



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"Influencia Del Carboxilato De Amina En La Velocidad De
Corrosión Del Acero A42 En Hormigones Diseñados Con Cemento
Pórtland Tipo II"

PROYECTO DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

CARLOS ENRIQUE PANCHANA LÓPEZ

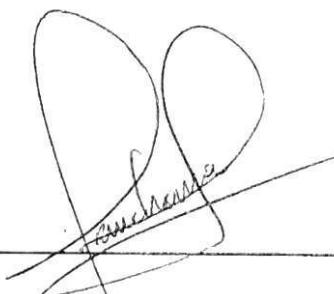
GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2010

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Carlos Enrique Panchana López

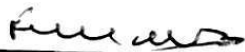
DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi madre María del Lourdez López y a mi padre de crianza Víctor Hugo Guevara, quienes con cariño y comprensión han sabido guiarme, motivando mi superación personal; a mis compañeros y amigos, al Ing. Iván López y al Ing. Edison Moreno de quienes he aprendido mucho sobre la aplicación del conocimiento de un ingeniero mecánico.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por todos los dones que me ha brindado sin los cuales hubiera sido imposible la ejecución de este trabajo, a mis padres, por el apoyo que me han dado a lo largo de toda mi vida y de manera muy particular al Ing. Julián Peña Estrella, Director de este Proyecto de Graduación por todos los conocimientos transmitidos vitales para el desarrollo de este documento.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Francisco Andrade S.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Julián Peña E.
DIRECTOR DE PROYECTO



Ing. Mauricio Cornejo M.
VOCAL

RESUMEN

El presente proyecto se realizó con el fin de evaluar la efectividad del "carboxilato de amina" utilizado como agregado del hormigón, para inhibir la corrosión del acero ASTM-A42 usado como refuerzo en hormigón armado; debido a lo cual se efectuó el ensayo de resistencia a la polarización.

En el capítulo 1 se da una explicación breve sobre los mecanismos de corrosión del hormigón en el Ecuador, para luego mencionar la aplicación de los inhibidores de corrosión; mencionando primero a los convencionales y después los modernos, junto con la relación existente entre la resistencia la polarización y velocidad de corrosión.

Dentro del capítulo 2 se encuentran los resultados de la experimentación en forma tabular, con los cuales fue posible calcular los valores de R_p para tres atmosferas distintas; con esto se logró evaluar el desempeño del carboxilato en condiciones que simulaban los mecanismos comunes de corrosión para estructuras de hormigón armado en el Ecuador. Las atmosferas seleccionadas para el análisis fueron:

- El entorno natural de Guayaquil.
- Atmósfera acuosa contaminada con cloruros.
- Atmósfera gaseosa contaminada con 99% de dióxido de carbono.

Dentro del capítulo 3 se analizó y se comparó los comportamientos obtenidos correspondientes al hormigón formulado con cemento pórtland tipo II, incluyendo al inhibidor como sin él; en este mismo capítulo también se muestra de manera gráfica, la desviación del comportamiento de un hormigón formulado con cemento puzolánico con respecto al formulado con pórtland tipo II.

Finalmente en el capítulo 4 se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas en base al análisis realizado.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1.	
1. USO DE INHIBIDORES EN LOS HORMIGONES EN EL ECUADOR.....	3
1.1.Mecanismos generales de corrosión del hormigón en Ecuador.....	5
1.2.Hormigón formulado con cemento pórtland TIPO II, propiedades y aplicaciones.....	9
1.3.Acero ASTM-A42 su composición química.....	10
1.4.Inhibidores de corrosión disponibles en el ECUADOR.....	11
1.4.1. Inhibidores convencionales.....	12
1.4.2. Inhibidores modernos: El carboxilato de amina.....	13
1.5.Relación entre la resistencia a la polarización y la velocidad de corrosión.....	17

1.6. Aplicación del potencio-galvanostato en estudios de velocidad de corrosión.....	20
--	----

CAPÍTULO 2.

2. RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN EN HORMIGONES FORMULADOS CON CEMENTO PÓRTLAND TIPO II.....	22
2.1. Composición porcentual por agregados en el hormigón analizado...	30
2.2. Materiales y configuración geométrica presente en las probetas.....	29
2.3. Valores obtenidos del potencial de reacción bajo diversas atmósferas.....	32
2.3.1. Entorno natural en Guayaquil.....	46
2.3.2. Atmósfera acuosa contaminada con cloruros.....	46
2.3.3. Atmósfera gaseosa con 99% de dióxido de carbono	47
2.4. Determinación de la resistencia a la polarización.....	47

CAPÍTULO 3.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	49
3.1. Análisis de la resistencia a la polarización bajo diversas atmósferas.....	62
3.2. Análisis comparativo respecto al comportamiento del hormigón formulado con cemento puzolánico.....	64

CAPÍTULO 4.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
--	----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
A.C.	Antes de Cristo
MCI	Migrating corrosion inhibitor(Inhibidor de corrosión migratorio)
EC	Ecuación
PZ	Puzolánico
nm	Nano-metros
vs	Versus
ph	Potencial de hidrogeno
B	Constante de Stern-Geary
ba	Pendiente de Tafel anódica
be	Pendiente de Tafel Catódica
ρ	Densidad del material
kg	Kilogramo
m	Metro
μA	Micro amperios
cm	Centímetro
s	Segundos
mm	Milímetros
No	Número
mV	Mili voltios
Ω	Ohmios

R_p	Resistencia a la Polarización
B	Constante de Proporcionalidad
C₃S	Tricalcium silicate
C₂S	Dicalcium silicate
C₃A	Tricalcium aluminate
C₄AF	Tricalcium aluminoferrite
i	Corriente
i_{corr}	Densidad de corriente de corrosión
R_p	Resistencia a la polarización
R_Ω	Resistencia eléctrica del electrolito
i_{APP}	Densidad de corriente aplicada
i	Densidad de corriente
CR	Corrosión rate (Velocidad o razón de cambio de corrosión)
EW	Equivalent Weigth (Peso equivalente)
E_{corr}	Potencial de corrosión
ERI	Electrodo de referencia interno
AX	Electrodo de trabajo embebido en hormigón designado con la letra X
AY	Electrodo de trabajo embebido en hormigón designado con la letra Y
CSC	Cobre-sulfato de cobre
2X	Probeta fabricada con usando hormigón PÓRTLAND TIPO II sin carboxilato de amina
2I	Probeta fabricada con usando hormigón PÓRTLAND TIPO II con carboxilato de amina
R	Probeta destinada a ensayos de R _p
N	Probeta expuesta al entorno natural de Guayaquil
S	Probeta sometida a entorno contaminado con cloruros
C	Probeta sometida a ambiente con 99% de concentración de CO ₂
BASE	Hormigón formulado para análisis.

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Esquema de la difusión de CO ₂	7
Figura 1.2. Diagrama de Pourbaix para el hierro.....	8
Figura 1.3. Efecto del inhibidor sobre el comportamiento del metal.....	15
Figura 1.4. Potencio-galvanostato de la FIMCP.....	21
Figura 2.1. Medición de ECORR contra electrodo de referencia interno.....	26
Figura 2.2. Medición de ECORR contra electrodo de referencia interno(EIR).....	27
Figura 2.3. Esquema de las probetas fabricadas.....	31
Figura 2.4. Dimensiones de las probetas.....	32
Figura 3.1. Comportamiento de potencial de corrosión del acero ASTM A42 embebido en hormigón pórtland contra tiempo de exposición en las diferentes atmósferas.....	51
Figura 3.2. Comportamiento de potencial de corrosión del acero ASTM A42 embebido en hormigón pórtland contra tiempo de exposición bajo el entorno natural de Guayaquil.....	52
Figura 3.3. Comportamiento de potencial de corrosión del acero ASTM A42 embebido en hormigón pórtland contra tiempo de exposición bajo atmósfera acuosa contaminada con cloruros.....	53
Figura 3.4. Comportamiento de potencial de corrosión del acero ASTM A42 embebido en hormigón pórtland contra tiempo de exposición bajo atmósfera gaseosa con 99% de dióxido de carbono.....	54

Figura 3.5.	Comportamiento de la resistencia a la polarización del acero ASTM A42 embebido en hormigón pórtland contra tiempo bajo el entorno natural de Guayaquil.....	55
Figura 3.6.	Comportamiento de la resistencia a la polarización del acero ASTM A42 embebido en hormigón pórtland contra tiempo de exposición bajo atmósfera acuosa contaminada con cloruros.....	56
Figura 3.7.	Comportamiento de la resistencia a la polarización del acero ASTM A42 embebido en hormigón pórtland contra tiempo de exposición bajo atmósfera gaseosa con 99% de dióxido de carbono.....	57
Figura 3.8.	Comportamiento de la densidad de corriente de corrosión del acero ASTM A42 embebido en hormigón pórtland contra tiempo de exposición bajo el entorno natural de Guayaquil.....	58
Figura 3.9.	Comportamiento de la densidad de corriente de corrosión del acero ASTM A42 embebido en hormigón pórtland contra tiempo de exposición bajo atmósfera acuosa contaminada con cloruros.....	59
Figura 3.10.	Comportamiento de la densidad de corriente de corrosión del acero ASTM A42 embebido en hormigón pórtland contra tiempo de exposición bajo atmósfera gaseosa con 99% de dióxido de carbono.....	60
Figura 3.11.	Comportamiento de R_p para el cemento PÓRTLAND TIPO II y puzolánico sin carboxilato en la atmósfera natural de Guayaquil.....	66
Figura 3.12.	Comportamiento de R_p para el cemento PÓRTLAND TIPO II y puzolánico con carboxilato en la atmósfera natural de Guayaquil.....	67
Figura 3.13.	Comportamiento de R_p para cemento PÓRTLAND TIPO II y puzolánico sin carboxilato bajo atmósfera contaminada con cloruros.....	67

Figura 3.14. Comportamiento de R_p para cemento PÓRTLAND TIPO II y puzolánico con carboxilato bajo atmósfera contaminada con cloruros.....	67
Figura 3.15. Comportamiento de R_p para cemento PÓRTLAND TIPO II y puzolánico sin carboxilato sometido a carbonatación.....	68
Figura 3.16. Comportamiento de R_p para cemento PÓRTLAND TIPO II y puzolánico con carboxilato.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Clasificación de los cementos tipo Pórtland.....	9
Tabla 2	Composición química porcentual del cemento PÓRTLAND TIPO II.....	10
Tabla 3	Composición química porcentual del acero ASTM A42.....	10
Tabla 4	Propiedades físicas del carboxilato de amina.....	16
Tabla 5	Composición del hormigón analizado.....	30
Tabla 6	Potencial de corrosión en hormigón analizado bajo la atmósfera natural de Guayaquil sin carboxilato de amina.....	34
Tabla 7	Potencial de corrosión en hormigón analizado bajo la atmósfera natural de Guayaquil con carboxilato de amina.....	35
Tabla 8	Potencial de corrosión en hormigón analizado bajo contaminación con cloruros sin carboxilato de amina.....	36
Tabla 9	Potencial de corrosión en hormigón analizado bajo contaminación con cloruros con carboxilato de amina.....	37
Tabla 10	Potencial de corrosión en hormigón analizado bajo carbonatación sin carboxilato de amina.....	38
Tabla 11	Potencial de corrosión en hormigón analizado bajo carbonatación con carboxilato de amina.....	39
Tabla 12	Potencial de reacción en hormigón analizado bajo la atmósfera natural de Guayaquil sin carboxilato de amina.....	40
Tabla 13	Potencial de reacción en hormigón analizado bajo la atmósfera natural de Guayaquil con carboxilato de amina.....	41
Tabla 14	Potencial de reacción en hormigón analizado bajo contaminación con cloruros sin carboxilato de amina.....	42

Tabla 15	Potencial de reacción en hormigón analizado bajo contaminación con cloruros con carboxilato de amina.....	43
Tabla 16	Potencial de reacción en hormigón analizado bajo carbonatación sin carboxilato de amina.....	44
Tabla 17	Potencial de reacción en hormigón analizado bajo carbonatación con carboxilato de amina.....	45
Tabla 18	Potenciales de corrosión promedios bajo la atmósfera natural de Guayaquil.....	46
Tabla 19	Potenciales de corrosión promedios bajo contaminación con cloruros.....	46
Tabla 20	Potenciales de corrosión promedios bajo carbonatación.....	47
Tabla 21	Resistencia a la polarización bajo las atmósferas de análisis....	48

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se realiza con la intención de analizar el desempeño del carboxilato de amina como inhibidor de la corrosión producida en el acero ASTM A42 usado como refuerzo en hormigón formulado con cemento pórtland tipo II, para efecto de este análisis se aplica la técnica denominada Resistencia a la Polarización.

La resistencia a la polarización del acero ASTM A42 embebido en hormigón es evaluada quincenalmente durante un periodo total de 5 meses, exponiéndolo a este a tres atmosferas diferentes:

- Entorno natural en Guayaquil.
- Atmósfera acuosa contaminada con cloruros.
- Atmósfera gaseosa con 99% de dióxido de carbono.

Los datos obtenidos de resistencia a la polarización son utilizados para calcular la corriente de corrosión usando la relación dada por Stern-Geary, esto es efectuado tanto para hormigón con carboxilato como hormigón sin él, la cual es graficada para visualizar la evolución de la velocidad de corrosión en el tiempo, con lo cual se evalúa la capacidad del carboxilato para desviar

el comportamiento de la velocidad de corrosión del acero embebido en hormigón con respecto a su comportamiento sin él bajo las mismas condiciones atmosféricas.

CAPÍTULO 1

1. USO DE INHIBIDORES EN LOS HORMIGONES EN EL ECUADOR

A lo largo de la historia de la humanidad, el hombre ha dado su máximo esfuerzo, desarrollando su intelecto y habilidades para transformar su entorno con el fin de alcanzar su comodidad. La evidencia existente sobre estos hechos se remonta desde los años 7000 A.C. donde los hombres de la edad de piedra ya construían sus pisos usando una mezcla compuesta principalmente por caliza, arena y grava, pudiéndose catalogar a este como un mortero rudimentario. Más tarde serían los egipcios, griegos y romanos quienes implementando las primeras técnicas con tratamiento térmico dan origen a los procesos de manufactura para el cemento; luego de evidenciar su éxito al usarlo en la

construcción de sus edificaciones, las generaciones venideras se encargarían de perfeccionar las técnicas de manufactura hasta alcanzar lo que se tiene hoy como el cemento de uso común.

A Latinoamérica la industria cementera llega en la década de los 90's donde en 1901 se instala la primera fabrica para su manufactura en Guatemala. En Ecuador específicamente se construye la primera fábrica de cemento en el año de 1923 por parte del Ing. José Rodríguez Bonín lanzando un producto de marca "cóndor".

Actualmente debido a la versatilidad, bajo costo y alta resistencia el cemento es el principal material utilizado para la construcción de toda clase de edificaciones; donde los plintos, columnas, vigas y riostras se fabrican con hormigón armado. El cual es un material compuesto; este está formado por la combinación de la pasta de cemento que se obtiene al mezclarlo con agua, arena y piedra, junto con una armadura de acero al carbono; como producto de la fusión de estos se consigue un material que reúne la alta resistencia a la compresión del cemento con la resistencia a la tensión del acero.

Las estructuras de hormigón generalmente tienen una larga vida útil la cual se esperaría alrededor de los 35 años, pero en realidad este tiempo

de vida puede ser verse reducido según las condiciones de trabajo a la que se encuentran expuestas ya que el factor limitante de la durabilidad de estas estructuras es la conservación de las varillas de refuerzos dentro de sus condiciones óptimas consideradas para el diseño.

Debido a la necesidad de conservar la integridad de las varillas de refuerzo, e incrementar el tiempo de servicio de las estructuras construidas con hormigón armado, se ha estudiado y desarrollado en los últimos años métodos importantes para mantener evitar o disminuir la velocidad de corrosión en la varilla de refuerzo. Entre los métodos más importantes desarrollados se tiene:

- Recubrimientos poliméricos para las varillas de refuerzo.
- Aditivos inhibidores de corrosión agregados durante el amasado.

Sera el segundo caso sobre el cual recaerá el objeto del estudio presentado donde se evaluara el efecto de agregar carboxilato de amina durante el amansado del hormigón previo a la fundición en sitio.

1.1. Mecanismos generales de corrosión del hormigón en Ecuador.

Guayaquil, Ecuador debido a su ubicación geográfica la cual muestra como una de sus fronteras al océano pacífico (con agua salada), junto con la gran amplitud del parque industrial con el que cuenta

actualmente, reúne las condiciones necesarias para que se produzcan los dos mecanismos más importantes de corrosión para estructuras de hormigón reforzado. Siendo estos los listados a continuación:

Contaminación con cloruros.- Este mecanismo de corrosión se presenta generalmente en los casos donde estructuras de hormigón reforzado se encuentran sumergidas en el mar (Agua salada) o ubicadas en ciudades costeras.

Para el caso correspondiente a estructuras sumergidas en agua de mar; donde los poros del hormigón se encuentran saturados con agua salada, los cloruros presentes se difunden a través de la pared que cubre la varilla; a diferencia del caso en el que las estructuras se encuentran ubicadas en ciudades costeras, donde cierta cantidad del agua de mar es evaporada por el sol y arrastrada debido a la acción de las corrientes de aire para luego ser depositada en la superficie del hormigón.

Una vez que la concentración de cloruros en la inmediación de la interfase "Fe - Hormigón" alcanza niveles críticos rompe la capa pasivadora y ataca al metal de refuerzo.

Carbonatación.- La carbonatación corresponde a un cambio importante en el nivel de pH causado por la difusión del CO₂ a través del hormigón, la cual se produce en aquellos casos donde las estructuras de manufacturadas con hormigón reforzado, son expuestas a atmósferas que contienen este agente disuelto en el aire. Como consecuencia del contacto de las partículas de CO₂, en conjunto con un ambiente húmedo este adquiere la capacidad de penetrar la superficie del concreto hasta difundirse en el interior del mismo llegando a alcanzar el nivel en el cual se encuentra el metal de refuerzo.

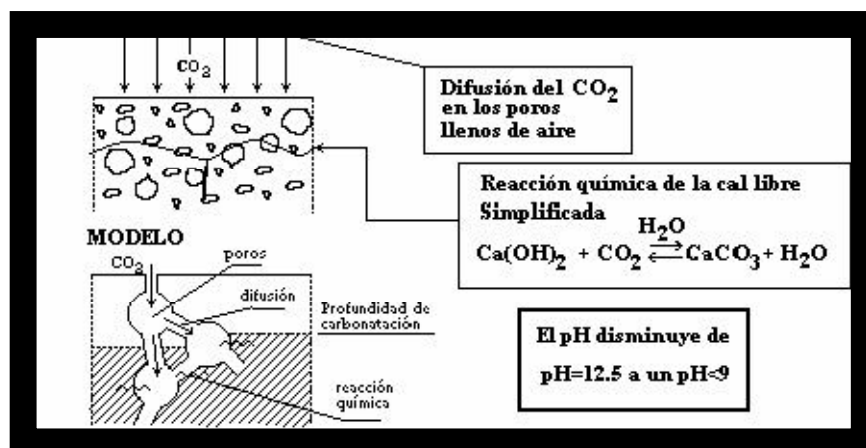


FIGURA 1.1 ESQUEMA DE LA DIFUSIÓN DE CO₂

**Reproducido de la publicación técnica No. 182 del INSTITUTO
MEXICANO DEL TRANSPORTE**

La carbonatación provoca que el nivel de pH se desplace desde su posición normalmente alcalina (superior a $pH=12,5$), donde se conserva estable la capa pasivadora formada por la acumulación de $Fe(OH)_3$ en la interfase "Fe - Hormigón" según se muestra en el diagrama de pourbaix para el hierro; hasta un valor de $pH= 9$ donde la capa pasivadora deja de ser estable permitiendo que se inicie el proceso corrosivo.

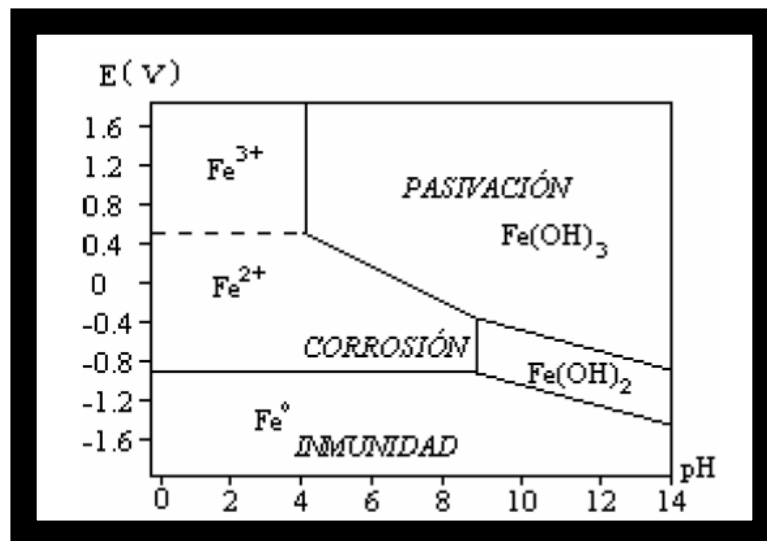


FIGURA 1.2 DIAGRAMA DE POURBAIX PARA EL HIERRO
Reproducido de la publicación técnica No. 182 del INSTITUTO
MEXICANO DEL TRANSPORTE

Información detallada sobre la contaminación de cloruros y carbonatación se encuentran en el trabajo publicado por Stalyn Moreno⁽²⁾

1.2. Hormigón formulado con cemento pórtland TIPO II, propiedades y aplicaciones.

Según lo especifica la ASTM en el standard ASTM C150 -04 existen ocho tipos de cemento pórtland, como se muestra en la tabla:

TABLA 1
CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS TIPO PÓRTLAND⁽⁴⁾.

<u>CEMENTOS TIPO PÓRTLAND SEGUN ASTM C150 -04</u>	
Clase	Aplicación
Tipo I	Uso general cuando las propiedades especificadas para cualquiera de los otros tipos no son requeridas.
Tipo IA	Cemento aireado para los mismos usos que el tipo I, donde el aireamiento es requerido.
Tipo II	Uso general, especialmente cuando una moderada resistencia a sulfatos o moderado calor de hidratación es deseada.
Tipo IIA	Cemento aireado para los mismos usos que el tipo II, donde el aireamiento es requerido.
Tipo III	Para usos donde se requiere un alto endurecimiento a temprana edad.
Tipo IIA	Cemento aireado para los mismos usos que el tipo III, donde el aireamiento es requerido.
Tipo IV	Para usos donde un bajo calor de hidratación es deseado.

