



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y
CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN**

**“Evaluación de Hormigones Mediante Técnicas Cinéticas
Electroquímicas para Control de la Corrosión”**

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIEROS MECÁNICOS

Presentada por:

Xavier Andrés Arcentales Bastidas

Marcos Javier Bonifaz Vicuña

GUAYAQUIL-ECUADOR

2013

AGRADECIMIENTO

A mi familia porque siempre estuvieron en todo momento, a mis hermanos por su apoyo incondicional, a mis abuelos y todas las personas que colaboraron en la realización de este trabajo. También quiero agradecer a mi compañero de Tesis y gran amigo Marcos Bonifaz y al Ing. Julián Peña, Director de Tesis, por su invaluable guía.

Xavier Arcentales B.

AGRADECIMIENTO

Primero a Dios, que siempre está presente en vida, agradezco a mi mamá y papá por el apoyo brindado y por los valores que siempre me han enseñado, a mis hermanos por estar siempre a mi lado, a mi familia por todo el apoyo, a mis amigos por sus consejos. También quiero agradecer a mi compañero de Tesis y gran amigo Xavier Arcentales y en especial al Ing. Julián Peña, Director de Tesis, por guiarme en el desarrollo de este proyecto.

Marcos Bonifaz V.

DEDICATORIA

A Dios, porque sin Él nada de esto hubiera sido posible, a mis Padres por ser mi fuente de inspiración y superación, a mis hermanos y a todas las personas que estuvieron involucradas indirecta o directamente en la realización de mi Tesis de grado. Al Ing. Julián Peña Estrella, mi Director de Tesis por haberme guiado y brindado todos sus conocimientos.

Xavier Arcentales B

DEDICATORIA

Primero a Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, a mis padres por todo el amor y cariño que me brindaron en todo el tiempo de estudios, a mis hermanos por el apoyo incondicional, a todos mis familiares por el cariño demostrado, a mis amigos que siempre estuvieron presente. Al Ing. Julián Peña Estrella, mi Director de Tesis por su guía en el desarrollo de mi tesis.

Marcos Bonifaz V

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Dr. Kléber Barcia V., Ph.D.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Julián Peña E.
DIRECTOR



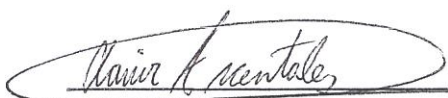
Ing. Mauricio Cornejo M.
VOCAL



DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta
Tesis de Grado, nos corresponde
exclusivamente; y el patrimonio intelectual
de la misma a la ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Xavier Andrés Arcентаles Bastidas



Marcos Javier Bonifaz Vicuña

RESUMEN

La investigación presente consistió en la evaluación de las armaduras de acero embebidas en 2 tipos de hormigones diferentes mediante técnicas electroquímicas, para ello se utilizó la técnica de laboratorio Potencio-Galvanostato y la técnica aplicada para campo como el Gecor8, con el uso de estas técnicas se logró un enfoque claro de como la velocidad de corrosión actuó en dichas probetas expuestas en 2 medios diferentes: a) en medio ambiente b) y simulando ambiente marino. A demás se determinó el coeficiente de difusión de cloruro en los hormigones durante 3 meses de exposición, con 3.5 % de NaCl.

En la primera etapa, se realizó un planteamiento de las características y aplicaciones de los cementos, además de la información de los conceptos básicos de corrosión. También se estudió el deterioro, durabilidad, y se planteó el modelo de vida útil de Tutti de los hormigones, los métodos cinéticos de la velocidad de corrosión, y los problemas de la corrosión expuestas en diferentes atmósferas corrosivas.

En la segunda parte se realizó la descripción experimental; se fabricó probetas, se realizó ensayo de rotura por compresión. A demás se detalló las condiciones en las que estuvieron expuestos los hormigones, las

técnicas cinéticas electroquímicas con el Potencio-Galvanostato y Gecor8, también se describió procedimientos y ensayos, y se determinó el coeficiente de difusión de cloruro con el objetivo de verificar el estado de las varillas en los hormigones.

Finalmente se presentó el análisis de los resultados obtenidos con las técnicas cinéticas electroquímicas utilizados en los hormigones, también la evaluación entre sí de los equipos. Luego se concluyó como se encuentra el estado de los hormigones y las respectivas recomendaciones.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO 1

1. LOS CEMENTOS Y LA CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS EN

EL HORMIGÓN.	3
1.1 Los cementos, características y aplicaciones.....	3
1.2 Fundamentos primarios de la corrosión.....	6
1.2.1 Deterioro del acero en el hormigón.....	10
1.2.2 Durabilidad de las armaduras en el hormigón.....	12
1.2.3 Modelo de vida útil de Tutti.....	15
1.2.4 Método cinético para determinar la velocidad de corrosión.....	20
1.2.4.1 Resistencia a la polarización.....	22
1.2.5 Resistividad del hormigón.....	24
1.3 El problema de la corrosión en las armaduras expuestas	
a atmósferas corrosivas.....	26

1.3.1	Degradación del hormigón expuesto al ambiente marino...	27
1.3.2	Incidencia de los medios atmosféricos en las varillas embebidas en el hormigón.....	31

CAPÍTULO 2

2.	ENSAYOS EXPERIMENTALES PARA DETERMINAR VELOCIDAD DE CORROSIÓN EN VARILLAS EMBEBIDAS EN HORMIGONES....	33
2.1	Fabricación de probetas de hormigón armado.....	34
2.2	Ensayo de rotura por compresión.....	46
2.3	Condiciones de exposiciones de los hormigones.....	51
2.3.1	Medio ambiente.....	51
2.3.2	Sumergidas simulando ambiente marino.....	52
2.4	Técnicas empleadas en los ensayos para corriente de corrosión.	53
2.4.1	Ensayos cinéticos y de laboratorio usando el Potencio- Galvanostato.....	58.
2.4.1.1	Resultados experimentales para obtener la resistencia De polarización.....	65
2.4.1.2	Determinación de la resistencia de polarización Y corriente de corrosión.....	74
2.4.2	Pruebas cinéticas con variables a determinar empleando el Gecor8.....	98
2.5	Determinación del coeficiente de difusión de iones de cloruro...	124

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	135
3.1 Resistencia a la polarización y corriente de corrosión bajo las atmósferas expuestas utilizando el Potencio-Galvanostato...	136
3.2 Corriente de corrosión usando el Gecor8 en las estructuras de varillas de acero en hormigón armado expuestas al medio ambiente.....	148
3.3 Evaluación de las técnicas empleadas.....	155

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	157
--	-----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

A	Amperio
a/c	agua/cemento
ASTM	American Society Testing Materials
cm	Centímetro
CO ₂	Dióxido de Carbono
Cl	Cloro
CSC	Cobre Sulfato de Cobre
Fe	Hierro
g	Gramo
kΩ . cm	Kiloohmios por centímetro
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
mm	Milímetro
mV	Milivoltios
NaCl	Cloruro de Sodio
pH	Potencial de Hidrógeno
uA/cm ²	Microamperio por centímetro cuadrado
V	Voltio

SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
A	Peso atómico
B	Constante de Tafel
C _o	% cloruros en el momento de fabricación del hormigón
δ	Densidad
E	Potencial eléctrico
F	Constante Faraday
I	Corriente eléctrica
i _{corr}	Densidad de corriente de corrosión
r	Tasa de corrosión
R	Resistencia
R _p	Resistencia a la polarización lineal
ρ	Resistividad
t	Tiempo
V _{corr}	Velocidad de corrosión

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1.1 Diagrama Esquemático de la Disolución del Metal M.....	8
Figura 1.2 Corrosión de las Armaduras en el Hormigón. Modelo Simplificado.....	11
Figura 1.3 Diagrama Potencial. - pH para el Hierro (Fe).....	13
Figura 1.4 Armaduras embebidas en un hormigón sin contaminar.....	14
Figura 1.5 Modelo de vida útil de Tutti.....	16
Figura 1.6 Esquema de la película protectora sobre la armadura de Acero.....	32
Figura 2.1 Probetas cúbicas de hormigón con barras de acero.....	35
Figura 2.2 Barras de acero AISI 304 (inferior izquierda), ASTM A-42 (inferior derecha) y ERI (titanio) (parte superior).....	36
Figura 2.3 Tabla de madera de 10 x10 cm antes de ser colocado en el molde metálico.....	37
Figura 2.4 Molde listo para la colada del cemento. Cada molde está preparado para colar dos probetas.....	37
Figura 2.5 Molde colocado en la mesa vibradora para el esparcimiento uniforme del cemento.....	38
Figura 2.6 Probetas listas para el proceso de curado.....	39
Figura 2.7 Probeta cúbica de hormigón armado terminada.....	39
Figura 2.8 Probetas Rectangulares de Hormigón con Barras de Acero..	40
Figura 2.9 Moldes de madera armado y desarmado.....	41
Figura 2.10 Estructura de acero armado en su respectivo molde de Madera.....	42
Figura 2.11 Pala vibradora para la distribución uniforme del cemento en el molde.....	42
Figura 2.12 Probeta rectangular de hormigón armado terminada.....	43
Figura 2.13 Probeta cúbica utilizadas en el ensayo de compresión y difusión de cloruros.....	43
Figura 2.14 Molde colocado en la mesa vibradora para el esparcimiento uniforme del cemento.....	43
Figura 2.15 Probetas listas para el proceso de curado.....	45
Figura 2.16 Esquema de ensayo de rotura por compresión.....	48
Figura 2.17 Resistencia a la Compresión vs. Tiempo Cemento GU.....	49

Figura 2.18	Resistencia a la Compresión vs. Tiempo cemento HE.....	50
Figura 2.19	Probetas en medio ambiente.....	52
Figura 2.20	Probetas en agua simulando ambiente marino.....	52
Figura 2.21	Circuito cerrado del método de disco para medir resistividad del hormigón usando el gecor8.....	55
Figura 2.22	Circuito de media celda de Cobre/ Sulfato de cobre	58
Figura 2.23	Medición de potencial (Ecorr) con el electrodo de referencia interno ER.....	59
Figura 2.24	Medición de potencial (ERI) contra el electrodo de CSC.....	60
Figura 2.25	Modelo Potencio-Galvanostato.....	61
Figura 2.26	Conexión del Potencio-Galvanostato.....	62
Figura 2.27	Medición de resistencia de la celda.....	64
Figura 2.28	Circuito cerrado usando el “Sensor B” para medir potencial de corrosión y resistividad.....	98
Figura 2.29	Valores límites para el nivel de riesgo en mapeo.....	99
Figura 2.30	Distancia entre mediciones en las probetas rectangulares	100
Figura 2.31	Pantalla para datos de mapeo.....	101
Figura 2.32	Colocación del sensor B en el punto de medición.....	101
Figura 2.33	Pantalla de datos para mediciones en estructuras aéreas	117
Figura 2.34	Colocación del Sensor A en el punto de medición.....	118
Figura 2.35	Esquema básico del sistema empleado para difusión de Cloruros.....	125
Figura 2.36	Bosquejo de incrustación de cloruro.....	126
Figura 2.37	Codificaciones rebanadas de cemento HE.....	127
Figura 2.38	Codificaciones rebanadas de cemento GU.....	127
Figura 2.39	Rebanada de hormigón limpia y lista para ser triturada.....	128
Figura 2.40	Trituradora de mandíbulas.....	129
Figura 2.41	Muestra pasada en trituradora de Mandíbulas.....	129
Figura 2.42	Trituradora de Rodillos.....	130
Figura 2.43	Muestra pasada en trituradora de rodillos.....	130
Figura 2.44	Trituradora de discos.....	131
Figura 2.45	Muestra pasada en trituradora de rodillos.....	131
Figura 2.46	Polvo obtenido de todo el proceso.....	132
Figura 3.1	Evolución del potencial de corrosión durante 90 días expuestos al medio ambiente.....	137
Figura 3.2	Evolución de la resistencia a la polarización durante 90 días	

	expuestos al medio ambiente.....	138
Figura 3.3	Evolución de la velocidad de corrosión durante 90 días expuestos al medio ambiente.....	139
Figura 3.4	Evolución del potencial de corrosión durante 90 días expuestos al medio ambiente.....	140
Figura 3.5	Evolución de la resistencia a la polarización durante 90 días expuestos al medio ambiente.....	141
Figura 3.6	Evolución de la velocidad de corrosión durante 90 días expuestos al medio ambiente.....	142
Figura 3.7	Evolución del potencial de corrosión durante los 90 días expuestas a NaCl.....	143
Figura 3.8	Evolución de la resistencia a la polarización durante los 90 días expuestas a NaCl.....	144
Figura 3.9	Evolución de la velocidad de corrosión durante los 90 días expuestas a NaCl.....	144
Figura 3.10	Evolución del potencial de corrosión durante los 90 días expuestas a NaCl.....	146
Figura 3.11	Evolución de la resistencia a la polarización durante los 90 días expuesta NaCl.....	147
Figura 3.12	Evolución de la velocidad de corrosión durante los 90 días expuestas a NaCl.....	147
Figura 3.13	Evolución de la velocidad de corrosión durante los 90 días expuesto al medio ambiente.....	149
Figura 3.14	Evolución de la velocidad de corrosión durante los 90 días expuesto al medio ambiente.....	150
Figura 3.15	Perfil de concentración experimental y modelado para difusión de cloruros en el hormigón HE.....	152
Figura 3.16	Perfil de concentración experimental y modelado para difusión de cloruros en el hormigón GU.....	153

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Serie Electroquímica (Potenciales de reducción).....	9
Tabla 2 Valores límites de la resistividad.....	25
Tabla 3 Dosificación del cemento por m ³	38
Tabla 4 Codificación de las probetas acorde a la condición de Exposición.....	45
Tabla 5 Valores de edad y resistencia en el cemento GU.....	49
Tabla 6 Valores de edad y resistencia en el cemento HE.....	50
Tabla 7 Resumen de métodos de medición.....	57
Tabla 8 Mediciones de resistencia de la celda.....	65
Tabla 9 Hormigones HE sin inhibidor expuestos al medio ambiente Natural.....	66
Tabla 10 Hormigones HE con inhibidor expuestos al medio ambiente Natural.....	67
Tabla 11 Hormigones HE sin inhibidor expuestos a agua salada.....	68
Tabla 12 Hormigones HE con inhibidor expuestos a agua salada.....	69
Tabla 13 Hormigones GU sin inhibidor expuestos al medio ambiente Natural.....	70
Tabla 14 Hormigones GU con inhibidor expuestos al medio ambiente Natural.....	71
Tabla 15 Hormigones GU sin inhibidor expuestos a agua salada.....	72
Tabla 16 Hormigones GU con inhibidor expuestos a agua salada.....	73
Tabla 17 Actividad del acero	75
Tabla 18 Tabla de Potenciales.....	76
Tabla 19 Hormigones HE sin inhibidor expuestos al medio ambiente Natural.....	82
Tabla 20 Hormigones HE sin inhibidor expuestos al medio ambiente Natural.....	83
Tabla 21 Hormigones HE con inhibidor expuestos al medio ambiente Natural.....	84
Tabla 22 Hormigones HE con inhibidor expuestos al medio ambiente Natural.....	85
Tabla 23 Hormigones HE sin inhibidor expuestos a agua salada.....	86

Tabla 24	Hormigones HE sin inhibidor expuestos a agua salada.....	87
Tabla 25	Hormigones HE con inhibidor expuestos a agua salada.....	88
Tabla 26	Hormigones HE con inhibidor expuestos a agua salada.....	89
Tabla 27	Hormigones GU sin inhibidor expuestos al medio ambiente Natural.....	90
Tabla 28	Hormigones GU sin inhibidor expuestos al medio ambiente Natural.....	91
Tabla 29	Hormigones GU con inhibidor expuestos al medio ambiente Natural.....	92
Tabla 30	Hormigones GU con inhibidor expuestos al medio ambiente Natural.....	93
Tabla 31	Hormigones GU sin inhibidor expuestos a agua salada.....	94
Tabla 32	Hormigones GU sin inhibidor expuestos a agua salada.....	95
Tabla 33	Hormigones GU con inhibidor expuestos a agua salada.....	96
Tabla 34	Hormigones GU con inhibidor expuestos a agua salada.....	97
Tabla 35	Resistividad del hormigón HE sin inhibidor expuestos al medio ambiente	103
Tabla 36	Resistividad del hormigón HE con inhibidor expuestos al medio ambiente	104
Tabla 37	Resistividad del hormigón GU sin inhibidor expuestos al medio ambiente.....	105
Tabla 38	Resistividad del hormigón GU con inhibidor expuestos al medio ambiente	106
Tabla 39	Potencial de corrosión del hormigón HE sin inhibidor expuesto al medio ambiente.....	108
Tabla 40	Potencial de corrosión del hormigón HE con inhibidor expuesto al medio ambiente.....	109
Tabla 41	Potencial de corrosión del hormigón GU sin inhibidor expuesto al medio ambiente	110
Tabla 42	Potencial de corrosión del hormigón GU con inhibidor expuesto al medio ambiente	111
Tabla 43	Potencial de corrosión del hormigón HE sin inhibidor expuesto al medio ambiente.....	112
Tabla 44	Potencial de corrosión del hormigón HE con inhibidor expuesto al medio ambiente.....	113
Tabla 45	Potencial de corrosión del hormigón GU sin inhibidor expuesto al medio ambiente	114

Tabla 46	Potencial de corrosión del hormigón GU con inhibidor expuesto al medio ambiente	115
Tabla 47	Corriente de corrosión en la probeta rectangular (HESI).....	119
Tabla 48	Corriente de corrosión en la probeta rectangular (HECI).....	119
Tabla 49	Corriente de corrosión en la probeta rectangular (GUSI).....	120
Tabla 50	Corriente de corrosión en la probeta rectangular (GUCI).....	120
Tabla 51	Velocidad de corrosión en la probeta rectangular (HESI).....	122
Tabla 52	Velocidad de corrosión en la probeta rectangular (HECI).....	122
Tabla 53	Velocidad de corrosión en la probeta rectangular (GUSI)	123
Tabla 54	Velocidad de corrosión en la probeta rectangular (GUCI).....	123
Tabla 55	Datos de difusión de cloruros.....	133
Tabla 56	Coeficiente de difusión de cloruros.....	134
Tabla 57	Coeficiente de difusión de cloruros HE.....	151
Tabla 58	Coeficiente de difusión de cloruros GU.....	152
Tabla 59	Comparación de Técnicas.....	155

INTRODUCCIÓN

El desarrollo científico y tecnológico de las edificaciones establecidas durante un largo tiempo de uso, hace necesario estudios importantes del comportamiento y diagnóstico de cómo actúa la corrosión dentro de las estructuras de las varillas de acero en los hormigones, para ello es fundamental emplear equipos de última tecnología que determinan la velocidad de corrosión y ayudan a verificar el estado de las varillas dentro de este tipo de edificaciones; y también el coeficiente de difusión de cloruro.

Los equipos que se utiliza en los respectivos ensayos son dos que se encuentran en el Laboratorio de Ensayos Meteorológicos y de Materiales (LEMAT); uno para laboratorio como el Potencio-Galvanostato y el otro para campo como el Gecor8.

El equipo de laboratorio utiliza la técnica resistencia de polarización, la cual es un ensayo no destructivo, mediante este equipo se obtiene valores diferentes que sirven para hallar la velocidad de corrosión; mientras que en el de campo se lleva un buen criterio de como se encuentra una estructura armada, debido a que se mide potencial electroquímico y resistividad eléctrica del hormigón, es por ello que se compara sus fortalezas y debilidades.

En el primer capítulo, se describen las características básicas de los cementos y sus aplicaciones en el ámbito de la construcción, además de los conceptos básicos de la corrosión que trabaja con la parte electroquímica para luego entrar a la parte cinética. A demás se detallan las variables que causan la corrosión en las estructuras de acero en los hormigones, constan condiciones de los aceros en los hormigones, el problema de las armaduras expuestas a diferentes atmósferas corrosivas, durabilidad de las armaduras en el hormigón y se detalla también el modelo de vida útil de Tutti en los hormigones.

En el segundo capítulo, se realiza la fabricación de las probetas, el ensayo de rotura por compresión, también las condiciones atmosféricas, las técnicas empleadas por los equipos y procedimientos, las normas usadas y también la determinación del coeficiente de difusión de cloruro con el objetivo de verificar el estado de las varillas en los hormigones.

En el tercer capítulo, se describe el análisis de los resultados de las probetas por medio de gráficas, también la comparación de las variables utilizadas para los equipos de medición, además saber el comportamiento de la corrosión en las estructuras de acero en los hormigones.

En el cuarto capítulo, se integran todos los datos de las diversas variables obtenidos del capítulo anterior y así conocer la aportación de los equipos en estudios de corrosión.

CAPÍTULO 1

1. LOS CEMENTOS Y LA CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS EN EL HORMIGÓN.

1.1 Los cementos, características y aplicaciones.

El cemento se elabora mediante las mezclas de varios productos como yeso, clinker y otras adicciones. El proceso de calcinación, de calizas y arcillas es obtenido en las canteras y trituradas junto al hierro para dar origen al clinker. Una vez producido, el cemento es almacenado y distribuido a los clientes en sacos de 50 kilos o al granel en gran parte de la industria cementera.

Todos los cementos en HOLCIM S.A cuentan con la norma vigente NTE INEN 2380 equivalente a la ASTM-C1157 (norma norteamericana) cuyo requisito prioritario es el desempeño de los

cementos hidráulicos al ser usados en hormigón. Esta norma moderna es aplicable a cementos tales como:

- Tipo GU (Uso General)
- Tipo HE (Alta Resistencia Temprana)
- Tipo HS (Alta Resistencia a los sulfatos)
- Tipo MH (Mediano calor de hidratación)
- Tipo LH (Bajo calor de hidratación)

Para este tipos de probetas se usará dos tipos de cemento, el HE (Alta Resistencia Temprana) y el GU (Uso General). ⁽¹⁾

Cemento HE

Este tipo de cemento hidráulico, tiene una característica de presentar altas resistencias a la compresión a edades tempranas. Es por ello que su adecuada formulación permite fabricar concretos de alta resistencia a la compresión inicial, esto es de gran utilidad ya que se puede retirar las formaletas en menor tiempo. Este cemento en el Ecuador, no está disponible en el mercado por lo que se están realizando las debidas pruebas y mejoras, para que este cemento al momento de ser comercializado cumpla con todos los estándares de calidad.

Aplicaciones

- Elementos prefabricados
- Pavimentos
- Columnas
- Muros
- Vigas, etc.

Cemento GU

Este tipo de cemento es de uso general, por su gran “durabilidad, resistencia y calidad” es ideal para todo tipo de construcción. Este tipo de cemento posee grandes características tales como:

- Reducir el calor de hidratación y por consiguiente, la tendencia a la fisuración.
- Mejora la trabajabilidad de las mezclas y reduce la segregación y exudación.
- Buen desempeño de fraguado y resistencia, adecuada para la construcción de edificaciones.
- Proporciona resistencia química moderada al agua de mar, difusión de cloruros y ataque de sulfatos, lo que aumenta su durabilidad.⁽¹⁾

Aplicaciones

- Albañilería en general
- Cimentaciones
- Columnas
- Vigas
- Pilares
- Losas
- Morteros
- Estabilización de suelos
- Vías
- Pisos industriales
- Tanques y canales de agua no residual, etc.

1.2 Fundamentos primarios de la corrosión.

Se denomina corrosión al ataque destructivo que sufre un material, generalmente metálico, por reacción química o electroquímica con su medio ambiente (atmósfera, suelo, agua, etc.).⁽²⁾

Además se puede definir a la corrosión como el proceso que tienden los materiales de abandonar el estado de transformación que el hombre los impuso, para regresar a su estado natural original. Este proceso de corrosión se debe a la interacción con

varios agentes que lo aceleran como: el agua, oxígeno, productos químicos o biológicos, temperatura y el cambio de la composición del material.

La corrosión de los materiales se puede hallar mediante ataque directo en seco u oxidación y en húmedo o electroquímica.

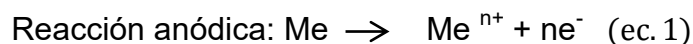
Corrosión electroquímica

Es un proceso natural que necesita de una zona anódica (la que sufre la corrosión), una zona catódica y un electrolito para que esta ocurra, también es imprescindible que exista buena conexión eléctrica entre ánodos y cátodos.

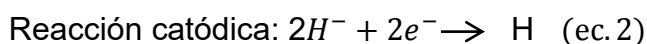
Si el metal no está sumergido o enterrado, es importante para que se de este tipo de corrosión con la atmósfera, se hace necesario que tenga una humedad relativa del 70%.

Un ejemplo de un proceso electroquímico es la disolución de un metal en un medio ácido. La gran cantidad de burbujas que aparecen sobre la superficie metálica indica la existencia de infinitos cátodos, mientras que los ánodos se van disolviendo en el metal.

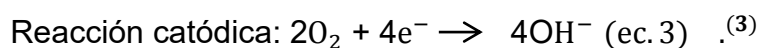
Por lo que sobre la superficie del metal, se generan dos zonas, de las cuales actuará como ánodo la zona donde se produzca la oxidación del metal:



Se liberan electrones que viajan de la zona anódica a la zona catódica a través del metal, donde reacciona a base de producir una disminución de alguna sustancia existente en el electrolito.



Y el oxígeno disuelto en el agua en medios alcalinos y neutros:



En la Figura 1.1 se observa liberando en la solución al metal ion M^{2+} y en los electrones viajando por el metal, e^- , que son consumidos por reducción de H^+ a H_2 .

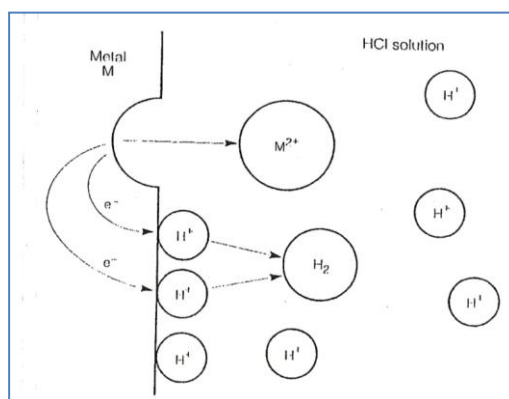


FIGURA 1.1: DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LA DISOLUCIÓN DEL METAL M. ¹

¹ Jones Denny A.; "Principles and prevention of corrosion": Chapter 1, Section 1.4, Figure 1.1: *Electrochemical Nature of Aqueous Corrosion*.

Sin embargo no todos los metales tienen la misma tendencia a oxidarse, ya que unos son más estables que otros, e incluso, hay algunos, como los metales nobles que se conservan indefinidamente en su forma elemental. La llamada “serie electroquímica de los metales” los ordena según su tendencia a oxidarse, como se muestra en la Tabla1.

TABLA 1
SERIE ELECTROQUÍMICA (POTENCIALES DE REDUCCIÓN).²

Elemento	Reacción de electrodos	Potencial de reducción E° en volts
Li	$\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Li}$	- 3,045
K	$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{K}$	- 2,925
Ca	$\text{Ca}^{+2} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ca}$	- 2,870
Na	$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Na}$	- 2,714
Mg	$\text{Mg}^{+2} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mg}$	- 2,370
Al	$\text{Al}^{+3} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Al}$	- 1,660
Zn	$\text{Zn}^{+2} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}$	- 0,763
Cr	$\text{Cr}^{+3} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cr}$	- 0,740
Fe	$\text{Fe}^{+2} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}$	- 0,440
Cd	$\text{Cd}^{+2} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cd}$	- 0,403
Ni	$\text{Ni}^{+2} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ni}$	- 0,250
Sn	$\text{Sn}^{+2} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Sn}$	- 0,140
Pb	$\text{Pb}^{+2} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pb}$	- 0,126
H ₂	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2$	0,000
Cu	$\text{Cu}^{+2} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	+ 0,337
I ₂	$\text{I}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{I}^-$	+ 0,535
Hg	$\text{Hg}^{+2} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Hg}$	+ 0,789
Ag	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag}$	+ 0,799
Br ₂	$\text{Br}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$	+ 1,080
Cl ₂	$\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$	+ 1,360
Au	$\text{Au}^{+3} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Au}$	+ 1,500
F ₂	$\text{F}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{F}^-$	+ 2,870

² Sebastián Candia; QUÍMICA 4M, Potenciales de electrodo estándar a 25 C., química 4m.blogspot.com

Al ponerse en contacto dos metales, uno se convertirá en anódico y el otro en catódico en función de su potencial de corrosión, según esta serie electroquímica.

1.2.1 Deterioro del acero en el hormigón.

La corrosión del acero en el hormigón es parte de un proceso electroquímico. Los potenciales electroquímicos que forman las pilas de corrosión y las causas que pueden dar lugar a la destrucción de la capa pasiva del acero se pueden generar de varias formas :⁽⁴⁾

- La presencia de una cantidad suficiente de cloruros (tanto porque se añadan durante el amasado como porque penetren desde el exterior).
- La disminución de la alcalinidad del hormigón por reacción con sustancias ácidas del medio.

Cuando no existe protección de esta capa pasiva, uno de los dos metales (o algunas partes del metal si sólo hay uno) se convierte en anódico y el otro en catódico (Figura 1.2).

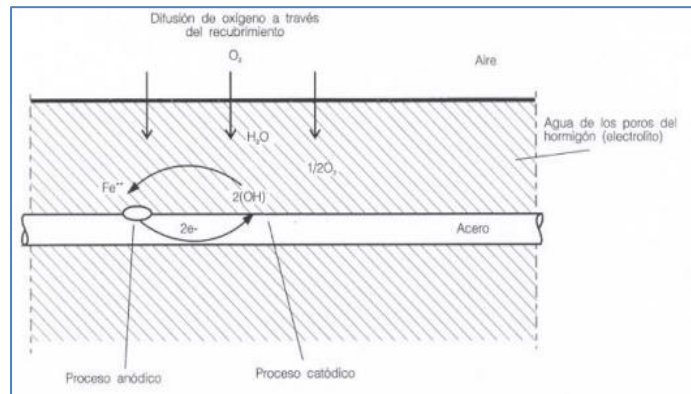


FIGURA 1.2: CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS EN EL HORMIGÓN MODELO SIMPLIFICADO.³

Pasivación del acero en el hormigón: el diagrama de Pourbaix

El diagrama de Pourbaix es un diagrama de equilibrio potencial/pH, en el que el eje de la abscisas representa los valores del pH de la solución, y el eje de ordenadas los valores del potencial del electrodo.

³ Gallido Estevez J.M.; " Los procesos de corrosión de las armaduras", Curso sobre durabilidad y reparación de estructura en hormigón, CEDEX, Madrid, 1998.

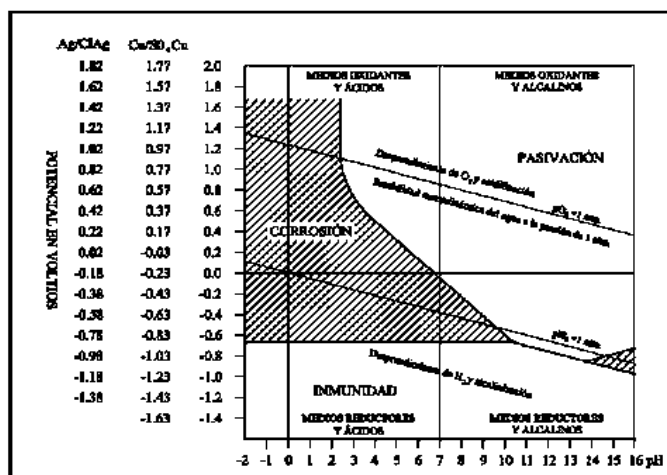


FIGURA 1.3: DIAGRAMA POTENCIAL-pH PARA EL HIERRO (FE).⁴

Este diagrama indica las regiones de "inmunidad", "corrosión" y "pasividad". Inmunidad indica que el metal no es atacado, mientras que en la corrosión se produce el ataque, y la pasivación se produce cuando el metal forma una capa estable de un óxido u otra sal en su superficie.

1.2.2 Durabilidad de las armaduras en el hormigón.

El hormigón armado con estructuras de varillas de acero, además de aportar con partes mecánicas, se demuestra que posee una durabilidad adecuada para la mayoría de los usos a los que se le ocupa. Es por ello que la durabilidad de las

⁴ Corrosión electroquímica; http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm/sec_6.htm.

estructuras de hormigón armado es la consecuencia natural de la acción protectora, de doble naturaleza, que el hormigón ejerce sobre el acero.

- Por una parte, el recubrimiento de hormigón supone una barrera física.
- Por otra, la elevada alcalinidad del hormigón desarrolla sobre el acero una capa pasivante que lo mantiene inalterado por tiempo indefinido.

La mezcla del agua con el cemento es importante porque da lugar a la hidratación de sus distintos componentes formando un aglomerado sólido, que está constituido por fases hidratadas del cemento y una fase acuosa que proviene del exceso de agua de amasado necesaria para la mezcla adecuada de todos sus componentes. El hormigón resultaría, un sólido compacto y denso, pero poroso. La red de poros es un entramado de canalículos y capilares, no siempre comunicados entre sí, pero que permiten que el hormigón presente una cierta permeabilidad a los líquidos y los gases. Así, aunque el recubrimiento de las armaduras supone una barrera física, ésta es permeable en cierta medida y permite el acceso de elementos agresivos hasta el acero.⁽⁵⁾

La alcalinidad del hormigón está basada principalmente al hidróxido cálcico que se forma durante la hidratación de los silicatos del cemento y a los álcalis que puedan estar adheridos como sulfatos en el Clinker. Es por ello que se ubica el pH de la fase acuosa contenida en los poros en valores entre 12,5 y 14, es decir, en el extremo donde hay más alcalinidad de la escala de pH. A estos valores de pH en presencia de una cierta cantidad de oxígeno, el acero de las armaduras se encuentra por lo general en forma pasiva, es debido a esto que forma la capa de óxido transparente, compacta y continua que lo mantiene protegido por períodos indefinidos aún en presencia de humedades elevadas en el hormigón. En la Figura 1.4 se visualizará la situación habitual de las armaduras embebidas en hormigón .⁽⁶⁾

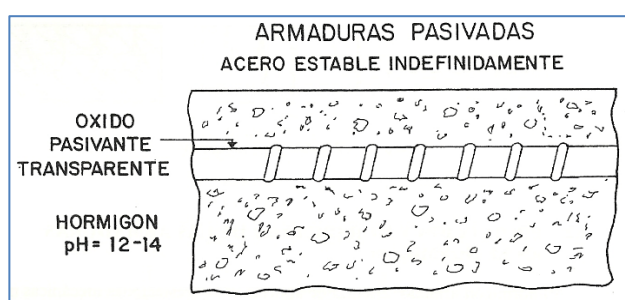


FIGURA 1.4: ARMADURAS EMBEBIDAS EN UN HORMIGON SIN CONTAMINAR.⁵

Miguel Angel Climent Lorca, Pedro Garcés, Emilio Gómez; "Corrosión de armaduras en estructura de hormigón armado": Capítulo 2, Introducción, Figura 2 Estado natural de la armadura en el hormigón.

1.2.3 Modelo de vida útil de Tutti.

Existen varias definiciones que se entiende por vida útil. Una forma clara y concisa es aquella que durante el cual la estructura mantiene todas las características mínimas de funcionalidad, resistencia y apariencias externas forzadas.

Enlazando con el probable ataque de corrosión en las armaduras, Tutti propuso un modelo simplificado que se muestra en la Figura 1.5. En esta se representa en el eje de las abscisas el tiempo y en el eje de las ordenadas el grado de deterioro.

