



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA**

**“DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL  
ACERO ASTM A-42 EN HORMIGONES DISEÑADOS CON  
CEMENTO TIPO PUZOLÁNICOS MEDIANTE TÉCNICAS  
CINÉTICAS DE LABORATORIO”**

**PROYECTO DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**Presentado por**

**WILSON ÁNDRES HUIRACocha SáENZ**

**Guayaquil - Ecuador**

**2010**

# AGRADECIMIENTO

A Dios, por su eterno amor e infinita Misericordia. A mi madre por dedicar su vida entera a sus hijos, por ser la base fundamental de la mía, por toda su fuerza, amor y apoyo de igual manera a mi padre porque desde el cielo está viendo cumplir su mayor anhelo. Al Ing. Julián Peña Estrella, mi Director de Tesis, por brindarme todos Sus conocimientos con paciencia y dedicación.

# DEDICATORIA

A DIOS

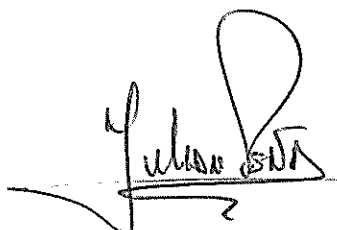
A MI FAMILIA.

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



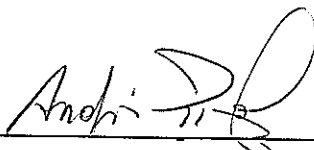
---

Ing. Francisco Andrade S.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE.



---

Ing. Julián Peña E.  
DIRECTOR DE PROYECTO



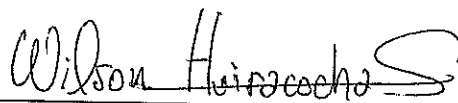
---

Ing. Andrés Rigail C.  
VOCAL PRINCIPAL

# 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).



Wilson Andrés Huiracocha Sáenz

## RESUMEN

La determinación de la velocidad de corrosión de las armaduras es de fundamental importancia a la hora de efectuar un diagnóstico y evaluar la vida útil de una estructura de hormigón armado.

La ejecución de los trabajos preliminares se han realizado en los laboratorios del Centro Técnico del Hormigón en HOLCIM. La técnica no destructiva mas empleada es la de resistencia de polarización ( $R_p$ ), mediante la cual la densidad de corriente de corrosión ( $i_{corr}$ ) es calculada a partir de la ecuación  $i_{corr} = B/R_p$ , donde  $R_p$  es la resistencia a la polarización y  $B$  es una constante que depende del valor de las pendientes de Tafel anódicas y catódicas.

Su valor es de 0,026V y 0,052V para acero en estado activo y pasivo, respectivamente, y estos son los valores generalmente empleados para calcular  $i_{corr}$ .

El Presente Proyecto de Graduación consta de cuatro capítulos:

En el Capitulo 1 se hará una introducción a los conceptos básicos sobre los procesos de corrosión de las armaduras, sus causas y efectos. También se hace un enfoque sobre los inhibidores como una forma eficaz de prevenir y detener la corrosión.

En el Capítulo 2 se describe la parte experimental introducida en nuestro estudio, la metodología, el procedimiento, las normas utilizadas, los ensayos realizados, y resultados.

En el Capítulo 3 se presenta el análisis de los resultados de los hormigones en las diferentes condiciones de exposición.

En el Capítulo 4, se presentan las conclusiones y recomendaciones.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ÍNDICE DE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO 1

1. LOS CEMENTOS PUZOLÁNICOS Y LA CORROSIÓN DEL HORMIGÓN EN EL ECUADOR.....	2
1.1 El problema de la vida útil en estructuras de hormigón armado.....	3
1.2 El Hormigón Puzolánico, características y aplicaciones.....	4
1.3 Degradación del Hormigón Puzolánico.....	7
1.4 Técnicas cinéticas para determinar la velocidad de corrosión.....	8
1.5 Resistencia a la polarización.....	10

### CAPÍTULO 2

2. ENSAYOS EXPERIMENTALES PARA LA OBTENCIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN EN HORMIGONES PUZOLÁNICOS.....	13
2.1 Metodología experimental.....	13
2.2 Construcción de las probetas de hormigón armado.....	20
2.3 Condiciones de exposición.....	27
2.3.1 Probetas expuestas al Ambiente Natural de Guayaquil.....	28



2.3.2	Probetas parcialmente inmersas en solución conteniendo Cloruro de Sodio.....	28
2.3.3	Probetas expuestas a atmosferas en Dióxido de Carbono.....	29
2.4	Resultados experimentales para obtener la Resistencia a la Polarización.....	30
2.5	Determinación de la resistencia a la polarización.....	38
CAPÍTULO 3		
3.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	57
3.1	Análisis de la resistencia a la polarización bajo diversas atmosferas.....	58
3.2	Análisis comparativo respecto al comportamiento del hormigón formulado con cemento PORTLAND TIPO II.....	66
CAPÍTULO 4		
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
APÉNDICES.....		70
BIBLIOGRAFÍA.....		75

## ABREVIATURAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
mpy	Mili-Pulgadas por Año
ET	Electrodo de Trabajo
EA	Electrodo Auxiliar
ER	Electrodo de Referencia
$R_p$	Resistencia a la Polarización
B	Constante de Proporcionalidad
$R_s$	Resistencia del electrolito
RPL	Resistencia a la polarización lineal
ERI	Electrodo de referencia interno
CSC	Cobre sulfato de cobre
CP	Curvas de polarización.

## INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1	Curva de polarización anódica y catódica.....	11
Figura 2	Electrodo de referencia externo.....	14
Figura 3	Mediciones de potencial con el electrodo de referencia interno.....	16
Figura 4	Medición de potencial contra el electrodo CSC.....	17
Figura 5	Conexiones del potenciogalvanostato.....	18
Figura 6	Modelo del potenciogalvanostato.....	18
Figura 7	Probetas de hormigón con barras de acero.....	21
Figura 8	Barras de acero INOX 304 (izquierda), ASTM A-42 (derecha) y el ERI (electrodo de referencia interno) listas para ser empotradas en el cemento.....	22
Figura 9	Barras de acero y electrodo de referencia montados sobre el soporte de madera.....	23
Figura 10	Molde listo para colada del cemento.....	24
Figura 11	Molde en proceso de colado.....	25
Figura 12	Probetas listas para el procesos de curado.....	25
Figura 13	Probeta de hormigón armado terminada.....	26
Figura 14	Probetas parcialmente inmersas en soluciones de cloruro de sodio.....	28
Figura 15	Cámaras de carbonatación.....	30
Figura 16	Evolución del potencial de corrosión durante 150 días expuestos al medio ambiente.....	59
Figura 17	Evolución de la resistencia a la polarización durante 150 días expuestas al medio ambiente.....	60
Figura 18	Evolución de la velocidad de corrosión durante 150 días expuestas al medio ambiente.....	60
Figura 19	Evolución del potencial de corrosión durante 150 días expuestas a NaCl.....	61
Figura 20	Evolución de la resistencia a la polarización durante 150 días expuestas a NaCl.....	62
Figura 21	Evolución de la velocidad de corrosión durante 150 días Expuestas a NaCl.....	63
Figura 22	Evolución del potencial de corrosión durante 150 días Expuestas a CO <sub>2</sub> .....	64
Figura 23	Evolución de la resistencia a la polarización durante 150 días expuestas a CO <sub>2</sub> .....	65

Figura 24	Evolución de la velocidad de corrosión durante 150 días Expuestas a CO <sub>2</sub> .....	65
-----------	--	----

## ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Programación de ensayos.....	14
Tabla 2	Características de la mezcla utilizada en la construcción de las probetas.....	24
Tabla 3	Programación de construcción de probetas.....	26
Tabla 4	Codificación de las probetas acorde a la condición de exposición.....	27
Tabla 5	Hormigones Puzolánico Sin Inhibidor Sometidas A Cámara De Carbonatación.....	32
Tabla 6	Hormigones Puzolánico con inhibidor sometidas a cámara de Carbonatación.....	33
Tabla 7	Hormigones Puzolánico sin inhibidor sometido a agua salada.....	34
Tabla 8	Hormigones Puzolánico con inhibidor sometido a agua Salada.....	35
Tabla 9	Hormigones Puzolánico sin inhibidor sometido al ambiente Natural.....	36
Tabla 10	Hormigones Puzolánico con inhibidor sometido al ambiente natural.....	37
Tabla 11	Tabla del estado del acero.....	39
Tabla 12	Tabla de datos de una probeta Puzolánico.....	40
Tabla 13	A.1 Hormigones Puzolánico sin inhibidor sometidas a cámaras de carbonatación.....	45
Tabla 14	A.2 Hormigones Puzolánico sin inhibidor sometidas a cámara de carbonatación.....	46
Tabla 15	B.1 Hormigones Puzolánico con inhibidor sometidas a cámara de carbonatación.....	47
Tabla 16	B.2 Hormigones Puzolánico con inhibidor sometidas a cámara De carbonatación.....	48
Tabla 17	C.1 Hormigones Puzolánico sin inhibidor sometidas a agua salada.....	49
Tabla 18	C.2 Hormigones Puzolánico sin inhibidor sometidas a agua salada.....	50
Tabla 19	D.1 Hormigones Puzolánico con inhibidor sometidas a agua salada.....	51
Tabla 20	D.2 Hormigones Puzolánico con inhibidor sometidas a	

	agua salada.....	52
Tabla 21	E.1 Hormigones Puzolánico sin inhibidor sometidas a ambiente natural.....	53
Tabla 22	E.2 Hormigones Puzolánico sin inhibidor sometidas a Ambiente natural.....	54
Tabla 23	F.1 Hormigones Puzolánico con inhibidor sometidas a Ambiente natural.....	55
Tabla 24	F.2 Hormigones Puzolánico con inhibidor sometidas a Ambiente natural.....	56

## INTRODUCCION

La elaboración de este trabajo de experimentación e investigación se lo realizo con el interés de conocer por medio del método de resistencia de polarización el nivel de corrosión existente en el Ecuador, tomando en consideración los diferentes tipos de climas que rodean cada región. Es por ello que el material de estudio se ha expuesto a 3 medios diferentes. Nuestra finalidad será determinar la velocidad o rapidez de corrosión del acero ASTM A-42 en cada medio expuesto. Para dar inicio a las pruebas en el laboratorio las probetas expuestas en sus diferentes medios deben ser retiradas cada 15 días. La técnica de resistencia de polarización es una técnica electroquímica que funciona de la siguiente manera; primero se mide el potencial del material, sobre este se fija un rango de variación de potencial, luego se perturba el material por medio de impulsos de corriente y este responderá en los mismos términos dando valores instantáneos de corriente que varían conjuntamente con el potencial. La relación que se genera entre el potencial y la corriente produce gráficamente una pendiente llamada resistencia de polarización, que con la ayuda de básicos procedimientos matemáticos se convertirá finalmente en velocidad de corrosión.

# CAPÍTULO 1

## **1. LOS CEMENTOS PUZOLANICOS Y LA CORROSION DEL HORMIGON EN EL ECUADOR.**

El presente trabajo trata acerca del comportamiento de un hormigón elaborado con cemento Puzolánico y adición de aditivos superplastificantes, los que aportaron en épocas sucesivas notables avances en la tecnología de los hormigones tradicionales, actualmente el hormigón fluido está marcando un nuevo hito en la forma de aplicar el hormigón a la construcción aportando muchas ventajas en cuanto a la facilidad de puesta en obra, la seguridad en el trabajo y la durabilidad del hormigón. El hormigón una vez endurecido presentará un aumento en la resistencia mecánica por efecto directo de la reducción de agua y esto podrá ser apreciado a tempranas edades y a la edad final donde se registra la máxima resistencia que alcanzará dicho hormigón.



## **1.1 EL PROBLEMA DE LA VIDA UTIL EN ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO.**

El hormigón armado es un material compuesto, que comenzó a utilizarse industrialmente a principios del Siglo XX. Sus excelentes propiedades físicas se deben a la combinación de la resistencia a la compresión propia del hormigón y a la alta resistencia a la tracción que le confiere el acero.

Su gran versatilidad en cuanto a forma, acabado y tamaño, su bajo costo relativo, su fácil disponibilidad y trabajado, además de su elevada resistencia a los medios agresivos frente a otros materiales estructurales, lo hacen una de las principales elecciones a la hora de seleccionar de un material para estructuras (Tretiakov, 1986). Además de las ventajas estructurales que resultan de la combinación del hormigón y el acero, el hormigón actúa como barrera física de las armaduras respecto del medio ambiente y posee características químicas que ofrecen al acero una excedente protección contra la corrosión.

Sin embargo, a través del tiempo, se comprobó que el hormigón armado también se deterioraba, tanto debido a procesos de degradación del propio hormigón como a través de la corrosión de las armaduras.

La información disponible coincide en general en que es fundamental el respeto de las reglas del arte en la fabricación de un hormigón armado para alcanzar una prolongada vida en servicio del mismo.

La definición de vida útil de una estructura en la mayoría de los códigos se define como el periodo en el cual la estructura mantiene los requisitos especificados en el proyecto respecto a seguridad, funcionalidad y estética, sin costos inesperados de mantenimiento.

## **1.2 EL HORMIGÓN PUZOLÁNICO, CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES.**

El cemento es una mezcla de minerales, principalmente silicatos y aluminatos de calcio. Cuando fragua, se endurece por hidratación de los distintos compuestos que lo constituyen. Durante ese proceso llamado curado, ocurren entre otros los siguientes fenómenos:

- Conformación de la red de silicatos, que determina la resistencia mecánica del hormigón.
- Segregación del hidróxido de calcio, el cual junto con los álcalis provenientes de las materias primas llevan el pH de la fase acuosa a valores de aproximadamente 12.

- Evaporación del agua en exceso agregada durante el amasado para hacer trabajables las mezclas, lo cual genera una red de poros y canales que llegan hasta la superficie del hormigón.

Estos procesos, determinarán en gran medida el desempeño final del material, por lo cual la formulación, ejecución y curado del hormigón deben ser cuidadosos. Así por ejemplo el aporte de agua a la mezcla debe ser el exacto para evitar un exceso, que provocaría un aumento de la porosidad y disminución de la resistencia a la compresión del hormigón.

Puzolana, según el criterio de Lea adoptado por las actuales normas del ASTM es el material silíceo que no siendo aglomerante por si mismo o en muy baja magnitud contiene elementos que se combinan con la cal en presencia del agua, a temperaturas ordinarias, formando compuestos de escasa solubilidad que presentan propiedades aglomerantes.

### **Tipos de puzolanas**

En una primera clasificación, las puzolanas se dividen en dos grandes grupos: naturales y artificiales, estos últimos, arcillas, pizarras, etc., calcinadas. Los dos grupos, a su vez, se han clasificado atendiendo a diversos criterios. El Bureau of Reclamation , entidad norteamericana con mayor experiencia en la materia, considera los siguientes tipos:

**I. Arcillas y pizarras (que requieren calcinarse para ser activas):**

- a) colinita
- b) montmorillonita

**II. Materiales opalinos (En los cuales la calcinación puede o no ser necesaria).**

- a) Tierra de diatomeas, semiopalos y pizarras.

**III Tobas volcánicas y pumicitas (en las cuales la calcinación puede o no ser necesaria)**

- a) riolíticos
- b) andesíticos
- c) fenolíticos.

**IV Sub productos industriales:**

Escoria de alto horno.

Ceniza volante.

Humo silíceo.

**CARACTERISTICAS:**

- a) Retracción y fluencia. Ambos fenómenos se ven acrecentados en el caso de los portland puzolánicos. El campo de variación es amplio, según sea la puzolana, cemento usado y tipo de agregado.'

En todo caso no hay leyes que determinen las deformaciones del concreto.

b) Las condiciones de deformación elástica del concreto son ligeramente disminuidas por los cementos puzolánicos. Aunque no se puede determinar coeficientes al respecto, dada la cantidad de parámetros incidentes.

e) Las resistencias mecánicas disminuyen en los cementos puzolánicos, especialmente en los concretos ricos en aglomerantes. En las mezclas pobres, eventualmente, los cementos puzolánicos pueden acrecentar la resistencia.

Las obras de concreto puzolánicos exigen mayor control y curado especial y continuado para prevenir los peligros de fisuración y otras anomalías.

### **1.3 DEGRADACION DEL HORMIGON PUZOLANICO.**

Si el recubrimiento de hormigón sobre las armaduras no se mantiene en buenas condiciones, no se puede esperar un buen desempeño de la estructura de hormigón armado. El deterioro puede provenir de:

- Fisuración provocada por esfuerzos mecánicos provenientes de diversas fuentes.
- Erosión mecánica.

- Congelamiento, durante el cual el agua retenida en la red de poros y canales solidifica presionando contra las paredes de los mismos hasta fisurar el hormigón.
- Ataque ácido, que disuelve las fases alcalinas del hormigón.
- Ataque por sulfatos, que reaccionan con componentes del hormigón formando productos muy voluminosos, los cuales presionan hasta fisurar la masa de hormigón.
- Reacción álcali-agregado, debida a la reactividad de agregados finos de estructura amorfa frente al medio fuertemente alcalino, generando también fases voluminosas y fisuración.
- Ataque biológico, provocado por la acción química de metabolitos de microorganismos.
- Desalcalinización de las fases del cemento por efecto de un lavado continuo con agua.

#### **1.4 TECNICAS CINETICAS PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD DE CORROSION.**

De manera concisa se da a continuación un conocimiento general de la técnica cinética y se hará un análisis detallado de la Técnica de Resistencia a la Polarización en la sección 1.5.

##### **Técnica Potenciostáticas**

Ya sabemos que para predecir la velocidad de corrosión de un metal en un medio determinado deben conocerse las curvas de

polarización de cada una de las reacciones electroquímicas que acompañan el proceso de corrosión.

Para determinar la curva de polarización se deben aplicar sobrepotenciales constantes, midiendo la respectiva corriente luego que haya alcanzado para cada potencial, un valor estacionario.

Por medio de la Ley de Faraday determinamos la velocidad de corrosión a partir de la corriente de corrosión.

$$W = ( I t m ) / ( Z F ) \quad (\text{ec. 1})$$

Donde:

W: pérdida de peso de la especie electroactiva

m: peso molecular

Z: número de electrones involucrados en la reacción electroquímica

F: constante de Faraday (96500 culombios)

I: corriente en amperios

t : tiempo en segundos

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

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

Dividiendo la ecuación anterior por el area del electrodo de trabajo (A) en cm<sup>2</sup> y por su densidad en g/cm<sup>3</sup> se tiene que

$$V_{\text{corr}} (\text{cm/s}) = I M / d F A Z \quad (\text{ec. 2})$$

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

$$V_{\text{corr}} (\text{mpy}) = 0,129 i_{\text{corr}} M / d Z \quad (\text{ec. 3})$$

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

### **1.5 RESISTENCIA A LA POLARIZACION.**

Las mediciones con desviaciones en el potencial mucho más pequeñas que las constantes de activación de Tafel tienden a eliminar daños permanentes en el sistema y permiten a su vez un mejor control de los errores debidos a la alta resistencia del electrolito.



