

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

6
28
112
111

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

ENSAYO DEL DESEMPEÑO DE UN SELLADOR EN
CONCRETO POR METODOS ELECTROQUIMICOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A

GUIDO ALFONSO ALBO GUTIERREZ

MEXICO, D. F.

ABRIL 1995

FALLA DE ORIGEN

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

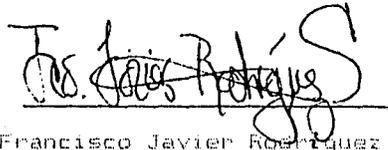
Jurado Asignado

Presidente: Profr. Miguel Saloma Terrazas
Vocal: Profra. Silvia Lilia Tejada Castañeda
Secretario: Profr. Teozomoc Pérez López
1er. Suplente: Profra. Ana Isabel Carranco Pérez
2do. Suplente: Profra. Aurora de los Angeles Ramos Mejía

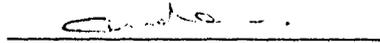
Sitio donde se desarrollo el tema: Laboratorio de Corrosión del edificio D, de la Facultad de Química.



N. en C. Teozomoc Pérez López
Asesor del Tema



Dr. Francisco Javier Rodríguez Gómez
Supervisor Técnico



Guido Alfonso Albo Gutiérrez
Sustentante

FALLA DE ORIGEN

*A LA PERSONA QUE ME HA DADO TODO
Y QUE GRACIAS A ELLA SOY ALGUIEN
EN LA VIDA
GRACIAS CHULA
YOLANDA GUTIERREZ VILLAR*

*A LA MEMORIA DE MI PADRE
GUIDO ALBO NOVOA*

*QUIERO DAR LAS GRACIAS A TODAS
AQUELLAS PERSONAS QUE DE ALGUNA
MANERA ME AYUDARON A REALIZAR
ESTA META*

FALLA DE ORIGEN

RESUMEN

Una de las causas principales en la destrucción del concreto armado es la corrosión en las varillas de acero contenidas en él, la cual puede ser producida por el contacto directo del agua de mar con dicho concreto utilizado en plataformas marítimas, muelles, puentes y túneles; lo que ocasiona que los iones Cl⁻ contenidos en el agua, presenten la acción despastadora de sus agentes, acelerando así el proceso electroquímico de corrosión que trae como consecuencia el debilitamiento y destrucción de dicha obra.

Este trabajo muestra el comportamiento del sellador (Curacreto) al ser aplicado durante el curado del concreto con el fin de obtener una mayor resistividad en éste y así evitar el proceso electroquímico de corrosión.

Se ha utilizado la técnica de medición de potenciales, el método de Wenner para medir las resistividades, y la técnica de Espectroscopia de Impedancia Electroquímica para el seguimiento del proceso de corrosión y a través de los correspondientes diagramas de Nyquist y Bode, permitirnos el modelado del mismo mediante la obtención de los circuitos eléctricos equivalentes que reproduzcan los diagramas experimentales obtenidos.

Se pudo comprobar el objetivo principal de este trabajo que es el de verificar si el sellador (Curacreto) daba una mayor resistencia al concreto y con esto una menor velocidad de corrosión.

FALLA DE ORIGEN

INDICE

<i>Tema</i>	<i>Página</i>
<i>Resumen</i>	<i>i</i>
<i>Introducción</i>	<i>1</i>
<i>Capítulo 1. Marco Teórico</i>	<i>3</i>
1.1 <i>Concreto</i>	<i>3</i>
1.2 <i>Descripción de un Sellador</i>	<i>4</i>
1.3 <i>Corrosión</i>	<i>4</i>
1.4 <i>Sistema de Corrosión del Acero embebido en concreto</i>	<i>5</i>
<i>Capítulo 2. Objetivos</i>	<i>6</i>
<i>Capítulo 3. Importancia del curado en concreto Reforzado</i>	<i>10</i>
3.1 <i>Curado por estancamiento o inmersión</i>	<i>11</i>
3.2 <i>Curado por rociado o aspersión</i>	<i>12</i>
3.3 <i>Curado por cubiertas húmedas</i>	<i>12</i>
3.4 <i>Curado por papel impermeable</i>	<i>13</i>
3.5 <i>Curado por láminas de plástico</i>	<i>14</i>
3.6 <i>Compuestos para curado formadores de membranas (selladores)</i>	<i>15</i>
3.7 <i>Curado por cimbras dejadas en su lugar</i>	<i>16</i>
3.8 <i>Curado al vapor</i>	<i>17</i>
3.9 <i>Curado por mantas o cubiertas aislantes</i>	<i>19</i>

FALLA DE ORIGEN

3.10 Curado por métodos eléctricos, con aceite y con rayos infrarrojos.....	19
Capítulo 4. Métodos Experimentales.....	21
4.1 Determinación de los potenciales de media celda del acero de refuerzo en el concreto.....	21
4.2 Técnica de espectroscopia de impedancia electroquímica.....	27
4.3 Técnica de Wenner o de los 4 puntos para medir resistividad en concreto.....	32
Capítulo 5. Desarrollo Experimental.....	40
5.1 Preparación de probetas de concreto con varillas embebidas.....	40
5.2 Medición de potenciales de media celda.....	42
5.3 Medición de la técnica de espectroscopia de impedancia electroquímica.....	43
5.4 Medición de la resistividad por medio del método de los 4 puntos.....	45
Capítulo 6. Resultados.....	46
6.1 Reporte de potenciales de media celda tomados durante el curado.....	46
6.2 Reporte de potenciales de media celda tomados antes y después de la medición de la prueba de E. I. S.....	53
6.3 Reporte de resistividades medidas bajo el método de Wenner.....	57

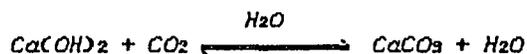
FALLA DE ORIGEN

2.4 Reporte de resultados obtenidos de la medición de espectroscopia de impedancia electroquímica.....	65
Capítulo 7. Análisis de Resultados.....	71
Capítulo 8. Conclusiones.....	75
Bibliografía.....	76

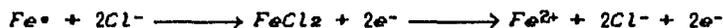
FALLA DE ORIGEN

INTRODUCCION

Uno de los problemas a los que se tienen que enfrentar los Ingenieros Civiles es a la corrosión del acero de refuerzo embebido en concreto cuando es expuesto a condiciones no favorables en atmósferas húmedas y/o cálidas entre otras. La corrosión de los aceros embebidos en concreto es un problema tanto social como económico en la vida cotidiana de una entidad, ya que éste al paso del tiempo con las condiciones idóneas, como pueden ser zonas urbanas o industriales en donde el CO₂ presente en éstas reacciona con el compuesto alcalino Ca(OH)₂ del concreto y forma el CaCO₃ que al ser ácido corroe a la varilla del acero, este proceso es la llamada carbonatación.



En zonas marítimas con una alta humedad en el aire es el ión Cl⁻ el iniciador del proceso electroquímico de corrosión rompiendo la capa despasivadora de los aceros.



Este trabajo tiene como objetivo el estudio de la acción de un sellador* durante el curado del concreto el cual retardará más del

*Proporcionado por Curacreto S.A. de C.V. para dicho estudio

98% del agua original permitiendo así una mayor resistividad y posteriormente al haber sido expuestas al ión Cl⁻ la reducción de la velocidad de corrosión en las varillas de acero embebidas en concreto.

CAPITULO 1
MARCO TEORICO

1.1 CONCRETO

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento y agua une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua.

Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas de hasta 10mm, de tamaño; Los agregados gruesos son aquellos que miden hasta 152mm, de tamaño y ocupan un 60 a 75% del concreto.

La pasta está compuesta de cemento, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Ordinariamente, la pasta constituye del 25 al 40% del volumen total del concreto.

La reducción de agua agregada durante la preparación del concreto va a determinar su resistencia a la compresión y a la flexión, su permeabilidad y por ende mayor hermeticidad y menor absorción, y todo esto va a determinar su comportamiento con respecto a la corrosión. Para que un concreto se considere de buena calidad debe ser durable y resistente al deterioro químico de la pasta así como a la corrosión de la varilla embebida en él.

1.2 DESCRIPCION DE UN SELLADOR

Los selladores que básicamente están compuestos de ceras, resinas, parafinas, solventes, pigmentos, colorantes y aditivos son aplicados en forma de membrana por medio de un aspersor sobre superficies verticales, horizontales, etc. de concreto fresco que sirven para retener el agua original y permitir un curado o retención del agua original, con lo cual se obtiene la máxima resistencia de diseño del concreto.

Los selladores son usados para evitar la formación de fisuras y agrietamientos en la superficie del concreto, permitiendo alcanzar la resistencia para el cual fue diseñado. También hacen posible economizar mano de obra, ya que el uso de estos evitan el riesgo y costo de regar la superficie del concreto durante su curado ya que ayudan a retener más del 90% del agua original del concreto.

1.3 CORROSION

La mayoría de los metales existentes en la naturaleza se hallan en estado oxidado, formando parte de diversos compuestos estables bajo las condiciones fisicoquímicas ambientales. Los metales se extraen de estos compuestos mediante procesos de reducción por los que pasan al estado metálico, sin embargo, los metales así obtenidos con el transcurso del tiempo son gradualmente destruidos por la acción del agua, aire y otros agentes agresivos, y vuelven a su estado primitivo estable.

Cabe mencionar que en la producción de los metales cuanto mayor haya sido la energía suministrada para obtenerlos a partir de su mineral, mayor será su tendencia a volver a combinarse para

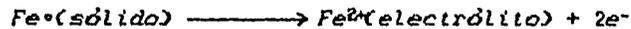
FALLA DE ORIGEN

estabilizarse aunque no todos los metales tienen el mismo nivel de estabilidad.

Cuando el ataque sufrido por el metal es a través del medio ambiente sin intervenir el agua, el proceso es llamado corrosión seca o corrosión química, y un segundo caso que es el que a nosotros nos interesa es cuando el agua está presente y se le llama corrosión húmeda o corrosión electroquímica.

En este tipo de corrosión espontánea deberá existir un ánodo (parte que se corroe), un cátodo, un electrolito ionizado y un enlace entre el cátodo y el ánodo.

El ánodo es la parte que se corroe y al suceder esto se liberan electrones que pasan al cátodo por medio del contacto eléctrico. Las pequeñas partes del metal disueltas pasan a ser iones en el electrolito dando así forma a la oxidación del metal (corrosión).



El cátodo es la superficie en la cual los electrones producidos en el ánodo se combinan con iones presentes en el electrolito, llevándose a cabo la reducción.

Los iones del metal disueltos en el electrolito al reaccionar con las moléculas de agua alcanzan el equilibrio termodinámico. De acuerdo con la reacción:



1.4 SISTEMA DE CORROSION DEL ACERO EMBEBIDO EN CONCRETO

El concreto, el cual consiste en una pasta endurecida de cemento con agregados (arena y grava), envuelve a la varilla protegiéndola de agentes agresivos como el ión Cl^- contenido principalmente en

FALLA DE ORIGEN

aguas marinas. El concreto es normalmente poroso y cuando éste llega a ser expuesto a aguas marinas con una concentración crítica de cloruros \pm 3% esto permite al ión Cl^- llegar a estar en contacto y romper la película pasivante del metal, (formada cuando se cura el concreto) la cual está formada de óxidos de hierro como puede ser magnetita (Fe_3O_4) y en menor grado por hematita (Fe_2O_3). Esta película pasivante debe reunir las siguientes características:

- 1) Baja conductividad térmica,
- 2) Baja solubilidad química,
- 3) Alta conductividad electrónica,
- 4) Baja velocidad de disolución,
- 5) Amplio intervalo de potencial en el que sea termodinámicamente estable,
- 6) Buena adherencia al metal,
- 7) Alta resistencia a la compresión,
- 8) Poca porosidad

Cabe mencionar que el ión Cl^- sólo rompe químicamente esta película pasivante (aún al alto valor de pH de la película pasivante \pm 12.5 ref. 3) y da paso a la corrosión activa, o disolución anódica del hierro en la cual existen dos posibilidades:

- 1) Corrosión activa con la película parcialmente removida,
- 2) Corrosión activa con la película totalmente removida,

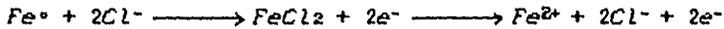
El primer caso es más frecuente ya que, normalmente el rompimiento de la película no es uniforme debido a que el concreto solo permite la entrada al ión Cl^- en zonas localizadas existentes por la porosidad del mismo,

Sin embargo, en ambos casos la disolución del ánodo existe y los

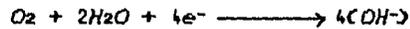
iones del hierro se disuelven en la solución como iones Fe^{2+} provocada por una fuerza electromotriz generada por la diferencia de potencial al haber contacto eléctrico entre el ánodo y el cátodo.



Con el ión Cl^{-} presente da:



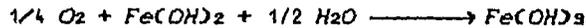
Los dos electrones disminuyen el potencial, sin embargo éste no puede disminuir infinitamente por lo que los electrones pasan a través del acero hasta el cátodo y forman iones OH^{-}



Estos iones OH^{-} transportan la carga eléctrica a través de los poros del concreto hasta el ánodo reaccionando con el Fe^{2+} y forman hidróxido ferroso



Si existe oxígeno y agua disponible este hidróxido ferroso puede ser convertido en hidróxido férrico



El cual constituye la herrumbre roja hidratada ($FeOOH + H_2O$) y en ausencia del oxígeno se forma Fe_3O_4 o magnetita

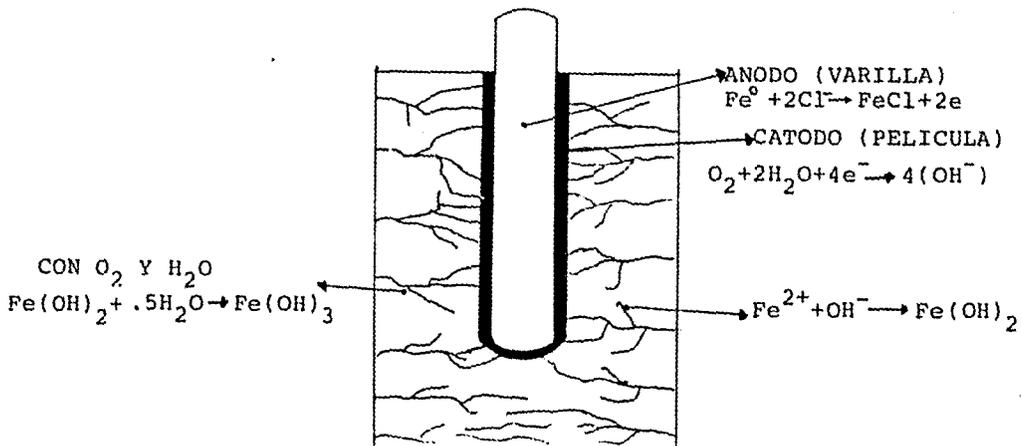


Fig. 1 Representación del sistema de corrosión del acero embebido en concreto.

Debido a que al ponerse en contacto el ión Cl^- con la película pasivante el ánodo queda sujeto a la corrosión activa, Gautefall (Ref. 1) propone las siguientes relaciones entre la concentración del ión Cl^- y la probabilidad de corrosión.