Tutti divide a la vida útil de las armaduras en dos períodos. El período de iniciación que es el tiempo necesario que tardará el cloruro en atravesar el recubrimiento, alcanzar la armadura y provocar su despasivación, y un período de tiempo de propagación que comprende una acumulación progresiva del deterioro, hasta que alcanza un nivel inaceptable del mismo. Este modelo es, por el momento, puramente cualitativo, aunque por su simplicidad descriptiva, es muy citado en la durabilidad para los procesos de corrosión.⁽⁶⁾

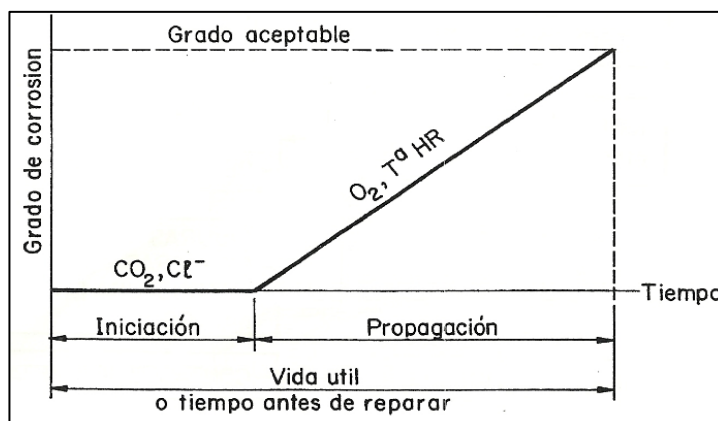


FIGURA 1.5: MODELO DE VIDA ÚTIL DE TUTTI.⁶

Cuando existe la presencia de cloruros y reducción de la alcalinidad son variables que actúan durante el período de iniciación (factores desencadenantes). Una vez que alcanzan la armadura, los factores que inciden en el período de propagación sea más o menos rápida, son el contenido de humedad y oxígeno (factores acelerantes) que rodean a la armadura.

Modelo matemático para la Penetración de Cloruros

En el estudio de penetración de cloruros es importante hacer el estudio de la Instrucción EHE norma española que

⁶ C Andrade; "Manual de inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras": Capítulo 1, Sección 1.3 Vida Útil, Figura 1.6 Modelo de vida útil de Tutti, Madrid, 1986.

regulariza los tiempos de iniciación y la estimación de la vida útil .⁽⁷⁾

Período de iniciación

El período de tiempo necesario para que se produzca una concentración de cloruros C_{th} a una distancia d respecto a la superficie del hormigón puede estimarse con la siguiente expresión:

$$t = \left(\frac{d}{K_{Cl}} \right)^2 \quad (\text{ec. 4})$$

Donde:

d : Profundidad, en mm.

t : Tiempo, en años.

El coeficiente de penetración de cloruros K_{Cl} tiene la siguiente expresión:

$$K_{Cl} = \alpha \sqrt{12 D(t)} \left(1 - \sqrt{\frac{C_{th} - C_o}{C_s - C_o}} \right) \quad (\text{ec. 5})$$

Donde:

α : Factor de conversión de unidades que vale 56157.

$D(t)$: Coeficiente de difusión efectivo de cloruros, para la edad t , expresado en cm^2/s .

C_{th} : Concentración crítica de cloruros, expresada en % en peso de cemento.

C_s : Concentración de cloruros en la superficie del hormigón, expresada en % en peso de cemento.

C_o : Contenido de cloruros aportado por las materias primas (áridos, cemento, agua, etc.), en el momento de fabricación del hormigón.

La concentración crítica de cloruros (C_{th}) en condiciones normales, puede adoptarse un valor del 0,6% del peso de cemento en relación con la corrosión de las armaduras pasivas. En el caso de las armaduras activas pretensas, puede adoptarse un valor límite de C_{th} de 0,3% del peso de cemento.

Período de propagación

La etapa de propagación se considera concluida cuando se produce una pérdida de sección de la armadura inadmisibles o cuando aparecen fisuras en el recubrimiento de hormigón. El

período de tiempo para que se produzca puede obtenerse de acuerdo con la siguiente expresión:

$$t_p = \frac{80 \times d}{\phi \times V_{corr}} \quad (\text{ec. 6})$$

Donde:

t_p : Tiempo de propagación en años.

d : Espesor de recubrimiento en mm.

ϕ : Diámetro de la armadura en mm.

V_{corr} : Velocidad de corrosión en $\mu\text{m/año}$.

Estimación de la vida útil debida a la corrosión de las armaduras.

El tiempo total, suma del período de iniciación y el de propagación de la corrosión, en el caso de la corrosión por cloruros será:

$$t_L = t_i + t_p = \left(\frac{d}{K}\right)^2 + \frac{80 \times d}{\phi \times V_{corr}} \quad (\text{ec. 7})$$

1.2.4 Método cinético para determinar la velocidad de corrosión.

En los procesos electroquímicos, la velocidad de corrosión viene dada por la corriente. Debido a esto se determinará el estado de las estructuras y saber cómo se está corroyendo.

Existen 3 métodos para determinar la velocidad de corrosión en las estructuras de acero.

El gravimétrico, es el método mediante el cual se determinará la velocidad global o promedio mediante pérdida de peso, por medio de experimentos con probetas sumergidas en un electrolito durante un período determinado y electroquímico; otro método importante es el método de la resistencia de polarización y el otro método de extrapolación de Tafel, con estos métodos se puede determinar la velocidad de corrosión. En esta clase de trabajo se usará el “Método de Resistencia de Polarización” para ello se necesitará la corriente de corrosión con ayuda de equipos uno para campo y otro para laboratorio y se calculará la velocidad de corrosión. Por medio de la “Ley de Faraday” se hallará la velocidad de corrosión a partir de la corriente de corrosión.⁽³⁾

$$W = \frac{Itm}{zF} \quad (\text{ec. 8})$$

Donde

F: Constante de Faraday (96500Coulombs/equivalente).

z: Número de electrones involucrados en la reacción electroquímica.

m: Peso atómico en g/mol.

t: Tiempo en segundos.

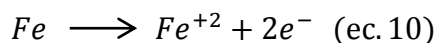
I: Corriente en Amperios.

Dividiendo la ecuación 8 para el tiempo t y área superficial A_s , se obtiene la tasa de corrosión r:

$$r = \frac{W}{t A_s} = \frac{im}{zF} \left[\frac{g}{m^2 s} \right] \quad (\text{ec. 9})$$

Donde i es la densidad de corriente (I/ A_s) en A/m².

La reacción anódica del acero, se obtiene de la Tabla 1.



A partir de ecuación 10, se obtiene el número de electrones involucrados en la reacción electroquímica $z = 2$ y el peso atómico del hierro es $m = 55.8$ g/mol. Mediante el reemplazo de los valores en la ecuación 9 y al dividir la expresión para

la densidad del acero $\delta=7.87 \text{ g/m}^3$, se obtiene la velocidad de corrosión, V_{corr} , como se muestra a continuación:

$$V_{\text{corr}} = \frac{i_m}{\delta z F} = \frac{55.8 i}{7.87 \times 2 \times 96500} = 3.67 \times 10^{-5} \times i \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$V_{\text{corr}} = 3.67 \times 10^{-5} \times i \left[\frac{m}{s} \times \frac{3600 s}{1 h} \times \frac{24 h}{1 \text{ día}} \times \frac{365.25 \text{ día}}{1 \text{ año}} \right]$$

$$V_{\text{corr}} = 1158 \times i \left[\frac{m}{\text{año}} \right] \text{ (ec. 11)}$$

Algunas veces, la densidad de corriente i no siempre está expresada en A/m^2 sino en $\mu A/cm^2$; teniendo en cuenta i_{corr} como densidad de corriente de la corrosión, se halla que la velocidad de la corrosión es:

$$V_{\text{corr}} = 0.0116 \times i_{\text{corr}} \left[\frac{mm}{\text{año}} \right] \text{ (ec. 12)}$$

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

1.2.4.1 Resistencia a la polarización.

La resistencia a la polarización (R_p) o polarización lineal es una de las técnicas electroquímicas que ha sido desarrollada por Stern-Geary, se utiliza con la

ayuda de herramientas experimentales, además aporta información mecanística que trabaja con instrumentación cara. Esta técnica se basa en la medición de la corriente entre el electrodo de trabajo y el contraelectrodo, esto corresponde a una pequeña modificación del potencial a partir del potencial de corrosión.

También se debe tomar registros de potenciales pequeños y respuestas de corriente, debido a esto se tiene una relación lineal entre 2 variables. Se calcula una resistencia llamada “Resistencia a la Polarización” que se interpreta como el comportamiento resistivo de la interfase metal-solución, que para un control activacional coincida con la resistencia de la transferencia de carga (R_{tc}) de la doble capa electroquímica. La linealidad entre cambios de potencial y corriente, es vinculada por la ecuación de Stern-Geary donde la corriente de corrosión es inversamente proporcional a la resistencia a la polarización: ⁽⁸⁾

$$i_{\text{corr}} = \frac{B}{R_p} \quad (\text{ec. 13})$$

Con:

$$B = \frac{b_a b_c}{2.303 (b_a + b_c)} \quad (\text{ec. 14})$$

b_a : Pendiente de Tafel anódica.

b_c : Pendiente de Tafel catódica.

R_p : Resistencia de Polarización.

i_{corr} : Densidad de corriente de corrosión.

El valor de R_p que se obtendrá no es completo, puesto que el valor de R_p será corregido restándole el valor de resistencia del electrolito R_Ω . La magnitud B en la ecuación 13 es una simple función de las pendientes de Tafel. Se toma los valores de la magnitud de B para el sistema acero-hormigón, $B=0,26$ V para el acero en estado activo y $B= 0,52$ para estado pasivo.

1.2.5 Resistividad del hormigón.

Una de las variables que también tiene rol protagónico en la corriente de corrosión es la resistividad eléctrica que tiene el hormigón, puesto que destruye la pasividad del acero, a su vez es función directa del contenido de humedad, la

resistividad permite establecer la porosidad de los hormigones y la durabilidad de cada probeta, la relación entre la intensidad de corriente y la resistividad del hormigón. Cuando hay valores de i_{corr} menores que $0,1-0,2 \text{ [}\mu\text{A/cm}^2\text{]}$ la corrosión es insignificante (está presente en hormigones secos, con alta resistividad); valores de hasta $10 \text{ [}\mu\text{A/cm}^2\text{]}$ se pueden medir en hormigones carbonatados húmedos aunque no saturados; y en hormigones contenidos en medios cloruros; las velocidades de corrosión generalmente están entre 10 y $100 \text{ [}\mu\text{A/cm}^2\text{]}$. Los valores dados en ASTM C876 son útiles para evaluar el estado de corrosión en el acero. La relación resistividad del concreto y corrosión, se muestra en la Tabla 2.

TABLA 2
VALORES LÍMITES DE LA RESISTIVIDAD.⁷

Resistividad (K Ω .cm)	Tasa posible de corrosión
>100-200	No se puede distinguir entre el acero activo o pasivo – corrosión insignificante, hormigón muy seco
50-100	Tasa baja de corrosión.
10-50	Corrosión moderada a alta donde el acero esta activo
<10	La resistividad no es el parámetro que controla la corrosión.

⁷ Ryan C. Dunn, Guy D Davis and Robert Ross; "Corrosion Monitoring of Steel Reinforced Concrete Structures Using Embedded Instrumentation", NACE Paper No. 10173, 2010.

1.3 El problema de la corrosión en las armaduras de acero expuestas a atmósferas corrosivas.

Sin duda alguna en los últimos años se ha dado gran atención a los cada vez mayores problemas que presenta la corrosión metálica, provocados por el progresivo deterioro del medio ambiente en todo el mundo. Numerosos trabajos han puesto de relieve la influencia de la contaminación atmosférica, especialmente en zonas urbanas e industriales, sobre la velocidad de corrosión de diferentes materiales. Los estudios han incidido en la relación que la contaminación del medio ambiente ejerce sobre la corrosión. En cambio, se ha dedicado mucha menos atención a la relación inversa, el efecto que la corrosión tiene sobre el medio ambiente, esto podría ser debido a que la acción de la corrosión sobre el medio ambiente suele presentarse de una manera menos general, con efectos más puntuales, tanto en su localización como en el tiempo, si bien casi siempre revestidos de gravedad. Por otra parte, la misma naturaleza de este tipo de problemas hace que en ellos se encuentren comprometidos técnicos como ingenieros de proceso o jefes de seguridad, la mayoría de las veces poco interesados en los fenómenos de corrosión, es por ello que se debe tomar muy en cuenta el estudio minucioso de los fenómenos que ocurren en la corrosión.

1.3.1 Degradación del hormigón expuesto al ambiente marino.

El ambiente marino se presentará en diversos grados de agresividad para las estructuras de hormigón armado, según la Instrucción EHE española, clasifica el grado de agresividad mediante diferentes zonas:

- Zona aérea.- situada por encima del nivel del mar y con un nivel de influencia hasta 5 Km de la línea costera.
- Zona de marea.- es la zona de carrera de mareas.
- Zona sumergida.- la situada por debajo del nivel mínimo de bajamar. .⁽⁷⁾

Mecanismos de transporte

Los mecanismos de transportes se origina por medio de la penetración de cloruros estos son: permeabilidad, capilaridad, absorción, y difusión. La permeabilidad es un mecanismo de transporte muy rápido, mientras que en la difusión es mucho más lento. La importancia relativa de cada mecanismo de penetración es dada por las condiciones de exposición, el contenido de humedad del hormigón y la estructura de poros:

- En un hormigón situado en zona atmosférica, generalmente es ocasionado por varios agentes contaminados como: gases, agua o sustancias disueltas en el ambiente, el aire contaminado es altamente corrosivo que permite el deterioro de la estructura, esto se puede ver en las edificaciones.
- En un hormigón en zona de carrera de marea o de salpicaduras, establecido mediante agua de lluvia o por salpicadura de agua, también por la salinidad es considerado como una zona muy agresiva para los metales por medio de la acción de los iones de cloruro presentes en el agua de mar llevan de forma más rápida a disminuir la vida útil de la estructuras.
- En un hormigón en zona sumergida, la penetración de agua con iones de cloruro se origina por succión capilar, la cual acelera la destrucción de las estructuras por ataque corrosivo y la falta de oxígeno en las edificaciones son fallas generalmente ocasionados cuando están sumergidas.

Modelizacion

Se ejecutará la penetración de iones de cloruros, debido a esto se estudia diferentes leyes y no solo la de difusión, se aplicará la segunda “Ley de Fick” de difusión para saber el grado de concentración de iones de cloruros simulando ambiente marino (zonas atmosféricas, de carrera de mares, de salpicaduras o sumergida). Debido a una interacción compleja de mecanismos (absorción,difusión,fijación), el coeficiente de difusión D no es “real” y es considerado como un coeficiente de difusión “aparente”.

Dependiendo de las condiciones de exposición del hormigón y su contenido de humedad, dominará el mejor mecanismo, cambiando la velocidad de ingreso del fluido (agua con iones de cloruro en este caso) en el material y cambiando la durabilidad del ciclo de "incubación" en el deterioro de las probetas.

Se realizará el estudio de los ciclos de humedecimiento y secado de los ambientes marinos y el agua de mar, en el medio ambiente se promueve la acumulación de iones de cloruro en las superficies de hormigón. Es por ello que en

superficie real se encuentra retenida la mayor parte de iones de cloruros.

Será posible medir la concentración de iones de cloruro en un hormigón, en un cierto tiempo determinado, usando el modelo matemático de la segunda “Ley de Fick” ecuación 15, que se establecerá en forma de ecuación diferencial. La forma básica de esta “Ley de Difusión” se representa en la siguiente ecuación:

$$\frac{dC}{dt} = D \left(\frac{d^2C}{dx^2} \right) \quad (\text{ec. 15})$$

Donde:

C: Concentración de la sustancia (para iones de cloruro).

D: Coefeciente de difusión de iones de cloruro en el hormigón.

t: Tiempo.

x: Profundidad de penetracion a la que se hace el analisis.

Con la experimentación en hormigones se podrá medir las concentraciones de iones de cloruro presentes a varias

profundidades de penetración y mediante la solución del modelo matemático planteado para procesos de difusión.

1.3.2 Incidencia de los medios atmosféricos en las varillas embebidas en el hormigón.

El hormigón embebido por estructuras de acero es uno de los materiales más utilizados en la construcción, es por ello que en gran parte es susceptible a la corrosión. El problema del deterioro de las estructuras de hormigón debido a procesos de corrosión es serio y de implicaciones económicas mayores. La habilidad para evaluar la corrosión de las varillas de refuerzo en estructuras y poder estimar la vida en servicio remanente es tema de estudio en el ámbito mundial, además se requerirían el uso de equipos con tecnología de punta para establecer el estado de los hormigones.

El acero en el hormigón se encontraría usualmente en condición pasiva, no corroído. Sin embargo, el hormigón reforzado con acero es frecuentemente utilizado en ambientes severos donde está presente el agua de mar o las sales de deshielo. Cuando los cloruros se mueven dentro del

hormigón, provocarían la ruptura de la capa pasiva de la protección del acero.

El hormigón en condiciones normales es capaz de proporcionarle al refuerzo la protección contra la corrosión por su elevada alcalinidad, formando sobre la superficie del acero una película delgada, continua y adherente, la cual previene la disolución del hierro como se muestra en la Figura 1.6.

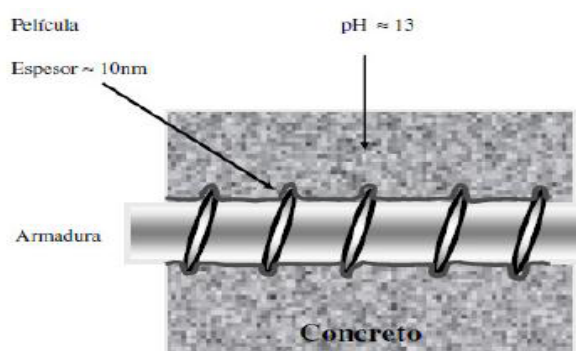


FIGURA 1.6: ESQUEMA DE LA PELÍCULA PROTECTORA SOBRE LA ARMADURA DE ACERO.⁸

Sin duda, la durabilidad de las estructuras de hormigón armado se reduce al romperse la capa protectora de la armadura de acero, mediante esto inicia el ataque para por corrosión.

⁸ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luís Potosí, Dr. Manuel Nava 8, C.P. 78290, San Luís Potosí, México.

CAPÍTULO 2

2. ENSAYOS EXPERIMENTALES PARA DETERMINAR VELOCIDAD DE CORROSIÓN EN VARILLAS EMBEBIDAS EN HORMIGONES

En el presente capítulo se describe el orden metodológico, para lo cual se construyeron hormigones con una misma relación agua cemento lo cual fue realizado en el centro técnico del hormigón en la empresa HOLCIM.S.A. Este hormigón servirá para los ensayos electroquímicos que están divididos en dos grandes grupos. El primer grupo destinado a los ensayos de laboratorio con el tipo Potencio-Galvanostato que sirve para hacer ensayos de predicción de velocidad de corrosión de técnicas electroquímicas. Y el otro grupo destinados para los ensayos de campo empleando el equipo que recientemente fue adquirido por el LEMAT, que es el Gecor8. A continuación se describen los ensayos que fueron realizados para proceder con la investigación.

2.1 Fabricación de probetas de hormigón armado.

Las probetas empleadas en el presente trabajo, están constituidas:

a) Por cubos de hormigón de 10 cm de lado que contienen 4 barras de 10 mm de diámetro, dos barras de acero de ASTM A-42 y dos barras de acero AISI 304 de 10 mm de diámetro posicionadas en sus vértices de manera de obtener un espesor de recubrimiento de 10 mm. Estas probetas Figura 2.1, fueron usadas para el análisis con el Potencio-Galvanostato y NILSSON 400, expuestas a medio ambiente y simulando un ambiente marino.

b) Por probetas rectangulares de 20 x 25 x 100 cm de profundidad que contienen 8 barras de acero ASTM A-42 y una lámina de Titanio que actúa como electrodo de referencia. Estos tipos de probetas fueron usadas para el análisis con el GECOR8 expuestas solo en medio ambiente. Figura 2.8.

c) Probetas cilíndricas de $\varnothing$ 10 x 20 [cm] Figura 2.13:

- Seis probetas para ensayo de compresión.
- Seis probetas para determinación del coeficiente de difusión de cloruros.

Fabricación de las probetas cúbicas

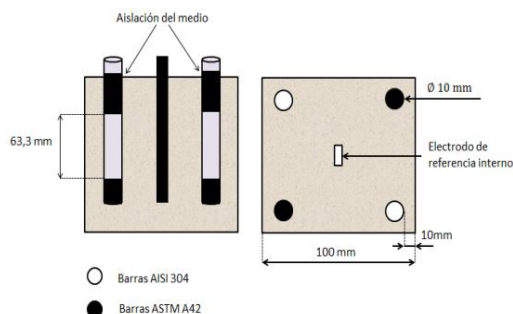


FIGURA 2.1: PROBETAS CÚBICAS DE HORMIGÓN CON BARRAS DE ACERO.

Estas probetas cúbicas contienen un electrodo de referencia interno de Titanio colocado en su centro para facilitar la ejecución de ensayos electroquímicos. El área lateral expuesta de las barras en contacto con el cemento es de 20 cm².

Estas cuatro barras ubicadas en el vértice fueron aisladas con cinta, para obtener resultados con mayor precisión y no exista contacto entre las varillas.

Para la elaboración de la armadura de las probetas, se tomaron barras lisas de sección redonda AISI 304 y ASTM A-42 de 10 mm de diámetro y se cortaron tramos de 1100 mm de longitud.

Luego se procedió a lijar las barras usando papel abrasivo de grano # 280, para eliminar todo tipo de impurezas y óxidos presentes en el

material. Luego con alcohol y algodón se procedió a desengrasar las mismas. Después de haber limpiado las barras con alcohol, se procedió a dejar en cada barra un área expuesta de 20 cm² cubriendo el resto de la barra con cinta aislante. Uno de los extremos de la barra se dejó libre de cinta ya que sobresaldrá del cemento para colocar sobre esta área expuesta un terminal eléctrico para el uso con el equipo Potencio-Galvanostato.

Luego se procedió a cortar el electrodo de referencia (Titanio) en secciones de 11 cm. Este electrodo va empotrado en el centro del cubo, equidistante de las cuatro barras que lo rodearán. En la Figura 2.2 se puede ver los materiales empleados para la construcción de estas probetas cúbicas.



FIGURA 2.2: BARRAS DE ACERO AISI 304 (INFERIOR IZQUIERDA), ASTM A-42 (INFERIOR DERECHA) Y ERI (TITANIO) (PARTE SUPERIOR).

Luego de tener todos los materiales listos, se procedió a la construcción de tablas de madera de 10 x 10 cm para el molde metálico, con sus agujeros respectivos en donde fueron colocadas las barras y el electrodo de referencia interna, tal como se muestra en la Figura 2.3.



FIGURA 2.3: TABLA DE MADERA DE 10 x10 cm ANTES DE SER COLOCADO EN EL MOLDE METÁLICO.

Una vez que las barras fueron colocadas en sus respectivos agujeros se procedió a colocar a esta, en los moldes metálicos tal como se muestra en la Figura 2.4.



FIGURA 2.4: MOLDE LISTO PARA LA COLADA DEL CEMENTO. CADA MOLDE ESTÁ PREPARADO PARA COLAR DOS PROBETAS.

A demás se procedió a la elaboración de la mezcla utilizada, cuya característica de dosificación por m^3 se resume en la Tabla 3.

TABLA 3
DOSIFICACIÓN DEL CEMENTO POR m^3

Tipo	Dosificación por m^3					
	Cemento [Kg]	Piedra caliza $\frac{3}{4}''$ [Kg]	Arena de río [Kg]	Agua [Kg]	Relación a/c	Inhibidor MCI 2006 Ns [Kg]
GU/HE (sin inhibidor)	418	940	724	240	0,57	-----
GU/HE (con inhibidor)	418	940	724	240	0,57	0,6

Una vez que se detalla las cantidades en la dosificación por m^3 , se procede al llenado del cemento en los moldes, para luego poner estos moldes metálicos en una “mesa vibradora” para que el cemento ubique todo el volumen del molde. Figura 2.5

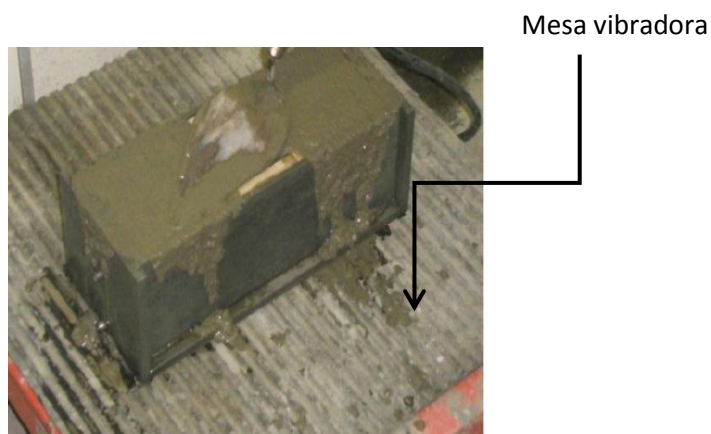


FIGURA 2.5: MOLDE COLOCADO EN LA MESA VIBRADORA PARA EL ESPARCIMIENTO UNIFORME DEL CEMENTO.

Una vez que la mesa vibradora realizó su función, se cubrieron los moldes con un film de polietileno para evitar pérdida de humedad. Así las probetas quedaron listas para el proceso de curado. Figura 2.6.



FIGURA 2.6: PROBETAS LISTAS PARA EL PROCESO DE CURADO.

En la Figura 2.7 se puede ver una de las probetas terminada.



FIGURA 2.7: PROBETA CÚBICA DE HORMIGÓN ARMADO TERMINADA.

Fabricación de las Probetas Rectangulares

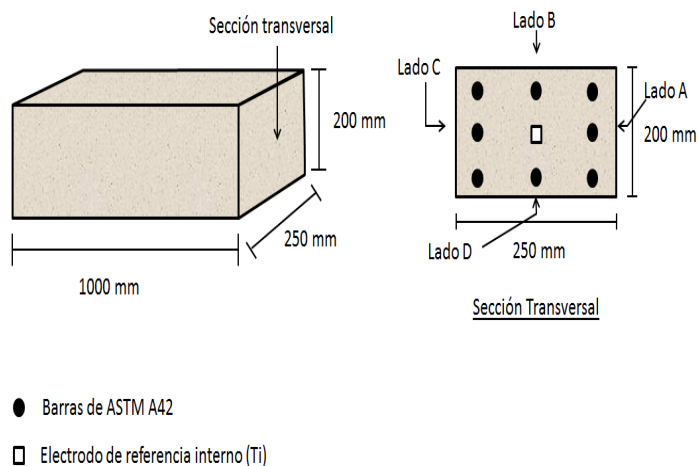


FIGURA 2.8: PROBETAS RECTANGULARES DE HORMIGÓN CON BARRAS DE ACERO.

Estas probetas rectangulares contienen un electrodo de referencia interno de Titanio para la facilitación de medir los potenciales de corrosión con el multímetro.

Para la elaboración de la armadura de las probetas, se tomaron ocho barras corrugadas ASTM A-42 de 10 mm de diámetro. Se seleccionaron estas 8 barras por probeta para que existan 3 barras por lado y facilitar la toma de lectura de los potenciales de corrosión durante los 3 meses de exposición al medio ambiente.

Para la confección de estas probetas se construyó moldes de madera donde fue vertida la colada de cemento. Se fabricaron

moldes de madera desarmables de dimensiones 200x250x1000 mm para la facilidad de volver a colar el cemento en los mismos. Se puede ver en la Figura 2.9 del lado izquierdo el molde de madera armado, y del lado derecho se observa el molde de madera desarmado. La unión de las piezas se hacía posible con mariposas de ajuste metálico.



FIGURA 2.9: MOLDES DE MADERA ARMADO Y DESARMADO.

Una vez que se construyeron los moldes de madera, se armaron 4 estructuras de acero, con sus respectivos estribos para luego ser colocados en los moldes de madera tal como se muestra en la Figura 2.10.



FIGURA 2.10: ESTRUCTURA DE ACERO ARMADO EN SU RESPECTIVO MOLDE DE MADERA.

Luego de colocar cada estructura de acero armado en su respectivo molde, a medida que se vertía el cemento, se utilizó una pala vibradora para que la distribución del cemento sea uniforme en todo el volumen del molde tal como se muestra en la Figura 2.11.



FIGURA 2.11: PALA VIBRADORA PARA LA DISTRIBUCIÓN UNIFORME DEL CEMENTO EN EL MOLDE.

Una vez que la “pala vibradora” realizó su función, se cubrieron los moldes con un film de polietileno para evitar pérdida de humedad. Así las probetas quedaron listas para el proceso de curado.

En la Figura 2.12 se puede ver una de las probetas terminada.



FIGURA 2.12: PROBETA RECTANGULAR DE HORMIGÓN ARMADO TERMINADA.

Fabricación de las probetas cilíndricas

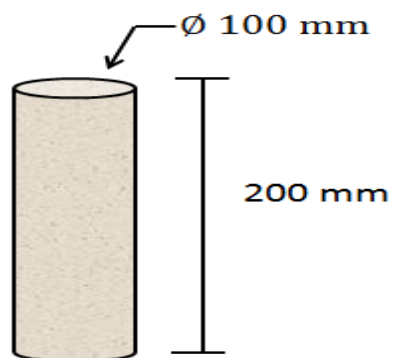


FIGURA 2.13: PROBETA CÚBICA UTILIZADAS EN EL ENSAYO DE COMPRESIÓN Y DIFUSIÓN DE CLORUROS.

Estas probetas cilíndricas de $\varnothing$ 100 x 200 mm fueron elaboradas en moldes metálicos facilitados por HOLCIM S.A. Una vez que la mezcla del cemento estaba lista, se procedió a vertirlo en el molde metálico, con una espátula metálica y mesa vibradora se procedió a distribuir el cemento uniformemente dentro del molde. Figura 2.14.



FIGURA 2.14: MOLDE COLOCADO EN LA MESA VIBRADORA PARA EL ESPARCIMIENTO UNIFORME DEL CEMENTO.

Una vez que la “mesa vibradora” realizó su función, se cubrieron los moldes con un film de polietileno para evitar pérdida de humedad. Así las probetas quedaron listas para el proceso de curado. Figura 2.15.



FIGURA 2.15: PROBETAS LISTAS PARA EL PROCESO DE CURADO.

Para identificar cada probeta se utilizaron códigos para las dos 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
HE	CEMENTO HE	MEZCLA
GU	CEMENTO GU	
C/ SI	CON INHIBIDOR/SIN INHIBIDOR	
RC	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	ENSAYO
D	DIFUSIÓN	
RP	RESISTENCIA DE POLARIZACIÓN (Rp)	
GR	GECOR	
RE	RESISTENCIA	
S	INMERSIÓN EN SAL	MEDIO
N	NATURAL	
	NÚMERO DE PROBETA	NÚMERO

2.2 Ensayo de rotura por compresión.

Existe una parte importante cuando se elaboran hormigones, es analizar mediante pruebas la resistencia a la compresión, ya que de manera general si se realiza el estudio de la estructura del hormigón armado siempre está sometido a estos esfuerzos, es por ello que se evalúa el comportamiento de la resistencia de los hormigones.

Si se requiere llevar adelante este tipo de análisis es útil tener varias probetas a disposición, en este caso se trabaja con dos tipos de cemento GU y HE, se destinaron 6 probetas cilíndricas para cada tipo de cemento, en la prueba de resistencia se trabajó respectivamente a los 7, 14 y 28 días, tiempo en que el hormigón se encuentra en límite aceptable de resistencia a la compresión. Esto bajo la norma ASTM C39M, el cual rige que el método de ensayo trata sobre la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

Cuando se elaboraron las probetas se esperó cierto tiempo necesario de 24 horas después de fundir las mezclas, se colocaron mezcla en moldes cilíndricos normalizados, luego se desmoldan y se efectuó el respectivo traslado de las probetas al laboratorio de curado, para el proceso de transporte y manipuleo se requieren

ubicar bien las probetas para evitar golpes y pérdidas de humedad, así como variaciones grandes de temperatura, en el momento de ser ubicado en el laboratorio de curado, las probetas deben estar en condiciones a temperatura de 23°C en una piscina de agua saturada con cal que cubra totalmente hasta el momento del ensayo respectivamente.

El primer ensayo a la compresión se lo realiza a los 7 días de curado, se procede a retirar 2 probetas de cada tipo de cemento (GU y HE), estas probetas se colocan en un banco de prueba diseñados para el efecto, para ello se somete a la probeta a un ensayo destructivo variando de forma progresiva una carga de compresión hasta que la probeta sufra una rotura.

El valor de la resistencia corresponde a lectura que muestra el equipo al momento de la rotura, dos probetas de cada cemento de iguales características y se tomó como referencia la media entre los dos valores obtenidos. Para esta parte se alista de manera puntual el equipo con sus rangos respectivos mediante valores puntuales referentes a la probeta de ensayo tales como dimensiones y peso.

Para el trabajo de las siguientes pruebas que corresponden a los 14 y 28 días de curado se retiraron de igual forma, para ser sometidas a rotura y determinar dichos valores Figura. 2.16.



FIGURA 2.16: ESQUEMA DE ENSAYO DE ROTURA POR COMPRESIÓN.

Para esta clase de trabajo es importante que las probetas cumplan las normas requeridas, debido a que las probetas son utilizadas para las pruebas de rotura por compresión, en el caso de que exista errores en la preparación de las probetas cilíndricas, se debe tener en cuenta detalles minuciosos para tener una gran calidad de probetas.

Si una probeta cilíndrica posee un bajo nivel de resistencia a la rotura, uno de los factores que puede originar esto, es la mala distribución de la mezcla dentro del molde cilíndrico.

Resultados

Cemento GU

A continuación se establece el comportamiento de la resistencia a la compresión comparando con el tiempo en días para el cemento GU Figura 2.17.

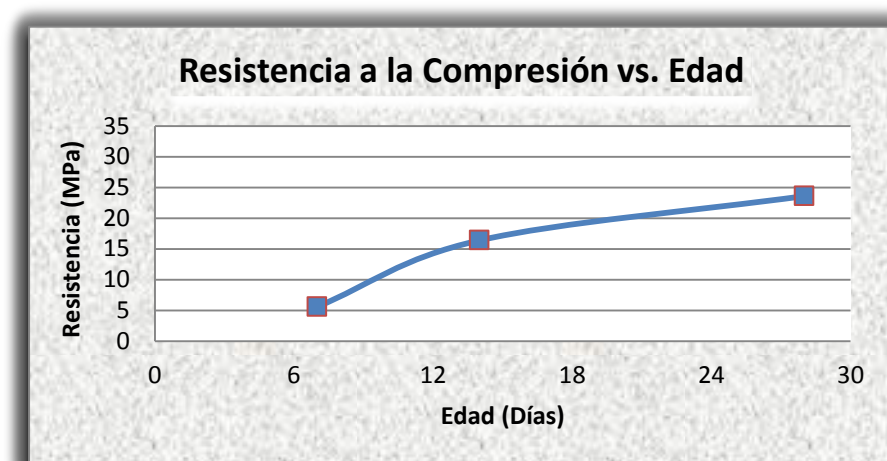


FIGURA 2.17: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS. TIEMPO CEMENTO GU.

TABLA 5

VALORES DE EDAD Y RESISTENCIA EN EL CEMENTO GU

CEMENTO GU	
Edad	Resistencia (MPa)
7	5,6
14	16,4
28	23,6

Cemento HE

A continuación se establece el comportamiento de la resistencia a la compresión comparando con el tiempo en días para el cemento HE Figura 2.18.