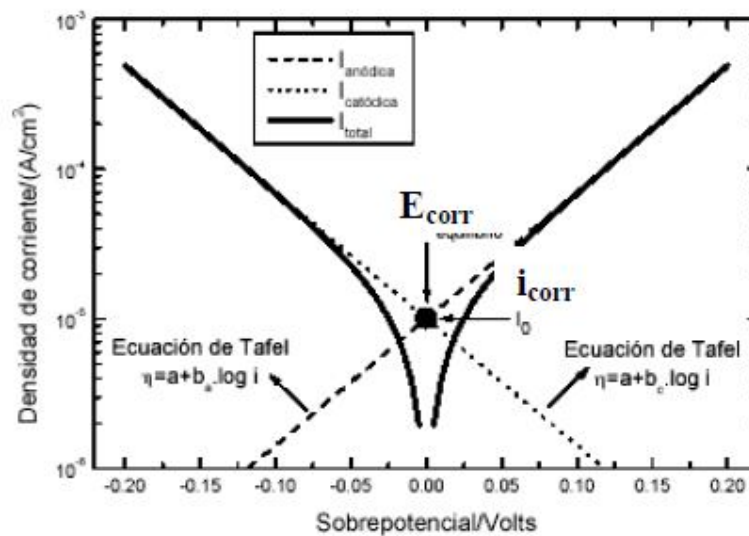


Figura 1.- Curva de polarización anódica y catódica

Estos métodos aprovechan la relación casi-lineal entre la corriente aplicada y la desviación del potencial que se encuentra cuando ésta última es pequeña. Por ejemplo, si se satisfacen las condiciones, no hay caída óhmica, el electrodo de referencia está próximo a la superficie de la barra y  $\eta$  es muy pequeño nos da la ecuación siguiente:

$$\eta/i_{ap} = B/i_{corr} \quad (\text{ec. 4})$$

con :

$$B = b_a b_c / 2,3 (b_a + b_c) \quad (\text{ec. 5})$$

Esta es una forma de la ecuación de Stern-Geary, que muestra que la relación de la desviación del potencial respecto a la densidad de corriente aplicada es inversamente proporcional a la densidad de la corriente de corrosión. La relación  $\eta/i_{ap}$  obtenida en este caso se define como la resistencia de polarización ( $R_p$ ) del sistema, la cual se define como el valor límite de la relación cuando el potencial se varia a una velocidad infinitamente baja en el pequeño límite de amplitud. Así entonces, finalmente la ecuación de Stern- Geary tomará la forma:

$$i_{corr} = B / R_p \text{ ( ec. 6 )}$$

El valor de  $R_p$  aquí obtenido no es el  $R_p$  “puro”, sino que incluirá el valor de la resistencia del electrolito  $R_s$ , o sea que el verdadero valor de  $R_p$  será corregido restándole el  $R_s$  medido acorde a lo explicado en “Medición de  $R_s$ ”. La magnitud  $B$  en la ecuación (4) es una simple función de las pendientes de Tafel. La mayoría de los autores coinciden desde hace muchos años en tomar para el sistema acero-hormigón,  $B = 0,26V$  para acero en estado activo y  $B = 0,52V$  para estado pasivo.

## **CAPÍTULO II**

### **ENSAYOS EXPERIMENTALES PARA LA OBTENCION DE LA VELOCIDAD DE CORROSION EN HORMIGONES PUZOLANICOS.**

#### **2.1 METODOLOGIA.**

El presente estudio está orientado a evaluar el comportamiento del acero ASTM A42 en el hormigón Puzolánico.

Los ensayos de resistencia a la polarización se realizaron periódicamente mediciones durante 150 días (5 meses) en intervalos de 15 días por medición, mediante la técnica de Resistencia a la polarización lineal (RPL), con el Scanning Potentiostat. Las

mediciones de Ecorr fueron tomadas periódicamente para cada una de las barras de todas las probetas contra el electrodo de referencia interno de titanio incluido en cada probeta (ERI). Además se tomó el potencial del ERI contra un electrodo de referencia externo standard de Cobre/Sulfato de cobre saturado (Cu/SCS).

El electrodo de referencia externo (Cu/SCS) utilizado puede verse en la figura 2.

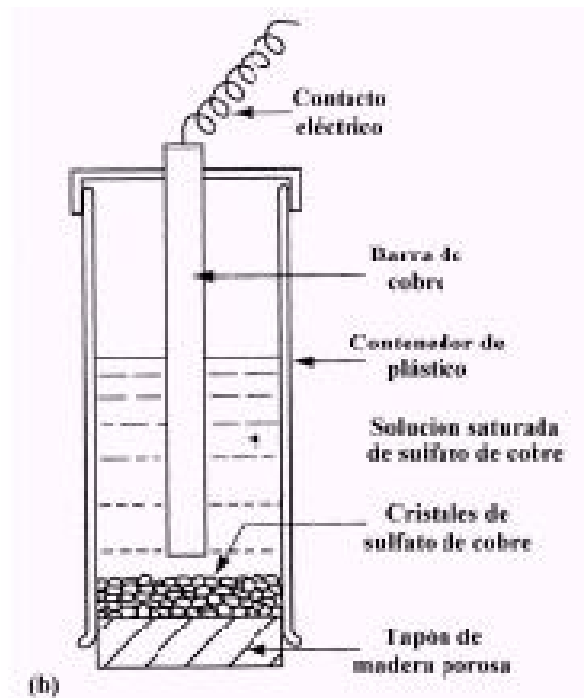


Fig. 2

Se detalla a continuación una tabla resumida indicando las mediciones que realizaron:

ORDEN DE EJECUCIÓN	ENSAYO	FRECUENCIA	MEDICIÓN EN	EQUIPO
1	Potencial de corrosión $E_{corr}$	QUINCENAL	C / electrodo de trabajo (2 x probeta)	Multímetro
2	Densidad de corriente $I_{CORR}$	QUINCENAL	C / electrodo de trabajo (2 x probeta)	Potenciogalvanostato EG&G 362
3	Resistencia	QUINCENAL	C /probeta	NILSON 400

TABLA 1.- Programación de ensayos

### PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE POTENCIALES.

#### 1) Potenciales $E_{corr}$ .

- a) Colocar el multímetro en el rango de milivolts.
- b) Conectar el negativo del multímetro al electrodo de referencia interno de la probeta, y el positivo al electrodo de trabajo AX.  
Registrar la medición
- c) Repetir el procedimiento para el electrodo de trabajo AY.



Fig. 3.- Medición de potencial con el electrodo de referencia interno ERI

## 2) Potenciales de ERI vs CSC.

- a) Utilizar una esponja limpia y un recipiente con agua destilada para no introducir contaminantes en las probetas.
- b) Colocar el multímetro en el rango de milivolts.
- c) Conectar el positivo al ERI (Electrodo de Referencia Interno).
- d) Conectar el negativo del multímetro al electrodo de CSC. Apoyar el CSC sobre la esponja humedecida en agua destilada, sobre un costado de la probeta.
- e) Registrar la medición, cuando la lectura se haya estabilizado  $\pm 0.02$  V al menos 5 minutos.
- f) Repetir para las otras caras de la probeta.
- g) Obtener promedio.



Fig. 4.- Medición de potencial contra el electrodo CSC

## PROCEDIMIENTO PARA MEDICIONES DE DENSIDAD DE CORROSION $i_{corr}$ .

### 1) Conexiones entre el potenciogalvanostato y la probeta

- a) Esta operación debe realizarse sin encender el equipo y con el interruptor CELL en OFF.
- b) El cable VERDE debe conectarse al electrodo de trabajo AX. Para la segunda medición sobre la misma probeta, se conectará al AY.
- c) El cable BLANCO debe conectarse al electrodo de referencia.
- d) El cable ROJO debe conectarse a los dos contraelectrodos de acero inoxidable, IX e IY.
- e) El cable NEGRO se conecta a un punto de tierra (en la regleta).

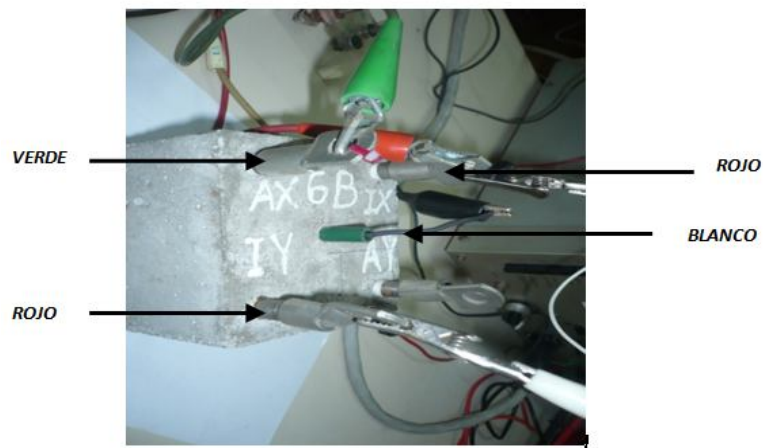


Fig. 5.- Conexiones del potenciogalvanostato



Fig. 6.- Modelo del potenciogalvanostato

## 2) Otras conexiones

- a) Realizar las conexiones necesarias entre las salidas de datos del potenciogalvanostato y la tarjeta de adquisición.



- b) Conectar el multímetro a la salida de voltaje del potenciómetro para respaldar las lecturas de la tarjeta. Acompañar las lecturas con un cronómetro para registrar a los 60 s.

### 3) Ajuste de los controles del equipo

- a) Esta operación debe realizarse sin encender el equipo y con el interruptor CELL en OFF.
- b) Todos los botones de la hilera del extremo izquierdo deben estar “suelos”.
- c) El interruptor MODE debe estar presionado, para funcionar en modo CONTROL I.
- d) El contador INITIAL POTENTIAL se utiliza como un multiplicador sin dimensiones, que trabaja en conjunto con el selector de rango CURRENT RANGE, para indicar el valor de corriente que se aplicará al electrodo de trabajo:
- e) Por ejemplo, si se desea aplicar  $20 \mu A$ , presionar el CURRENT RANGE  $10 \mu A$  y colocar + 2.000 en el contador INITIAL POTENTIAL.
- f) Encender el equipo. La corriente se inyectará al momento de presionar el interruptor CELL a su posición ON.
- g) Luego de realizar las conexiones a la probeta y el ajuste de los controles, encender el equipo. Deberá tomarse la lectura

requerida, a los 60 segundos de inyectar la corriente. Este tiempo empieza a correr al presionar el interruptor CELL.

- h) Tomar la lectura de voltaje inducido en el electrodo de trabajo, a los 60 segundos y apagar la inyección de corriente (CELL OFF).
- i) Se tomará una lectura para AX y luego otra para AY.

Las mediciones empezaron desde el 31 de julio del 2009 hasta el 18 de diciembre del 2009.

## **2.2 CONTRUCCION DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN ARMADO**

Las probetas empleadas en el presente trabajo, están constituidas por cubos de hormigón de 10 cm de lado que contienen 4 barras de acero, dos de ASTM A-42 y dos de INOX 304 de 10 mm de diámetro posicionadas en sus vértices de manera de obtener un espesor de recubrimiento de 10 mm (Figura 7)

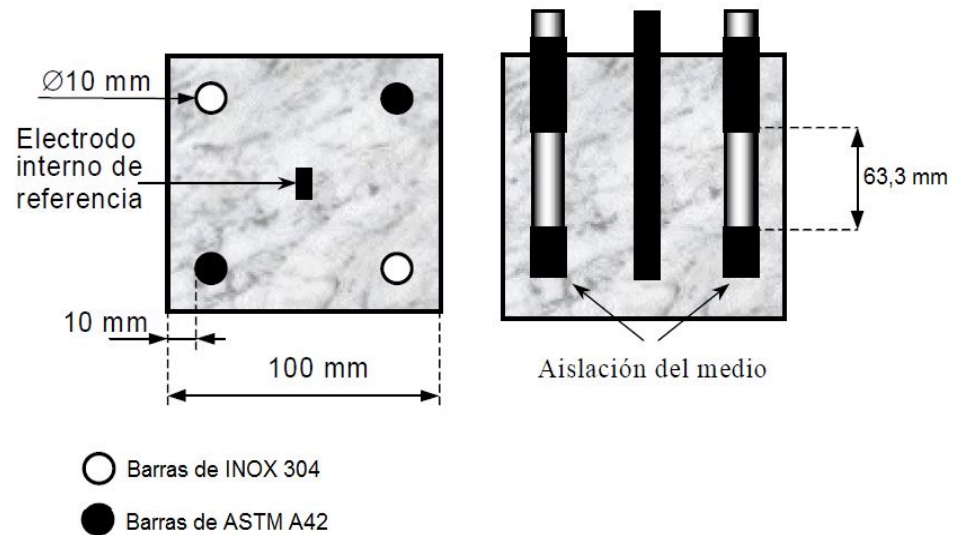


Fig. 7.- Probetas de hormigón con barras de acero

Las probetas contienen un electrodo interno de referencia de titanio colocado en su centro para facilitar la ejecución de ensayos electroquímicos. El área expuesta de las barras en contacto con el cemento es de 20 cm<sup>2</sup>.

Para confeccionar la armadura de las probetas, se tomaron barras lisas de sección redonda de acero INOX 304 Y ASTM A-42 de 10 mm de diámetro y se cortaron tramos de 100 mm de longitud.

Luego se procedió a pulir las barras usando un papel abrasivo (lija) de grano #280, puliendo en forma manual, para eliminar todo vestigio de posible óxido superficial. Luego de desengrasarlas con alcohol se procedió a dejar en cada barra un área expuesta de exactamente 20 cm<sup>2</sup> cubriendo el resto de la barra con cinta

adhesiva plástica y luego soplando aire con una secadora para lograr un perfecto sellado. Uno de los extremos de la barra se dejó libre de cinta ya que sobresaldrá del cemento y se montará sobre él, un terminal eléctrico para facilitar la conexión del instrumento de medición.

Luego se procedió a construir el electrodo de referencia interno (ERI), que irá empotrado en el centro del cubo, equidistante de las cuatro barras que lo rodearán. Como ya se mencionó el material de dicho electrodo es titanio. (Figura 8).



Fig. 8.- Barras de acero INOX 304 (izquierda), ASTM A-42 (derecha) y el ERI (electrodo de referencia interno) listas para ser empotradas en el cemento.

Luego se construyó un soporte de madera para poder mantener las barras y el electrodo de referencia en la posición correcta durante la colada del cemento en el molde. Es de hacer notar que el área

expuesta de todas las barras y el electrodo de referencia quedarán a la misma altura dentro de la probeta (Figura 9).

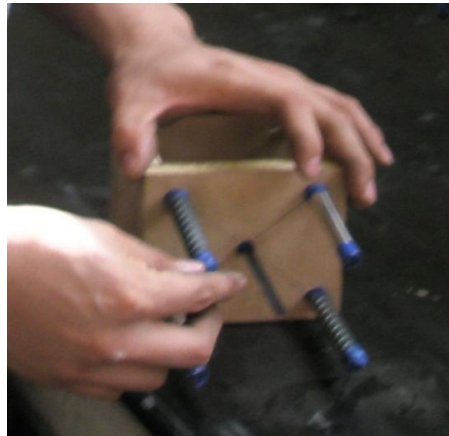


Fig. 9.- Barras de acero y electrodo de referencia montados sobre el soporte de madera

Una vez montadas las barras y el electrodo de referencia en el soporte se introduce el conjunto en el molde, que previamente se ha cubierto con grasa como agente desmoldante, para poder colar el cemento sin que se adhiera a las paredes del molde ni al soporte de madera (figura 10).



Fig. 10.- Molde listo para colada del cemento. Cada molde está preparado para colar dos probetas.

Para la elaboración del mortero se utilizó cemento Puzolánico.

Las características de la mezcla utilizada se resumen en la tabla 2.

Tabla 2. Características de la mezcla utilizada en la construcción de las probetas

DOSIFICACION POR m3							
TIPO	Cemento (Kg)	Piedra 12,5mm (Kg)	Arena Triturada (Kg)	Arena de Rio (Kg)	Agua (Kg)	SikamentNR %	Inhibidor MCI 2006 NS (Kg)
PZ-sin inhibidor	500	533	291	791	210	1 % del contenido de cemento	
PZ-con inhibidor	500	533	291	791	210	1% del contenido de cemento	0,6

Una vez preparado el mortero, se procedió al llenado de los moldes.

Luego, se llenó completamente el molde con cemento, se quitó el excedente, con una regleta metálica, y se cubrió el molde con un

film de polietileno para evitar la pérdida de humedad. Así las probetas quedaron listas para el proceso de curado. (Figura 11 y 12)



Fig. 11.- Molde en proceso de colado



Fig. 12.- Probetas listas para el procesos de curado

En la figura 13 se puede ver una de la probeta terminada.



Fig. 13.- Probeta de hormigón armado terminada

En la tabla 3 a continuación se presenta la programación de la elaboración de las probetas de hormigón Puzolánico.

Tabla 3. Programación de construcción de probetas

FECHA	MODELO	TIPO	CANTIDAD	OBSERVACIONES	Bacht
Martes 12-05-09	Cúbicas	sin inhibidor	8	6 cinéticas + 2 extra	Único
Miércoles 13-05-09	Cilíndricas	sin inhibidor	13	12 difusión + 6 rotura	Único
Viernes 15-05-09	Cilíndricas	sin inhibidor	5	ensayo acelerado	1r Bacht
	Cúbicas	sin inhibidor	4		
	Cilíndricas	con inhibidor	5	rotura	2o. Bacht
	Cúbicas	con inhibidor	8	6 cinéticas + 2 extra	
<b>probetas totales</b>			<b>43</b>		



Para identificar cada probeta se utilizaron ciertos códigos para las cuatro condiciones de exposición

La tabla 4 resume las probetas asignadas para cada condición acorde a la codificación adoptada.

Tabla 4 Codificación de las probetas acorde a la condición de exposición.

SIGLA	DETALLE	INDICADOR
P	PUZOLÁNICO	MEZCLA
2	PORTLAND TIPO 2	
X / I	SIN INHIBIDOR / CON INHIBIDOR	
R	RESISTENCIA DE POLARIZACIÓN $R_p$	ENSAYO
A	ENSAYO ACELERADO	
D	ENSAYO DE DIFUSIÓN	
C	CÁMARA DE CARBONATACIÓN	MEDIO
S	INMERSIÓN EN SAL	
N	EXPOSICIÓN A LA ATMÓSFERA (NATURAL)	
#	NUMERO DE PROBETA	NUMERO

### 2.3 CONDICIONES DE EXPOSICION

Una vez que las probetas fueron desmoldadas y cumplieron su período de curado, las mismas fueron sometidas a las respectivas condiciones de exposición a saber:

- a) Expuestas al ambiente Natural de Guayaquil.
- b) Probetas parcialmente inmersas en solución conteniendo Cloruro de Sodio.
- c) Expuestas a atmósfera en Dióxido de Carbono.

### 2.3.1 Probetas expuestas al ambiente Natural de Guayaquil

Para la condición de exposición al ambiente natural sólo se dejaron las probetas sobre una superficie horizontal ubicada en el area de las oficinas del area de materiales de la FIMCP expuestas al ambiente.

### 2.3.2 Probetas parcialmente inmersas en solución conteniendo Cloruro de Sodio

Se prepararon soluciones al 3,5% m/m de cloruro de sodio y, usando agua destilada. Esta condición emula un entorno conteniendo agua de mar (con iones cloruro).

Las probetas expuestas en esta condición se las puede observar en la siguiente Figura 14.



Fig. 14.- Probetas parcialmente inmersas en soluciones de cloruro de sodio.

### **2.3.3 Probetas expuestas a atmosferas en dióxido de carbono**

En esta condición se estudia la acción del dióxido de carbono presente en el aire atmosférico (carbonatación del hormigón). Para la carbonatación acelerada de las probetas se diseñó y construyó una cámara, consistente en un recipiente de plumafon (inerte frente al CO<sub>2</sub>) con su respectiva tapa, en la cual se colocó un sistema de ductos para permitir el llenado de la cámara con CO<sub>2</sub> proveniente de un cilindro y para poder evacuar el aire presente por desplazamiento al iniciar el llenado. Se colocó también un manómetro de baja presión para controlar que siempre exista presión positiva dentro de la cámara. Dentro de la cámara se colocaron las respectivas probetas, construidos con el mismo cemento con y sin inhibidor para monitorear el avance del frente de carbonatación y un vaso de precipitados conteniendo una solución saturada de nitrato de magnesio hexahidratado Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O (reactivo de calidad analítica y agua desmineralizada), solución que tiene la capacidad de mantener la humedad dentro del recinto de la cámara en aproximadamente 55-60% (CRC, 1999), que es la condición más favorable para la rápida carbonatación del hormigón.

Posteriormente y una vez asegurada la estanqueidad de la cámara, se llenó con CO<sub>2</sub> (pureza 99,995%) a saturación.