Tipo V	Para usos donde se requiere una alta resistencia a los sulfatos.
---------------	--

Como se expone al principio de este documento analizaremos al hormigón formulado con cemento pórtland TIPO II, el cual consta de la siguiente composición:

TABLA 2
COMPOSICIÓN QUÍMICA PORCENTUAL DEL CEMENTO
PÓRTLAND TIPO II.⁽⁵⁾

	<u>COMPOSICION PORCENTUAL</u>				
	C₃S	C₂S	C₃A	C₄AF	C₃H₂
Tipo II	45%	30%	7%	12%	5%

1.3. Acero ASTM-A42 su composición química.

TABLA 3
COMPOSICIÓN QUÍMICA PORCENTUAL DEL ACERO ASTM A42.

Elemento	Contenido en %
Carbono	0,41
Manganeso	0,55
Silicio	0,084
Azufre	0,033
Potasio	0,021
Cobre	0,024
Níquel	0,029

1.4. Inhibidores de corrosión disponibles en el ECUADOR

En Ecuador el campo de investigación con respecto al uso de inhibidores de corrosión para el hormigón es escaso, sin embargo debido a la difusión tecnológica de los adelantos provenientes de otros países que han investigado el problema de la corrosión en estructuras de hormigón armado, se ha logrado concientizar a la población ecuatoriana y mundial que la corrosión en estas ha causado pérdidas anuales millonarias (Alcanzando una magnitud actual de \$1.8 mil millones a nivel mundial, según se expresa en un artículo de la organización mundial de corrosión.)

Dentro del transcurso de la últimas décadas las practicas utilizadas para inhibir la corrosión en hormigón han evolucionado desde simples cambios en la proporción Agua/Cemento hasta el uso de recubrimientos especiales para la superficie del metal de refuerzo y aditivos agregados durante en mezclado, entre otros. Debido a lo mencionado anteriormente se puede agrupar a los inhibidores en dos grandes grupos según su aparición:

1.4.1. Inhibidores convencionales

Dentro del grupo de los inhibidores convencionales se tiene en primer lugar a la práctica más conservadora utilizada, la cual corresponde al uso de mayores dosis de cemento durante la formulación del hormigón (Menores a la relación típica agua cemento entre 0,32 y 0,45), esta práctica es llevada a cabo con el fin de disminuir la porosidad del mismo provocando un aumento en la permeabilidad, causando así un efecto de barrera para la penetración de agentes contaminantes.

Por otra parte se tiene a los inhibidores inorgánicos suministrados como aditivos; dentro de este grupo se puede resaltar a los basados en Nitrito de Calcio, los cuales reducen la reacción anódica provocada en metal de refuerzo cuando se la expone a medios como los es el agua salada. Aunque en la práctica los inhibidores de este último grupo han presentado un buen desempeño; su aplicación conlleva ciertas desventajas, por ejemplo: El grado de protección proveído por este depende de la dosis de inhibidor suministrada en la mezcla, el uso de este afecta el tiempo de fraguado, requiere ajustes en la cantidad de agua suministrada para la hidratación y altera las

propiedades mecánicas del hormigón obtenidas luego del fraguado.

1.4.2. Inhibidores modernos: El carboxilato de amina.

Las consecuencias desfavorables e incertidumbre en las dosificaciones correctas para obtener la pasividad anhelada con la aplicación de los aditivos inhibidores convencionales, ha obligado a los investigadores a desarrollar nuevos métodos para inhibir la corrosión del metal de refuerzo. En la actualidad se ha llegado a desarrollar aditivos inhibidores modernos, los cuales representan una generación nueva de donde se puede destacar a los del tipo migratorio (Mipratinp Corrosión Inhibitors" MCI"; Inhibidores de Corrosión Migratorios); estos se encuentran divididos en dos grupos:

- Aditivo agregado al hormigón.
 - Basado en Amino alcohol
 - Basado en Carboxilato de amina.
- Tratamiento superficial.
 - Recubrimiento epóxico aplicables a estructuras de hormigón existentes.

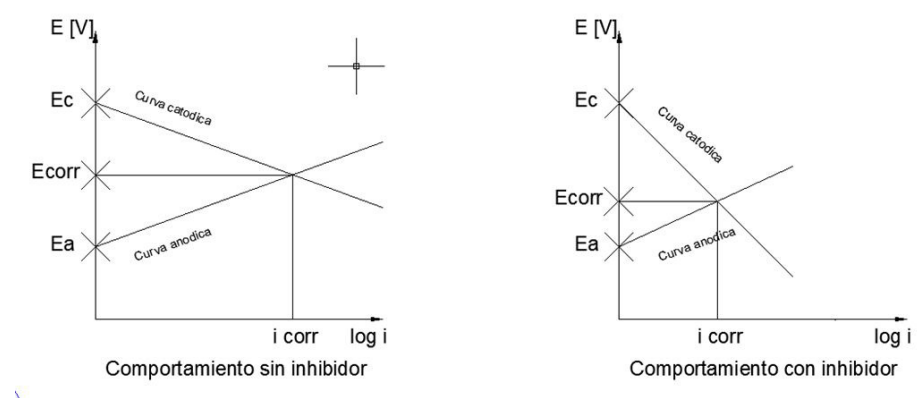
- Soluciones aplicables superficialmente con MCI.

Para efecto esta investigación se ha escogido al carboxilato de amina el cual forma parte del primer grupo de la familia de los MCI del tipo aditivo. De este se dice que presenta múltiples ventajas entre la cuales se tiene: Dosificación constante sin importar el tipo de hormigón a formularse o cemento utilizado, no requiere corrección de la relación Agua/Cemento, no causa mayores modificaciones en la propiedades físicas del hormigón ni durante ni luego del fraguado.

Los MCI poseen la habilidad de difundirse a través de la capa de la mezcla de hormigón, como líquido durante su fraguado y como vapor luego que este ya se haya endurecido; la difusión del inhibidor a través de la capa de hormigón está regida por las leyes de Fick, trasladándose desde las partes de mayor concentración hasta las partes de concentración menor; una vez que las moléculas entran en contacto con la superficie de la varilla de refuerzo estas sufren una atracción iónica hacia ella que provoca la formación de una capa protectora que inhibe el

ataque provocado durante la carbonatación o la contaminación con cloruros.

Los MCI actúan modificando el comportamiento tanto la reacción anódica como la reacción catódica; esto se puede evidenciar al graficar el potencial de media celda versus la densidad de la corriente de respuesta (E vs i), donde se observa una disminución y un aumento en la pendiente correspondiente tanto en la curva catódica como en la anódica respectivamente, dando como resultado una velocidad de corrosión dramáticamente más baja que la que tenía inicialmente como se muestra en la figura.



**FIGURA 1.3 EFECTO DEL INHIBIDOR SOBRE EL
COMPORTAMIENTO DEL METAL**

Las moléculas del los MCI no solo son capaces de difundirse a través de la capa de hormigón, sino que también tienen la capacidad de ser absorbidas por el metal de refuerzo, la profundidad de penetración alcanzada por las moléculas del carboxilato supera la profundidad que alcanzan los cloruros (Normalmente estos últimos alcanzan los 60 nm. de profundidad). Debido a esta propiedad especial, este es capaz de desplazar los cloruros que se encuentren depositados sobre la superficie del metal de refuerzo.

TABLA. 4

PROPIEDADES FÍSICAS DEL CARBOXILATO DE AMINA

Apariencia	Polvo blanco
PH	11,5-13,0 (solución 1%)

El campo de aplicación de los MCI es muy amplio debido a sus bondades; se lo utiliza en toda clase de construcción civil nueva con el fin de obtener una alta durabilidad, generalmente se lo aplica diluyéndolo en el agua durante el amasado del hormigón o de manera directa durante el mezclado previo al fundido de las vigas, riostras, columnas y demás. Otra aplicación notable de este se halla en la reparación de estructuras de hormigón

que se encuentran prestando servicio; para este caso se aplica el inhibidor en el mortero de reparación, desde el cual las moléculas del inhibidor se difunden a través del hormigón viejo penetrándolo permitiendo que se forme la capa pasivadora sobre el metal de refuerzo.

1.5.Relación entre la resistencia a la polarización y la velocidad de corrosión.

Determinar cuantitativamente el valor de la velocidad de corrosión es un problema de gran importancia para los ingenieros e investigadores; con el fin de calcularlo se debe analizar la termodinámica y la cinética electroquímica involucrada en el proceso corrosivo, las cuales nos dan la pauta para determinar la espontaneidad y la velocidad con la cual se efectúan tanto las reacciones anódicas (oxidación) como las catódicas (reducción) llevadas a cabo durante la disolución del metal.

Mediante la ley de Faraday transformada en una de sus formas más útil es posible relacionar la corriente de corrosión con la profundidad de penetración de la corrosión en el metal mediante la siguiente expresión⁽¹⁰⁾.

$$CR = 3.27 \times 10^{-3} \frac{i_{corr} EW}{\rho} \quad (\text{Ec-1.1})$$

CR: Velocidad de corrosión (Corrosión Rate) [mm/año]
EW : Peso equivalente (Equivalent Weight [g]
 i_{corr} : Corriente de corrosión [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]
 ρ : Densidad del material [g/cm^3]

De esta ecuación se puede notar que existe una relación lineal entre la velocidad de corrosión y la densidad de corriente de corrosión; esta es la razón de se hayan desarrollado métodos científicos experimentales para determinar el valor de **i_{corr}** , uno de ellos es el muy popular método conocido como resistencia a la polarización.

El método de la resistencia a la polarización consiste en la inyección de corriente, causando una perturbación anódica o catódica según sea la polaridad de la corriente inyectada, como respuesta a esta acción el metal responde con un potencial de media celda alejado del potencial de corrosión natural en la celda original el cual está gobernado con la ecuación:

$$R_P = \left(\frac{\partial \Delta E}{\partial i} \right)_{i=0, \frac{dE}{dt} \rightarrow 0} ; \Delta E = E - E_{corr} \quad (\text{Ec-1.2})$$

R_p : Resistencia a la polarización.

E : Potencial de reacción de media celda medido respecto un electrodo de referencia.

E_{corr} : Potencial de corrosión de media celda medido respecto un electrodo de referencia.

i : Densidad de corriente aplicada.

También se tiene que la densidad i_{corr} [$\mu A/cm^2$] se encuentra relacionada con R_p [$\Omega \cdot cm^2$] por el coeficiente de Stern-Geary, B en voltios.

$$i_{corr} = 10^6 \times \frac{B}{R_p} ; \text{ Donde } B = \frac{b_a b_c}{2.303 (b_a + b_c)} \quad (\text{Ec-1.3a y Ec-1.3b})$$

b_a, b_c : Pendientes de Tafel anódica y catódica [V]

Al usar las ecuaciones (Ec-1.2) y (Ec-1.3) simultáneamente es posible encontrar el valor de i_{corr} , siendo este un valor global que incluye a las pérdidas de corriente ocasionadas por la resistencia eléctrica del electrolito; en electrolitos de alta conductividad este efecto no introduce un error importante por lo cual es despreciado. En el caso de electrolitos de conductividad limitada (hormigón, suelo, etc.) se debe ajustar el valor de R_p restando la R_Ω resistencia eléctrica del electrolito para evitar la subestimación de la velocidad de corrosión ⁽⁸⁾.

$$R_p = R_{\text{experimental}} - R_{\Omega} \quad (\text{EC-1.4})$$

También es de gran importancia que para el cálculo de R_p solo sean contabilizadas las respuestas obtenidas en estado estable, es decir después de que haya transcurrido el tiempo de respuesta necesario para que el potencial obtenido alcance un valor constante.

1.6. Aplicación del potencio-galvanostato en estudios de velocidad de corrosión.

Debido a la necesidad de polarizar en una forma controlada los metales que se deseen estudiar con el fin de poder predecir su comportamiento en diversos medios corrosivos; se han desarrollado equipos específicos que se encargan de esta tarea, uno de estos equipos son los potencio-galvanostatos los cuales son capaces de introducir perturbaciones de naturaleza galvanostática o potencioestática, correspondiendo estas a una variación de la corriente para obtener una respuesta en potencial y viceversa respectivamente.

Con la ayuda de estos equipos se ha facilitado la tarea de obtener experimentalmente valores para las pendientes de Tafel mediante la

generación de las curvas de polarización anódica/catódica, además de facilitar la aplicación de método de la resistencia a la polarización.

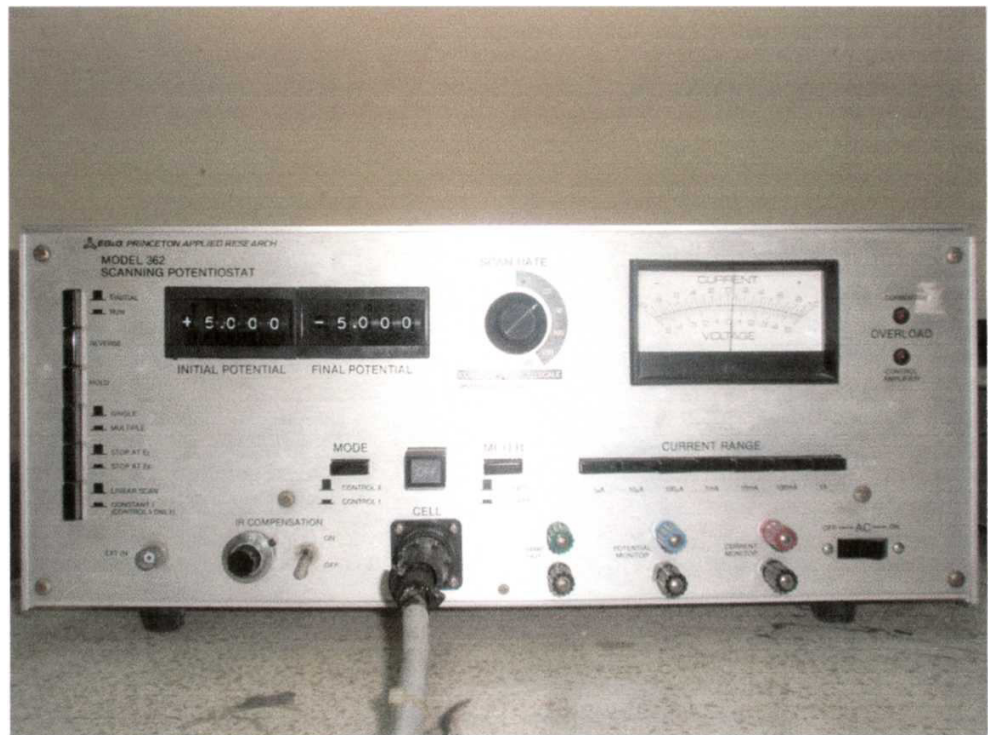


FIGURA 1.4 POTENCIO-GALVANOSTATO DE LA FIMCP

CAPÍTULO 2

2. RESISTENCIA A LA POLARIZACION EN HORMIGONES FORMULADOS CON CEMENTO PÓRTLAND TIPO II

En el capítulo 1 se mostró que es posible calcular la resistencia a la polarización mediante la (Ec-1.2), pero que para el caso de electrolitos de resistencia relativamente alta, se debe ajustar el valor experimental obtenido mediante la (Ec-1.4.); siendo en el caso particular de este estudio el análisis del comportamiento del acero usando al hormigón como electrolito, las ecuaciones anteriores se puede expresar de la siguiente forma, cuando el metal es polarizado en un solo paso:

$$R_P = \frac{E - E_{corr}}{i_{APP}} - R_{\Omega} \quad (Ec-2.1)$$

R_p: Resistencia a la polarización. [$\Omega \cdot cm^2$]

E: Potencial de reacción media celda medido respecto un electrodo de referencia. [V]

E_{corr}: Potencial de corrosión media celda medido respecto un electrodo de referencia. [V]

i_{APP}: Densidad de corriente aplicada. [A/cm^2]

R_Ω: Resistencia eléctrica del hormigón. [$\Omega \cdot cm^2$]

La (Ec-2.1) fue la que finalmente se utilizó para efecto de los cálculos de la resistencia a la polarización, los cual se presentan en forma tabular y gráfica en el numeral 2.4.

Procedimiento experimental

Para el analizar del efecto inhibidor de corrosión del carboxilato de amina, fueron fabricadas seis probetas incluyendo al carboxilato con una proporción de 0,6 Kg/m³ y otras seis sin él, para poder realizar las comparaciones respectivas.

El total de doce probetas fueron dispuestas en tres grupos, cada grupo estuvo compuesto de dos probetas con carboxilato de amina y dos sin él, se expusieron luego a tres atmósferas distintas. Las tres atmósferas seleccionadas para este análisis fueron: Una atmósfera carbonatada, una contaminada con cloruros y finalmente la natural de Guayaquil.

Para analizar el comportamiento en la atmósfera carbonatada las probetas fueron introducidas en una cámara de carbonatación la cual se mantuvo saturada con CO_2 y con una humedad relativa del 60%, facilitando todas las condiciones requeridas que la carbonatación pueda ocurrir.

Con el fin de simular el efecto de una atmósfera contaminada con cloruros, las probetas fueron sumergidas hasta el 70% de su altura en agua salada fabricada artificialmente, la cual contenía una dosificación de 35 gramos de sal por cada litro de agua, con lo cual se permitió que se ocurra la difusión de los cloruros desde la superficie del cemento hasta el nivel de la capa pasivadora natural que protege al metal.

El análisis en atmósfera natural correspondió a la exposición de las probetas al medio natural en Guayaquil, esto se lo consiguió dejando a

las probetas sin protección alguna en la parte superior de los laboratorios de la FIMCP.

Mediciones del potencial de corrosión y el potencial de reacción utilizando el método de resistencia a la polarización se efectuaron cada quince días hasta completar periodo total de 150 días con un total de diez lecturas.

Las lecturas de los potenciales fueron realizadas contra un electrodo de referencia de Ti, el cual se encuentra fundido en el interior de las probetas siguiendo la configuración mostrada en el numeral 2.2., estos potenciales luego fueron transformados a su equivalente contra el electrodo de Cu/CuSO₄ con el fin de usar el criterio expuesto en la norma ASTM C 876 -91(7), donde se expone la relación entre el potencial y la probabilidad de corrosión.

Para el efectuar el ensayo de resistencia a la polarización el metal fue perturbado con una densidad de corriente correspondiente a $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, esto se consiguió dejando un área expuesta de 20 cm^2 en los electrodos e inyectando una corriente de $20 \mu\text{A}$. Como reacción de a esta perturbación el metal responde con un potencial el cual es el denominado potencial de reacción.

Procedimiento para medición de potenciales

Medición de potenciales E_{corr} contra ERI.

- a) Ajustar el multímetro al rango de milivoltios.
- b) Conectar el conductor correspondiente a la polaridad negativa con electrodo de interno de referencia, luego conectar el polo positivo al electrodo de trabajo AX. Esperar a que la medición alcance un valor estable y registrar el valor.
- c) Repetir los pasos a y b para electrodo de trabajo AY.

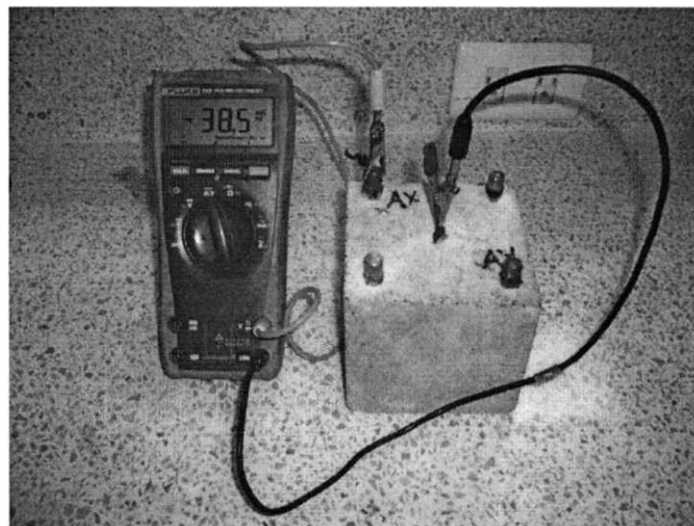


FIGURA 2.1 MEDICIÓN DE E_{corr} CONTRA ELECTRODO DE REFERENCIA INTERNO

Medición de potenciales de ERI vs electrodo de CSC.

- a) Disponer de una esponja limpia hidratada con agua destilada.
- b) Ajustar el multímetro al rango de milivoltios.

- c) Conectar el polo positivo al electrodo de referencia interno (Tira de Ti).
- d) Conectar el polo negativo al electrodo de CSC (Cobre sulfato de cobre), apoyando el CSC sobre la esponja hidratada sobre el costado de la probeta se observan las variaciones de potencial.
- e) Tomar el valor de la lectura cuando dentro un periodo tiempo menor a 5 minutos, la variación sea menor o igual ± 0.02 Voltios.
- f) Repetir los pasos d y e para las otras tres caras restantes.
- g) Promediar los valores obtenidos para obtener el valor que al ser sumado algebraicamente con el E_{corr} respecto al electrodo de referencia de Ti da el valor de E_{corr} con respecto al electrodo de CSC.

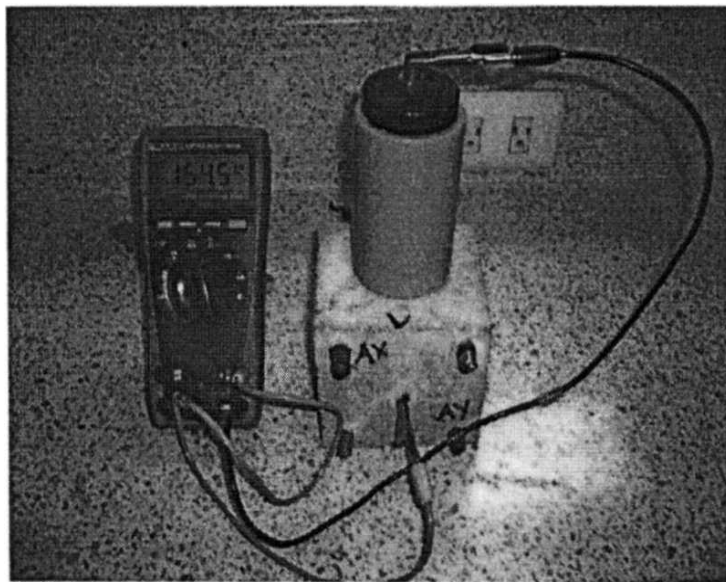


FIGURA 2.2 MEDICIÓN DE E_{corr} CONTRA ELECTRODO DE REFERENCIA INTERNO (EIR)

Procedimiento para mediciones de potencial de reacción contra ERI

1) Conexiones probeta / potencio- galvanostato

- a) El equipo y el interruptor del cable de celda debe permanecer apagados (Equipo en OFF y Botón CELL en OFF) por razones de seguridad.
- b) Disponer de los conectores del cable de celda en la forma indicada: VERDE conectado al electrodo de trabajo AX, BLANCO conectado al electrodo de referencia, ROJO debe conectarse a los dos contra electrodos de acero inoxidable, IX e IY usando un puente y NEGRO se conecta a un punto de tierra.
- c) Para realizar la segunda medición cambia el cable VERDE al electrodo AY.
- d) Monitorear con un multímetro la salida de voltaje del potencio-galvanostato, una vez transcurridos 60 s, se registra el valor de potencial mediante el uso de software con tarjeta de adquisición de datos o de manera manual.