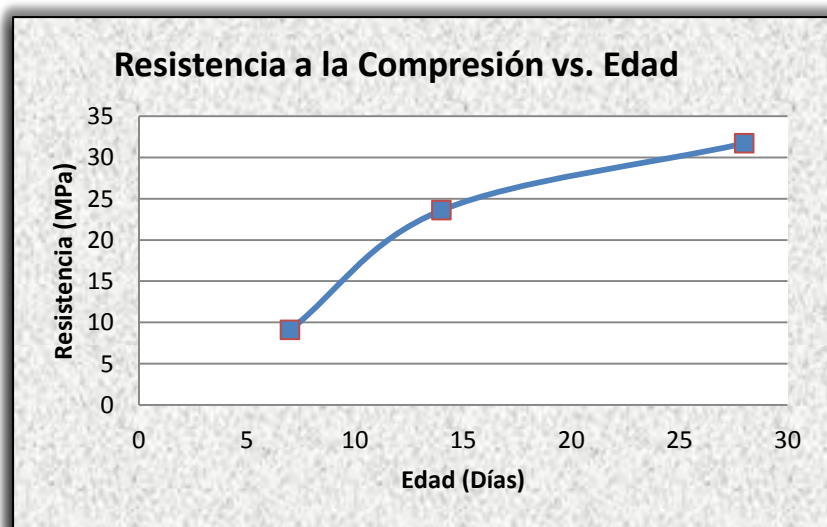


FIGURA 2.18: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS. TIEMPO CEMENTO HE.

TABLA 6

VALORES DE EDAD Y RESISTENCIA EN EL CEMENTO HE.

CEMENTO HE	
Edad	Resistencia (MPa)
7	9,1
14	23,6
28	31,7

Estos resultados obtenidos, sirve para indicar el comportamiento de cada tipo de cemento utilizado en el ensayo, se observa que el cemento HE presenta mayor resistencia al final de los 28 días, sin mayor diferencia de resistencia respecto al cemento GU.

2.3 Condiciones de exposiciones de los hormigones.

Las probetas están listas una vez que se retiran del molde y terminan el tiempo ideal de curado, estas probetas son sometidas a las respectivas condiciones de exposición.

2.3.1 Medio ambiente.

Para las condiciones de exposición al ambiente natural, fueron colocadas en el Laboratorio de Materiales, para sus respectivas pruebas y usos de dichas probetas como se muestra en la siguiente Figura 2.19.



FIGURA 2.19: PROBETAS EN MEDIO AMBIENTE.

2.3.2 Sumergidas simulando ambiente marino.

Para las condiciones de exposición en ambiente marino, se preparó la solución con un 3,5% de Cloruro de Sodio mezclado con agua destilada, simulando agua de mar (con iones de cloruro). Estas probetas se pueden observar en la Figura 2.20.



FIGURA 2.20: PROBETAS EN AGUA SIMULANDO AMBIENTE MARINO

2.4 Técnicas empleadas en los ensayos para corriente de corrosión.

Los principios en que se basan los equipos usados para los diferentes ensayos son: Resistencia a la polarización o Polarización lineal, Media celda y Disco para resistividad.

Método de resistencia a la polarización lineal

La técnica electroquímica, comúnmente referida como la técnica LPR o de Resistencia de Polarización Lineal, es el único método que monitorea la tasa de corrosión de forma directa, en tiempo real. Aunque está limitado, su uso a medios conductivos líquidos, el tiempo de respuesta y la calidad de los datos que aporta esta técnica es claramente superior, donde sea aplicable, frente a todos los otros medios de monitoreo de corrosión.

Este método consiste en la aplicación de un sobre-potencial, respecto al potencial de equilibrio, lo suficientemente pequeño como para no alterar el sistema pero suficiente como para poder conocer cuál es el comportamiento del electrodo en ese medio frente a las reacciones de oxidación y reducción. De esta forma, se puede seguir la evolución del proceso de corrosión con el tiempo.

La Resistencia de Polarización lineal (R_p) se puede obtener mediante una gráfica de corriente versus potencial. La linealidad entre cambios de potencial y corriente, es relacionada por la ecuación de Stern-Geary donde la corriente de corrosión es inversamente proporcional a la resistencia a la polarización tal como se lo mencionó en el Capítulo 1, ecuación 13.

Este tipo de ensayo se lo puede realizar de dos formas:

- a) Galvanostato: se aplica una variación de corriente y mide la variación de potencial.
- b) Potenciostato: se aplica una variación de potencial y mide la variación de corriente.

La principal ventaja de la polarización lineal es que es un método no destructivo que mediante las fórmulas de Stern-Geary puede relacionar la resistencia a la corrosión y la corriente de corrosión para la polarización lineal, esto se transforma en velocidad de corrosión. Entre las desventajas que presenta este método se encuentran el que únicamente mide corrosión general, además de que resulta complicado obtener los datos para metales que presentan índices de corrosión bajos.

Método de disco para resistividad

La resistividad (ρ) es una medición complementaria para establecer el riesgo de corrosión ya que esta relacionado al contenido de humedad del concreto. Esta técnica implementada en GECOR8 consiste en formar un circuito, en el cual se coloca un disco metálico sobre la superficie del hormigón y para cerrar el circuito con la pinza de lagarto se agarra a una de las varillas de la estructura de acero del hormigón armado tal como se muestra en la Figura 2.21.

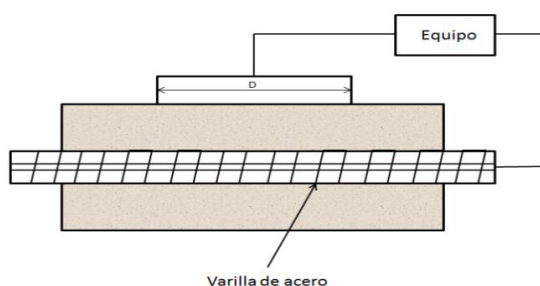


FIGURA 2.21: CIRCUITO CERRADO DEL MÉTODO DE DISCO PARA MEDIR RESISTIVIDAD DEL HORMIGON USANDO EL GECOR8.

Esta técnica implementada hace uso de la fórmula:

$$\rho = 2RD \quad (\text{ec. 16})$$

Donde:

R: Resistencia (caída óhmica) desde un pulso entre el electrodo auxiliar del sensor y la red de las varillas de refuerzo.

D: Diámetro del electrodo opuesto.

La técnica es aplicada a través de un sensor muy pequeño que permite acceso a cualquier parte en la estructura.

Los sensores tienen diferentes aplicaciones que se acoplan al tipo de trabajo que se requiere realizar y la aplicación de acuerdo a las condiciones de la estructura. La clasificación de sensores que dispone el Gecor8 para diferentes condiciones de trabajo y aplicación esta resumida en la Tabla 7.

TABLA 7
RESUMEN DE MÉTODOS DE MEDICIÓN ⁹

Sensor	Aplicación	Técnica	Mediciones
A	Mediciones en estructuras aéreas	Técnica de confinamiento modulado (MCT)	Tasa de corrosión Potencial de corrosión Resistencia eléctrica del hormigón
	Medición en estructura con protección catódica	Técnica de verificación por pasividad (PVT)	Potencial de corrosión Eficiencia de protección
		Técnica de apagado instantáneo (IOT)	Potencial instantáneo Potencial inicial Potencial final
B	Mapeo	Mapeo	Potencial de corrosión Resistividad Nivel de riesgo
C	Mediciones en estructuras sumergidas o muy húmedas	Técnica de atenuación del potencial (APT)	Tasa de corrosión Potencial de corrosión Resistencia eléctrica de concreto Resistividad

Los sensores A y B fueron usados para los hormigones rectangulares. Las mediciones fueron hechas después de los 28 días de curado más los 15 días adicionales en el cual suman un total de 43 días después de que el hormigón fue elaborado.

Método de media celda

El método de media celda es conocido y usado para la medición de un potencial de una varilla de acero dentro de un hormigón. Este método solo es conocido para identificar ciertas áreas para

⁹ NDT James Instruments; "Corrosion rate meter Gecor8-Instruction Manual", Second Edition, 2002.

determinar riesgos de corrosión dentro del acero, la media celda de trabajo más común es de cobre/sulfato de cobre. El método se limita a un circuito eléctrico para ello es importante que esté conectado en un extremo donde la varilla este descubierta como se encuentra en la Figura 2.22.



FIGURA 2.22: CIRCUITO DE MEDIA CELDA DE COBRE/ SULFATO DE COBRE.

2.4.1 Ensayos cinéticos y de laboratorio usando el Potencio-Galvanostato.

PROCEDIMIENTO PARA MEDICIONES DE POTENCIALES

1) Potenciales Ecorr.

- a) Situar el multímetro en el rango de mili-voltios, para obtener precisión de datos.

- b) Enlazar el negativo del multímetro con el electrodo de referencia interno de la probeta, y el otro enlace es el positivo del multímetro al electrodo de trabajo AX.
- c) Repetir el procedimiento b) para el electrodo de trabajo AY. Figura 2.23.

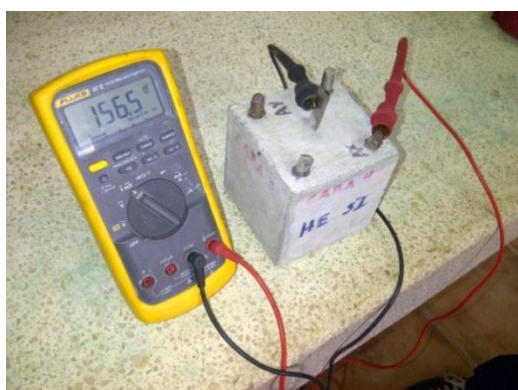


FIGURA 2.23: MEDICIÓN DE POTENCIAL (ECORR) CON EL ELECTRODO DE REFERENCIA INTERNO ERI.

2) Potencial ERI vs CSC

- a) Colocar una esponja en la parte inferior del electrodo CSC.
- b) Situar el multímetro en el rango de mili-voltios.
- c) Enlazar el positivo del multímetro al ERI (Electrodo de Referencia Interno), luego se debe enlazar el negativo del

multímetro al electrodo de CSC, verificar que se apoye el CSC sobre la esponja humedecida.

d) Anotar los valores de la lectura una vez que se estabilice por lo menos unos 5 minutos.

e) Repetir el mismo procedimiento para cada una de las caras de la probeta.

f) Verificar los datos para obtener un promedio. Figura 2.24.

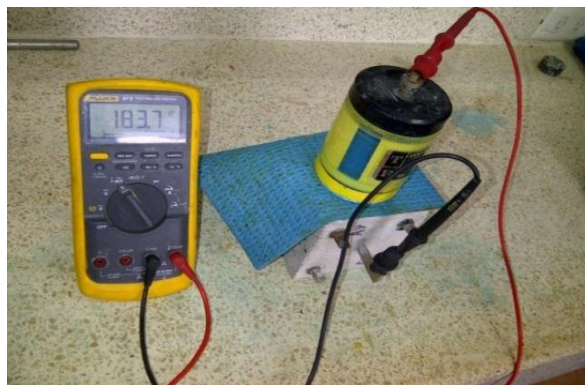


FIGURA 2.24: MEDICION DE POTENCIAL (ERI) CONTRA EL ELECTRODO DE CSC.

PROCEDIMIENTO PARA MEDICIONES DE DENSIDAD DE CORROSION I_{corr} .



FIGURA 2.25: MODELO POTENCIO-GALVANOSTATO.

1) Conexiones entre el Potencio-Galvanostato y la probeta

- a) Para esta parte de trabajo se debe operar sin encender el equipo y con el interruptor CELL en OFF.
- b) Enlazar cada uno de los cables con sus respectivos colores en la probeta.
- c) El cable VERDE debe conectarse al electrodo de trabajo AX, para la segunda medición de la misma probeta se conectará al AY.
- d) El cable BLANCO debe conectarse al electrodo de referencia.

e) El cable ROJO debe conectarse a los dos contra electrodos de acero inoxidable.

f) El cable NEGRO se conecta a un punto de tierra. Figura 2.26.



FIGURA 2.26: CONEXIÓN DEL POTENCIO-GALVANOSTATO.

2) Otras conexiones

a) Conectar la tarjeta de adquisición y la salida de datos del Potencio-Galvanostato.

b) Conectar el multímetro de la salida de voltaje del Potencio-Galvanostato para tener como respaldo las lecturas de la tarjeta y colocar un cronómetro para registrar a los 60 segundos.

3) Ajuste de los controles del equipo

- a) Para esta parte de trabajo se debe operar sin encender el equipo y con el interruptor CELL en OFF.
- b) Controlar que todos los botones de la hilera del extremo izquierdo deben estar sueltos para el funcionamiento.
- c) El interruptor principal MODE debe estar presionado, para que funcione como CONTROL I.
- d) El contador INITIAL POTENTIAL se usa como un multiplicador sin dimensiones, que trabajó en conjunto con el selector de rango CURRENT RANGE, para indicar el valor de corriente que se aplicará al electrodo de trabajo. Por ejemplo se desea aplicar $20\ \mu A$, presionar el CURRENT RANGE $10\ \mu A$ y colocar +2.000 en el contador INITIAL POTENTIAL.
- e) Encender el equipo, la corriente se inyectará al momento de presionar el interruptor CELL a su posición ON.
- f) A continuación de realizar las conexiones a la probeta y el ajuste de 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.

g) Tomar la lectura de voltaje inducido en el electrodo de trabajo, a los 60 segundos y apagar la inyección de corriente (CELL OFF).

h) Se tomará una lectura para AX y luego otra para AY.

PROCEDIMIENTO PARA OBTENCIÓN DEL FACTOR DE CELDA

Se elaboró una celda con características iguales a las probetas cubicas de hormigón, por sus dimensiones, ubicación de las barras, área de exposición de las barras. Se utilizó un electrolito, cloruro de potasio, cuya resistividad eléctrica es ($\rho = 7855,45 \text{ } \Omega\text{-cm}$), y se realizaron las mediciones de resistencia a la celda con el equipo NILSSON 400 de la misma manera que se realizó las mediciones de las probetas de hormigón, como se muestra en la Figura 2.27.



FIGURA 2.27: MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE LA CELDA.

TABLA 8
MEDICIONES DE RESISTENCIA DE LA CELDA

	Ax		Ay	
Medición	1	2	3	4
Resistencia [ohm]	650	500	430	425
Resistividad [ohm-cm]	7855,45	7855,5	7855,5	7855
Factor K [cm]	12,085	15,71	18,26	18,48

$$\rho = Rk \quad (\text{ec. 17})$$

EL valor de factor de celda promedio obtenido es de: 16,13 cm, con este valor se procederá a obtener la resistividad eléctrica de las probetas de hormigón.

2.4.1.1 Resultados experimentales para obtener la resistencia de polarización.

En esta parte del 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. Para la determinación de la velocidad de corrosión de barras de acero embebidas en hormigón, las probetas fueron sometidas a dos condiciones de exposición: a) medio ambiente y b) simulando ambiente marino.

TABLA 9
HORMIGONES HE SIN INHIBIDOR EXPUESTOS AL MEDIO AMBIENTE NATURAL

MEDICIÓN No	FECHA	CÓDIGO PROBETA	POTENCIAL DE CORROSIÓN Ecorr [mV]		POTENCIAL ERI v.s CSC [mV]					AX	AY	Resumen		
			Ax	Ay	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4	Promedio	CORREGIDO [mV]	CORREGIDO [mV]	PROMEDIO Ecorr CSC	PROMEDIO Ecorr CSC	PROMEDIO Ecorr CSC
										(Ecorr Ax)	(Ecorr Ay)	(Por probeta)	(FINAL) [mV]	(FINAL) [V]
1	15/08/2012	HE-SI-RP-N-01	60	51,4	161,2	155,9	141,3	142,2	150,15	-90,15	-98,75	-94,45		
		HE-SI-RP-N-02	181,6	178,8	306	304,2	288	299,2	299,35	-117,75	-120,55	-119,15	-108,133	-0,1081
		HE-SI-RP-N-03	173,6	183,8	300,2	297,3	294,4	266,1	289,5	-115,9	-105,7	-110,8		
2	30/08/2012	HE-SI-RP-N-01	100,1	108,3	175,6	174,1	172,2	157,1	169,75	-69,65	-61,45	-65,55		
		HE-SI-RP-N-02	138,8	137,9	277,4	258,5	273,8	266,6	269,075	-130,275	-131,175	-130,725	-106,967	-0,1070
		HE-SI-RP-N-03	118,7	113,5	246,7	244,3	240,1	231,8	240,725	-122,025	-127,225	-124,625		
3	14/09/2012	HE-SI-RP-N-01	110	104,9	243,3	240,2	232,9	240,7	239,275	-129,275	-134,375	-131,825		
		HE-SI-RP-N-02	180,9	174,5	236,4	246,9	246,1	241,9	242,825	-61,925	-68,325	-65,125	-88,825	-0,0888
		HE-SI-RP-N-03	175,2	181,1	251,7	251,4	240,4	247,2	247,675	-72,475	-66,575	-69,525		
4	29/09/2012	HE-SI-RP-N-01	73,4	61,7	230	230	200	200	215	-141,6	-153,3	-147,45		
		HE-SI-RP-N-02	80,8	76,6	250	240	220	140	212,5	-131,7	-135,9	-133,8	-169,35	-0,1694
		HE-SI-RP-N-03	98,1	88,4	300	320	300	360,2	320,05	-221,95	-231,65	-226,8		
5	15/10/2012	HE-SI-RP-N-01	131,5	97,1	396	298	354,6	361	352,4	-220,9	-255,3	-238,1		
		HE-SI-RP-N-02	74,2	40	132,5	200	194,3	187,2	178,5	-104,3	-138,5	-121,4	-155,675	-0,1557
		HE-SI-RP-N-03	92	97,3	213,5	204	200,5	190,7	202,175	-110,175	-104,875	-107,525		
6	30/10/2012	HE-SI-RP-N-01	201,2	188,7	388,8	366,4	323,8	318,8	349,45	-148,25	-160,75	-154,5		
		HE-SI-RP-N-02	243,5	157,6	264,4	262,6	253,7	253	258,425	-14,925	-100,825	-57,875	-160,14	-0,1601
		HE-SI-RP-N-03	106,4	70,1	396,2	368,5	339,2	321,3	356,3	-249,9	-286,2	-268,05		

TABLA 10
HORMIGONES HE CON INHIBIDOR EXPUESTOS AL MEDIO AMBIENTE NATURAL

MEDICIÓN No	FECHA	CÓDIGO PROBETA	POTENCIAL DE CORROSIÓN Ecorr [mV]		POTENCIAL ERI v.s CSC [mV]					AX	AY	Resumen		
			Ax	Ay	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4	Promedio	CORREGIDO [mV] (Ecorr Ax)	CORREGIDO [mV] (Ecorr Ay)	PROMEDIO Ecorr CSC (Por probeta)	PROMEDIO Ecorr CSC (FINAL) [mV]	PROMEDIO Ecorr CSC (FINAL) [V]
1	15/08/2012	HE-CI-RP-N-01	146,1	110	217,6	315,4	324,7	325,5	295,8	-149,7	-185,800	-167,75		
		HE-CI-RP-N-02	74,4	97,5	327	340,4	341,9	341,5	337,7	-263,300	-240,200	-251,75	-195,067	-0,195
		HE-CI-RP-N-03	155,5	156,8	337,7	333	314,5	302,2	321,85	-166,350	-165,050	-165,7		
2	30/08/2012	HE-CI-RP-N-01	107,4	112,9	294,4	286,5	305,3	297	295,8	-188,400	-182,900	-185,65		
		HE-CI-RP-N-02	128,9	134,2	286,9	290,6	291,3	276,4	286,3	-157,400	-152,100	-154,75	-152,900	-0,153
		HE-CI-RP-N-03	167,2	170,4	277,4	287,1	295,1	288,8	287,1	-119,900	-116,700	-118,3		
3	14/09/2012	HE-CI-RP-N-01	195,9	184,7	303,9	320,1	318,7	322,2	316,225	-120,325	-131,525	-125,925		
		HE-CI-RP-N-02	189,8	192,5	303,1	304,4	306,5	304,7	304,675	-114,875	-112,175	-113,525	-116,342	-0,116
		HE-CI-RP-N-03	177,2	196,5	293,8	298,3	292,7	300,9	296,425	-119,225	-99,925	-109,575		
4	29/09/2012	HE-CI-RP-N-01	143,8	237,8	354,6	367,8	349,9	345,5	354,45	-210,650	-116,650	-163,65		
		HE-CI-RP-N-02	83,4	173,7	280,6	279,7	288,9	290,8	285	-201,600	-111,300	-156,45	-187,417	-0,187
		HE-CI-RP-N-03	110,7	109,7	345,1	347,5	352,6	364,2	352,35	-241,650	-242,650	-242,15		
5	15/10/2012	HE-CI-RP-N-01	92,2	36,5	181,1	190,5	198,7	182,5	188,2	-96,000	-151,700	-123,85		
		HE-CI-RP-N-02	106,1	81,7	178,1	180,2	184,3	138,3	170,225	-64,125	-88,525	-76,325	-136,367	-0,136
		HE-CI-RP-N-03	91,4	153,5	432,4	306,3	295,6	291,2	331,375	-239,975	-177,875	-208,925		
6	30/10/2012	HE-CI-RP-N-01	82,7	74,7	355,3	266	319	274,2	303,625	-220,925	-228,925	-224,925		
		HE-CI-RP-N-02	180,4	235,8	436,6	299,3	287,1	271,5	323,625	-143,225	-87,825	-115,525	-144,717	-0,145
		HE-CI-RP-N-03	233,2	264,4	379,2	371,2	325,2	294,4	342,5	-109,300	-78,100	-93,7		

TABLA 11
HORMIGONES HE SIN INHIBIDOR EXPUESTOS A AGUA SALADA

MEDICIÓN No	FECHA	CÓDIGO PROBETA	POTENCIAL DE CORROSIÓN Ecorr [mV]		POTENCIAL ERI v.s CSC [mV]					AX	AY	Resumen		
			Ax	Ay	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4	Promedio	CORREGIDO [Ecorr vs (ERI vs CSC)]	CORREGIDO [Ecorr vs (ERI vs CSC)]	PROMEDIO Ecorr CSC (Por probeta)	PROMEDIO Ecorr CSC (FINAL) [mV]	PROMEDIO Ecorr CSC (FINAL) [V]
1	15/08/2012	HE-SI-RP-S-01	-358,7	-325,5	192,8	197,1	194,5	193,2	194,4	-553,1	-519,9	-536,5	-541,642	-0,542
		HE-SI-RP-S-02	-342,2	-404,1	158,3	146,3	148,5	148,1	150,3	-492,5	-554,4	-523,45		
		HE-SI-RP-S-03	-326,2	-311,7	238,1	247,7	246,6	251,7	246,025	-572,225	-557,725	-564,975		
2	30/08/2012	HE-SI-RP-S-01	-352,3	-300,1	154,8	143,6	158,8	155,5	153,175	-505,475	-453,275	-479,375	-466,042	-0,466
		HE-SI-RP-S-02	-296,9	-328,1	184,7	189,2	186,6	192,8	188,325	-485,225	-516,425	-500,825		
		HE-SI-RP-S-03	-208,6	-187,9	205,6	211,8	225,9	235,4	219,675	-428,275	-407,575	-417,925		
3	14/09/2012	HE-SI-RP-S-01	-377,7	-365,1	148,8	143,6	141,6	143,5	144,375	-522,075	-509,475	-515,775	-525,467	-0,525
		HE-SI-RP-S-02	-352,2	-386,6	144	123,8	164,8	131,8	141,1	-493,3	-527,7	-510,5		
		HE-SI-RP-S-03	-399,7	-378,5	159,3	146,7	178,8	159,3	161,025	-560,725	-539,525	-550,125		
4	29/09/2012	HE-SI-RP-S-01	-322,6	-353,3	246,1	244,3	239,7	235,4	241,375	-563,975	-594,675	-579,325	-488,508	-0,489
		HE-SI-RP-S-02	-281,8	-286,6	174,6	172,1	181,1	169	174,2	-456	-460,8	-458,4		
		HE-SI-RP-S-03	-300,9	-230,9	173,9	165,8	153,6	154,3	161,9	-462,8	-392,8	-427,8		
5	15/10/2012	HE-SI-RP-S-01	-497,9	-503,1	390,1	362,1	343,4	400	373,9	-871,8	-877	-874,4	-687,6	-0,688
		HE-SI-RP-S-02	-334,9	-340	305,5	306,8	293,6	277,5	295,85	-630,75	-635,85	-633,3		
		HE-SI-RP-S-03	-102,6	-100,9	478,9	447,1	437,5	449,9	453,35	-555,95	-554,25	-555,1		
6	30/10/2012	HE-SI-RP-S-01	-320,9	-325,1	307,6	294,7	288,6	276,6	291,875	-612,775	-616,975	-614,875	-587,583	-0,588
		HE-SI-RP-S-02	-353,8	-364,4	209,2	204,7	195,6	190	199,875	-553,675	-564,275	-558,975		
		HE-SI-RP-S-03	-361,8	-387,5	259	230,1	190,7	177,2	214,25	-576,05	-601,75	-588,9		

TABLA 12
HORMIGONES HE CON INHIBIDOR EXPUESTOS A AGUA SALADA

MEDICIÓN No	FECHA	CÓDIGO PROBETA	POTENCIAL DE CORROSIÓN Ecorr [mV]		POTENCIAL ERI v.s CSC [mV]					AX	AY	Resumen		
			Ax	Ay	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4	Promedio	CORREGIDO [Ecorr vs (ERI vs CSC)]	CORREGIDO [Ecorr vs (ERI vs CSC)]	PROMEDIO Ecorr CSC (Por probeta)	PROMEDIO Ecorr CSC (FINAL) [mV]	PROMEDIO Ecorr CSC (FINAL) [V]
1	15/08/2012	HE-CI-RP-S-01	-182,7	-250	362,5	359,7	268,6	362,9	338,425	-521,125	-588,425	-554,775	-513,575	-0,514
		HE-CI-RP-S-02	-118,9	-186,1	366,8	361,2	296,1	358,8	345,725	-464,625	-531,825	-498,225		
		HE-CI-RP-S-03	-209,5	-206,9	274,7	294,7	276,8	271,9	279,525	-489,025	-486,425	-487,725		
2	30/08/2012	HE-CI-RP-S-01	-235,6	-284,4	125,7	122,5	116,4	128,7	123,325	-358,925	-407,725	-383,325	-492,392	-0,492
		HE-CI-RP-S-02	-299,1	-351,2	199,1	189,7	187,8	192,9	192,375	-491,475	-543,575	-517,525		
		HE-CI-RP-S-03	-347,7	-361,9	219,3	225,7	217,6	223,5	221,525	-569,225	-583,425	-576,325		
3	14/09/2012	HE-CI-RP-S-01	-167,9	-195,8	125,7	122,5	116,4	128,7	123,325	-291,225	-319,125	-305,175	-481,658	-0,482
		HE-CI-RP-S-02	-366,5	-361,4	199,1	189,7	187,8	192,9	192,375	-558,875	-553,775	-556,325		
		HE-CI-RP-S-03	-337,2	-386,7	219,3	225,7	217,6	223,5	221,525	-558,725	-608,225	-583,475		
4	29/09/2012	HE-CI-RP-S-01	-280,3	-268,8	270	260	116,4	128,7	193,775	-474,075	-462,575	-468,325	-512,483	-0,512
		HE-CI-RP-S-02	-346,6	-368,8	178,5	170,1	188,8	163,7	175,275	-521,875	-544,075	-532,975		
		HE-CI-RP-S-03	-331,9	-210,3	265,3	257,6	273,9	263,4	265,05	-596,95	-475,35	-536,15		
5	15/10/2012	HE-CI-RP-S-01	-254,2	-245,5	307,7	485,7	386	351,5	382,725	-636,925	-628,225	-632,575	-579,93	-0,580
		HE-CI-RP-S-02	-361,4	-414,4	254,5	244,3	261,5	252	253,075	-614,475	-667,475	-640,975		
		HE-CI-RP-S-03	-222	-252,2	242,2	214	229,3	231,1	229,15	-451,15	-481,35	-466,25		
6	30/10/2012	HE-CI-RP-S-01	-271,9	-257,7	298,9	286,7	288,7	291,2	291,375	-563,275	-549,075	-556,175	-586,692	-0,587
		HE-CI-RP-S-02	-234,5	-277,8	483,9	494,3	272,1	251,8	375,525	-610,025	-653,325	-631,675		
		HE-CI-RP-S-03	-266,2	-273,4	321,3	318,1	296	274,3	302,425	-568,625	-575,825	-572,225		

TABLA 13
HORMIGONES GU SIN INHIBIDOR EXPUESTOS AL MEDIO AMBIENTE NATURAL

MEDICIÓN No	FECHA	CÓDIGO PROBETA	POTENCIAL DE CORROSIÓN Ecorr [mV]		POTENCIAL ERI v.s CSC [mV]					AX	AY	Resumen		
			Ax	Ay	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4	Promedio	CORREGIDO [mV] (Ecorr Ax)	CORREGIDO [mV] (Ecorr Ay)	PROMEDIO Ecorr CSC (Por probeta)	PROMEDIO Ecorr CSC (FINAL) [mV]	PROMEDIO Ecorr CSC (FINAL) [V]
1	15/08/2012	GU-SI-RP-N-01	149,2	136,3	226,4	216,2	229,8	224,9	224,325	-75,125	-88,025	-81,575		
		GU-SI-RP-N-02	144	143,5	262,4	258,6	265,1	266,9	263,25	-119,250	-119,750	-119,5	-104,075	-0,104
		GU-SI-RP-N-03	163,7	154,8	272,2	272,7	268,8	267,9	270,4	-106,700	-115,600	-111,15		
2	30/08/2012	GU-SI-RP-N-01	173,1	171,4	232,2	235,9	233	234,5	233,9	-60,800	-62,500	-61,65		
		GU-SI-RP-N-02	125,6	138,9	220,3	224,1	225,4	211,6	220,35	-94,750	-81,450	-88,1	-66,658	-0,067
		GU-SI-RP-N-03	182,5	118,1	215,7	189,1	199,8	197,5	200,525	-18,025	-82,425	-50,225		
3	14/09/2012	GU-SI-RP-N-01	123	110,6	143,8	146,4	143,3	148,5	145,5	-22,500	-34,900	-28,7		
		GU-SI-RP-N-02	131,8	128,7	220,6	214	224,3	210,9	217,45	-85,650	-88,750	-87,2	-73,592	-0,074
		GU-SI-RP-N-03	142,3	132	246,9	237,1	244,6	239,5	242,025	-99,725	-110,025	-104,875		
4	29/09/2012	GU-SI-RP-N-01	74,7	75,8	185,8	190,6	187,2	190,5	188,525	-113,825	-112,725	-113,275		
		GU-SI-RP-N-02	105,7	104,4	196,2	196,4	201,2	200,7	198,625	-92,925	-94,225	-93,575	-106,967	-0,107
		GU-SI-RP-N-03	127	126,6	236,4	247,1	239,1	240,8	240,85	-113,850	-114,250	-114,05		
5	15/10/2012	GU-SI-RP-N-01	195	194,5	240,2	234,3	235,5	232,6	235,65	-40,650	-41,150	-40,9		
		GU-SI-RP-N-02	155,6	167,4	295,3	296,6	205,7	297,4	273,75	-118,150	-106,350	-112,25	-67,683	-0,068
		GU-SI-RP-N-03	292,7	292,9	298,7	303,3	293,3	475,5	342,7	-50,000	-49,800	-49,9		
6	30/10/2012	GU-SI-RP-N-01	191,3	137,6	308,2	290,1	305,5	284,9	297,175	-105,875	-159,575	-132,725		
		GU-SI-RP-N-02	119,1	229,1	252,4	273,7	363,4	343,8	308,325	-189,225	-79,225	-134,225	-149,308	-0,149
		GU-SI-RP-N-03	13,2	137,6	221,4	220,4	278,1	305,6	256,375	-243,175	-118,775	-180,975		

TABLA 14
HORMIGONES GU CON INHIBIDOR EXPUESTOS AL MEDIO AMBIENTE NATURAL

MEDICIÓN No	FECHA	CÓDIGO PROBETA	POTENCIAL DE CORROSIÓN Ecorr [mV]		POTENCIAL ERI v.s CSC [mV]					AX	AY	Resumen		
			Ax	Ay	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4	Promedio	CORREGIDO [mV]	CORREGIDO [mV]	PROMEDIO Ecorr CSC	PROMEDIO Ecorr CSC	PROMEDIO Ecorr CSC
										(Ecorr Ax)	(Ecorr Ay)	(Por probeta)	(FINAL) [mV]	(FINAL) [V]
1	15/08/2012	GU-CI-RP-N-01	123,7	149,2	305	301,7	302,9	312,6	305,55	-181,850	-156,350	-169,1	-144,800	-0,145
		GU-CI-RP-N-02	160,2	169,9	285,2	276,9	286,3	309,8	289,55	-129,350	-119,650	-124,5		
		GU-CI-RP-N-03	176,3	171,5	307,7	332,6	308,1	310,4	314,7	-138,400	-143,200	-140,8		
2	30/08/2012	GU-CI-RP-N-01	135,6	146,8	253,1	246,3	257,6	247,1	251,025	-115,425	-104,225	-109,825	-89,033	-0,089
		GU-CI-RP-N-02	115,6	172,3	234,4	203,3	221,6	232,5	222,95	-107,350	-50,650	-79		
		GU-CI-RP-N-03	145	151,1	210	281,6	204,9	208,8	226,325	-81,325	-75,225	-78,275		
3	14/09/2012	GU-CI-RP-N-01	144,3	167,1	169,4	173,1	172,5	189,1	176,025	-31,725	-8,925	-20,325	-37,892	-0,038
		GU-CI-RP-N-02	146,6	156,2	237,7	231,2	237,4	250,9	239,3	-92,700	-83,100	-87,9		
		GU-CI-RP-N-03	163,7	161,9	171,6	173,3	169,1	159	168,25	-4,550	-6,350	-5,45		
4	29/09/2012	GU-CI-RP-N-01	89,5	104,7	233,5	233,7	235,5	241,9	236,15	-146,650	-131,450	-139,05	-120,683	-0,121
		GU-CI-RP-N-02	155,4	159,3	258,8	266,6	263,3	269,7	264,6	-109,200	-105,300	-107,25		
		GU-CI-RP-N-03	145,5	143,7	258,1	264,7	258,5	260,1	260,35	-114,850	-116,650	-115,75		
5	15/10/2012	GU-CI-RP-N-01	140,7	37,2	155	154,8	176,7	173,3	164,95	-24,250	-127,750	-76	-86,075	-0,086
		GU-CI-RP-N-02	172,5	135,4	235,7	223,2	232,3	221,6	228,2	-55,700	-92,800	-74,25		
		GU-CI-RP-N-03	220,3	205	326,4	336,6	313,3	306,2	320,625	-100,325	-115,625	-107,975		
6	30/10/2012	GU-CI-RP-N-01	13,6	56,9	183,9	176,5	190,6	177,3	182,075	-168,475	-125,175	-146,825	-164,733	-0,1647
		GU-CI-RP-N-02	112,5	66,2	268,1	248,7	229,5	222,6	242,225	-129,725	-176,025	-152,875		
		GU-CI-RP-N-03	118,6	133,2	362,3	348,3	289,2	281,8	320,4	-201,800	-187,200	-194,5		