Con respecto al tiempo necesario para que el frente de carbonatación llegue hasta la superficie de las barras de acero, se introdujeron en la cámara (como se mencionó anteriormente) los probetas de cemento Puzolánico con y sin inhibidor los cuales fueron extraídos, de a uno por vez a intervalos de 2 semanas. Figura 15



Fig. 15

#### **2.4 RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA OBTENER LA RESISTENCIA A LA POLARIZACION.**

En esta parte del presente trabajo se muestran los resultados obtenidos mediante las técnicas del trazado de curvas de polarización (CP), aplicación de la técnica de resistencia a la

polarización lineal (RPL) y medición de resistencia eléctrica del hormigón, ya descritas en los capítulos anteriores, para la determinación de la velocidad de corrosión de barras de acero empotradas en las probetas sometidas a diversas condiciones de exposición. Se resumen las condiciones de exposición a las que fueron sometidas las probetas: Ambiente Natural, Parcialmente sumergidas en solución de NaCl 3,5% m/m, cámara de CO<sub>2</sub> con 60% de humedad relativa.

TABLA 5

## HORMIGONES PUZOLANICOS SIN INHIBIDOR SOMETIDAS A CÁMARA DE CARBONATACIÓN

MEDICIÓN N.º	FECHA	CÓDIGO PROBETA	días	POTENCIAL DE CORROSIÓN $E_{corr}$ (mV)		POTENCIAL ERI vs CSC (mV)				AX		AY		RESUMEN	
				AX	AY	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4	PROMEDIO	CORREGID E <sub>corr</sub> vs CSC (CON ERI vs CSC)	CORREGID O E <sub>corr</sub> vs CSC (CON ERI vs PROBETA)	PROMEDIO E <sub>corr</sub> CSC (FINAL)	PROMEDIO E <sub>corr</sub> CSC (FINAL)	
															PROMEDIO
1	14/08/2009	PX-R-C-1	28	-129,2	-112,5	59,3	56,1	49,4	79,6	61,1	-68,1	-51,4	-59,75		
		PX-R-C-2		-141,2	-115	47,8	52,4	63,4	58,6	55,55	-85,65	-59,45	-72,55	-66,15	-0,06615
2	28/08/2009	PX-R-C-1	42	-77,5	-69,8	42,5	22,7	38,5	23,2	31,725	-45,775	-38,075	-41,925		
		PX-R-C-2		-82,2	-120,4	58,1	62,5	48,7	81,5	62,7	-19,5	-57,7	-38,6	-40,2625	-0,0402625
3	11/09/2009	PX-R-C-1	56	-71,6	-66	25,7	21	17,5	24,6	22,2	-49,4	-43,8	-46,6		
		PX-R-C-2		-80,6	-94,9	33,7	42,6	32,4	56,6	41,325	-39,275	-53,575	-46,425	-46,5125	-0,0465125
4	25/09/2009	PX-R-C-1	70	-69	-64,7	27,3	28,4	24,2	23,4	25,825	-43,175	-38,875	-41,025		
		PX-R-C-2		-82,8	-95,2	40,2	47,3	40	70	49,375	-33,425	-45,825	-39,625	-40,325	-0,040325
5	08/10/2009	PX-R-C-1	83	-70	-65	29,1	31,1	19,7	26,7	26,65	-43,35	-38,35	-40,85		
		PX-R-C-2		-81,6	-93,7	27,3	38,3	29,6	61,9	39,275	-42,325	-54,425	-48,375	-44,6125	-0,0446125
6	23/10/2009	PX-R-C-1	98	-70,1	-65,7	42,9	37,3	60,3	52,3	48,2	-21,9	-17,5	-19,7		
		PX-R-C-2		-85,3	-97,3	55,4	48	32	50,6	46,5	-38,8	-50,8	-44,8	-32,25	-0,03225
7	06/11/2009	PX-R-C-1	112	-62,4	-56,8	36,6	33,2	28,4	36,2	34,1	-28,3	-22,7	-25,5		
		PX-R-C-2		-69	-81,1	51,7	21,4	63,1	51	46,8	-22,2	-34,3	-28,25	-26,875	-0,026875
8	20/11/2009	PX-R-C-1	126	-64,1	-60,8	50,1	40,3	43,4	35,6	42,35	-21,75	-18,45	-20,1		
		PX-R-C-2		-78,1	-81,6	48,6	50,8	62,5	47,3	52,3	-25,8	-29,3	-27,55	-23,825	-0,023825
9	04/12/2009	PX-R-C-1	140	-100,4	-94,8	29,1	31,1	19,7	26,7	26,65	-73,75	-68,15	-70,95		
		PX-R-C-2		-97,4	-103	27,3	38,3	29,6	61,9	39,275	-58,125	-63,725	-60,925	-65,9375	-32,96875
10	05/01/2010	PX-R-C-1	154	-102,6	-99,5	101,3	91,4	99,4	107,4	99,875	-2,725	0,375	-1,175		
		PX-R-C-2		-112,7	-117,5	113,7	122,1	109,3	132,1	119,3	6,6	1,8	4,2	1,5125	0,75625

TABLA 6

## HORMIGONES PUZOLANICOS CON INHIBIDOR SOMETIDAS A CAMARA DE CARBONATACION

MEDICIÓN No.	FECHA	CÓDIGO PROBETA	días	POTENCIAL DE CORROSIÓN $E_{\text{corr}}$ (mV)		POTENCIAL ERI vs CSC (mV)				AX		AY		RESUMEN		
				AX	AY	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4	PROMEDIO	CORREGID O Ecorr vs CSC (CON ERI vs	CORREGID O Ecorr vs CSC (CON ERI vs	PROMEDIO Ecorr CSC (POR PROBETA)	PROMEDIO Ecorr CSC (FINAL)	PROMEDIO Ecorr CSC (FINAL)	
																PROMEDIO
1	14/08/2009	PR-C-1	28	-120.6	-138.7	39.2	24.4	47.2	41.1	37.975	-82.625	-100.725	-91.675			
		PR-C-2		-144.4	-145.9	50.3	49	45.4	49.2	48.475	-95.925	-97.425	-96.675	-94.175	-0.094175	
2	28/08/2009	PR-C-1	42	-83.3	-85.3	28.6	18.7	25	15.3	21.9	-81.4	-83.4	-82.4			
		PR-C-2		-94.8	-99.6	26.4	-8.6	15.5	22.3	13.9	-80.9	-85.7	-83.3	-72.85	-0.07285	
3	11/09/2009	PR-C-1	56	-70.1	-67.2	15.6	-6.6	8	-7.3	2.425	-67.675	-64.775	-66.225			
		PR-C-2		-80.8	-84.6	11	-16.6	6.8	12.4	3.4	-77.4	-81.2	-79.3	-72.7625	-0.0727625	
4	25/09/2009	PR-C-1	70	-65.7	-66.9	13.6	-3.6	2.9	-2.5	2.6	-63.1	-64.3	-63.7			
		PR-C-2		-74.1	-82.7	5.6	5.1	-9.9	0.7	0.375	-73.725	-82.325	-78.025	-70.8625	-0.0708625	
5	08/10/2009	PR-C-1	83	-65.9	-64.6	4.1	-14.7	15.2	-2.5	0.625	-65.375	-64.075	-64.725			
		PR-C-2		-75.8	-80.7	6	-1.1	9.5	21.2	8.9	-66.9	-71.8	-69.35	-67.0375	-0.0670375	
6	23/10/2009	PR-C-1	98	-75.1	-81.5	39.7	18.7	28.7	8.3	23.86	-51.25	-57.65	-54.45			
		PR-C-2		-85.7	-90.1	37	17.5	29.1	33.4	29.25	-56.45	-60.85	-58.65	-56.55	-0.05655	
7	06/11/2009	PR-C-1	112	-57.1	-58.8	13.6	21.8	8.7	14.1	14.66	-42.55	-44.25	-43.4			
		PR-C-2		-62.7	-68.9	24.5	3.4	20	18.4	16.575	-46.125	-52.325	-49.225	-46.3125	-0.0463125	
8	20/11/2009	PR-C-1	126	-61.8	-60.3	55.3	19.3	33.25	22.3	32.6375	-29.2625	-27.7625	-28.5125			
		PR-C-2		-69.8	-74.5	44.5	54.23	49.3	66.9	53.7325	-16.0675	-20.7675	-18.4175	-23.465	-0.023465	
9	04/12/2009	PR-C-1	140	-70.5	-74	37	17.5	29.1	33.4	29.25	-41.25	-44.75	-43			
		PR-C-2		-94.2	-103	13.6	21.8	8.7	14.1	14.66	-79.65	-88.45	-84.05	-83.525	-0.083525	
10	05/01/2010	PR-C-1	154	-85.2	-84.7	96.5	89.4	91.3	84.5	90.425	5.225	5.725	5.475			
		PR-C-2		-124.3	-277.1	93.1	83.7	84.2	94.9	86.975	-35.325	-188.125	-111.725	-53.125	-0.053125	

TABLA 7

## HORMIGONES PUZOLANICO SIN INHIBIDOR SOMETIDAS A AGUA SALADA

MEDICIÓN No.	FECHA	CÓDIGO PROBETA	días	POTENCIAL DE CORROSIÓN $E_{CORR}$ (mV)		POTENCIAL ERI vs CSC (mV)				AX		AY		PROMEDIO PARA GRÁFIC		PROMEDIO Ecorr CSC (FINAL)
				AX	AY	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4	PROMED IO	CORREGID O Ecorr vs CSC (CON ERI vs ERI vs	CORREGID O Ecorr vs CSC (CON ERI vs ERI vs	PROMEDIO Ecorr CSC (POR PROBETA)	PROMEDIO Ecorr CSC (FINAL)		
1	31/07/2009	PX-R-S-1	18	-213,3	-245,5	-1,2	-1,1	-1,1	-1,2	-1,15	-214,45	-246,65	-230,55			
		PX-R-S-2		-245,7	-200,9	-0,6	-0,6	-0,5	-0,6	-0,575	-246,275	-201,475	-223,875	-227,2125	-0,227213	
2	14/08/2009	PX-R-S-1	32	-338,7	-590	-0,4	-0,3	-0,2	0	-0,225	-338,925	-590,225	-464,575			
		PX-R-S-2		-465,7	-430,6	-11,6	1,5	-0,4	-17,6	-7,025	-472,725	-437,625	-455,175	-459,875	-0,459875	
3	28/08/2009	PX-R-S-1	46	-534,6	-532,8	-27,5	-5,2	-18,1	-7,5	-14,575	-549,175	-567,375	-558,275			
		PX-R-S-2		-609,9	-534,6	-1,9	14,4	12,6	-1	6,025	-603,875	-528,575	-566,225	-562,25	-0,56225	
4	11/09/2009	PX-R-S-1	60	-476,4	-546,4	-0,8	-4,2	-3,4	-16,2	-6,15	-482,55	-552,55	-517,55			
		PX-R-S-2		-567,1	-488,5	-10,6	10,9	0,6	-2,4	-0,375	-567,475	-498,875	-533,175	-525,3625	-0,525363	
5	25/09/2009	PX-R-S-1	74	-554,1	-503,4	-16,1	-1,9	-9,6	-24,9	-13,125	-567,225	-516,525	-541,875			
		PX-R-S-2		-528,8	-438,5	-30,7	-1,5	-17,1	-11,8	-15,275	-544,075	-453,775	-498,925	-520,4	-0,5204	
6	08/10/2009	PX-R-S-1	87	-483,7	-480,3	2,8	5,2	12,2	-24,4	-1,05	-484,75	-481,35	-483,05			
		PX-R-S-2		-537,8	-462,7	-12,4	4	-5,9	-9,8	-6,025	-543,825	-468,725	-506,275	-494,6625	-0,494663	
7	23/10/2009	PX-R-S-1	102	-479,8	-529,3	24,3	28,3	22,3	5,9	20,2	-459,6	-509,1	-484,35			
		PX-R-S-2		-537,9	-487,3	-13,5	8,9	6,5	1,6	0,875	-537,025	-486,425	-511,725	-498,0375	-0,498038	
8	08/11/2009	PX-R-S-1	116	-506,7	-556	2,8	5,2	12,2	-24,4	-1,05	-507,75	-557,05	-532,4			
		PX-R-S-2		-548	-503,6	-12,4	4	-5,9	-9,8	-6,025	-554,025	-509,625	-531,825	-532,1125	-0,532113	
9	20/11/2009	PX-R-S-1	130	-471,1	-527,9	42,4	-25,8	21,6	39,1	19,325	-451,775	-508,575	-480,175			
		PX-R-S-2		-596,8	-537,3	-1,9	-28,3	-35,4	-7,8	-18,35	-615,15	-565,65	-585,4	-532,7875	-0,532788	
10	04/12/2009	PX-R-S-1	144	-582,6	-557,4	-0,8	-4,2	-3,4	-16,2	-6,15	-588,75	-563,55	-576,15			
		PX-R-S-2		-583,6	-546,5	-10,6	10,9	0,6	-2,4	-0,375	-583,975	-546,875	-565,425	-570,7875	-0,570788	



TABLA 8

## HORMIGONES PUZOLANICOS CON INHIBIDOR SOMETIDAS A AGUA SALADA

MEDICIÓN No.	FECHA	CÓDIGO PROBETA	días	POTENCIAL DE CORROSIÓN $E_{CORR}$ (mV)		POTENCIAL $E_R$ vs CSC (mV)				CORREGIDO $E_{CORR}$ vs CSC (CON ER vs CSC)	CORREGIDO $E_{CORR}$ vs CSC (CON ER vs CSC)	PROMEDIO $E_{CORR}$ vs CSC (POR PROBETA)	PROMEDIO $E_{CORR}$ vs CSC (FINAL)	PROMEDIO $E_{CORR}$ vs CSC (FINAL)	
				AX	AY	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4						PROMEDIO
1	31/07/2009	PLR-S-1	18	-227,10	-102,40	-0,9	-0,9	-1,1	-0,9	-0,95	-228,05	-103,35	-165,7		
		PLR-S-2		-374,00	-372,40	-0,9	-0,9	-1,2	-0,9	-0,95	-374,975	-373,375	-374,175	-269,9375	
2	14/08/2009	PLR-S-1	32	-457,4	-456	-18,6	-19,5	-18,1	-28	-21,05	-478,45	-477,05	-477,75		
		PLR-S-2		-459,9	-454,7	-27,7	-38,4	-27,5	-43	-34,15	-494,05	-488,85	-491,45	-484,6	-0,4846
3	28/08/2009	PLR-S-1	46	-440,7	-422,4	-58,2	-69,2	-76	-78,4	-70,45	-511,15	-492,85	-502		
		PLR-S-2		-512,8	-572,4	-21,5	-40,8	-36,6	-72,4	-42,825	-555,625	-615,225	-585,425	-543,7125	-0,5437125
4	11/09/2009	PLR-S-1	60	-631,5	-473,3	-14,7	-24,1	-29,5	-47,6	-28,975	-680,475	-502,275	-581,375		
		PLR-S-2		-537,7	-468,9	-74,8	-73,9	-81,5	-98,6	-82,2	-619,9	-549,1	-584,5	-582,9375	-0,5829375
5	25/09/2009	PLR-S-1	74	-350,2	-491,1	0,2	0,4	-0,3	-28,3	-6,5	-388,7	-499,6	-429,15		
		PLR-S-2		-526,3	-496,9	-8,9	-15,5	-8,6	-22,4	-13,85	-540,15	-510,75	-525,45	-477,3	-0,4773
6	08/10/2009	PLR-S-1	87	-557,2	-482,8	-4,8	-3,4	-19,4	-39,5	-16,775	-573,975	-499,575	-536,775		
		PLR-S-2		-515,2	-464,1	-2,2	-1,2	0	-29,7	-8,775	-523,475	-472,375	-497,925	-517,35	-0,51735
7	23/10/2009	PLR-S-1	102	-455,7	-534,3	-3,5	16,3	29,7	8,7	12,8	-442,9	-521,5	-482,2		
		PLR-S-2		-510,3	-471,3	-13,5	8,1	-1,03	-28,3	-8,1825	-518,4825	-479,4825	-498,9825	-490,59125	-0,4905913
8	06/11/2009	PLR-S-1	116	-569,1	-647,3	-47,3	47,4	31,7	1,3	8,775	-560,825	-639,025	-599,925		
		PLR-S-2		-579,3	-491,2	2,8	-21,3	-3,5	9,6	-3,1	-582,4	-494,3	-538,35	-589,1375	-0,5891375
9	20/11/2009	PLR-S-1	130	-453,9	-621,3	-39,6	5	11,7	-3,3	-6,55	-460,45	-627,85	-544,15		
		PLR-S-2		-479,4	-503,9	-8,7	-1,7	-4,7	-47,1	-15,55	-494,95	-519,45	-507,2	-525,675	-0,525675
10	04/12/2009	PLR-S-1	144	-502,7	-528,7	-4,8	-3,4	-19,4	-39,5	-16,775	-519,475	-545,475	-532,475		
		PLR-S-2		-503,9	-506,1	-2,2	-1,2	0	-29,7	-8,775	-512,175	-514,375	-513,275	-522,875	-0,522875

TABLA 9

## HORMIGONES PUZOLANICOS SIN INHIBIDOR SOMETIDAS AL AMBIENTE NATURAL

MEDICIÓN No.	FECHA	CÓDIGO PROBETA	días	POTENCIAL DE CORROSIÓN $E_{CORR}$ (mV)		POTENCIAL ERI vs CSC (mV)					AX		AY		RESUMEN	
				AX	AY	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4	PROMEDIO	CORREGIDO ERI vs CSC (CON ERI vs ERI vs)	CORREGIDO ERI vs CSC (CON ERI vs ERI vs)	PROMEDIO ERI vs CSC (POR PROBETA)	PROMEDIO ERI vs CSC (FINAL)	PROMEDIO ERI vs CSC (FINAL)	
																PROMEDIO
1	31/07/2009	PX-R-11-1	18	-33,90	-33,00	-76,20	-74,50	-77,50	-76,10	-76,075	-109,975	-109,075	-109,525			
		PX-R-11-2		-45,70	-44,40	-73,50	-72,60	-72,50	-76,80	-73,85	-118,25	-118,9	-118,9	-114,2125		
2	14/08/2009	PX-R-11-1	32	-42,5	-42,3	-63,7	-60	-64,7	-60,3	-62,175	-104,675	-104,475	-104,575			
		PX-R-11-2		-33,2	-31,5	-58	-68,1	-62,2	-70,6	-64,725	-97,925	-96,225	-97,075	-100,825		
3	28/08/2009	PX-R-11-1	46	-37,8	-35,2	-71,5	-73,5	-70,4	-69,4	-71,2	-109	-106,4	-107,7			
		PX-R-11-2		-33,6	-29	-58,4	-58,5	-65,8	-70,5	-63,3	-96,9	-92,3	-94,6	-101,15		
4	11/09/2009	PX-R-11-1	60	-32,7	-30,4	-79,5	-77,4	-76,7	-74,5	-77,025	-109,725	-107,425	-108,575			
		PX-R-11-2		-30,2	-25,5	-59,1	-60,5	-75,8	-76,9	-68,075	-98,275	-93,575	-95,925	-102,25		
5	25/09/2009	PX-R-11-1	74	-29,4	-29,8	-65,7	-70,5	-69,1	-72,6	-69,475	-98,875	-99,275	-99,075			
		PX-R-11-2		-26,8	-24,3	-60,4	-53,7	-66,8	-69,7	-62,65	-89,45	-86,95	-88,2	-93,6375		
6	08/10/2009	PX-R-11-1	87	-35,6	-28,8	-69,7	-58,6	-96,3	-80,7	-76,325	-111,925	-105,125	-108,525			
		PX-R-11-2		-25,7	-22,2	-64,2	-57,3	-84,5	-76	-70,5	-96,2	-92,7	-94,45	-101,4875		
7	23/10/2009	PX-R-11-1	102	-39,1	-40	-3,5	-20,5	-15,1	-33,2	-18,075	-57,175	-58,075	-57,625			
		PX-R-11-2		-33	-32,7	-1,05	-2,1	-27,12	-13,5	-10,9425	-43,9425	-43,6425	-43,7925	-50,70875		
8	06/11/2009	PX-R-11-1	116	-35,7	-32,7	-53,2	-44,1	-61,3	-62,9	-55,375	-91,075	-88,075	-89,575			
		PX-R-11-2		-29,7	-27,2	-41,3	-11,3	-33,5	-36,4	-30,625	-60,325	-57,825	-59,075	-74,325		
9	20/11/2009	PX-R-11-1	130	-31,1	-30	-7,8	-13,2	3,74	-11,5	-7,19	-38,29	-37,19	-37,74			
		PX-R-11-2		-31,6	-28,8	-5,03	-13,2	-22,6	-11,5	-13,0825	-44,6825	-41,8825	-43,2825	-40,51125		
10	04/12/2009	PX-R-11-1	144	-113,4	-35,7	-7,8	-13,2	3,74	-11,5	-7,19	-120,59	-42,89	-81,74			
		PX-R-11-2		-35,7	-39,2	-5,03	-13,2	-22,6	-11,5	-13,0825	-48,7825	-52,2825	-50,5325	-66,13625		