2) Disposición de controles del potencio-galvanostato

- a) Con el equipo apagado, los botones verticales ubicados a la izquierda del equipo deben dejarse arriba (Sin oprimir).
- b) Ajustar equipo en modo de CONTROL I esto se logra dejando presionado el botón MODE.

- c) Ajustar el valor de INITIAL POTENTIAL el cual representa un factor de multiplicación adimensional que es aplicado al valor seleccionado en la botonera de CURRENT RANGE, con lo cual se define el valor final de corriente a aplicar.
- d) Se enciende el equipo y se inyecta la corriente presionando el botón CELL el cual cambia a la posición ON tomando la lectura después de transcurridos 60 s.
- e) Registrar el valor del potencial emitido por el equipo transcurrido los 60 s., este es el denominado potencial de reacción.
- f) Se apaga el equipo botón CELL y se repiten los pasos anteriores pero trasladando el cable verde al otro electrodo de trabajo, ya sea AX o AY.

2.1.Composición porcentual por agregados en el hormigón analizado.

**TABLA 5
COMPOSICIÓN DEL HORMIGÓN ANALIZADO**

	Peso [Kg]	%
Piedra (12,5mm)	13,59	23,13
Arena Triturada	7,59	13
Arena Rio	20,79	35,65
Cemento Tipo II	12,5	21,5
Sikament NR	0,13	0,22
Agua	3,78	6,5

2.2.Materiales y configuración geométrica presente en las probetas.

La fabricación de las probetas dispuestas para este estudio requirió los siguientes materiales mostrados en los esquemas siguientes:

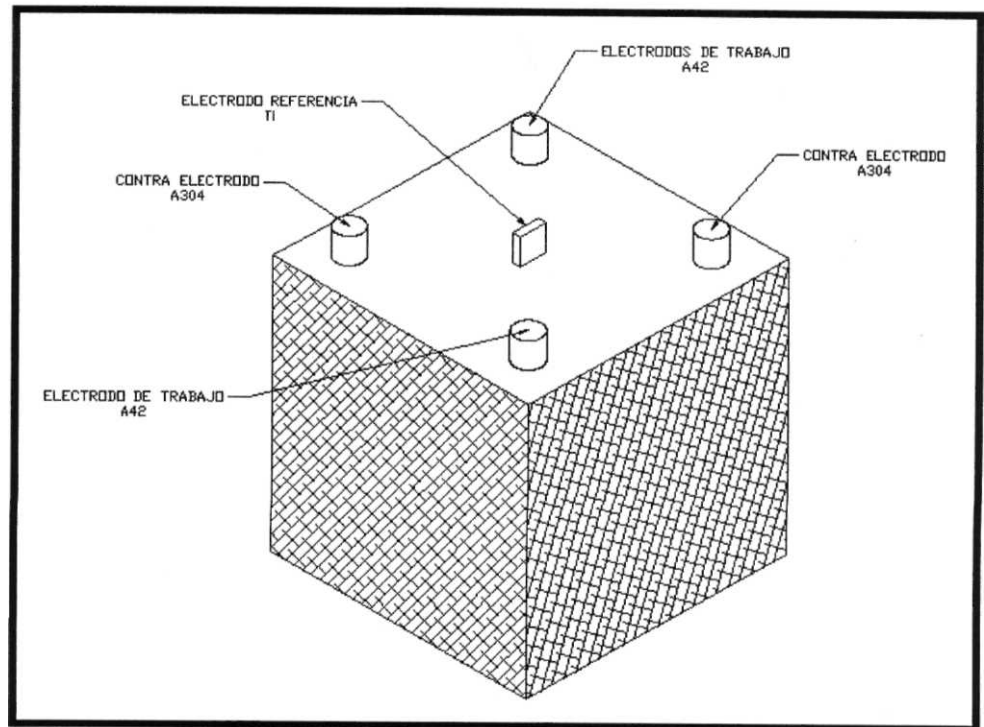


FIGURA 2.3 ESQUEMA DE LAS PROBETAS FABRICADAS

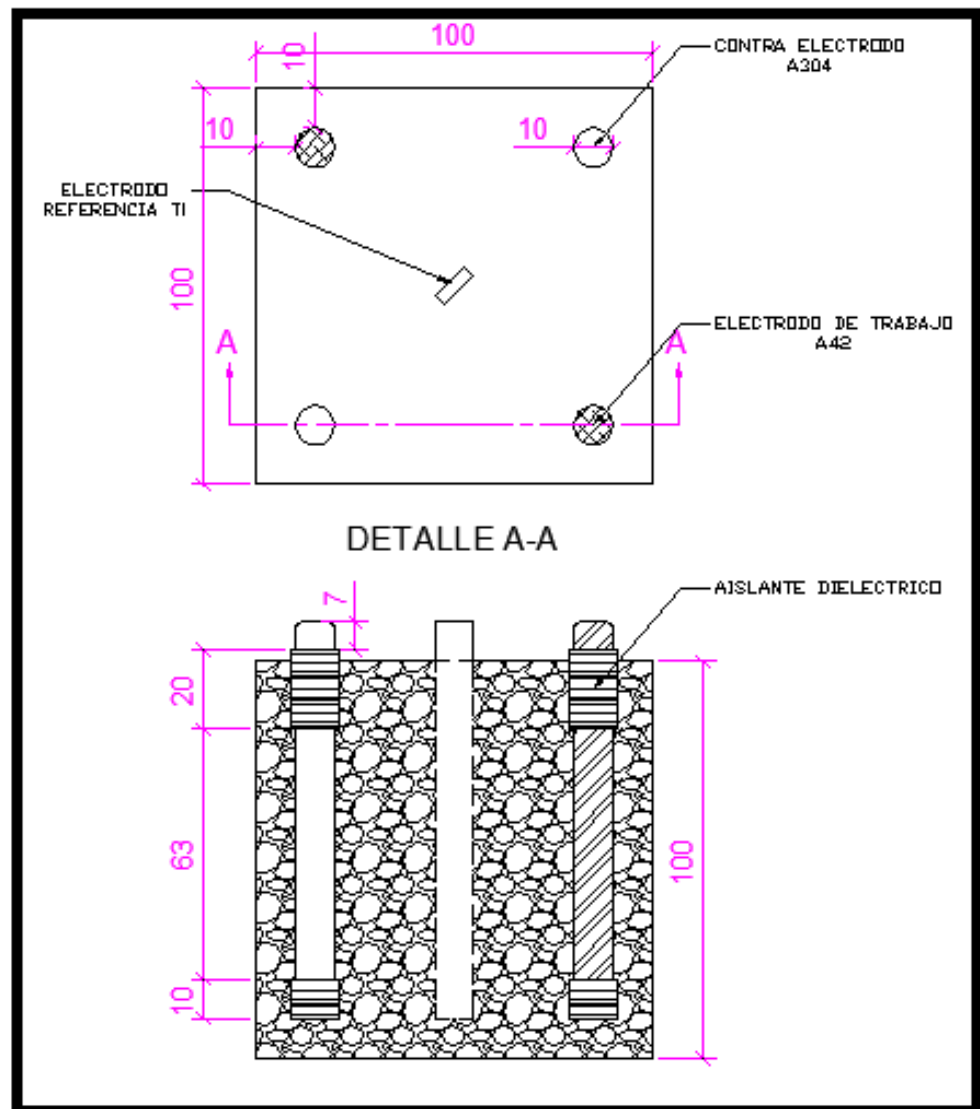


FIGURA 2.4 DIMENSIONES DE LAS PROBETAS

2.3.Valores obtenidos del potencial de reacción bajo diversas atmósferas.

Como lo expresa la ecuación la (Ec-2.1) para determinar el valor de R_p se necesita determinar los valores de E , E_{corr} , R_Ω , los cuales

fueron evaluados de manera experimental. Por cada pareja de probetas expuesta al mismo medio se obtuvieron cuatro datos los cuales fueron promediados, esto se realizo con el fin de obtener un solo valor que represente a las lecturas en cada medio en función del tiempo, tanto para el caso de las probetas con carboxilato de amina y como para las probetas sin él.

Los datos obtenidos de forma experimental se muestran a continuación en forma tabular, mientras que los valores promedios E_{corr} utilizados para trazar el comportamiento del metal de refuerzo embebido en hormigón se los presentan en los numerales del 2.3.1 al 2.3.3., con los cuales en CAPÍTULO 3 se presentaran gráficas que nos ayudaran a inferir si se encuentra en la zona de corrosión.

TABLA 6
POTENCIAL DE CORROSIÓN EN HORMIGÓN ANALIZADO BAJO LA ATMÓSFERA NATURAL DE
GUAYAQUIL SIN CARBOXILATO DE AMINA

MEDICIÓN No.	CÓDIGO PROBETA	días	POTENCIAL DE CORROSIÓN E _{CORR} (mV) ELECTRODO DE TRABAJO vs		POTENCIAL ERI vs CSC (mV)					CORREGID O E _{corr} vs CSC (CON ERI vs CSC)	CORREGID O E _{corr} vs CSC (CON ERI vs CSC)
			AX	AY	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4	PROMEDIO		
1	2X-R-N-1	18	-45,3	-49,8	-30,5	-52,1	-61,9	-56,4	-50,225	-95,525	-100,025
	2X-R-N-2		-37,9	-43,9	-47,6	-57,9	-59,5	-53,4	-54,6	-92,5	-98,5
2	2X-R-N-1	32	-44,4	-44,3	-61,4	-91,6	-106,8	-101,4	-90,3	-134,7	-134,6
	2X-R-N-2		-33,3	-38,7	-34,6	-49,8	-60,3	-56,5	-50,3	-83,6	-89
3	2X-R-N-1	46	-37,3	-40,5	5,3	-27,5	-50,1	-43,5	-28,95	-66,25	-69,45
	2X-R-N-2		-30,9	-35,1	-3,1	-44,5	-53,3	-49,2	-37,525	-68,425	-72,625
4	2X-R-N-1	60	-35,2	-36,1	-12,2	23,3	53,4	38,5	25,75	-9,45	-10,35
	2X-R-N-2		-25,7	-30,8	10,5	-1,2	1,5	-1,3	2,375	-23,325	-28,425
5	2X-R-N-1	74	-31,1	-44,6	11,9	-33,2	-37,2	-35,5	-23,5	-54,6	-68,1
	2X-R-N-2		-23	-29,2	-1,3	-31,8	-34,7	-15,7	-20,875	-43,875	-50,075
6	2X-R-N-1	87	-29,5	-32,9	43,2	-29,9	-70,2	-49,9	-26,7	-56,2	-59,6
	2X-R-N-2		-21,7	-26,7	-9,8	-42,3	-63,9	-48,4	-41,1	-62,8	-67,8
7	2X-R-N-1	102	-38	-35,4	14,3	6,3	-17,9	-29,9	-6,8	-44,8	-42,2
	2X-R-N-2		-37,6	-30	14	-15,8	-40,8	-2,8	-11,35	-48,95	-41,35
8	2X-R-N-1	116	-33,4	-37,7	43	-18,8	-21,9	-5,9	-0,9	-34,3	-38,6
	2X-R-N-2		-33	-29,5	29,4	-20,4	-31,9	-6,4	-7,325	-40,325	-36,825
9	2X-R-N-1	130	-25,2	-26,1	9	-25,4	-19,7	14,8	-5,325	-30,525	-31,425
	2X-R-N-2		-30,1	-32,6	44,4	-10,6	-28,9	-21,6	-4,175	-34,275	-36,775
10	2X-R-N-1	144	-39,6	-44,7	20,4	-10,5	-30,2	-16,8	-9,275	-48,875	-53,975
	2X-R-N-2		-27,8	-36,5	-8,9	-50,6	-23	-21,4	-25,975	-53,775	-62,475

TABLA 7
POTENCIAL DE CORROSIÓN EN HORMIGÓN ANALIZADO BAJO LA ATMÓSFERA NATURAL DE
GUAYAQUIL CON CARBOXILATO DE AMINA

MEDICIÓN No.	CÓDIGO PROBETA	días	POTENCIAL DE CORROSIÓN E _{CORR} (mV) ELECTRODO DE TRABAJO vs		POTENCIAL ERI vs CSC (mV)					CORREGIDO E _{corr} vs CSC (CON ERI vs CSC)	CORREGIDO E _{corr} vs CSC (CON ERI vs CSC)
			AX	AY	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA4	PROMEDIO		
1	2I-R-N-1	18	-43,8	-38,3	-65,9	-50,2	-48,2	-53,0	-54,325	-98,125	-92,625
	2I-R-N-2		-44,3	-33,6	-56,7	-70	-59	-45,5	-57,8	-102,1	-91,4
2	2I-R-N-1	32	-39,6	-35	-65,3	-48	-51,3	-59,5	-56,025	-95,625	-91,025
	2I-R-N-2		-38,1	-26,9	-61,4	-74,7	-70,3	-55,2	-65,4	-103,5	-92,3
3	2I-R-N-1	46	-41,9	-38,6	-53,3	-35,1	-33,4	-41,3	-40,775	-82,675	-79,375
	2I-R-N-2		-43	-25,2	-50,9	-59,3	-48	-45,3	-50,875	-93,875	-76,075
4	2I-R-N-1	60	-39,8	-29,7	-54,2	-33,4	-45,3	-47,5	-45,1	-84,9	-74,8
	2I-R-N-2		-34,7	-21,3	-33,5	-63,1	-49	-29,5	-43,775	-78,475	-65,075
5	2I-R-N-1	74	-32,3	-27,6	-33,2	-19,5	-17,5	-11,3	-20,375	-52,675	-47,975
	2I-R-N-2		-187	-39,3	-36,7	-47,3	-20,3	4,2	-25,025	-212,025	-64,325
6	2I-R-N-1	87	-34,1	-34,6	-23,8	-10,9	-32,7	-37,8	-26,3	-60,4	-60,9
	2I-R-N-2		-30,1	-19,1	-44,6	-27,4	-28	-43,9	-35,975	-66,075	-55,075
7	2I-R-N-1	102	-48,9	-46,5	-21,8	-2,5	-11,2	-12,7	-12,05	-60,95	-58,55
	2I-R-N-2		-157	-134	-13,3	-27,6	10,2	-3,9	-8,65	-165,65	-142,65
8	2I-R-N-1	116	-34,2	-43,7	-25,7	-11,3	-1,8	5,4	-8,35	-42,55	-52,05
	2I-R-N-2		-38,3	-23,4	-1,5	-4,5	-23,5	-8,8	-9,575	-47,875	-32,975
9	2I-R-N-1	130	-44,4	-32,7	-14,9	12,5	-26,9	-19,6	-12,225	-56,625	-44,925
	2I-R-N-2		-29,7	-21,7	-19,8	-20,4	-42,1	-20,1	-25,6	-55,3	-47,3
10	2I-R-N-1	144	-59,4	-57,6	-16,5	-36,6	-18	-15,1	-21,55	-80,95	-79,15
	2I-R-N-2		-36,1	-37,3	-35,6	-13,4	-41,4	-51	-35,35	-71,45	-72,65

TABLA 8
POTENCIAL DE CORROSIÓN EN HORMIGÓN ANALIZADO BAJO CONTAMINACIÓN CON CLORUROS SIN CARBOXILATO DE AMINA

MEDICIÓN No.	CÓDIGO PROBETA	días	POTENCIAL DE CORROSIÓN Ecorr (mV) ELECTRODO DE TRABAJO vs		POTENCIAL ERI vs CSC (mV)					CORREGID O Ecorr vs CSC (CON ERI vs CSC)	CORREGID O Ecorr vs CSC (CON ERI vs CSC)
			AX	AY	CARA 1	CARA2	CARA 3	CARA 4	PROMEDIO		
1	2X-R-S-1	18	-470,4	-424,2	-52,4	-43,8	-39	-42,9	-44,525	-514,925	-468,725
	2X-R-S-2		-256,8	-283,6	-15,1	-19,5	-18,7	-13	-16,575	-273,375	-300,175
2	2X-R-S-1	32	-556,2	-532,5	-49,8	-32,2	-7,1	-45,8	-33,725	-589,925	-566,225
	2X-R-S-2		-556,8	-524,1	-33,6	-38,3	-38,6	-16,2	-31,675	-588,475	-555,775
3	2X-R-S-1	46	-581,3	-506,3	-43,5	-26,9	-9,7	-34,3	-28,6	-609,9	-534,9
	2X-R-S-2		-530,2	-540,9	40,8	75,7	63,7	40	55,05	-475,15	-485,85
4	2X-R-S-1	60	-582	-562,6	-45,3	-40,6	-28,5	-45,8	-40,05	-622,05	-602,65
	2X-R-S-2		-450,5	-493,9	-23,9	-29,8	-28,9	-10,1	-23,175	-473,675	-517,075
5	2X-R-S-1	74	-598,2	-495,3	-45	-19,4	-19,2	-36,9	-30,125	-628,325	-525,425
	2X-R-S-2		-474,8	-547	-6,3	-25,1	-22,2	-9,3	-15,725	-490,525	-562,725
6	2X-R-S-1	87	-538,7	-493,1	-46,9	-26,3	-64,5	-56,6	-48,575	-587,275	-541,675
	2X-R-S-2		-507	-563,1	6,5	-4,4	-1,5	9,8	2,6	-504,4	-560,5
7	2X-R-S-1	102	-504	-430,1	-26,9	-22,7	-31,2	-45,4	-31,55	-535,55	-461,65
	2X-R-S-2		-515,5	-557,7	7,6	-4,1	-7,2	-0,9	-1,15	-516,65	-558,85
8	2X-R-S-1	116	-501,2	-496,8	-54,3	-39,4	-53,5	-44,7	-47,975	-549,175	-544,775
	2X-R-S-2		-547,2	-516,2	-10,3	-6,9	-19,5	-26,5	-15,8	-563	-532
9	2X-R-S-1	130	-524,6	-548,6	-36,7	-22	-60,9	-61,4	-45,25	-569,85	-593,85
	2X-R-S-2		-554	-554	-23,6	-38,7	-22,5	-22,3	-26,775	-580,775	-580,775
10	2X-R-S-1	144	-462,5	-545,4	-32,4	-29,5	-37	-49,9	-37,2	-499,7	-582,6
	2X-R-S-2		-524,3	-491,6	-46,8	-34,3	-21,6	-48,5	-37,8	-562,1	-529,4 -

TABLA 9
POTENCIAL DE CORROSIÓN EN HORMIGÓN ANALIZADO BAJO CONTAMINACIÓN CON CLORUROS CON CARBOXILATO DE AMINA

MEDICIÓN No.	CÓDIGO PROBETA	días	POTENCIAL DE CORROSIÓN E _{CORR} (mV) ELECTRODO DE TRABAJO vs ERI		POTENCIAL ERI vs CSC (mV)					CORREGID O E _{corr} vs CSC (CON ERI vs CSC)	CORREGID O E _{corr} vs CSC (CON ERI vs CSC)
			AX	AY	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4	PROMEDIO		
1	2I-R-S-1	18	-450	-279,6	-118,2	-128,5	-127,3	-105,9	-119,975	-569,975	-399,575
	2I-R-S-2		-546,6	-328,4	6,9	6,6	9,2	10,2	8,225	-538,375	-320,175
2	2I-R-S-1	32	-394,1	-400,8	-127,6	-217,9	-216,3	-200,8	-190,65	-584,75	-591,45
	2I-R-S-2		-700	-353,5	-6	1,2	-8,8	-10,3	-5,975	-705,975	-359,475
3	2I-R-S-1	46	-305,2	-330,2	-259,1	-253,2	-253,4	-237,1	-250,7	-555,9	-580,9
	2I-R-S-2		-587,3	-596	14,7	3,3	-0,9	-10,3	1,7	-585,6	-594,3
4	2I-R-S-1	60	-417,2	-462,5	-117,5	-132,5	-117,5	-114,31	-120,4525	-537,6525	-582,9525
	2I-R-S-2		-589,3	-536,2	10,5	-1,2	1,5	-1,3	2,375	-586,925	-533,825
5	2I-R-S-1	74	-623,2	-520,6	9,9	3,7	13,1	7,2	8,475	-614,725	-512,125
	2I-R-S-2		-590	-573,1	-10,7	2,2	-16,3	-14,5	-9,825	-599,825	-582,925
6	2I-R-S-1	88	-567	-534	37,3	3,3	-0,6	-1,7	9,575	-557,425	-524,425
	2I-R-S-2		-577,9	-503,1	24,25	-24,6	12,5	24,2	9,0875	-568,8125	-494,0125
7	2I-R-S-1	102	-613,1	-589,4	38,2	18	38	28,8	30,75	-582,35	-558,65
	2I-R-S-2		-546,4	-547,9	-10,9	12,5	-16,5	-21,8	-9,175	-555,575	-557,075
8	2I-R-S-1	116	-524	-549,4	-17,5	5,4	-15,5	-21,8	-12,35	-536,35	-561,75
	2I-R-S-2		-597,8	-589,1	48,2	38,9	54,2	51,1	48,1	-549,7	-541
9	2I-R-S-1	130	-465,7	-395,3	26,2	-1,8	26,6	11,3	15,575	-450,125	-379,725
	2I-R-S-2		-533,4	-504,1	-27,2	-15,8	-28,5	-58,3	-32,45	-565,85	-536,55
10	2I-R-S-1	144	-466,4	-479	10,9	14,5	7,5	14,9	11,95	-454,45	-467,05
	2I-R-S-2		-555	-564,8	-9,5	-18,2	16,2	-36,9	-12,1	-567,1	-576,9