Tabla 1. Probabilidad de corrosión con base en la concentración del ión Cl^-

Concentración del ión Cl^- (% en peso de cemento)	Probabilidad de corrosión
<0.4	mínima
0.4 - 1.0	posible
1.0 - 2.0	probable
>2.0	seguro

CAPITULO 2

OBJETIVOS

- 1) *Comprobar la eficacia del sellador (Curacreto) que ofrece una mayor resistividad durante el curado al concreto, y compararlo con las resistividades obtenidas de un concreto curado por inmersión o estancamiento.*
- 2) *Verificar en las varillas embebidas en el concreto la relación resistividad vs. probabilidad de corrosión.*
- 3) *Obtener por medio de la técnica de medición de Potenciales ASTM-C-876-87-10 el diseño de gráficas experimentales de potencial vs. tiempo en días con el fin de comprobar si la película pasivante del acero es rota por la acción de los agentes despasivantes del ión Cl⁻.*
- 4) *Obtener y analizar los datos experimentales obtenidos del método de impedancia electroquímica por medio de los diagramas correspondientes de Niquist.*

CAPITULO 3

IMPORTANCIA DEL CURADO EN CONCRETO REFORZADO

El curado consiste en el mantenimiento de contenidos de humedad y de temperaturas satisfactorios en el concreto durante un período definido inmediatamente después de la colocación y acabada con el propósito que se desarrollen las propiedades deseadas. El curado tiene gran influencia sobre las propiedades del concreto endurecido como son la resistividad, durabilidad, hermeticidad, resistencia. Las superficies sujetas a la exposición son especialmente sensibles al curado, pues el desarrollo de la resistencia en la superficie puede llegar a reducirse de manera importante cuando el curado es defectuoso.

La mayoría de los concretos frescos contienen una cantidad de agua considerablemente mayor a la requerida para que tenga lugar la hidratación completa del cemento; sin embargo, cualquier pérdida de agua apreciable por evaporación o por otra manera retrasar o evitard la completa hidratación. Si la temperatura es favorable, la hidratación es relativamente rápida los primeros días después de haber colado el concreto, es importante que el agua sea retenida durante este período, es decir, que se impida o que al menos se reduzca la evaporación.

Los objetivos del curado son por consiguiente:

- 1) Prevenir (o reaprovisionar) la pérdida de humedad del concreto.*

2) Mantener la temperatura favorable en el concreto durante un periodo definido.

El método de mayor efectividad para curar concreto depende de las circunstancias, para la mayoría de los trabajos, el curado normal resulta adecuado pero en algunos casos como ocurre en los climas cálidos se requiere de cuidados especiales.

3.1 CURADO POR ESTANCAMIENTO O INMERSION

En las superficies planas tales como pavimentos y pisos, el concreto se puede curar por estancamiento. Se puede retener un tirante de agua por medio de bordes de arena o de tierra en el perímetro de la superficie de concreto. El estancamiento es un método ideal para evitar la pérdida de humedad y también es efectivo para conservar una temperatura uniforme en el concreto. El agua de curado no deberd estar en 11° mds fría que el concreto, para evitar esfuerzos por temperatura que pudieran ser causa de agrietamientos.

El método mds completo de curado con agua consiste en la inmersión total del elemento de concreto ya terminado. Este método se utiliza comúnmente en el laboratorio para curar especímenes de prueba de concreto. Cuando la apariencia del concreto sea importante, el agua que se utilice para curar por estancamiento o inmersión deberd estar libre de sustancias que manchen o decoloren el concreto. El material utilizado para los bordes también podría decolorar al concreto.

3.2 CURADO POR ROCIADO O ASPERSION

La aspersión o rociado continuo con agua es un método excelente de curado cuando la temperatura ambiente queda suficientemente por encima de la congelación y cuando la humedad es muy baja. Se debe aplicar una lluvia muy fina de manera continua a través de un sistema de boquillas o rociadores.

El costo del rociado puede ser una desventaja. El método requiere de una amplia fuente de abastecimiento y de una supervisión cuidadosa. Si el rociado o aspersión se hace a intervalos, se debe evitar que el concreto se seque entre las aplicaciones de agua, porque los ciclos alternos de saturación y secado pueden ser causa de agrietamientos irregulares en la superficie. También se deben adoptar precauciones para evitar que se presente erosión en el concreto recién acabado provocada por el agua.

3.3 CURADO POR CUBIERTAS HUMEDAS

Las cubiertas de tela saturadas con agua, como la arpillera, las esteras de algodón, las esterillas, u otras telas que retengan la humedad, se utilizan comúnmente para el curado. Ya se puede disponer de arpilleras tratadas que reflejan la luz y son resistentes al fuego y a la putrefacción.

La arpillera debe estar libre de encolados o de cualquier otra sustancia que sea dañina para el concreto o que cause decoloración. Las cubiertas de tela saturadas, capaces de retener la humedad, deberán colocarse tan pronto como el concreto haya endurecido lo suficiente para evitarle daños en su superficie, incluyendo los

bordes de las losas. Las cubiertas deberán mantenerse húmedas de manera continua, de tal suerte que una película de agua permanezca sobre la superficie del concreto durante el periodo de curado. Los ciclos alternos de saturación y secado durante el curado a edades tempranas pueden provocar agrietamientos irregulares en la superficie.

Las cubiertas húmedas de tierra, arena, o aserrín resultan ser efectivas para curar y regularmente son útiles en los trabajos pequeños.

Para curar superficies planas, se puede usar paja o forraje. La principal desventaja de las cubiertas de forraje, paja, aserrín, arena o tierra húmedos es que existe la posibilidad de decolorar al concreto.

3.4 CURADO POR PAPEL IMPERMEABLE

El papel impermeable para curar concreto consiste en dos hojas de papel kraft (o de pulpa sulfítica), cementadas entre sí por un adhesivo bituminoso con fibras de refuerzo. Este papel es un medio eficiente para curar las superficies horizontales y el concreto estructural que tenga una forma relativamente simple. Una ventaja de importancia de este método es que no se necesitan adiciones periódicas de agua. El curado con papel impermeable asegura una hidratación adecuada del concreto evitando la pérdida de humedad en el concreto.

En cuanto el concreto haya endurecido lo suficiente para evitar daños en su superficie, deberá ser saturado completamente y se le deberá colocar el papel con el mayor ancho con que se pueda contar,

El papel impermeable puede ser reutilizado si efectivamente retiene a la humedad.

El papel impermeable le brinda una cierta protección al concreto contra los daños causados por la actividad constructiva subsecuente y contra los rayos solares directos. Deberá ser de color claro y no deberá manchar al concreto. Para curar concretos que queden en el exterior en climas cálidos es preferible usar papeles con superficies superiores de color blanco.

3.5 CURADO POR LAMINAS DE PLASTICO

Las láminas de materiales plásticos, tales como los rollos de polietileno, pueden ser empleadas para curar al concreto. Los rollos de polietileno constituyen una barrera efectiva de peso ligero contra la humedad, y se pueden aplicar fácilmente en los elementos de formas simples o complejas.

El curado por medio de rollos de polietileno (o con papel impermeable), pueden provocar decoloraciones en ciertas zonas, especialmente si el concreto contiene cloruro de calcio y si se le ha dado el acabado con llana metálica. Esta decoloración es más pronunciada cuando la película se arruga, aunque es difícil y toma mucho tiempo colocar la hojas de material sin arrugas en los proyectos grandes.

Se pueden conseguir rollos negros, mismos que bajo ciertas condiciones resultan ser satisfactorios. Los rollos blancos deberán emplearse para exteriores en los climas cálidos con el propósito de reflejar los rayos del sol. Los rollos negros se pueden usar en climas templados o en locaciones interiores. Los

rollos de colores claros tienen poco efecto en lo que se refiere a absorción de calor.

Los rollos de polietileno también se pueden colocar sobre la arpillera húmeda o sobre otros materiales húmedos para retener el agua en el material de recubrimiento. Este procedimiento elimina la necesidad de trabajo manual intenso para regar continuamente los materiales de la capa de recubrimiento.

3.6 COMPUESTOS PARA CURADO FORMADORES DE MEMBRANAS (SELLADORES)

Los compuestos líquidos formadores de membranas a base de parafinas, resinas, hules clorados y solventes de alta volatilidad se pueden usar para retardar o reducir la evaporación de la humedad del concreto. Son adecuados no solamente para curar concreto recién colocado, sino también para prolongar el curado luego de la remoción de las cimbras o después del curado húmedo inicial.

Los compuestos formadores de membranas de curado se pueden clasificar en dos tipos generales: 1) claros o translúcidos, y 2) pigmentados de blanco. Los compuestos claros o translúcidos pueden llegar a contener un tinte perecedero que facilita la revisión visual de la cobertura total de la superficie de concreto cuando se aplica el compuesto. En los días cálidos y soleados, el uso de compuestos con pigmentos blancos reduce el aumento de calor provocado por el sol, reduciendo así la temperatura del concreto. Los compuestos de curado deberán ser aplicados con equipos rociadores operados manualmente o de propulsión mecánica inmediatamente después de haberle dado el acabado final al

concreto. La superficie del concreto normalmente deberá estar mojada al aplicar el recubrimiento. En los días secos y con viento, o durante los periodos en que las condiciones ambientales sean adversas y se puedan producir agrietamientos por contracción plástica, se ayudará a prevenir la formación de grietas con la aplicación de los compuestos de curado inmediatamente después del acabado final y antes que toda el agua libre en la superficie se haya evaporado.

Los compuestos de curado pueden impedir la adherencia de los concretos endurecidos con los concretos recién colados o con los materiales de superficie en los pisos.

Los compuestos para curado deberán ser uniformes y fáciles de conservar en una solución completamente homogénea. No deben correrse, escurrirse en los vértices, o recolectarse en las ranuras. Deberán formar una película resistente capaz de soportar el tránsito de la construcción sin sufrir daños, no deberán amarillarse, y deberán tener buenas propiedades de retención de humedad.

3.7 CURADO POR CIMBRAS DEJADAS EN SU LUGAR

Las cimbras brindan una protección satisfactoria contra la pérdida de humedad si las superficies expuestas del concreto se conservan húmedas. Una manguera para regar suelos es excelente para lograr esto. Las cimbras se deberán dejar en el concreto el mayor tiempo posible.

Las cimbras de madera dejadas en la obra se deberán mantener húmedas ya sea por medio de riego, especialmente en los climas

cdidos y secos. Si esto no se puede realizar, se deberán remover tan pronto esto sea práctico y se deberá comenzar sin ningún retraso algún otro método de curado.

3.8 CURADO AL VAPOR

El curado al vapor resulta ventajoso en los casos en que sea importante contar con una mejora a edad temprana, en la resistencia del concreto o en los casos en que se requiera de una cantidad adicional de calor para completar la hidratación, como ocurre en los climas fríos.

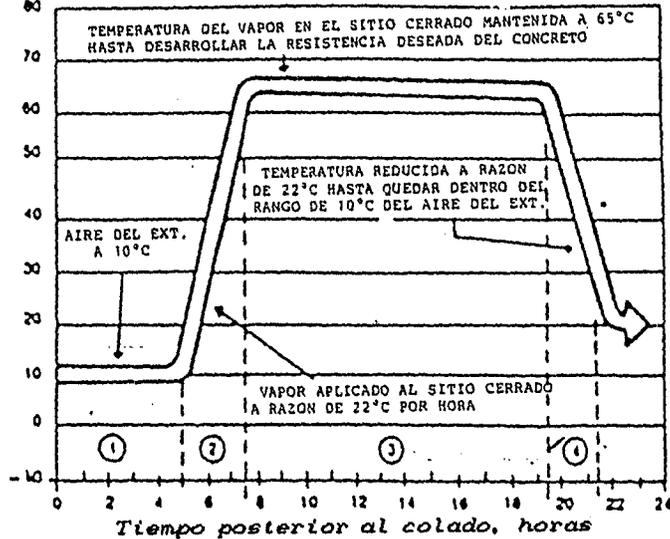
Se usan dos métodos de curado al vapor: a) vapor vivo (o directo) a presión atmosférica (para estructuras encerradas coladas en obra y para unidades grandes de concreto prefabricado) y b) vapor a alta presión en autoclaves (para unidades manufacturadas pequeñas).

Un ciclo de curado al vapor consiste de (1) un retardo inicial antes de aplicar el vapor, (2) un período para elevar la temperatura, (3) un período para mantener constante la temperatura máxima, y (4) un período para disminuir la temperatura.

fig. 2 Un ciclo típico de curado atmosférico al vapor (idealizado).

En la figura se muestra un ciclo óptimo de curado al vapor a presión atmosférica ref. 20

Temperatura dentro del sitio curado de aplicación de vapor °C



1. -Retardo inicial antes de la exposición al vapor: 2 a 5 horas
2. -Período de incremento de la temperatura: 2 1/2 horas
3. -Período de temperatura constante: 6 a 12 horas
4. -Período de descenso de la temperatura: 2 horas

El curado al vapor a presión atmosférica generalmente se efectúa en un sitio cerrado para minimizar las pérdidas de humedad y calor. Con un período de 3 a 5 horas de retraso antes de la exposición al vapor se logran la máxima resistencia a edad temprana. La temperatura del vapor en el sitio cerrado debe mantenerse a aproximadamente 65°C hasta que se haya desarrollado la resistencia deseada del concreto.

Se deben evitar velocidades excesivas de calentamiento y de enfriamiento para evitar dañar a los elementos debido a cambios volumétricos.

El tiempo que se requiera dependerá de la temperatura del vapor y de la mezcla de concreto en el sitio cerrado.

3.9 CURADO POR MANTAS O CUBIERTAS AISLANTES

Cuando las temperaturas lleguen a caer por debajo de 0°C, se pueden utilizar capas de materiales secos y porosos, como la paja y el forraje, para proporcionar aislamiento contra la congelación del concreto.

La cimbra se puede aislar de manera económica con colchas comerciales o con aislantes de material fibroso cuyas cubiertas no permitan el escape de la humedad. Las colchas aislantes adecuadas están hechas de fibra de vidrio, hulesponja. Cuando se usen cimbras aisladas, se deberá tener la precaución de asegurarse que las temperaturas del concreto no lleguen a ser excesivas.

3.10 CURADO POR METODOS ELECTRICOS, CON ACEITE, Y CON RAYOS INFRARROJOS

Desde hace muchos años se dispone de métodos para curado normal y acelerado del concreto por medio de electricidad, aceite caliente, y rayos infrarrojos. Dentro de los métodos eléctricos se incluye una cierta variedad de técnicas: el uso del acero de refuerzo como elemento de calefacción, las mantas eléctricas, y el uso de las cimbras de acero calentadas eléctricamente. La calefacción eléctrica es especialmente útil para los colados en climas fríos.

A través de las cimbras de acero se puede hacer que circule el aceite caliente para calentar al concreto. Los rayos infrarrojos han tenido un empleo limitado en el curado acelerado del concreto. El concreto que se cura con rayos infrarrojos queda normalmente bajo una cubierta o es encerrado en cimbras de acero.

CAPITULO 4

METODOS EXPERIMENTALES

Para la corrosión de acero embebido en concreto se pueden utilizar varias pruebas no destructivas que nos orienten al paso del tiempo del estado en que guarda la estructura al ser expuesta a agentes corrosivos. Cabe señalar que la técnica para la determinación de potenciales fue utilizada durante el curado del concreto como antes y después de la medición de la técnica de Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIS).

Entre algunos de los métodos se encuentran:

- Determinación de los potenciales de corrosión.*
- Determinación de la resistividad eléctrica del concreto por la técnica de Wenner o de los 4 puntos.*
- Seguimiento del proceso electroquímico de corrosión por medio de la técnica de Espectroscopia de Impedancia Electroquímica.*

Cabe señalar que al aplicar los 3 métodos se obtiene un análisis bastante confiable del estado que guarda nuestra estructura al paso del tiempo.

4.1 TECNICA PARA LA DETERMINACION DE LOS POTENCIALES DE MEDIA CELDA DEL ACERO DE REFUERZO EN EL CONCRETO.

La detección de la corrosión en estructuras de concreto por medio de esta técnica permite la localización de áreas donde se presente

la corrosión activa, más no determina la magnitud del problema.
El método para la determinación de los potenciales de media celda
aquí representado, está basado en la norma ASTM-C-876-87-10
(ref. 2)

ALCANCE

1. - Este método abarca el estimado del potencial de acero de refuerzo en el concreto, con el propósito de determinar la actividad de corrosión del acero.
2. - Este método está limitado por la existencia de un circuito eléctrico. Una superficie de concreto que se ha secado completamente, de tal manera que se comporte como un material dieléctrico o que haya sido cubierto por una película dieléctrica no se comportará como un circuito eléctrico.