TABLA 15
HORMIGONES GU SIN INHIBIDOR EXPUESTOS A AGUA SALADA

										AX	AY	Resumen		
MEDICIÓN No	FECHA	CÓDIGO PROBETA	POTENCIAL DE CORROSIÓN Ecorr [mV]		POTENCIAL ERI v.s CSC [mV]					CORREGIDO [Ecorr vs (ERI vs CSC)]	CORREGIDO [Ecorr vs (ERI vs CSC)]	PROMEDIO Ecorr CSC (Por probeta)	PROMEDIO Ecorr CSC (FINAL) [mV]	PROMEDIO Ecorr CSC (FINAL) [V]
			Ax	Ay	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4	Promedio					
1	15/08/2012	GU-SI-RP-S-01	-245,5	-141	200	195	198,1	205,3	199,6	-445,1	-340,6	-392,85	-453,167	-0,453
		GU-SI-RP-S-02	-237,9	-243,8	194,6	207,9	208	200	202,625	-440,525	-446,425	-443,475		
		GU-SI-RP-S-03	-343,8	-306,2	192,1	193,2	197,4	210	198,175	-541,975	-504,375	-523,175		
2	30/08/2012	GU-SI-RP-S-01	-234,4	-167,1	263,3	256,1	255,5	262,2	259,275	-493,675	-426,375	-460,025	-486,383	-0,486
		GU-SI-RP-S-02	-384,5	-390,8	222,4	225	227	225,3	224,925	-609,425	-615,725	-612,575		
		GU-SI-RP-S-03	-278,8	-265,2	111,1	117,4	115,2	114,5	114,55	-393,35	-379,75	-386,55		
3	14/09/2012	GU-SI-RP-S-01	-234,2	-191,6	317,4	300,6	298,9	307,2	306,025	-540,225	-497,625	-518,925	-538,275	-0,538
		GU-SI-RP-S-02	-249,8	-250,5	324,6	309,1	305,6	321,1	315,1	-564,9	-565,6	-565,25		
		GU-SI-RP-S-03	354,4	-368,8	158	163,3	176,1	178,8	169,05	-523,45	-537,85	-530,65		
4	29/09/2012	GU-SI-RP-S-01	-301,5	-315,5	293,5	293,3	300,4	288,9	294,025	-595,525	-609,525	-602,525	-691,658	-0,692
		GU-SI-RP-S-02	-411,1	-386,7	212,5	204,4	195,6	201,5	203,5	-614,6	-590,2	-602,4		
		GU-SI-RP-S-03	-386,1	-383,1	487,2	487,6	492,2	474,8	485,45	-871,55	-868,55	-870,05		
5	15/10/2012	GU-SI-RP-S-01	-287,2	-259	321,5	309,6	303,3	310,6	311,25	-598,45	-570,25	-584,35	-612,42	-0,612
		GU-SI-RP-S-02	-305,5	-326,1	280,9	288,8	275,4	268,5	278,4	-583,9	-604,5	-594,2		
		GU-SI-RP-S-03	-423,5	-411,8	232,3	236,9	251,6	243,4	241,05	-664,55	-652,85	-658,7		
6	30/10/2012	GU-SI-RP-S-01	-271,5	-294,6	307,7	293,6	296,1	296,5	298,475	-569,975	-593,075	-581,525	-480,658	-0,4807
		GU-SI-RP-S-02	-198,7	-256,8	283,5	232,7	212,1	228,3	239,15	-437,85	-495,95	-466,9		
		GU-SI-RP-S-03	-107,2	-87,2	301,4	297,8	296,4	289,8	296,35	-403,55	-383,55	-393,55		

TABLA 16
HORMIGONES GU CON INHIBIDOR EXPUESTOS A AGUA SALADA

MEDICIÓN No	FECHA	CÓDIGO PROBETA	POTENCIAL DE CORROSIÓN Ecorr [mV]		POTENCIAL ERI v.s CSC [mV]					AX	AY	Resumen		
			Ax	Ay	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4	Promedio	CORREGIDO [Ecorr vs (ERI vs CSC)]	CORREGIDO [Ecorr vs (ERI vs CSC)]	PROMEDIO Ecorr CSC (Por probeta)	PROMEDIO Ecorr CSC (FINAL) [mV]	PROMEDIO Ecorr CSC (FINAL) [V]
1	15/08/2012	GU-CI-RP-S-01	-173,2	-77,7	150	140	135,6	140,1	141,425	-314,625	-219,125	-266,875	-371,092	-0,37109
		GU-CI-RP-S-02	-290,9	-335,1	154,5	135,8	160,1	120,4	142,7	-433,6	-477,8	-455,7		
		GU-CI-RP-S-03	-242,4	-279,7	137,1	125,2	146,3	110	129,65	-372,05	-409,35	-390,7		
2	30/08/2012	GU-CI-RP-S-01	-220,8	-218,7	157,4	173,5	190,1	188,7	177,425	-398,225	-396,125	-397,175	-366,375	-0,36638
		GU-CI-RP-S-02	-147,7	-238,5	99,1	101,5	103,6	112	104,05	-251,75	-342,55	-297,15		
		GU-CI-RP-S-03	-252,3	-272,3	128,7	137,5	158,2	145,6	142,5	-394,8	-414,8	-404,8		
3	14/09/2012	GU-CI-RP-S-01	-317,4	-265,9	267,8	258	282,4	299,8	277	-594,4	-542,9	-568,65	-530,0167	-0,53002
		GU-CI-RP-S-02	-213	-234,7	258,8	278,6	223,7	225,5	246,65	-459,65	-481,35	-470,5		
		GU-CI-RP-S-03	-382,5	-355,2	188,9	186,3	165,6	187,4	182,05	-564,55	-537,25	-550,9		
4	29/09/2012	GU-CI-RP-S-01	-364,6	-353,1	231	232,2	225,1	227,9	229,05	-593,65	-582,15	-587,9	-599,467	-0,59947
		GU-CI-RP-S-02	-465,3	-458,3	160,6	156,7	144,8	137,4	149,875	-615,175	-608,175	-611,675		
		GU-CI-RP-S-03	-458,1	-465,3	131,3	135,2	143,2	138,8	137,125	-595,225	-602,425	-598,825		
5	15/10/2012	GU-CI-RP-S-01	-263,6	-328,4	255,1	262,2	254,6	256,6	257,125	-520,725	-585,525	-553,125	-549,425	-0,549
		GU-CI-RP-S-02	-397,7	-302,7	212,5	220,7	207,1	210,9	212,8	-610,5	-515,5	-563		
		GU-CI-RP-S-03	-320	-258,7	246,6	240,7	235,1	248,8	242,8	-562,8	-501,5	-532,15		
6	30/10/2012	GU-CI-RP-S-01	-249,7	-319,4	294,2	297,6	286,5	292,2	292,625	-542,325	-612,025	-577,175	-568,1083	-0,5681
		GU-CI-RP-S-02	-265,5	-243,4	296,9	299,9	290,2	301,3	297,075	-562,575	-540,475	-551,525		
		GU-CI-RP-S-03	-365,1	-383,6	201,3	198,1	206,3	199,4	201,275	-566,375	-584,875	-575,625		

2.4.1.2 Determinación de la resistencia de polarización y corriente de corrosión.

Las fórmulas que emplea el método de R_p (Resistencia de Polarización), son las siguientes.

$$R_t = R_p + R_{\Omega} \quad (\text{ec. 18})$$

Donde

R_t : Resistencia total en la probeta.

R_p : Resistencia de polarización.

R_{Ω} : Resistencia debido al electrolito, que se lee con el equipo NILSSON 400.

$$R_t = \frac{\Delta E}{\Delta I} = \frac{(E - E_{\text{corr}})}{\Delta I} \quad (\text{ec. 19})$$

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 ΔI es la corriente aplicada.

$$R_p = \frac{B}{I_{\text{corr}}} \quad (\text{ec. 20})$$

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

TABLA 17
ACTIVIDAD DEL ACERO

E_{corr}	Estado de la varilla	B
>-0.200 VCSC	Pasivo	0.052 V
<-0.350 VCSC	Activo	0.026 V

Para hallar I_{corr} se combinan y se despejan estas fórmulas, de la siguiente forma

$$I_{corr} = \frac{B}{\left(\frac{E - E_{corr}}{\Delta I}\right) - R \Omega} \quad (\text{ec. 21})$$

El valor de I_{corr} , está dado en Amperios. Luego para hallar la densidad de corriente I_{corr} , se debe dividir para el área lateral expuesta del electrodo de trabajo (varilla ASTM A-42), que en cada caso es de 20 cm².

Para ello se toma en cuenta como ejemplo las probetas del cemento HE sin inhibidor expuesto en medio ambiente, medición No 2 a los 30 días de exposición.

TABLA 18
TABLA DE POTENCIALES

MEDICIÓN No	FECHA	CÓDIGO PROBETA	POTENCIAL DE CORROSIÓN E _{corr} [mV]		POTENCIAL ERI v.s CSC [mV]			
			A _x	A _y	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4
2	30/08/2012	HE-SI-RP-N-01	100,1	108,3	175,6	174,1	172,2	157,1
		HE-SI-RP-N-02	138,8	137,9	277,4	258,5	273,8	266,6
		HE-SI-RP-N-03	118,7	113,5	246,7	244,3	240,1	231,8

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

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

HE-SI-RP-N-01 prom= 169,75

HE-SI-RP-N-02 prom= 269,075

HE-SI-RP-N-03 prom= 240,725

Con esto se obtiene un valor corregido de AX y AY
para cada probeta;

HE-SI-RP-N-01: AX = 100,1-169,75= -69,65

HE-SI-RP-N-01: AY = 108,3-169,75= -61,45

$$\text{HE-SI-RP-N-02: } AX = 138,8 - 269,075 = -130,275$$

$$\text{HE-SI-RP-N-02: } AY = 137,9 - 269,075 = -131,175$$

$$\text{HE-SI-RP-N-03: } AX = 118,7 - 240,725 = -122,025$$

$$\text{HE-SI-RP-N-03: } AY = 113,5 - 240,725 = -127,225$$

Ahora se saca el promedio de los potenciales obtenidos de los electrodos de trabajo por cada probeta.

$$\text{HE-SI-RP-N-01: } [(AX + AY)/2] = -65,55$$

$$\text{HE-SI-RP-N-02: } [(AX + AY)/2] = -130,725$$

$$\text{HE-SI-RP-N-03: } [(AX + AY)/2] = -124,625$$

Obteniendo un valor promedio de las tres probetas.

$$[((\text{HE-SI-RP-N-01}) + (\text{HE-SI-RP-N-02}) + (\text{HE-SI-RP-N-03}))/3] = -106,967$$

Este valor comparado con la Tabla 17 indica que la probeta se encuentra en estado pasivo donde se determina que el valor de $B=0,052 \text{ V}$.

Luego con el Potencio-Galvanostato se obtiene un potencial a los 60 segundos para cada probeta.

HE-SI-RP-N-01: AX=520; AY=670

HE-SI-RP-N-02: AX=630; AY=590

HE-SI-RP-N-03: AX=590; AY=560

Luego, se saca un valor corregido del potencial a los 60 segundos, entre el potencial del electrodo de trabajo y el ERI. El potencial promedio de las caras de cada probeta calculada anteriormente se muestra a continuación:

HE-SI-RP-N-01: AX= $-169,75\text{mV} + 520\text{mV} = 350,25$

AY= $-169,75\text{mV} + 670\text{mV} = 500,25$

Posteriormente luego de calcular los potenciales con los valores obtenidos del Potencio-Galvanostato y del Milímetro, utilizando el NILSSON 400 para medir resistencias en cada electrodo de trabajo para cada probeta:

HE-SI-RP-N-01: AX=1000 Ω ; AY=1300 Ω

HE-SI-RP-N-02: AX=800 Ω ; AY=700 Ω

HE-SI-RP-N-03: AX=800 Ω ; AY=1200 Ω

Con esto se obtiene una resistencia promedio para cada probeta:

$$\text{HE-SI-RP-N-01} = (1000 + 1300)/2 = 1150\Omega$$

$$\text{HE-SI-RP-N-02} = (800 + 700)/2 = 750\Omega$$

$$\text{HE-SI-RP-N-03} = (800 + 1200)/2 = 1000\Omega$$

Y finalmente se obtiene una resistencia promedio entre las 3 probetas para este medio expuesto:

$$\text{RESISTENCIA FINAL} = (1150 + 750 + 1000)/3 = 966,67\Omega$$

Ahora, se procede a calcular el i_{corr} para AX y el i_{corr} para el AY de cada probeta:

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

Para la probeta HE-SI-RP-N-01 -AX

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

$$E - E_{\text{corr}} = 350,25 - (-69,65) = 420\text{mV} = 0,42\text{V}$$

Donde el valor de E es el potencial corregido del valor obtenido a los 60 segundos en el Potencio-Galvanostato y el Ecorr es el potencial corregido del valor obtenido en el multímetro.

ΔI es la corriente aplicada.

$$\frac{(E-E_{corr})}{\Delta I} = \frac{0,420[V]}{20 \times 10^{-6}[A]} = 20995 \Omega$$

Luego se resta.

$$\frac{(E-E_{corr})}{\Delta I} - R \Omega = 20995 \Omega - 1150 \Omega = 19845 \Omega$$

Donde finalmente

$$I_{corr} = \frac{B}{19845} = \frac{0,052}{19845} = 2,62 \times 10^{-6}$$

Se obtiene el Icorr:

$$I_{corr} = \frac{2,62 \mu A}{20 \text{ cm}^2}$$

$$I_{corr} = 0,131 \frac{\mu A}{\text{cm}^2}$$

Densidad de corriente para el electrodo de referencia AX de la probeta HE-SI-RP-N-01. Mediante este modo se calcularon todos los resultados para cada

electrodo de trabajo de cada probeta mostrados en las siguientes tablas para hormigones con y sin inhibidor en dos medios diferentes.

TABLA 19
A.1 HORMIGONES HE SIN INHIBIDOR EXPUESTOS AL MEDIO AMBIENTE NATURAL

			Ax	Ay	POTENCIAL 60 seg: E (Mv)				Medicion de Resistencia				
MEDICIÓN No	FECHA	CÓDIGO PROBETA	Valor de B	Valor B	Ax [mV] (E perturbado)	Ay (E perturbado)	Ax [mV] E perturbado Final	Ay [mV] E perturbado Final	Ax [ohmios]	Ay [ohmios]	RΩ (Promedio)	Resistencia Final [ohmios]	Resistividad [ohmios-cm]
1	15/08/2012	HE-SI-RP-N-01	0,052	0,052	540	690	389,85	539,85	940	800	870	755	12178,15
		HE-SI-RP-N-02	0,052	0,052	610	550	310,65	250,65	660	630	645		
		HE-SI-RP-N-03	0,052	0,052	580	530	290,5	240,5	700	800	750		
2	30/08/2012	HE-SI-RP-N-01	0,052	0,052	520	670	350,25	500,25	1000	1300	1150	966,7	15592,3
		HE-SI-RP-N-02	0,052	0,052	630	590	360,925	320,925	800	700	750		
		HE-SI-RP-N-03	0,052	0,052	590	560	349,275	319,275	800	1200	1000		
3	14/09/2012	HE-SI-RP-N-01	0,052	0,052	520	770	280,725	530,725	1300	1700	1500	1266,67	20431,33
		HE-SI-RP-N-02	0,052	0,052	650	620	407,175	377,175	950	950	950		
		HE-SI-RP-N-03	0,052	0,052	610	450	362,325	202,325	1100	1600	1350		
4	29/09/2012	HE-SI-RP-N-01	0,052	0,052	770	800	555	585	1200	1600	1400	1550	25001,5
		HE-SI-RP-N-02	0,052	0,052	680	600	467,5	387,5	1300	1400	1350		
		HE-SI-RP-N-03	0,052	0,052	660	600	339,95	279,95	1700	2100	1900		
5	15/10/2012	HE-SI-RP-N-01	0,052	0,052	580	770	227,6	417,6	1000	1100	1050	1733,33	27958,67
		HE-SI-RP-N-02	0,052	0,052	690	600	511,5	421,5	2500	1500	2000		
		HE-SI-RP-N-03	0,052	0,052	660	550	457,825	347,825	2000	2300	2150		
6	30/10/2012	HE-SI-RP-N-01	0,052	0,052	580	430	230,55	80,55	1700	1600	1650	1966,67	31722,33
		HE-SI-RP-N-02	0,052	0,052	670	690	411,575	431,575	2500	2400	2450		
		HE-SI-RP-N-03	0,052	0,052	690	580	333,7	223,7	1900	1700	1800		

TABLA 20

A.2 HORMIGONES HE SIN INHIBIDOR EXPUESTOS AL MEDIO AMBIENTE NATURAL

MEDICIÓN No	FECHA	CÓDIGO PROBETA	Calculo de icorr para Ax				Calculo de icorr para Ay				Resumen				
			E-Ecorr [V]	(E-Ecorr)/ ΔI [ohmios]	[(E-Ecorr)/ ΔI]-R Ω (ohmios)	i corr [uA/cm2]	E-Ecorr [V]	(E-Ecorr)/ ΔI [ohmios]	[(E-Ecorr)/ ΔI]-R Ω (ohmios)	i corr [uA/cm2]	i corr PROMEDIO	i corr final	Perdida de espesor (mm/año)	Perdida de espesor [um/año]	Tiempo de duración de la Propagación [años]
1	15/08/2012	HE-SI-RP-N-01	0,480	24000	23130	0,1124	0,6386	31930	31060	0,0837	0,0981	0,1260	0,00146	1,46	54,795
		HE-SI-RP-N-02	0,428	21420	20775	0,1252	0,3712	18560	17915	0,1451	0,1351				
		HE-SI-RP-N-03	0,406	20320	19570	0,1329	0,3462	17310	16560	0,1570	0,1449				
2	30/08/2012	HE-SI-RP-N-01	0,420	20995	19845	0,1310	0,5617	28085	26935	0,0965	0,1138	0,1155	0,00134	1,34	59,701
		HE-SI-RP-N-02	0,491	24560	23810	0,1092	0,4521	22605	21855	0,1190	0,1141				
		HE-SI-RP-N-03	0,471	23565	22565	0,1152	0,4465	22325	21325	0,1219	0,1186				
3	14/09/2012	HE-SI-RP-N-01	0,410	20500	19000	0,1368	0,6651	33255	31755	0,0819	0,1094	0,1331	0,00154	1,54	51,948
		HE-SI-RP-N-02	0,469	23455	22505	0,1155	0,4455	22275	21325	0,1219	0,1187				
		HE-SI-RP-N-03	0,435	21740	20390	0,1275	0,2689	13445	12095	0,2150	0,1712				
4	29/09/2012	HE-SI-RP-N-01	0,697	34830	33430	0,0778	0,7383	36915	35515	0,0732	0,0755	0,0926	0,00107	1,07	74,766
		HE-SI-RP-N-02	0,599	29960	28610	0,0909	0,5234	26170	24820	0,1048	0,0978				
		HE-SI-RP-N-03	0,562	28095	26195	0,0993	0,5116	25580	23680	0,1098	0,1045				
5	15/10/2012	HE-SI-RP-N-01	0,449	22425	21375	0,1216	0,6729	33645	32595	0,0798	0,1007	0,1029	0,00119	1,19	67,227
		HE-SI-RP-N-02	0,616	30790	28790	0,0903	0,56	28000	26000	0,1000	0,0952				
		HE-SI-RP-N-03	0,568	28400	26250	0,0990	0,4527	22635	20485	0,1269	0,1130				
6	30/10/2012	HE-SI-RP-N-01	0,379	18940	17290	0,1504	0,2413	12065	10415	0,2496	0,2000	0,1417	0,00164	1,64	48,780
		HE-SI-RP-N-02	0,427	21325	18875	0,1377	0,5324	26620	24170	0,1076	0,1227				
		HE-SI-RP-N-03	0,584	29180	27380	0,0950	0,5099	25495	23695	0,1097	0,1023				

TABLA 21
B.1 HORMIGONES HE CON INHIBIDOR EXPUESTOS AL MEDIO AMBIENTE NATURAL

			Ax	Ay	POTENCIAL 60 seg: E (Mv)				Medicion de Resistencia				
MEDICIÓN No	FECHA	CÓDIGO PROBETA	Valor de B	Valor B	Ax [mV] (E perturbado)	Ay (E perturbado)	Ax [mV] E perturbado Final	Ay [mV] E perturbado Final	Ax [ohmios]	Ay [ohmios]	RΩ (Promedio)	Resistencia Final [ohmios]	Resistividad [ohmios-cm]
1	15/08/2012	HE-CI-RP-N-01	0,052	0,052	720	650	424,2	354,2	790	1000	895	988,333	15941,82
		HE-CI-RP-N-02	0,052	0,052	720	530	382,3	192,3	1100	900	1000		
		HE-CI-RP-N-03	0,052	0,052	650	660	328,15	338,15	1040	1100	1070		
2	30/08/2012	HE-CI-RP-N-01	0,052	0,052	710	790	414,2	494,2	1300	1200	1250	1225	19759
		HE-CI-RP-N-02	0,052	0,052	750	590	463,7	303,7	1400	1200	1300		
		HE-CI-RP-N-03	0,052	0,052	610	760	322,9	472,9	1100	1150	1125		
3	14/09/2012	HE-CI-RP-N-01	0,052	0,052	760	670	443,775	353,775	1150	1900	1525	1675	1893
		HE-CI-RP-N-02	0,052	0,052	700	600	395,325	295,325	1900	1850	1875		
		HE-CI-RP-N-03	0,052	0,052	630	700	333,575	403,575	1600	1650	1625		
4	29/09/2012	HE-CI-RP-N-01	0,052	0,052	820	720	465,55	365,55	2800	2900	2850	2600	41938
		HE-CI-RP-N-02	0,052	0,052	780	620	495	335	1800	2300	2050		
		HE-CI-RP-N-03	0,052	0,052	670	740	317,65	387,65	3100	2700	2900		
5	15/10/2012	HE-CI-RP-N-01	0,052	0,052	670	810	481,8	621,8	2600	1800	2200	2183	35217
		HE-CI-RP-N-02	0,052	0,052	730	640	559,775	469,775	2800	1400	2100		
		HE-CI-RP-N-03	0,052	0,052	680	720	348,625	388,625	2400	2100	2250		
6	30/10/2012	HE-CI-RP-N-01	0,052	0,052	790	490	486,375	186,375	3500	3000	3250	2966,67	47852,33
		HE-CI-RP-N-02	0,052	0,052	800	630	476,375	306,375	2500	3200	2850		
		HE-CI-RP-N-03	0,052	0,052	580	630	237,5	287,5	2900	2700	2800		

TABLA 22
B.2 HORMIGONES HE CON INHIBIDOR EXPUESTOS AL MEDIO AMBIENTE NATURAL

MEDICIÓN No	FECHA	CÓDIGO PROBETA	Calculo de icorr para Ax				Calculo de icorr para Ay				Resumen				
			E-Ecorr [V]	(E-Ecorr)/ΔI [ohmios]	[(E-Ecorr)/ΔI]-RΩ (ohmios)	i corr [uA/cm2]	E-Ecorr [V]	(E-Ecorr)/ΔI [ohmios]	[(E-Ecorr)/ΔI]-RΩ (ohmios)	i corr [uA/cm2]	i corr PROMEDIO	i corr final	Perdida de espesor (mm/año)	Perdida de espesor (um/año)	Tiempo de duración de la Propagación [años]
1	15/08/2012	HE-CI-RP-N-01	0,574	28695	27800	0,0935	0,54	27000	26105	0,0996	0,0966	0,1034	0,00120	1,2	66,667
		HE-CI-RP-N-02	0,646	32280	31280	0,0831	0,4325	21625	20625	0,1261	0,1046				
		HE-CI-RP-N-03	0,495	24725	23655	0,1099	0,5032	25160	24090	0,1079	0,1089				
2	30/08/2012	HE-CI-RP-N-01	0,603	30130	28880	0,0900	0,6771	33855	32605	0,0797	0,0849	0,0989	0,00115	1,15	69,565
		HE-CI-RP-N-02	0,621	31055	29755	0,0874	0,4558	22790	21490	0,1210	0,1042				
		HE-CI-RP-N-03	0,443	22140	21015	0,1237	0,5896	29480	28355	0,0917	0,1077				
3	14/09/2012	HE-CI-RP-N-01	0,564	28205	26680	0,0975	0,4853	24265	22740	0,1143	0,1059	0,1161	0,00135	1,35	59,259
		HE-CI-RP-N-02	0,510	25510	23635	0,1100	0,4075	20375	18500	0,1405	0,1253				
		HE-CI-RP-N-03	0,453	22640	21015	0,1237	0,5035	25175	23550	0,1104	0,1171				
4	29/09/2012	HE-CI-RP-N-01	0,676	33810	30960	0,0840	0,4822	24110	21260	0,1223	0,1031	0,1014	0,00118	1,18	67,797
		HE-CI-RP-N-02	0,697	34830	32780	0,0793	0,4463	22315	20265	0,1283	0,1038				
		HE-CI-RP-N-03	0,559	27965	25065	0,1037	0,6303	31515	28615	0,0909	0,0973				
5	15/10/2012	HE-CI-RP-N-01	0,578	28890	26690	0,0974	0,7735	38675	36475	0,0713	0,0843	0,0924	0,00107	1,07	74,766
		HE-CI-RP-N-02	0,624	31195	29095	0,0894	0,5583	27915	25815	0,1007	0,0950				
		HE-CI-RP-N-03	0,589	29430	27180	0,0957	0,5665	28325	26075	0,0997	0,0977				
6	30/10/2012	HE-CI-RP-N-01	0,707	35365	32115	0,0810	0,4153	20765	17515	0,1484	0,1147	0,1371	0,00159	1,59	50,314
		HE-CI-RP-N-02	0,620	30980	28130	0,0924	0,3942	19710	16860	0,1542	0,1233				
		HE-CI-RP-N-03	0,347	17340	14540	0,1788	0,3656	18280	15480	0,1680	0,1734				

TABLA 23
C.1 HORMIGONES HE SIN INHIBIDOR EXPUESTOS A AGUA SALADA

			Ax	Ay	POTENCIAL 60 seg: E (Mv)				Medicion de Resistencia				
MEDICIÓN No	FECHA	CÓDIGO PROBETA	Valor de B [V]	Valor B [V]	(Ti v.s Fe) (Perturbado) Ax [mV] (E perturbado)	(Ti v.s Fe) (Perturbado) Ay (E perturbado)	Ax [mV] E perturbado Final	Ay [mV] E perturbado Final	Ax [ohmios]	Ay [ohmios]	R Ω (Promedio)	Resistencia Final [ohmios]	Resistividad [ohmios-cm]
1	15/08/2012	HE-SI-RP-S-01	0,026	0,026	-270	-180	-464,4	-374,4	250	200	225	228,333	3683,017
		HE-SI-RP-S-02	0,026	0,026	-310	-360	-460,3	-510,3	230	220	225		
		HE-SI-RP-S-03	0,026	0,026	-170	-180	-416,025	-426,025	200	270	235		
2	30/08/2012	HE-SI-RP-S-01	0,026	0,026	-230	-370	-383,175	-523,175	240	230	235	228,333	3683,017
		HE-SI-RP-S-02	0,026	0,026	-330	-270	-518,325	-458,325	235	180	207,5		
		HE-SI-RP-S-03	0,026	0,026	-250	-110	-469,675	-329,675	225	260	242,5		
3	14/09/2012	HE-SI-RP-S-01	0,026	0,026	-320	-270	-464,375	-414,375	300	380	340	336,667	5430,433
		HE-SI-RP-S-02	0,026	0,026	-270	-280	-411,1	-421,1	460	320	390		
		HE-SI-RP-S-03	0,026	0,026	-300	-260	-461,025	-421,025	240	320	280		
4	29/09/2012	HE-SI-RP-S-01	0,026	0,026	-200	-120	-441,375	-361,375	260	300	280	270	4355,1
		HE-SI-RP-S-02	0,026	0,026	-370	-370	-544,2	-544,2	290	240	265		
		HE-SI-RP-S-03	0,026	0,026	-420	-380	-581,9	-541,9	230	300	265		
5	15/10/2012	HE-SI-RP-S-01	0,026	0,026	-290	-310	-663,9	-683,9	290	240	265	250	4032,5
		HE-SI-RP-S-02	0,026	0,026	-150	-160	-445,85	-455,85	210	260	235		
		HE-SI-RP-S-03	0,026	0,026	-130	-130	-583,35	-583,35	220	280	250		
6	30/10/2012	HE-SI-RP-S-01	0,026	0,026	290	-300	-581,875	-591,875	280	220	250	251,67	4059,38
		HE-SI-RP-S-02	0,026	0,026	-210	-270	-409,875	-469,875	230	240	235		
		HE-SI-RP-S-03	0,026	0,026	-280	-330	-494,25	-544,25	250	290	270		

TABLA 24
C.2 HORMIGONES HE SIN INHIBIDOR EXPUESTOS 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 [ohmios]	[(E-Ecorr)/ΔI]-RΩ (ohmios)	i corr [uA/cm2]	E-Ecorr [V]	(E-Ecorr)/ΔI [ohmios]	[(E-Ecorr)/ΔI]-RΩ (ohmios)	i corr [uA/cm2]	i corr PROMEDIO	i corr final	Perdida de espesor (mm/año)
1	15/08/2012	HE-SI-RP-S-01	0,0887	4435	4210	0,309	0,1455	7275	7050	0,184	0,2466	0,411	0,00477
		HE-SI-RP-S-02	0,0322	1610	1385	0,939	0,0441	2205	1980	0,657	0,7976		
		HE-SI-RP-S-03	0,1562	7810	7575	0,172	0,1317	6585	6350	0,205	0,1882		
2	30/08/2012	HE-SI-RP-S-01	0,1223	6115	5880	0,221	0,0699	3495	3260	0,399	0,3099	0,5112	0,00593
		HE-SI-RP-S-02	0,0331	1655	1448	0,898	0,0581	2905	2697,5	0,482	0,6900		
		HE-SI-RP-S-03	0,0414	2070	1828	0,711	0,0779	3895	3652,5	0,356	0,5336		
3	14/09/2012	HE-SI-RP-S-01	0,0577	2885	2545	0,511	0,0951	4755	4415	0,294	0,4026	0,321	0,00372
		HE-SI-RP-S-02	0,0822	4110	3720	0,349	0,1066	5330	4940	0,263	0,3063		
		HE-SI-RP-S-03	0,0997	4985	4705	0,276	0,1185	5925	5645	0,230	0,2533		
4	29/09/2012	HE-SI-RP-S-01	0,1226	6130	5850	0,222	0,2333	11665	11385	0,114	0,1682	0,232	0,00269
		HE-SI-RP-S-02	0,0882	4410	4145	0,314	0,0834	4170	3905	0,333	0,3233		
		HE-SI-RP-S-03	0,1191	5955	5690	0,228	0,1491	7455	7190	0,181	0,2046		
5	15/10/2012	HE-SI-RP-S-01	0,2079	10395	10130	0,128	0,1931	9655	9390	0,138	0,1334	0,466	0,00541
		HE-SI-RP-S-02	0,1849	9245	9010	0,144	0,18	9000	8765	0,148	0,1463		
		HE-SI-RP-S-03	0,0274	1370	1120	1,161	0,0291	1455	1205	1,079	1,1198		
6	30/10/2012	HE-SI-RP-S-01	0,0309	1545	1295	1,004	0,0251	1255	1005	1,294	1,1487	0,602	0,00699
		HE-SI-RP-S-02	0,1438	7190	6955	0,187	0,0944	4720	4485	0,290	0,2384		
		HE-SI-RP-S-03	0,0818	4090	3820	0,340	0,0575	2875	2605	0,499	0,4197		

TABLA 25
D.1 HORMIGONES HE CON INHIBIDOR EXPUESTOS A AGUA SALADA

			Ax	Ay	POTENCIAL 60 seg: E (Mv)				Medicion de Resistencia				
MEDICIÓN No	FECHA	CÓDIGO PROBETA	Valor de B [V]	Valor B [V]	(Ti v.s Fe) (Perturbado) Ax [mV] (E perturbado)	(Ti v.s Fe) (Perturbado) Ay (E perturbado)	Ax [mV] E perturbado Final	Ay [mV] E perturbado Final	Ax [ohmios]	Ay [ohmios]	R Ω (Promedio)	Resistencia Final [ohmios]	Resistivida [ohmios-cm]
1	15/08/2012	HE-CI-RP-S-01	0,026	0,026	-210	-200	-548,425	-538,425	180	220	200	246,667	3978,733
		HE-CI-RP-S-02	0,026	0,026	-49	-68	-394,725	-413,725	300	240	270		
		HE-CI-RP-S-03	0,026	0,026	-100	-270	-379,525	-549,525	290	250	270		
2	30/08/2012	HE-CI-RP-S-01	0,026	0,026	-310	-150	-433,325	-273,325	210	265	237,5	282,5	4556,7
		HE-CI-RP-S-02	0,026	0,026	-160	-250	-352,375	-442,375	310	250	280		
		HE-CI-RP-S-03	0,026	0,026	-240	-430	-461,525	-651,525	350	310	330		
3	14/09/2012	HE-CI-RP-S-01	0,026	0,026	-110	-230	-233,325	-353,325	250	300	275	398,333	6425,117
		HE-CI-RP-S-02	0,026	0,026	-170	-320	-362,375	-512,375	350	290	320		
		HE-CI-RP-S-03	0,026	0,026	-310	-280	-531,525	-501,525	350	850	600		
4	29/09/2012	HE-CI-RP-S-01	0,026	0,026	-240	-240	-433,775	-433,775	200	240	220	230	3709,9
		HE-CI-RP-S-02	0,026	0,026	-450	-400	-625,275	-575,275	220	230	225		
		HE-CI-RP-S-03	0,026	0,026	-430	-280	-695,05	-545,05	240	250	245		
5	15/10/2012	HE-CI-RP-S-01	0,026	0,026	-320	-370	-702,725	-752,725	310	460	385	300	4839
		HE-CI-RP-S-02	0,026	0,026	-410	-450	-663,075	-703,075	240	270	255		
		HE-CI-RP-S-03	0,026	0,026	-380	-290	-609,15	-519,15	220	300	260		
6	30/10/2012	HE-CI-RP-S-01	0,026	0,026	-240	-140	-531,375	-431,375	290	360	325	271,67	4381,98
		HE-CI-RP-S-02	0,026	0,026	-260	-250	-635,525	-625,525	220	270	245		
		HE-CI-RP-S-03	0,026	0,026	-250	-420	-552,425	-722,425	210	280	245		

TABLA 26
D.2 HORMIGONES HE CON INHIBIDOR EXPUESTOS 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 [ohmios]	[(E-Ecorr)/ΔI]-RΩ (ohmios)	i corr [uA/cm2]	E-Ecorr [V]	(E-Ecorr)/ΔI [ohmios]	[(E-Ecorr)/ΔI]-RΩ (ohmios)	i corr [uA/cm2]	i corr PROMEDIO	i corr final	perdida de espesor (mm/año)
1	15/08/2012	HE-CI-RP-S-01	0,0273	1365	1165	1,116	0,05	2500	2300	0,565	0,8405	0,503	0,00583
		HE-CI-RP-S-02	0,0699	3495	3225	0,403	0,1181	5905	5635	0,231	0,3169		
		HE-CI-RP-S-03	0,1095	5475	5205	0,250	0,0631	3155	2885	0,451	0,3502		
2	30/08/2012	HE-CI-RP-S-01	0,0744	3720	3482,5	0,373	0,1344	6720	6482,5	0,201	0,2869	0,2867	0,00333
		HE-CI-RP-S-02	0,1391	6955	6675	0,195	0,1012	5060	4780	0,272	0,2334		
		HE-CI-RP-S-03	0,1077	5385	5055	0,257	0,0681	3405	3075	0,423	0,3400		
3	14/09/2012	HE-CI-RP-S-01	0,0579	2895	2620	0,496	0,0342	1710	1435	0,906	0,7011	0,711	0,00825
		HE-CI-RP-S-02	0,1965	9825	9505	0,137	0,0414	2070	1750	0,743	0,4398		
		HE-CI-RP-S-03	0,0272	1360	760	1,711	0,1067	5335	4735	0,275	0,9925		
4	29/09/2012	HE-CI-RP-S-01	0,0403	2015	1795	0,724	0,0288	1440	1220	1,066	0,8949	0,618	0,00717
		HE-CI-RP-S-02	0,1034	5170	4945	0,263	0,0312	1560	1335	0,974	0,6183		
		HE-CI-RP-S-03	0,0981	4905	4660	0,279	0,0697	3485	3240	0,401	0,3401		
5	15/10/2012	HE-CI-RP-S-01	0,0658	3290	2905	0,448	0,1245	6225	5840	0,223	0,3351	0,515	0,00597
		HE-CI-RP-S-02	0,0486	2430	2175	0,598	0,0356	1780	1525	0,852	0,7251		
		HE-CI-RP-S-03	0,158	7900	7640	0,170	0,0378	1890	1630	0,798	0,4839		
6	30/10/2012	HE-CI-RP-S-01	0,0319	1595	1270	1,024	0,1177	5885	5560	0,234	0,6287	1,023	0,01187
		HE-CI-RP-S-02	0,0255	1275	1030	1,262	0,0278	1390	1145	1,135	1,1988		
		HE-CI-RP-S-03	0,0162	810	565	2,301	0,1466	7330	7085	0,183	1,2422		