TABLA 10
POTENCIAL DE CORROSIÓN EN HORMIGÓN ANALIZADO BAJO CARBONATACIÓN SIN CARBOXILATO DE AMINA

MEDICIÓN No.	CÓDIGO PROBETA	días	POTENCIAL DE CORROSIÓN E _{CORR} (mV) ELECTRODO DE TRABAJO vs ERI		POTENCIAL ERI vs CSC (mV)					CORREGIDO E _{corr} vs CSC (CON ERI vs CSC)	CORREGIDO E _{corr} vs CSC (CON ERI vs CSC)
			AX	AY	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4	PROMEDIO		
1	2X-R-C-1	28	-207,7	-166,1	-52,1	-72,6	-8,4	29,7	-25,85	-233,55	-191,95
	2X-R-C-2		-177,6	-169,8	-29,8	-31,6	-30,7	-42,1	-33,55	-211,15	-203,35
2	2X-R-C-1	42	-154,7	-124,6	26,4	17,7	-0,4	-9,9	8,45	-146,25	-116,15
	2X-R-C-2		-134,4	-124,5	10,7	13,5	10,3	6,3	10,2	-124,2	-114,3
3	2X-R-C-1	56	-140,2	-104	8,1	3,5	-10,5	-31,3	-7,55	-147,75	-111,55
	2X-R-C-2		-102,2	-102,9	6,3	7,5	-8,1	-5,3	0,1	-102,1	-102,8
4	2X-R-C-1	70	-131,7	-101,3	26,1	28,7	-10,5	-7,3	9,25	-122,45	-92,05
	2X-R-C-2		-97,7	-99,5	5,4	15,3	14,3	1,3	9,075	-88,625	-90,425
5	2X-R-C-1	84	-128,2	-102,4	38,6	49,5	23,5	61,5	43,275	-84,925	-59,125
	2X-R-C-2		-94,1	-96,1	10	-13,3	6,8	25,8	7,325	-86,775	-88,775
6	2X-R-C-1	98	-126,3	-103,3	48	38,2	0,4	1,5	22,025	-104,275	-81,275
	2X-R-C-2		-94,2	-96,3	15,7	15,3	18,6	14,1	15,925	-78,275	-80,375
7	2X-R-C-1	112	-109	-91,1	34,8	33,1	7,8	5,4	20,275	-88,725	-70,825
	2X-R-C-2		-79,9	-78,9	13,4	14,5	13,5	10,7	13,025	-66,875	-65,875
8	2X-R-C-1	126	-116,7	-97,3	10	-13,3	6,8	25,8	7,325	-109,375	-89,975
	2X-R-C-2		-76,2	-83,3	48	38,2	0,4	1,5	22,025	-54,175	-61,275
9	2X-R-C-1	140	-171,3	-249	34,8	33,1	7,8	5,4	20,275	-151,025	-228,725
	2X-R-C-2		-146,1	-147	13,4	14,5	13,5	10,7	13,025	-133,075	-133,975
10	2X-R-C-1	154	-170,7	-150,4	76,8	78,5	44,9	49,8	62,5	-108,2	-87,9
	2X-R-C-2		-140,9	-145,1	71,4	74,5	72,7	62,5	70,275	-70,625	-74,825

TABLA11
POTENCIAL DE CORROSIÓN EN HORMIGÓN ANALIZADO BAJO CARBONATACIÓN CON CARBOXILATO DE AMINA

MEDICIÓN No.	CÓDIGO PROBETA	días	POTENCIAL DE CORROSIÓN E _{CORR} (mV) ELECTRODO DE TRABAJO vs ERI		POTENCIAL ERIvsCSC(mV)					CORREGID O E _{corr} vs CSC (CON ERI vs CSC)	CORREGID O E _{corr} vs CSC (CON ERI vs CSC)
			AX	AY	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4	PROMEDI		
1	2I-R-C-1	28	-72,7	-154,7	42,1	49,7	-40,3	35,8	21,825	-50,875	-132,875
	2I-R-C-2		-71,2	-112,3	24,8	25,5	-17,3	-52,2	-4,8	-76	-117,1
2	2I-R-C-1	42	-61,9	-115,5	31,4	39,1	-20,3	32,1	20,575	-41,325	-94,925
	2I-R-C-2		-49,2	-76,9	-6,9	6,5	1,5	11,1	3,05	-46,15	-73,85
3	2I-R-C-1	56	-63,7	-102,1	24,7	45,3	-2,2	30,3	24,525	-39,175	-77,575
	2I-R-C-2		-58,7	-70,6	4,5	11,5	6,2	-15,3	1,725	-56,975	-68,875
4	2I-R-C-1	70	-60,6	-99,3	29,5	44,4	38,7	52,3	41,225	-19,375	-58,075
	2I-R-C-2		-45,1	-63	10,2	1,9	6,9	35,3	13,575	-31,525	-49,425
5	2I-R-C-1	84	-61,1	-93	17,9	20,6	-3,9	-6,8	6,95	-54,15	-86,05
	2I-R-C-2		-42,1	-58	-9,5	5,5	-2,6	10,1	0,875	-41,225	-57,125
6	2I-R-C-1	98	-53,4	-97,1	46	38,1	36,6	38,5	39,8	-13,6	-57,3
	2I-R-C-2		-44,4	-65,6	39,3	31,5	19,9	44	33,675	-10,725	-31,925
7	2I-R-C-1	112	-54,7	-84,9	36,9	40	29,7	44,7	37,825	-16,875	-47,075
	2I-R-C-2		-40,1	-57,6	17,2	7,4	12,9	43,3	20,2	-19,9	-37,4
8	2I-R-C-1	126	-65,8	-94	30,6	46,3	47,2	47,2	42,825	-22,975	-51,175
	2I-R-C-2		-77,3	-86	65,6	59	67,1	90,2	70,475	-6,825	-15,525
9	2I-R-C-1	140	-57,8	-83,2	10,2	1,9	6,9	35,3	13,575	-44,225	-69,625
	2I-R-C-2		-91,2	-86	17,9	20,6	-3,9	-6,8	6,95	-84,25	-79,05
10	2I-R-C-1	154	-65,8	-94	30,6	46,3	47,2	47,2	42,825	-22,975	-51,175
	2I-R-C-2		-77,3	-86	65,6	59	67,1	90,2	70,475	-6,825	-15,525

TABLA 12
POTENCIAL DE REACCIÓN EN HORMIGÓN ANALIZADO BAJO LA ATMÓSFERA NATURAL DE GUAYAQUIL
SIN CARBOXILATO DE AMINA

MEDICIÓN No.	CÓDIGO PROBETA	Días	POTENCIAL 60seg: E(mV)			
			AX	AY	CORREGIDO CSC AX	CORREGIDO CSC AY
1	2X-R-N-1	18	389	363	338,775	312,775
	2X-R-N-2		301	473	246,4	418,4
2	2X-R-N-1	32	217	214	126,7	123,7
	2X-R-N-2		320	170	269,7	119,7
3	2X-R-N-1	46	455	434	426,05	405,05
	2X-R-N-2		566	382	528,475	344,475
4	2X-R-N-1	60	483	476	508,75	501,75
	2X-R-N-2		630	431	632,375	433,375
5	2X-R-N-1	74	485	484	461,5	460,5
	2X-R-N-2		671	430	650,125	409,125
6	2X-R-N-1	87	527	608	500,3	581,3
	2X-R-N-2		706	552	664,9	510,9
7	2X-R-N-1	102	574	581	567,2	574,2
	2X-R-N-2		659	483	647,65	471,65
8	2X-R-N-1	116	542	585	541,1	584,1
	2X-R-N-2		674	479	666,675	471,675
9	2X-R-N-1	130	545	495	539,675	489,675
	2X-R-N-2		591	494	586,825	489,825
10	2X-R-N-1	144	566	642	556,725	632,725
	2X-R-N-2		741	563	715,025	537,025

TABLA13
POTENCIAL DE REACCIÓN EN HORMIGÓN ANALIZADO BAJO LA ATMÓSFERA NATURAL DE
GUAYAQUIL CON CARBOXILATO DE AMINA

MEDICIÓN No.	CÓDIGO PROBETA	días	POTENCIAL 60seg: E(mV)			
			AX	AY	CORREGIDO CSC AX	CORREGIDO CSC AY
1	2I-R-N-1	18	489	450	434,675	395,675
	2I-R-N-2		496	446	438,2	388,2
2	2I-R-N-1	32	276	173	219,975	116,975
	2I-R-N-2		332	245	266,6	179,6
3	2I-R-N-1	46	533	547	492,225	506,225
	2I-R-N-2		619	515	568,125	464,125
4	2I-R-N-1	60	620	573	574,9	527,9
	2I-R-N-2		669	564	625,225	520,225
5	2I-R-N-1	74	600	449	579,625	428,625
	2I-R-N-2		705	594	679,975	568,975
6	2I-R-N-1	87	675	607	648,7	580,7
	2I-R-N-2		656	641	620,025	605,025
7	2I-R-N-1	102	700	643	687,95	630,95
	2I-R-N-2		610	542	601,35	533,35
8	2I-R-N-1	116	676	702	667,65	693,65
	2I-R-N-2		785	632	775,425	622,425
9	2I-R-N-1	130	228	322	215,775	309,775
	2I-R-N-2		815	562	789,4	536,4
10	2I-R-N-1	144	695	791	673,45	769,45
	2I-R-N-2		833	695	797,65	659,65

TABLA 14
POTENCIAL DE REACCIÓN EN HORMIGÓN ANALIZADO BAJO CONTAMINACIÓN CON CLORUROS SIN
CARBOXILATO DE AMINA

MEDICIÓN No.	CÓDIGO PROBETA	días	POTENCIAL 60seg: E(mV)			
			AX	AY	CORREGIDO CSC AX	CORREGIDO CSC AY
1	2X-R-S-1	18	-328	-156	-372,525	-200,525
	2X-R-S-2		176	39	159,425	22,425
2	2X-R-S-1	32	-541	-457	-574,725	-490,725
	2X-R-S-2		-472	-510	-503,675	-541,675
3	2X-R-S-1	46	-516	-358	-544,6	-386,6
	2X-R-S-2		-397	-411	-341,95	-355,95
4	2X-R-S-1	60	-470	-299	-510,05	-339,05
	2X-R-S-2		-341	-433	-364,175	-456,175
5	2X-R-S-1	74	-546	-312	-576,125	-342,125
	2X-R-S-2		-336	-440	-351,725	-455,725
6	2X-R-S-1	87	-477	-314	-525,575	-362,575
	2X-R-S-2		-364	-454	-361,4	-451,4
7	2X-R-S-1	102	-413	-275	-444,55	-306,55
	2X-R-S-2		-398	-433	-399,15	-434,15
8	2X-R-S-1	116	-438	-366	-485,975	-413,975
	2X-R-S-2		-424	-397	-439,8	-412,8
9	2X-R-S-1	130	-389	-337	-434,25	-382,25
	2X-R-S-2		-321	-434	-347,775	-460,775
10	2X-R-S-1	144	-407	-404	-444,2	-441,2
	2X-R-S-2		-430	-409	-467,8	-446,8

TABLA 15
POTENCIAL DE REACCIÓN EN HORMIGÓN ANALIZADO BAJO CONTAMINACIÓN CON CLORUROS CON
CARBOXILATO DE AMINA

MEDICIÓN No.	CÓDIGO PROBETA	días	POTENCIAL 60seg: E(mV)			
			AX	AY	CORREGIDO CSC AX	CORREGIDO CSC AY
1	2I-R-S-1	18	-411	113	-530,975	-6,975
	2I-R-S-2		-245	-155	-236,775	-146,775
2	2I-R-S-1	32	-373	-381	-563,65	-571,65
	2I-R-S-2		-671	-226	-676,975	-231,975
3	2I-R-S-1	46	-242	-176	-492,7	-426,7
	2I-R-S-2		-508	-468	-506,3	-466,3
4	2I-R-S-1	60	-295	-319	-415,4525	-439,4525
	2I-R-S-2		-519	-381	-516,625	-378,625
5	2I-R-S-1	74	-450	-475	-441,525	-466,525
	2I-R-S-2		-533	-343	-542,825	-352,825
6	2I-R-S-1	88	-311	-279	-301,425	-269,425
	2I-R-S-2		-538	-398	-528,9125	-388,9125
7	2I-R-S-1	102	-440	-307	-409,25	-276,25
	2I-R-S-2		-522	-470	-531,175	-479,175
8	2I-R-S-1	116	-453	-422	-465,35	-434,35
	2I-R-S-2		-513	-468	-464,9	-419,9
9	2I-R-S-1	130	-350	-189	-334,425	-173,425
	2I-R-S-2		-413	-383	-445,45	-415,45
10	2I-R-S-1	144	-319	-337	-307,05	-325,05
	2I-R-S-2		-458	-446	-470,1	-458,1

TABLA 16
POTENCIAL DE REACCIÓN EN HORMIGÓN ANALIZADO BAJO CARBONATACIÓN SIN CARBOXILATO DE AMINA

MEDICIÓN No.	CÓDIGO PROBETA	días	POTENCIAL 60seg: E(mV)			
			AX	AY	CORREGIDO CSC AX	CORREGIDO CSC AY
1	2I-R-C-1	28	180	68	201,825	89,825
	2I-R-C-2		243	193	238,2	188,2
2	2I-R-C-1	42	429	330	449,575	350,575
	2I-R-C-2		408	426	411,05	429,05
3	2I-R-C-1	56	419	306	443,525	330,525
	2I-R-C-2		379	383	380,725	384,725
4	2I-R-C-1	70	426	370	467,225	411,225
	2I-R-C-2		388	399	401,575	412,575
5	2I-R-C-1	84	392	318	398,95	324,95
	2I-R-C-2		390	406	390,875	406,875
6	2I-R-C-1	98	450	433	489,8	472,8
	2I-R-C-2		464	452	497,675	485,675
7	2I-R-C-1	112	478	426	515,825	463,825
	2I-R-C-2		232	236	252,2	256,2
8	2I-R-C-1	126	509	392	551,825	434,825
	2I-R-C-2		421	424	491,475	494,475
9	2I-R-C-1	140	591	492	604,575	505,575
	2I-R-C-2		435	467	441,95	473,95
10	2I-R-C-1	154	598	520	640,825	562,825
	2I-R-C-2		436	500	506,475	570,475

TABLA17
POTENCIAL DE REACCIÓN EN HORMIGÓN ANALIZADO BAJO CARBONATACIÓN CON CARBOXILATO DE AMINA

MEDICIÓN No.	CÓDIGO PROBET	Días	POTENCIAL 60seg: E(mV)			
			AX	AY	CORREGIDO CSC AX	CORREGIDO CSC AY
1	2I-R-C-1	28	180	68	201,825	89,825
	2I-R-C-2		243	193	238,2	188,2
2	2I-R-C-1	42	429	330	449,575	350,575
	2I-R-C-2		408	426	411,05	429,05
3	2I-R-C-1	56	419	306	443,525	330,525
	2I-R-C-2		379	383	380,725	384,725
4	2I-R-C-1	70	426	370	467,225	411,225
	2I-R-C-2		388	399	401,575	412,575
5	2I-R-C-1	84	392	318	398,95	324,95
	2I-R-C-2		390	406	390,875	406,875
6	2I-R-C-1	98	450	433	489,8	472,8
	2I-R-C-2		464	452	497,675	485,675
7	2I-R-C-1	112	478	426	515,825	463,825
	2I-R-C-2		232	236	252,2	256,2
8	2I-R-C-1	126	509	392	551,825	434,825
	2I-R-C-2		421	424	491,475	494,475
9	2I-R-C-1	140	591	492	604,575	505,575
	2I-R-C-2		435	467	441,95	473,95
10	2I-R-C-1	154	598	520	640,825	562,825
	2I-R-C-2		436	500	506,475	570,475

2.3.1. Entorno natural en Guayaquil.

TABLA 18
POTENCIALES DE CORROSIÓN PROMEDIOS BAJO LA
ATMÓSFERA NATURAL DE GUAYAQUIL

Atmósfera natural		
Días	Ecorr [mV] Base	Ecorr [mV] Base+Carbo
15	-96,64	-96,06
30	-110,48	-95,61
45	-69,19	-83,00
60	-17,89	-75,81
75	-54,16	-94,25
90	-61,60	-60,61
105	-44,33	-106,95
120	-37,51	-43,86
135	-28,50	-28,60
150	-54,78	-76,05

2.3.2. Atmósfera acuosa contaminada con cloruros.

TABLA 19
POTENCIALES DE CORROSIÓN PROMEDIOS BAJO
CONTAMINACIÓN CON CLORUROS

Contaminación con cloruros		
Días	Ecorr [mV] Base	Ecorr [mV] Base+Carbo
15	-389,30	-457,03
30	-575,10	-560,41
45	-526,45	-579,18
60	-553,86	-560,34
75	-551,75	-577,40
90	-548,46	-536,17
105	-518,18	-563,41
120	-547,24	-547,20
135	-485,45	-474,63
150	-543,45	-516,38

2.3.3. Atmósfera gaseosa con 99% de dióxido de carbono.

TABLA 20
POTENCIALES DE CORROSIÓN PROMEDIOS BAJO
CARBONATACIÓN

Atmósfera con 99% CO₂		
Días	Ecorr [mV] Base	Ecorr [mV] Base+Carbo
15	-210,00	-94,21
30	-125,23	-64,06
45	-116,05	-60,65
60	-98,39	-39,60
75	-79,90	-59,64
90	-86,05	-28,39
105	-73,08	-30,31
120	-78,70	-81,78
135	-161,70	-69,29
150	-85,39	-24,13

2.4. Determinación de la resistencia a la polarización

Aplicando los datos mostrados en el numeral 2.3 a la (Ec-2.1) en conjunto con los valores de la resistencia eléctrica del electrolito mostrados en el apéndice se ha determinado los diferentes valores para R_p , los cuales se listan a continuación en la tabla 2.17.

TABLA 21
RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN BAJO LAS ATMÓSFERAS DE ANÁLISIS

	RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN PROMEDIO [$\Omega \cdot \text{cm}^2$]					
	ATMÓSFERA CON 99% CO ₂		CONTAMINACIÓN CON CLORUROS		ATMÓSFERA NATURAL	
DÍAS	Base	Base+Carboxilato	Base	Base+Carboxilato	Base	Base+Carboxilato
15	215401,0	246724,5	230385,7	75422,2	392557,3	480774,1
30	623887,7	920335,2	27009,8	39836,5	492151,2	519923,2
45	391116,2	418279,5	91776,3	78395,3	450994,5	542762,6
60	415149,7	436880,7	86481,7	96929,4	481550,0	577670,3
75	397759,0	413038,5	78188,8	59734,4	479906,5	555387,7
90	480714,1	480667,5	88389,1	69935,2	547927,5	589104,0
105	455892,2	335509,4	102480,6	30517,3	527985,8	635474,9
120	360133,3	487019,7	81408,2	77396,7	520456,9	641512,0
135	541268,3	539731,0	146109,3	118760,4	475790,9	299565,4
150	449390,9	556388,6	64176,0	106189,0	569446,7	682581,3

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el actual capítulo se procede a graficar los datos presentados en el CAPÍTULO anterior, con los cuales se puede observar la evolución de los valores de E_{corr} y R_p en función del tiempo de transcurrido entre cada lectura (Realizadas quincenalmente).

Para determinar si las probetas están en la zona de corrosión se aplica el siguiente criterio dado en la norma ASTM C 876-91⁽⁷⁾ el cual establece: para valores de E_{corr} mas positivos que -200 mV con respecto al electrodo de cobre-sulfato de cobre, existe el 10% de probabilidad de que esté ocurriendo corrosión el metal de refuerzo; y que para valores de E_{Corr} mas negativos que -350 mV con respecto al electrodo de cobre-sulfato de

cobre, existe el 90% de probabilidad de que esté ocurriendo corrosión el metal de refuerzo.

Se presenta la gráfica de comportamiento E_{corr} vs Tiempo sin carboxilato de amina para evidenciar en que zona se encuentran las probetas sin la acción de este, para luego mostrar solo las desviaciones individuales bajo cada atmósfera ocasionadas por el uso del carboxilato. El desempeño del carboxilato de amina se evalúa bajo las diversas atmósferas seleccionadas superponiendo los comportamientos correspondientes a las probetas con y sin carboxilato, sometidas bajo la misma atmósfera, por lo cual se obtienen gráficas de E_{corr} vs Tiempo y R_p vs Tiempo, correspondientes a cada atmósfera: El entorno natural de Guayaquil, Atmósfera contaminada con cloruros, Atmósfera con 99% de dióxido de carbono respectivamente. Usando valores de la constante de Stern-Geary para el hormigón ($B = 0,052 \text{ V}$ para $E_{\text{corr}} > -200\text{mV}$ y $B = 0,026 \text{ V}$ para $E_{\text{corr}} < -350\text{mV}$) fueron transformados los valores R_p a i_{corr} , con el fin de observar la variación de la velocidad de corrosión. Finalmente son graficados los comportamientos de i_{corr} vs Tiempo con lo cual se puede observar valores proporcionales a la reducción de la velocidad de corrosión.