USOS

1. - Este método puede ser usado para indicar la actividad de corrosión asociada con el acero embebido en concreto en muestras de campo o de laboratorio.
2. - Este método es aplicable a cualquier muestra, sin importar el tamaño o la profundidad de la cubierta de concreto sobre el acero de refuerzo.
3. - Este método puede ser usado en cualquier momento durante la vida del concreto.
4. - Los resultados obtenidos por este método no deberán ser considerados como un medio para estimar las propiedades estructurales del acero o del concreto.

EQUIPO

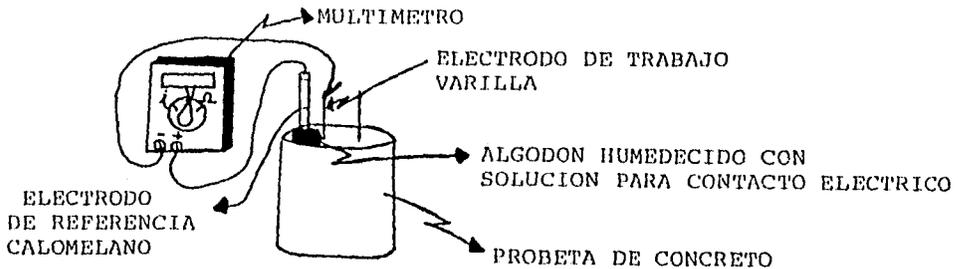
El equipo de prueba consiste en lo siguiente:

1. - Un electrodo de referencia (calomelano $Hg/H_2Cl_2/KCl$ o media celda). Este electrodo está formado por mercurio cubierto por una capa de Hg_2Cl_2 y posteriormente una solución de cloruro de potasio, KCl , que puede ser 0, 1 N, 1 N, o saturada. El contacto eléctrico con el mercurio se realiza por medio de un hilo de platino. La reacción del electrodo del calomel es: $Hg_2Cl_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2Hg + 2Cl^-$, así pues si el electrodo actúa como ánodo (-) la reacción se desplaza hacia la izquierda, (oxidación) si el electrodo actúa como cátodo (+), la reacción se desplaza hacia la derecha (reducción). Este tipo de electrodo se utiliza a nivel laboratorio en la mayoría de los casos.
2. - Voltímetro. El voltímetro debe tener la capacidad para ser operado con batería y tener una exactitud de $\pm 3\%$ de la escala mínima.
3. - Electrodo de trabajo. Como electrodo de trabajo tenemos a la varilla de acero embebida en concreto, en la cual las impurezas usuales no tienen efecto significativo en la velocidad de corrosión en la atmósfera, agua natural, o tierra pero tienen un efecto marcado en el caso de ataques ácidos y de cloruros.
4. - Unión eléctrica. Se debe usar un dispositivo de unión eléctrica para proporcionar un puente líquido de baja resistencia eléctrica entre la superficie del concreto y la media celda, este puede consistir de una esponja humedecida con una solución de baja resistencia eléctrica.
5. - Solución para contacto eléctrico. Esta solución es la que se

le agrega a la unión eléctrica que se coloca entre la superficie del concreto y la media celda.

Esta solución varía dependiendo el momento en que se efectuara la medición: 1) En la medición de potenciales durante el curado del concreto nuestra solución para el contacto eléctrico fue agua potable, 2) Para las mediciones de potencial cuando se midió la impedancia la solución fue una solución al 3% de cloruros.

fig. 3 Conexión del sistema de potenciales de media celda del acero embebido en concreto



PROCEDIMIENTO

1. - Espaciado entre lecturas. Se considera conveniente un espaciado de 1.2m. para la evaluación de puentes de manera general, un mayor espaciado aumenta la probabilidad de no detectar áreas de corrosión local.

2. - Conexión eléctrica de la media celda. Hacer una conexión eléctrica directa al acero de refuerzo por medio de una calámn. En algunos casos, esta técnica puede requerir la remoción de concreto para exponer el acero de refuerzo. Conectar el refuerzo metálico a la terminal negativa del voltímetro debe determinarse

la conductividad eléctrica de los componentes del acero con el acero de refuerzo por la medición de la resistencia entre dos componentes ampliamente separados en la estructura.

3. - *Conexión eléctrica de la media celda.* Conectar eléctricamente una terminal del cable a la media celda y el otro extremo a la terminal positiva del voltímetro.

4. - *Mojado previo de la superficie de concreto.* Bajo ciertas condiciones, la superficie de concreto debe ser mojada. Una prueba para determinar la necesidad de mojado puede hacerse como sigue:

- Colocar la media celda sobre la superficie de concreto y mantenerla fija.

- Observar en el voltímetro una de las siguientes condiciones:

a) El valor de la lectura del potencial de media celda no cambia con el tiempo, o

b) La lectura del potencial de media celda varía con el tiempo.

De observar la condición a) no es necesario mojar la superficie de concreto; sin embargo, si se observa la condición b), es necesario mojarla durante el tiempo necesario para que la lectura del voltaje permanezca constante durante al menos 5 min.

Al efectuar las mediciones debe tenerse cuidado o asegurarse de que la punta del calomelano esté humedecida con la solución para el contacto eléctrico sobre la superficie del concreto.

REPRESENTACION DE DATOS

Las mediciones obtenidas pueden ser representadas por 2 diagramas, el primero una representación del potencial vs el tiempo en días que proporciona la tendencia de pasivación o activación del proceso electroquímico sobre la varilla embebida en concreto. El segundo, un diagrama de Pourbaix que al sustituir los datos de potencial a un $\text{pH} = 12.5$ (ref, 3) se obtienen los tipos de compuestos formados en la interfase varilla-concreto. Este diagrama se elaboro tomando un diagrama de pourbaix de la ref, (11), en el cual se extrapolaron las líneas de equilibrio hasta un pH de 14, ya que el pH de la interfase varilla concreto es de mas o menos 12, 5.

INTERPRETACION DE RESULTADOS

Los voltajes medidos son referidos a la media celda cobre-sulfato de cobre,

1. - Si los potenciales en un área son numéricamente mayores que -200mV CSE^* , la actividad de corrosión del acero de refuerzo en esta área es muy baja.
2. - Si los potenciales de un área se encuentran en el intervalo de -200 a -350mV CSE^* , la actividad de corrosión del acero de refuerzo en esta área es una probabilidad incierta.
3. - Si los potenciales de un área son numéricamente menores que -350mV CSE^* , hay una probabilidad mayor al 90% de que la corrosión del acero de refuerzo esté ocurriendo en esa área al tiempo de efectuar la medición.
4. - Al obtener lecturas positivas, éstas no deberán ser

consideradas como válidas pues esto indica humedad insuficiente.

PRECISION

1. *— La diferencia entre dos lecturas de media celda tomadas en el mismo punto con la misma celda no deberd exceder 10mV CSE* cuando la celda es desconectada y reconectada.*
2. *— La diferencia entre dos lecturas de media celda tomadas en el mismo punto con dos calomelanos diferentes no deberd exceder 20mV CSE*.*

4.2 TÉCNICA DE ESPECTROSCOPIA DE IMPEDANCIA ELECTROQUIMICA

La utilización de la espectroscopia de impedancia electroquímica en nuestros días es una gran herramienta para la investigación de procesos interfaciales.

Esta técnica permite llegar a conocer la velocidad con la que el acero en el concreto se va corroyendo.

**Electrodo de Cu/CUSO₄ SAT.*

El método de medición de potencial de media celda puede ser usado junto con este método para evaluar la probable velocidad de corrosión. Es llamada E. I. S. que significa Electrochemical impedance spectroscopy.

ALCANCE Y USOS

1. *— Este método abarca un intervalo de barrido de frecuencias de 10⁶ hasta 10⁻⁴Hz permitiendo así que un gran número de procesos interfaciales lleguen a ser investigados.*
2. *— Este método da la oportunidad de poder conocer la velocidad de corrosión de nuestra varilla embebida en concreto por medio de la*

obtención de sus respectivos diagramas de Nyquist y Bode.

3. - Este método permite hacer el modelado del proceso de corrosión mediante la obtención de los circuitos eléctricos equivalentes.

EQUIPO

El equipo de prueba consiste en lo siguiente:

1. - Electrodo de referencia (ver inciso 4.1 del equipo de prueba de la determinación de los potenciales de media celda).

2. - Electrodo de trabajo (ver inciso 4.1 del equipo de prueba para la determinación de potenciales de media celda).

3. - Electrodo auxiliar. Sirve para cerrar el circuito de electrólisis y por lo general es de un material inatacable por el medio en que se realiza la experiencia (platino, grafito o acero inoxidable).

4. - Analizador de respuestas de frecuencia CV-2001 Capcis Voltech. Es un instrumento electrónico que permite imponer a una muestra metálica colocada en un medio líquido y conductor un potencial variable, positivo o negativo con respecto al electrodo de referencia. La medición se repite usando diferentes frecuencias, para acero en concreto es común medir a frecuencias que van desde 100 mHz hasta 10KHz. Este aparato es utilizado con una corriente AC.

5. - Graficador automático. Este equipo registra el voltaje y la corriente resultante en función del tiempo.

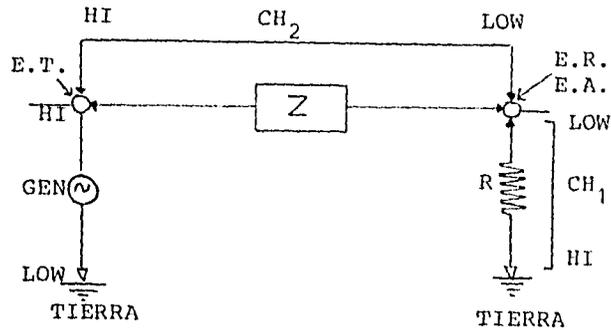
6. - Solución para el contacto eléctrico. Esta solución es la que sirve para la unión eléctrica (solución de 3% de Cl⁻)

PROCEDIMIENTO

1. - Sumergir las probetas en la solución para el contacto eléctrico cuidando que la solución no sobrepase la parte superior de la probeta.

2. - Conexión eléctrica. La conexión eléctrica del sistema electrolítico con el analizador de respuesta de frecuencia (descripción del equipo) se muestra en la fig. 4.

Fig. 4 Representación del circuito eléctrico para conectar el analizador de respuesta de frecuencia al sistema de acero en concreto.



En donde CH₁ y CH₂ son los canales del analizador de respuesta de frecuencia, R es la resistencia del sistema, HI y Low son los polos de cada canal. ER es electrodo de referencia (calomelano), EA es electrodo auxiliar (Pt, grafito o inoxidable), ET es electrodo de trabajo (varilla embebida en concreto)

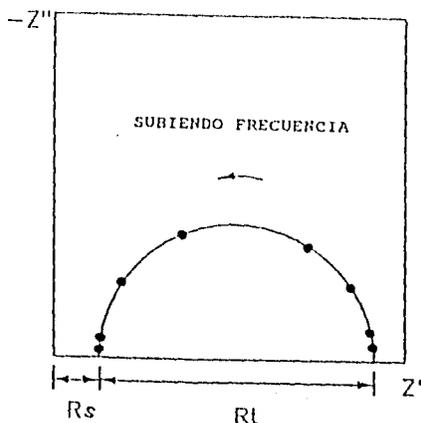
3. - Conectar el analizador de respuesta de frecuencia al graficador automático, el cual nos dará la representación gráfica de los datos obtenidos de un barrido a frecuencias de 100 mHz hasta 10KHz.

REPRESENTACION DE DATOS

Las mediciones de prueba pueden ser representadas básicamente en 2 tipos de diagramas: los de Nyquist y Bode.

1. - *Diagrama de Nyquist.* Es una representación gráfica de datos de impedancia imaginaria en el eje de las ordenadas vs, la impedancia real en las abscisas obteniendo un semicírculo con base en el eje x (abscisas) en el cual su diámetro es la resistencia de polarización (R_p) con la cual se obtiene la velocidad de corrosión y en un sistema simple es igual a la Resistencia de transferencia de carga (R_t).

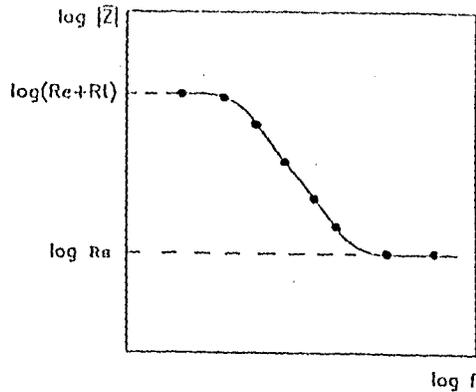
Fig. 5 Diagrama de Nyquist



2. - *Diagrama de Bode.* Es la variación de (Z) con respecto a la frecuencia, graficada en un plano \log , vs, \log . La presencia de resistencias en el circuito provocan mesetas horizontales, mientras que los capacitores arrojan trazos de pendientes negativas y los inductores de pendientes positivas. En general, estos diagramas tienen forma de "s" invertida cuando el circuito no tiene inductancias.

De la misma manera que del diagrama de Nyquist, obtener la resistencia de polarización (R_p), basta con restar los límites de alta y baja frecuencia.

Fig. 6 Diagrama de Bode, Ref. (4)



INTERPRETACION DE RESULTADOS

Con la resistencia de polarización (R_p) obtenida de nuestros diagramas de Nyquist y de Bode, podemos calcular la velocidad de corrosión de la siguiente manera (ref. 4).

$$I_{\text{corr.}} = B/R_p$$

donde B es una magnitud determinada por las características cinéticas de las reacciones de corrosión del sistema, que para el sistema acero concreto es igual a 0.026. R_p es la resistencia de polarización, $I_{\text{corr.}}$ es la densidad de corrosión, esta última se puede convertir aproximadamente en velocidad de corrosión ($V, C.$) expresada en mm, por año usando la fórmula:

$$V, C. (\text{mm/año}) = I_{\text{corr.}} (\mu\text{A/cm}^2) \times 0.011$$

Tabla 2. Relación del Rp con la velocidad de corrosión.

Rp (Ohms)	V C, (mm/año)
10	28.6
100	2.86
1000	0.286
10000	0.0286
100000	0.00286

PRESICION

La precisión de este método depende de la facilidad de lectura del Rp (o Rt dependiendo el caso) en los diagramas de Nyquist o Bode.

4.3 TECNICA DE WENNER O DE LOS 4 PUNTOS PARA MEDIR RESISTIVIDAD EN CONCRETO

La resistividad de un material está definida como la resistencia de un cubo de tamaño unitario. De aquí que la resistividad de una sección cilíndrica de longitud L y sección A está dada por:

$$\rho = \frac{RA}{L}$$

donde:

R es la resistencia de la muestra.

El uso de un sistema de corriente directa para la determinación de la resistividad trae como consecuencia la polarización del electrolito y la formación de hidrógeno y oxígeno en los electrodos; para evitar esto, es necesario el uso de un sistema de corriente alterna con una frecuencia en el intervalo de 50 a 1000Hz.

Por otro lado, la extracción de un corazón cilíndrico de concreto de una estructura cada vez que sea necesaria una medición de resistividad es poco práctica y económica. Si se usara un extractor de corazones de tipo diamante lubricado con agua alteraría la resistividad del material al modificar el contenido de humedad del mismo.