TABLA 27
E.1 HORMIGONES GU SIN INHIBIDOR EXPUESTOS AL MEDIO AMBIENTE NATURAL

			Ax	Ay	POTENCIAL 60 seg: E (Mv)				Medicion de Resistencia				
MEDICIÓN No	FECHA	CÓDIGO PROBETA	Valor de B	Valor B	Ax [mV] (E perturbado)	Ay (E perturbado)	Ax [mV] E perturbado Final	Ay [mV] E perturbado Final	Ax [ohmios]	Ay [ohmios]	R Ω (Promedio)	Resistencia Final [ohmios]	Resistividad Final [ohmios-cm]
1	15/08/2012	GU-SI-RP-N-01	0,052	0,052	600	460	375,675	235,675	1150	850	1000	1083,333	17474,17
		GU-SI-RP-N-02	0,052	0,052	690	600	426,75	336,75	1300	1100	1200		
		GU-SI-RP-N-03	0,052	0,052	650	510	379,6	239,6	1200	900	1050		
2	30/08/2012	GU-SI-RP-N-01	0,052	0,052	570	540	336,1	306,1	1000	1300	1150	966,667	15592,3
		GU-SI-RP-N-02	0,052	0,052	680	630	459,65	409,65	800	700	750		
		GU-SI-RP-N-03	0,052	0,052	770	560	569,475	359,475	800	1200	1000		
3	14/09/2012	GU-SI-RP-N-01	0,052	0,052	640	540	494,5	394,5	1900	1000	1450	1716,667	27689,8
		GU-SI-RP-N-02	0,052	0,052	470	600	252,55	382,55	2000	1400	1700		
		GU-SI-RP-N-03	0,052	0,052	730	560	487,975	317,975	2500	1500	2000		
4	29/09/2012	GU-SI-RP-N-01	0,052	0,052	770	590	581,475	401,475	2800	1600	2200	2316,667	37367,8
		GU-SI-RP-N-02	0,052	0,052	730	700	531,375	501,375	1800	2300	2050		
		GU-SI-RP-N-03	0,052	0,052	620	830	379,15	589,15	3100	2300	2700		
5	15/10/2012	GU-SI-RP-N-01	0,052	0,052	790	610	554,35	374,35	2600	1700	2150	2383,333	38443,17
		GU-SI-RP-N-02	0,052	0,052	630	450	356,25	176,25	2800	2600	2700		
		GU-SI-RP-N-03	0,052	0,052	850	670	507,3	327,3	2400	2200	2300		
6	30/10/2012	GU-SI-RP-N-01	0,052	0,052	520	430	222,825	132,825	2100	2200	2150	2200	35486
		GU-SI-RP-N-02	0,052	0,052	670	810	361,675	501,675	2000	1800	1900		
		GU-SI-RP-N-03	0,052	0,052	730	660	473,625	403,625	2200	2900	2550		

TABLA 28
E.2 HORMIGONES GU SIN INHIBIDOR EXPUESTOS AL MEDIO AMBIENTE NATURAL

MEDICIÓN No	FECHA	CÓDIGO PROBETA	Calculo de i_{corr} para Ax				Calculo de i_{corr} para Ay				Resumen				
			E-Ecorr [V]	(E-Ecorr)/ Δi [ohmios]	[(E-Ecorr)/ Δi]-R Ω (ohmios)	i_{corr} [uA/cm ²]	E-Ecorr [V]	(E-Ecorr)/ Δi [ohmios]	[(E-Ecorr)/ Δi]-R Ω (ohmios)	i_{corr} [uA/cm ²]	i_{corr} PROMEDIO	i_{corr} final	Perdida de espesor [mm/año]	Perdida de espesor [um/año]	Tiempo de duración de la Propagación [años]
1	15/08/2012	GU-SI-RP-N-01	0,451	22540	21540	0,1207	0,3237	16185	15185	0,1712	0,1460	0,1299	0,00151	1,51	52,98
		GU-SI-RP-N-02	0,546	27300	26100	0,0996	0,4565	22825	21625	0,1202	0,1099				
		GU-SI-RP-N-03	0,486	24315	23265	0,1118	0,3552	17760	16710	0,1556	0,1337				
2	30/08/2012	GU-SI-RP-N-01	0,397	19845	18695	0,1391	0,3686	18430	17280	0,1505	0,1448	0,1183	0,00137	1,37	58,39
		GU-SI-RP-N-02	0,554	27720	26970	0,0964	0,4911	24555	23805	0,1092	0,1028				
		GU-SI-RP-N-03	0,588	29375	28375	0,0916	0,4419	22095	21095	0,1233	0,1074				
3	14/09/2012	GU-SI-RP-N-01	0,517	25850	24400	0,1066	0,4294	21470	20020	0,1299	0,1182	0,1259	0,00146	1,46	54,79
		GU-SI-RP-N-02	0,338	16910	15210	0,1709	0,4713	23565	21865	0,1189	0,1449				
		GU-SI-RP-N-03	0,588	29385	27385	0,0949	0,428	21400	19400	0,1340	0,1145				
4	29/09/2012	GU-SI-RP-N-01	0,695	34765	32565	0,0798	0,5142	25710	23510	0,1106	0,0952	0,0953	0,00111	1,11	72,07
		GU-SI-RP-N-02	0,624	31215	29165	0,0891	0,5956	29780	27730	0,0938	0,0915				
		GU-SI-RP-N-03	0,493	24650	21950	0,1185	0,7034	35170	32470	0,0801	0,0993				
5	15/10/2012	GU-SI-RP-N-01	0,595	29750	27600	0,0942	0,4155	20775	18625	0,1396	0,1169	0,1406	0,00163	1,63	49,08
		GU-SI-RP-N-02	0,474	23720	21020	0,1237	0,2826	14130	11430	0,2275	0,1756				
		GU-SI-RP-N-03	0,557	27865	25565	0,1017	0,3771	18855	16555	0,1571	0,1294				
6	30/10/2012	GU-SI-RP-N-01	0,329	16435	14285	0,1820	0,2924	14620	12470	0,2085	0,1953	0,1293	0,00150	1,5	53,33
		GU-SI-RP-N-02	0,551	27545	25645	0,1014	0,5809	29045	27145	0,0958	0,0986				
		GU-SI-RP-N-03	0,717	35840	33290	0,0781	0,5224	26120	23570	0,1103	0,0942				

TABLA 29
F.1 HORMIGONES GU CON INHIBIDOR EXPUESTOS AL MEDIO AMBIENTE NATURAL

MEDICIÓN No	FECHA	CÓDIGO PROBETA	Ax	Ay	POTENCIAL 60 seg: E (Mv)				Medicion de Resistencia			Resistencia Final [ohmios]	Resistividad Final [ohmios-cm]
			Valor de B [V]	Valor B [V]	Ax [mV] (E perturbado)	Ay (E perturbado)	Ax [mV] E perturbado Final	Ay [mV] E perturbado Final	Ax [ohmios]	Ay [ohmios]	R Ω (Promedio)		
1	15/08/2012	GU-CI-RP-N-01	0,052	0,052	650	580	344,45	274,45	1150	1080	1115	1121,667	18092,483
		GU-CI-RP-N-02	0,052	0,052	550	560	260,45	270,45	1300	900	1100		
		GU-CI-RP-N-03	0,052	0,052	530	570	215,3	255,3	1200	1100	1150		
2	30/08/2012	GU-CI-RP-N-01	0,052	0,052	720	620	468,975	368,975	1000	1500	1250	1083,333	17474,167
		GU-CI-RP-N-02	0,052	0,052	620	600	397,05	377,05	800	1000	900		
		GU-CI-RP-N-03	0,052	0,052	590	670	363,675	443,675	800	1400	1100		
3	14/09/2012	GU-CI-RP-N-01	0,052	0,052	820	540	643,975	363,975	1900	1950	1925	1908,333	30781,417
		GU-CI-RP-N-02	0,052	0,052	630	600	390,7	360,7	2000	1250	1625		
		GU-CI-RP-N-03	0,052	0,052	520	650	351,75	481,75	2500	1850	2175		
4	29/09/2012	GU-CI-RP-N-01	0,052	0,052	830	690	593,85	453,85	2800	2600	2700	2450	39519
		GU-CI-RP-N-02	0,052	0,052	700	670	435,4	405,4	1800	2000	1900		
		GU-CI-RP-N-03	0,052	0,052	600	770	339,65	509,65	3100	2400	2750		
5	15/10/2012	GU-CI-RP-N-01	0,052	0,052	670	760	505,05	595,05	2600	2300	2450	2316,667	37367,833
		GU-CI-RP-N-02	0,052	0,052	710	730	481,80	501,8	2800	1800	2300		
		GU-CI-RP-N-03	0,052	0,052	620	860	299,375	539,375	2400	2000	2200		
6	30/10/2012	GU-CI-RP-N-01	0,052	0,052	500	660	317,925	477,925	2700	2600	2650	2500	40325
		GU-CI-RP-N-02	0,052	0,052	670	730	427,775	487,775	3200	2400	2800		
		GU-CI-RP-N-03	0,052	0,052	720	680	399,6	359,6	2000	2100	2050		

TABLA 30
F.2 HORMIGONES GU CON INHIBIDOR EXPUESTOS AL MEDIO AMBIENTE NATURAL

			Calculo de icorr para Ax				Calculo de icorr para Ay								
											Resumen				
MEDICIÓN No	FECHA	CÓDIGO PROBETA	E-Ecorr [V]	(E-Ecorr)/ΔI [ohmios]	[(E-Ecorr)/ΔI]-RΩ (ohmios)	i corr [uA/cm2]	E-Ecorr [V]	(E-Ecorr)/ΔI [ohmios]	[(E-Ecorr)/ΔI]-RΩ (ohmios)	i corr [uA/cm2]	i corr PROMEDIO	i corr final [uA/cm2]	Perdida de espesor [mm/año]	Perdida de espesor [um/año]	Tiempo de duración de la Propagación [años]
1	15/08/2012	GU-CI-RP-N-01	0,526	26315	25200	0,1032	0,4308	21540	20425	0,1273	0,1152	0,1348	0,00156	1,56	51,28
		GU-CI-RP-N-02	0,390	19490	18390	0,1414	0,3901	19505	18405	0,1413	0,1413				
		GU-CI-RP-N-03	0,354	17685	16535	0,1572	0,3985	19925	18775	0,1385	0,1479				
2	30/08/2012	GU-CI-RP-N-01	0,584	29220	27970	0,0930	0,4732	23660	22410	0,1160	0,1045	0,1117	0,00130	1,3	51,28
		GU-CI-RP-N-02	0,504	25220	24320	0,1069	0,4277	21385	20485	0,1269	0,1169				
		GU-CI-RP-N-03	0,445	22250	21150	0,1229	0,5189	25945	24845	0,1046	0,1138				
3	14/09/2012	GU-CI-RP-N-01	0,676	33785	31860	0,0816	0,3729	18645	16720	0,1555	0,1186	0,1270	0,00147	1,47	54,42
		GU-CI-RP-N-02	0,483	24170	22545	0,1153	0,4438	22190	20565	0,1264	0,1209				
		GU-CI-RP-N-03	0,356	17815	15640	0,1662	0,4881	24405	22230	0,1170	0,1416				
4	29/09/2012	GU-CI-RP-N-01	0,741	37025	34325	0,0757	0,5853	29265	26565	0,0979	0,0868	0,1012	0,00117	1,17	68,38
		GU-CI-RP-N-02	0,545	27230	25330	0,1026	0,5107	25535	23635	0,1100	0,1063				
		GU-CI-RP-N-03	0,455	22725	19975	0,1302	0,6263	31315	28565	0,0910	0,1106				
5	15/10/2012	GU-CI-RP-N-01	0,529	26465	24015	0,1083	0,7228	36140	33690	0,0772	0,0927	0,1029	0,00119	1,19	67,23
		GU-CI-RP-N-02	0,538	26875	24575	0,1058	0,5946	29730	27430	0,0948	0,1003				
		GU-CI-RP-N-03	0,400	19985	17785	0,1462	0,655	32750	30550	0,0851	0,1156				
6	30/10/2012	GU-CI-RP-N-01	0,486	24320	21670	0,1200	0,6031	30155	27505	0,0945	0,1073	0,09989	0,00116	1,16	68,97
		GU-CI-RP-N-02	0,558	27875	25075	0,1037	0,6638	33190	30390	0,0856	0,0946				
		GU-CI-RP-N-03	0,601	30070	28020	0,0928	0,5468	27340	25290	0,1028	0,0978				

TABLA 31
G.1 HORMIGONES GU SIN INHIBIDOR EXPUESTOS A AGUA SALADA

			Ax	Ay	POTENCIAL 60 seg: E (Mv)				Medicion de Resistencia				
MEDICIÓN No	FECHA	CÓDIGO PROBETA	Valor de B [V]	Valor B [V]	(Ti v.s Fe) (Perturbado) Ax [mV] (E perturbado)	(Ti v.s Fe) (Perturbado) Ay (E perturbado)	Ax [mV] E perturbado Final	Ay [mV] E perturbado Final	Ax [ohmios]	Ay [ohmios]	R Ω (Promedio)	Resistencia Final [ohmios]	Resistividad Final [ohmios-cm]
1	15/08/2012	GU-SI-RP-S-01	0,026	0,026	-170	-20	-369,6	-219,6	320	270	295	270,000	4355,100
		GU-SI-RP-S-02	0,026	0,026	-90	-120	-292,625	-322,625	320	230	275		
		GU-SI-RP-S-03	0,026	0,026	-200	-130	-398,175	-328,175	210	270	240		
2	30/08/2012	GU-SI-RP-S-01	0,026	0,026	-170	-110	-429,275	-369,275	350	280	315	278,3333	4489,5167
		GU-SI-RP-S-02	0,026	0,026	-180	-180	-404,925	-404,925	340	260	300		
		GU-SI-RP-S-03	0,026	0,026	-300	-350	-414,55	-464,55	220	220	220		
3	14/09/2012	GU-SI-RP-S-01	0,026	0,026	-210	-160	-516,025	-466,025	410	300	355	296,667	4785,233
		GU-SI-RP-S-02	0,026	0,026	-230	-300	-545,1	-615,1	360	240	300		
		GU-SI-RP-S-03	0,026	0,026	-330	-300	-499,05	-469,05	220	250	235		
4	29/09/2012	GU-SI-RP-S-01	0,026	0,026	-100	-100	-394,025	-394,025	400	240	320	365	5887,45
		GU-SI-RP-S-02	0,026	0,026	-170	-180	-373,5	-383,5	550	360	455		
		GU-SI-RP-S-03	0,026	0,026	-170	-170	-655,45	-655,45	300	340	320		
5	15/10/2012	GU-SI-RP-S-01	0,026	0,026	-150	-130	-461,25	-441,25	410	360	385	358,33	5779,92
		GU-SI-RP-S-02	0,026	0,026	-180	-210	-458,4	-488,4	400	340	370		
		GU-SI-RP-S-03	0,026	0,026	-320	-360	-561,05	-601,05	280	360	320		
6	30/10/2012	GU-SI-RP-S-01	0,026	0,026	-190	-130	-488,475	-428,475	400	370	385	350	5646
		GU-SI-RP-S-02	0,026	0,026	-180	-200	-419,15	-439,15	380	310	345		
		GU-SI-RP-S-03	0,026	0,026	-150	-190	-446,35	-486,35	300	340	320		

TABLA 32
G.2 HORMIGONES GU SIN INHIBIDOR EXPUESTOS 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 [ohmios]	[(E-Ecorr)/ΔI]-RΩ (ohmios)	i corr [uA/cm2]	E-Ecorr [V]	(E-Ecorr)/ΔI [ohmios]	[(E-Ecorr)/ΔI]-RΩ (ohmios)	i corr [uA/cm2]	i corr PROMEDIO	i corr final	Perdida de espesor [mm/año]
1	15/08/2012	GU-SI-RP-S-01	0,0755	3775	3480	0,374	0,121	6050	5755	0,226	0,2997	0,223	0,00259
		GU-SI-RP-S-02	0,1479	7395	7120	0,183	0,1238	6190	5915	0,220	0,2012		
		GU-SI-RP-S-03	0,1438	7190	6950	0,187	0,1762	8810	8570	0,152	0,1694		
2	30/08/2012	GU-SI-RP-S-01	0,0644	3220	2905	0,448	0,0571	2855	2540	0,512	0,4797	0,5147	0,00597
		GU-SI-RP-S-02	0,2045	10225	9925	0,131	0,2108	10540	10240	0,127	0,1290		
		GU-SI-RP-S-03	0,0212	1060	840	1,548	0,0848	4240	4020	0,323	0,9355		
3	14/09/2012	GU-SI-RP-S-01	0,0242	1210	855	1,520	0,0316	1580	1225	1,061	1,2908	1,131	0,0131
		GU-SI-RP-S-02	0,0198	990	690	1,884	0,0495	2475	2175	0,598	1,2409		
		GU-SI-RP-S-03	0,0244	1220	985	1,320	0,0688	3440	3205	0,406	0,8627		
4	29/09/2012	GU-SI-RP-S-01	0,2015	10075	9755	0,133	0,2155	10775	10455	0,124	0,1288	0,125	0,00145
		GU-SI-RP-S-02	0,2411	12055	11600	0,112	0,2067	10335	9880	0,132	0,1218		
		GU-SI-RP-S-03	0,2161	10805	10485	0,124	0,2131	10655	10335	0,126	0,1249		
5	15/10/2012	GU-SI-RP-S-01	0,1372	6860	6475	0,201	0,129	6450	6065	0,214	0,2076	0,286	0,00332
		GU-SI-RP-S-02	0,1255	6275	5905	0,220	0,1161	5805	5435	0,239	0,2297		
		GU-SI-RP-S-03	0,1035	5175	4855	0,268	0,0518	2590	2270	0,573	0,4202		
6	30/10/2012	GU-SI-RP-S-01	0,0815	4075	3690	0,352	0,1646	8230	7845	0,166	0,2590	0,704	0,00817
		GU-SI-RP-S-02	0,0187	935	590	2,203	0,0568	2840	2495	0,521	1,3622		
		GU-SI-RP-S-03	0,0428	2140	1820	0,714	0,1028	5140	4820	0,270	0,4920		

TABLA 33

H.1 HORMIGONES GU CON INHIBIDOR EXPUESTOS A AGUA SALADA

MEDICIÓN No	FECHA	CÓDIGO PROBETA	Ax	Ay	POTENCIAL 60 seg: E (Mv)				Medición de Resistencia			Resistencia Final [ohmios]	Resistividad Final [ohmios-cm]
			Valor de B [V]	Valor B [V]	(Ti v.s Fe) (Perturbado) Ax [mV] (E perturbado)	(Ti v.s Fe) (Perturbado) Ay (E perturbado)	Ax [mV] E perturbado Final	Ay [mV] E perturbado Final	Ax [ohmios]	Ay [ohmios]	R Ω (Promedio)		
1	15/08/2012	GU-CI-RP-S-01	0,026	0,026	-240	-168	-381,425	-309,425	400	310	355	285,833	4610,492
		GU-CI-RP-S-02	0,026	0,026	-160	-350	-302,7	-492,7	260	220	240		
		GU-CI-RP-S-03	0,026	0,026	-330	-210	-459,65	-339,65	245	280	262,5		
2	30/08/2012	GU-CI-RP-S-01	0,026	0,026	-90	-110	-267,425	-287,425	390	370	380	330	5322,9
		GU-CI-RP-S-02	0,026	0,026	-70	-270	-174,05	-374,05	300	260	280		
		GU-CI-RP-S-03	0,026	0,026	-210	-70	-352,5	-212,5	320	340	330		
3	14/09/2012	GU-CI-RP-S-01	0,026	0,026	-250	-170	-527	-447	430	450	440	381,667	6156,283
		GU-CI-RP-S-02	0,026	0,026	-240	-340	-486,65	-586,65	340	340	340		
		GU-CI-RP-S-03	0,026	0,026	-270	-280	-452,05	-462,05	380	350	365		
4	29/09/2012	GU-CI-RP-S-01	0,026	0,026	-150	-60	-379,05	-289,05	360	390	375	376,667	6075,633
		GU-CI-RP-S-02	0,026	0,026	-70	-20	-219,875	-169,875	330	350	340		
		GU-CI-RP-S-03	0,026	0,026	-110	-70	-247,125	-207,125	370	460	415		
5	15/10/2012	GU-CI-RP-S-01	0,026	0,026	-230	-140	-487,125	-397,125	550	570	560	528,333	8522,017
		GU-CI-RP-S-02	0,026	0,026	-160	-150	-372,8	-362,8	600	540	570		
		GU-CI-RP-S-03	0,026	0,026	-130	-170	-372,8	-412,8	430	480	455		
6	30/10/2012	GU-CI-RP-S-01	0,026	0,026	-270	-170	-562,625	-462,625	500	530	515	478,333	7715,517
		GU-CI-RP-S-02	0,026	0,026	-220	-180	-517,075	-477,075	450	440	445		
		GU-CI-RP-S-03	0,026	0,026	-170	-270	-371,275	-471,275	490	460	475		

TABLA 34

H.2 HORMIGONES GU CON INHIBIDOR EXPUESTOS 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 [ohmios]	[(E-Ecorr)/ ΔI]-R Ω (ohmios)	i corr [uA/cm2]	E-Ecorr [V]	(E-Ecorr)/ ΔI [ohmios]	[(E-Ecorr)/ ΔI]-R Ω (ohmios)	i corr [uA/cm2]	i corr PROMEDIO	i corr final [uA/cm2]	Perdida de espesor [mm/año]
1	15/08/2012	GU-CI-RP-S-01	0,0668	3340	2985	0,436	0,0903	4515	4160	0,313	0,374	0,708	0,00821
		GU-CI-RP-S-02	0,1309	6545	6305	0,206	0,0149	745	505	2,574	1,390		
		GU-CI-RP-S-03	0,0876	4380	4117,5	0,316	0,0697	3485	3222,5	0,403	0,360		
2	30/08/2012	GU-CI-RP-S-01	0,1308	6540	6160	0,211	0,1087	5435	5055	0,257	0,234	0,449	0,00521
		GU-CI-RP-S-02	0,0777	3885	3605	0,361	0,0315	1575	1295	1,004	0,682		
		GU-CI-RP-S-03	0,0423	2115	1785	0,728	0,2023	10115	9785	0,133	0,431		
3	14/09/2012	GU-CI-RP-S-01	0,0674	3370	2930	0,444	0,0959	4795	4355	0,299	0,371	0,487	0,00565
		GU-CI-RP-S-02	0,027	1350	1010	1,287	0,1053	5265	4925	0,264	0,776		
		GU-CI-RP-S-03	0,1125	5625	5260	0,247	0,0752	3760	3395	0,383	0,315		
4	29/09/2012	GU-CI-RP-S-01	0,2146	10730	10355	0,126	0,2931	14655	14280	0,091	0,108	0,0812	0,000942
		GU-CI-RP-S-02	0,3953	19765	19425	0,067	0,4383	21915	21575	0,060	0,064		
		GU-CI-RP-S-03	0,3481	17405	16990	0,077	0,3953	19765	19350	0,067	0,072		
5	15/10/2012	GU-CI-RP-S-01	0,0336	1680	1120	1,161	0,1884	9420	8860	0,147	0,654	0,346	0,00401
		GU-CI-RP-S-02	0,2377	11885	11315	0,115	0,1527	7635	7065	0,184	0,149		
		GU-CI-RP-S-03	0,19	9500	9045	0,144	0,0887	4435	3980	0,327	0,235		
6	30/10/2012	GU-CI-RP-S-01	0,0203	1015	500	2,600	0,1494	7470	6955	0,187	1,393	0,72737	0,00844
		GU-CI-RP-S-02	0,0455	2275	1830	0,710	0,0634	3170	2725	0,477	0,594		
		GU-CI-RP-S-03	0,1951	9755	9280	0,140	0,1136	5680	5205	0,250	0,195		

2.4.2 Pruebas cinéticas con variables a determinar empleando el Gecor8.

Mapeo

Este método consiste en utilizar el equipo Gecor8. Se realiza formando un circuito, en el cual se coloca el “Sensor B” sobre la superficie del hormigón y para cerrar el circuito con la pinza de lagarto se agarra a una de las varillas de la estructura de acero del hormigón armado tal como se muestra en la Figura 2.28.



FIGURA 2.28: CIRCUITO CERRADO USANDO EL “SENSOR B” PARA MEDIR POTENCIAL DE CORROSIÓN Y RESISTIVIDAD.

Este Sensor B aparte de dar valores de a) Potencial de corrosión y b) Resistividad del hormigón; muestra el nivel de

riesgo en que se encuentran las varillas tal como se muestra en la Figura 2.29.

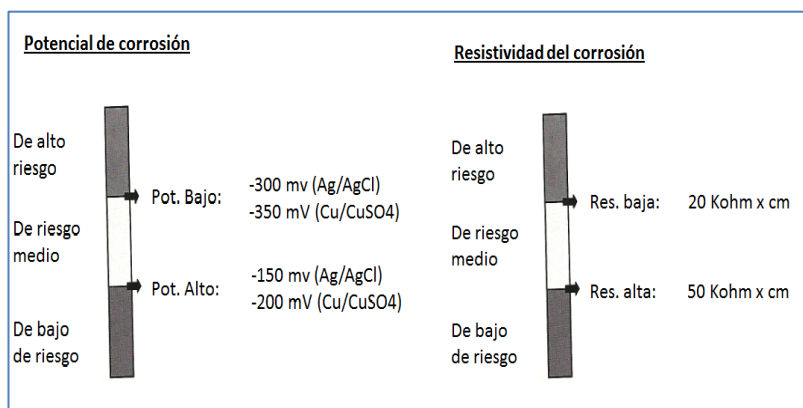


FIGURA 2.29: VALORES LÍMITES PARA EL NIVEL DE RIESGO EN MAPEO. ¹⁰

Método aplicado para la toma de mediciones

Para la toma de mediciones se lija la varilla y se quita todo tipo de impurezas, una vez lista la probeta se conecta el extremo del cable (que posee la pinza) a la varilla y el otro se conecta al “sensor B”.

Estas mediciones se las realizan en las probetas rectangulares. A continuación se muestra en la Figura 2.30 las divisiones entre cada medición. Estas separaciones de mediciones se hicieron en todos los lados de la probeta.

¹⁰ NDT James Instruments; “Corrosion rate meter Gecor8-Instruction Manual”, Second Edition, 2002.

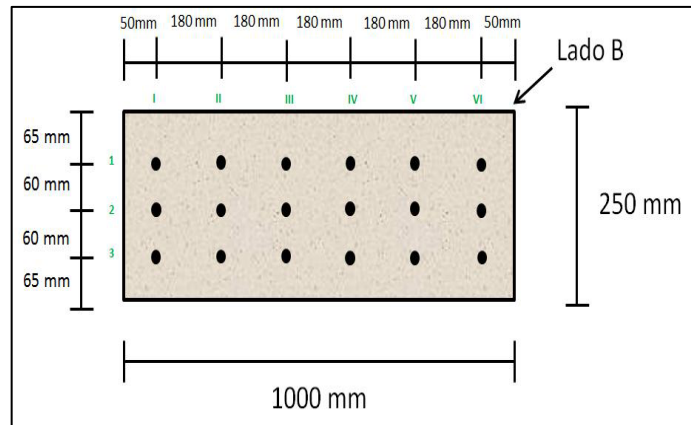


FIGURA 2.30: DISTANCIA ENTRE MEDICIONES EN LAS PROBETAS RECTANGULARES.

Una vez realizado los pasos previos a la medición, se continúa con el uso del equipo. En la Figura 2.31, se muestra la pantalla que aparece después de seleccionar el método de mapeo. Los datos ingresados son: el nombre de la tarea usando el tipo de cemento y el lado en que se realiza la medición, el paso en X igual a 18, el tamaño en X igual a 90, el paso en Y igual a 6, el tamaño en Y igual a 12 y el camino de la red seleccionado "Random".

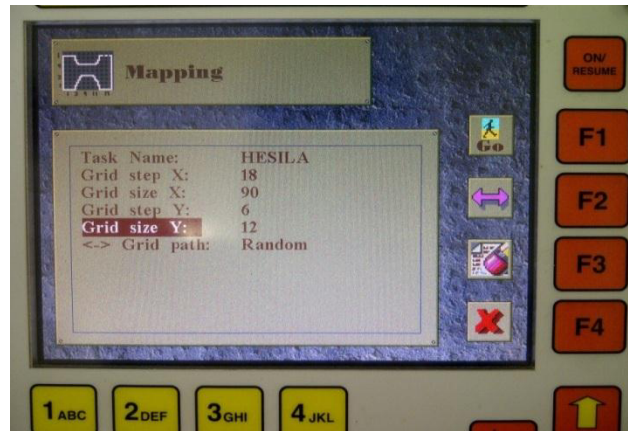


FIGURA 2.31: PANTALLA PARA DATOS DE MAPEO.

Habiendo introducido los valores anteriores en la pantalla de “Mapping data”, se procede a colocar el sensor B como se observa en la Figura 2.32 en el punto de medición que corresponde de acuerdo a lo que indica la pantalla “Mapping measurement” habiendo realizado la previa humectación de la esponja y el hormigón.



FIGURA 2.32: COLOCACIÓN DEL SENSOR B EN EL PUNTO DE MEDICIÓN.

Una vez realizada las mediciones y habiendo guardado los resultados, se procede a copiar la información en una computadora extrayendo la tarjeta PCMCIA del equipo y colocándola en el puerto PCMCIA de la computadora.

Resistividad del hormigón

Los resultados obtenidos usando el sensor B conectado al equipo Gecor8 de la resistividad de cada uno de los hormigones sacando media de todos sus lados, se muestran en la Tabla 35 a la Tabla 38.

TABLA 35
RESISTIVIDAD DEL HORMIGON HE SIN INHIBIDOR
EXPUESTO AL MEDIO AMBIENTE

[KΩ-cm]

15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	6,45	5,68	6,90	7,47	6,38	5,59
2	6,27	4,97	5,01	4,97	6,40	5,51
3	8,46	8,72	6,93	6,21	7,17	6,71
30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	10,84	10,55	9,74	10,01	10,13	9,01
2	10,18	10,63	9,17	8,97	8,44	8,97
3	12,54	10,71	10,21	11,21	11,11	9,12
14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	9,38	7,98	9,74	9,83	9,70	6,21
2	9,01	8,53	8,82	9,72	8,87	6,83
3	9,24	9,73	11,13	10,47	10,08	7,28
29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	12,74	10,10	10,96	11,15	10,12	9,08
2	10,14	9,72	9,07	9,19	8,23	7,42
3	11,71	11,90	9,64	9,77	8,84	10,09
15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	15,50	12,81	13,05	14,67	12,17	8,60
2	12,61	11,36	10,75	11,61	9,15	8,75
3	18,05	14,89	13,73	12,35	10,92	10,52
30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	15,53	14,59	11,63	13,21	11,59	9,43
2	12,52	11,15	11,05	12,24	9,80	9,73
3	19,64	14,60	12,59	16,05	10,67	10,54

TABLA 36
RESISTIVIDAD DEL HORMIGON HE CON INHIBIDOR
EXPUESTO AL MEDIO AMBIENTE

[KΩ-cm]

15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	5,18	3,73	4,28	3,86	4,81	5,25
2	3,52	3,24	3,31	2,93	3,64	4,05
3	4,25	3,82	3,72	3,63	3,77	4,49
30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	7,86	6,02	6,79	5,10	5,61	6,32
2	4,92	4,65	4,84	3,88	5,52	6,96
3	6,61	6,22	7,37	5,26	5,93	7,30
14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	10,01	7,25	6,92	7,01	7,13	8,02
2	6,16	7,38	6,29	5,11	6,06	9,34
3	8,93	9,53	6,60	7,61	6,54	9,75
29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	12,85	8,67	8,56	8,68	7,61	8,89
2	7,51	7,46	7,13	6,73	7,88	8,02
3	10,19	9,46	8,09	8,49	8,35	10,65
15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	14,49	12,02	9,11	8,01	8,75	10,23
2	7,91	7,70	6,83	6,99	7,44	8,87
3	11,67	10,14	8,00	8,96	8,46	13,24
30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	10,42	8,47	7,59	7,60	7,37	10,62
2	8,36	7,67	7,47	6,83	8,29	7,90
3	13,31	9,61	7,81	9,02	8,97	8,94

TABLA 37
RESISTIVIDAD DEL HORMIGON GU SIN INHIBIDOR
EXPUESTO AL MEDIO AMBIENTE
[KΩ-cm]

15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	5,27	4,62	4,91	5,07	6,08	5,40
2	4,15	3,87	3,72	3,51	3,99	5,00
3	5,22	5,23	5,71	4,44	5,66	5,10
30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	10,04	7,45	8,65	8,33	8,88	10,18
2	8,55	8,26	7,64	6,75	8,09	8,85
3	10,49	9,04	10,21	8,46	8,56	10,61
14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	10,46	8,35	9,51	8,93	10,11	10,61
2	7,83	8,14	8,71	6,52	8,32	8,89
3	10,16	9,87	10,02	8,91	10,09	9,43
29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	11,75	10,85	11,58	11,36	11,01	12,14
2	9,39	10,01	9,04	8,40	9,61	9,54
3	10,67	11,35	12,15	10,00	9,37	10,98
15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	11,66	10,89	12,18	10,87	11,92	14,37
2	10,32	10,66	9,66	9,62	11,26	10,31
3	11,74	12,79	12,87	11,78	12,06	11,94
30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	10,44	10,38	10,69	9,51	9,96	11,08
2	9,31	8,68	8,39	8,25	8,19	9,49
3	11,05	10,07	10,48	10,20	11,03	11,62

TABLA 38
RESISTIVIDAD DEL HORMIGON GU CON INHIBIDOR
EXPUESTO AL MEDIO AMBIENTE

[KΩ-cm]

15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	4,08	3,52	3,51	3,15	3,80	3,93
2	4,67	3,02	3,05	2,78	2,79	3,84
3	4,36	3,69	4,27	3,37	3,56	4,06
30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	7,01	5,32	5,80	6,67	6,41	7,91
2	6,25	5,28	5,27	4,70	4,81	7,15
3	8,36	5,35	5,85	6,51	6,05	7,94
14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	8,82	8,02	6,34	7,46	6,61	9,94
2	4,70	4,76	5,04	4,76	4,68	6,37
3	6,94	5,60	5,54	5,83	10,42	6,37
29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	9,01	9,20	8,43	9,22	10,70	11,60
2	7,35	7,49	6,82	11,54	6,38	9,57
3	9,90	8,20	7,30	7,66	9,17	9,08
15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	7,03	6,94	8,55	7,88	8,12	9,35
2	6,31	5,79	6,27	6,01	6,30	7,95
3	9,59	7,92	7,31	7,19	7,98	8,52
30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	10,44	10,38	10,69	9,51	9,96	11,08
2	9,31	8,68	8,39	8,25	8,19	9,49
3	11,05	10,07	10,48	10,20	11,03	11,62

Potencial de corrosión

Los resultados obtenidos del potencial de corrosión usando el sensor B, sacando la media de cada uno de los lados de los hormigones (Lado A, B, C Y D) se muestran de la Tabla 39 a la Tabla 42. Y con el electrodo (CSC) tal como se muestran de la Tabla 43 a la Tabla 46. Dichas tablas están en Voltios.