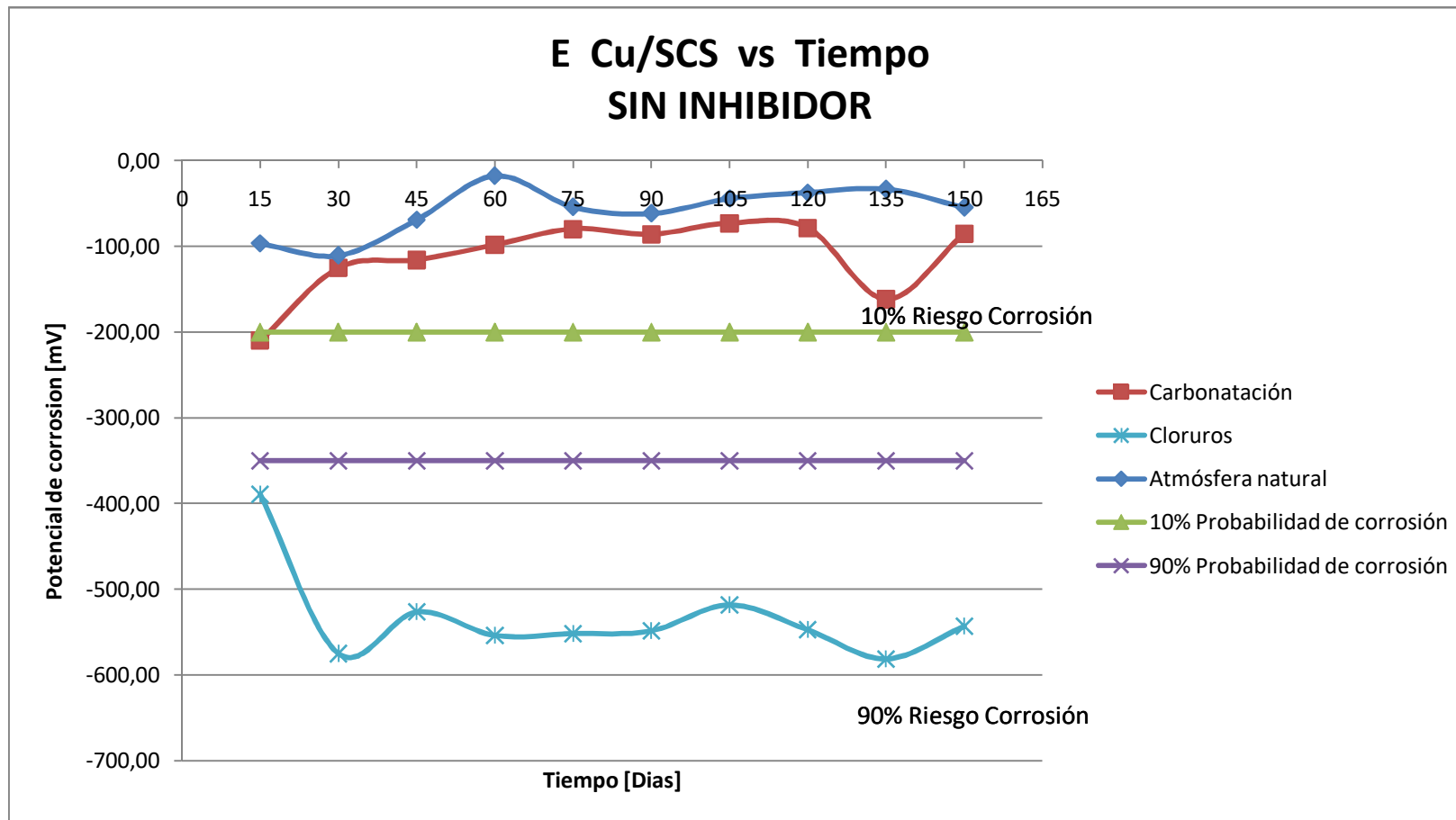


FIGURA 3.1 COMPORTAMIENTO DE POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL ACERO ASTM A42 EMBEBIDO EN HORMIGÓN PÓRTLAND CONTRA TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN LAS DIFERENTES ATMÓSFERAS.

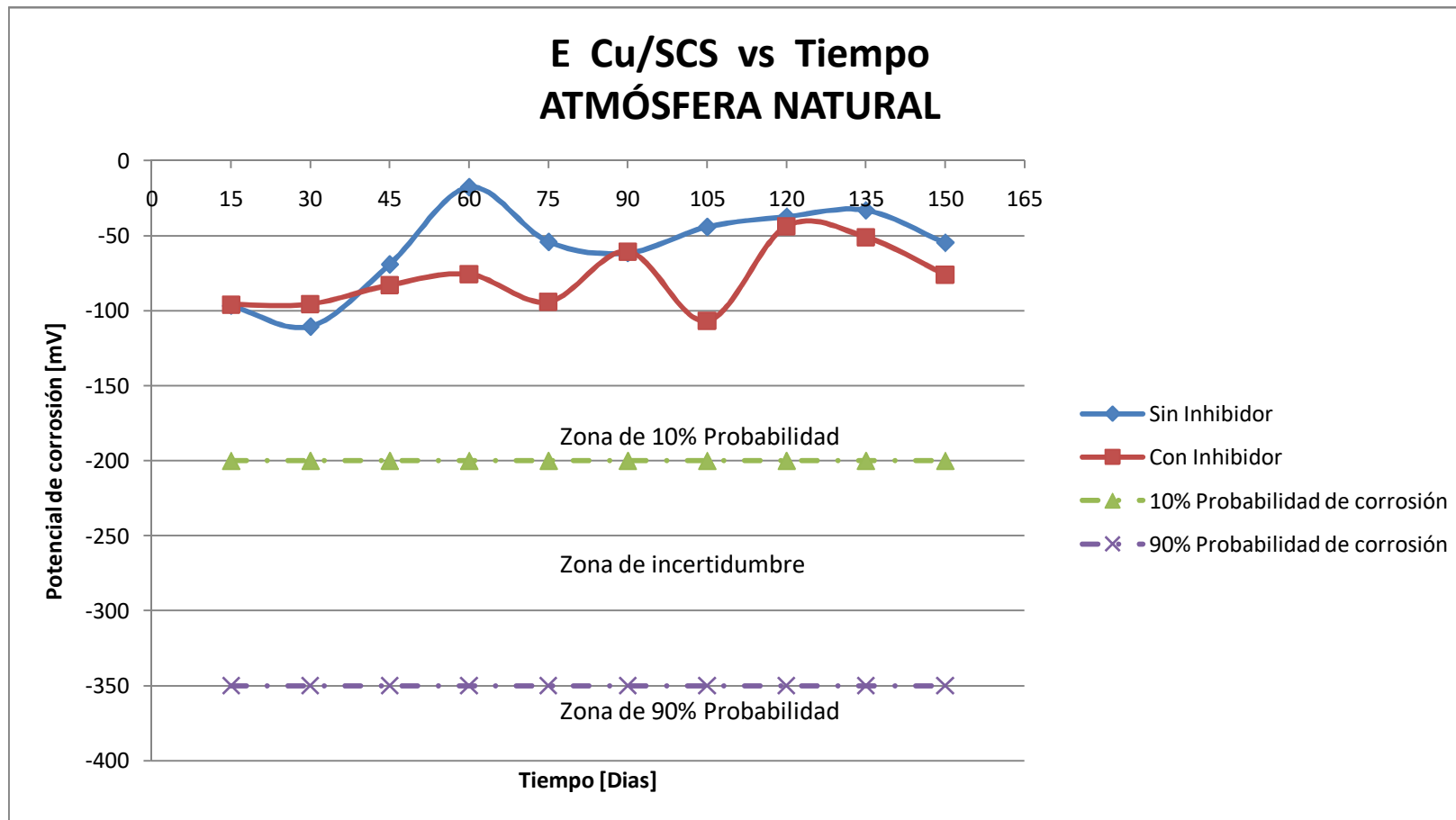


FIGURA 3.2. COMPORTAMIENTO DE POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL ACERO ASTM A42 EMBEBIDO EN HORMIGÓN PÓRTLAND CONTRA TIEMPO DE EXPOSICIÓN BAJO EL ENTORNO NATURAL DE GUAYAQUIL.

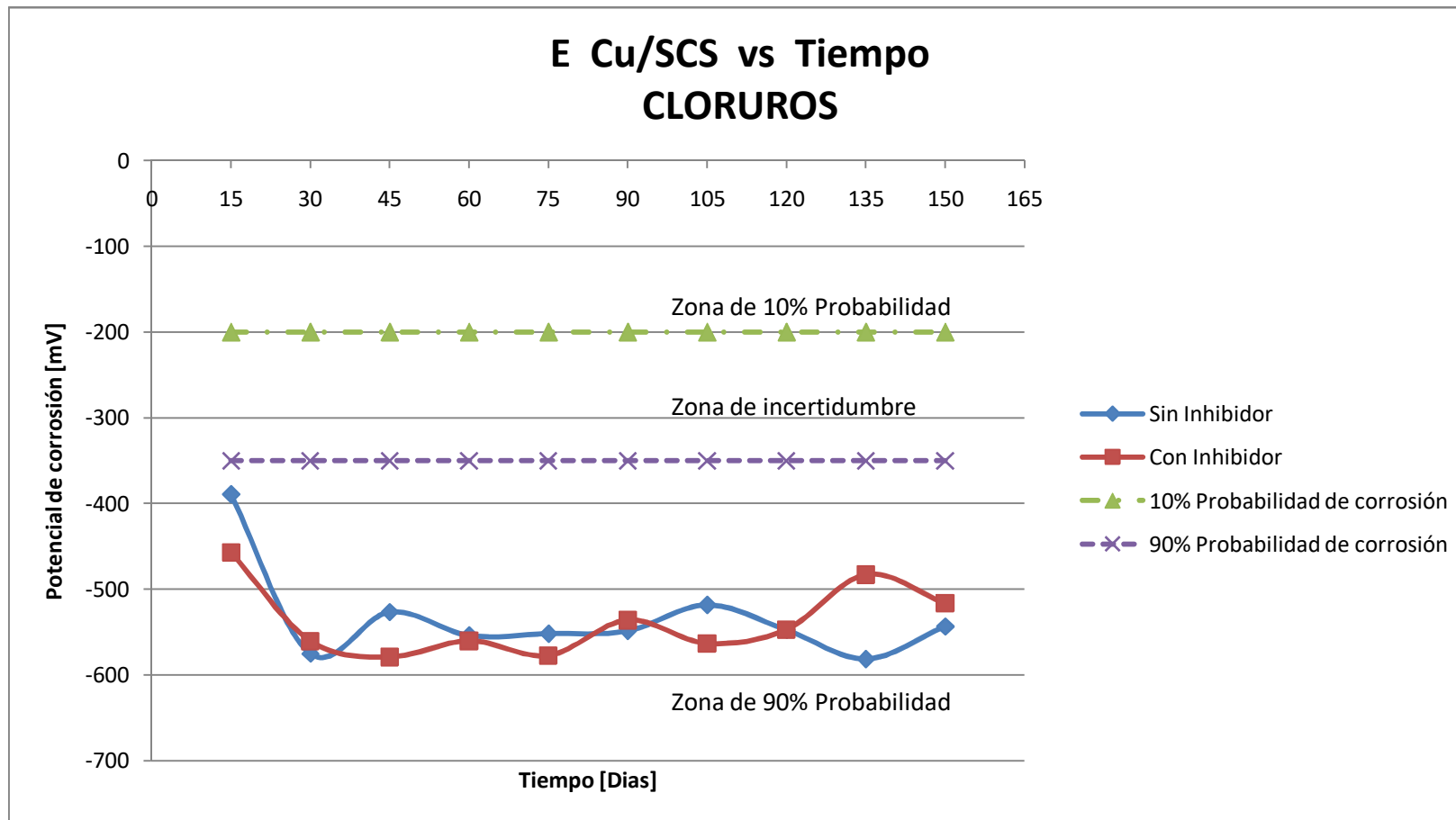


FIGURA 3.3. COMPORTAMIENTO DE POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL ACERO ASTM A42 EMBEBIDO EN HORMIGÓN PÓRTLAND CONTRA TIEMPO DE EXPOSICIÓN BAJO ATMÓSFERA ACUOSA CONTAMINADA CON CLORUROS.

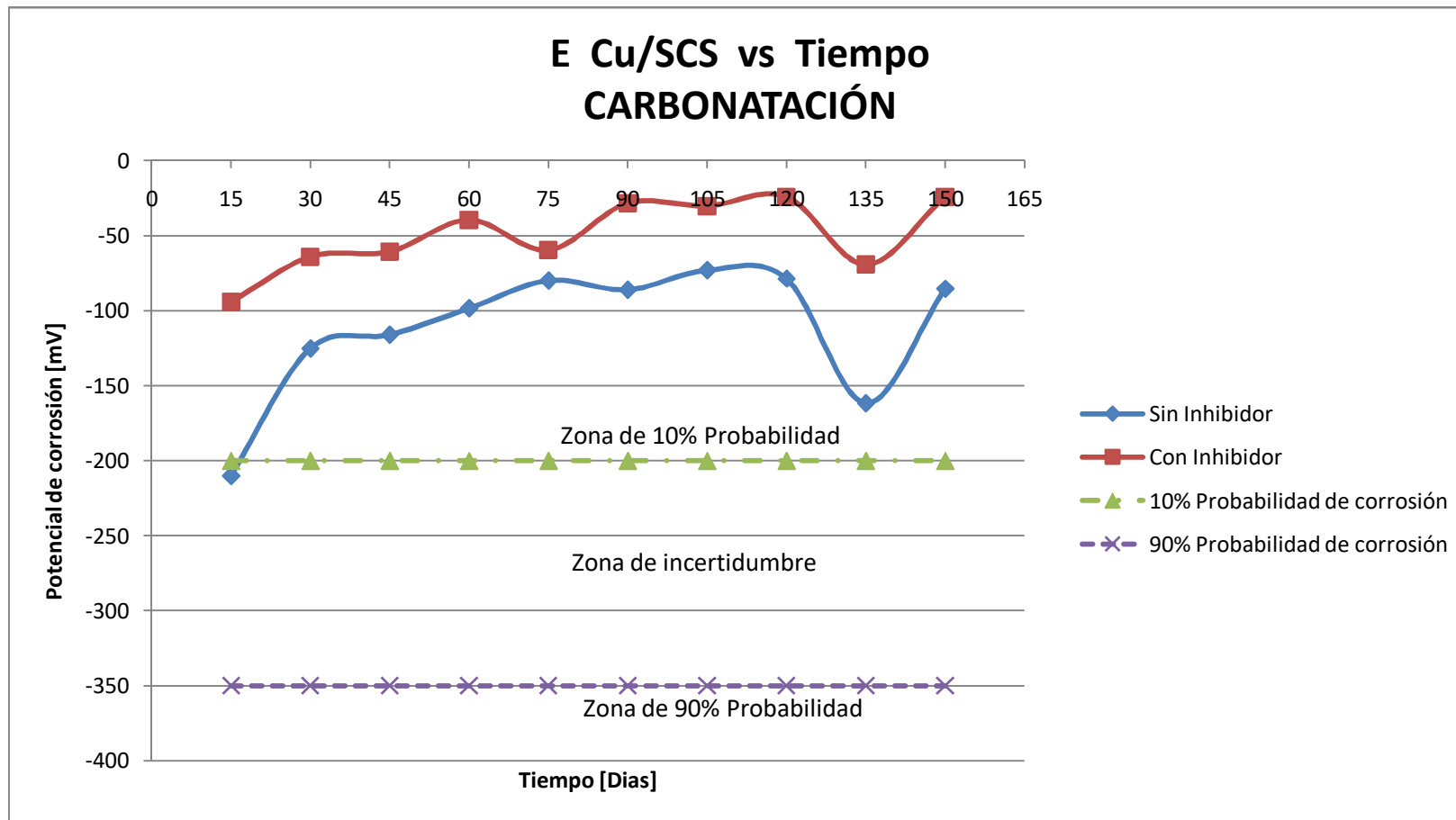


FIGURA 3.4. COMPORTAMIENTO DE POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL ACERO ASTM A42 EMBEBIDO EN HORMIGÓN PÓRTLAND CONTRA TIEMPO DE EXPOSICIÓN BAJO ATMÓSFERA GASEOSA CON 99% DE DIÓXIDO DE CARBONO.

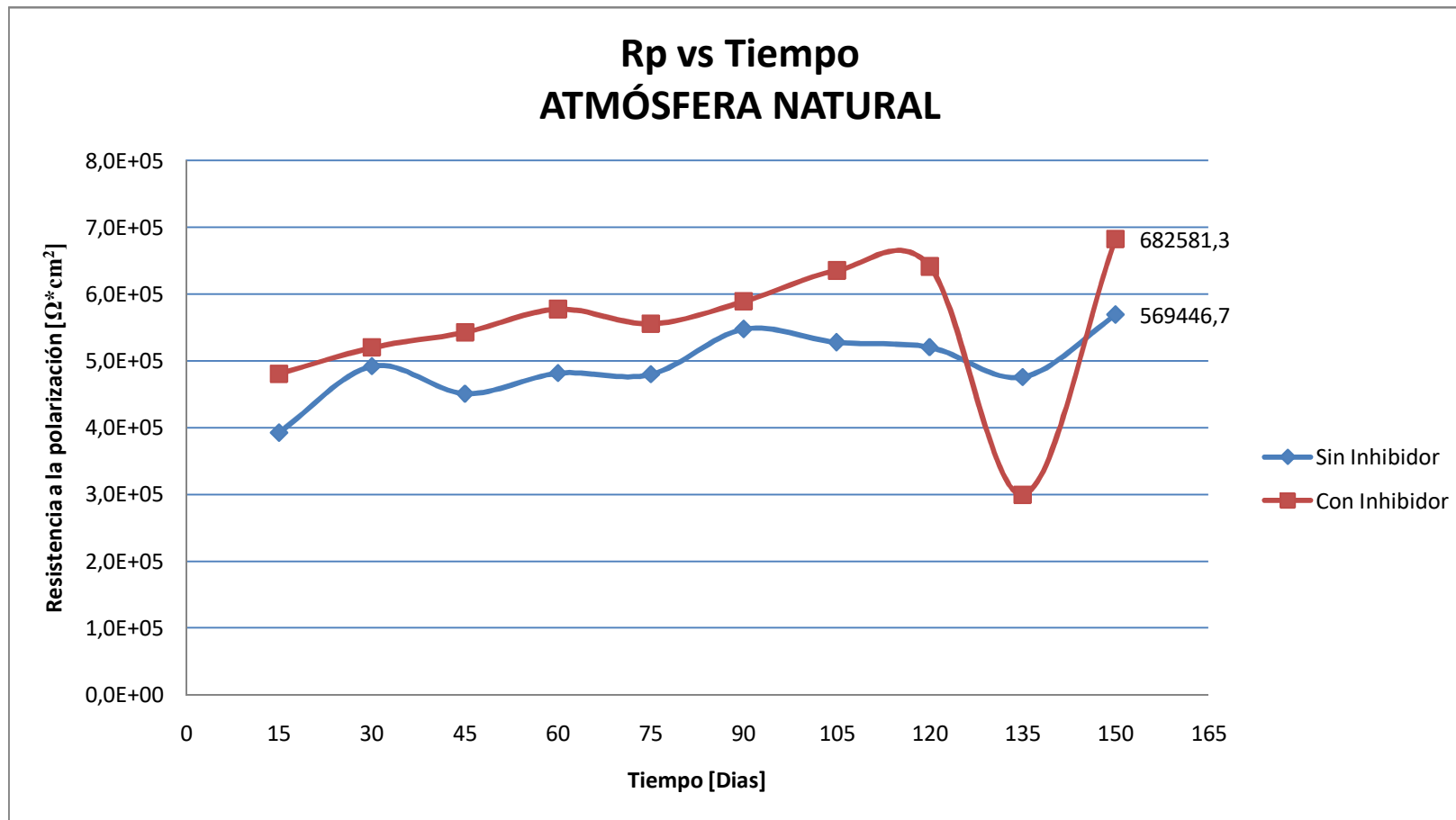


FIGURA 3.5. COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN DEL ACERO ASTM A42 EMBEBIDO EN HORMIGÓN PÓRTLAND CONTRA TIEMPO BAJO EL ENTORNO NATURAL DE GUAYAQUIL.

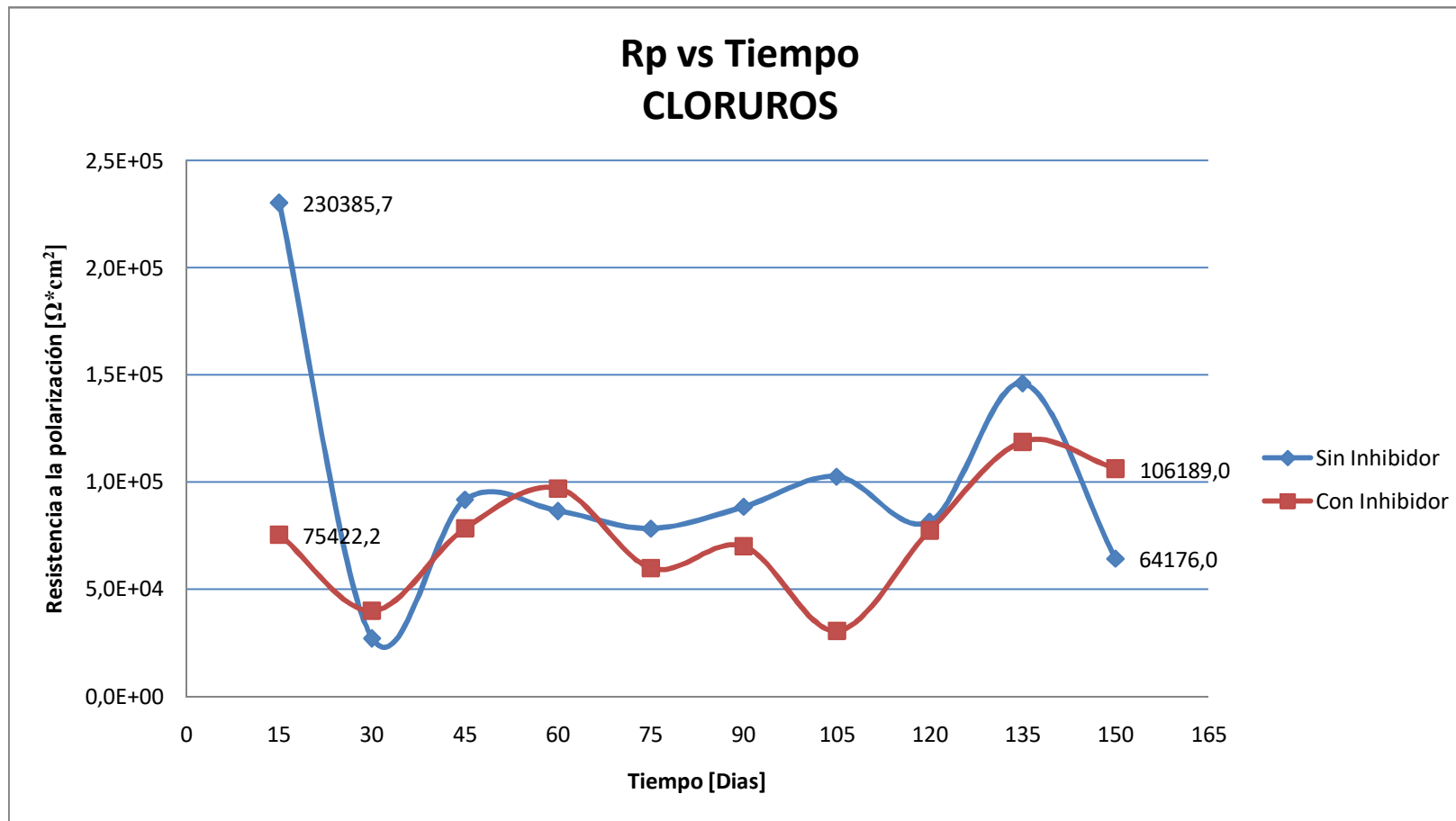


FIGURA 3.6. COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN DEL ACERO ASTM A42 EMBEBIDO EN HORMIGÓN PÓRTLAND CONTRA TIEMPO DE EXPOSICIÓN BAJO ATMÓSFERA ACUOSA CONTAMINADA CON CLORUROS.