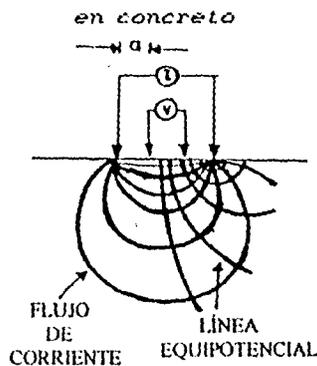
Así pues, una técnica empleada para determinar la resistividad del concreto de manera rápida y fácil —sin dañar la estructura—, consiste en hacer pasar una magnitud de corriente alterna entre dos electrodos en contacto con la superficie del concreto (ver fig. 1) en un material homogéneo semi infinito se crea un campo de flujo clásico de la medición de la diferencia de potencial a través de los otros dos electrodos, colocados entre los electrodos de corriente, puede evaluarse la resistividad del material. El uso de cuatro electrodos equiespaciados es conocido como el arreglo de Wenner (ver fig. 1) la resistividad obtenida usando el arreglo de Wenner está dado por:

$$\rho = 2\pi a V/I$$
$$\rho = 2\pi Ra$$

donde:

a es el espacio entre electrodos,

Fig. 7 Método de Wenner para la determinación de la resistividad



Cuando se aplica el método de la resistividad de cuatro puntos en concreto hay tres aspectos que deben tomarse en cuenta para obtener resultados confiables.

1. — El concreto es un material eléctrico heterogéneo especialmente el reforzado con varilla de acero.
2. — Una estructura podría no ser "semi infinita" en tamaño, y
3. — Podría haber dificultades en el contacto superficial entre los electrodos y la superficie del concreto. Esto puede causar errores significativos cuando la superficie del concreto está seca.

Cabe destacar que el espacio o arreglo de Wenner está determinado por la superficie del concreto a medir. Si el espaciado es muy pequeño, la presencia o ausencia de partículas individuales agregadas, que casi siempre tienen alta resistividad, conduciría a un disparo del valor de la resistividad. En cambio, al usar un espaciado grande puede conducir a inexactitud en la lectura debido a una constricción del campo de corriente por las orillas de la estructura; estos efectos son inevitables, y no deben ser

ignorados al interpretar los resultados.

Cabe señalar que no hay un método establecido como norma oficial para la determinación de la resistividad en el concreto; por lo que, en base a lo arriba señalado y por analogía con la norma para la determinación de potenciales de media celda se propone uno,

Este método está basado en el artículo de Millard, S. G, Harrison, J. A. & Edwards, A. J.: *Measurement of the electrical resistivity of reinforced concrete structures or the assesment of corrosion risk* (ref. 10).

ALCANCE

1. - Este método cubre la determinación de la resistividad del concreto, con el propósito de determinar la actividad de corrosión del acero embebido en el concreto.
2. - Este método está limitado por la existencia de un circuito eléctrico. Una superficie de concreto que se ha secado completamente, de tal manera que se comporte como un material dieléctrico, o que haya sido cubierto por una película dieléctrica no se comportará como un circuito eléctrico.

USOS

1. - Este método puede ser usado para indicar la actividad de corrosión asociado con el acero embebido en concreto en muestras de campo o de laboratorio.
2. - Este método es aplicable a cualquier muestra, pero es bien importante la relación entre el espesor de la cubierta de concreto sobre el acero de refuerzo y la separación entre los electrodos.

3. - Este método puede ser usado en cualquier momento durante la vida del concreto.

4. - Los resultados obtenidos por este método no deberán ser considerados como un medio para estimar las propiedades estructurales del acero o del concreto.

EQUIPO

El equipo de prueba consiste de lo siguiente:

1. - Cuatro electrodos de cobre-sulfato de cobre saturado. Cada electrodo consiste de un tubo rígido, cuyo diámetro interior no deberá ser mayor a 4mm., con un tapón poroso de madera para que permanezca húmedo por acción capilar, y un alambre de cobre sumergido en una solución saturada de sulfato de cobre, la cual es inyectada con una jeringa de vidrio o plástico.
2. - Aparato para determinación de la resistencia. El aparato debe ser operado con corriente alterna, con una frecuencia de 50 - 1000Hz, y tener una exactitud de $\pm 3\%$ de la escala mínima. El aparato puede ser del tipo Soil Resistance Meter, Model 400, Nilsson Electrical Laboratory INC, o similar.
3. - Caimanes. Para unir eléctricamente el circuito formado por el concreto y el aparato para la determinación de la resistividad.

PROCEDIMIENTO

1. - Espaciado electrodos. Se considera conveniente un espaciado de 2cm para la evaluación de cubiertas de concreto. Millard encontró que el 77% de la corriente fluye a lo largo de 4a. es decir, cuatro veces la separación entre los electrodos, por lo que

es bien importante que el espaciado entre los electrodos sea como máximo $1/4$ del espesor de la capa de concreto de esta manera el error debido a la constricción del flujo es menor al 20%.

2. - *Conexión eléctrica al concreto.*

- a) *Hacer cuatro incisiones en el concreto con una broca cuyo diámetro sea igual al diámetro exterior de los electrodos, y a una profundidad de aproximadamente 5mm.*
- b) *Colocar uno a uno los electrodos en cada orificio, poniendo cuidado en que realmente haya contacto entre el concreto y el tapón poroso de cada electrodo, de ser necesario, sujetar con plastilina cada uno de los electrodos.*
- c) *Los dos electrodos del centro, o interiores, se conectan con calmanes a los bornes de potencial del aparato; los electrodos de los extremos se conectan a los bornes de corriente del aparato.*

3. - *Determinar los valores de resistencia de cada muestra:*

- a) *Colocar la manija de resolución de barrido en posición de baja sensibilidad (low, hacia abajo) y mantenerla en esa posición, mientras que se coloca la perilla del factor de escala en uno tal que la aguja indicadora sea lo suficientemente sensible para efectuar la lectura, esto es, con la perilla de medición, hacer coincidir la aguja con el centro de la escala. Una vez hecho lo anterior, se libera la posición de baja resolución.*
- b) *Se coloca la manija de resolución de barrido en la posición de fino (hacia arriba) y con la perilla del valor de la lectura se hace coincidir nuevamente la aguja con el centro*

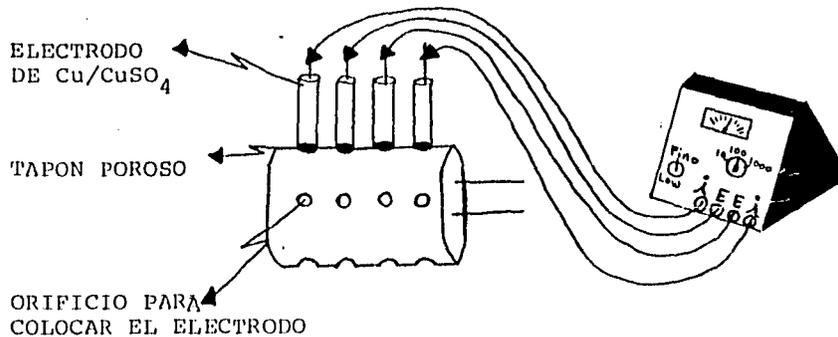
de la escala.

c) Este último valor, multiplicado por el factor de escala (1, 10, 100 Ohms o 1, 10, 100 o 1000KOhms), es el de la resistencia de la muestra de concreto.

4. - Cuidados de los electrodos. El tapón poroso de cada electrodo deberá permanecer húmedo aún cuando no se use. Para asegurarse que no lleguen a secarse se deberán mantener los electrodos en un vaso con agua destilada.

Verificar que el nivel de la solución saturada de sulfato de cobre permanezca constante en cada electrodo a lo largo de toda la prueba.

fig. 8 Conexión de las varillas embebidas en concreto por el método de resistividad eléctrica



REGISTRO DE LOS VALORES DE RESISTIVIDAD ELECTRICA DEL CONCRETO

Registrar los valores de la resistencia eléctrica, ya que con éstos se calcula el valor de la resistividad del concreto.

PRESENTACION DE DATOS

Las mediciones de prueba deben ser presentadas en tablas en las que se indique la etiqueta de la muestra, la lectura de la resistencia, las condiciones del espécimen al momento de efectuar la medición (si se encontraba seco, húmedo o si se dejó en una atmósfera saturada), así como la temperatura ambiental al momento de hacer las mediciones.

INTERPRETACION DE RESULTADOS

La prueba de laboratorio de los especímenes de concreto indica el valor numérico de la resistencia, con lo cual, se calcula el valor de la resistividad. La resistividad es referida a electrodos de cobre/sulfato de cobre.

- 1. - Si la resistividad de una muestra es mayor de $12 K\Omega cm$, es poco probable que el refuerzo en el concreto se encuentre corroído.*
- 2. - Si el valor de la resistividad se encuentra en el intervalo de $5 - 12 K\Omega cm$, la actividad de corrosión del acero de refuerzo en la muestra es probable.*
- 3. - Si la resistividad de la muestra es menor a $5 K\Omega cm$, la presencia de corrosión es muy probable.*

PRECISION

- 1. - El valor de la resistencia eléctrica del concreto no debe variar durante al menos 5 minutos.*

CAPITULO 5

DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1 PREPARACION DE PROBETAS DE CONCRETO CON VARILLAS EMBEBIDAS.

Para la preparación de las probetas de concreto, se utilizó cemento Portland I de uso convencional, el cual está formado por silicato tricálcico (3CaO SiO_2), silicato dicálcico (2CaO SiO_2), aluminato tricálcico ($3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$), Aluminoferrito tetracálcico ($4\text{CaO Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$).

Las relaciones utilizadas para dicha preparación fueron

$$\frac{\text{cemento}}{\text{arena}} = 0.3$$

$$\frac{\text{agua}}{\text{cemento}} = 0.61$$

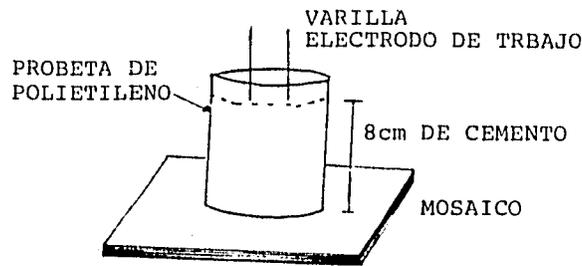
* Nota. La relación agua cemento es un poco más grande a la convencional que es de 0.5, debido a que con esta relación no se obtenía la consistencia adecuada.

Una vez preparado el cemento fue agregado a probetas cilíndricas de polietileno, fijadas por una de las bases a un mosaico y a una altura aproximada de 8cm.

Un factor importante es el aire que pueda permanecer dentro del cemento ya que si así fuese, el cemento obtendría una menor resistencia a la compresión de manera que fue retirado dándole golpes en la base de la probeta sobre una superficie plana.

Las varillas (electrodo de trabajo) son sumergidas al concreto fresco con una distancia de 3.5cm, entre ellas.

Fig. 9 Representación de la preparación de las probetas de concreto



Las probetas de concreto fueron retirados 8 horas después ya que habían obtenido una cierta dureza, desprendiendo la probeta cilíndrica de polietileno,

A partir de este momento se deben poner las probetas a curar porque empiezan a perder humedad, por lo tanto dos probetas fueron sumergidas en agua potable como testigos para curarse. A otras dos probetas se les aplicó el sellador previamente preparado, el cual se preparó diluyendo un volumen de curacreto por un volumen de agua limpia (según especificaciones del fabricante). Este producto fue aplicado por aspersión mecánica sobre toda la superficie de la probeta de concreto tres veces, formando una membrana la cual permite que el agua incluida en el cemento no se evapore, al contrario, que esta agua permanezca en él y con ella se cure,

El curado de las probetas dura 28 días, tiempo en el cual obtiene una mayor resistencia a la compresión (ref. 20).

** Nota En este trabajo se nombra al concreto como a la mezcla cemento, arena y agua sin agregados gruesos debido a que las probetas fueron elaboradas para experimentación en laboratorio.*

5.2 MEDICION DE POTENCIALES DE MEDIA CELDA.

La medición de los potenciales de media celda se realizó durante el curado, como también durante la medición de espectroscopia de impedancia electroquímica.

La medición de los potenciales de media celda durante el curado fue hecha solo en las probetas testigo, o sea las probetas curadas por inmersión, debido a que en las probetas a las cuales se les aplicó el sellador, no se podía medir el potencial ya que la membrana impide el contacto entre el concreto y el electrodo de referencia (calomelano).

Esta técnica fue aplicada sobre las probetas en días alternados, es decir, se realizó un seguimiento sobre las probetas.

1. - Se conectó el voltímetro de la siguiente manera: Con la ayuda de un cable con terminales catmán-banana, se conectó la varilla a la terminal negativa del voltímetro. La terminal del calomelano se conectó a la parte positiva del voltímetro.

2. - La superficie del concreto se humedecía para lograr un buen contacto entre concreto-calomelano. Algunas veces no era suficiente esta ya que la lectura de potencial de media celda no se estabilizaba por lo que había que recurrir a una esponja humedecida con la solución de contacto eléctrico (agua potable) para lograr la lectura del potencial.

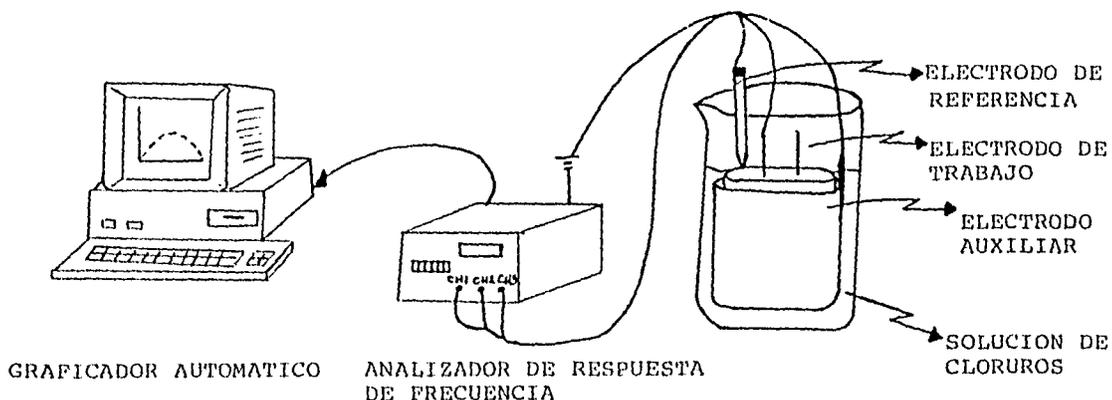
3. - Esta medición se realizaba sobre las 2 varillas de acero embebidas en el concreto, previamente marcadas.

Durante la técnica de espectroscopia de impedancia electroquímica la medición de potenciales de media celda se realizó antes y después de la medición de impedancia con el fin de analizar la variación del potencial. La medición se realizó de la misma manera antes descrita.

5.3 MEDICION DE LA TECNICA DE ESPECTROSCOPIA DE IMPEDANCIA ELECTROQUIMICA

Esta prueba se realizó 28 días después (tiempo durante el cual las 4 probetas se curaron), de haberse preparado las probetas. Para el desarrollo de esta técnica las 4 probetas (ya curadas) fueron introducidas en una solución al 3% de cloruros (agua de mar sintética), y así proceder a la medición de espectroscopia de impedancia electroquímica con el fin de realizar el seguimiento de la velocidad de corrosión en las varillas embebidas en concreto. Esta medición solo se realizó sobre una varilla, debido a que durante el seguimiento del potencial de media celda fue la que mostró un mejor comportamiento. La conexión eléctrica del sistema electroquímico con el analizador de respuesta de frecuencia se realizó de la misma manera a la indicada en el inciso 4.2, solo que como electrodo auxiliar se utilizó un electrodo de acero inoxidable, el cual se colocaba alrededor de la probeta sumergida en la solución del cloruros, cuidando que no hubiese contacto entre estos.

fig. 10 Conexión del sistema de Impedancia Electroquímica



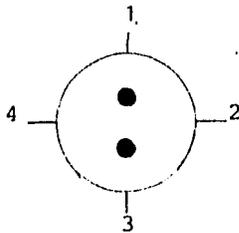
Una vez instalado el equipo se procedía a alimentar en el analizador de respuesta de frecuencia los datos de amplitud, frecuencia desde 10KHz hasta 100 mHz y número de barridos de 15 pasos entre otros. El analizador de respuesta de frecuencia además de ir conectado al sistema, iba conectado a un graficador automático que en este caso se utilizó el Software de Capcis/UMIST el cual registra paso a paso cada medición de impedancia obtenida por el analizador de respuesta de frecuencia a diferentes frecuencias y simultáneamente va graficando estos resultados sobre los diagramas de Nyquist y Bode y durante la medición se hacía un análisis visual del comportamiento que iba mostrando el sistema en ese momento, y así irse dando cuenta si el sistema estaba siendo medido correctamente y si no suspender la medición, revisar las conexiones y volver a echar a andar el equipo.