TABLA 39
POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL HORMIGÓN HE SIN
INHIBIDOR EXPUESTO AL MEDIO AMBIENTE

15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	-197,05	-191,95	-197,43	-206,70	-200,55	-198,93
2	-188,38	-200,18	-195,33	-204,80	-191,26	-203,83
3	-183,14	-200,35	-200,30	-201,75	-196,43	-206,08
30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	-237,34	-227,90	-246,31	-234,82	-232,89	-251,26
2	-221,62	-229,78	-238,47	-244,76	-232,41	-248,41
3	-212,65	-223,54	-246,87	-218,23	-231,39	-254,04
14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	-235,63	-105,43	-265,90	-273,83	-250,62	-365,53
2	-222,97	-274,46	-272,17	-278,55	-273,35	-355,96
3	-233,64	-275,87	-289,90	-260,40	-294,81	-352,95
29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	-240,03	-267,98	-263,19	-270,78	-275,61	-339,51
2	-240,81	-257,45	-285,63	-265,22	-277,72	-334,44
3	-227,44	-271,32	-290,60	-262,24	-277,45	-317,64
15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	-225,37	-263,73	-269,27	-271,53	-273,88	-375,95
2	-234,99	-246,61	-276,56	-272,56	-285,37	-337,68
3	-237,49	-272,03	-296,94	-271,71	-290,83	KL
30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	-265,75	-292,12	-296,23	-283,99	-293,35	-365,55
2	-262,34	-274,11	-294,90	-280,69	-281,23	-330,49
3	-243,14	-278,20	-296,89	-277,03	-297,70	-330,79

TABLA 40
POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL HORMIGÓN HE CON
INHIBIDOR EXPUESTO AL MEDIO AMBIENTE

15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	-153,75	-159,42	-154,70	-151,91	-159,40	-159,07
2	-139,25	-163,29	-160,10	-149,75	-161,95	-154,46
3	-162,36	-164,54	-155,68	-148,36	-150,81	-161,20
30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	-175,43	-174,56	-158,57	-153,90	-171,11	-189,50
2	-160,34	-164,58	-163,85	-158,89	-170,11	-181,52
3	-175,49	-175,31	-167,96	-158,63	-171,53	-192,23
14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	-174,71	-176,93	-181,65	-173,56	-206,06	-227,00
2	-167,69	-168,57	-187,83	-174,75	-178,96	-216,10
3	-173,87	-165,83	-176,53	-171,35	-200,62	-201,12
29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	-223,84	-213,51	-213,32	-198,64	-236,21	-251,56
2	-237,27	-224,27	-222,77	-196,49	-230,26	-242,91
3	-229,73	-212,05	-221,64	-207,05	-237,48	-249,44
15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	-185,03	-169,08	-187,71	-161,76	-188,71	-208,45
2	-186,36	-171,96	-173,84	-160,03	-171,25	-204,08
3	-177,37	-159,55	-169,64	-152,37	-182,39	-195,77
30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	-255,89	-227,23	-219,87	-199,72	-227,67	-244,77
2	-255,70	-243,42	-217,07	-207,63	-221,93	-232,21
3	-253,28	-243,73	-211,63	-210,08	-229,54	-248,19

TABLA 41

**POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL HORMIGÓN GU SIN
INHIBIDOR EXPUESTO AL MEDIO AMBIENTE**

15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	-137,35	-136,63	-141,53	-145,90	-150,55	-164,43
2	-136,88	-140,43	-149,05	-152,49	-151,35	-151,95
3	-143,63	-154,13	-146,23	-142,73	-150,65	-155,53

30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	-204,96	-199,29	-199,50	-190,73	-201,36	-207,81
2	-210,30	-197,48	-195,48	-185,46	-193,23	-201,43
3	-196,26	-196,43	-181,79	-174,81	-182,15	-190,78

14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	-159,47	-146,17	-133,16	-135,72	-154,33	-171,47
2	-172,09	-143,70	-130,62	-145,72	-154,39	-158,68
3	-174,48	-155,60	-133,18	-141,66	-143,94	-171,71

29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	-261,49	-243,54	-229,93	-223,72	-241,27	-251,12
2	-258,46	-105,06	-225,31	-225,45	-239,27	-244,37
3	-264,72	-251,31	-224,04	-221,61	-231,79	-254,05

15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	-255,60	-223,27	-196,59	-189,54	-205,27	-240,96
2	-251,68	-208,13	-194,03	-192,67	-203,75	-224,24
3	-244,62	-214,40	-184,18	-177,80	-184,38	-220,35

30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	-270,53	-253,43	-253,74	-267,40	-266,41	-280,44
2	-281,09	-257,11	-256,46	-274,54	-266,48	-275,77
3	-274,46	-254,11	-253,86	-263,91	-257,41	-269,64

TABLA 42
POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL HORMIGON GU CON
INHIBIDOR EXPUESTO AL MEDIO AMBIENTE

15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	-237,78	-237,95	-241,65	-244,38	-246,88	-240,55
2	-230,38	-238,25	-232,53	-247,43	-238,58	-246,70
3	-214,33	-226,13	-228,63	-245,93	-230,15	-237,78

30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	-227,05	-228,80	-233,35	-237,80	-231,94	-226,04
2	-227,86	-232,98	-235,31	-247,64	-233,35	-229,85
3	-236,41	-235,59	-229,93	-240,38	-235,52	-222,05

14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	-218,09	-211,38	-208,38	-219,56	-199,59	-197,46
2	-224,15	-215,65	-210,74	-232,56	-202,16	-205,12
3	-232,88	-221,53	-210,71	-216,80	-203,39	-201,34

29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	-240,39	-220,98	-230,61	-245,59	-231,39	-222,21
2	-251,70	-240,83	-245,10	-250,37	-238,01	-230,48
3	-238,44	-234,42	-253,17	-251,70	-241,61	-236,70

15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	-269,42	-248,09	-247,36	-276,97	-274,88	-284,11
2	-286,75	-252,80	-257,50	-297,63	-288,46	-291,38
3	-291,87	-261,87	-269,79	-288,59	-287,28	-301,27

30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	-270,53	-253,43	-253,74	-267,40	-266,41	-280,44
2	-281,09	-257,11	-256,46	-824,54	-266,48	-275,77
3	-274,46	-254,11	-253,86	-263,91	-257,41	-269,64

Electrodo de referencia (CSC)

TABLA 43
POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL HORMIGÓN HE SIN
INHIBIDOR EXPUESTO AL MEDIO AMBIENTE

15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	-197,05	-191,95	-197,43	-206,70	-200,55	-198,93
2	-188,38	-200,18	-195,33	-204,80	-191,26	-203,83
3	-183,14	-200,35	-200,30	-201,75	-196,43	-206,08

30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	-237,34	-227,90	-246,31	-234,82	-232,89	-251,26
2	-221,62	-229,78	-238,47	-244,76	-232,41	-248,41
3	-212,65	-223,54	-246,87	-218,23	-231,39	-254,04

14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	-235,63	-272,54	-265,90	-273,83	-250,62	-365,53
2	-222,97	-274,46	-272,17	-278,55	-273,35	-355,96
3	-233,64	-275,87	-289,90	-260,40	-294,81	-352,95

29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	-240,03	-267,98	-263,19	-270,78	-275,61	-339,51
2	-240,81	-257,45	-285,63	-265,22	-277,72	-334,44
3	-227,44	-271,32	-290,60	-262,24	-277,45	-317,64

15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	-225,37	-263,73	-269,27	-271,53	-273,88	-375,95
2	-234,99	-246,61	-276,56	-272,56	-285,37	-337,68
3	-237,49	-272,03	-296,94	-271,71	-290,83	-340,30

30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	-265,75	-292,12	-296,23	-283,99	-293,35	-365,55
2	-262,34	-274,11	-294,90	-280,69	-281,23	-330,49
3	-243,14	-278,20	-296,89	-277,03	-297,70	-330,79

TABLA 44

**POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL HORMIGÓN HE CON
INHIBIDOR EXPUESTO AL MEDIO AMBIENTE**

15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	-153,75	-159,42	-154,70	-151,91	-159,40	-159,07
2	-139,25	-163,29	-160,10	-149,75	-161,95	-154,46
3	-162,36	-164,54	-155,68	-148,36	-150,81	-161,20
30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	-175,43	-174,56	-158,57	-153,90	-171,11	-189,50
2	-160,34	-164,58	-163,85	-158,89	-170,11	-181,52
3	-175,49	-175,31	-167,96	-158,63	-171,53	-192,23
14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	-174,71	-176,93	-181,65	-173,56	-206,06	-227,00
2	-167,69	-168,57	-187,83	-174,75	-178,96	-216,10
3	-173,87	-165,83	-176,53	-171,35	-200,62	-201,12
29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	-225,38	-225,73	-224,06	-207,77	-256,67	-259,24
2	-234,28	-234,36	-228,90	-209,94	-230,01	-248,03
3	-239,82	-226,77	-222,30	-204,58	-241,06	-262,20
15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	-185,03	-169,08	-187,71	-161,76	-188,71	-208,45
2	-186,36	-171,96	-173,84	-160,03	-171,25	-204,08
3	-177,37	-159,55	-169,64	-152,37	-182,39	-195,77
30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	-255,89	-227,23	-219,87	-199,72	-227,67	-244,77
2	-255,70	-243,42	-217,07	-207,63	-221,93	-232,21
3	-253,28	-243,73	-211,63	-210,08	-229,54	-248,19

TABLA 45

**POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL HORMIGÓN GU SIN
INHIBIDOR EXPUESTO AL MEDIO AMBIENTE**

15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	-168,15	-165,05	-165,58	-180,28	-186,98	-200,68
2	-166,33	-167,33	-180,65	-186,92	-187,08	-186,20
3	-169,88	-193,60	-172,38	-170,55	-183,50	-185,25
30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	-218,15	-212,95	-212,55	-205,60	-216,35	-225,93
2	-219,95	-205,23	-209,27	-208,18	-212,55	-219,08
3	-220,80	-214,23	-199,93	-186,88	-197,80	-205,83
14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	-227,25	-219,60	-200,68	-201,43	-212,68	-210,80
2	-225,95	-206,18	-193,60	-202,78	-209,25	-208,28
3	-234,78	-212,00	-193,18	-194,48	-195,12	-210,45
29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	-207,63	-199,30	-187,58	-175,55	-183,58	-187,75
2	-207,73	-190,33	-178,30	-184,75	-192,55	-187,93
3	-211,48	-197,45	-187,23	-180,53	-178,35	-186,03
15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	-277,60	-116,38	-232,58	-228,70	-242,75	-262,69
2	-286,33	-244,93	-230,68	-227,58	-235,28	-253,90
3	-270,08	-245,35	-222,15	-216,95	-232,86	-247,93
30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	-234,98	-206,38	-192,95	-209,87	-195,13	-212,85
2	-232,15	-206,38	-192,50	-189,58	-197,50	-210,15
3	-236,40	-209,20	-194,70	-191,13	-200,40	-210,43

TABLA 46

**POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL HORMIGÓN GU CON
INHIBIDOR EXPUESTO AL MEDIO AMBIENTE**

15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	-224,18	-229,83	-236,80	-235,83	-229,33	-220,83
2	-223,83	-232,38	-231,75	-242,80	-220,23	-223,15
3	-224,68	-226,60	-224,20	-228,10	-221,73	-224,15

30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI
1	-152,03	-178,60	-184,83	-194,70	-182,83	-169,80
2	-158,85	-178,03	-179,00	-191,50	-185,25	-181,33
3	-168,95	-190,18	-183,05	-184,55	-184,53	-179,58

14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	-205,03	-204,05	-217,70	-229,30	-220,73	-212,53
2	-234,90	-240,05	-238,83	-255,78	-228,53	-234,28
3	-227,40	-236,70	-231,53	-229,25	-229,05	-232,73

29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI
1	-271,75	-272,30	-281,68	-295,10	-279,98	-275,13
2	-289,78	-278,45	-282,18	-308,55	-276,75	-274,38
3	-281,23	-268,93	-273,85	-285,45	-243,78	-276,50

15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	-206,73	-204,38	-208,38	-226,83	-219,30	-210,58
2	-209,40	-202,03	-221,25	-243,28	-217,90	-221,80
3	-208,68	-206,48	-216,10	-219,93	-203,38	-213,10

30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI
1	-305,18	-285,13	-288,90	-313,25	-320,18	-327,80
2	-312,33	-288,73	-287,05	-322,90	-324,20	-329,50
3	-308,78	-288,08	-288,88	-315,23	-317,80	-331,23

Corriente de corrosión

Para determinar la corriente de corrosión con el equipo Gecor8; este tiene dos sensores para determinar la misma; el sensor A (para estructuras secas) y el sensor C (para estructuras húmedas). Para el caso presente de estudio, se usó el sensor A, cuyas probetas rectangulares estuvieron expuestas al medio ambiente con 28 días curado.

La toma de la medición se la realizó en el centro de la superficie de la probeta rectangular. Este método mide corrosión general de la estructura de hormigón armado, pero igual es de gran utilidad obtener dicho valor, porque así se puede ver el comportamiento que tienen estas probetas al medio ambiente y ver como el inhibidor actúa protegiendo a las varillas de la corrosión.

Método

Este ensayo se realiza después de realizar mapeo para aprovechar el equipo conectado en un extremo a la varilla de acero y el otro extremo al sensor A.

En la Figura 2.33 se muestra la pantalla que aparece después de seleccionar el método para estructuras aéreas.

Los datos ingresados son: el nombre de la tarea usando la identificación del tipo de cemento y el área de reforzamiento. Esta área corresponde a las varillas de acero, con contacto eléctrico entre ellos, de la capa de refuerzo cerca de la superficie de hormigón por debajo de un círculo de diámetro 105 mm centrada en el sensor. Con un diámetro de varilla de 1 [cm] el área de reforzamiento calculada es de 32.9 [cm²].

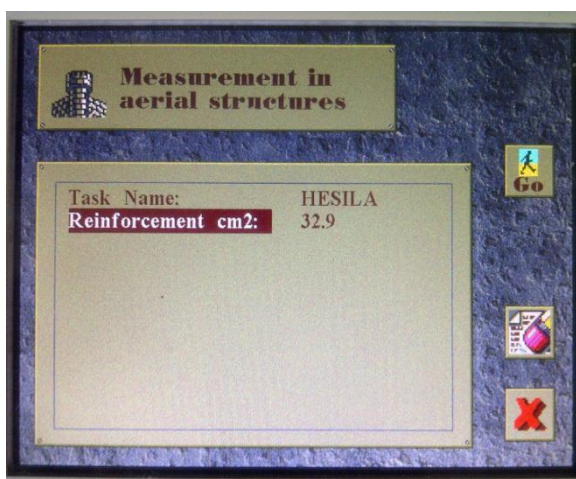


FIGURA 2.33: PANTALLA DE DATOS PARA MEDICIONES EN ESTRUCTURAS AÉREAS.

Habiendo introducido los valores anteriores en la pantalla, se procede a humectar la esponja y la superficie para colocar el sensor A en el centro de la superficie tal como se muestra en la Figura 2.34.



FIGURA 2.34: COLOCACIÓN DEL SENSOR A EN EL PUNTO DE MEDICIÓN.

Una vez realizada las mediciones y habiendo guardado los resultados, se procede a copiar la información en una computadora extrayendo la tarjeta PCMCIA del equipo y colocándola en el puerto PCMCIA de la computadora.

Resultados obtenidos

Se tomaron tres veces la medición de corriente por cada probeta rectangular y se sacó el promedio para que estos resultados sean confiables. Estas mediciones fueron hechas cada 15 días por un tiempo máximo de tres meses y estuvieron expuestas al medio ambiente. En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos del ensayo de las probetas de tipo de cemento GU y HE.

TABLA 47
CORRIENTE DE CORROSIÓN EN LA PROBETA
RECTANGULAR (HESI)

Fecha	Lado	i_1 [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]	i_2 [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]	i_3 [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]	$i_{\text{corr (prom)}}$ [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]
15 de Agosto	A	0,15	0,18	0,18	0,17
30 de Agosto	A	0,18	0,17	0,19	0,18
14 de Septiembre	A	0,16	0,15	0,16	0,16
29 de Septiembre	A	0,14	0,17	0,16	0,16
15 de Octubre	A	0,18	0,18	0,17	0,18
30 de Octubre	A	0,19	0,18	0,19	0,19

TABLA 48
CORRIENTE DE CORROSIÓN EN LA PROBETA
RECTANGULAR (HECI)

Fecha	Lado	i_1 [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]	i_2 [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]	i_3 [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]	$i_{\text{corr (prom)}}$ [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]
15 de Agosto	A	0,15	0,14	0,15	0,15
30 de Agosto	A	0,18	0,14	0,16	0,16
14 de Septiembre	A	0,14	0,12	0,16	0,14
29 de Septiembre	A	0,13	0,14	0,17	0,15
15 de Octubre	A	0,16	0,14	0,17	0,16
30 de Octubre	A	0,15	0,14	0,16	0,15

TABLA 49
CORRIENTE DE CORROSIÓN EN LA PROBETA
RECTANGULAR (GUSI)

Fecha	Lado	i_1 [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]	i_2 [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]	i_3 [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]	$i_{\text{corr (prom)}}$ [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]
15 de Agosto	A	0,12	0,17	0,15	0,15
30 de Agosto	A	0,16	0,15	0,16	0,16
14 de Septiembre	A	0,17	0,15	0,16	0,16
29 de Septiembre	A	0,15	0,17	0,14	0,15
15 de Octubre	A	0,17	0,13	0,13	0,14
30 de Octubre	A	0,18	0,16	0,17	0,17

TABLA 50
CORRIENTE DE CORROSIÓN EN LA PROBETA
RECTANGULAR (GUCI)

Fecha	Lado	i_1 [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]	i_2 [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]	i_3 [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]	$i_{\text{corr (prom)}}$ [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]
15 de Agosto	A	0,13	0,14	0,14	0,14
30 de Agosto	A	0,15	0,13	0,14	0,14
14 de Septiembre	A	0,15	0,14	0,11	0,13
29 de Septiembre	A	0,16	0,13	0,15	0,15
15 de Octubre	A	0,13	0,12	0,13	0,13
30 de Octubre	A	0,16	0,14	0,12	0,14

Velocidad de corrosión

Para calcular la velocidad de corrosión, se utiliza la ecuación 12 deducida en el Capítulo 1.2.4 como se muestra, a continuación, para el caso de la corriente de corrosión HESI del 30 de Agosto como ejemplo se tiene:

$$V_{\text{corr}} = 0.00116 \times i_{\text{corr}} \quad (\text{ec. 12})$$

$$V_{\text{corr}} = 0.0116 \times 0,18 \text{ uA/cm}^2$$

$$V_{\text{corr}} = 0.002 \text{ mm/año}$$

De esta manera, se obtienen las tablas con los valores de velocidad de corrosión (V_{corr}) para cada valor de corriente de las tablas anteriores.

TABLA 51
VELOCIDAD DE CORROSIÓN EN LA PROBETA
RECTANGULAR (HESI)

Fecha	Lado	V_{corr} [mm/año]	V_{corr} [μm/año]	Tiempo de propagación [años]
15 de Agosto	A	$1,972 \times 10^{-3}$	1,972	40,5
30 de Agosto	A	$2,088 \times 10^{-3}$	2,088	38,3
14 de Septiembre	A	$1,856 \times 10^{-3}$	1,856	43,1
29 de Septiembre	A	$1,856 \times 10^{-3}$	1,856	43,1
15 de Octubre	A	$2,088 \times 10^{-3}$	2,088	38,3
30 de Octubre	A	$2,204 \times 10^{-3}$	2,204	36,3

TABLA 52
VELOCIDAD DE CORROSIÓN EN LA PROBETA
RECTANGULAR (HECI)

Fecha	Lado	V_{corr} [mm/año]	V_{corr} [μm/año]	Tiempo de propagación [años]
15 de Agosto	A	$1,74 \times 10^{-3}$	1,74	46
30 de Agosto	A	$1,856 \times 10^{-3}$	1,856	43
14 de Septiembre	A	$1,624 \times 10^{-3}$	1,624	49,2
29 de Septiembre	A	$1,74 \times 10^{-3}$	1,74	46
15 de Octubre	A	$1,856 \times 10^{-3}$	1,856	43
30 de Octubre	A	$1,74 \times 10^{-3}$	1,74	46

TABLA 53
VELOCIDAD DE CORROSIÓN EN LA PROBETA
RECTANGULAR (GUSI)

Fecha	Lado	V_{corr} [mm/año]	V_{corr} [μ m/año]	Tiempo de propagación [años]
15 de Agosto	A	$1,74 \times 10^{-3}$	1,74	46
30 de Agosto	A	$1,856 \times 10^{-3}$	1,85	43,2
14 de Septiembre	A	$1,856 \times 10^{-3}$	1,85	43,2
29 de Septiembre	A	$1,74 \times 10^{-3}$	1,74	46
15 de Octubre	A	$1,624 \times 10^{-3}$	1,624	49,3
30 de Octubre	A	$1,972 \times 10^{-3}$	1,972	40,6

TABLA 54
VELOCIDAD DE CORROSIÓN EN LA PROBETA
RECTANGULAR (GUCI)

Fecha	Lado	V_{corr} [mm/año]	V_{corr} [μ m/año]	Tiempo de propagación [años]
15 de Agosto	A	$1,624 \times 10^{-3}$	1,624	49,2
30 de Agosto	A	$1,624 \times 10^{-3}$	1,624	49,2
14 de Septiembre	A	$1,508 \times 10^{-3}$	1,508	53
29 de Septiembre	A	$1,74 \times 10^{-3}$	1,74	46
15 de Octubre	A	$1,508 \times 10^{-3}$	1,508	53,1
30 de Octubre	A	$1,624 \times 10^{-3}$	1,624	49,3

2.5 Determinación del coeficiente de difusión de iones de cloruro.

Difusiones de iones de cloruro

Es necesaria la adecuación de un sistema sencillo que permita lograr el objetivo, la idea es de inducir la difusión de iones de cloruro presentes en el agua de mar en las probetas de hormigón en sentido vertical hacia abajo, de modo que se distribuya axialmente durante el tiempo de exposición de 3 meses.

Preparación de las probetas cilíndricas para difusión

- Se trata de codificar para identificar el tipo de cemento.
- Si se desea lograr que los iones de cloruro se difundan en la parte central de la probeta, se procedió a pintar con pintura de caucho el área lateral.
- Cortar secciones de 20 cm de tubo de PVC de 10cm de diámetro para introducir parcialmente en las probetas cilíndricas, luego en la parte superior cubrir con silicón el anillo entre el cemento de la probeta y el tubo de PVC, para evitar en lo posible una difusión lateral.



FIGURA 2.35: ESQUEMA BÁSICO DEL SISTEMA EMPLEADO PARA DIFUSIÓN DE CLORUROS.

- Dentro del tubo PVC se colocó agua destilada con un contenido de sal de 3,5% de cloruro de sodio (sal pura) hasta un nivel de 15 cm, controlado y complementado a medida que se difundían en el hormigón con el paso de los días.

Cada día que pasaba se notaba que se difundían cada vez más el cloruro y que por ende exista un gradiente de concentración a lo largo del eje axial de la probeta. Es de suponer que en los niveles superiores de la probeta, el nivel de concentración sería mayor y que disminuiría progresivamente a medida que avanzaba verticalmente hacia abajo la probeta.

Por este motivo es que se debió cortar las probetas en rebanadas cuando fueron extraídas del medio al que fueron expuestas. Figura 2.36.

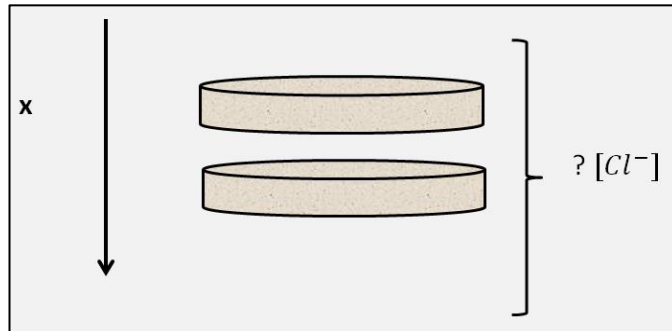


FIGURA 2.36: BOSQUEJO DE INCRUSTACIÓN DE CLORURO.

Después de estar 3 meses expuestas en ambiente marino, las probetas fueron retiradas y preparadas para el análisis químico, este tipo de análisis arroja el valor de las concentraciones de cloruros a diferentes profundidades.

Detalle del proceso:

En cada tipo de cemento se seleccionaron 2 probetas, es decir con las mismas propiedades, y el resultado final, será la media de los resultados obtenidos.

Se cortaron 2 rebanadas por cada probeta; cada rebanada fue tratada con cuidado y codificación especial. (Figura 2.37 y 2.38).

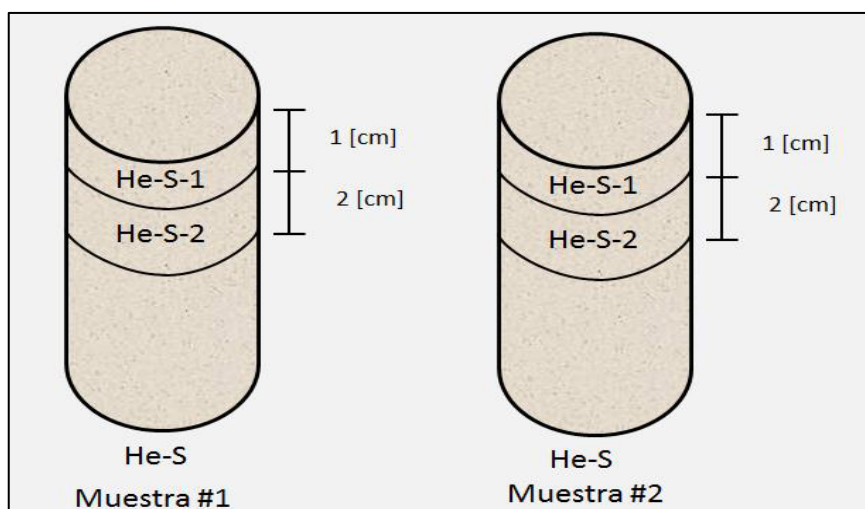


FIGURA 2.37: CODIFICACIONES REBANADAS DE CEMENTO HE.

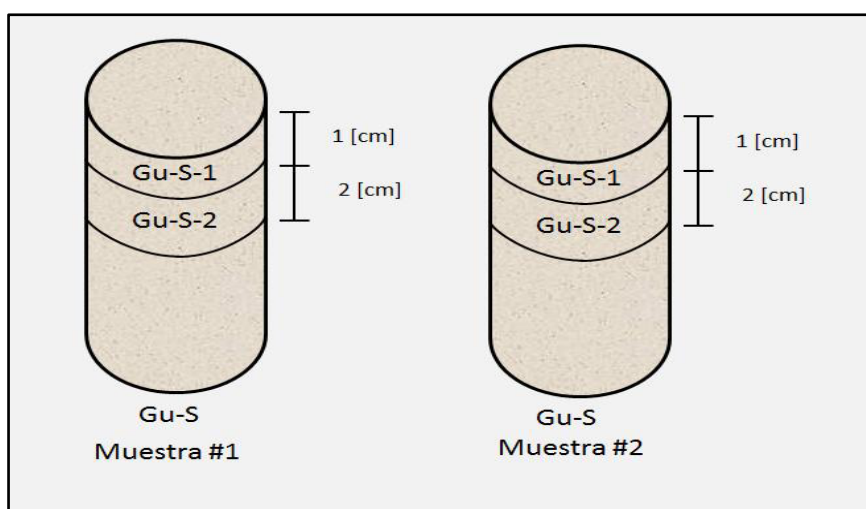


FIGURA 2.38: CODIFICACIONES REBANADAS DE CEMENTO GU.

- Una vez codificada la probeta, se realizó la limpieza total para evitar factores contaminantes, además no poseer datos erróneos. Figura 2.39.



FIGURA 2.39: REBANADA DE HORMIGÓN LIMPIA Y LISTA PARA SER TRITURADA.

Una vez realizado fue necesario triturar cada una de las rebanadas hasta lograr un polvo de partículas finas de aproximadamente 850 μm según establecido en la norma ASTM C1152 y proceder a efectuar el análisis químico respectivo.

Para obtener los resultados se estipuló el siguiente método:

La primera parte de la tritución se ocupó una trituradora de mandíbula.



FIGURA 2.40: TRITURADORA DE MANDÍBULAS.

Se colocó la rebanada dentro de la trituradora y se procedió a realizar 2 pasadas de trituración en cada una de las trituradoras.



FIGURA 2.41: MUESTRA PASADA EN TRITURADORA DE MANDÍBULAS.

La segunda parte fue puesta en una trituradora de molinos de rodillos.



FIGURA 2.42: TRITURADORA DE RODILLOS.



FIGURA 2.43: MUESTRA PASADA EN TRITURADORA DE RODILLOS.

La última parte se efectuó 2 pasadas por la trituradora de disco.



FIGURA 2.44: TRITURADORA DE DISCOS.



FIGURA 2.45: MUESTRA PASADA EN TRITURADORA DE RODILLOS.

Una vez hecho esto se procedió a pasar las muestras por un filtro o malla tamiz 20 (850 μm). Posteriormente se procedió a almacenar y clasificar cada uno de los polvos a sus respectivos tipos de hormigones.



FIGURA 2.46: POLVO OBTENIDO DE TODO EL PROCESO.

Para cada muestra se obtuvieron 300 g. puestos en recipientes que fueron llevados al Instituto de Ciencias Químicas donde se determinaría mediante análisis de difusión de cloruro.

Los resultados se muestran en la Tabla 55.

TABLA 55
DATOS DE DIFUSIÓN DE CLORUROS

T de exposición		3 meses		
	Profundidad [mm]	% Concentra. Cl- #1	% Concentra. Cl- #2	%Concentra. Cl- (Prom)
Hormigón HE	10	0,379	0,381	0,38
	30	0,233	0,251	0,24
	Co	-----	-----	0,14
Hormigón GU	10	0,34	0,331	0,34
	30	0,215	0,208	0,21
	Co	-----	-----	0,14

Luego de haber obtenido las concentraciones de cloruros a varias profundidades, se procedió a calcular el coeficiente de difusión a través de la resolución del modelo matemático de la segunda “Ley de Fick”. Esto fue posible bajo un programa informático desarrollado en “MATHCAD” (VER APÉNDICE A y APÉNDICE B).

Al correr el software, este muestra el perfil de concentración experimental de cloruros obtenido mediante las pruebas realizadas con las probetas y el perfil de concentraciones modelado con la segunda “Ley de Fick”.

Desarrollando la ecuación de difusión (ec. 15) se llega a la siguiente ecuación:

$$F(x, D, c_s, \Delta) = \int_{x-\Delta}^{x+\Delta} \left[c_s - (c_s - c_o) \operatorname{erf} \left[\frac{x}{2x\sqrt{(|D|xt)}} \right] \right] x \frac{1}{2\Delta} dx \quad (\text{ec. 22})$$

Donde:

X: Profundidad a la que se hace el análisis [cm].

D: Coeficiente de difusión [cm^2/seg].

Cs: Concentración superficial de cloruros [%].

Co: Contenido de cloruros aportado por las materias primas (áridos, cemento, agua, etc), en el momento de fabricación del hormigón [%].

t: Tiempo [año].

Δ : Variación de la profundidad en consideración [cm].

Mediante el software se obtuvieron los coeficientes de difusión y se muestra en la Tabla 56.

TABLA 56
COEFICIENTES DE DIFUSIÓN DE CLORUROS

Coeficiente de difusión de cloruros	
	D [cm^2/seg]
Hormigón HE	1.014×10^{-6}
Hormigón GU	7.895×10^{-7}

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de los dos tipos de cementos HE y GU, se mostrará los resultados obtenidos de las variables que perjudican la tasa de corrosión de las armaduras de acero en los hormigones. Para las variables se ocupa varias técnicas descritas en el capítulo anterior, se utilizaron los equipos para saber el estado de las armaduras de aceros empotradas dentro de las probetas cúbicas y rectangulares, además del tipo de ambiente a las cuales se expuso;

- a. Ambiente Natural,
- b. Simulando Ambiente Marino.

Se analizó el estado de la corrosión dentro de las probetas, para esto se elaboraron gráficas de comparación entre los tipos de cementos con sus ambientes a las cuales se expusieron, también el efecto que produce el

inhibidor de corrosión y la concentración de cloruros dentro de cada tipo de hormigón.

3.1 Resistencia a la polarización y corriente de corrosión bajo las atmósferas expuestas utilizando el Potencio-Galvanostato.

Exposición al Ambiente Natural:

Sin inhibidor

En la Figura 3.1 se muestra la evolución con el tiempo del potencial de corrosión (E_{corr}) de las barras de acero que fueron sometidas a ambiente natural de exposición durante 90 días.

Para este caso de exposición, al ambiente natural; el E_{corr} parte aproximadamente de $-0,1081$ V para el cemento HE y $-0,1070$ V para el cemento GU, manteniéndose durante los siguientes 15 días casi constante con el tiempo con un valor de $-0,1070$ V para el cemento HE y aumentando con el tiempo hasta alcanzar un valor de $-0,067$ V para el cemento GU. En el día 45 de medición hasta el día 60 de medición el E_{corr} decrece para el cemento HE y GU. Finalmente alcanzan un valor final de $-0,1601$ V para el cemento HE y $-0,149$ V para el cemento GU. Siendo estos valores típicos de un material que se encuentra en estado pasivo (ASTM C 876). Se

observó que las varillas dentro del cemento GU estuvieron más protegidas que el cemento HE.

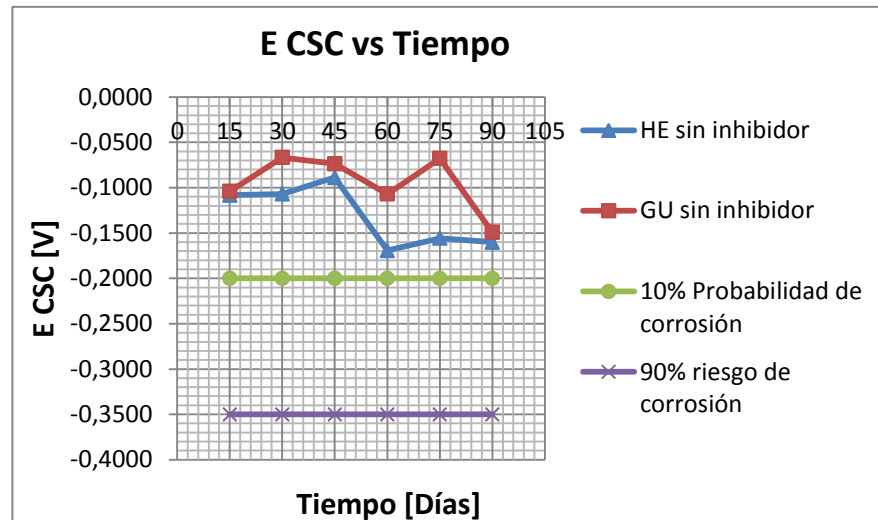


FIGURA 3.1: EVOLUCIÓN DEL POTENCIAL DE CORROSIÓN DURANTE 90 DÍAS EXPUESTOS AL MEDIO AMBIENTE.

Respectivamente con los valores de E_{corr} ; se midió la Resistencia de Polarización lineal en las barras de acero (R_p); y los resultados se muestran en la Figura 3.2 y Figura 3.3, la Resistencia de Polarización de los cementos HE y GU aumentan durante los primeros 30 días, pero disminuye durante los 15 días siguientes. Su máxima resistencia a la polarización para los dos tipos de cementos se da en el día 60 de medición con un valor de $574166,667$ [ohmios- cm^2] para el cemento HE y $557966,667$ [ohmios- cm^2] para el cemento GU. En el día 60 de medición hasta el día 90 la velocidad de corrosión aumenta para el cemento HE; sin embargo

sufre un altibajo para el cemento GU; primero aumentando linealmente para luego disminuir.