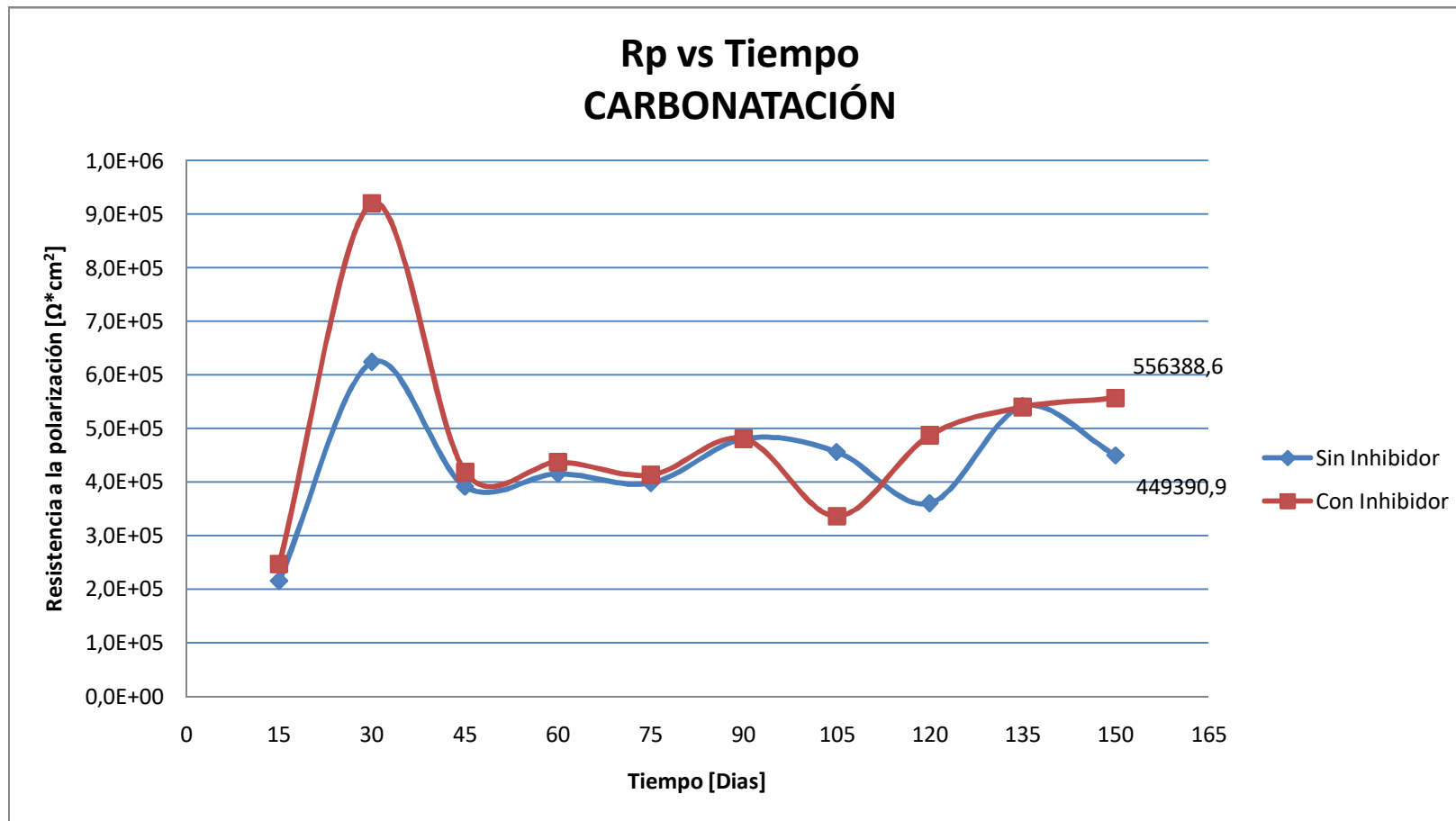


FIGURA 3.7. COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN DEL ACERO ASTM A42 EMBEBIDO EN HORMIGÓN PÓRTLAND CONTRA TIEMPO DE EXPOSICIÓN BAJO ATMÓSFERA GASEOSA CON 99% DE DIÓXIDO DE CARBONO.

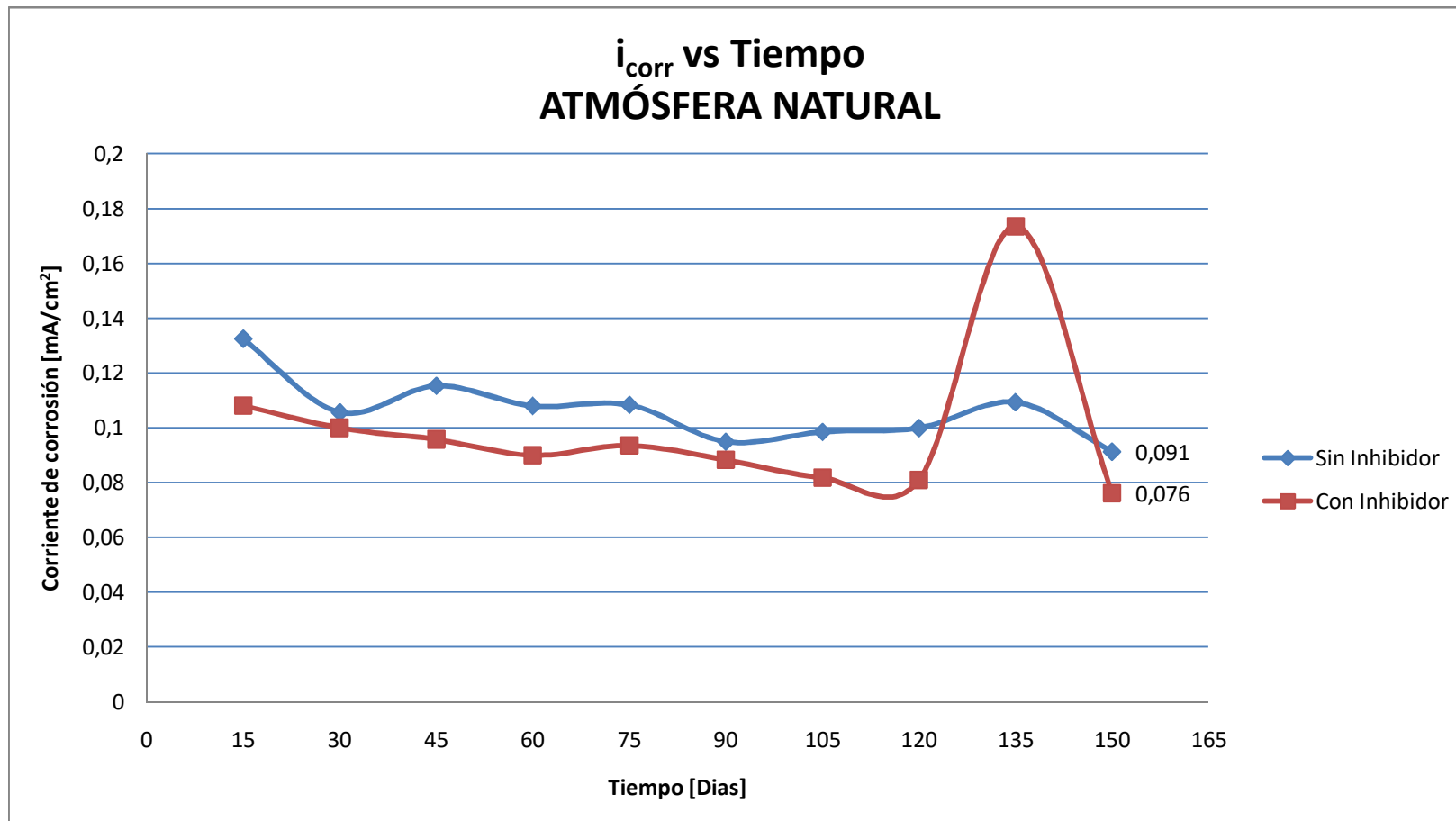


FIGURA 3.8. COMPORTAMIENTO DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE DE CORROSIÓN DEL ACERO ASTM A42 EMBEBIDO EN HORMIGÓN PÓRTLAND CONTRA TIEMPO DE EXPOSICIÓN BAJO EL ENTORNO NATURAL DE GUAYAQUIL.

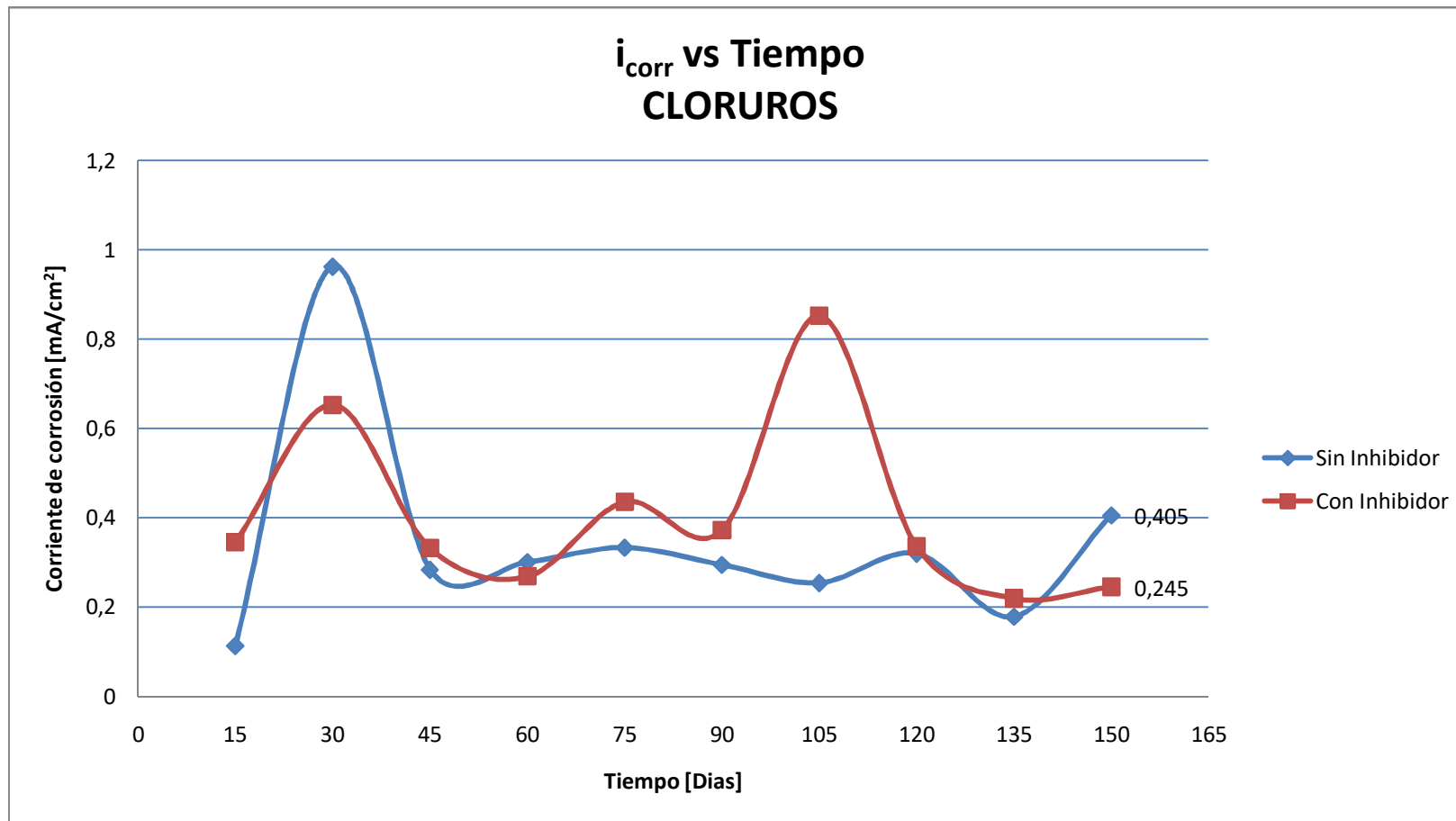


FIGURA 3.9. COMPORTAMIENTO DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE DE CORROSIÓN DEL ACERO ASTM A42 EMBEBIDO EN HORMIGÓN PÓRTLAND CONTRA TIEMPO DE EXPOSICIÓN BAJO ATMÓSFERA ACUOSA CONTAMINADA CON CLORUROS.

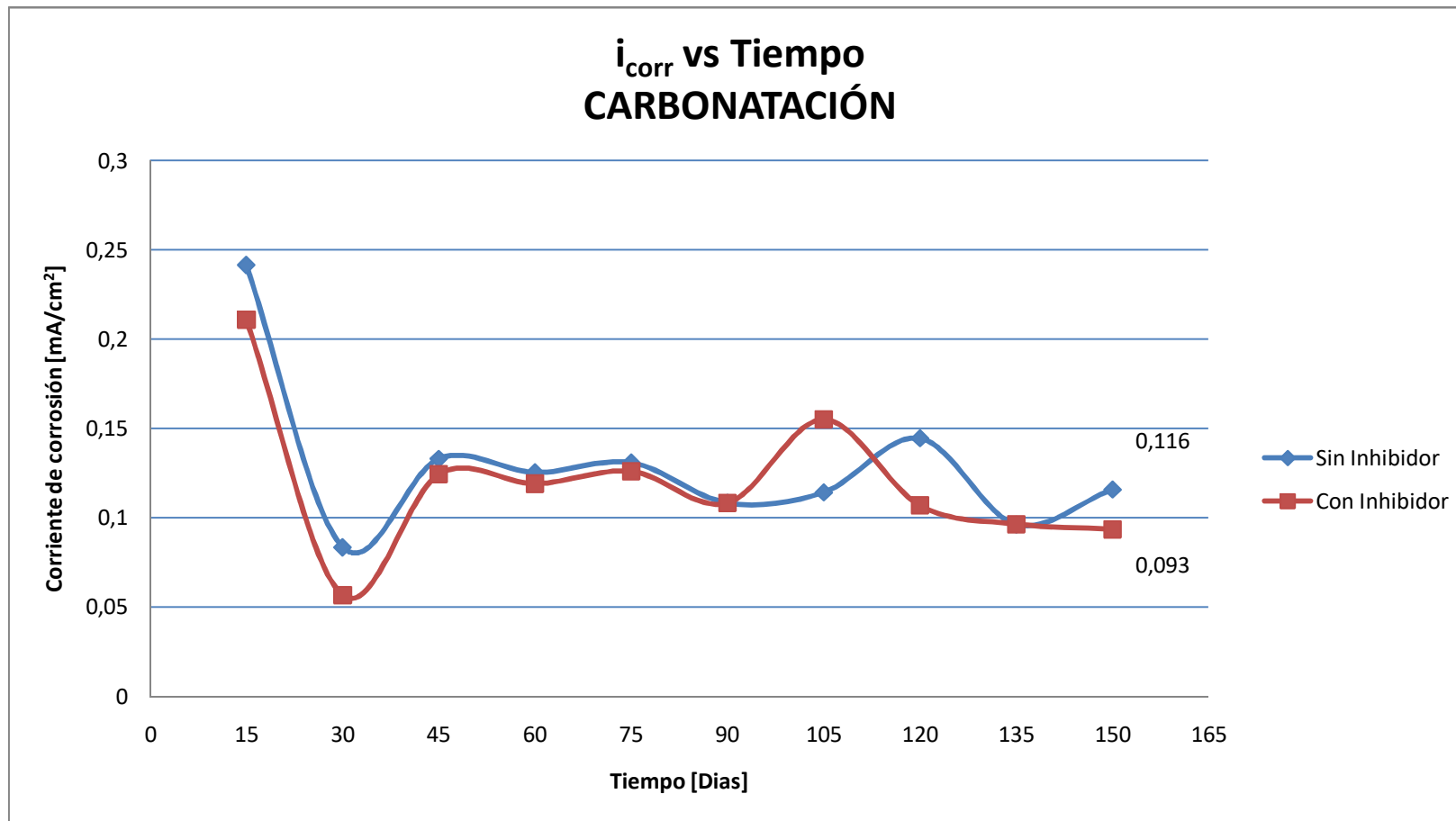


FIGURA 3.10. COMPORTAMIENTO DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE DE CORROSIÓN DEL ACERO ASTM A42 EMBEBIDO EN HORMIGÓN PÓRTLAND CONTRA TIEMPO DE EXPOSICIÓN BAJO ATMÓSFERA GASEOSA CON 99% DE DIÓXIDO DE CARBONO.

En la figura 3.1. se observa que al cabo de 15 días de exposición en la atmósfera contaminada con cloruros ya se tiene potenciales de corrosión que se encuentran en la zona con 90% de probabilidad de que el metal de refuerzo presente corrosión, también se puede notar que el E_{corr} toma valores casi estables desde el día 60.

Por otra parte con respecto a la atmósfera gaseosa saturada con CO_2 se distingue que los valores de E_{corr} no presentan tendencia a descender desde la zona de pasividad hacia la zona de corrosión hasta el día 120, aunque se sigue manteniendo en la zona de 10% de probabilidad de corrosión para el metal de refuerzo.

Además se observa que las probetas expuestas con y sin incluir al carboxilato en su formulación, expuestas tanto al entorno natural de Guayaquil, como la atmósfera gaseosa saturada con CO_2 se encuentran en la zona de menor probabilidad de ocurrencia de la corrosión según muestran sus E_{corr} . Mientras que las probetas expuestas con y sin incluir al carboxilato expuestas a contaminación con cloruros permanecen en la zona con mayor probabilidad de corrosión.

3.1. Análisis de la resistencia a la polarización bajo diversas atmósferas.

Basado en los comportamientos observados en las figuras desde la 3.5. hasta la figuras 3.7 correspondientes a R_p en función del tiempo se visualiza lo siguiente:

Bajo el entorno natural de Guayaquil, los valores de R_p de las probetas con carboxilato muestran una clara tendencia a aumentar, manteniéndose casi en todas las lecturas sobre los valores correspondientes a las probetas sin él, con un porcentaje aproximado del 20%, ubicándose ambas en la zona de pasividad.

Para las probetas estudiadas bajo la atmósfera contaminada con cloruros los valores de R_p se encuentran por debajo de los valores de esta obtenidos en el entorno natural de Guayaquil llegando a tener diferencias de aproximadamente $5000 [\Omega \cdot \text{cm}^2]$. También se observa que existen tendencias claras en su comportamiento, pero al analizar los valores finales obtenidos, se observa que el valor de R_p para el hormigón con carboxilato presenta un incremento importante pero sin alcanzar la magnitud suficiente para sacar al metal de la zona de corrosión como se muestra en la figura 3.3.

En el caso de las probetas expuestas a la atmósfera gaseosa con 99% de CO_2 diseñada para simular de manera acelerada la carbonatación, se observa que los valores de R_p son ligeramente mayores para las probetas con carboxilato comparadas con las que no lo tienen hasta el día 90. Después del día 105 se observa en los valores de R_p para el hormigón con carboxilato una tendencia de crecimiento hasta llegar al día 150, donde presenta un incremento importante de aproximadamente del 23% con respecto a su valor sin incluir al carboxilato en este mismo medio.

3.2. Análisis comparativo respecto al comportamiento del hormigón formulado con cemento puzolánico.

Tomando como referencia los datos obtenidos de R_p determinados por W. Huiracocha⁽¹⁾ en un trabajo realizado paralelamente al presentado, se evalúa el desempeño del hormigón formulado con cemento Pórtland Tipo II, contra el de uno formulado con cemento Puzolánico. Los comportamientos en forma gráfica se presentan en el apéndice para las tres atmósferas estudiadas.

En la figura 3.11 se observa el comportamiento que presenta R_p bajo el entorno natural de Guayaquil para el hormigón formulado con cemento Pórtland tipo II y el formulado con puzolánico; en esta figura se puede notar que ambos tienen comportamientos de R_p muy similares cuando no se incluye al carboxilato en su formulación. Mientras que en la figura 3.12 se aprecia que a pesar de la inclusión del carboxilato en la formulación de estos dos hormigones no se notan cambios apreciables manera dramática los valores de R_p bajo el entorno natural de Guayaquil.

De igual forma al analizar los comportamientos de R_p trazados en la figura 3.13 y 3.14 para el caso de la atmósfera contaminada con

cloruros, se aprecia que al incluir el carboxilato de amina en la formulación de ambos hormigones, el Puzolánico reacciona mejor que el Pórtland.

Bajo condiciones atmosféricas acuosas contaminadas con cloruros por inmersión en agua salada artificial, los valores de corriente de corrosión obtenidos superan por más del triple a los valores de esta para el caso de la corrosión atmosférica sin inhibidor.

Para el caso atmósferas con alta concentración de CO_2 el carboxilato de amina actúa retardando la corrosión en el metal de refuerzo impidiendo que la velocidad de corrosión crezca alejándose de la zona de pasividad.

Finalmente la observación de las figuras 3.15 y 3.16 correspondientes al comportamiento de los hormigones sometidos a carbonatación revela que ambos hormigones mejoran ligeramente sus propiedades al incluir el carboxilato.