TABLA 10

## HORMIGONES PUZOLANICOS CON INHIBIDOR SOMETIDAS AL AMBIENTE NATURAL

MEDICIÓN No.	FECHA	CÓDIGO PROBETA	días	POTENCIAL DE CORROSIÓN $E_{CORR}$ (mV)		POTENCIAL ERI vs CSC (mV)				AX		AY		RESUMEN	
				AX	AY	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4	PROMEDIO	CORREGIDO Ecorr vs CSC (CON ERI vs CSC)	CORREGIDO Ecorr vs CSC (CON ERI vs CSC)	PROMEDIO Ecorr CSC (POR PROBETA)	PROMEDIO Ecorr CSC (FINAL)	PROMEDIO Ecorr CSC (FINAL)
1	31/07/2009	PR-N-1	18	-43,00	-41,10	-81,90	-89,80	-71,10	-83,60	-76,6	-119,6	-117,7	-118,65		
		PR-N-2		-34,90	-35,10	-60,00	-73,8	-56,5	-52,70	-60,75	-95,85	-95,85	-95,75	-107,2	-0,1072
2	14/08/2009	PR-N-1	32	-31,700	-31,700	-61,1	-51,3	-53,8	-67,6	-58,45	-90,15	-90,15	-90,15		
		PR-N-2		-42,000	-40,600	-48,2	-62	-55,3	-45,5	-52,75	-94,75	-93,35	-94,05	-92,1	-0,0921
3	28/08/2009	PR-N-1	46	-29,000	-29,800	-56,7	-44,8	-48	-69,1	-54,65	-83,65	-84,45	-84,05		
		PR-N-2		-40,100	-40,100	-39,1	-55,4	-48,2	-40,7	-45,85	-85,95	-85,95	-85,95	-85	-0,085
4	11/09/2009	PR-N-1	60	-25,8	-26,9	-53	-52,7	-58,7	-76,8	-60,3	-86,1	-87,2	-86,85		
		PR-N-2		-38,5	-34,5	-48,7	-66,5	-50,7	-44,2	-52,525	-91,025	-87,025	-87,025	-87,8375	-0,0878375
5	25/09/2009	PR-N-1	74	-23,6	-24,8	-49,8	-52	-51,4	-72,8	-56,5	-80,1	-81,3	-80,7		
		PR-N-2		-33,3	-32,1	-42,1	-57,4	-47,4	-28,5	-43,85	-77,15	-75,95	-76,55	-78,625	-0,078625
6	08/10/2009	PR-N-1	87	-22,1	-24,7	-50,9	-39	-68	-75,2	-68,275	-80,375	-82,975	-81,675		
		PR-N-2		-31,5	-28,7	-47,2	-61,7	-76,6	-27,4	-53,225	-84,725	-81,925	-83,325	-82,5	-0,0825
7	23/10/2009	PR-N-1	102	-28,3	-27,5	-11,5	29,7	-8,5	-18	-2,075	-30,375	-29,575	-29,975		
		PR-N-2		-34,6	-40,4	-14,6	-3,5	-3,7	-12,5	-8,575	-43,175	-48,975	-46,075	-38,025	-0,038025
8	06/11/2009	PR-N-1	116	-26,4	-26,5	-29,3	-1,3	-12,5	-25,3	-17,1	-43,5	-43,6	-43,55		
		PR-N-2		-38,6	-31	-17,8	-42,3	-27,5	22,5	-16,275	-54,875	-47,275	-51,075	-47,3125	-0,0473125
9	20/11/2009	PR-N-1	130	-23,5	-24,6	-13,2	3,1	-15,73	-1,06	-6,7225	-30,2225	-31,3225	-30,7725		
		PR-N-2		-24,4	-28	2,03	-11,2	-23,2	-1,5	-8,4675	-32,8675	-36,4675	-34,6875	-32,72	-0,03272
10	04/12/2009	PR-N-1	144	-28,7	-26,6	-13,2	3,1	-15,73	-1,06	-6,7225	-35,4225	-33,3225	-34,3725		
		PR-N-2		-45	-42,6	2,03	-11,2	-23,2	-1,5	-8,4675	-53,4675	-51,0675	-52,2675	-43,32	-0,04332

## 2.5 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA POLARIZACION.

Las fórmulas que emplea el método de Rp (Resistencia de Polarización), son las siguientes:

$$R_t = R_p + R_{\Omega} \quad (\text{ec. 7})$$

Siendo  $R_t$ , la resistencia total en la probeta;  $R_p$  la resistencia de polarización y  $R_{\Omega}$  la resistencia debida al electrolito, que se lee con el equipo Nilson 400.

$$R_t = \frac{\Delta E}{\Delta I} = \frac{(E - E_{corr})}{\Delta I} \quad (\text{ec. 8})$$

El valor de E es el que se lee a los 60 segundos de inyectada la corriente.  $E_{corr}$  corresponde al potencial de corrosión leído con el multímetro, y el  $\Delta I$  es la corriente aplicada.

$$R_p = \frac{B}{I_{corr}} \quad (\text{ec. 9})$$

El valor de B aplicado, depende de la actividad del acero:

TABLA 11

E <sub>corr</sub>	Estado del acero	Valor de B
> -0.200 VCSC	Pasivo	0.052 V
<-0.350 VCSC	Activo	0.026 V

Estas fórmulas se combinan y se despeja la I<sub>corr</sub>, de la siguiente forma:

$$I_{corr} = \frac{B}{\left(\frac{E-E_{corr}}{\Delta I}\right) - R_{\Omega}} \quad (\text{ec. 10})$$

El valor de I<sub>corr</sub>, está dado en Amperios. Luego para obtener la densidad de corriente i<sub>corr</sub>, se debe dividir para el área expuesta del electrodo de trabajo, que en cada caso es de 20 cm<sup>2</sup>.

Para esto se tomara como ejemplo las probetas sin inhibidor expuesta a cámara de carbonatación de medición No 4 a los 70 días de exposición con código PX-R-C1 y PX-R-C2.

Cuyos datos son los siguientes:

TABLA 12

MEDICIÓN No.	FECHA	CÓDIGO PROBETA	días	POTENCIAL DE CORROSIÓN $E_{CORR}$ (mV) ELECTRODO DE TRABAJO vs ERI		POTENCIAL ERI vs CSC (mV)			
				AX	AY	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4
4	25/09/2009	PX-R-C-1	70	-69	-64,7	27,3	28,4	24,2	23,4
		PX-R-C-2		-82,8	-95,2	40,2	47,3	40	70

Sacamos un promedio de Potencial ERI vs CSC (mV) para cada probeta:

$$(CARA1 + CARA2 + CARA3 + CARA4)/4 = \text{Potencial promedio}$$

$$\text{PX-R-C1prom} = 25,825 \text{ mV}$$

$$\text{PX-R-C2prom} = 49,375 \text{ mV}$$

Con esto obtenemos un valor corregido de AX y AY para cada probeta:

$$\text{PX-R-C1: AX} = -69 + 25,825 = -43,175 \text{ mV}$$

$$\text{AY} = -64,7 + 25,825 = -38,875 \text{ mV}$$

$$\text{PX-R-C2: AX} = -82,8 + 49,375 = -33,425 \text{ mV}$$

$$\text{AY} = -95,2 + 49,375 = -45,825 \text{ mV}$$

Ahora sacamos un promedio de los potenciales obtenidos de los electrodos de trabajo por cada probeta:

$$\text{PX-R-C1:} (AX+AY)/2 = -41,025\text{mV}$$

$$\text{PX-R-C2:} (AX+AY)/2 = -39,625\text{mV}$$

Obteniendo un valor promedio entre las dos probetas:

$$(\text{PX-R-C1} + \text{PX-R-C2})/2 = -40,325 \text{ mV}$$

Este valor comparado con las tabla ¿? Nos indica que la probeta se encuentra en estado pasivo donde se determina que el valor de  $B = 0,052 \text{ V}$ .

Luego con el potenciogalvanostato obtenemos un potencial a los 60seg para cada probeta:

$$\text{PX-R-C1: } AX=320\text{mV}; AY=468\text{mV}$$

$$\text{PX-R-C2: } AX=597\text{mV}; AY=389\text{mV}$$

Luego sacamos un valor corregido del potencial a los 60seg, entre el potencial del electrodo de trabajo a los 60seg y el potencial promedio de las caras de cada probeta calculada anteriormente:

$$\text{PX-R-C1: } AX=25,825\text{mV} + 320\text{mV} = 345,825\text{mV}$$

$$AY=25,825\text{mV} + 468\text{mV} = 493,825\text{mV}$$

$$\text{PX-R-C2: } AX= 49,375\text{mV} +597\text{mV} = 646,375\text{mV}$$

$$AY=49,375\text{mV} + 389\text{mV} = 438,375\text{mV}$$

Posteriormente luego de calcular los potenciales con los valores obtenidos del potenciostato y del multímetro, utilizando el NILSON 400 para medir resistencias en cada electrodo de trabajo para cada probeta:

$$\text{PX-R-C1: } AX = 1700 \Omega; AY = 2200\Omega$$

$$\text{PX-R-C2: } AX = 3300 \Omega; AY = 3000\Omega$$

Con esto obtenemos una resistencia promedio para cada probeta:

$$\text{PX-R-C1} = (1700 + 2200)/2 = 1950\Omega$$

$$\text{PX-R-C2} = (3300 + 3000)/2 = 3150\Omega$$

Y finalmente obtenemos una resistencia promedio entre las 2 probetas para este medio sin inhibidor:



$$\text{RESISTENCIA FINAL} = (1950 + 3150)/2 = 2550 \Omega$$

Ahora procedemos a calcular el icorr para AX y el icorr para el AY de cada probeta:

$$I_{corr} = \frac{B}{\left(\frac{E - E_{corr}}{\Delta I}\right) - R\Omega}$$

PARA LA PROBETA PX-R-C1 - AX

$$B = 0,052 \text{ V}$$

$$E_{corr} = 345,825 - (-43,175) = 389 \text{ mV} = 0,389 \text{ V}$$

Donde el valor de E es el potencial corregido del valor obtenido a los 60seg en el potenciostato y el Ecorr es el potencial corregido del valor obtenido en el multímetro.

$\Delta I$  es la corriente aplicada.

$$(E - E_{corr})/\Delta I = 19.450,00 \Omega$$

$$((E - E_{corr})/\Delta I) - R = 19.450,00 - 1950 = 17500 \Omega$$

Donde finalmente

$$I_{\text{corr}} = B/17500 = 0,052 / 17500 = 2,9714\text{E-}06$$

Obtenemos el  $i_{\text{corr}}$ :

$$i_{\text{corr}} = 2,971 \text{ uA} / 20 \text{ cm}^2$$

$$i_{\text{corr}} = 0,148571 \text{ uA/cm}^2$$

Densidad de corriente para el electrodo de referencia AX de la probeta PX-R-C1.

De este modo se calcularon todos los resultados para cada electrodo de trabajo de cada probeta mostrados en las siguientes tablas:

**TABLAS DE CALCULOS DE RESULTADOS DE HORMIGONES  
CON Y SIN INHIBIDOR EXPUESTOS EN DIFERENTES MEDIOS**

TABLA 13

A.1 HORMIGONES PUZOLANICOS SIN INHIBIDOR SOMETIDAS A CÁMARA DE CARBONATACIÓN

MEDICIÓN No.	FECHA	CÓDIGO PROBETA	AX		AY	POTENCIAL 60 seg. E (mV)				MEDICIÓN DE RESISTENCIA			RESUMEN	
			VALOR DE B	VALOR DE B		AX	AY	CORREGID O CSC AX	CORREGID O CSC AY	AX	AY	R PROMEDIO	RESISTENC IA FINAL	RESISTIVID AD
1	14/08/2009	PX-R-C-1	0,052	0,052	0,052	97	145	158,1	206,1	1300	1500	1400	1875	13011,1875
			0,052	0,052		143	60	198,55	115,55	2400	2300	2350		
2	28/08/2009	PX-R-C-1	0,052	0,052	0,052	318	361	349,725	392,725	1600	2000	1800	2400	16654,32
			0,052	0,052		483	375	545,7	437,7	3200	2800	3000		
3	11/09/2009	PX-R-C-1	0,052	0,052	0,052	306	355	328,2	377,2	1700	2000	1850	2475	17174,7675
			0,052	0,052		477	374	518,325	415,325	3200	3000	3100		
4	25/09/2009	PX-R-C-1	0,052	0,052	0,052	320	488	345,825	493,825	1700	2200	1950	2550	17695,215
			0,052	0,052		597	389	646,375	438,375	3300	3000	3150		
5	08/10/2009	PX-R-C-1	0,052	0,052	0,052	307	363	333,65	389,65	1800	2300	2050	2700	18736,11
			0,052	0,052		514	415	553,275	454,275	3500	3200	3350		
6	23/10/2009	PX-R-C-1	0,052	0,052	0,052	399	644	447,2	692,2	2200	2800	2500	3300	22899,69
			0,052	0,052		630	517	676,5	563,5	4300	3900	4100		
7	06/11/2009	PX-R-C-1	0,052	0,052	0,052	369	425	403,1	459,1	2200	2600	2400	3175	22032,2775
			0,052	0,052		558	569	604,8	615,8	4200	3700	3950		
8	20/11/2009	PX-R-C-1	0,052	0,052	0,052	375	259	477,35	301,35	2100	2500	2300	3075	21338,3475
			0,052	0,052		422	373	474,3	425,3	4000	3700	3850		
9	04/12/2009	PX-R-C-1	0,052	0,052	0,052	382	422	408,65	448,65	2500	3100	2800	3775	26195,8675
			0,052	0,052		625	500	664,275	539,275	5100	4400	4750		
10	05/01/2010	PX-R-C-1	0,052	0,052	0,052	439	368	538,875	467,875	2800	3400	3100	4075	28277,6475
			0,052	0,052		718	371	837,3	490,3	5300	4800	5050		

TABLA 14

## A.2 HORMIGONES PUZOLANICOS SIN INHIBIDOR SOMETIDAS A CÁMARA DE CARBONATACIÓN

MEDICIÓN No.	FECHA	CÓDIGO PROBETA	CALCULO DE icorr PARA AX						CALCULO DE icorr PARA AY						RESUMEN	
			E - Ecorr (V)	$\frac{(E - E_{corr})}{\Delta}$ (Ohms)	$\frac{(E - E_{corr})}{\Delta} \cdot R_B$ ((E - E <sub>corr</sub> )/Δ)·R <sub>B</sub> (Ohms)	A	$\frac{(E - E_{corr})}{\Delta} \cdot R$ (uA/cm <sup>2</sup> )	i corr (uA/cm <sup>2</sup> )	E - Ecorr (V)	$\frac{(E - E_{corr})}{\Delta}$ (Ohms)	$\frac{(E - E_{corr})}{\Delta} \cdot R_B$ ((E - E <sub>corr</sub> )/Δ)·R <sub>B</sub> (Ohms)	A	$\frac{(E - E_{corr})}{\Delta} \cdot R$ (uA/cm <sup>2</sup> )	i corr (uA/cm <sup>2</sup> )	i corr PROMEDIO	i corr (FINAL)
1	14/08/2009	PX-R-C-1	0.2262	11.310.00	9910	5.24723E-06	0.2623613	0.2575	12.875.00	11.475.00	4.53E-06	0.2265795	0.2447704	0.2786038	0.2786038	3.23
			0.2842	14.210.00	11860	4.38449E-06	0.2192243	0.175	8.750.00	6.400.00	8.13E-06	0.40625	0.3127371			
2	28/08/2009	PX-R-C-1	0.3955	39.550.00	37750	1.37748E-06	0.0688742	0.4308	43.080.00	41.280.00	1.28E-06	0.0629845	0.0659293	0.06590761	0.06590761	0.69
			0.5652	56.520.00	53520	9.71599E-07	0.04658	0.4954	49.540.00	46.540.00	1.12E-06	0.0558659	0.0522229			
3	11/09/2009	PX-R-C-1	0.3776	18.880.00	17030	3.05344E-06	0.1528718	0.421	21.050.00	19.200.00	2.71E-06	0.1354167	0.1440442	0.1302018	0.1302018	1.51
			0.5576	27.880.00	24780	2.09847E-06	0.1049233	0.4689	23.445.00	20.345.00	2.58E-06	0.1277955	0.1163594			
4	25/09/2009	PX-R-C-1	0.389	19.450.00	17500	2.97149E-06	0.1485714	0.5327	26.635.00	24.685.00	2.11E-06	0.1053271	0.1269493	0.1154154	0.1154154	1.34
			0.6798	33.990.00	30840	1.68612E-06	0.0843061	0.4842	24.210.00	21.060.00	2.47E-06	0.1234568	0.1038814			
5	08/10/2009	PX-R-C-1	0.377	18.850.00	16800	3.09524E-06	0.1547619	0.428	21.400.00	19.350.00	2.69E-06	0.1343669	0.1445644	0.263072	0.263072	1.47
			0.5956	29.780.00	26430	1.96746E-06	0.0983731	0.5087	25.435.00	22.085.00	2.35E-06	0.117727	0.10805			
6	23/10/2009	PX-R-C-1	0.4691	23.455.00	20955	2.48151E-06	0.1240754	0.7097	35.485.00	32.985.00	1.58E-06	0.0788237	0.1014496	0.0956745	0.0956745	1.11
			0.7153	35.765.00	31665	1.64219E-06	0.0821096	0.6143	30.715.00	26.615.00	1.95E-06	0.0976993	0.0898994			
7	06/11/2009	PX-R-C-1	0.4314	2.16E+04	19170	2.71257E-06	0.1356266	0.4818	2.41E+04	21.690.00	2.40E-06	0.1198709	0.1277497	0.1103606	0.1103606	1.28
			0.627	3.14E+04	27400	1.89781E-06	0.0948905	0.6501	3.25E+04	2.86E+04	1.82E-06	0.0910524	0.0929714			
8	20/11/2009	PX-R-C-1	0.4391	2.20E+04	19655	2.64564E-06	0.1322819	0.3198	1.60E+04	1.37E+04	3.80E-06	0.1899196	0.1611008	0.1457039	0.1457039	1.69
			0.5001	2.50E+04	21155	2.45805E-06	0.1229024	0.4546	2.27E+04	1.89E+04	2.75E-06	0.1377119	0.1303071			
9	04/12/2009	PX-R-C-1	0.4824	2.41E+04	21320	2.43902E-06	0.1219512	0.5168	2.58E+04	2.30E+04	2.28E-06	0.1128472	0.1173992	0.1050106	0.1050106	1.22
			0.7224	3.61E+04	31370	1.65763E-06	0.0828817	0.603	3.02E+04	2.54E+04	2.05E-06	0.1023622	0.092822			
10	05/01/2010	PX-R-C-1	0.5416	2.71E+04	23980	2.16847E-06	0.1084237	0.4675	2.34E+04	2.03E+04	2.58E-06	0.1282367	0.1183302	0.1105239	0.1105239	1.28
			0.8307	4.15E+04	36465	1.42524E-06	0.0712622	0.4885	2.44E+04	1.94E+04	2.68E-06	0.1341935	0.1027279			