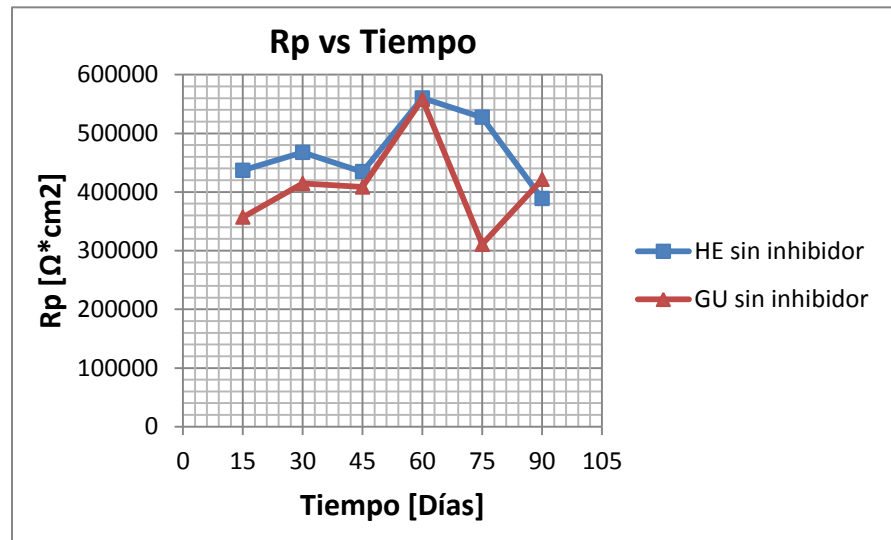


FIGURA 3.2: EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN DURANTE 90 DÍAS EXPUESTOS AL MEDIO AMBIENTE.

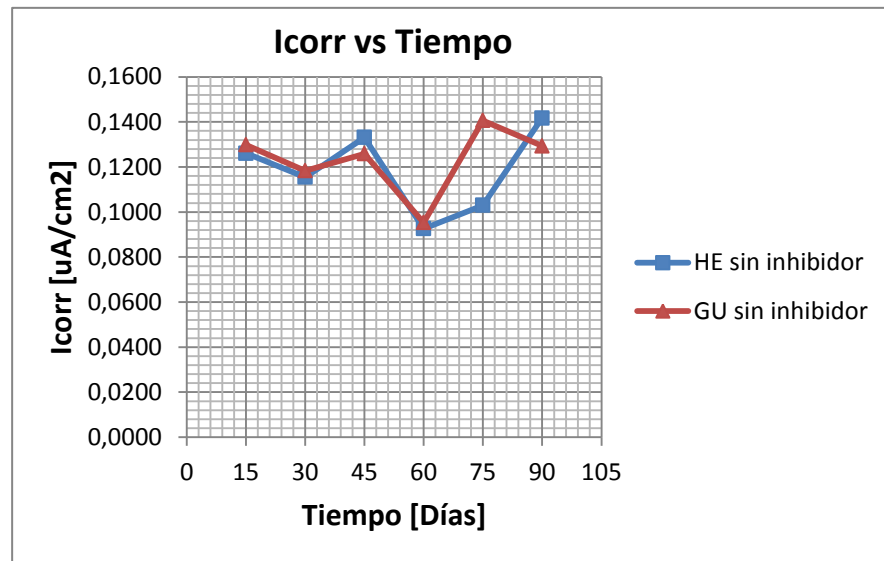


FIGURA 3.3: EVOLUCIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DURANTE 90 DÍAS EXPUESTOS AL MEDIO AMBIENTE.

Con inhibidor

En la Figura 3.4 se muestra la evolución en el tiempo del potencial de corrosión (E_{corr}) de las barras de acero sometidas a ambiente natural con inhibidor para 90 días de exposición.

El potencial de corrosión para los primeros 15 días de exposición da un valor de -0,195 V para el cemento HE y -0,145 V para el cemento GU. Se observa que estos valores de potencial de corrosión están muy cercanos al límite del 10% de probabilidad de corrosión; dando a entender que durante los primeros 15 días el inhibidor no ha hecho efecto todavía. Del día 15 hasta el día 45 de

medición; el potencial de corrosión (E_{corr}) aumenta para ambos cementos alcanzando sus máximos potenciales en el día 45 con un valor de $-0,116$ V para el cemento HE y $-0,038$ V para el cemento GU. Luego sufren altibajos hasta alcanzar un valor de E_{corr} en el día 90 de medición con un valor de $-0,145$ V para el cemento HE y $-0,1647$ V para el cemento GU. Para este caso de exposición con inhibidor se observó también que las varillas dentro del cemento GU estuvieron más protegidas que el cemento HE.

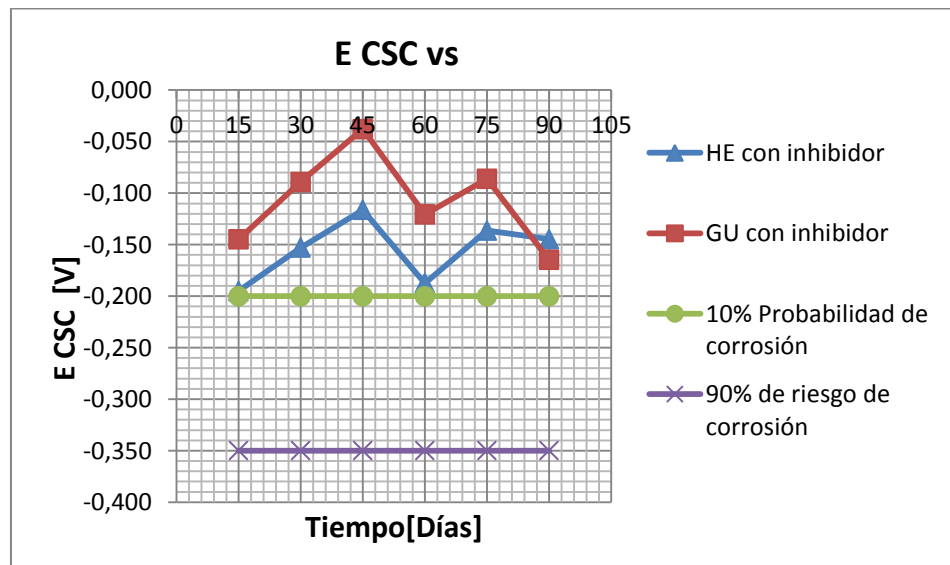


FIGURA3.4: EVOLUCIÓN DEL POTENCIAL DE CORROSIÓN DURANTE 90 DÍAS EXPUESTOS AL MEDIO AMBIENTE.

La Resistencia de Polarización lineal de las barras de acero aumenta durante los primeros 15 días alcanzando un valor de 511850 [ohmios-cm²] para el cemento HE y 392433,33 [ohmios-cm²] para el cemento GU, disminuye para los siguientes 15 días en los dos tipos de cementos. A partir del día 45 la velocidad de corrosión para el cemento HE disminuye hasta el día 75, comienza a aumentar hasta alcanzar su valor máximo en el último día de medición. Sin embargo, ocurre lo contrario en el cemento GU, el cual su velocidad de corrosión comienza a disminuir a partir del día 45 de medición hasta alcanzar su mínimo valor de corrosión en el último día de medición.

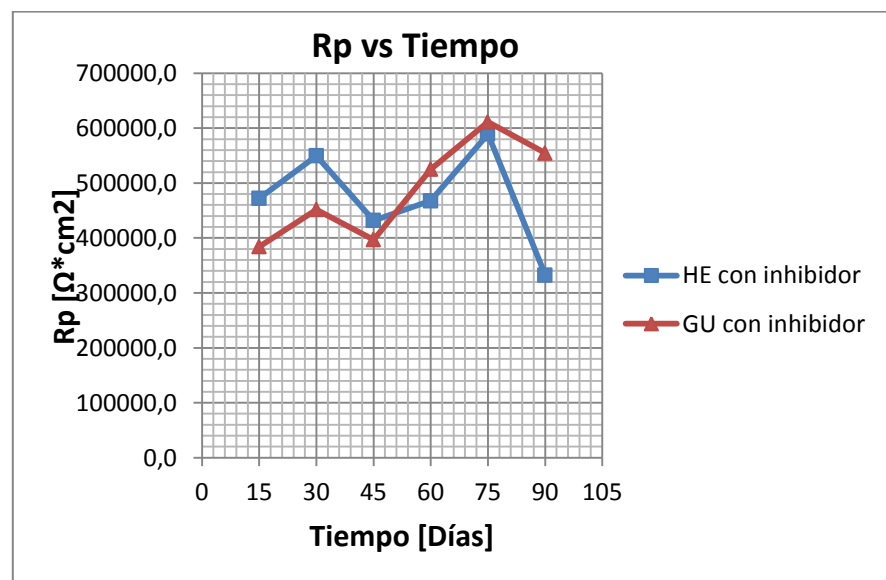


FIGURA 3.5: EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN DURANTE 90 DÍAS EXPUESTOS AL MEDIO AMBIENTE.

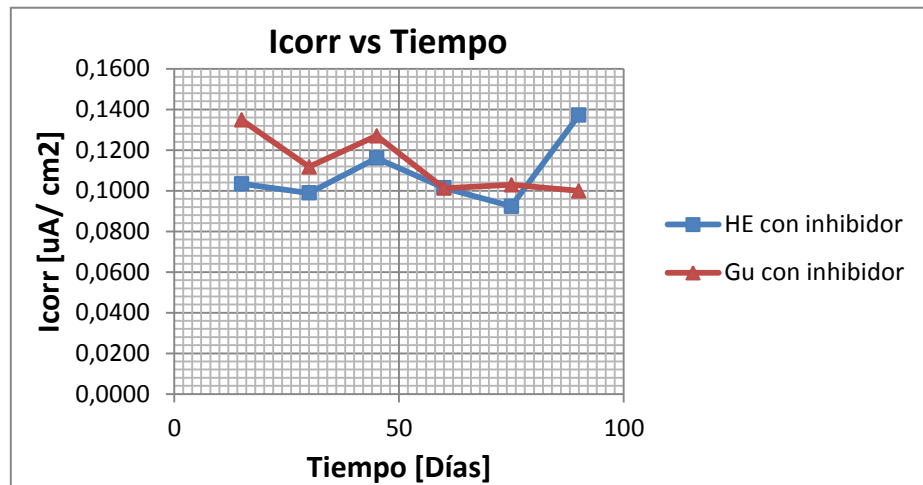


FIGURA 3.6: EVOLUCIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DURANTE 90 DÍAS EXPUESTOS AL MEDIO AMBIENTE.

Exposición Simulando Ambiente Marino.

Sin inhibidor

Para el caso de las probetas parcialmente sumergidas en solución de NaCl 3,5 %, E_{corr} parte de -0,529 V para el cemento HE y -0,501 V para el cemento GU. A partir del día 15 de medición hasta el día 60 el E_{corr} para el cemento HE se mantiene casi constante hasta alcanzar un valor de -0,524 V, en cambio para el cemento GU el E_{corr} decrece lentamente hasta alcanzar un E_{corr} de -0,511 V. En el último día de medición E_{corr} alcanza un valor de -0,526 V para el cemento HE y -0,517 V para el cemento GU, lo cual se

obtiene que los resultados para ambos cementos son casi similares en un ambiente de exposición simulando ambiente marino.

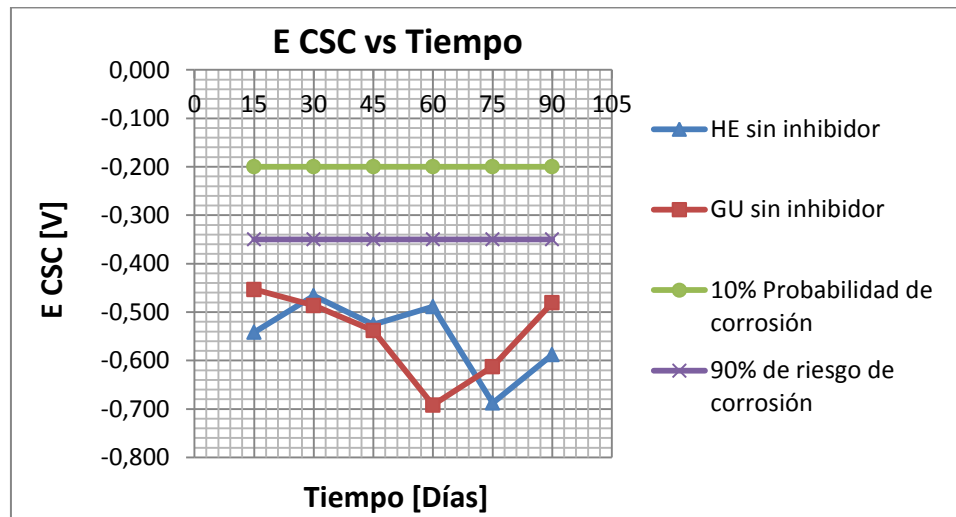


FIGURA 3.7: EVOLUCIÓN DEL POTENCIAL DE CORROSIÓN DURANTE LOS 90 DÍAS EXPUESTAS A NACL.

La Resistencia de Polarización parte con un valor de 129,200 [ohmios- cm^2] para el cemento HE y 78966,7 [ohmios- cm^2] para el cemento GU, sufriendo altibajos hasta el día 60 de medición, con valores de 108700 [ohmios- cm^2] para el cemento HE y 73466,67 [ohmios- cm^2] para el cemento GU.

La velocidad de corrosión parte de un valor de 0,338 [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$] para el cemento HE y 0,336 [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$] para el cemento GU

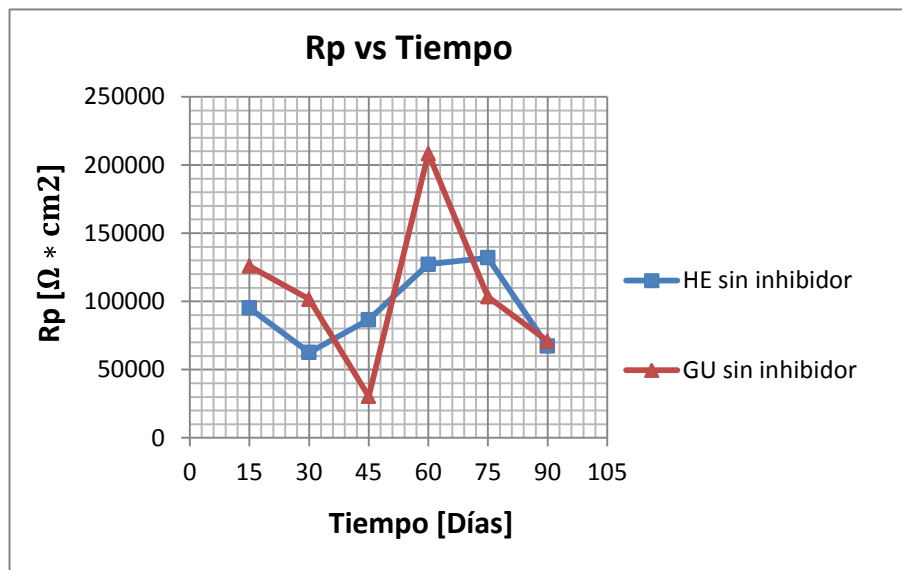


FIGURA 3.8: EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN DURANTE LOS 90 DÍAS EXPUESTAS A NACL.

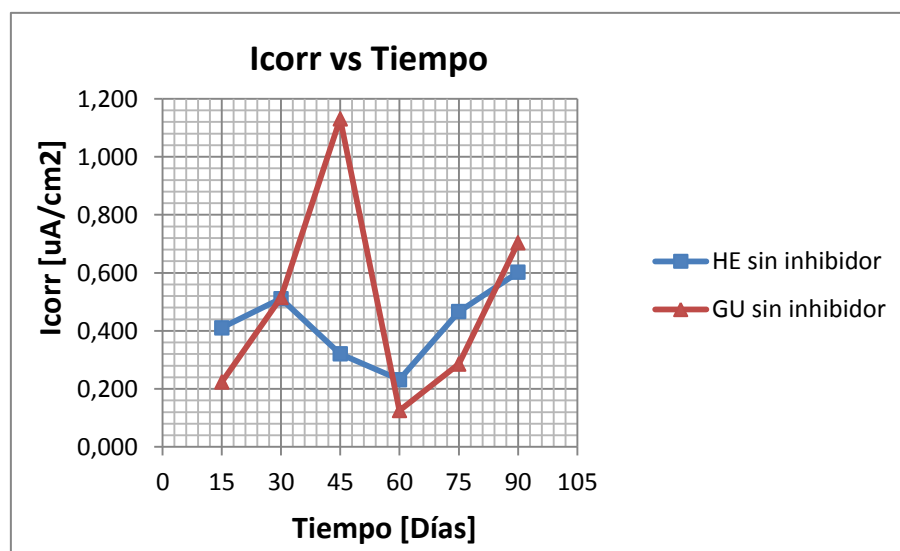


FIGURA 3.9: EVOLUCIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DURANTE LOS 90 DÍAS EXPUESTAS A NACL.

Con inhibidor

Para las probetas con inhibidor sumergidas en solución de NaCl 3,5%, el valor de E_{corr} parte de -0,514 V para el cemento HE y -0,37109 V para el cemento GU. Durante los primeros 30 días el potencial de corrosión aumenta lentamente para el cemento HE (indicación que el inhibidor esta pasivando lentamente a las varillas de acero), en cambio durante estos 30 días sufre un altibajo el cemento GU, subiendo muy lentamente el potencial durante los primeros 15 días y disminuyendo abruptamente durante los siguientes 15 días. A partir del día 45 hasta el último día de medición el potencial de corrosión para el cemento HE comienza a disminuir lentamente hasta alcanzar un valor de -0,587 V; en cambio para el cemento GU existen altibajos alcanzando un valor de E_{corr} en el último día de medición de -0,5681 V.

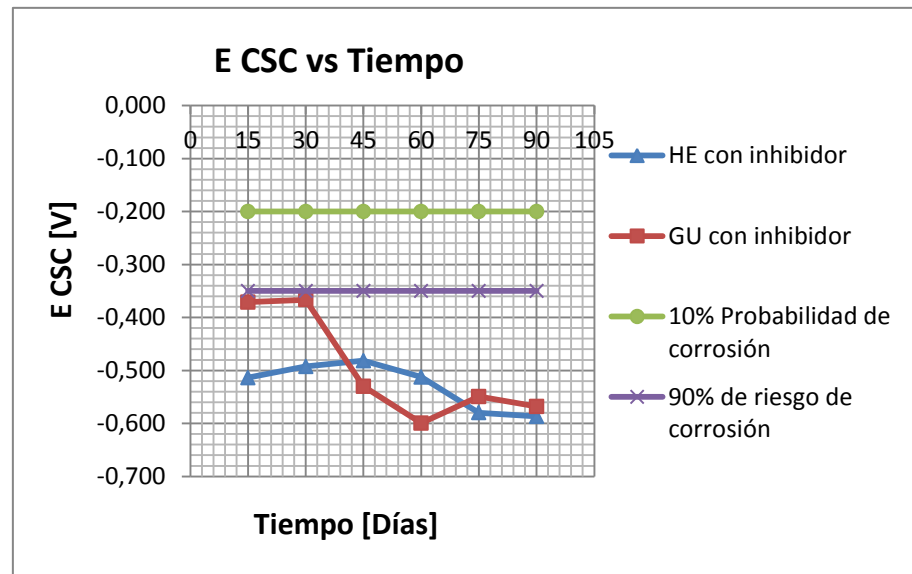


FIGURA 3.10: EVOLUCIÓN DEL POTENCIAL DE CORROSIÓN DURANTE LOS 90 DÍAS EXPUESTAS A NaCl.

La Resistencia de Polarización parte de un valor de 68050 [ohmios-cm²] para el cemento HE y 70983,33 [ohmios-cm²] para el cemento GU. Durante los primeros 30 días expuestos al NaCl se observa que ambos cementos sufren un altibajo (aumentando la resistencia los primeros 15 días y disminuyendo los siguientes 15 días). A partir del día 45 de medición hasta el último día la velocidad de corrosión, el cemento HE disminuye hasta el día 75 de medición para luego aumentar su velocidad en el día 90 de medición. En cambio para el cemento GU este también disminuye su velocidad de corrosión desde el día 45 hasta el día 60, aumentando su velocidad en el último día de medición. En esta gráfica se observa

que el cemento que más protegió a las varillas de acero ASTM A-42 es el cemento GU.

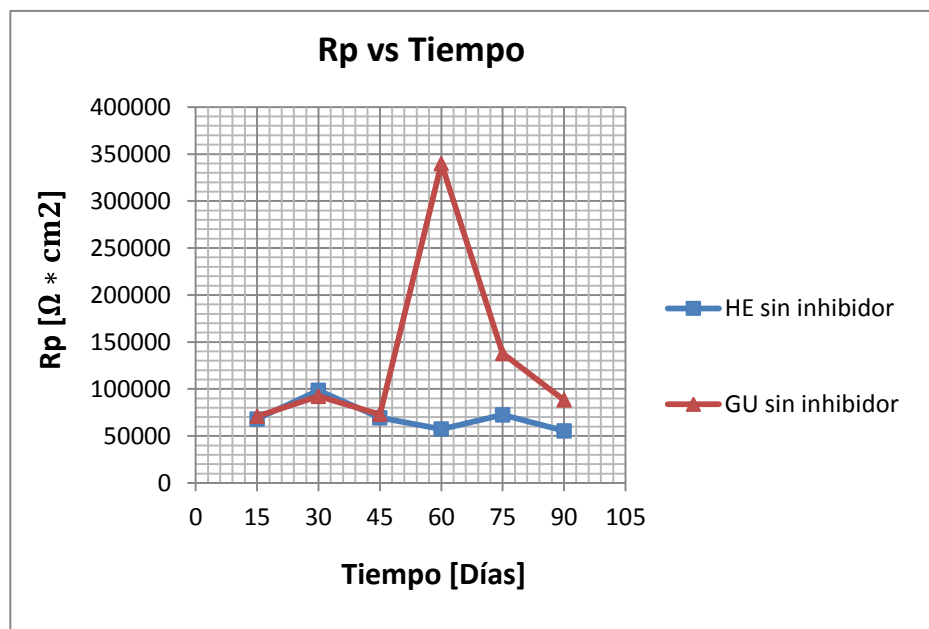


FIGURA 3.11: EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN DURING LOS 90 DÍAS EXPUESTAS A NACL

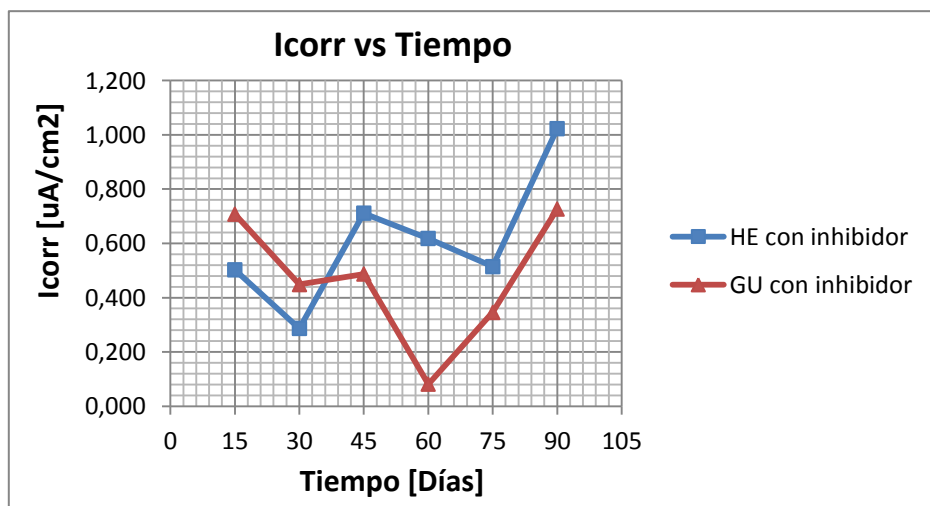


FIGURA 3.12: EVOLUCIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DURING LOS 90 DÍAS EXPUESTAS A NACL

3.2 Corriente corrosión usando el Gecor8 en las estructuras de varillas de acero en hormigón armado expuestas al medio ambiente.

Sin inhibidor

En la Figura 3.13 se muestra la evolución con el tiempo de la corriente de corrosión (i_{corr}) de las barras de acero sometidas a ambiente natural de exposición durante 90 días.

Para este caso de exposición, al ambiente natural sin inhibidor; i_{corr} parte aproximadamente con un valor de $0,17 \text{ } [\mu\text{A}/\text{cm}^2]$ para el cemento HE y $0,15 \text{ } [\mu\text{A}/\text{cm}^2]$ para el cemento GU. Durante los primeros 45 días de medición, el cemento HE sufre un altibajo, llegando a un valor de corriente de corrosión de $0,16 \text{ } [\mu\text{A}/\text{cm}^2]$; en cambio que para el cemento GU, la corriente (i_{corr}) aumenta lentamente hasta alcanzar un valor de $0,16 \text{ } [\mu\text{A}/\text{cm}^2]$. En el día 45 de medición hasta el último día; se observa que la velocidad de corrosión comienza a aumentar para el cemento HE hasta alcanzar un valor final de $0,19 \text{ } [\mu\text{A}/\text{cm}^2]$; en cambio que para el cemento GU este sufre un altibajo hasta alcanzar un valor final de corriente de $0,17 \text{ } [\mu\text{A}/\text{cm}^2]$. Se observa que la gráfica HE se encuentra por encima de la de GU en todo el proceso de medición por lo que se

podrá decir que el cemento GU está protegiendo con mayor eficiencia las barras de acero.

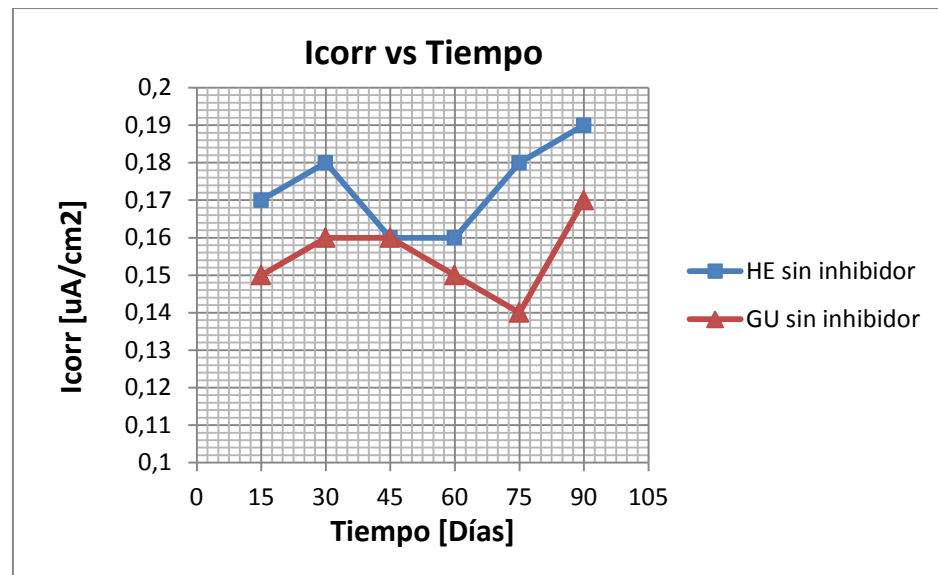


FIGURA 3.13: EVOLUCIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DURANTE LOS 90 DÍAS EXPUESTO AL MEDIO AMBIENTE.

Con inhibidor

Para este caso de exposición; en medio ambiente y con inhibidor, el I_{corr} parte aproximadamente de $0,15 \text{ } [\mu\text{A}/\text{cm}^2]$ para cemento HE y $0,14 \text{ } [\mu\text{A}/\text{cm}^2]$ para cemento GU. En los primeros 45 días de medición el cemento HE sufre un altibajo llegando a un valor de corriente de corrosión de $0,14 \text{ } [\mu\text{A}/\text{cm}^2]$, en cambio que para el cemento GU esta disminuye lentamente. En el día 45 de medición

hasta el último día; se observa que el cemento HE sufre un altibajo llegando hasta alcanzar un valor final de $0,15 \text{ } [\mu\text{A}/\text{cm}^2]$, en cambio que para el cemento GU este también sufre altibajos hasta alcanzar un valor final de corriente de corrosión de $0,14 \text{ } [\mu\text{A}/\text{cm}^2]$. Se observa que la gráfica HE se encuentra por encima de la gráfica de GU en todo el proceso de medición a excepción en el día 60 de medición por lo que se puede decir que el cemento GU está protegiendo con mayor eficiencia las barras de acero.

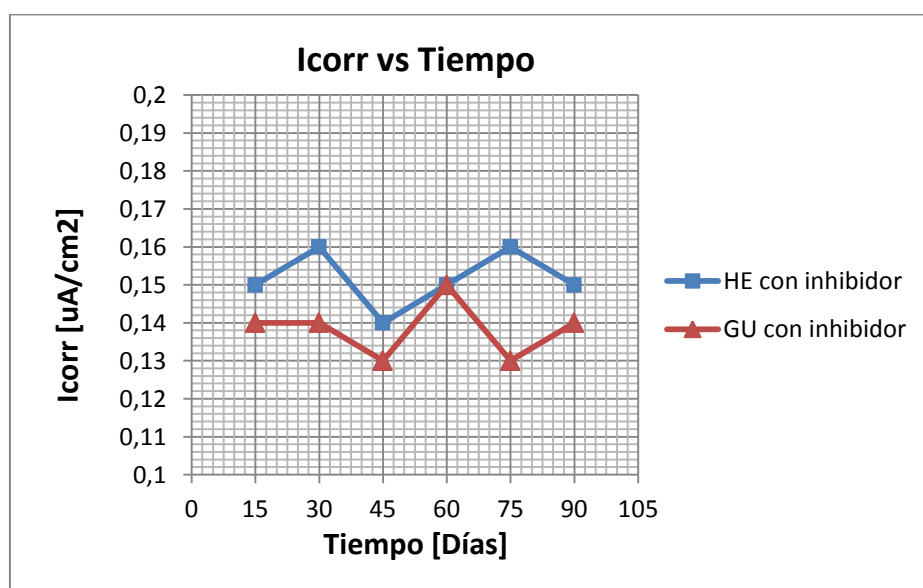


FIGURA 3.14: EVOLUCIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DURANTE LOS 90 DÍAS EXPUESTO AL MEDIO AMBIENTE.

Coeficiente de difusión de cloruros en el hormigón.

Una vez que se obtuvieron y se analizaron las gráficas de los Potenciales de corrosión, Resistencia de Polarización y Corriente de corrosión de las probetas que fueron expuestas en agua salada (simulando ambiente marino), se procede al análisis de la penetración de cloruros en los hormigones.

Los resultados obtenidos muestran los siguientes perfiles de concentración de cloruros, en las gráficas se muestra el perfil de concentración experimental y el perfil de concentración modelado por el software.

Cemento HE

TABLA 57
COEFICIENTE DE DIFUSIÓN DE CLORUROS HE

Coeficiente de difusión de cloruros	
	D [cm²/seg]
Hormigón He	1,014 x 10 ⁻⁶

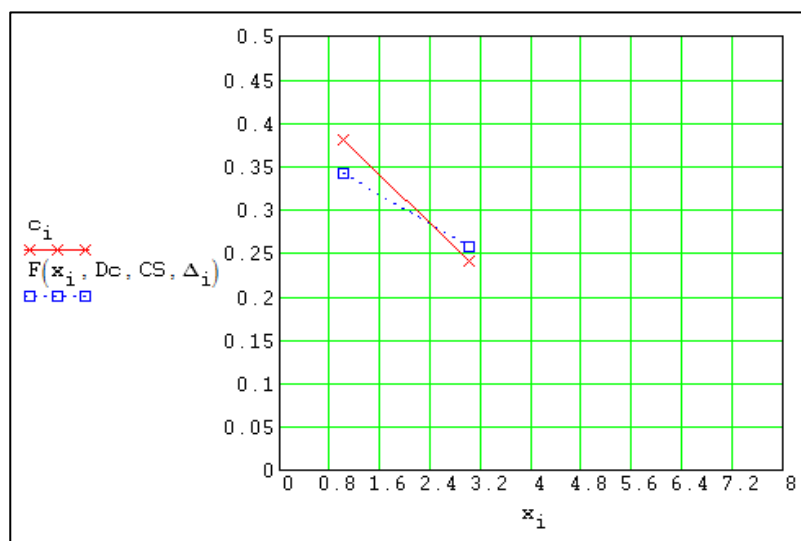


FIGURA 3.15: PERFIL DE CONCENTRACIÓN EXPERIMENTAL Y MODELADO PARA DIFUSIÓN DE CLORUROS EN EL HORMIGÓN HE

Cemento GU

TABLA 58

COEFICIENTE DE DIFUSIÓN DE CLORUROS GU

Coeficiente de difusión de cloruros	
	D [cm ² /seg]
Hormigón GU	7,895 x 10 ⁻⁷

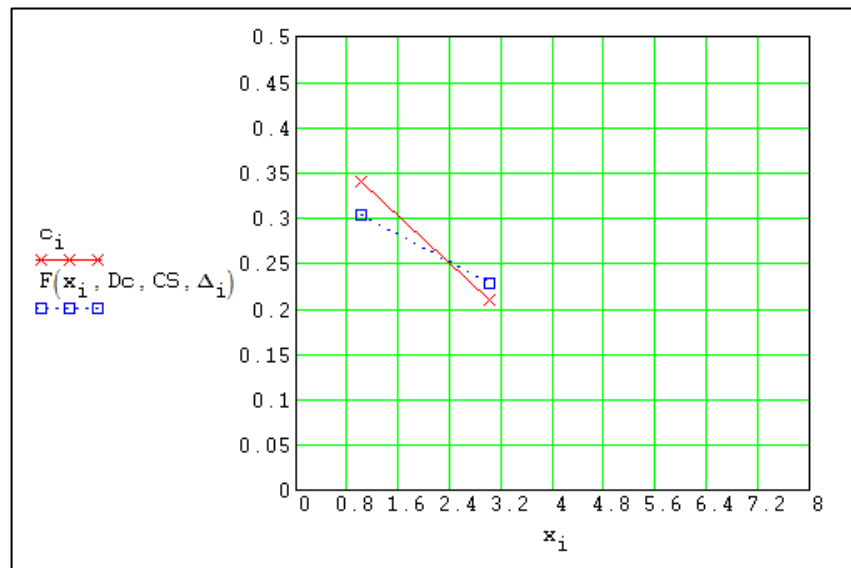


FIGURA 3.16: PERFIL DE CONCENTRACIÓN EXPERIMENTAL Y MODELADO PARA DIFUSIÓN DE CLORUROS EN EL HORMIGÓN GU

Estas gráficas de perfil de concentración de cloruros sirve para guiar de como el ion cloruro penetra en el hormigón a una cierta profundidad. Los resultados obtenidos mostraron que a una profundidad de 1 [cm]; el valor porcentual alcanzado en el cemento HE es de 0,38% mientras que en el cemento GU el valor es de 0,34 %; valores muy aproximados entre sí. A los 3 [cm] de profundidad, el valor porcentual de concentración en el hormigón HE es de 0,24 %; en cambio que para el cemento GU es de 0,21%. Es por ello que para estas probetas cilíndricas no se evaluó la vida residual (ec.4) en función de la presencia de cloruros, porque como se ha visto en el ensayo que la concentración de cloruros solo se encuentra en la

superficie del hormigón, sin que representen ningún riesgo de corrosión.

Con estos resultados obtenidos, se observa que en el cemento HE, la penetración de los iones de cloruros es más rápida que en el cemento GU, aunque los valores entre ellos son muy cercanos entre sí.

3.3 Evaluación de las técnicas empleadas.

TABLA 59
COMPARACIÓN DE TÉCNICAS

	Evaluación de las Técnicas Empleadas				
	Mide corriente de corrosión directamente	Muestra el valor E perturbado (ec. Stearn Geary)	Mide el Potencial de corrosión (Fe vs CSC)	Mide la Resistividad del hormigón	Usa batería interna para la facilidad de traslado del equipo
Gecor8	✓		✓	✓	✓
Potencio-Galvanostato		✓			

En la Tabla 59 se evaluó las técnicas empleadas en este proyecto de Tesis. Se analizó las fortalezas que tiene cada equipo, y se observó las mediciones que pueden realizar uno a diferencia del otro.