5.4 MEDICION DE LA RESISTIVIDAD POR MEDIO DEL METODO DE LOS 4 PUNTOS O DE WENNER.

El desarrollo experimental de esta técnica se elaboró basándose en la técnica descrita en el inciso 4.3, se aplicaron algunas variantes para el mejor estudio de la resistividad de las probetas de concreto indicadas a continuación:

1. - La probeta de concreto se dividió en 4 partes y en cada parte se midió la resistividad obteniendo 4 valores de resistividad por probeta. Indicado en la fig. 11.

VISTA PANORAMICA



POSICIONES

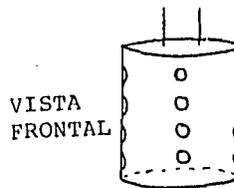


Fig. 11 Lugares en donde se efectuaron las mediciones de resistividad sobre las probetas de concreto.

2. - Las incisiones sobre las probetas de concreto se hicieron tomando una distancia entre ellas de 1.5cm entre cada una,

3. - Se debe tener cuidado en el tapón de madera porosa, el cual se coloca en la parte inferior de nuestro electrodo de $Cu/CuSO_4$ sat., y se debe cuidar que el nivel de $CuSO_4$ esté siempre igual en los 4 electrodos.

CAPITULO 6

RESULTADOS

6.1 REPORTE DE POTENCIALES DE MEDIA CELDA. TOMADOS DURANTE EL CURADO DEL CEMENTO.

Las lecturas mostradas se tomaron en días alternados para realizar el seguimiento del potencial de media celda de la varilla de acero embebida en concreto.

Sólo se midieron potenciales de media celda durante el curado sobre las probetas curadas por inmersión en agua potable, debido a que las probetas a las cuales se les aplicó el sellador no se les podía medir el potencial por la membrana dieléctrica que forma el sellador sobre la superficie del concreto.

Los datos obtenidos de potencial de media celda de la varilla marcada como 1, se muestran a continuación:

Tabla 3. Reporte de mediciones de potenciales de media celda, durante el curado, Varilla 1 (en ambas probetas)

<i>Tiempo en días</i>	<i>Probeta 3</i>	<i>Probeta 4</i>
	<i>Potencial (volt)</i>	<i>Potencial (volt)</i>
1	-0.495	-0.489
2	-0.475	-0.439
3	-0.453	-0.419
4	-0.427	-0.377
5	-0.408	-0.347
6	-0.388	-0.330
7	-0.385	-0.327
12	-0.286	-0.287
14	-0.278	-0.291
16	-0.271	-0.278
19	-0.272	-0.279
20	-0.282	-0.292
23	-0.309	-0.288
26	-0.371	-0.277
28	-0.303	-0.282

FIGURA No. 12 DIAGRAMA DE POURBAIX
 PARA DURANTE EL CURADO DEL CONCRETO
 VARILLA No. 1

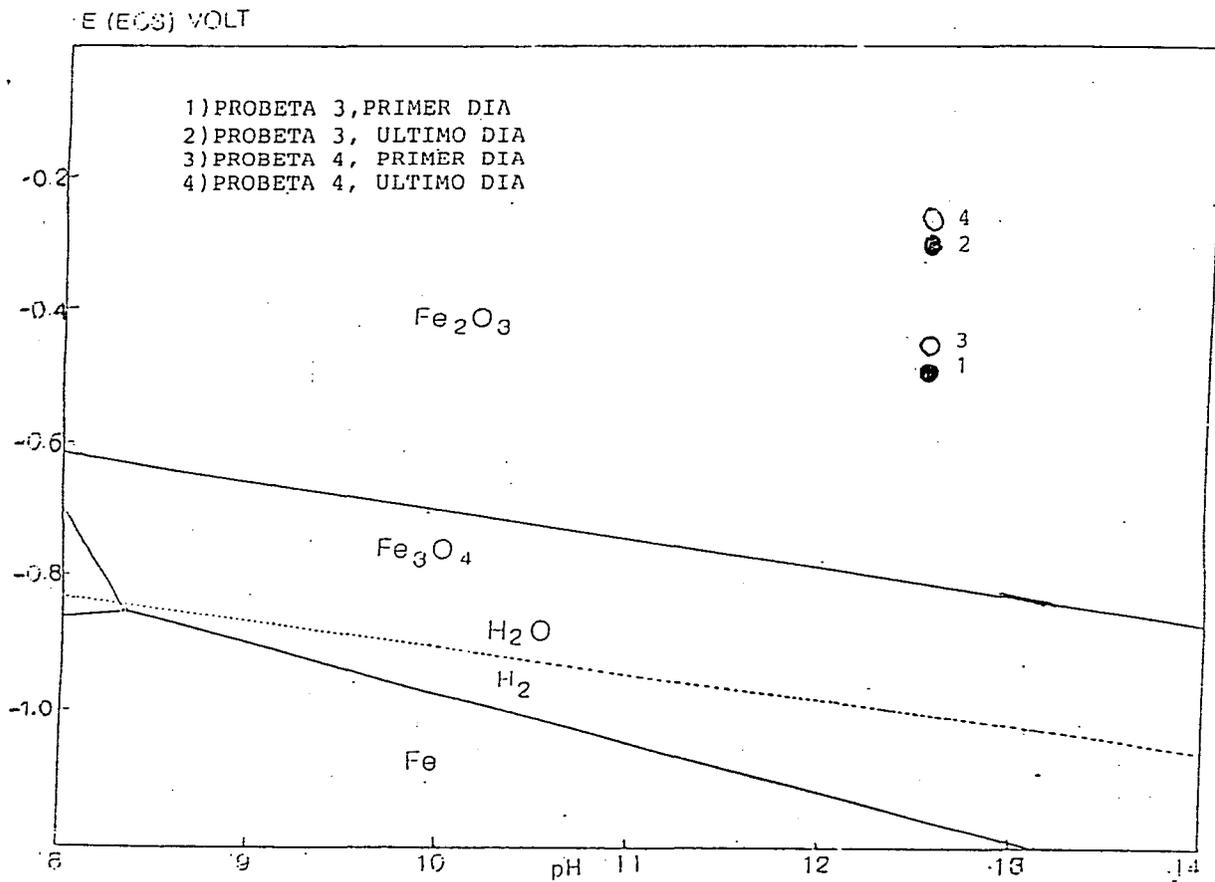
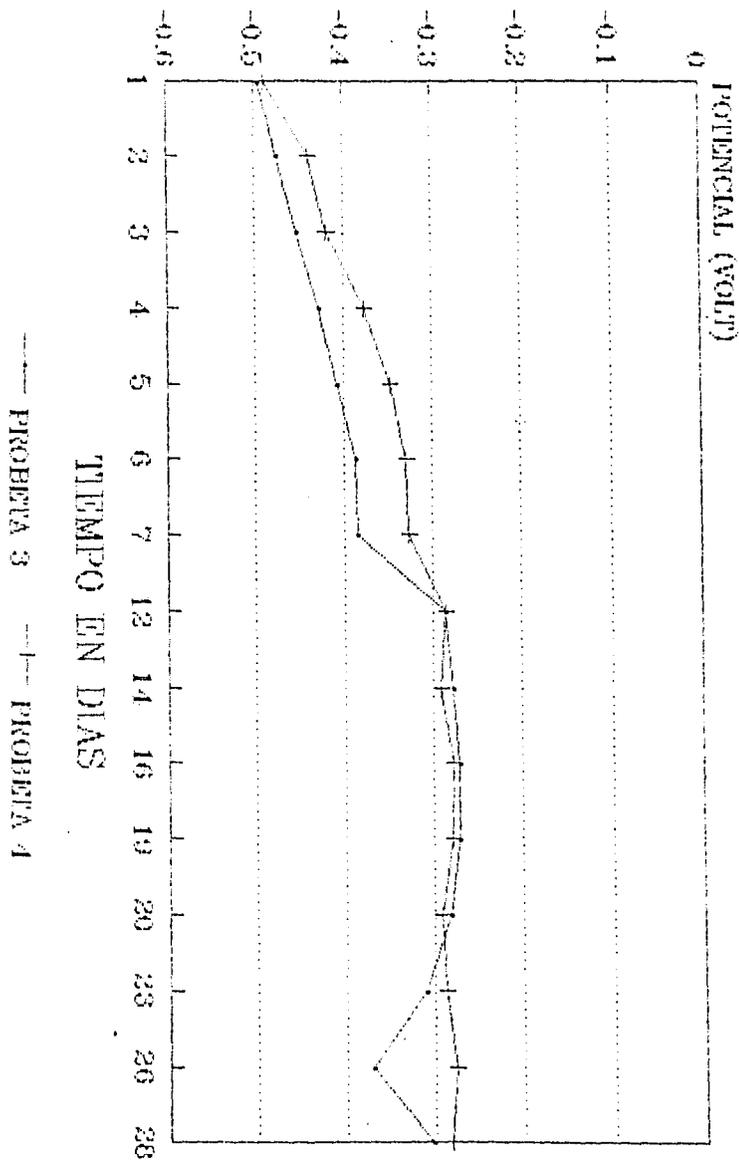


FIG. 13 MEDICION DEL POTENCIAL DURANTE EL CURADO POR INMERSION VARILLA No.1



Los datos obtenidos del potencial de media celda de la varilla
marcada como 2 se muestran a continuación:

Tabla 4. Reporte de mediciones de potenciales de media celda
durante el curado, Varilla 2 (en ambas probetas)

Tiempo en días	Probeta 3	Probeta 4
	Potencial (volt)	Potencial (volt)
1	-0.478	-0.540
2	-0.382	-0.504
3	-0.362	-0.470
4	-0.329	-0.426
5	-0.279	-0.388
6	-0.338	-0.347
7	-0.380	-0.344
12	-0.318	-0.429
14	-0.299	-0.424
16	-0.277	-0.391
19	-0.254	-0.372
20	-0.261	-0.403
23	-0.263	-0.357
26	-0.317	-0.340
28	-0.297	-0.334

FIGURA No. 14 DIAGRAMA DE POURBAIX
 PARA DURANTE EL CURADO DEL CONCRETO
 VARILLA No. 2

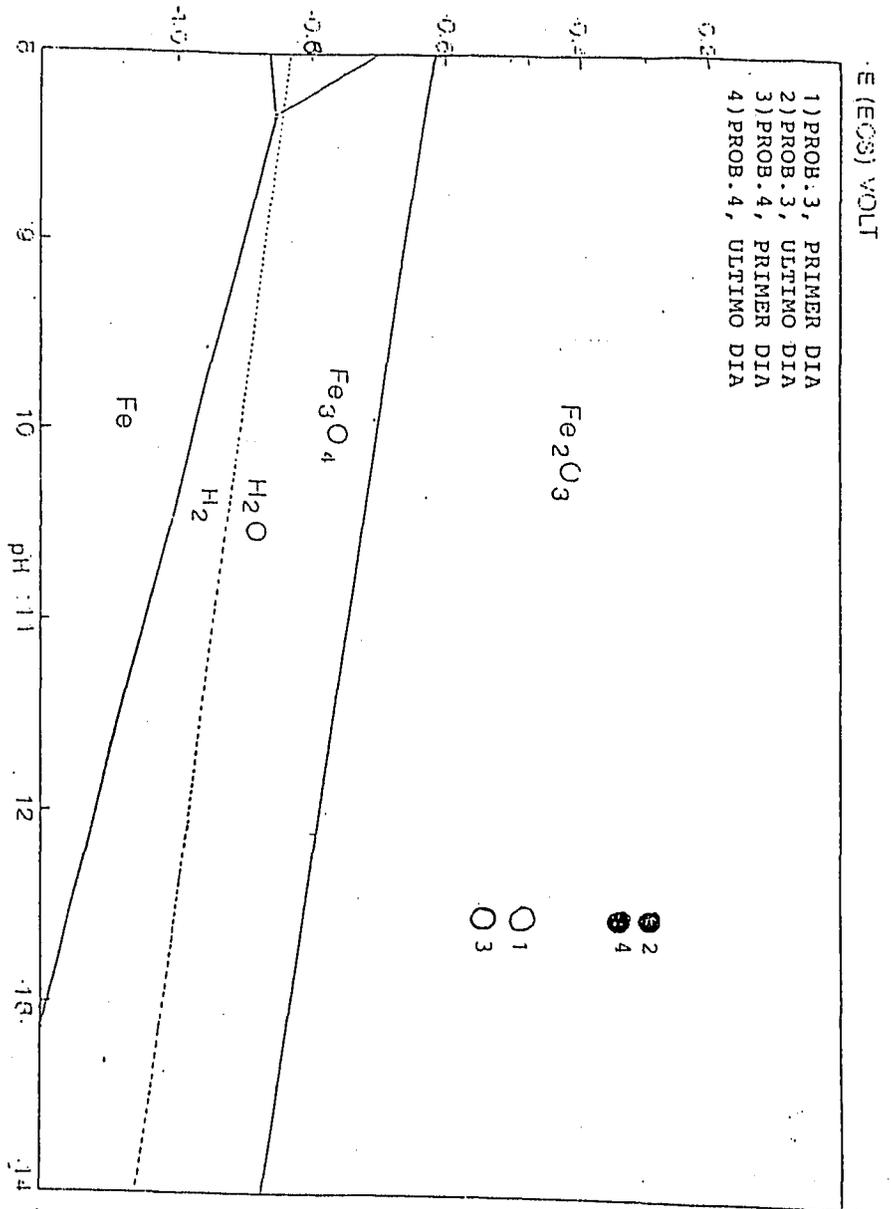
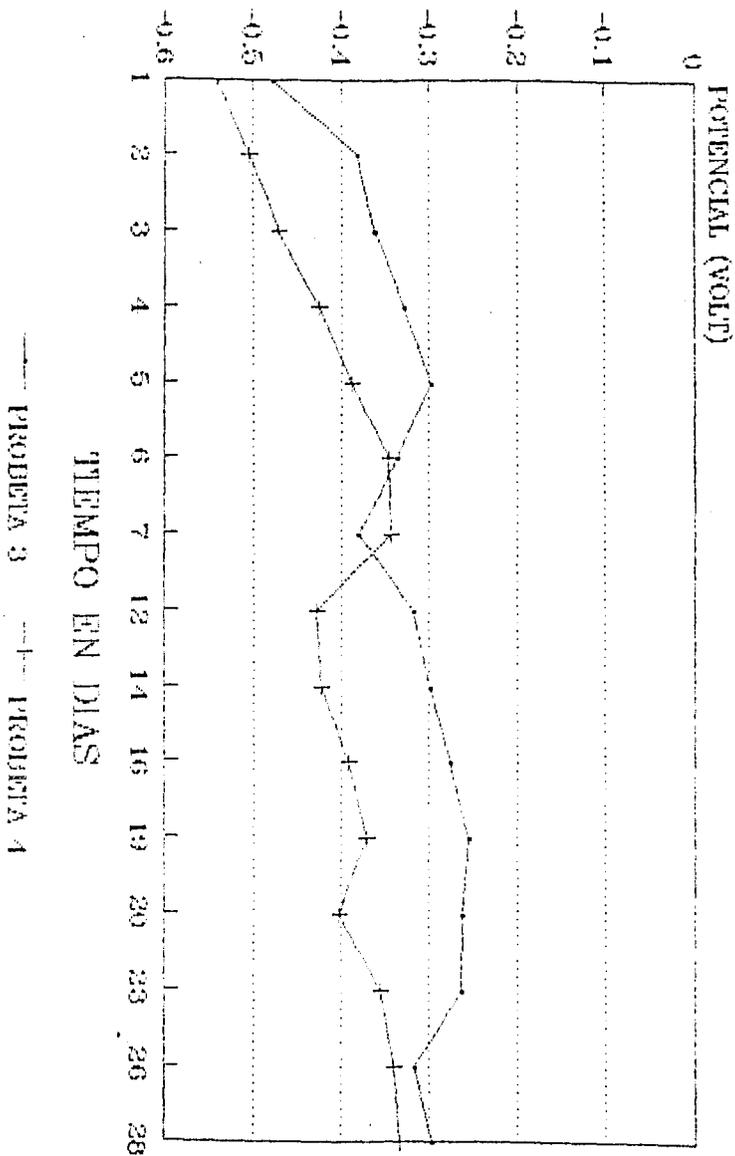


FIG. 15 MEDICION DEL POTENCIAL DURANTE EL CURADO POR INMERSION EN LA VARILLA No. 1



6.2 REPORTE DE POTENCIALES DE MEDIA CELDA TOMADOS ANTES Y DESPUES
 DE LA MEDICION DE LA PRUEBA DE ESPECTROSCOPIA DE IMPEDANCIA
 ELECTROQUIMICA (E.I.S.)