TABLA 15

## B.1 HORMIGONES PUZOLANICOS CON INHIBIDOR SOMETIDAS A CÁMARA DE CARBONATACIÓN

MEDICIÓN No.	FECHA	CÓDIGO PROBETA	AX		AY		POTENCIAL 60 seg: E (mV)			MEDICIÓN DE RESISTENCIA			RESUMEN	
			VALOR DE B	VALOR DE B	AX	AY	CORREGID O CSC AX	AY	CORREGID O CSC AY	AX	AY	R PROMEDIO	RESISTENCIA FINAL	RESISTENCIA AD
1	14/08/2009	PIR-C-1	0,052	0,052	77	93	114,975	130,975	1200	1900	1550	1500	10408,95	
			0,052	0,052	37	65	85,475	113,475	1400	1500	1450			
2	28/08/2009	PIR-C-1	0,052	0,052	309	431	330,9	452,9	1500	2500	2000	2400	16664,32	
			0,052	0,052	276	332	289,9	345,9	3700	1900	2800			
3	11/09/2009	PIR-C-1	0,052	0,052	309	449	311,425	451,425	1500	2500	2000	2000	13878,6	
			0,052	0,052	273	335	276,4	338,4	1800	2200	2000			
4	25/09/2009	PIR-C-1	0,052	0,052	321	468	323,6	470,6	1600	2700	2150	2075	14399,0475	
			0,052	0,052	270	501	270,375	501,375	2000	2000	2000			
5	08/10/2009	PIR-C-1	0,052	0,052	346	405	346,525	405,525	1700	1700	1700	1900	13184,67	
			0,052	0,052	318	461	326,9	469,9	2100	2100	2100			
6	23/10/2009	PIR-C-1	0,052	0,052	500	566	523,85	589,85	2000	3500	2750	2650	18389,145	
			0,052	0,052	487	372	516,25	401,25	2300	2800	2550			
7	06/11/2009	PIR-C-1	0,052	0,052	356	504	370,55	518,55	2200	3200	2700	2600	18042,18	
			0,052	0,052	340	392	356,575	408,575	2300	2700	2500			
8	20/11/2009	PIR-C-1	0,052	0,052	512	607	544,5375	639,5375	1900	3200	2550	2450	17001,285	
			0,052	0,052	164	289	217,7325	342,7325	2300	2400	2350			
9	04/12/2009	PIR-C-1	0,052	0,052	376	589	405,25	618,25	2900	3900	3400	3100	21511,83	
			0,052	0,052	385	394	399,55	408,55	2800	2800	2800			
10	05/01/2010	PIR-C-1	0,052	0,052	431	696	521,425	786,425	2500	4200	3350	3175	22032,2775	
			0,052	0,052	343	447	431,975	535,975	3000	3000	3000			

TABLA 16

## B.2 HORMIGONES PUZOLANICOS CON INHIBIDOR SOMETIDAS A CÁMARA DE CARBONATACIÓN

MEDICIÓN No.	FECHA	CÓDIGO PROBETA	CALCULO DE icorr PARA AX						CALCULO DE icorr PARA AY						RESUMEN	
			E - Ecorr (V)	(E - Ecorr)/Δ (Ohms)	(E - Ecorr)/ΔP (Ohms)	(E - Ecorr)/ΔP-B (Ohms)	A	i corr uA/cm2	E - Ecorr (V)	(E - Ecorr)/Δ (Ohms)	(E - Ecorr)/ΔP (Ohms)	(E - Ecorr)/ΔP-B (Ohms)	A	i corr uA/cm2	i corr PROMEDIO	i corr (FINAL)
1	14/08/2009	P-R-C-1	0,1976	9,880,00	8330	6,2425E-06	0,3121248	0,2317	11,585,00	10,035,00	5,18E-06	0,2590932	0,266809	0,2995742	3,48	
			0,1814	9,070,00	7620	6,82415E-06	0,342073	0,2109	10,545,00	9,095,00	5,72E-06	0,2858714	0,3135394			
2	28/08/2009	P-R-C-1	0,3923	39,230,00	37230	1,39672E-06	0,0688362	0,5163	51,630,00	49,630,00	1,05E-06	0,0523877	0,0611119	0,0656225	0,76	
			0,3708	37,080,00	34280	1,51692E-06	0,075846	0,4316	43,160,00	40,360,00	1,29E-06	0,0644202	0,0701331			
3	11/09/2009	P-R-C-1	0,3791	18,955,00	16955	3,06694E-06	0,1533471	0,5162	25,810,00	23,810,00	2,18E-06	0,1091978	0,1312725	0,1413105	1,64	
			0,3538	17,690,00	15690	3,31421E-06	0,1657106	0,4196	20,980,00	18,980,00	2,74E-06	0,1369853	0,1513485			
4	25/09/2009	P-R-C-1	0,3867	19,335,00	17185	3,02589E-06	0,1512947	0,5349	26,745,00	24,595,00	2,11E-06	0,1057125	0,1285036	0,1309112	1,52	
			0,3441	17,205,00	15205	3,41993E-06	0,1709984	0,5837	29,185,00	27,185,00	1,91E-06	0,095641	0,1333187			
5	08/10/2009	P-R-C-1	0,4119	20,595,00	18895	2,75205E-06	0,1376025	0,4696	23,480,00	21,780,00	2,39E-06	0,1193756	0,1284891	0,127213	1,48	
			0,3938	19,690,00	17590	2,96223E-06	0,1478113	0,5417	27,085,00	24,985,00	2,08E-06	0,104624	0,1259368			
6	23/10/2009	P-R-C-1	0,5751	28,755,00	26005	1,99672E-06	0,0998808	0,6475	32,375,00	29,625,00	1,76E-06	0,0877637	0,0938722	0,1034771	1,20	
			0,5727	28,635,00	26085	1,99348E-06	0,0996741	0,4621	23,105,00	20,555,00	2,53E-06	0,1264899	0,113082			
7	06/11/2009	P-R-C-1	0,4131	2,07E+04	17955	2,89613E-06	0,1448065	0,5628	2,81E+04	2,54E+04	2,04E-06	0,1022013	0,1235039	0,1302483	1,51	
			0,4027	2,01E+04	17635	2,94888E-06	0,1474341	0,4609	2,30E+04	2,05E+04	2,53E-06	0,1265515	0,1389828			
8	20/11/2009	P-R-C-1	0,5738	2,87E+04	26140	1,98929E-06	0,0994644	0,6673	3,34E+04	3,08E+04	1,69E-06	0,0943745	0,0919195	0,1586271	1,82	
			0,2338	1,17E+04	9340	5,56745E-06	0,2783726	0,3635	1,82E+04	1,58E+04	3,29E-06	0,164297	0,2213346			
9	04/12/2009	P-R-C-1	0,4465	2,23E+04	18925	2,74769E-06	0,1373844	0,663	3,32E+04	2,98E+04	1,75E-06	0,087395	0,1123897	0,1163916	1,35	
			0,4792	2,40E+04	21160	2,45747E-06	0,1228733	0,497	2,49E+04	2,21E+04	2,66E-06	0,1179138	0,1203936			
10	05/01/2010	P-R-C-1	0,5162	2,58E+04	22460	2,31623E-06	0,1157614	0,7807	3,90E+04	3,57E+04	1,46E-06	0,0728597	0,0943105	0,0996481	1,14	
			0,4673	2,34E+04	20365	2,5534E-06	0,12767	0,7241	3,62E+04	3,32E+04	1,57E-06	0,0783015	0,1029857			

TABLA 17

## C.1 HORMIGONES PUZOLANICOS SIN INHIBIDOR SOMETIDAS A AGUA SALADA

MEDICIÓN No.	FECHA	CÓDIGO PROBETA	AX		AY		POTENCIAL 60 seg: E (mV)				MEDICIÓN DE RESISTENCIA		RESUMEN	
			VALOR DE B	VALOR DE B	AX	AY	CORREGID O CSC AX	AY	CORREGID O CSC AY	AX	AY	R PROMEDIO	RESISTENCIA FINAL	RESISTENCIA AD
1	31/07/2009	PX-R-S-1	0,052	0,052	141	-4	139,85	700	-5,15	740	720	637,5	4840,16175	
			0,052	0,052	71	113	70,425	710	112,425	640	675			
2	14/08/2009	PX-R-S-1	0,026	0,026	-284	-557	-284,225	640	-557,225	660	650	667,5	4631,98275	
			0,026	0,026	-443	-391	-450,025	710	-398,025	660	685			
3	28/08/2009	PX-R-S-1	0,026	0,026	-469	-504	-483,575	610	-518,575	640	625	652,5	4527,89325	
			0,026	0,026	-565	-445	-558,975	690	-438,975	670	680			
4	11/09/2009	PX-R-S-1	0,026	0,026	-358	-452	-364,15	760	-458,15	870	815	807,5	5603,48475	
			0,026	0,026	-508	-388	-508,375	840	-388,375	760	800			
5	25/09/2009	PX-R-S-1	0,026	0,026	-486	-455	-499,125	730	-468,125	810	770	762,5	5291,21625	
			0,026	0,026	-458	-378	-473,275	710	-393,275	800	755			
6	08/10/2009	PX-R-S-1	0,026	0,026	-390	-456	-391,05	750	-457,05	700	725	665	4614,6345	
			0,026	0,026	-408	-379	-414,025	630	-385,025	580	605			
7	23/10/2009	PX-R-S-1	0,026	0,026	-409	-419	-388,8	800	-398,8	840	820	800	5551,44	
			0,026	0,026	-444	-423	-443,125	870	-422,125	690	780			
8	06/11/2009	PX-R-S-1	0,026	0,026	-414	-469	-415,05	780	-470,05	800	790	797,5	5534,09175	
			0,026	0,026	-503	-412	-509,025	890	-418,025	720	805			
9	20/11/2009	PX-R-S-1	0,026	0,026	-237	-358	-217,675	800	-338,675	840	820	757,5	5256,51975	
			0,026	0,026	-532	-465	-550,35	640	-483,35	750	695			
10	04/12/2009	PX-R-S-1	0,026	0,026	-550	-480	-556,15	780	-486,15	910	845	827,5	5742,27075	
			0,026	0,026	-512	-483	-512,375	830	-483,375	790	810			



TABLA 18

## C.2 HORMIGONES PUZOLANICOS SIN INHIBIDOR SOMETIDAS A AGUA SALADA

MEDICION Ilo.	FECHA	CÓDIGO PROBETA	CALCULO DE icorr PARA AX						CALCULO DE icorr PARA AY						RESUMEN		
			E - Ecorr (V)	(E - Ecorr)/ΔI (Ohms)	(E - Ecorr)/ΔI-PB (Ohms)	A	uA/cm <sup>2</sup>	icorr μA/cm <sup>2</sup>	E - Ecorr (V)	(E - Ecorr)/ΔI (Ohms)	(E - Ecorr)/ΔI-PB (Ohms)	A	uA/cm <sup>2</sup>	icorr μA/cm <sup>2</sup>	icorr PROMEDIO	icorr (FINAL)	pérdida de espesor
1	31/07/2009	PX-R-S-1	0.3543	17.715,00	16995	3,05972E-06	0.1528662	0.2415	12.075,00	11.355,00	4.58E-06	0.228874	0.1909801				
			0.3167	15.835,00	15160	3,43008E-06	0.171504	0.3139	15.695,00	15.020,00	3.46E-06	0.1731025	0.1723032	0.1816417	2.11		
2	14/08/2009	PX-R-S-1	0.0547	5.470,00	4820	5,39419E-06	0.2697095	0.033	3.300,00	2.650,00	9.81E-06	0.490566	0.3801378				
			0.0227	2.270,00	1585	1,64038E-05	0.8201893	0.0396	3.960,00	3.275,00	7.94E-06	0.3969466	0.6085679	0.4943529	5.73		
3	28/08/2009	PX-R-S-1	0.0656	3.280,00	2655	9,19284E-06	0.4696422	0.0488	2.440,00	1.815,00	1.43E-05	0.7162534	0.6029478				
			0.0449	2.245,00	1585	1,66134E-05	0.8306709	0.0896	4.480,00	3.800,00	6.84E-06	0.3421053	0.5863881	0.594668	6.90		
4	11/09/2009	PX-R-S-1	0.1184	5.920,00	5105	5,09305E-06	0.2546523	0.0944	4.720,00	3.905,00	6.66E-06	0.3329065	0.2937794				
			0.0591	2.955,00	2155	1,2065E-05	0.6032463	0.1105	5.525,00	4.725,00	5.50E-06	0.2751323	0.4391903	0.3664848	4.25		
5	25/09/2009	PX-R-S-1	0.0681	3.405,00	2635	9,86717E-06	0.4933596	0.0484	2.420,00	1.650,00	1.58E-05	0.7878788	0.6406187				
			0.0708	3.540,00	2785	9,33573E-06	0.4667894	0.0605	3.025,00	2.270,00	1.15E-05	0.5726872	0.5197368	0.5801778	6.73		
6	08/10/2009	PX-R-S-1	0.0937	4.685,00	3960	6,56566E-06	0.3282828	0.0243	1.215,00	490,00	5.31E-05	2,6530612	1,490672				
			0.1298	6.490,00	5885	4,41801E-06	0.2209006	0.0837	4.185,00	3.580,00	7.26E-06	0.3631285	0.2920145	0.8913433	10.34		
7	23/10/2009	PX-R-S-1	0.0708	3.540,00	2720	9,55882E-06	0.4779412	0.1103	5.515,00	4.695,00	5.54E-06	0.2768903	0.3774157				
			0.0939	4.695,00	3915	6,64112E-06	0.3320562	0.0643	3.215,00	2.435,00	1.07E-05	0.5338809	0.4329685	0.4051921	4.70		
8	06/11/2009	PX-R-S-1	0.0927	4.635,00	3845	6,16203E-06	0.3381014	0.087	4.350,00	3.560,00	7.30E-06	0.3651685	0.351635				
			0.045	2.250,00	1445	1,79931E-05	0.899654	0.0916	4.580,00	3.775,00	6.89E-06	0.3443709	0.6220124	0.4686237	5.65		
9	20/11/2009	PX-R-S-1	0.2341	11.705,00	10885	2,38861E-06	0.1194304	0.1699	8.495,00	7.675,00	3.39E-06	0.1693811	0.1444058				
			0.0648	3.240,00	2545	1,02161E-05	0.5109055	0.0723	3.615,00	2.920,00	8.90E-06	0.4452055	0.4780055	0.3112056	3.61		
10	04/12/2009	PX-R-S-1	0.0326	1.630,00	785	3,3121E-05	1,656051	0.0774	3.870,00	3.025,00	8.60E-06	0.4297521	1,0429015				
			0.0716	3.580,00	2770	9,38828E-06	0.4693141	0.0635	3.175,00	2.365,00	1.10E-05	0.5498629	0.5094985	0.7762	9.00		



TABLA 19

## D.1 HORMIGONES PUZOLANICOS CON INHIBIDOR SOMETIDAS A AGUA SALADA

MEDICIÓN No.	FECHA	CÓDIGO PROBETA	AX		AY		POTENCIAL 60 seg: E (mV)				MEDICIÓN DE RESISTENCIA			RESUMEN	
			VALOR DE B	VALOR DE B	AX	AY	CORREGID O CSC AX	AY	CORREGID O CSC AY	AX	AY	R PROMEDIO	RESISTENCIA FINAL	RESISTENCIA AD	
1	31/07/2009	PIR-S-1	0,052	0,052	73	292	72,05	291,05	680	770	725	692,5	4805,46525		
		PIR-S-2	0,026	0,026	-208	-261	-208,975	-261,975	770	550	660				
2	14/08/2009	PIR-S-1	0,026	0,026	-433	58	-454,05	36,95	790	810	800	755	5239,1715		
		PIR-S-2	0,026	0,026	-409	-290	-443,15	-324,15	840	580	710				
3	28/08/2009	PIR-S-1	0,026	0,026	-288	-263	-358,45	-333,45	700	710	705	650	4510,545		
		PIR-S-2	0,026	0,026	-387	-494	-429,825	-536,825	670	520	595				
4	11/09/2009	PIR-S-1	0,026	0,026	-541	-332	-569,975	-360,975	810	940	875	840	5829,012		
		PIR-S-2	0,026	0,026	-383	-307	-465,2	-389,2	750	860	805				
5	25/09/2009	PIR-S-1	0,026	0,026	-199	-374	-207,5	-382,5	1400	1800	1600	1195	8292,4635		
		PIR-S-2	0,026	0,026	-429	-412	-442,85	-425,85	880	700	790				
6	08/10/2009	PIR-S-1	0,026	0,026	-402	-277	-418,775	-293,775	800	900	850	742,5	5152,43025		
		PIR-S-2	0,026	0,026	-218	-278	-226,275	-286,275	740	530	635				
7	23/10/2009	PIR-S-1	0,026	0,026	-357	-213	-344,2	-200,2	810	830	820	757,5	5256,51975		
		PIR-S-2	0,026	0,026	-416	-389	-424,1825	-397,1825	770	620	695				
8	06/11/2009	PIR-S-1	0,026	0,026	-467	-567	-458,725	-558,725	890	940	915	872,5	6054,53925		
		PIR-S-2	0,026	0,026	-433	-385	-436,1	-388,1	890	770	830				
9	20/11/2009	PIR-S-1	0,026	0,026	-347	-532	-353,55	-538,55	680	740	710	717,5	4978,94775		
		PIR-S-2	0,026	0,026	-412	-405	-427,55	-420,55	800	650	725				
10	04/12/2009	PIR-S-1	0,026	0,026	-459	-436	-475,775	-452,775	810	870	840	770	5343,261		
		PIR-S-2	0,026	0,026	-404	-404	-412,275	-412,275	730	670	700				

TABLA 20

## D.2 HORMIGONES PUZOLANICOS CON INHIBIDOR SOMETIDAS A AGUA SALADA

MEDICIÓN No.	FECHA	CÓDIGO PROBETA	CALCULO DE icorr PARA AX						CALCULO DE icorr PARA AY						RESUMEN	
			E - Ecorr (V)	(E - Ecorr)/Δi (Ohms)	(E - Ecorr)/Δi.R B ((E - Ecorr)/Δi).R	A	i corr uA/cm2	E - Ecorr (V)	(E - Ecorr)/Δi (Ohms)	(E - Ecorr)/Δi.R B ((E - Ecorr)/Δi).R	A	i corr uA/cm2	PROMEDIO	i corr (FINAL)	perdida de espesor	
1	31/07/2009	PR-S-1	0,3001	15,005,00	14280	3,64146E-06	0,1820728	0,3944	19,720,00	18,995,00	2,74E-06	0,1368781	0,1594755	0,1884885	2,19	
			0,1680	8,300,00	7640	3,40314E-06	0,1701571	0,1114	5,570,00	4,910,00	5,30E-06	0,2847658	0,2174614			0,1884885
2	14/08/2009	PR-S-1	0,0244	2,440,00	1640	1,58537E-05	0,7926829	0,514	51,400,00	50,600,00	5,14E-07	0,0258917	0,4091873	0,2994164	3,47	
			0,0509	5,090,00	4380	5,93607E-06	0,2968037	0,1647	16,470,00	15,760,00	1,65E-06	0,0824873	0,1896455			0,2994164
3	28/08/2009	PR-S-1	0,1527	7,635,00	6930	3,7518E-06	0,1875902	0,1594	7,970,00	7,265,00	3,58E-06	0,1789401	0,1832652	0,2464445	2,86	
			0,1258	6,290,00	5895	4,56541E-06	0,2282704	0,0784	3,920,00	3,325,00	7,82E-06	0,3909774	0,3096239			0,2464445
4	11/09/2009	PR-S-1	0,0905	4,525,00	3650	7,12329E-06	0,3561644	0,1413	7,065,00	6,190,00	4,20E-06	0,2100162	0,2830903	0,2336444	2,71	
			0,1547	7,735,00	6930	3,7518E-06	0,1875902	0,1599	7,995,00	7,190,00	3,62E-06	0,1808067	0,1841894			0,2336444
5	25/09/2009	PR-S-1	0,1512	7,560,00	5960	4,36242E-06	0,2181208	0,1171	5,855,00	4,255,00	6,11E-06	0,3055229	0,2818219	0,3047321	3,53	
			0,0973	4,865,00	4075	6,38037E-06	0,3190184	0,0849	4,245,00	3,455,00	7,33E-06	0,3762663	0,3476423			0,3047321
6	08/10/2009	PR-S-1	0,1552	7,760,00	6910	3,76266E-06	0,1881331	0,2058	10,290,00	9,440,00	2,75E-06	0,1377119	0,1629225	0,1417939	1,64	
			0,2972	14,860,00	14225	1,82777E-06	0,0913884	0,1681	9,305,00	8,670,00	3,00E-06	0,1499423	0,1206654			0,1417939
7	23/10/2009	PR-S-1	0,0987	4,935,00	4115	6,31835E-06	0,3159174	0,3213	16,065,00	15,245,00	1,71E-06	0,0852739	0,2005956	0,2761728	3,20	
			0,0943	4,715,00	4020	6,46766E-06	0,3233831	0,0823	4,115,00	3,420,00	7,60E-06	0,3801117	0,35175			0,2761728
8	06/11/2009	PR-S-1	0,1021	5,105,00	4190	6,20525E-06	0,3102625	0,0803	4,015,00	3,100,00	8,39E-06	0,4193548	0,3648067	0,3050646	3,54	
			0,1463	7,32E+03	6485	4,00625E-06	0,2004626	0,1062	5,31E+03	4,48E+03	5,90E-06	0,2901786	0,2453206			0,3050646
9	20/11/2009	PR-S-1	0,1089	5,35E+03	4635	5,60949E-06	0,2804746	0,0893	4,47E+03	3,78E+03	6,92E-06	0,3462051	0,3133399	0,3565575	4,14	
			0,0674	3,37E+03	2645	9,82807E-06	0,4914834	0,0889	4,95E+03	4,22E+03	6,16E-06	0,3080569	0,3897751			0,3565575
10	04/12/2009	PR-S-1	0,0437	2,19E+03	1345	1,93309E-05	0,9685428	0,0927	4,64E+03	3,80E+03	6,85E-06	0,342556	0,6545494	0,4767239	5,53	
			0,0999	5,00E+03	4295	6,05355E-06	0,3026775	0,1021	5,11E+03	4,41E+03	5,90E-06	0,2951192	0,2988994			0,4767239

