiales"
5. Ernesto Rovayo Vera, Tesis "Obtención de curvas de polarización mediante técnicas electroquímicas", Guayaquil, ESPOL, 1993, pag. 60-69, 99, 100,111.
6. Florian Mansfeld, "The polarization resistance technique for measuring corrosion current",California, pag. 176-185, 225-227.
7. Grauer, Moreland y Pini, "A literature review of polarization resistance constant (B) values for the measurement of corrosion rate", EE.UU., 1982, pag. 2-4.
8. José A. González, "Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión", Madrid, 1984, pag. 625-630.
9. Feliu Matas, "Principios de Electroquímica", pag. 27,28.

10. Wilson Quito Toro, Tesis "Evaluación de la corrosión atmosférica en el Ecuador dentro del marco del proyecto mapa iberoamericano de corrosividad atmosférica (MICAT)", Guayaquil, ESPO, 1994, 39,40,83,85, 101-105, 111-114.
11. Denny A. Jones, "Principles and prevention of corrosion", New York, 1992, pag.145,147,151,152.
12. Trethewey y Chamberlain, "Corrosion for student of science and engineering", Hong Kong, 1988, 1er edition, pag. 87-90.
13. Mars. G. Fontana, "Corrosion engineering", EE.UU., 1986, 3th edition, pag. 19,20.
14. Herbert, Winston y Wiley, "Corrosion and Corrosion Control", EE.UU.,1985, 3th edition, pag. 35,36.
15. Atkinson y Van Droffeloar, "Corrosion and its control", Texas, 1982, pag. 8,9.