Las mediciones se realizaron los mismos días en los cuales se realizó el seguimiento de la prueba de E, I, S, y las 4 probetas fueron expuestas al ion Cl⁻.

Tabla 5. Reporte de mediciones de potenciales de media celda tomadas antes de medir la prueba de E, I, S, en donde las probetas estuvieron expuestas a la acción del ion Cl⁻.

<i>tiempo en días</i>	<i>Probeta 1* E (volt)</i>	<i>Probeta 2* E (volt)</i>	<i>Probeta 3** E (volt)</i>	<i>Probeta 4** E (volt)</i>
1	-0.450	-0.303	-0.145	-0.145
3	-0.332	-0.337	-0.279	-0.120
5	-0.301	-0.339	-0.262	-0.204
8	-0.296	-0.363	-0.480	-0.282
12	-0.336	-0.385	-0.451	-0.332
15	-0.353	-0.371	-0.402	-0.385
21	-0.375	-0.380	-0.384	-0.436
28	-0.400	-0.350	-0.475	-0.407

*Probetas curadas por medio del sellador (Curacreto).

**Probetas curadas por inmersión en agua potable.

FIG. No. 16 MEDICION DEL POTENCIAL ANTES DE MEDIR IMPEDANCIA, EXPOSICION AL ION CLORURO

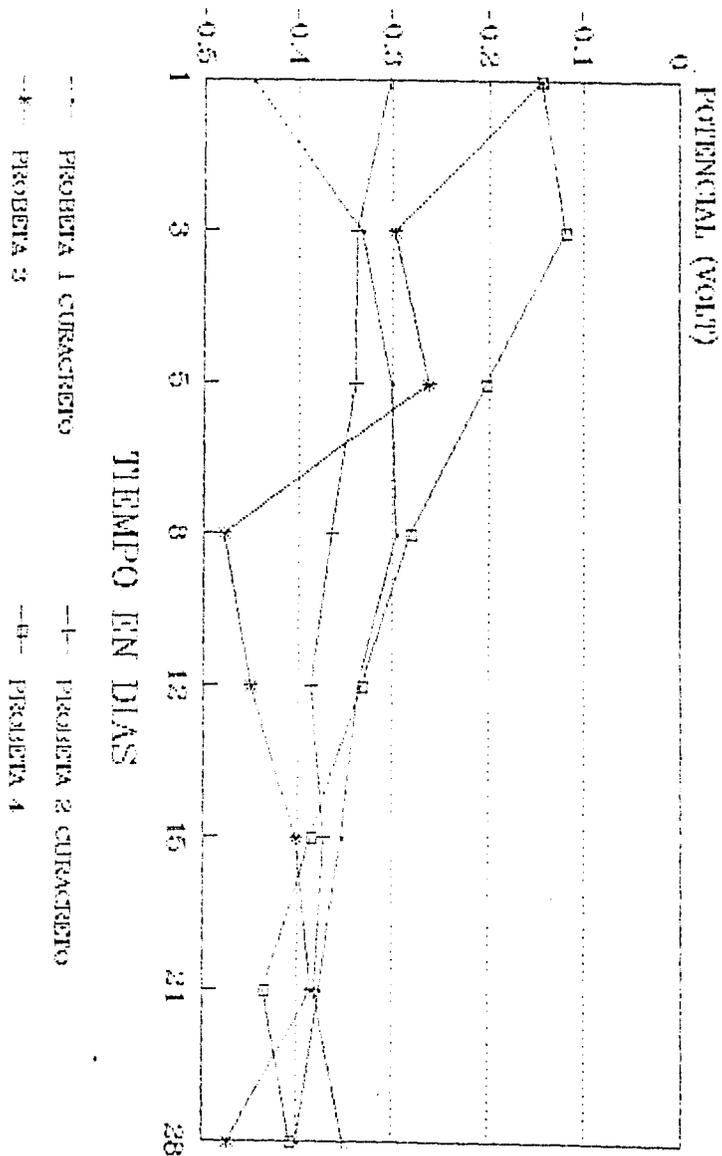


FIGURA No. 17 DIAGRAMA DE POURBAIX
 PARA ANTES DE MEDIR IMPEDANCIA

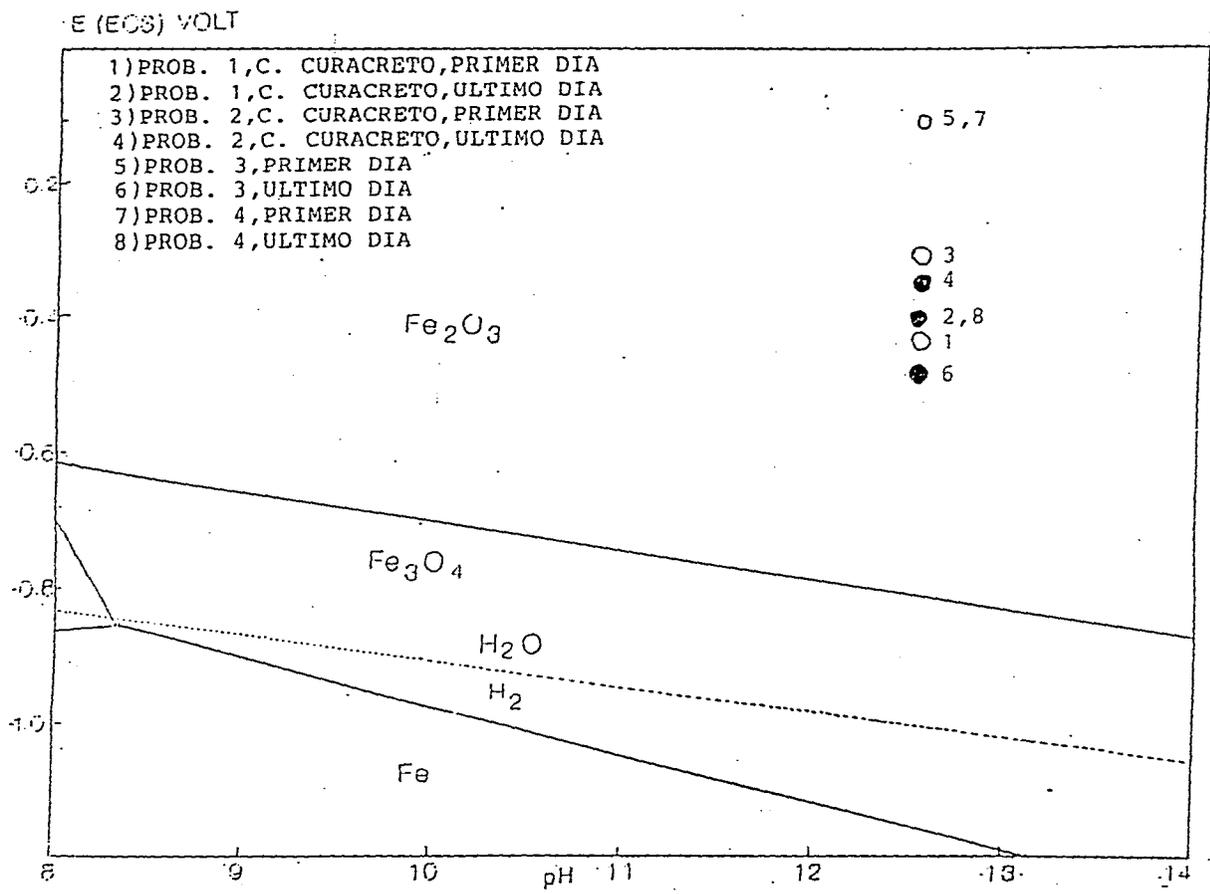


Tabla 6, Reporte de mediciones de potenciales de media celda tomados después de medir la prueba de E, I, S, en donde las probetas estuvieron expuestas a la acción del ión Cl⁻.

tiempo en días	Probeta 1*	Probeta 2*	Probeta 3**	Probeta 4**
	E (volt)	E (volt)	E (volt)	E (volt)
1	-0.517	-0.288	-0.157	-0.146
3	-0.355	-0.347	-0.297	-0.146
5	-0.347	-0.339	-0.285	-0.230
8	-0.320	-0.491	-0.336	-0.272
12	-0.667	-0.367	-0.543	-0.337
15	-0.376	-0.349	-0.411	-0.384
21	-0.414	-0.381	-0.383	-0.449
28	-0.440	-0.426	-0.475	-0.440

*Probetas curadas por medio del sellador (curacreto).

**Probetas curadas por inmersión en agua potable.

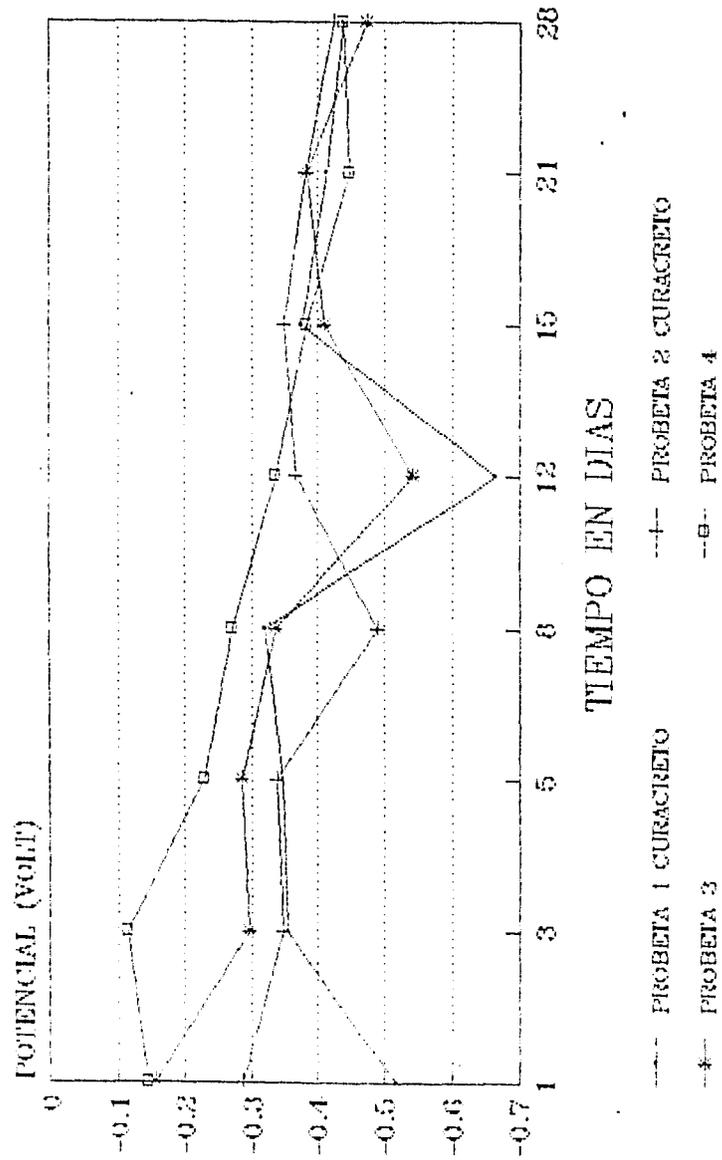
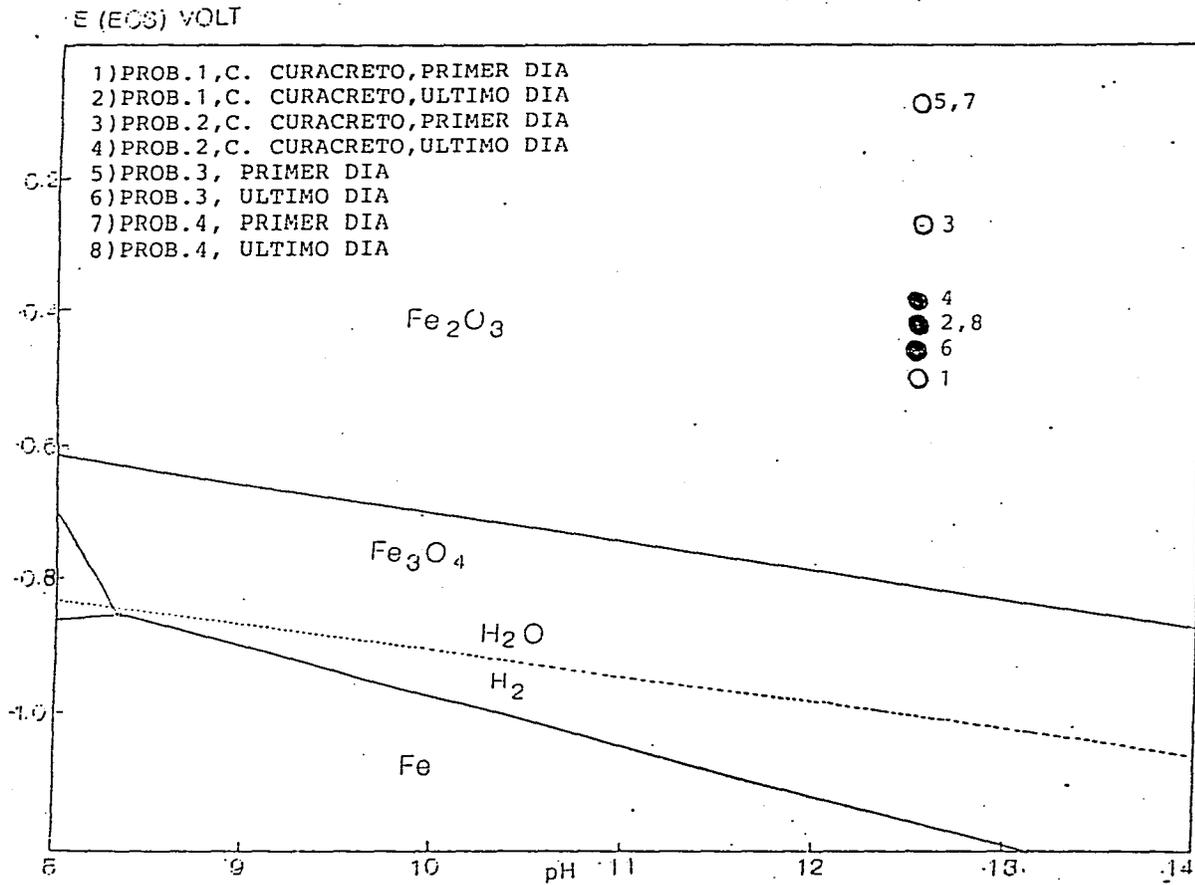


FIG. No. 18 MEDICION DEL POTENCIAL DESPUES DE MEDIR IMPEDANCIA, EXPOSICION AL ION CLORURO

FIGURA No. 19 DIAGRAMA DE POURBAIX
PARA DESPUES DE MEDIR IMPEDANCIA



6.3 REPORTE DE RESISTIVIDADES MEDIDAS BAJO EL METODO DE WENNER.

La medición de la resistividad se realizó en cuatro posiciones localizadas en la probeta como está indicado en la fig. 8.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 1. Reporte de resistividades obtenidas por posición.