TABLA 21

## E.1 HORMIGONES PUZOLANICOS SIN INHIBIDOR SOMETIDAS A AMBIENTE NATURAL

MEDICIÓN No.	FECHA	CÓDIGO PROBETA	AX		AY		POTENCIAL 60 seg: E (mV)			MEDICIÓN DE RESISTENCIA			RESUMEN	
			VALOR DE B	VALOR DE B	AX	AY	CORREGID O CSC AX	CORREGID O CSC AY	AX	AY	R PROMEDIO	RESISTENCIA FINAL	RESISTIVIDAD	
1	31/07/2009	PX-R-N-1	0.052	0.052	473	139	396.925	62.925	2000	1900	1950	1800	12490.74	
		PX-R-N-2	0.052	0.052	352	381	278.15	307.15	1800	1500	1650			
2	14/08/2009	PX-R-N-1	0.052	0.052	286	194	223.825	131.825	2800	2800	2800	2550	17695.215	
		PX-R-N-2	0.052	0.052	219	240	154.275	175.275	2400	2200	2300			
3	28/08/2009	PX-R-N-1	0.052	0.052	579	478	507.8	406.8	3400	3700	3550	3225	22379.2425	
		PX-R-N-2	0.052	0.052	405	473	341.7	409.7	3000	2800	2900			
4	11/09/2009	PX-R-N-1	0.052	0.052	664	498	586.975	420.975	4700	4600	4650	4450	30879.885	
		PX-R-N-2	0.052	0.052	427	525	358.925	456.925	4800	3700	4250			
5	25/09/2009	PX-R-N-1	0.052	0.052	730	571	660.525	501.525	5400	5900	5650	5100	35390.43	
		PX-R-N-2	0.052	0.052	484	543	421.35	480.35	4600	4500	4550			
6	08/10/2009	PX-R-N-1	0.052	0.052	710	622	633.675	545.675	5700	5400	5550	5200	36084.36	
		PX-R-N-2	0.052	0.052	457	565	386.5	494.5	5100	4600	4850			
7	23/10/2009	PX-R-N-1	0.052	0.052	716	573	697.925	554.925	6300	6700	6500	5875	40768.3875	
		PX-R-N-2	0.052	0.052	462	555	451.0575	544.0575	5300	5200	5250			
8	06/11/2009	PX-R-N-1	0.052	0.052	757	537	701.625	481.625	6500	6900	6700	6350	44064.555	
		PX-R-N-2	0.052	0.052	646	594	615.375	563.375	6000	6000	6000			
9	20/11/2009	PX-R-N-1	0.052	0.052	825	530	817.81	522.81	7100	7400	7250	6625	45972.8625	
		PX-R-N-2	0.052	0.052	460	331	446.9175	317.9175	5700	6300	6000			
10	04/12/2009	PX-R-N-1	0.052	0.052	868	677	860.81	669.81	8200	8200	8200	8100	56208.33	
		PX-R-N-2	0.052	0.052	730	765	716.9175	751.9175	7800	8200	8000			

TABLA 22

## E.2 HORMIGONES PUZOLANICOS SIN INHIBIDOR SOMETIDAS A AMBIENTE NATURAL

MEDICIÓN Ilo.	FECHA	CÓDIGO PROBETA	CALCULO DE icorr PARA AX						CALCULO DE icorr PARA AY						RESUMEN	
			E - Ecorr (V)	$(E - E_{corr})/\Delta$ (Ohms)	$(E - E_{corr})/\Delta$ B $((E - E_{corr})/\Delta) \cdot R$	A (Ohms)	icorr uA/cm2	$(E - E_{corr})/\Delta$ (Ohms)	$(E - E_{corr})/\Delta$ B $((E - E_{corr})/\Delta) \cdot R$	A (Ohms)	icorr uA/cm2	icorr PROMEDIO	icorr (FINAL)	perdida de espesor		
1	31/07/2009	PX-R-1/1	0.5089	25.345.00	23385	2.2227E-06	0.11113486	0.172	6.600.00	6.650.00	7.82E-06	0.39097744	0.25105615	0.19430327	2.25	
			0.3977	19.885.00	18235	2.85168E-06	0.4258294	0.4254	21.270.00	19.620.00	2.65E-06	0.13251784	0.13755039			
2	14/08/2009	PX-R-1/1	0.3285	32.850.00	30050	1.73045E-06	0.08652246	0.2863	23.630.00	20.830.00	2.90E-06	0.12481987	0.10567122	0.10735206	1.25	
			0.2522	25.220.00	22920	2.26878E-06	0.11343805	0.2715	27.150.00	24.850.00	2.09E-06	0.10462777	0.10903291			
3	28/08/2009	PX-R-1/1	0.6168	30.840.00	27290	1.90548E-06	0.09527299	0.5132	25.660.00	22.110.00	2.95E-06	0.11759365	0.10643342	0.11665258	1.35	
			0.4366	21.830.00	19030	2.73253E-06	0.13662633	0.502	25.100.00	22.200.00	2.94E-06	0.11711712	0.1268775			
4	11/09/2009	PX-R-1/1	0.6667	34.835.00	30185	1.72271E-06	0.0891355	0.5284	26.420.00	21.770.00	2.95E-06	0.11943041	0.10278295	0.1142459	1.33	
			0.4572	22.860.00	16810	2.7942E-06	0.13970883	0.5505	27.525.00	23.275.00	2.23E-06	0.11170784	0.12570384			
5	25/09/2009	PX-R-1/1	0.7594	37.970.00	32320	1.60891E-06	0.08044554	0.6008	30.040.00	24.390.00	2.13E-06	0.10680107	0.09352331	0.1050225	1.22	
			0.5108	25.540.00	20990	2.47737E-06	0.12366851	0.5873	28.865.00	23.815.00	2.18E-06	0.10917489	0.1165217			
6	08/10/2009	PX-R-1/1	0.7456	37.280.00	31730	1.63883E-06	0.08194138	0.6508	32.540.00	26.990.00	1.93E-06	0.08633197	0.08913688	0.10479308	1.22	
			0.4827	24.135.00	19285	2.6964E-06	0.13481881	0.5872	29.360.00	24.510.00	2.12E-06	0.10607915	0.12044948			
7	23/10/2009	PX-R-1/1	0.7551	37.755.00	31255	1.66373E-06	0.08318889	0.613	30.650.00	24.150.00	2.15E-06	0.10786046	0.09542357	0.10797696	1.25	
			0.495	24.750.00	19500	2.66667E-06	0.13333333	0.5877	29.385.00	24.135.00	2.15E-06	0.10772737	0.12053035			
8	06/11/2009	PX-R-1/1	0.7927	39.635.00	32935	1.57887E-06	0.07894337	0.5897	2.85E-04	2.18E-04	2.95E-06	0.11834818	0.08914577	0.09390455	1.15	
			0.6757	33.785.00	27785	1.87151E-06	0.09357567	0.6212	3.11E-04	2.51E-04	2.80E-06	0.103751	0.08966333			
9	20/11/2009	PX-R-1/1	0.8561	42.805.00	35555	1.46252E-06	0.07312614	0.56	2.80E-04	2.08E-04	2.51E-06	0.1253012	0.09621367	0.13890253	1.61	
			0.4916	2.46E-04	18580	2.79871E-06	0.13993541	0.3593	1.80E-04	1.20E-04	4.94E-06	0.21684737	0.17839139			
10	04/12/2009	PX-R-1/1	0.9814	4.91E+04	40870	1.27233E-06	0.06361634	0.7127	3.58E-04	2.74E-04	1.90E-06	0.09476946	0.0791929	0.08123929	0.94	
			0.7657	3.63E-04	30285	1.71702E-06	0.06585103	0.8042	4.02E-04	3.22E-04	1.61E-06	0.08072027	0.08328568			

TABLA 23

## F.1 HORMIGONES PUZOLANICOS CON INHIBIDOR SOMETIDAS A AMBIENTE NATURAL

MEDICIÓN No.	FECHA	CÓDIGO PROBETA	AX		AY		POTENCIAL 60 seg: E (mV)			MEDICIÓN DE RESISTENCIA			RESUMEN	
			VALOR DE B	B	VALOR DE B	B	AX	AY	CORREGID O CSC AX	CORREGID O CSC AY	AX	AY	R PROMEDIO	RESISTENCIA FINAL
1	31/07/2009	PIR-N-1	0.052	0.052	429.00	439.00	352.4	362.4	2000	2400	2200	1925	13358.1525	
		PIR-N-2	0.052	0.052	399	372	338.25	311.25	1600	1700	1650			
2	14/08/2009	PIR-N-1	0.052	0.052	272	252	213.55	193.55	2800	2000	2400	2300	15960.39	
		PIR-N-2	0.052	0.052	351	176	298.25	123.25	2200	2200	2200			
3	28/08/2009	PIR-N-1	0.052	0.052	524	513	469.35	458.35	3600	2600	3100	3025	20991.3825	
		PIR-N-2	0.052	0.052	505	458	459.15	412.15	2900	3000	2950			
4	11/09/2009	PIR-N-1	0.052	0.052	591	574	530.7	513.7	4800	3300	4050	3875	26889.7875	
		PIR-N-2	0.052	0.052	552	509	499.475	456.475	3600	3800	3700			
5	25/09/2009	PIR-N-1	0.052	0.052	630	648	573.5	591.5	5900	3900	4900	4725	32788.1925	
		PIR-N-2	0.052	0.052	646	595	602.15	551.15	4300	4800	4550			
6	08/10/2009	PIR-N-1	0.052	0.052	689	655	630.725	596.725	5700	4800	5250	5325	36951.7725	
		PIR-N-2	0.052	0.052	739	676	685.775	622.775	5400	5400	5400			
7	23/10/2009	PIR-N-1	0.052	0.052	612	653	609.925	650.925	6400	5600	6000	6000	41635.8	
		PIR-N-2	0.052	0.052	668	734	659.425	725.425	6000	6000	6000			
8	06/11/2009	PIR-N-1	0.052	0.052	728	648	710.9	630.9	7700	5500	6600	6675	46319.8275	
		PIR-N-2	0.052	0.052	694	652	677.725	635.725	6500	7000	6750			
9	20/11/2009	PIR-N-1	0.052	0.052	685	605	678.2775	598.2775	8000	5600	6800	6725	46666.7925	
		PIR-N-2	0.052	0.052	702	477	693.5325	468.5325	6500	6800	6650			
10	04/12/2009	PIR-N-1	0.052	0.052	781	774	774.2775	767.2775	10800	7000	8900	8200	56902.26	
		PIR-N-2	0.052	0.052	774	638	765.5325	629.5325	7600	7400	7500			



TABLA 24

## F.2 HORMIGONES PUZOLANICOS CON INHIBIDOR SOMETIDAS A AMBIENTE NATURAL

MEDICIÓN No.	FECHA	CÓDIGO PROBETA	CALCULO DE icorr PARA AX						CALCULO DE icorr PARA AY						RESUMEN	
			E - Ecorr (V)	(E - Ecorr)/Δ (Ohms)	A (Ohms)	B ((E - Ecorr)/Δ)μR	i corr (uA/cm2)	i corr ((E - Ecorr)/Δ)μR	E - Ecorr (V)	(E - Ecorr)/Δ (Ohms)	A (Ohms)	B ((E - Ecorr)/Δ)μR	i corr (uA/cm2)	i corr ((E - Ecorr)/Δ)μR	i corr PROMEDIO (FINAL)	perdida de espesor
1	3/10/2009	PHR-N1	0.472	23.600.00	21400	2.42391E-06	0.1214953	0.1192387	24.005.00	21805.00	2.38E-06	0.1330003	0.1343542	0.1273606	1.48	
			0.4339	21.695.00	20045	2.59416E-06	0.1297082	0.1390003	20.355.00	18.705.00	2.78E-06	0.1001155	0.0965361			
2	14/09/2009	PHR-N1	0.3037	30.370.00	27970	1.85913E-06	0.0929567	0.1001155	28.370.00	25.970.00	2.00E-06	0.1336074	0.1018441	0.0991901	1.15	
			0.393	39.300.00	37100	1.40162E-06	0.0700809	0.1081531	21.660.00	19.480.00	2.67E-06	0.1081531	0.1070297			
3	28/09/2009	PHR-N1	0.553	27.650.00	24550	2.11813E-06	0.1059033	0.119424	27.140.00	24.040.00	2.16E-06	0.112699	0.1098643	0.1098643	1.27	
			0.5451	27.255.00	24305	2.13948E-06	0.1069739	0.119424	24.305.00	21.955.00	2.37E-06	0.1000192	0.0985352			
4	11/09/2009	PHR-N1	0.6168	30.840.00	26790	1.94102E-06	0.0970511	0.1107561	30.045.00	25.995.00	2.00E-06	0.1107561	0.1057169	0.102126	1.18	
			0.5905	29.525.00	25825	2.01355E-06	0.1006776	0.1107561	27.175.00	23.475.00	2.22E-06	0.0904682	0.0920294			
5	25/09/2009	PHR-N1	0.6536	32.680.00	27780	1.67165E-06	0.0939925	0.0904682	33.640.00	28.740.00	1.81E-06	0.0904682	0.0920294	0.0926936	1.07	
			0.6793	33.985.00	29415	1.76781E-06	0.0883903	0.0904682	31.355.00	26.805.00	1.94E-06	0.0904682	0.0881382			
6	08/10/2009	PHR-N1	0.7111	35.555.00	30305	1.71588E-06	0.0857944	0.0857944	33.985.00	28.735.00	1.81E-06	0.0857944	0.0854782	0.0854782	0.99	
			0.7705	38.525.00	33125	1.56981E-06	0.0784906	0.0857944	35.235.00	29.835.00	1.74E-06	0.0857944	0.0854782			
7	23/10/2009	PHR-N1	0.6403	32.015.00	26015	1.99985E-06	0.0999423	0.0999423	34.025.00	28.025.00	1.88E-06	0.0999423	0.0963583	0.0963583	1.05	
			0.7026	35.130.00	29130	1.7851E-06	0.0892551	0.0999423	38.720.00	32.720.00	1.59E-06	0.0999423	0.0843586			
8	06/11/2009	PHR-N1	0.7544	37.7E+04	31120	1.67995E-06	0.0835476	0.0835476	33.7E+04	27.1E+04	1.92E-06	0.0835476	0.087	0.087	1.05	
			0.7326	3.66E+04	29880	1.74029E-06	0.0870147	0.0835476	3.42E+04	2.74E+04	1.90E-06	0.0835476	0.0808526			
9	20/11/2009	PHR-N1	0.7085	3.54E+04	28625	1.81699E-06	0.0908297	0.0908297	3.15E+04	2.47E+04	2.1E-06	0.0908297	0.0808526	0.0808526	1.05	
			0.7264	3.63E+04	29670	1.75261E-06	0.0876306	0.0908297	2.53E+04	1.86E+04	2.80E-06	0.0876306	0.1137078			
10	04/12/2009	PHR-N1	0.8097	4.05E+04	31685	1.64935E-06	0.0823176	0.0823176	4.00E+04	3.11E+04	1.67E-06	0.0823176	0.0829181	0.0829181	0.99	
			0.819	4.10E+04	33450	1.55456E-06	0.07728	0.0823176	3.40E+04	2.65E+04	1.96E-06	0.0823176	0.0878651			

## CAPÍTULO 3

### 3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.

En esta parte del presente trabajo se muestran los resultados obtenidos mediante la aplicación de la técnica de resistencia a la polarización lineal (RPL) y medición de resistencia eléctrica del hormigón, ya descritas en los capítulos anteriores, para la determinación de la velocidad de corrosión de barras de acero empotradas en las probetas sometidas a diversas condiciones de exposición. Como ya se describió en el Capítulo 2, se resumen las condiciones de exposición a las que fueron sometidas las probetas:

- (a) Ambiente de Natural.
- (b) Parcialmente sumergidas en solución de NaCl 3,5% m/m.
- (d) cámara de CO<sub>2</sub> con 60% de humedad relativa.

Como consecuencia de este análisis se evaluara la velocidad de corrosión que ha sufrido el acero ASTM A-42 en estos periodos de exposición. Por lo tanto el detalle se lo hará analizando:

- Graficas de  $E_{Cu/SCS}$  vs Tiempo de exposición para todos los medios expuestos.
- Graficas de resistencia a la polarización ( $R_p$ ) vs Tiempo de exposición.

### **3.1 ANALISIS DE LA RESISTENCIA A LA POLARIZACION BAJO DIVERSAS ATMOSFERAS.**

#### **Exposición al Ambiente Natural:**

En la figura 15 se muestra la evolución con el tiempo del potencial de corrosión ( $E_{corr}$ ) de las barras de acero sometidas a ambiente natural de exposición durante 150 días.

Para este caso de exposición al ambiente natural sin inhibidor y con inhibidor, el  $E_{corr}$  parte aproximadamente  $-0,1142125$  V y  $-0,1072$  V respectivamente, aumentando lentamente con el tiempo hasta alcanzar un valor de  $-0,05070875$  V sin inhibidor y  $-0,038025$  V con inhibidor en el día 105 de mediciones, de ahí en adelante sufre altibajos hasta un momento que se estabilizan llegando finalmente a  $-0,06613625$  V sin inhibidor y  $-0,04332$  V con inhibidor, denotándose que el hormigón con inhibidor estuvo más protegido que el que no



tenia inhibidor. Siendo estos valores típicos de un material que se encuentra al estado pasivo (ASTM C 876).