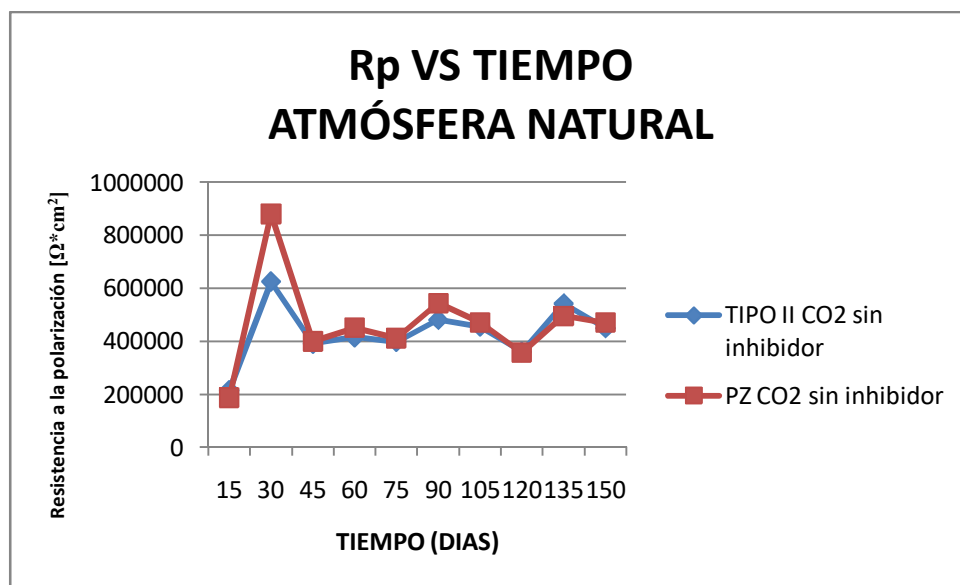


FIGURA 3.11. COMPORTAMIENTO DE RP PARA EL CEMENTO PÓRTLAND TIPO II Y PUZOLÁNICO SIN CARBOXILATO EN LA ATMÓSFERA NATURAL DE GUAYAQUIL.

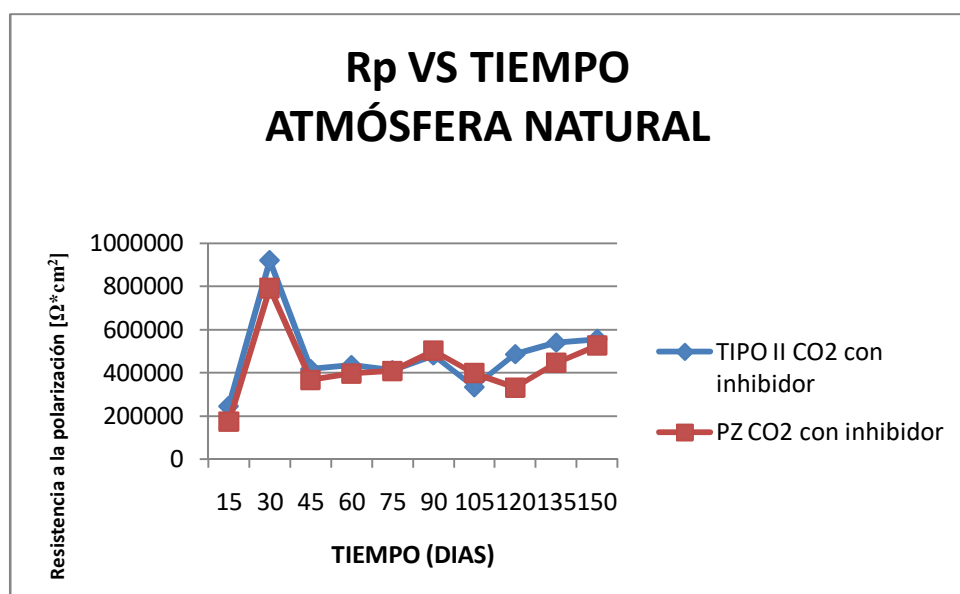


FIGURA 3.12. COMPORTAMIENTO DE RP PARA EL CEMENTO PÓRTLAND TIPO II Y PUZOLÁNICO CON CARBOXILATO EN LA ATMÓSFERA NATURAL DE GUAYAQUIL.

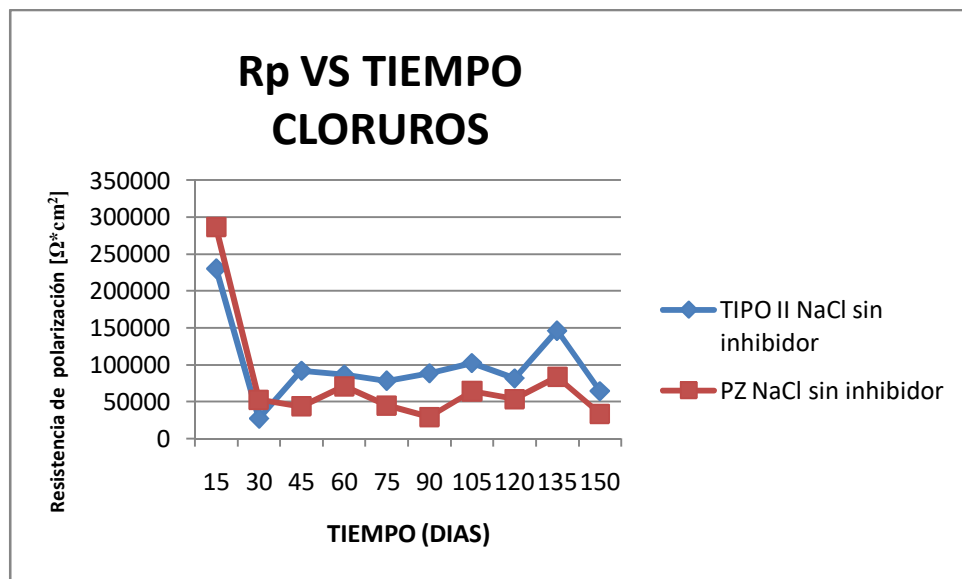


FIGURA 3.13. COMPORTAMIENTO DE RP PARA CEMENTO PÓRTLAND TIPO II Y PUZOLÁNICO SIN CARBOXILATO BAJO ATMÓSFERA CONTAMINADA CON CLORUROS.

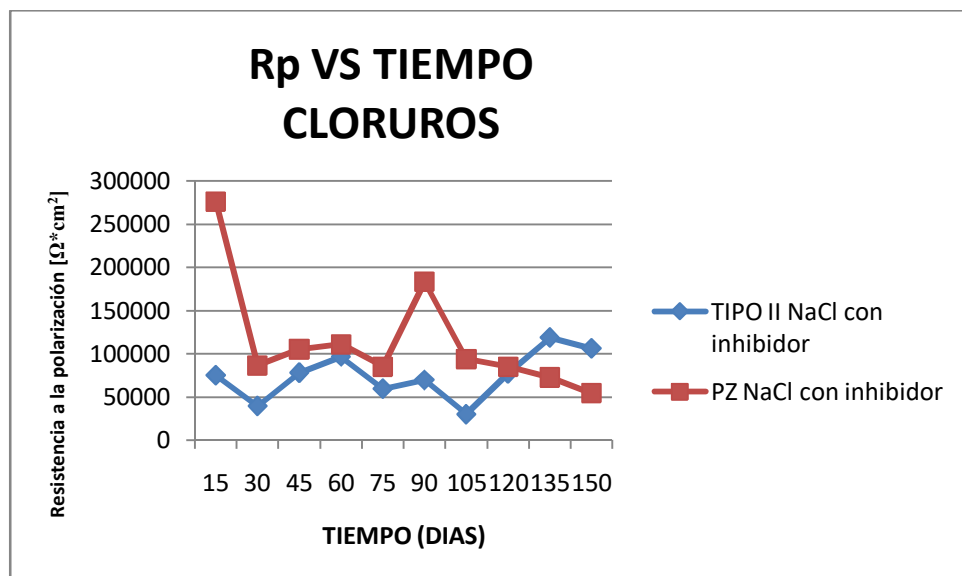


FIGURA 3.14. COMPORTAMIENTO DE RP PARA CEMENTO PÓRTLAND TIPO II Y PUZOLÁNICO CON CARBOXILATO BAJO ATMÓSFERA CONTAMINADA CON CLORUROS.

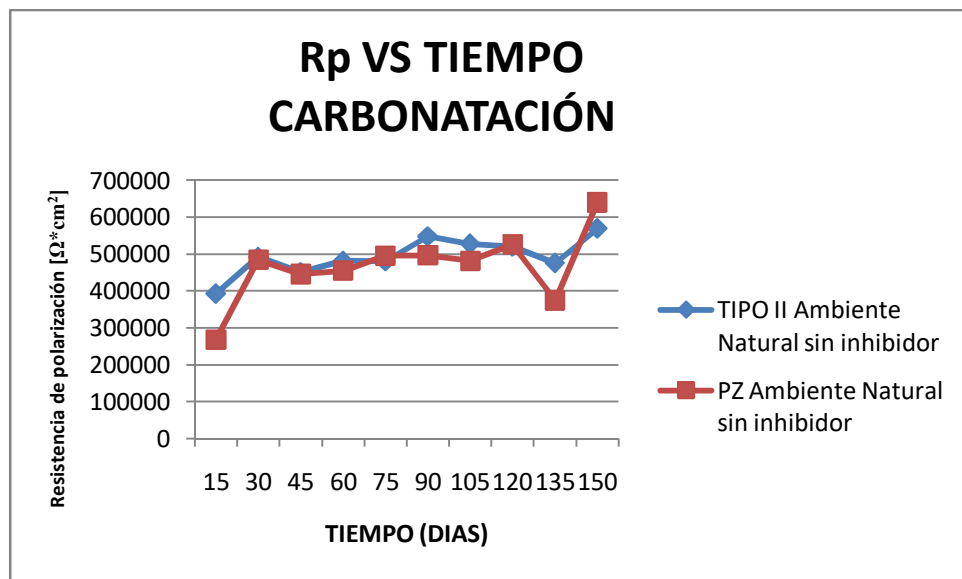


FIGURA 3.15. COMPORTAMIENTO DE RP PARA CEMENTO PÓRTLAND TIPO II Y PUZOLÁNICO SIN CARBOXILATO SOMETIDO A CARBONATACIÓN.

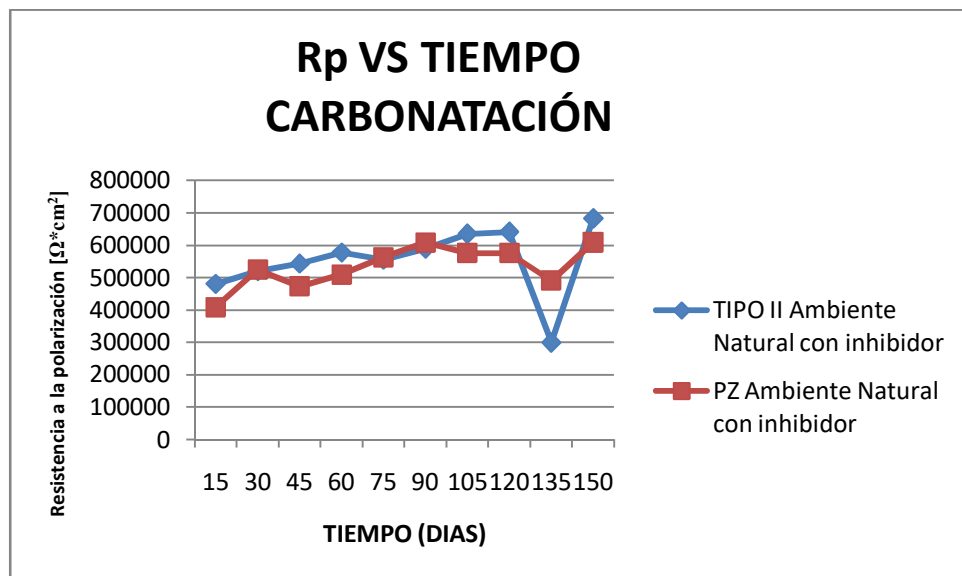


FIGURA 3.16. COMPORTAMIENTO DE RP PARA CEMENTO PÓRTLAND TIPO II Y PUZOLÁNICO CON CARBOXILATO SOMETIDO A CARBONATACIÓN.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye lo siguiente:

1. Los valores de R_p aplicando carboxilato de amina sometida ataque de carbonatación con cemento pórtland presenta valores más altos que los obtenidos al aplicarlo con cemento puzolánico, lo cual indica una velocidad de corrosión más baja para el puzolánico en esta condición.
2. La aplicación del carboxilato de amina produce valores de R_p más bajos con cemento pórtland que con puzolánico cuando ambos son sometidos a la contaminación con cloruros, de esto se concluye que

con cemento puzolánico se obtiene menor velocidad de corrosión bajo esta condición.

3. Bajo el entorno natural de Guayaquil se puede concluir que el carboxilato de amina reacciona mejor con el cemento pórtland que con el cemento puzolánico.
4. Cuando el cemento pórtland es aplicado en conjunto con el carboxilato de amina se produce una reducción en la velocidad de corrosión bajo condiciones de carbonatación y en el entorno natural de Guayaquil, concluyendo que se presenta un mejor comportamiento en estos medios debido a la aplicación del carboxilato de amina.
5. El carboxilato de amina bajo condiciones contaminación con cloruros es incapaz de inhibir la corrosión tanto para su aplicación con cemento puzolánico como con pórtland.

Se recomienda lo siguiente:

1. Se recomienda para estudios futuros realizar relaciones agua cemento mayores o iguales a 0,5 con el fin de disminuir la permeabilidad del

hormigón y así poder optimizar el tiempo requerido para la experimentación.

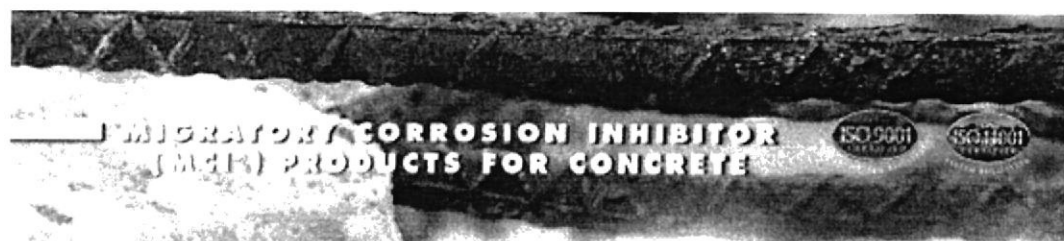
2. Debido a que la velocidad de penetración del CO_2 es muy baja se recomienda para estudios de efectos en condiciones de carbonatación construir probetas con recubrimientos de espesor lo más fino posibles con el fin de reducir el tiempo de difusión.
3. Para el estudio de los efectos de la contaminación con cloruros, es recomendable también realizar la exposición en ciclos de inmersión y secado en intervalos de un día, con el fin de simular el efecto que producen las mareas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Huiracocha W., Determinación de la velocidad de corrosión del acero A42 en hormigones diseñados con cemento puzolánico mediante técnicas cinéticas de laboratorio, informe de proyecto de graduación ESPOL, 2010.
2. Moreno S., Determinación de la profundidad de carbonatación y penetración de cloruros mediante experimentación empleando procesos de difusión térmica en varios diseños de hormigón, informe de proyecto de graduación ESPOL, 2010.
3. Mejía V., Determinación de la resistencia y resistividad eléctrica de probetas de varios diseños de hormigón sometidas a ataques de contaminantes, informe de proyecto de graduación ESPOL, 2010
4. ASTM C 150 -04, Standard specification for pòrtland cement, normas ASTM, 2004.
5. J.R. Galvele y G.S. Duffó, DEGRADACIÓN DE MATERIALES CORROSIÓN
6. JONES D, Principles and prevention of corrosion, CAPÍTULO n° 3: Electrochemical kinetics of corrosion.
7. ASTM C 876 -91(Reapproved 1999), Standard test method for half-cell potentials of uncoated reinforcing steel in concrete, 1991.

- 8.** ASTM G 102 -89(Reapproved 1999), Standard practice for corrosion rates and related information from electrochemical measurements, normas ASTM, 1989.
- 9.** ASTM G 5 -94(Reapproved 1999), Standard reference test method for making potentiostatic and potentiodynamic anodic polarization measurements, normas ASTM, 1994.
- 10.** ASTM G 59 -97, Standard test method for conducting potentiodynamic polarization resistance measurements, normas ASTM, 1997.
- 11.** Princeton Applied Research, Basic of Corrosion Measurements, Applied Instruments Group.
- 12.** ASM Metals Handbook, Volumen 13, Corrosion, 9th Edition.
- 13.** Curso de Corrosión Básica, Nace International, Octubre 2005.

APÉNDICES



MCI®-2006 NS



PRODUCT DESCRIPTION

MCI®-2006 NS is a powdered concrete admixture with an organic-inorganic formulation that contains migrating corrosion inhibitors.

MCI®-2006 NS provides excellent protection to reinforcing steel and other metals embedded in concrete from corrosion induced by carbonation, chlorides and other destructive elements of the environment.

MCI®-2006 NS protects rebar from corrosion using inhibitors with field-proven migration ability.

FEATURES

MCI®-2006 NS offers engineers, owners, contractors, DOTs and government agencies a time-proven corrosion inhibiting technology that will extend the life of all reinforced concrete structures.

- Protects against the harmful effects of corrosion even in the densest concrete
- Required dosage is not affected by the chloride concentration
- Does not contain calcium nitrite
- Non-hazardous and non-toxic

- Safe and environmentally friendly
- Technology is lab and field tested worldwide
- Concentrated for cost effectiveness on all projects
- Protects both anodic and cathodic areas
- Will migrate to adjacent areas to protect surrounding metals
- NSF Standard 61 approved for potable water applications (certified by Underwriters Laboratories)

TYPICAL USES

MCI®-2006 NS is recommended for:

- All reinforced, precast, prestressed, post-tensioned or marine concrete structures
- Steel-reinforced concrete bridges, highways and streets exposed to corrosive environments (carbonation, deicing salts and atmospheric attack)
- Parking decks, ramps and garages
- All reinforced marine concrete structures
- Concrete piers, piles, pillars, pipes and utility poles
- Restoration and repair of all reinforced concrete commercial and civil engineered structures
- Can be added either to the water or powder on-site for shotcreting applications
- Can be added into a manufacturer's repair mortar formulation to enhance its corrosion protection ability

DOSAGE

Add MCI®-2006 NS to the concrete mix at a rate of 1 lb./yd³ (0.6 kg/m³).

APPLICATION

MCI®-2006 NS can be added to concrete powder at the ready-mix plant, directly into a ready-mix truck drum or portable mixers. Concrete should be mixed thoroughly.



TYPICAL PROPERTIES

Appearance	Off-white powder
pH	11.5-13.0 (1% solution)
Non-volatile Content	99.5-100%

PACKAGING AND STORAGE

MCIP®-2006 NS is available in 5 lb (2.3 kg), 50 lb (23 kg) and 100 lb (45 kg) packages. The shelf life of the product is 24 months in a sealed drum.

FOR INDUSTRIAL USE ONLY

KEEP OUT OF REACH OF CHILDREN

KEEP CONTAINER TIGHTLY CLOSED

NOT FOR INTERNAL CONSUMPTION

CONSULT MATERIAL SAFETY DATA SHEET FOR MORE INFORMATION

LIMITED WARRANTY

All statements, technical information and recommendations contained herein are based on tests Cortec Corporation believes to be reliable, but the company or its subsidiaries make no warranty.

Cortec Corporation warrants Cortec products will be free from defects when shipped to customer. Cortec Corporation's obligation under this warranty shall be limited to replacement of product that proves to be defective. The return requirement provided under this warranty, the customer must notify Cortec Corporation of the defect within 90 days after shipment of product to customer. All freight charges for replacement products shall be paid by customer.

Cortec Corporation shall have no liability for any injury, loss or damage arising out of the use of or the inability to use the products.

BEFORE USING, USER SHALL DETERMINE THE SUITABILITY OF THE PRODUCT FOR ITS INTENDED USE AND USER ASSUMES ALL RISK AND LIABILITY WHATSOEVER IN CONNECTION THEREWITH. The representation or recommendation not constitute transfer of title from any time or other time to a written document signed by an officer of Cortec Corporation.

THE FOREGOING WARRANTY IS EXCLUSIVE AND IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR OF FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. IN NO CASE SHALL CORTEC CORPORATION BE LIABLE FOR INCIDENTAL OR CONSEQUENTIAL DAMAGES.



Distributed by:

4110 White Bear Parkway, St. Paul, MN 55110 USA
Phone (651) 420-1100, Fax (651) 420-1122
Toll Free (800) 4-CORTEC, E-mail: info@camcorv.com
Internet: <http://www.camcorv.com>

PRINTED ON RECYCLED PAPER 10% post consumer
Revised 6/01/02, Cortec Corporation 10000000, All Rights Reserved. Supersedes 11/01/00.
MCIP is a trademark of Cortec Corporation.



A Revolutionary Way to Extend the
Service Life of Concrete Structures.
Simple...Sure...Safe.

Cortec's patented MCI® (Migrating Corrosion Inhibitors) technology protects reinforcing metal in concrete from corrosion. MCIs rehabilitate existing concrete structures and extend the life span of new structures. Often, corroding rebar in deteriorating concrete is the cause of costly repairs, financial losses, injuries and deaths, but Cortec® has the corrosion solution. Cortec® MCI® products for concrete maintain structural integrity, rehabilitate vulnerable structures, and alleviate environmental concerns. A unique feature of MCI® is that the inhibitor will migrate a considerable distance through concrete to protect embedded ferrous metals.

Causes of Corrosion:

Reinforcement in new concrete is generally protected from corrosion due to the high alkaline nature of the concrete itself. The high pH of the concrete (usually greater than 12.5) causes a passive oxide film to form on the steel. Environmental factors can affect this protective oxide film and induce the formation of corrosion cells. Once corrosion starts, some parts of the reinforcement become anodic, discharging iron ions (current) into the electric cell. Steel areas that receive this current are the cathodic areas of the corrosion cell. This is where hydroxide ions are formed. Iron and hydroxide ions react to form iron hydroxide, $Fe(OH)_2$, which further oxidizes to form rust. Once started, the rate of corrosion is affected by the concrete's electrical resistivity, moisture content, and the rate at which oxygen migrates through the concrete to the steel. As rust formation continues, it can take up to four times the volume originally occupied by the embedded reinforcement, causing cracking and spalling of the concrete.

Chlorides:

Chloride ions can penetrate the passive oxide film on the reinforcement. They combine with iron ions to form a soluble iron chloride complex that carries the iron into the concrete for later oxidation (rust). Once chlorides reach a level of about 0.5% (water soluble chloride by mass of cement) in the concrete, corrosion starts. Concrete can be exposed to chlorides from several different sources, including chloride containing set accelerators, deicing salts, seawater and airborne salts.

Carbonation:

Carbonation is the process by which carbon dioxide in the air reacts with hydroxides in the concrete such as calcium hydroxide to form carbonates. This reaction significantly lowers the pH. When the pH of concrete surrounding embedded reinforcing steel drops below 12, the protective oxide layer is lost, and the corrosion process begins.