Posición 1

tiempo en días	Probeta 1* ρ (Ω cm)	Probeta 2* ρ (Ω cm)	Probeta 3** ρ (Ω cm)	Probeta 4** ρ (Ω cm)
1	5654	7539	38641	36756
2	12252	11309	9424	6261
3	11309	15079	8011	6126
15	30159	24504	15079	10361

Posición 2

tiempo en días	Probeta 1* ρ (Ω cm)	Probeta 2* ρ (Ω cm)	Probeta 3** ρ (Ω cm)	Probeta 4** ρ (Ω cm)
1	9424	5654	3769	4523
2	4900	7351	6267	7162
3	9424	8576	8011	7257
15	8388	11309	25446	11309

*Probetas curadas por medio del sellador (Curacreto).

**Probetas curadas por inmersión en agua potable.

Posición 3

tiempo en días	Probeta 1* $f(\Omega\text{-cm})$	Probeta 2* $f(\Omega\text{-cm})$	Probeta 3** $f(\Omega\text{-cm})$	Probeta 4** $f(\Omega\text{-cm})$
1	10367	942	942	2356
2	12252	5466	6078	7539
3	16964	5560	8953	10084
15	22619	2733	16964	12252

Posición 4

tiempo en días	Probeta 1* $f(\Omega\text{-cm})$	Probeta 2* $f(\Omega\text{-cm})$	Probeta 3** $f(\Omega\text{-cm})$	Probeta 4** $f(\Omega\text{-cm})$
1	6880	9424	1884	5277
2	14137	14137	4712	9896
3	12252	12252	6031	6220
15	30367	36756	19792	16022

*Probetas curadas por medio del sellador (Curaceto).

**Probetas curadas por inmersión en agua potable.

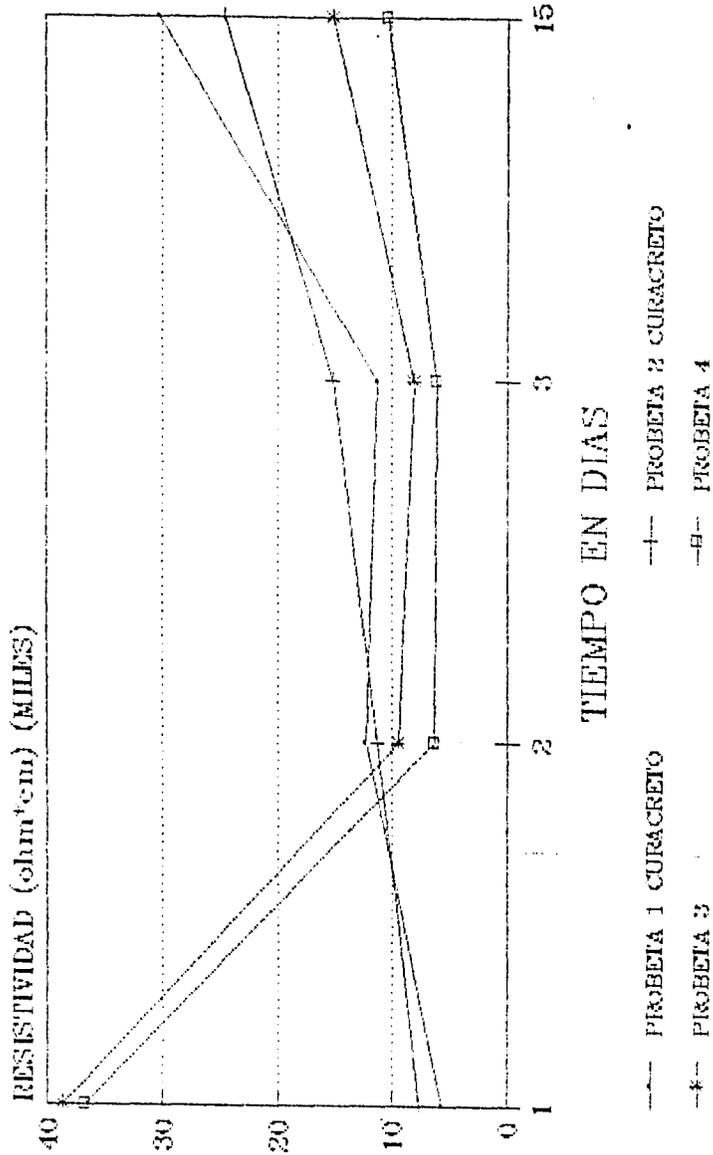


FIG. No. 20 MEDICION DE LA RESISTIVIDAD EN LA POSICION No. 1

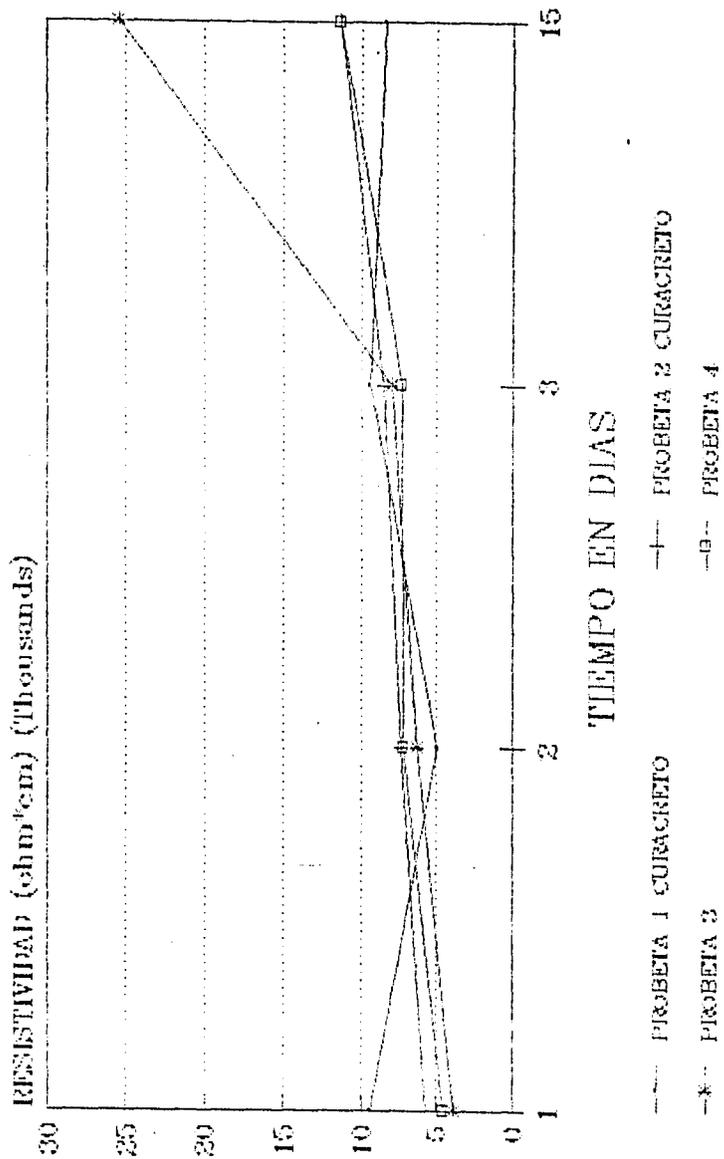


FIG. No. 21 MEDICION DE LA RESISTIVIDAD EN LA POSICION No. 2

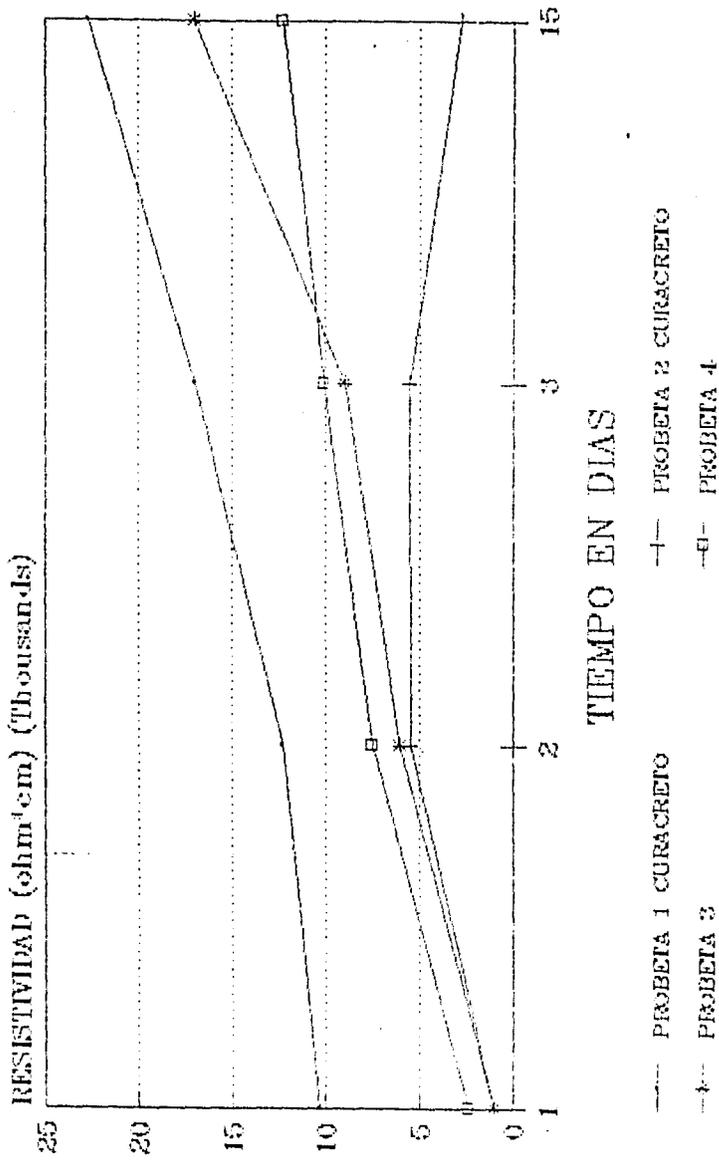


FIG. No. 22 MEDICION DE LA RESISTIVIDAD EN LA POSICION No.3

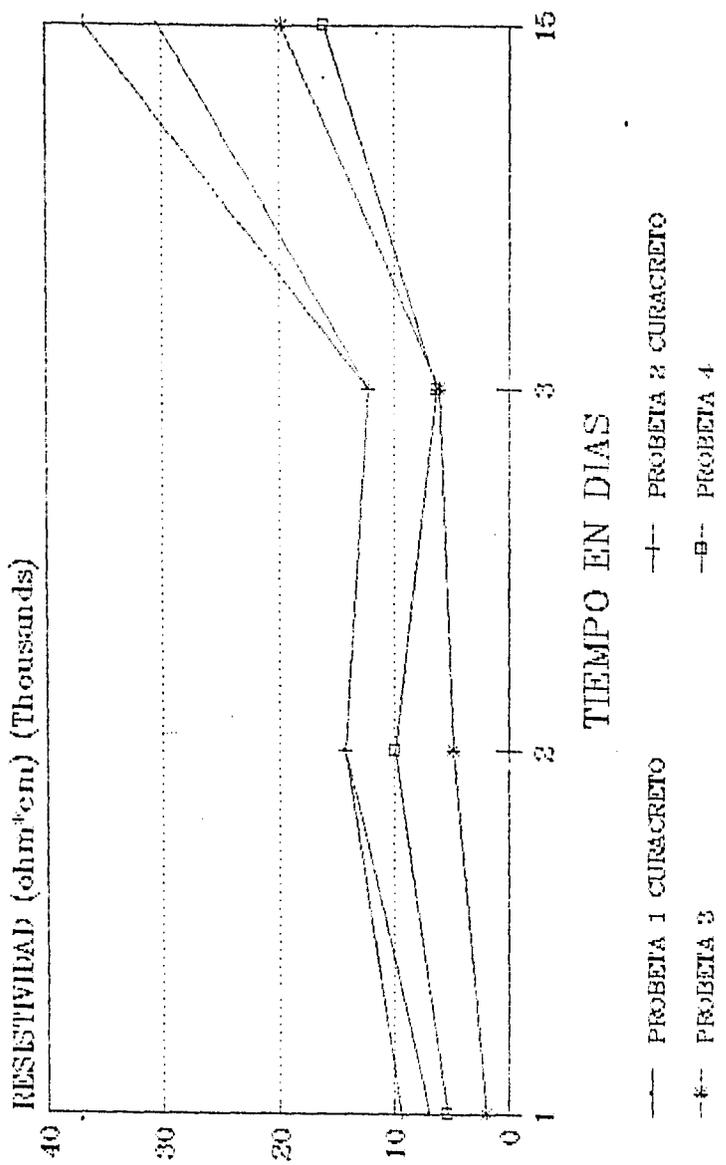


FIG No. 23 MEDICION DE LA RESISTIVIDAD EN LA POSICION No. 4

6.4 REPORTE DE RESULTADOS OBTENIDOS DE LA MEDICION DE ESPECTROSCOPIA DE IMPEDANCIA ELECTROQUIMICA.

Los datos de la resistencia de polarización fueron obtenidos por medio de la simulación de los resultados de la prueba de espectroscopia de impedancia electroquímica.

Tabla 1. Promedio de Resultados de resistencia de transferencia de carga obtenidos de las probetas curadas por medio de un sellador

Promedio de las probetas 1 y 2

Tiempo en días	RT (ohms)
1	101234.22
3	*
5	119447.64
8	95942.21
12	*
15	11782.25
21	109314.45
28	137258.44

* Resultados ilegibles

Tabla 8, Promedio de Resultados de resistencias de polarización obtenidos de las probetas curadas por medio de inmersión,

Promedio de las Probetas 3 y 4,

<i>Tiempo en días</i>	<i>RT (ohms)</i>
1	1214.5
3	1394.3
5	967.08
8	*
12	5202.65
15	1059.5
21	*
28	*

*Resultados ilegibles.