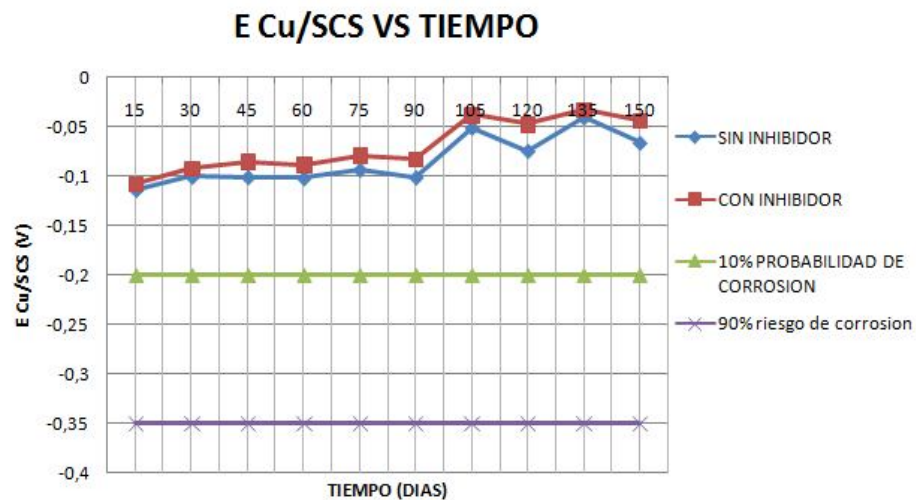


Fig. 16.- Evolución del potencial de corrosión durante 150 días expuestos al medio ambiente.

Simultáneamente con los valores de los  $E_{corr}$ , se midió la resistencia de polarización lineal de las barras de acero ( $R_p$ ), y los resultados se muestran en la Fig. 16 y Fig. 17. Para el caso de las probetas expuestas al ambiente natural,  $R_p$  de la probeta sin inhibidor aumenta durante los primeros 30 días, sufriendo luego ligeros altibajos y por el día 120 denotamos que la velocidad de corrosión aumenta para luego decrecer y estabilizarse llegando a un valor de  $R_p = 572463,893 \Omega \cdot \text{cm}^2$ . Para el caso de la probeta que tiene inhibidor la velocidad de corrosión es lenta donde se aprecia que el

$R_p$  crece lentamente y por el día 120 presenta ligeros altibajos finalmente llegando a un valor de  $R_p = 518230,5 \Omega \cdot \text{cm}^2$

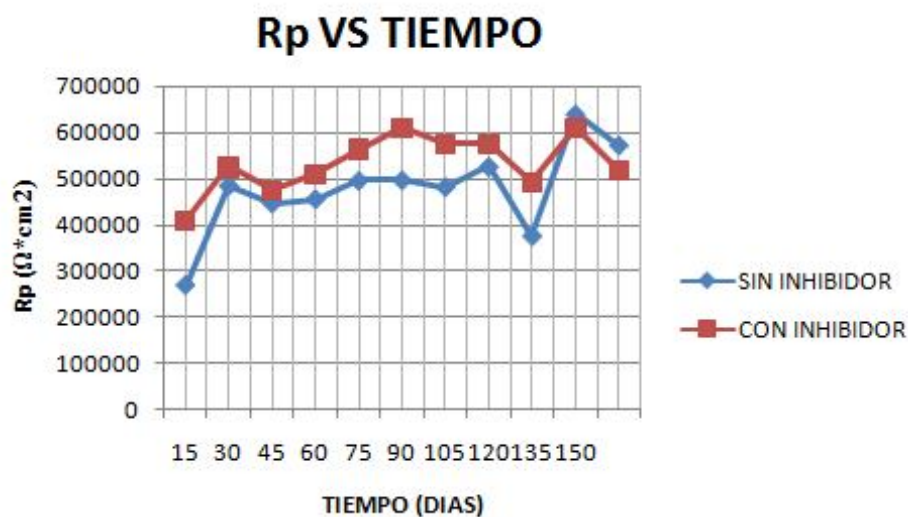


Fig. 17.- Evolución de la Resistencia a la polarización durante 150 días expuestas al medio ambiente.

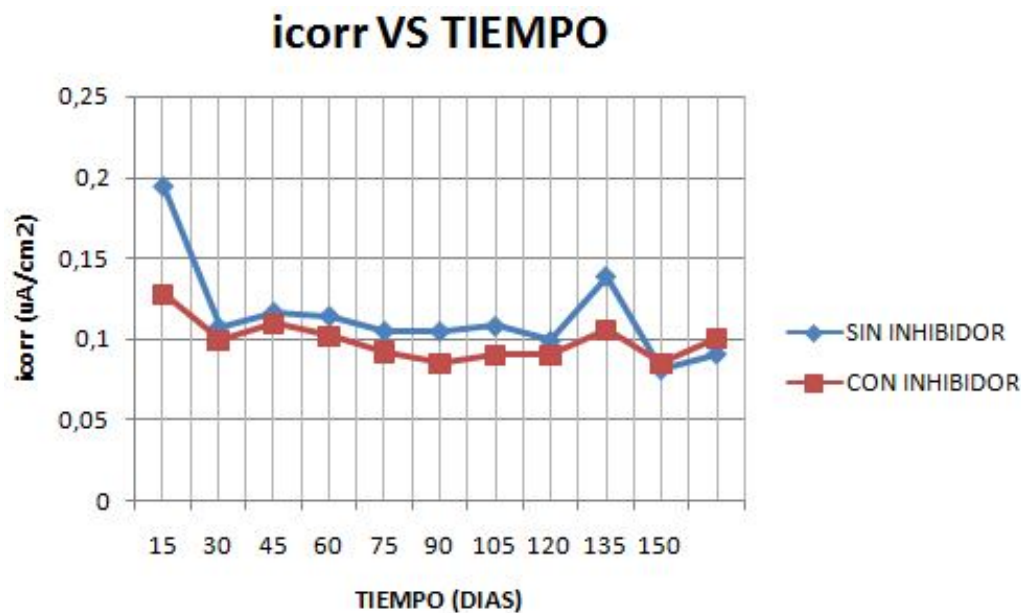


Fig. 18.- Evolución de la velocidad de corrosión durante 150 días expuestas al medio ambiente.

### Exposición a NaCl 3,5%:

Para el caso de las probetas parcialmente sumergidas en solución de NaCl 3,5% sin inhibidor y con inhibidor, el  $E_{corr}$  parte de  $-0,2272125V$  y  $-0,2699375V$  respectivamente, durante los primeros 30 días, el potencial en ambos casos decrece abruptamente (indicación de que los iones cloruro alcanzaron las barras de acero), y luego de 150 días, su valor es de aproximadamente  $-0,5707875V$  y  $-0,522875V$  para sin inhibidor y con inhibidor respectivamente hasta estabilizarse en ambos casos, permaneciendo más protegido el hormigón que tiene inhibidor, siendo esto señal que las barras están sufriendo un proceso corrosivo.

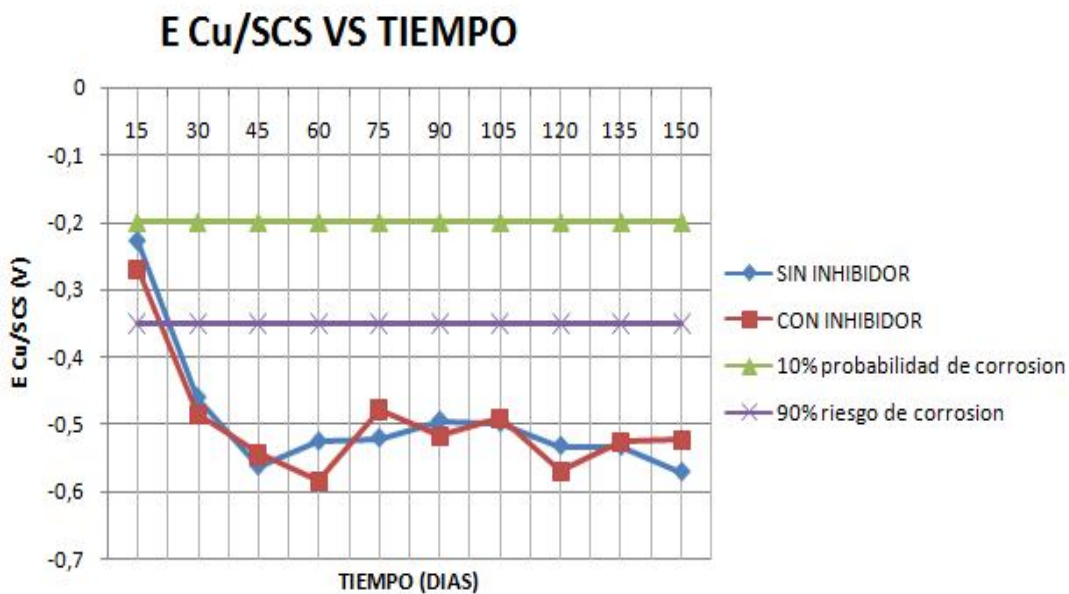


Fig. 19.- Evolución del potencial de corrosión durante 150 días expuestas a NaCl.

Para las probetas parcialmente sumergidas en solución de NaCl 3,5%,  $R_p$  sin inhibidor parte de un valor cercano al obtenido en el ambiente de laboratorio sin inhibidor y a partir de 32 días sufre un incremento abrupto en la velocidad de corrosión (consistente con la disminución observada en el  $E_{corr}$ ) e igualmente la que tiene inhibidor, vuelve a sufrir un aumento ligero de velocidad de corrosión posterior a los 150 días.

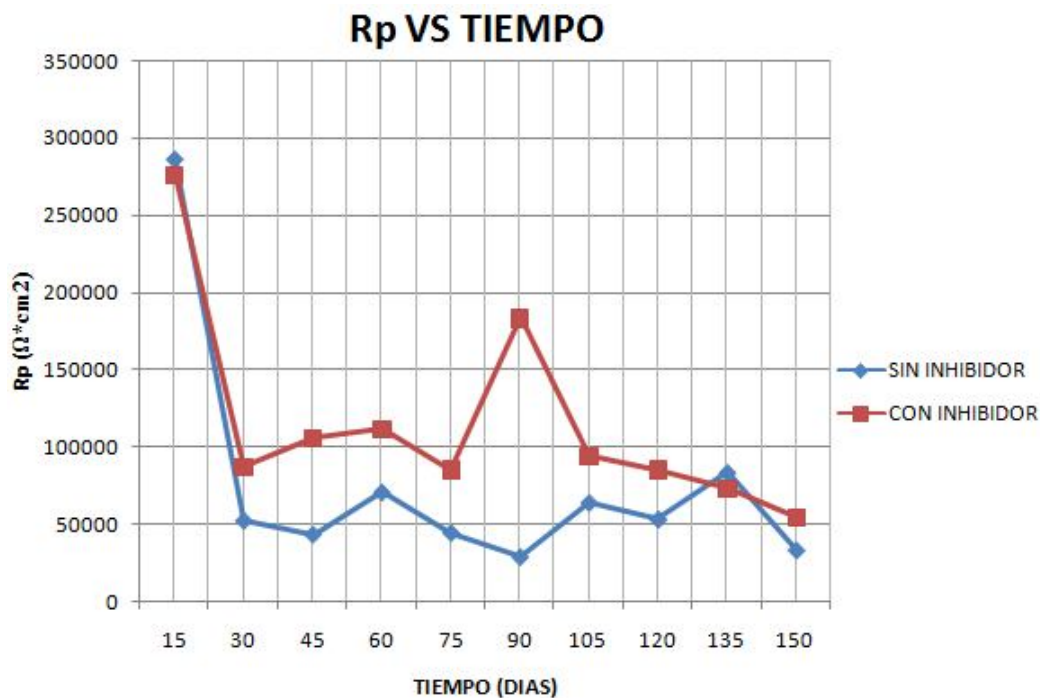


Fig.20.- Evolución de la resistencia a la polarización durante 150 días expuestas a NaCl.

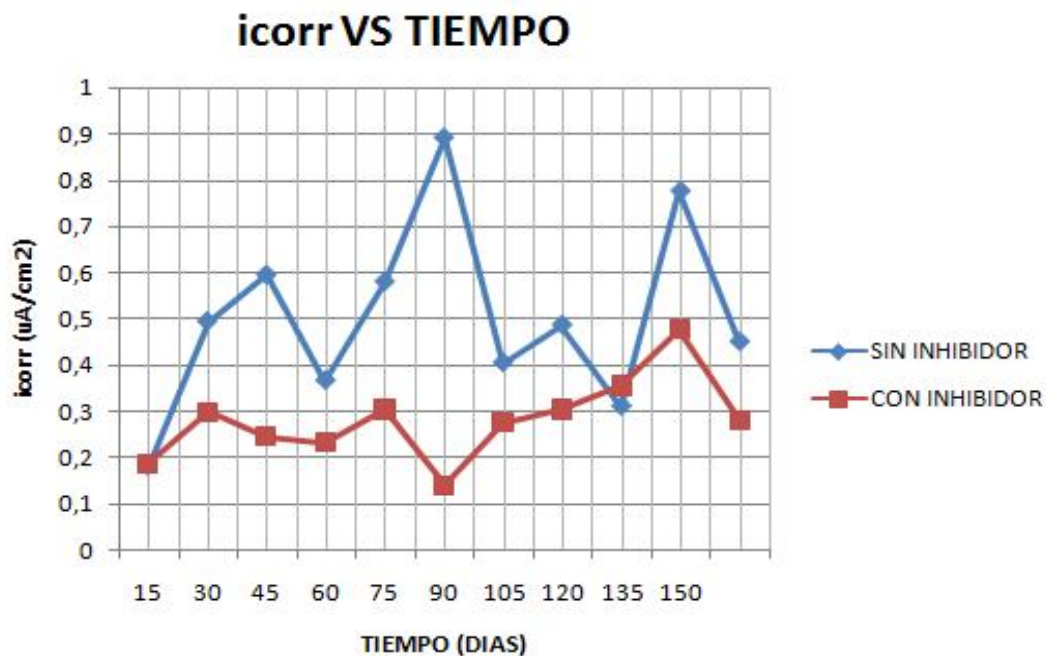


Fig. 21.- Evolución de la velocidad de corrosión durante 150 días expuestas a NaCl.

### Exposición a atmosferas en Dióxido de Carbono:

Finalmente, los  $E_{corr}$  medidos sobre las probetas sometidas a la cámara de carbonatación, muestran que a partir de 120 días (tiempo que tarda el frente de carbonatación en llegar a las barras de acero aproximadamente) éste decrece lentamente desde  $-0,023825V$  y  $-0,023465V$  con inhibidor y sin inhibidor respectivamente hasta llegar  $0,0015125V$  con inhibidor y  $-0,053125V$  sin inhibidor donde vemos que el hormigón con inhibidor se estabiliza estando mas protegido , siendo estos valores los correspondientes a potenciales en los cuales no es factible asegurar si el material se va a corroer estando en estado pasivo.

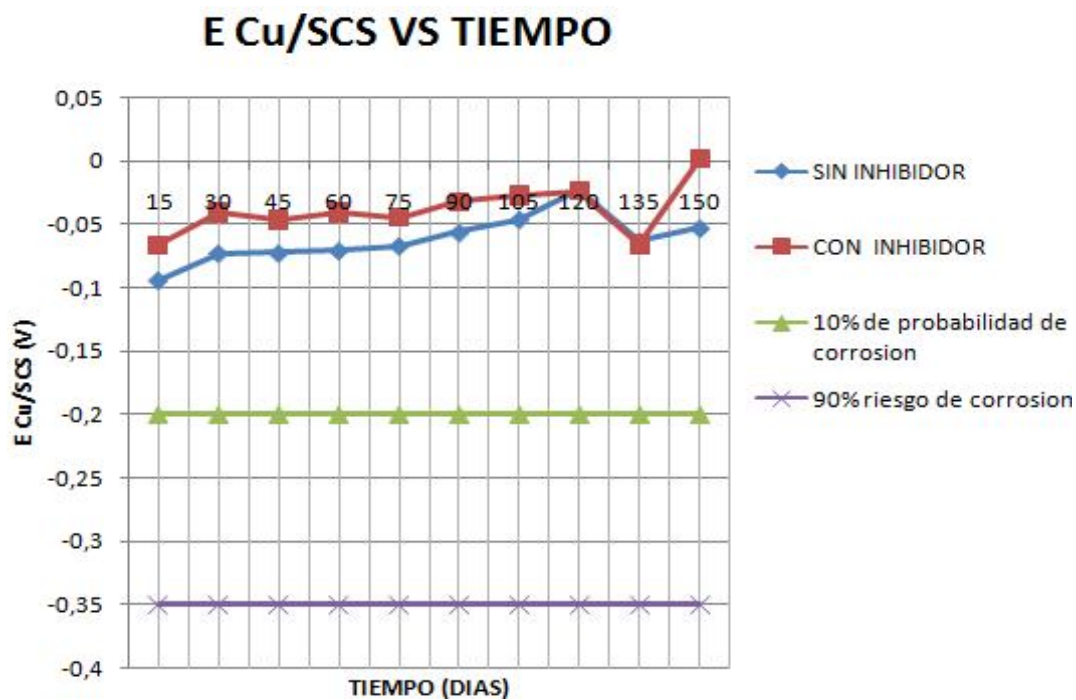


Fig. 22.- Evolución del potencial de corrosión durante 150 días expuestas a CO<sub>2</sub>.

Por último, las probetas sometidas a carbonatación acelerada, presentan a partir de los 30 días un aumento en la velocidad de corrosión en las probetas con inhibidor y sin inhibidor hasta el día 45 donde se estabilizan en ambos casos, y en su parte final sufre un decremento en el nivel de corrosión haciendo mayor efecto la probeta con inhibidor.

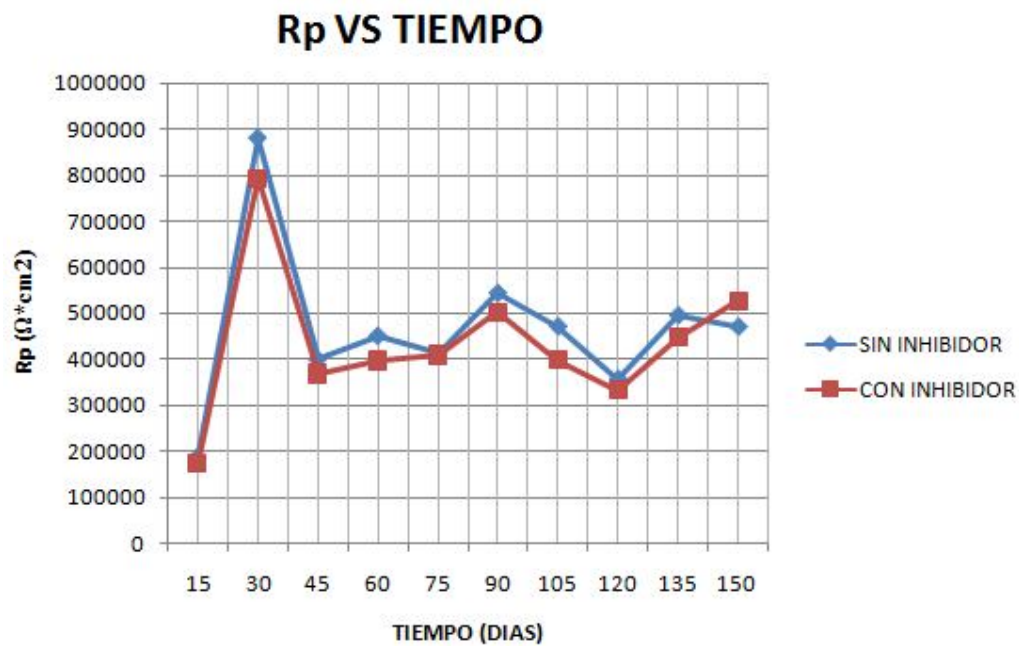


Fig. 23.- Evolución de la resistencia a la polarización durante 150 días expuestas a CO<sub>2</sub>.