Acid Rain/Industrial Pollutants:

Acids attack concrete by dissolving the cement paste and calcareous aggregates. They also reduce the pH of the concrete, allowing the corrosion process to begin. Pollutants such as sulfate attack the concrete by reacting with hydrated compounds in the hardened cement paste. These reactions can lead to disintegration of the concrete, making embedded reinforcement more susceptible to corrosive attack.



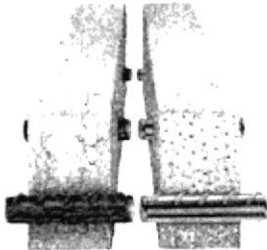
Once a concrete structure is built, it is impossible to coat the reinforcing steel with fusion bonded epoxy to protect it from corrosion. Cathodic protection is ineffective unless the steel reinforcement is electrically continuous.

Cortec® MCI® however, can be easily added to new concrete or used for rehabilitation and will not delay construction or increase construction costs other than the small cost of the material. Unlike standard inorganic inhibitors, Cortec® MCIs do not have to come in contact with the reinforcing steel upon application because they can migrate to the steel and protect it.

When used in new construction, Cortec's MCI® line of concrete admixtures offers reinforcing steel superior corrosion protection against carbonation and chloride attack.

Comparison of Cortec® MCI® Admixtures to Other Inhibitors:

Feature	Cortec® MCI® Inhibitor	Calcium Nitrate
Environmentally friendly, derived from renewable resources	True	False
Used in small quantities—less than 1.5 pints/yd3 (1 liter/m3)	True	False
Required dosage rate is not affected by expected chloride exposure	True	False
Ability to migrate through concrete in a vapor phases at ambient temperatures	True	False
Does not increase shrinkage compared to a control	True	False
Does not require adjustments to concrete mix design (chemical or water)	True	False
Does not affect concrete resistivity	True	False
Does not accelerate concrete set time	True	False
Has UL approval to meet NSF Standard 61 (contact w/potable water)	True	False
Spills can be flushed with large quantities of water down drain	True	False



Summary of Data Involving Cortec® MCI® 2005 NS in Concrete

	Control	MCI® 2005 NS
Air Content (AEC)*	6.2%	6.3%
(NEAC)	2.7%	2.5%
Slk Dow	1.8	2.4
Compressive Strength (psi) 6 x 12 inch cylinders		
• 7 days (AEC)	3550	3630
(NAEC)	3610	4130
• 28 days (AEC)	4760	5030
(NAEC)	5190	6120
Flexural Strength, psi, ASTM C192, C78		
• 7 days (AEC)	610	610
(NAEC)	720	720
• 28 days (AEC)	720	720
(NAEC)	820	820
Setting Time, ASTM C403		
Setting Time, Hour: Minutes		
Initial (AEC)	3:28	3:37
(NEAC)	3:35	3:35
Final (AEC)	4:44	5:07
(NEAC)	4:58	4:55
Slump (AEC)	3 1/3"	3 1/4"
(NEAC)	3 1/4"	3"
Frosts Thaw, ASTM C666, Method A		100%
Relative Durability		

*AEC = air entrained concrete
NAEC = non air entrained concrete



How Does MCI® Technology Work?

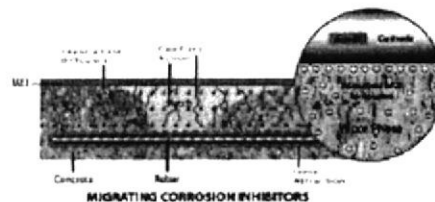
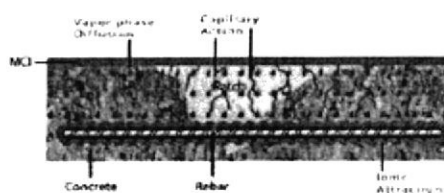
The corrosive effects of carbonation and chlorides cause a breakdown of the natural passivating layer on steel in concrete. MCI's provide protection because of their ability to migrate to the depth of the metal and form a protective, molecular layer on steel when they come into contact with it.

1. MCI® move as a liquid into the concrete matrix. In new construction, MCI® is admixed either with the batch water or directly into a mixer. For existing structures, MCI applied to the surface is drawn into the concrete via capillary action—the concrete acts like a sponge, drawing MCI inside.

2. MCI® move in a vapor phase throughout the concrete pore structure. This movement is governed by Fick's Law, meaning molecules move randomly throughout the matrix from areas of high concentration to areas of low concentration.

3. When MCI® comes into contact with steel, it has an ionic attraction to it, and forms it's protective, molecular layer. MCI's affinity to the metal is stronger than water, chlorides and other corrosive contaminants.

4. Independent testing has confirmed that MCI can adsorb onto metal to a depth of 75-85 nm, forming a layer that is between 20 and 100 Å thick. In the same testing chlorides were shown to penetrate only 60 nm deep. This confirmed the ability of MCI to displace chlorides on the metal surface and provide protection even in their presence.

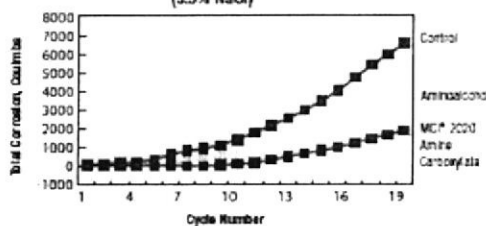


Competitor Comparisons

Time and time again, MCI® products are shown to outperform the competition. Whether using surface applied MCI® 2020 on existing structures to extend the life of a repair or using MCI® 2005 series admixtures to greatly increase the expected service life of a new structure, you can be sure that Cortec® MCI® will provide you with superior corrosion protection.

Cracked Beam Testing of Surface Treatments

Amine Based Products
(3.5% NaCl)

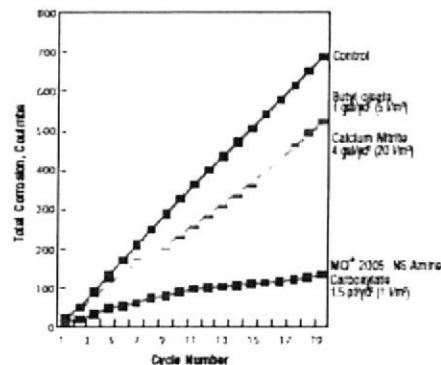


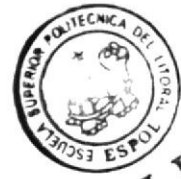
Above: Wilsa, Jarney, Eisner Associates, Inc.
January 1996, WJE No. 922041

Right: American Engineering and Testing
August 2003, AET Job No:05-01171

Cracked Beam Testing of Admixtures

MCI® 2005 NS vs. Competition
(6% NaCl)





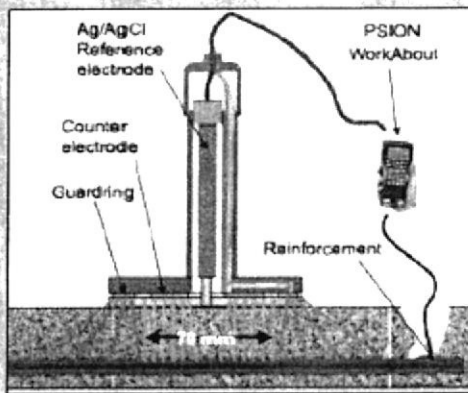
C.I.B.

Testing of Migrating Corrosion Inhibitors

The effectiveness of Migrating Corrosion Inhibitors can be monitored in many ways. A Quaternary Ammonium Compounds (QAC) test kit is a simple test method to show the presence of our surface applied MCI® in concrete structures. QACs are a component of the MCI® product chemistry. While this test is not quantitative, it can verify the presence of inhibitor in the structure and can be monitored to show migration of MCI® to the depth of the reinforcement.



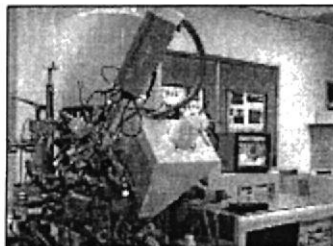
Use the manufacturer's instructions for the EM Quant QAC test sticks to analyze each slurry solution/construction.



Testing the effectiveness of MCI® can be done by monitoring actual corrosion rates of embedded reinforcement. A control reading can be taken, and then subsequent readings can be performed after application of MCI®. This will show what the rate was initially how low it drops after application of inhibitor and allow you to determine when you should reapply more inhibitor for additional corrosion protection. There are several different pieces of equipment that use linear polarization to monitor corrosion rates of metallic reinforcement in concrete. These include: Gecor® 6, Gecor® 8, GalvaPulse®, and embedded corrosion rate sensors such as Corrotor Probes.

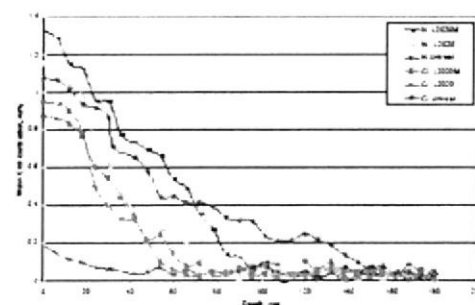


The molecular bond MCI® forms on embedded metals has been verified using X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) which takes a picture of the metal and can show the depth at which molecules adsorb onto it. This test showed that not only did the MCI® migrate through the concrete, it also adsorbed onto the metal to a deeper depth than chlorides, effectively mitigating corrosion. Contact Cortec® Technical Service if you need more detailed information on testing Migrating Corrosion Inhibitors.



XPS Analysis Machine

XPS Depth Profile (Ar at 4 kV, 15 nA)
Unreated, Inhibitor A and B Concrete Samples after 450 days of testing



MEDICIÓN DE RESISTENCIA NR. 1

DESCRIPCIÓN		CÓDIGO PROBETA	Fecha: 31-Jul			
			AX	AY	RP	DÍAS
PORTLAND	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2X-R-C-1	-	-	-	-
		2X-R-C-2	-	-	-	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-C-1	-	-	-	-
		2I-R-C-2	-	-	-	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2X-R-S-1	670	720	695	15
		2X-R-S-2	810	710	760	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2I-R-S-1	810	630	720	15
		2I-R-S-2	730	650	690	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	2X-R-N-1	1050	1100	1075	15
		2X-R-N-2	1500	950	1225	
PUZOLÁNICO	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PX-R-C-1	-	-	-	-
		PX-R-C-2	-	-	-	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PI-R-C-1	-	-	-	-
		PI-R-C-2	-	-	-	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PX-R-S-1	700	740	720	15
		PX-R-S-2	710	640	675	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PI-R-S-1	680	770	725	15
		PI-R-S-2	770	550	660	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	PX-R-N-1	2000	1900	1950	15
		PX-R-N-2	1800	1500	1650	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	PI-R-N-1	2000	2400	2200	15
		PI-R-N-2	1600	1700	1650	

MEDICIÓN DE RESISTENCIA NR. 2

DESCRIPCIÓN		CÓDIGO PROBETA	Fecha: 14-Ago			
			AX	AY	RP	DÍAS
PORTLAND	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2X-R-C-1	1400	1700	1550	15
		2X-R-C-2	1400	1500	1450	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-C-1	1070	1060	1065	15
		2I-R-C-2	1060	1030	1045	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2X-R-S-1	710	700	705	30
		2X-R-S-2	740	710	725	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2I-R-S-1	640	720	680	30
		2I-R-S-2	770	650	710	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	2X-R-N-1	1300	1400	1350	30
		2X-R-N-2	1900	1200	1550	
PUZOLÁNICO	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PX-R-C-1	1300	1500	1400	15
		PX-R-C-2	2400	2300	2350	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PI-R-C-1	1200	1900	1550	15
		PI-R-C-2	1400	1500	1450	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PX-R-S-1	640	660	650	30
		PX-R-S-2	710	660	685	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PI-R-S-1	790	810	800	30
		PI-R-S-2	840	580	710	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	PX-R-N-1	2800	2800	2800	30
		PX-R-N-2	2400	2200	2300	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	PI-R-N-1	2800	2000	2400	30
		PI-R-N-2	2200	2200	2200	

MEDICIÓN DE RESISTENCIA NR. 3

DESCRIPCIÓN		CÓDIGO PROBETA	Fecha: 28-Ago			
			AX	AY	RP	DÍAS
PORTLAND	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2X-R-C-1	1700	2100	1900	30
		2X-R-C-2	1800	1700	1750	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-C-1	1300	1300	1300	30
		2I-R-C-2	1300	1200	1250	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2X-R-S-1	610	710	660	45
		2X-R-S-2	710	670	690	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2I-R-S-1	750	630	690	45
		2I-R-S-2	640	620	630	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	2X-R-N-1	1600	1700	1650	45
		2X-R-N-2	2300	1500	1900	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	2I-R-N-1	1900	2300	2100	45
		2I-R-N-2	2600	2100	2350	
PUZOLÁNICO	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PX-R-C-1	1600	2000	1800	30
		PX-R-C-2	3200	2800	3000	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PI-R-C-1	1500	2500	2000	30
		PI-R-C-2	3700	1900	2800	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PX-R-S-1	610	640	625	45
		PX-R-S-2	690	670	680	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PI-R-S-1	700	710	705	45
		PI-R-S-2	670	520	595	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	PX-R-N-1	3400	3700	3550	45
		PX-R-N-2	3000	2800	2900	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	PI-R-N-1	3600	2600	3100	45
		PI-R-N-2	2900	3000	2950	

MEDICIÓN DE RESISTENCIA NR. 4

DESCRIPCIÓN		CÓDIGO PROBETA	Fecha: 11-Sep			
			AX	AY	RP	DÍAS
PORTLAND	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2X-R-C-1	1700	2100	1900	45
		2X-R-C-2	1800	1800	1800	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-C-1	1300	1300	1300	45
		2I-R-C-2	1300	1200	1250	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2X-R-S-1	620	750	685	60
		2X-R-S-2	760	690	725	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2I-R-S-1	780	640	710	60
		2I-R-S-2	600	640	620	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	2X-R-N-1	2000	2200	2100	60
		2X-R-N-2	3100	1900	2500	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	2I-R-N-1	2400	3000	2700	60
		2I-R-N-2	3300	2600	2950	
PUZOLÁNICO	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PX-R-C-1	1700	2000	1850	45
		PX-R-C-2	3200	3000	3100	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PI-R-C-1	1500	2500	2000	45
		PI-R-C-2	1800	2200	2000	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PX-R-S-1	760	870	815	60
		PX-R-S-2	840	760	800	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PI-R-S-1	810	940	875	60
		PI-R-S-2	750	860	805	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	PX-R-N-1	4700	4600	4650	60
		PX-R-N-2	4800	3700	4250	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	PI-R-N-1	4800	3300	4050	60
		PI-R-N-2	3600	3800	3700	

MEDICIÓN DE RESISTENCIA NR. 5

DESCRIPCIÓN		CÓDIGO PROBETA	Fecha: 25-Sep			
			AX	AY	RP	DÍAS
PORTLAND	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2X-R-C-1	1700	2200	1950	60
		2X-R-C-2	2000	1700	1850	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-C-1	1200	1300	1250	60
		2I-R-C-2	1300	1200	1250	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2X-R-S-1	670	760	715	75
		2X-R-S-2	770	680	725	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2I-R-S-1	770	690	730	75
		2I-R-S-2	820	670	745	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	2X-R-N-1	2400	2700	2550	75
		2X-R-N-2	3700	2400	3050	
PUZOLÁNICO	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PX-R-C-1	1700	2200	1950	60
		PX-R-C-2	3300	3000	3150	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PI-R-C-1	1600	2700	2150	60
		PI-R-C-2	2000	2000	2000	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PX-R-S-1	730	810	770	75
		PX-R-S-2	710	800	755	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PI-R-S-1	1400	1800	1600	75
		PI-R-S-2	880	700	790	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	PX-R-N-1	5400	5900	5650	75
		PX-R-N-2	4600	4500	4550	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	PI-R-N-1	5900	3900	4900	75
		PI-R-N-2	4300	4800	4550	

MEDICIÓN DE RESISTENCIA NR. 6

DESCRIPCIÓN		CÓDIGO PROBETA	Fecha: 8-Oct			
			AX	AY	RP	DÍAS
PORTLAND	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2X-R-C-1	1800	2200	2000	75
		2X-R-C-2	1800	1800	1800	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-C-1	1300	1300	1300	75
		2I-R-C-2	1400	1200	1300	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2X-R-S-1	650	710	680	90
		2X-R-S-2	770	720	745	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2I-R-S-1	710	580	645	90
		2I-R-S-2	800	560	680	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	2X-R-N-1	2900	3500	3200	90
		2X-R-N-2	4600	3200	3900	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	2I-R-N-1	3600	4500	4050	90
		2I-R-N-2	5400	3300	4350	
PUZOLÁNICO	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PX-R-C-1	1800	2300	2050	75
		PX-R-C-2	3500	3200	3350	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PI-R-C-1	1700	1700	1700	75
		PI-R-C-2	2100	2100	2100	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PX-R-S-1	750	700	725	90
		PX-R-S-2	630	580	605	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PI-R-S-1	800	900	850	90
		PI-R-S-2	740	530	635	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	PX-R-N-1	5700	5400	5550	90
		PX-R-N-2	5100	4600	4850	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	PI-R-N-1	5700	4800	5250	90
		PI-R-N-2	5400	5400	5400	

MEDICIÓN DE RESISTENCIA NR. 7

DESCRIPCIÓN		CÓDIGO PROBETA	Fecha: 23-Oct			
			AX	AY	RP	DÍAS
PORTLAND	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2X-R-C-1	2100	2600	2350	90
		2X-R-C-2	2200	2200	2200	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-C-1	2000	1600	1800	90
		2I-R-C-2	1600	1600	1600	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2X-R-S-1	650	740	695	105
		2X-R-S-2	790	770	780	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2I-R-S-1	680	580	630	105
		2I-R-S-2	830	660	745	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	2X-R-N-1	3200	3700	3450	105
		2X-R-N-2	4000	3700	3850	
PUZOLÁNICO	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-N-1	4200	4700	4450	105
		2I-R-N-2	3000	4600	3800	
	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PX-R-C-1	2200	2800	2500	90
		PX-R-C-2	4300	3900	4100	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PI-R-C-1	2000	3500	2750	90
		PI-R-C-2	2300	2800	2550	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PX-R-S-1	800	840	820	105
		PX-R-S-2	870	690	780	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PI-R-S-1	810	830	820	105
		PI-R-S-2	770	620	695	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	PX-R-N-1	6300	6700	6500	105
		PX-R-N-2	5300	5200	5250	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	PI-R-N-1	6400	5600	6000	105
		PI-R-N-2	6000	6000	6000	

MEDICIÓN DE RESISTENCIA NR. 8

DESCRIPCIÓN		CÓDIGO PROBETA	Fecha: 6-Nov			
			AX	AY	RP	DÍAS
PORTLAND	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2X-R-C-1	2000	2400	2200	105
		2X-R-C-2	2000	2000	2000	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-C-1	1400	1500	1450	105
		2I-R-C-2	1400	1400	1400	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2X-R-S-1	750	850	800	120
		2X-R-S-2	890	830	860	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2I-R-S-1	900	770	835	120
		2I-R-S-2	920	740	830	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	2X-R-N-1	3200	3700	3450	120
		2X-R-N-2	4500	3200	3850	
PUZOLÁNICO	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PX-R-C-1	2200	2600	2400	105
		PX-R-C-2	4200	3700	3950	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PI-R-C-1	2200	3200	2700	105
		PI-R-C-2	2300	2700	2500	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PX-R-S-1	780	800	790	120
		PX-R-S-2	890	720	805	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PI-R-S-1	890	940	915	120
		PI-R-S-2	890	770	830	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	PX-R-N-1	6500	6900	6700	120
		PX-R-N-2	6000	6000	6000	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	PI-R-N-1	7700	5500	6600	120
		PI-R-N-2	6500	7000	6750	

MEDICIÓN DE RESISTENCIA NR. 9

DESCRIPCIÓN		CÓDIGO PROBETA	Fecha: 20-Nov			
			AX	AY	RP	DÍAS
PORTLAND	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2X-R-C-1	1900	2500	2200	120
		2X-R-C-2	1800	2200	2000	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-C-1	1400	1400	1400	120
		2I-R-C-2	1400	1400	1400	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2X-R-S-1	650	730	690	135
		2X-R-S-2	760	740	750	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2I-R-S-1	740	660	700	135
		2I-R-S-2	640	710	675	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	2X-R-N-1	3300	3800	3550	135
		2X-R-N-2	5200	3900	4550	
PUZOLÁNICO	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-N-1	5200	5300	5250	135
		2I-R-N-2	5600	3800	4700	
	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PX-R-C-1	2100	2500	2300	120
		PX-R-C-2	4000	3700	3850	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PI-R-C-1	1900	3200	2550	120
		PI-R-C-2	2300	2400	2350	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PX-R-S-1	800	840	820	135
		PX-R-S-2	640	750	695	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PI-R-S-1	680	740	710	135
		PI-R-S-2	800	650	725	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	PX-R-N-1	7100	7400	7250	135
		PX-R-N-2	5700	6300	6000	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	PI-R-N-1	8000	5600	6800	135
		PI-R-N-2	6500	6800	6650	



MEDICIÓN DE RESISTENCIA NR. 10

DESCRIPCIÓN		CÓDIGO PROBETA	Fecha: 10-Dic			
			AX	AY	RP	DÍAS
PORTLAND	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2X-R-C-1	2200	2700	2450	135
		2X-R-C-2	2200	2300	2250	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-C-1	1600	1700	1650	135
		2I-R-C-2	1600	1600	1600	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2X-R-S-1	810	870	840	150
		2X-R-S-2	930	840	885	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2I-R-S-1	740	900	820	150
		2I-R-S-2	870	730	800	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	2X-R-N-1	3800	4600	4200	150
		2X-R-N-2	5700	3500	4600	
PUZOLÁNICO	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PX-R-C-1	2500	3100	2800	135
		PX-R-C-2	5100	4400	4750	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PI-R-C-1	2900	3900	3400	135
		PI-R-C-2	2800	2800	2800	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PX-R-S-1	780	910	845	150
		PX-R-S-2	830	790	810	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PI-R-S-1	810	870	840	150
		PI-R-S-2	730	670	700	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	PX-R-N-1	8200	8200	8200	150
		PX-R-N-2	7800	8200	8000	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	PI-R-N-1	10800	7000	8900	150
		PI-R-N-2	7600	7400	7500	