FIG. No. 24 VARIACION DEL R_t VS. EL TIEMPO
RESULTADOS PROMEDIOS DE LAS PROBETAS 1 Y 2
CURADAS CON CURACRETO

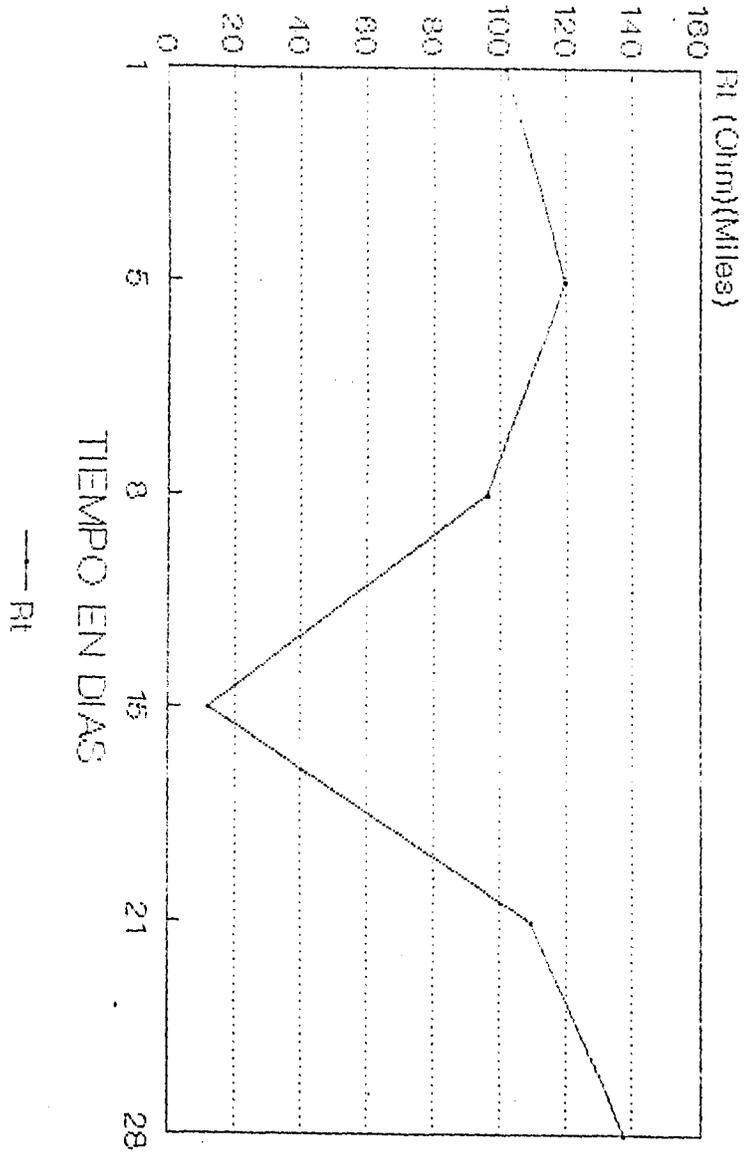


FIG. No. 25 VARIACION DEL Rt VS. EL TIEMPO
RESULTADOS PROMEDIOS DE LAS PROBETAS 3 Y 4
CURADAS POR INMERSION

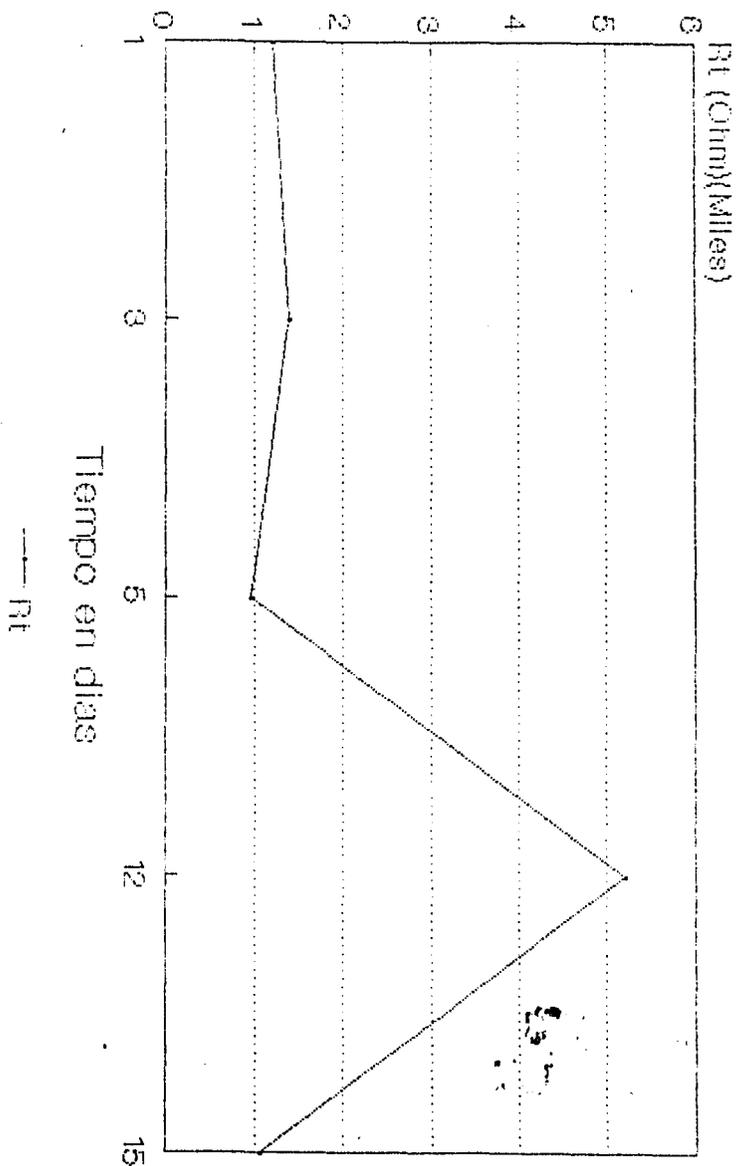
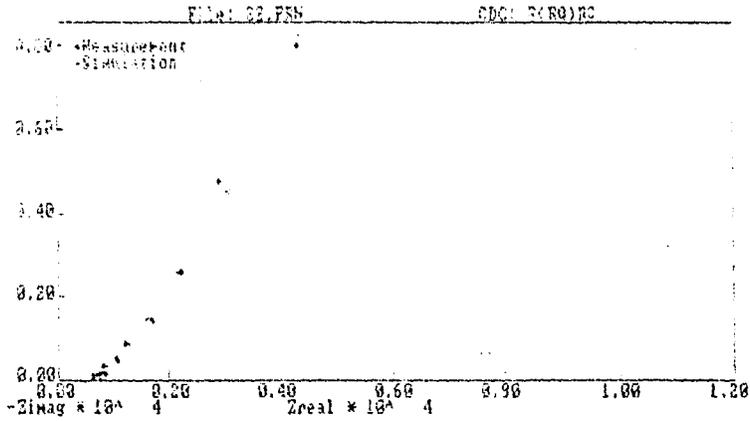
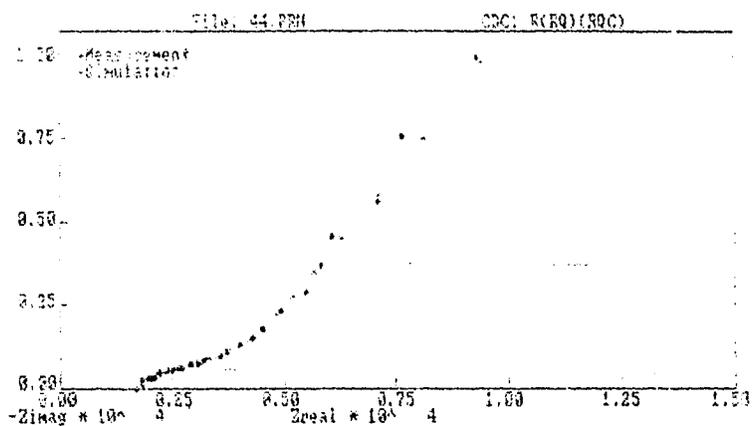


FIGURA No.26 MEDICION DE IMPEDANCIA ELECTROQUIMICA
EN PROBETA CURADA CON CURACRETO



**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

FIGURA No. 27 MEDICION DE IMPEDANCIA ELECTROQUIMICA
EN PROBETA CURADA POR INMERSION



CAPITULO 7

ANALISIS DE RESULTADOS

De los diagramas de potencial vs. tiempo, durante el curado, se aprecia cómo las varillas embebidas en el concreto se fueron pasivando al paso del tiempo, fig(13 y 15) ya que se observa como los potenciales pasan de $-0.510V$ zona de corrosión activa a $+280V$ zona pasivada ref(2). En los diagramas de Pourbaix fig (12 y 14), además de apreciar lo anterior se observa que el compuesto principal de la película pasivante, la cual fue creciendo durante el curado, es la Hematita (Fe_2O_3),

Ahora bien, de los diagramas de potencial vs. tiempo después del curado en donde se muestran los resultados de las probetas curadas por medio del sellador y de las curadas por inmersión al ser expuestas a la acción despasivadora del ión Cl^- ; fig (16 y 18) se puede observar que las probetas curadas por inmersión obtuvieron durante el curado una mayor pasivación de la varilla que las que fueron curadas por medio del sellador pero al octavo día del tiempo de estar expuestas a la solución de cloruros, todas tienden a un mismo intervalo de potencial en el cual existe la corrosión activa. Entonces no importando que tipo de curado se le aplique a las probetas al exponerlas a la acción de ión Cl^- todas tienden a establecerse en un mismo intervalo de potenciales y con ello una similar probabilidad de corrosión.

En los diagramas de Pourbaix referidos a la medición de

potenciales antes y después de medir la prueba de E. I. S, se observa que no hay mucha variación del potencial durante esta prueba además se aprecia que la diferencia del potencial entre las probetas curadas por medio del sellador es menor a las curadas por inmersión durante los 28 días, esto debido a que las probetas curadas por inmersión obtuvieron un potencial mayor de pasivación. La técnica E. I. S, no altera apreciablemente las condiciones de equilibrio natural, lo cual es una ventaja en el estudio de este tipo de sistemas.

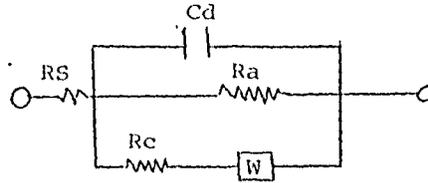
Con respecto a la resistividad de las probetas, se puede apreciar que la resistividad obtenida para las curadas por medio del sellador (Curacreto) obtienen una mayor resistividad que las curadas por medio de inmersión en agua potable fig(23). También podemos observar que la resistividad en lo general tiene un comportamiento creciente al paso del tiempo.

Al observar los resultados obtenidos de la técnica de espectroscopía de impedancia electroquímica, se puede decir que el grado de velocidad de corrosión en las probetas (1 y 2) curadas por medio del sellador es menor a las curadas por inmersión (3 y 4) debido a que la resistencia de transferencia se observa mayor en las primeras (1 y 2), con referencia a las segundas (3 y 4) respectivamente observándose en todo esto la relación: Fig (24 y 25)

$$V.C. = \frac{1}{RT}$$

El circuito eléctrico equivalente propuesto que representa al sistema varillas embebidas en concreto obtenido del análisis de los diagramas de Nyquist es el siguiente: ref (4)

Fig. 25. Circuito equivalente propuesto.



En donde R_s es la resistencia del concreto, C_d es la capacidad interfacial, R_a y R_c son las componentes anódica y catódica del sistema y W es el coeficiente de difusión.

Este modelo tiene en cuenta el efecto de la velocidad finita de difusión de especies dentro del concreto, ya que el elemento W en el circuito equivalente está relacionado con el coeficiente de difusión de oxígeno en concreto, y con el espesor de concreto cubriendo las barras de acero.

Algunos resultados fueron ilegibles debido a que la prueba de Impedancia además de ser compleja también está expuesta a errores de medición.

Por último al realizar un análisis general de las diferencias que se obtienen de curar por medio de un sellador o curar por medio de inmersión se observa que las probetas curadas por medio del sellador curacreto obtienen una menor pasivación de las varillas embebidas en concreto que las curadas por inmersión, pero al paso del tiempo de estar expuestas al ión Cl^- llegan al mismo intervalo de corrosión o zona de corrosión que la norma Británica marca como potenciales de media celda menores a $-0.350 V$ (referidos al electrodo de $Cu/CuSO_4$) o $-0.268 V$ (referido al electrodo saturado

de calomel ref. (2). Las probetas curadas por medio del sellador obtienen una mayor resistividad y quizás una menor porosidad cumpliendo así con lo ofrecido por el fabricante del sellador Curacreto S. A. de C. V., derivado de esto último se observa una menor velocidad de corrosión de la varilla de refuerzo, fig (24 y 25). Debido a que la probeta obtuvo una mayor resistencia, se puede decir que las probetas quedan más herméticas permitiendo así, que un menor número de iones Cl^- lleguen a la película pasivada para destruirla.

CAPITULO 8
CONCLUSIONES

- Se comprobó que el sellador llamado Curacreto utilizado en este trabajo sí cumple con lo estipulado por el fabricante, siendo esto una mayor resistividad y una menor velocidad de corrosión de la varilla de refuerzo como lo indican los resultados de Impedancia electroquímica y de resistividad.
- Considero importante señalar que los métodos aquí utilizados son de gran utilidad para el seguimiento y observación del fenómeno natural de corrosión y a su vez nos auxilian para poder estudiar e investigar nuevos métodos que nos ayuden a contrarrestar y, por qué no, llegar a evitar la destrucción del concreto reforzado.
- Se pudo comprobar en las varillas embebidas en concreto la relación entre la resistividad y la probabilidad de corrosión, que establece que a mayor resistividad menor será la probabilidad de corrosión como lo indica Carpio J. J, en Et al a case study of severe corrosion a 3Km length bridge over seawater ref, (8).
- Fue posible obtener y analizar los datos experimentales del método de Impedancia electroquímica por medio de los diagramas de Nyquist y así llegar a proponer el modelo del circuito equivalente que representa a nuestro sistema.

BIBLIOGRAFIA

1. *Gautefall O. The Service Performance of Concrete Report, No. 1: The ability to protect rebars against corrosion, ST F65 A86050, pp 51.*
2. *ASTM-C-876-87-10, Standard test method for half cell potentials of reinforcing steel in concrete.*
3. *Castañeda López Homero, Estudio del proceso de corrosión del acero de refuerzo en concreto mediante la técnica de impedancia electroquímica, Tesis UNAM, Fac. Química, 1994, pp 92.*
4. *Alberto A. Sagues, Impedancia Electroquímica para la medición de corrosión de acero en hormigón armado, Artículo, Department of civil Engineering and Mechanics, University of South Florida, Tampa, U. S. A., 1994, pp. 8.*
5. *Ivan Alcocer Ortiz, Carbonatación de estructuras de concreto reforzado, 1994, Tesis UNAM, Fac. Química, 1994, pp 83.*
6. *Pourbaix, Marcel, Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solutions, Pergamon, Press, Oxford, 1966, pp644.*
7. *Avila J. y Genesca J., Más allá de la herrumbre, serie La ciencia desde México, S. E. P., F. C. E. y Conacyt, México D. F. 1986, pp. 110.*
8. *Carpio J. J., Et al H case study of severe corrosion a 3km. length bridge over seawater, NACE '94 conference, marzo 1994.*
9. *Hope B. IP A, & Manning, D. Corrosion and electrical impedance in concrete, Cement and Concrete, Research vol. 15, 1985 pp 525-534.*

10. Millard S, G, Harrison J, A, & Edwards A, J, *Measurement of the electrical resistivity of reinforced concrete for the assesment of corrosion risk, British of corrosion journal, vol. 31 pp. 617-621.*
11. Pérez López Tezozomac, *Estudio de corrosión en un acero empleado para la transformación de Hidrocarburos en una zona marina, Tesis UNAM (Maestria), Fac. Química, 1994.*
12. J. M. Costa, *Fundamentos de electrodica, Ed, Alambra, 1a. edición, España, 1981, pp.376.*
13. Bastil H. Vassos, *Electroquímica analítica, Ed, Limusa, 1a. edición, 1987 México, pp. 303.*
14. Curacreto S, A, de C, V. , *Folleto proporcionado por Curacreto S, A, de C, V.*
15. Alonso C. , Andrade C, A, & Gonzáles J, A, *Relation between resistivity and corrosion rate of reinforcements in carbonated mortar made with several cement types, Cement and Concrete, Research, vol. 8, 1988 pp. 687-698.*
16. Alberto A. Sagues, *Critical inssues in electrochemical corrosion measurement techniques for steel in concrete, Tampa, Florida, Artículo de Corrosion 91, The NACE Annual Conference and Corrosion Show, Marzo 1991. pp. 21.*
17. K. Hladky, L. M. Callow and J, L. Dawson, *Corrosion rates from impedance measurements, British Corrosion Journal, An introduction, Manchester, vol 15. Enero, 1980, pp. 20-25.*
18. L. Dhoubi-Hachani, E. Triki A, Raharintavo & C. Fiaud, *Assessing the corrosion of rebars in concrete deterirated by suphates and carbonation, pp. 258-267.*

19. Rodríguez-Maribona, J.J. Carpio, A. Raharinaivo, *Electrochemical behaviour of concrete reinforcing steel under cathodic polarization; comparison of some test procedures, Materials and Structures*, Artículo, 1991, París, pp. 100-105.
20. *Institución Mexicana del cemento y del concreto, Manual de Elaboración, colocación y protección del concreto en clima caluroso, 1^{ra} edición, 1992.*