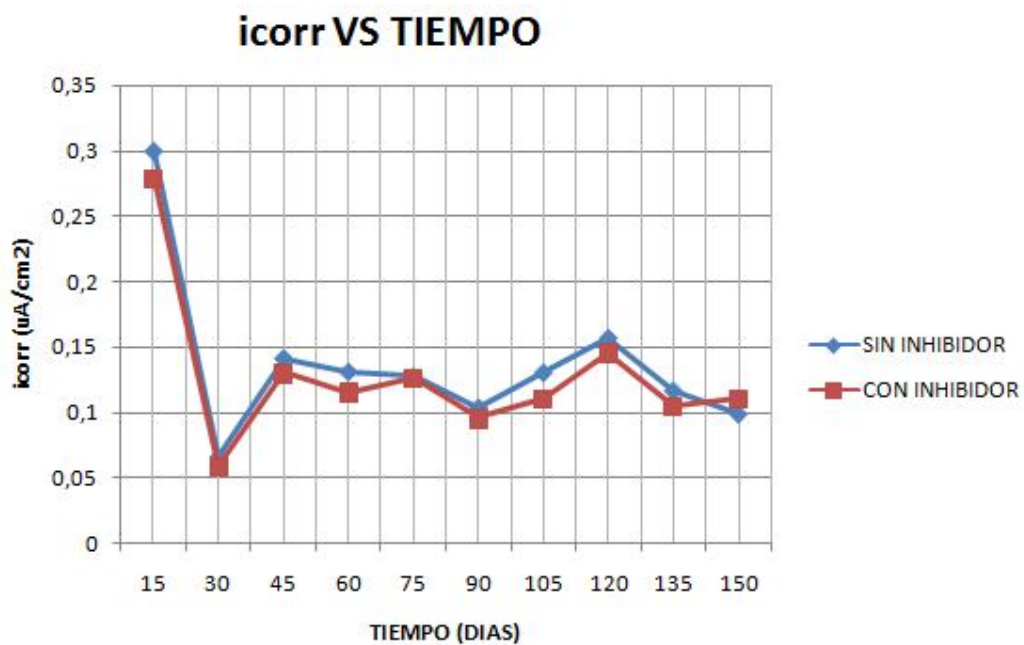


Fig. 24.- Evolución de la velocidad de corrosión durante 150 días expuestas a CO<sub>2</sub>.

### 3.2 ANALISIS COMPARATIVO RESPECTO AL COMPORTAMIENTO DEL HORMIGON FORMULADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO II.

**Ambiente natural.-** en esta grafica podemos observar que estos hormigones (TIPO II Y PUZOLANICOS) expuestos al ambiente natural sin inhibidor presentan inicialmente un baja resistencia a la polarización hasta el día 30, luego aumenta lentamente hasta estabilizarse sin sufrir cambios abruptos en ambos tipos de hormigones.

En el caso con inhibidor se observa que en el día 110 ocurre una caída de resistencia a la polarización, tanto en el TIPO II como en el PUZOLANICO.

**NaCl.-** aquí se denota que el Puzolánico sin inhibidor presenta valores de Resistencia a la polarización más negativos a lo largo del tiempo de exposición.

A diferencia del Puzolánico que tiene inhibidor posee valores más positivos pero durante el día 105 esta decrece lentamente y el Tipo II aumenta lentamente.

**Carbonatación.-** en este caso se aprecia que el Tipo II sin inhibidor presenta  $R_p$  más bajos que el Puzolánico sin inhibidor. Y para el caso con inhibidor no sufre muchos cambios en ambos tipos de hormigón.



# CAPÍTULO 4

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

A partir del presente trabajo, podemos extraer las siguientes conclusiones:

- 1) La técnica de resistencia de polarización ayuda a identificar la cinética de un proceso corrosivo en un material, independientemente del tiempo de exposición al que han estado expuestas.
- 2) Esta técnica es el método más rápido para obtener una respuesta de velocidad de corrosión, aun así no es precisamente la más precisa, pero por otro lado da una idea clara de los niveles de corrosividad que se desean conocer.

- 3) La predicción de icor a partir de las mediciones de  $R_p$ , solo es factible con un error dentro del orden de magnitud dependiendo de las condiciones de exposición.
- 4) La velocidad de corrosión del acero ASTM A-42 en probetas con inhibidor es máxima en agua salada tanto para el TIPO II como para el Puzolánico, dándole un tiempo menos de vida al hormigón PORTLAND TIPO II. (Ver graficas en Apéndice VI).
- 5) La velocidad de corrosión del acero en agua salada para hormigones sin inhibidor fue mayor para el hormigón Puzolánico pero sin tanta diferencia entre el hormigón Portland Tipo II, entonces en este medio sin protección (inhibidor) el portland tipo II actúa pasivamente, teniendo más probabilidad de tener una mayor vida útil que el Puzolánico.

**Se recomienda lo siguiente:**

- 1) Se deberá realizar cambios de la solución electrolítica en este caso NaCl y de cámara de carbonatación siendo nuestro caso que utilizamos como recipiente una caja de material POLIESTIRENO EXPANDIDO, estos cambios deben de ser cada tres ensayos, esto

prevendrá de una posible contaminación de los productos de corrosión dentro de la solución.

- 2) Mantener el equipo y principalmente las conexiones con absoluta limpieza antes y después de los ensayos quincenales es fundamental para el éxito de la misma
- 3) Cuando se realiza una medición de potenciales en el hormigón es importante la forma como se conecta el voltímetro, el polo positivo se deberá conectar siempre a la estructura a la que se le va a medir el potencial y el polo negativo se conectara al electrodo de referencia en base al cual se va a realizar la medición del potencial eléctrico de dicha estructura.

# APENDICE

**APENDICE I**

**RESISTENCIA A LA POLARIZACION PROMEDIO PARA**

**HORMIGON PORTLAND TIPO II**

Días	Resistencia a la polarización promedio [ $\Omega \cdot \text{cm}^2$ ]					
	Atmosfera con 99% CO <sub>2</sub>		Contaminación con cloruros		Atmosfera natural	
	Sin Inhibidor	Con Inhibidor	Sin Inhibidor	Con Inhibidor	Sin Inhibidor	Con Inhibidor
15	215401	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	577670,3
75	397759	413038,5	78188,8	59734,4	479906,5	555387,7
90	480714,1	480667,5	88389,1	69935,2	547927,5	589104
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
135	541268,3	539731	146109,3	118760,4	475790,9	299565,4
150	449390,9	556388,6	64176	106189	569446,7	682581,3

**APENDICE II**

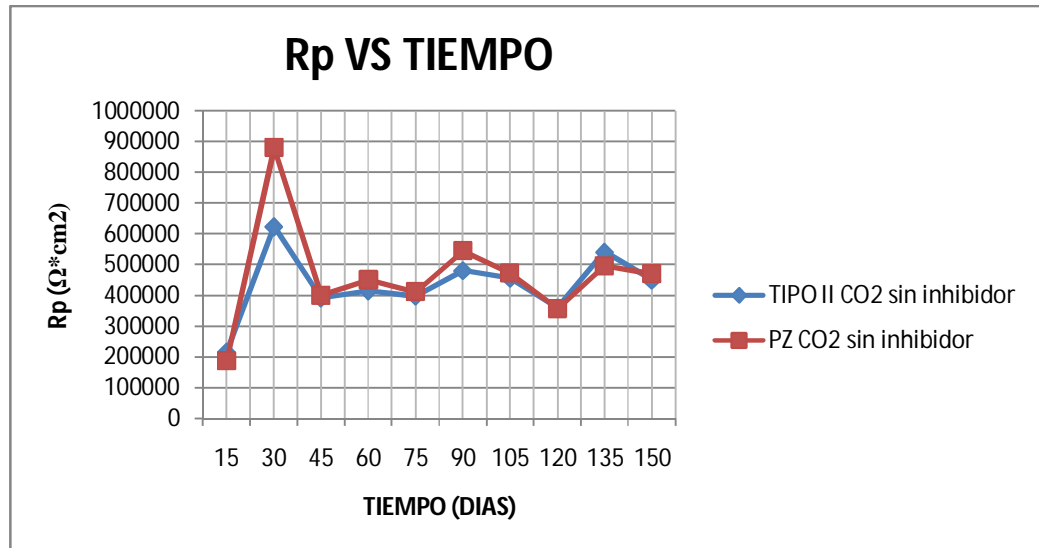
**RESISTENCIA A LA POLARIZACION PROMEDIO PARA HORMIGON**

**PUZOLANICO**

Días	Resistencia a la polarización promedio [ $\Omega \cdot \text{cm}^2$ ]					
	Atmosfera con 99% CO <sub>2</sub>		Contaminación con cloruros		Atmosfera natural	
	Sin Inhibidor	Con Inhibidor	Sin Inhibidor	Con Inhibidor	Sin Inhibidor	Con Inhibidor
15	186645,002	173579,711	286277,923	275908,246	267622,87	408289,49
30	880220	792411,095	52594,012	86835,5916	484387,53	524245,71
45	399379,982	367984,072	43721,8784	105500,409	445768,09	473311,04
60	450546,621	397215,945	70944,2712	111280,243	455158,58	509174,77
75	411694,617	408763,41	44813,8523	85320,8437	495131,98	563005,35
90	543509,553	502526,484	29169,4574	183364,685	496215,98	608341,98
105	471182,692	399237,402	64167,0878	94143,9495	481584,21	575485,72
120	356888,082	331998,686	53407,4242	85227,8399	525759,41	575690,37
135	495188,128	446767,494	83546,048	72919,5169	374632,93	491036,57
150	470464,614	527125,977	33496,5218	54538,9101	640084,38	608955,47

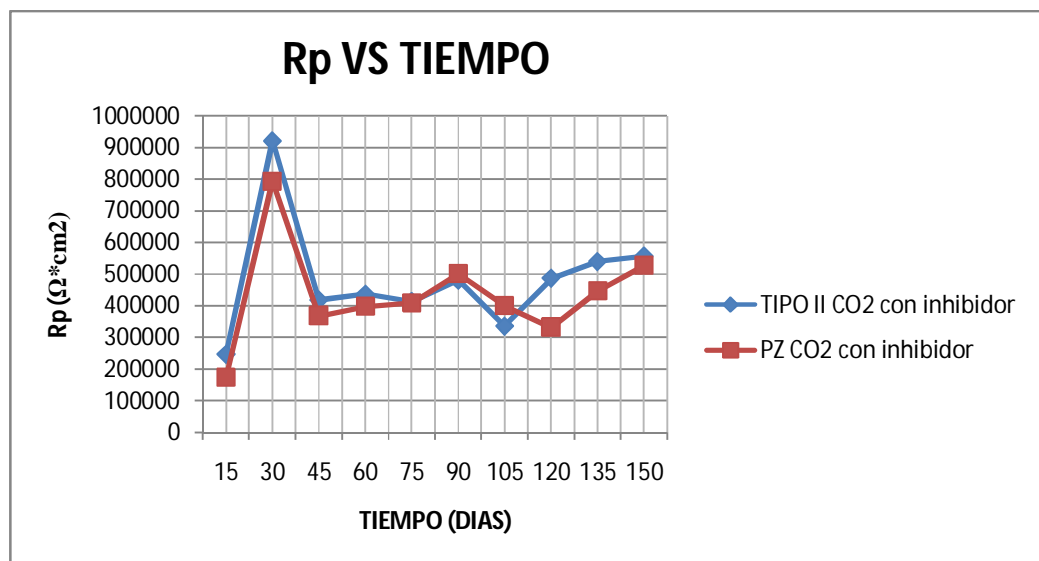
### APENDICE III

#### PUZOLANICO – PORTLAND TIPO II: CO<sub>2</sub> (sin inhibidor)



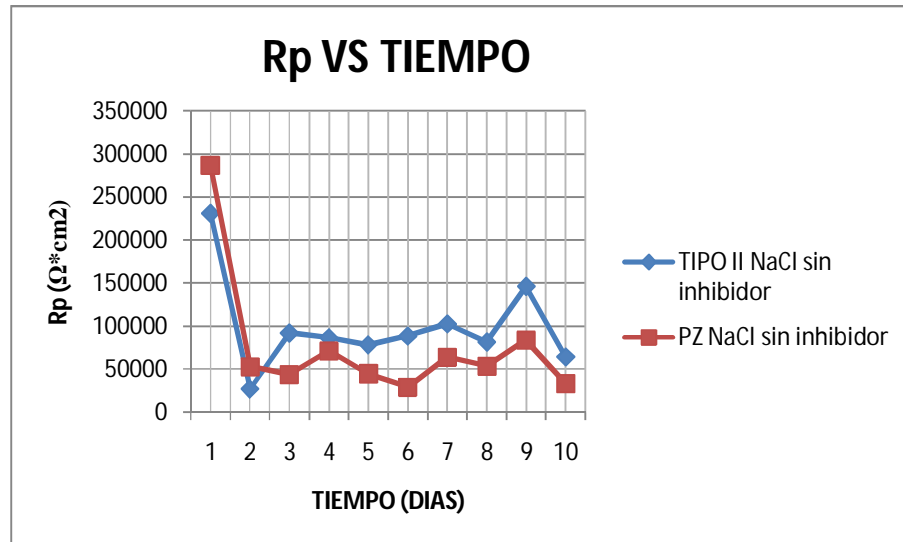
### APENDICE IV

#### PUZOLANICO – PORTLAND TIPO II: CO<sub>2</sub> (con inhibidor)



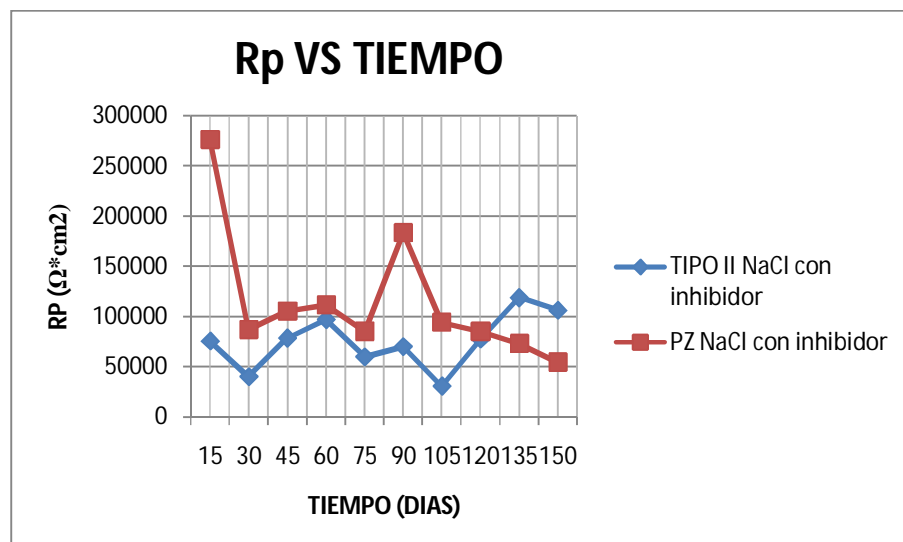
## APENDICE V

### PUZOLANICO – PORTLAND TIPO II: NaCl (sin inhibidor)



## APENDICE VI

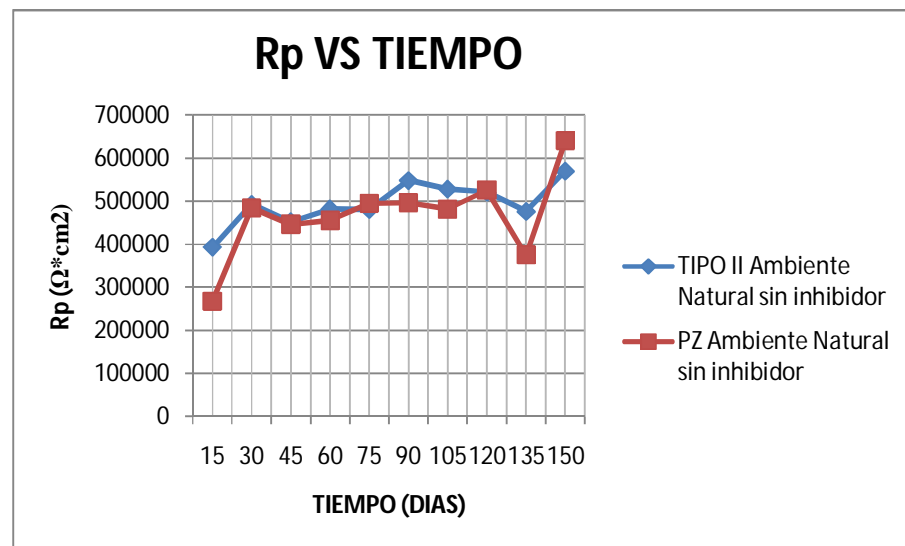
### PUZOLANICO – PORTLAND TIPO II: NaCl (con inhibidor)



### APENDICE VII

#### PUZOLANICO – PORTLAND TIPO II: Ambiente Natural

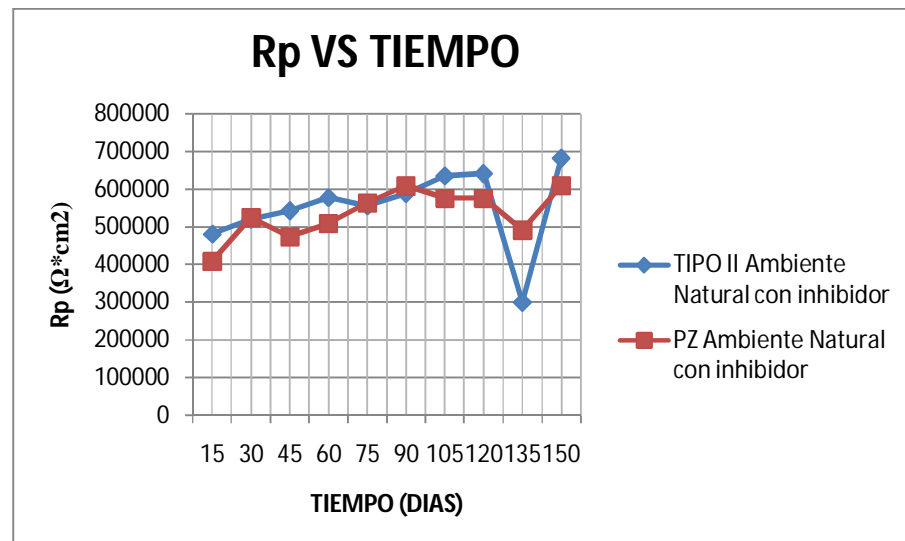
(Sin inhibidor)



### APENDICE VIII

#### PUZOLANICO – PORTLAND TIPO II: Ambiente Natural

(Con inhibidor)





## BIBLIOGRAFÍA

1. CALLEJA. J. CORROSION DE ARMADURAS EN LOS HORMIGONES ARMADOS Y PRETENSADOS. Monografía. Instituto Eduardo Toroja. Madrid. España. 1966. pp. 25 -26.
2. ROVAYO. E. TECNICAS ELECTROQUIMICAS. Tesis. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil. Ecuador. 1993. 150 pp.
3. WILSON QUITO TORO, TESIS “EVALUACION DE LA CORROSIÓN ATMOSFÉRICA EN EL ECUADOR DENTRO DEL MARCO DEL PROYECTO MAPA IBEROAMERICANO DE CORROSIVIDAD ATMOSFÉRICA (MICAT)”, Guayaquil, ESPOL, 1994, 39,40 ,83 ,85, 101-105,111,114.
4. GEHO. ARMADURAS. PROTECCION DEL ACERO EN EL HORMIGON- MECANISMOS DE CORROSION Y FACTORES PRINCIPALES QUE INCIDEN EN LOS PROCESOS. Grupo Español del Hormigón. Ciencia y Técnica Publicaciones, pp. 6-13

5. ASTM C 876, "Standard test method for half-cell potential for uncoated reinforcing steel in concrete", American Society of Testing and Materials, Philadelphia, 1987.
  
6. ASTM G1-90 (Reapproved 1999), "Standard practice for preparing, cleaning, and evaluating corrosion test specimens", American Society for Testing and metrials, Philadelphia, 1999.
  
7. CARLOS PANCHANA, PROYECTO DE GRADO "INFLUENCIA DEL CARBOXILATO DE AMINA EN LA VELOCIDAD DE CORROSION DEL ACERO A42 EN HORMIGONES CON CEMENTO PORTLAND TIPO II", Guayaquil. ESPOL. 2010. 68, 69, 70, 73