Se observó que el Gecor8 es un equipo que posee más fortalezas que el Potencio-Galvanostato, es por ello que es utilizado para las mediciones en campo y es aplicado comúnmente en grandes estructuras de varillas acero en hormigón armado, lo cual obliga a este equipo el uso de tecnología avanzada.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye lo siguiente.

1. El empleo del equipo Gecor8 tiene como ventaja realizar mediciones de campo para determinar la velocidad de corrosión en estructuras de hormigón de gran tamaño de manera directa ya sea edificaciones, muelles portuarios y puentes, mientras que en la técnica de laboratorio empleando el Potencio-Galvanostato se mide indirectamente la corrosión en muestras y probetas de hormigón pequeñas preparadas exclusivamente para estos ensayos.
2. Con respecto a las variables eléctricas; el equipo Gecor8 tiene como fortaleza la determinación directa de estas, a diferencia del Potencio-Galvanostato que requiere de un equipo adicional como el Nilsson 400 para medir la resistividad eléctrica, siendo estas

mediciones de gran importancia para la determinación de la velocidad de corrosión en las varillas.

3. La técnica electroquímica de campo Gecor8 requiere de la información del enlace de las varillas entre sí, en virtud de que los estribos permiten la continuidad eléctrica, contrario a la técnica de laboratorio Potencio-Galvanostato que no requiere de la unión de las barras de acero ASTM A-42, para el análisis cinético de la corrosión en las estructuras de acero en los hormigones sin importar el medio y el tiempo de exposición.
4. La técnica de resistencia de polarización es el método más rápido para obtener la tasa de corrosión usando el Potencio-Galvanostato y Gecor8, equipos que poseen ventajas que pueden ser complementados entre sí, indicando el nivel de corrosión de las armaduras embebidas en el hormigón.
5. La velocidad de corrosión en las varillas de acero ASTM A-42 en las probetas con inhibidor y sin inhibidor, fue mayor en el hormigón tipo HE en los dos medios que fueron expuestas las probetas, con una gran probabilidad de tener una mayor vida útil el hormigón de tipo GU.

6. Con respecto a la medición de potenciales de corrosión, se puede inferir cualitativamente el nivel de porosidad, contenido de agua y establecer en que zonas existen mayor corrosión.
7. El cemento tipo GU muestra mayor resistencia a la corrosión con respecto a los cementos tipo HE en el proceso de difusión de cloruro.

Se recomienda lo siguiente.

1. Trabajar con técnicas electroquímicas para el análisis cinético de las varillas en los hormigones, con el objeto de evaluar la confiabilidad de aditivos empleados en los hormigones para preservar las varillas de un ataque de corrosión.
2. Adquirir un equipo de alta tecnología que permita medir directamente la concentración de iones de cloruros a diferentes profundidades en los hormigones.
3. Realizar las pruebas de difusión de cloruro en dos tipos de cementos en las mismas condiciones, con un mayor tiempo de exposición para obtener datos más reales.

4. Cuando se realiza mediciones con el multímetro en el hormigón, es importante conectar el electrodo de referencia al polo negativo y al polo positivo la estructura.
5. Hacer mantenimiento mensual del Potencio-Galvanostato y Gecor8, para obtener mayor efectividad en la toma de lecturas en futuras prácticas.

APÉNDICES

- Apéndice A: Programación Mathcad para Hormigón He
- Apéndice B: Programación Mathcad para Hormigón Gu
- Apéndice C: Guía para Práctica Académica, Determinación de la Velocidad de Corrosión de las Varillas Astm A42 Usando el Potenciogalvanostato
- Apéndice D: Guía para Práctica Académica, Determinación de la Velocidad de Corrosión de las Varillas Astm A42 Usando el Gecor8
- Apéndice E: Mediciones de la Resistividad Eléctrica del Hormigón para las Probetas Rectangulares al Medio Ambiente
- Apéndice F: Mediciones de los Potenciales de Corrosión en el Hormigón para las Probetas Rectangulares al Medio Ambiente

APÉNDICE A

PROGRAMACIÓN MATHCAD PARA HORMIGÓN HE

Determinación del coeficiente efectivo de difusión de cloruros a partir de perfiles de concentración

Programa y datos usados en el cemento HE

Identificación de la muestra: Hormigón tipo HE

DATA INPUT: c= Concentración de cloruros

$c := \begin{pmatrix} 0.38 \\ 0.24 \end{pmatrix}$ $x := \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}$ $\Delta := \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$ x= Coordenada (cm)

Δ =Espesor de la muestra (cm)

t := 0.25 Tiempo de exposición (años) (3 meses)

c0 :=0.14 Concentración inicial de cloruros

i := 0 .. 1 **Números de componentes de los vectores c, x**

Solución de la ecuación de difusión

$$F(x, D, cs, \Delta) := \int_{x-\Delta}^{x+\Delta} \left[cs - (cs - c0) \cdot \operatorname{erf} \left[\frac{x}{2 \cdot \sqrt{(|D| \cdot t)}} \right] \right] \cdot \frac{1}{2 \cdot \Delta} dx$$

Criterio de convergencia por cuadrados mínimos

$$s(D, cs) := \sum_i (c_i - F(x_i, D, cs, \Delta_i))^2$$

D:=1

Valor tentativo de coeficiente de difusión

Bloque de resolución

Se crea la función $f(cs)$ que arroja valores de D que satisfacen la condición de mínimos cuadrados.

Given

$$s(D, cs) = 0$$

$$f(cs) := \text{Minerr}(D)$$

Iteración a partir de valores de concentración superficial (C_s).

Se debe ajustar el intervalo de variación de cs para que asuma valores acordes al perfil de concentración experimental

$$j := 0 \dots 10$$

$$cs_j := 0.38 + 0.001 \cdot j$$

Cambio de variables

$$f_j := f(cs_j)$$

Calculando el error mínimo para cada valor de cs

$$g_j := s(f_j, cs_j)$$

Error mínimo

$$m := \min(g)$$

Vector con componentes=0 a excepción del mínimo error, cuyo índice es K

$$k_j := \text{if}(g_j = m, j, 0)$$

$$ix := |k|$$

Coeficiente de difusión (Dc) y concentración superficial (Cs) calculados.

DATA OUTPUT:

Coeficiente de difusión

$$D_c := f_{ix}$$

Concentración superficial

$$CS := cs_{ix}$$

Mínimo error

$$\begin{aligned} \text{Err} &:= g_{ix} \\ a &:= 3600 \cdot 24 \cdot 365 \end{aligned}$$

Pasaje de unidades

$$\text{Def} := \frac{D_c}{a}$$

Valores calculados de Dc y Cs

ATENCIÓN: El índice ix debe ser distinto de 0 o 10. En caso contrario se deberá modificar el intervalo de variación de csj

$$\begin{aligned} \text{Err} &= 1.829 \times 10^{-3} \\ ix &:= 2 \end{aligned}$$

Coeficiente efectivo de difusión expresado en cm²/seg

$$\text{Def} = 1.014 \times 10^{-6}$$

Concentración superficial de cloruros

$$CS = 0.39$$

APÉNDICE B

PROGRAMACIÓN MATHCAD PARA HORMIGÓN GU

Determinación del coeficiente efectivo de difusión de cloruros a partir de perfiles de concentración

Programa y datos usados en el cemento GU

Identificación de la muestra: Hormigón tipo GU

DATA INPUT: **c= Concentración de cloruros**

$c := \begin{pmatrix} 0.34 \\ 0.21 \end{pmatrix}$ $x := \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}$ $\Delta := \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$ **x= Coordenada (cm)**

Δ =Espesor de la muestra (cm)

$t := 0.25$ **Tiempo de exposición (años) (3 meses)**

$c_0 := 0.14$ **Concentración inicial de cloruros**

$i := 0 \dots 1$ **Números de componentes de los vectores c, x**

Solución de la ecuación de difusión

$$F(x, D, c_s, \Delta) := \int_{x-\Delta}^{x+\Delta} \left[c_s - (c_s - c_0) \cdot \operatorname{erf} \left[\frac{x}{2 \cdot \sqrt{(|D| \cdot t)}} \right] \right] \cdot \frac{1}{2 \cdot \Delta} dx$$

Criterio de convergencia por cuadrados mínimos

$$s(D, c_s) := \sum_i (c_i - F(x_i, D, c_s, \Delta_i))^2$$

$D := 1$ **Valor tentativo de coeficiente de difusión**

Bloque de resolución

Se crea la función $f(cs)$ que arroja valores de D que satisfacen la condición de mínimos cuadrados.

Given
 $s(D, cs) = 0$
 $f(cs) := \text{Minerr}(D)$

Iteración a partir de valores de concentración superficial (C_s).

Se debe ajustar el intervalo de variación de cs para que asuma valores acordes al perfil de concentración experimental

$j := 0 \dots 10$
 $cs_j := 0.34 + 0.001 \cdot j$

Cambio de variables

$f_j := f(cs_j)$

Calculando el error mínimo para cada valor de cs

$g_j := s(f_j, cs_j)$

Error mínimo

$m := \min(g)$

Vector con componentes=0 a excepción del mínimo error, cuyo índice es K

$k_j := \text{if}(g_j = m, j, 0)$
 $ix := |k|$

Coeficiente de difusión (Dc) y concentración superficial (Cs) calculados.

DATA OUTPUT:

Coeficiente de difusión

$$D_c := f_{ix}$$

Concentración superficial

$$CS := cs_{ix}$$

Mínimo error

$$\begin{aligned} \text{Err} &:= g_{ix} \\ a &:= 3600 \cdot 24 \cdot 365 \end{aligned}$$

Pasaje de unidades

$$\text{Def} := \frac{D_c}{a}$$

Valores calculados de Dc y Cs

ATENCIÓN: El índice ix debe ser distinto de 0 o 10. En caso contrario se deberá modificar el intervalo de variación de csj

$$\begin{aligned} \text{Err} &= 1.643 \times 10^{-3} \\ ix &:= 2 \end{aligned}$$

Coeficiente efectivo de difusión expresado en cm²/seg

$$\text{Def} = 7.895 \times 10^{-7}$$

Concentración superficial de cloruros

$$CS = 0.35$$

APÉNDICE C

**GUÍA PARA PRÁCTICA ACADÉMICA,
DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE
CORROSIÓN DE LAS VARILLAS ASTM A42
USANDO EL POTENCIOGALVANOSTATO**



ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN
MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA
PRODUCCIÓN

PLANIFICACIÓN DE PRÁCTICAS
ACADÉMICAS

Hoja 1 de 9

FECHA:

		CÓDIGO
MATERIA		
LABORATORIO		
NOMBRE DE LA PRÁCTICA	DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE LAS VARILLAS ASTM A42 EN EL HORMIGÓN USANDO EL POTENCIOGALVANOSTATO	

RESUMEN:

OBJETIVO:

- Hallar el potencial de corrosión perturbado con respecto al electrodo de referencia inyectando una corriente de 20 μ A.
- Obtener la resistencia eléctrica de los hormigones mediante el equipo Nilsson 400.
- Hallar la corriente de corrosión mediante la ecuación de Stern-Geary.

NORMAS APLICABLES:

ASTM C876: Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete.

ASTM G1-90: Standard practice for preparing, cleaning, and evaluating corrosion test specimens.

MARCO TEORICO:

Potenciostato

Un Potenciostato es un instrumento electrónico que controla la diferencia de potencial entre un electrodo de trabajo y un electrodo de referencia. Ambos electrodos se colocan dentro de una celda electroquímica. El control de la corriente que pasa por el electrodo de trabajo se completa con la introducción de un electrodo auxiliar o contra electrodo.

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



FIGURA 1. MODELO POTENCIO-GALVANOSTATO

TÉCNICAS EMPLEADAS EN LOS ENSAYOS

Método de Media celda

El método de media celda es conocido y usado para la medición de un potencial de una varilla de acero dentro de un hormigón. Este método solo es conocido para identificar ciertas áreas para determinar riesgos de corrosión dentro del acero, la media celda de trabajo más común es de cobre/sulfato de cobre. El método se limita a un circuito eléctrico para ello es importante que esté conectado en un extremo donde la varilla está descubierta como se encuentra en la Figura 2.



FIGURA 2. CIRCUITO DE MEDIA CELDA DE COBRE/ SULFATO DE COBRE.

Medición de resistencia eléctrica del hormigón

Para medir la resistencia eléctrica del hormigón se usa el Nilsson 400 (Figura 3). Este equipo inyecta una corriente en el terreno (hormigón), y mide con precisión la tensión generada en dicho terreno, de esta manera conociendo la magnitud de la corriente inyectada y midiendo el valor de la tensión generada, puede obtenerse la resistencia eléctrica como valor registrado por el equipo.



FIGURA 3. NILSSON 400

El esquema de conexión para hallar la resistencia eléctrica se muestra a continuación:

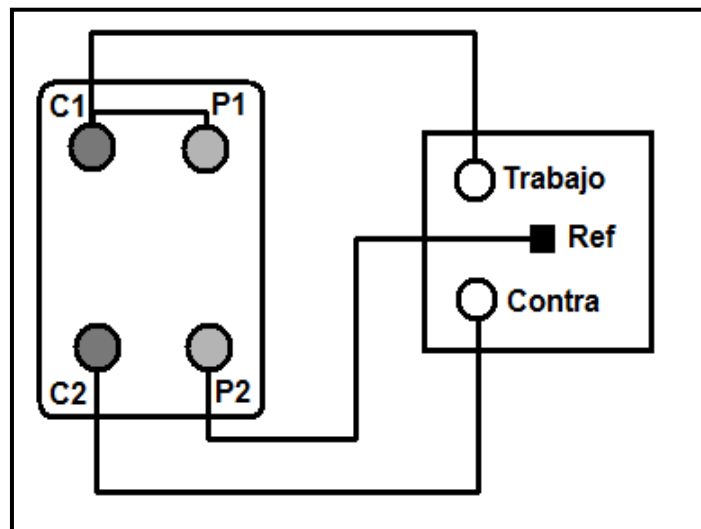


FIGURA 4. ESQUEMA EMPLEADO PARA HALLAR LA RESISTENCIA ELECTRICA DEL HORMIGÓN.

Resistencia a la polarización.

La resistencia a la polarización (R_p) o polarización lineal es una de las técnicas electroquímicas que ha sido más utilizada en los últimos 50 años. Con el paso del tiempo se han desarrollado herramientas experimentales que son más complejas que la R_p , aportan información mecanística e implican el uso de instrumentación cara. Esta técnica está basada en la aplicación de pequeños potenciales y el registro de la respuesta de corriente. Asumiendo una relación lineal entre estas 2 variables se calcula una resistencia llamada “Resistencia a la Polarización” que se interpreta como el comportamiento resistivo de la interfase metal- solución, que para un control activacional coincide con la resistencia de la transferencia de carga (R_{tc}) de la doble capa electroquímica. La linealidad entre cambios de potencial y corriente, es relacionada por la ecuación de Stern y Geary donde la corriente de corrosión es inversamente proporcional a la resistencia a la polarización.

$$i_{\text{corr}} = \frac{B}{R_p} \quad (\text{ec. 1})$$

Con:

$$B = \frac{b_a b_c}{2.303 (b_a + b_c)} \quad (\text{ec. 2})$$

b_a : Pendiente de Tafel anódica

b_c : Pendiente de Tafel catódica

R_p : Resistencia de Polarización

i_{corr} : Densidad de corriente de corrosión

El valor de R_p que se obtendrá no es el R_p “puro”, sino que incluirá el valor de la resistencia del electrolito R_Ω , o sea que el verdadero valor de R_p será corregido restándole el R_Ω . La magnitud B en la ecuación (1) es una simple función de las pendientes de Tafel.

Velocidad de corrosión

Usualmente, la densidad de corriente i no suele estar expresada en A/m^2 sino en $\mu A/cm^2$; tomando en cuenta i_{corr} como densidad de corriente de la corrosión, se determina que la velocidad de la corrosión es:

$$V_{corr} = 0.0116 i_{corr} \left[\frac{mm}{año} \right] \quad (ec. 3)$$

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

EQUIPOS Y MATERIALES:

- Potenciostato
- Computador
- Tarjeta de Adquisición de Datos
- Probetas Cubicas

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL:

PROCEDIMIENTO PARA MEDICIONES DE POTENCIALES

1.- Potenciales E_{corr} .

a) Situar el multímetro en el rango de mili-voltios, para obtener precisión de datos.

- b) Enlazar el negativo del multímetro con el electrodo de referencia interno de la probeta, y el otro enlace es el positivo del multímetro al electrodo de trabajo AX.
- c) Volver el procedimiento b) para el electrodo de trabajo AY. Figura 5.



FIGURA 5. MEDICION DE POTENCIAL (ECORR) CON EL ELECTRODO DE REFERENCIA INTERNO ERI.

2.- Potencial ERI vs CSC

- a) Colocar una esponja en la parte inferior del electrodo CSC.
- b) Situar el multímetro en el rango de milivoltios.
- c) Enlazar el positivo del multímetro al ERI (Electrodo de Referencia Interno), luego se debe enlazar el negativo del multímetro al electrodo de CSC, verificar que se apoye el CSC sobre la esponja humedecida.
- d) Anotar los valores de la lectura una vez que se estabilice por lo menos unos 5 minutos.
- e) Volver al mismo procedimiento para cada una de las caras de la probeta.
- f) Verificar los datos para obtener un promedio. Figura 6.



FIGURA 6. MEDICION DE POTENCIAL (ERI) CONTRA EL ELECTRODO DE CSC

PROCEDIMIENTO PARA MEDICIONES DE DENSIDAD DE CORROSION icorr.

1.- Conexiones entre el Potenciostato-Galavanostato y la probeta

- a) Para esta parte de trabajo se debe operar sin encender el equipo y con el interruptor CELL en OFF.
- b) Enlazar cada uno de los cables con sus respectivos colores en la probeta.
- c) El cable VERDE debe conectarse al electrodo de trabajo AX, para la segunda medición de la misma probeta se conectara al AY.
- d) El cable BLANCO debe conectarse al electrodo de referencia.
- e) El cable ROJO debe conectarse a los dos contra electrodos de acero inoxidable.
- f) El cable NEGRO se conecta a un punto de tierra. Figura 7.



FIGURA 7. CONEXIÓN DEL POTENCIOGALVANOSTATO

2.- Otras conexiones

- a) Conectar la tarjeta de adquisición y la salida de datos del Potencio-Galvanostato.
- b) Conectar el multímetro de la salida de voltaje del Potencio-Galvanostato para tener como respaldo las lecturas de la tarjeta y colocar un cronometro para registrar a los 60 segundos.

3.- Ajuste de los controles del equipo

- a) Para esta parte de trabajo se debe operar sin encender el equipo y con el interruptor CELL en OFF.
- b) Controlar que todos los botones de la hilera del extremo izquierdo deben estar sueltos para el funcionamiento.
- c) El interruptor principal MODE debe estar presionado, para que funcione como CONTROL I.
- d) El contador INITIAL POTENTIAL se usa como un multiplicador sin dimensiones, que trabajo en conjunto con el selector de rango CURRENT RANGE, para indicar el valor de corriente que se aplicara al electrodo de trabajo. Por ejemplo se desea aplicar $20 \mu A$, presionar el CURRENT RANGE $10 \mu A$ y colocar +2.000 en el contador INITIAL POTENTIAL.

e) Encender el equipo, la corriente se inyectara al momento de presionar el interruptor CELL a su posición ON.

f) A continuación de realizar las conexiones a la probeta y el ajuste de 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.

g) Tomar la lectura de voltaje inducido en el electrodo de trabajo, a los 60 segundos y apagar la inyección de corriente (CELL OFF).

h) Se tomará una lectura para AX y luego otra para AY.

CÁLCULOS Y RESULTADOS:

Determinación de la resistencia de polarización.

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

$$R_t = R_p + R \quad \Omega \quad (\text{ec. 4})$$

Donde

R_t: Resistencia total en la probeta

R_p: Resistencia de polarización

R Ω: Resistencia debido al electrolito, que se lee con el equipo NILSSON 400.

$$R_t = \frac{\Delta E}{\Delta I} = \frac{(E - E_{\text{corr}})}{\Delta I} \quad (\text{ec. 5})$$

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 ΔI es la corriente aplicada.

$$R_p = \frac{B}{I_{\text{corr}}}$$

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

TABLA 1 ACTIVIDAD DEL ACERO

Fecha	Lado	V_{corr} (prom) (mm/año)
>-0.200 VCSC	Pasivo	0.052 V
<-0.350 VCSC	Activo	0.026 V

Para hallar I_{corr} se combinan y se despejan estas fórmulas, de la siguiente forma.

$$R_p = \frac{B}{\left(\frac{E - E_{corr}}{\Delta I}\right) - R_{\Omega}} \quad (\text{ec. 6})$$

El valor de I_{corr} , está dado en Amperios. Luego para hallar la densidad de corriente I_{corr} , se debe dividir para el área expuesta el electrodo de trabajo, que en cada caso es de 20 cm².

Para ello se toma en cuenta como ejemplo las probetas cemento GU con inhibidor expuesto en medio ambiente, medición No 1 a los 30 días de exposición.

TABLA 2 DE POTENCIALES

CÓDIGO PROBETA	POTENCIAL DE CORROSIÓN E_{corr} [mV]		POTENCIAL ERI v.s CSC [mV]				
	Ax	Ay	CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4	Promedio
GU-CI-RP-N-01							
GU-CI-RP-N-02							
GU-CI-RP-N-03							

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

TABLA 3 DE RESISTENCIAS

CÓDIGO PROBETA	Valor de B [V]	Valor B [V]	Ax [mV] (E perturbado)	Ay [mV] (E perturbado)	Ax [mV] E perturbado Final	Ay [mV] E perturbado Final	Ax [ohmios]	Ay [ohmios]	RQ (Promedio)	Resistencia Final [ohmios]
GU-CI-RP-N-01										
GU-CI-RP-N-02										
GU-CI-RP-N-03										

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

TABLA 4 ICORR

CÓDIGO PROBETA	Calculo de icorr para Ax				Calculo de icorr para Ay				Resumen	
	E-Ecorr [V]	(E-Ecorr)/ΔI [ohmios]	[(E-Ecorr)/ΔI]-RQ [ohmios]	i corr [uA/cm2]	E-Ecorr [V]	(E-Ecorr)/ΔI [ohmios]	[(E-Ecorr)/ΔI]-RQ [ohmios]	i corr [uA/cm2]	i corr PROMEDIO	i corr final [uA/cm2]
GU-CI-RP-N-01										
GU-CI-RP-N-02										
GU-CI-RP-N-03										

Densidad de corriente para el electrodo de referencia AX de la probeta GU-CI-RP-N-01. Mediante este modo se calcularon todos los resultados para cada electrodo de trabajo de cada probeta mostrados en las siguientes tablas para hormigones con y sin inhibidor en dos medios diferentes.

OBSERVACIONES:

CONCLUSIONES:

PREGUNTAS:

1. Que otros tipos de métodos existen para hallar la corriente de corrosión?
2. Defina el método de media celda.
3. Defina el método de Resistencia de Polarización.
4. Qué se entiende por Potenciostato?
5. Qué tipo de corrosión ocurre dentro de la probeta?

BIBLIOGRAFIA:

APÉNDICE D

GUÍA PARA PRÁCTICA ACADÉMICA, DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE LAS VARILLAS ASTM A42 USANDO EL GECOR8

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN PLANIFICACIÓN DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Hoja 1 de 9
		FECHA:

		CÓDIGO
MATERIA		
LABORATORIO		
NOMBRE DE LA PRÁCTICA	DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE LAS VARILLAS ASTM A42 USANDO EL GECOR8.	

RESUMEN:

OBJETIVOS:

• Determinar la velocidad de corrosión en las varillas ASTM-A42 embebidas en dos diferentes tipos de hormigones (Hormigón HE y Hormigón GU) con y sin inhibidor. • Obtener la resistividad de los hormigones en los puntos señalados en los cementos. • Obtener los potenciales de corrosión y determinar el estado en que se encuentra las varillas.

NORMAS APLICABLES:

ASTM C876: Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated. Reinforcing Steel in Concrete. Norma para Resistividad: NACE PAPER No 10173, 2010 ; “Corrosion Monitoring of Steel Reinforced Concrete Structures Using Embedded Instrumentation”. Norma para icorr: Propuesta por Red DURAR Op cit.

MARCO TEÓRICO

Para realizar el ensayo se utilizará el equipo Gecor8, cuyo diagrama se muestra a continuación:

Equipo de campo que puede llevar a un buen criterio del estado en que se encuentran las varillas de acero ASTM-A42 embebidas en el hormigón.



FIGURA 1. EQUIPO DE CAMPO GECOR8, USADO PARA MEDIR LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN, POTENCIAL DE CORROSIÓN Y RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN.

GECOR8

Gecor8 fue desarrollado durante la experiencia obtenida durante 10 años de aplicación de la versión anterior (Gecor6). Este equipo mide la Tasa de corrosión del acero en hormigón aplicando la técnica de Resistencia de Polarización para mediciones in situ. En adición, otros parámetros de corrosión de varillas de refuerzo incluyendo el Potencial de Corrosión y la Resistividad son medidos.

Este equipo trabaja con 3 tipos de sensores diferentes para realizar las mediciones dependiendo de las condiciones en la que se encuentra expuesta la estructura de varillas en el hormigón armado.

A continuación se detalla los tipos de sensores:

TABLA 1 RESUMEN DE MÉTODOS DE MEDICIÓN

Sensor	Aplicación	Técnica	Mediciones
A	Mediciones en estructuras aéreas.	Técnica de confinamiento modulado (MCT)	Tasa de corrosión Potencial de corrosión Resistencia eléctrica Concreto
	Medición en estructura con protección catódica.	Técnica de verificación de pasivación. (PVT)	Potencial de corrosión Eficiencia de Protección
		Técnica de apagado instantáneo (IOT)	Potencial instantáneo Potencial Inicial Potencial final
B	Mapeo	Mapeo	Potencial de corrosión Resistividad Nivel de riesgo
C	Mediciones en estructuras sumergidas o muy húmedas	Técnica de Potencial de atenuación (APT)	Tasa de corrosión Potencial de corrosión Resistencia eléctrica de concreto Resistividad

Los sensores A y B fueron son los sensores que serán usados para esta práctica en la medición de los hormigones rectangulares. Estos hormigones tienen 28 días de curado para que adquieran la suficiente resistencia a la compresión.

La relación agua cemento para los 2 tipos de hormigones fue de: 0,57 %

Potenciales de corrosión y resistividad

Con el sensor B; se medirá el **a)** Potencial de corrosión **b)** Resistividad del hormigón. El Gecor8 al realizar la medición con este sensor; mostrará en la pantalla, el ESTADO EN QUE SE ENCUENTRA LA VARILLA mediante un rango de colores detonando el nivel de corrosión tal como se muestra a continuación:

- VerdeExcelente estado (Sin corrosión)
- Amarillo.....Riesgo de corrosión
- Rojo..... Varilla corroída

Los valores límites de “Potencial de corrosión” y de “Resistividad” se muestran a continuación:

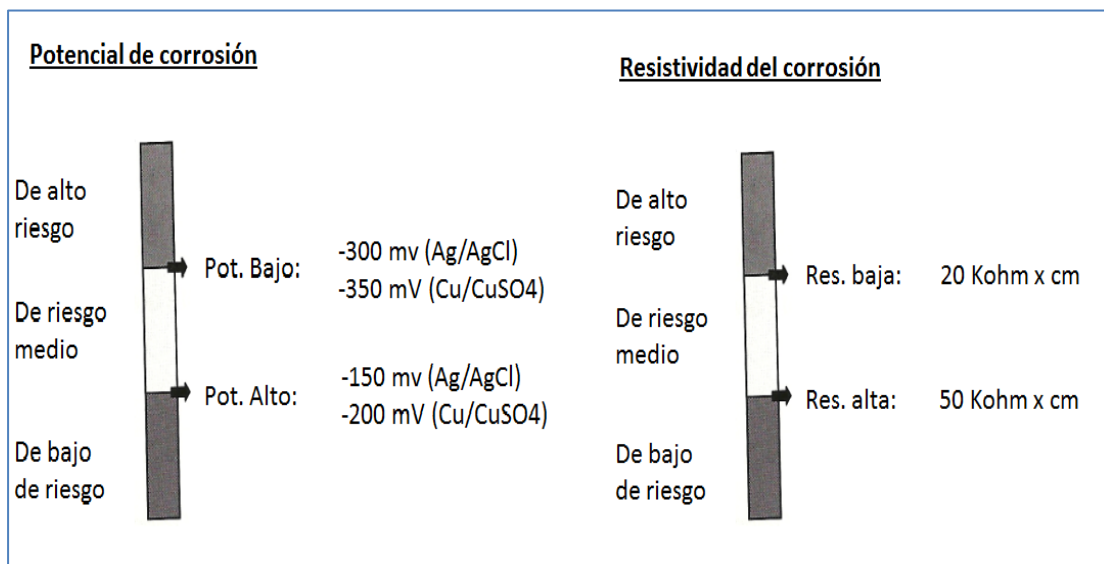


FIGURA 2. VALORES LÍMITES DE EL “POTENCIAL DE CORROSIÓN” Y DE LA “RESISTIVIDAD”.

Este tipo de sensor usa el método de disco para realizar las mediciones, y se lo explicará a continuación.

Método de disco para resistividad

La resistividad (ρ) es una medición complementaria para establecer el riesgo de corrosión ya que está relacionado al contenido de húmeda del concreto. Esta técnica implementada en GECOR8 consiste en formar un circuito, en el cual se coloca un disco metálico sobre la superficie del hormigón y para cerrar el circuito con la pinza de lagarto se agarra a una de las varillas de la estructura de acero del hormigón armado tal como se muestra en la Figura 4.

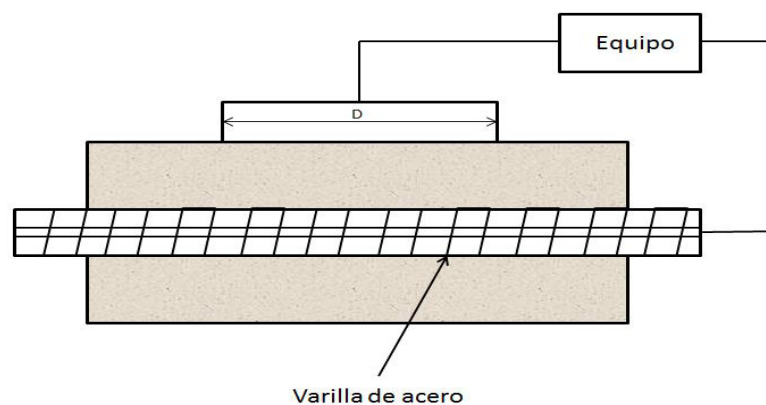


FIGURA 3. CIRCUITO CERRADO DEL MÉTODO DE DISCO PARA MEDIR RESISTIVIDAD DEL HORMIGON USANDO EL GECOR8.

Esta técnica implementada hace uso de la fórmula:

$$\rho = 2RD \quad (\text{ec. 1})$$

Donde:

R: es la resistencia (caída óhmica) desde un pulso entre el electrodo auxiliar del sensor y la red de las varillas de refuerzo.

D: es el diámetro del electrodo opuesto.

La técnica es aplicada a través de un sensor muy pequeño que permite acceso a cualquier parte en la estructura.

Corriente de corrosión

El sensor A se usa para medir la corriente de corrosión en las estructuras de las varillas en el hormigón. Los valores límites para velocidad de corrosión generalizada se muestran a continuación:

Niveles de corrosión

**TABLA 2 VALORES LÍMITES DE LOS NIVELES DE CORROSIÓN
(CORROSIÓN GENERALIZADA)**

$I_{\text{corr}} (\mu\text{A}/\text{cm}^2)$	Nivel de corrosión
<0.1	Despreciable
0.1-0.5	Moderado
0.5-1	Elevado
> 1	Muy elevado

Deducción de la velocidad de corrosión en función de la corriente

Por medio de la “Ley de Faraday” se determinará la velocidad de corrosión a partir de la corriente de corrosión.

$$W = \frac{Itm}{zF} \quad (\text{ec. 2})$$

Donde

F: es la constante de Faraday (96500 Coulombs/equivalente).

z :es el número de electrones involucrados en la reacción electroquímica.

m: es el peso atómico en g/mol

t: es el tiempo en segundos.

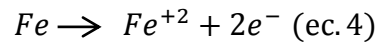
I: corriente en Amperios

Dividiendo la ecuación 1 para el tiempo t y área superficial A_s , se obtiene la tasa de corrosión r:

$$r = \frac{W}{t A_s} = \frac{im}{zF} \left[\frac{g}{m^2 s} \right] \quad (\text{ec. 3})$$

Donde i es la densidad de corriente (I/As) en A/m².

Mediante la reacción anódica del acero se obtiene:



A partir de ecuación 3, se obtiene el número de electrones involucrados en la reacción electroquímica $z = 2$ y el peso atómico del hierro es $m = 55.8$ g/mol. Reemplazando estos valores en la ecuación 2 y al dividir la expresión para la densidad del acero $\delta = 7.87$ g/m³, se obtiene la velocidad de corrosión, V_{corr} , como se muestra a continuación:

$$V_{corr} = \frac{im}{\delta z F} = \frac{55.8 i}{7.87 \times 2 \times 96500} = 3.67 \times 10^{-5} i \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$V_{corr} = 3.67 \times 10^{-5} i \left[\frac{m}{s} \times \frac{3600 s}{1 h} \times \frac{24 h}{1 día} \times \frac{365.25 día}{1 año} \right]$$

$$V_{corr} = 1158 i \left[\frac{m}{año} \right] \quad (\text{ec. 5})$$

Usualmente, la densidad de corriente i no suele estar expresada en A/m² sino en $\mu\text{A}/\text{cm}^2$; tomando en cuenta i_{corr} como densidad de corriente de la corrosión, se determina que la velocidad de la corrosión es:

$$V_{corr} = 0.0116 i_{corr} \left[\frac{mm}{año} \right] \quad (\text{ec. 6})$$

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

BANCO DE PRUEBA

Todos los cementos en Holcim S.A cuentan con la norma vigente NTE INEN 2380 equivalente a la ASTM-C1157 (norma norteamericana) cuyo requisito prioritario es el desempeño de los cementos hidráulicos al ser usados en hormigón. Esta norma moderna es aplicable a cementos tales como:

- Tipo GU (Uso General)
- Tipo HE (Alta Resistencia Temprana)
- Tipo HS (Alta Resistencia a los sulfatos)
- Tipo MH (Mediano calor de hidratación)
- Tipo LH (Bajo calor de hidratación)

Las mediciones con el Gecor8, se las realizará a las varillas de acero ASTM-A42 embebidas en 2 tipos diferentes de hormigones:

- a) Hormigón HE (Conocido como Portland III).
- b) Hormigón GU (Conocido como Portland I).

Cemento HE

Es un cemento hidráulico, cuya característica principal es que presenta altas resistencias a la compresión a edades tempranas. Debido a que su adecuada formulación permite elaborar concretos de alta resistencia inicial, esto es de gran utilidad ya que se pueden retirar las formaletas en un menor tiempo y optimizar los tiempos de fabricación de los productos de concreto. Este cemento en el Ecuador, no está disponible en el mercado por lo que se están realizando las debidas pruebas y mejoras, para que este cemento al momento de ser comercializado cumpla con todos los estándares de calidad.

Cemento GU

Este tipo de cemento es de uso general, por su gran “durabilidad, resistencia y calidad” es ideal para todo tipo de construcción. Este tipo de cemento posee grandes características tales como:

- Reducir el calor de hidratación y por consiguiente, la tendencia a la fisuración.
- Mejora la trabajabilidad de las mezclas y reduce la segregación y exudación.
- Buen desempeño de fraguado y resistencia, adecuada para la construcción de edificaciones.
- Proporciona resistencia química moderada al agua de mar, difusión de cloruros y ataque de sulfatos, lo que aumenta su durabilidad.

A continuación se muestra el banco de prueba previo a la realización de las mediciones:

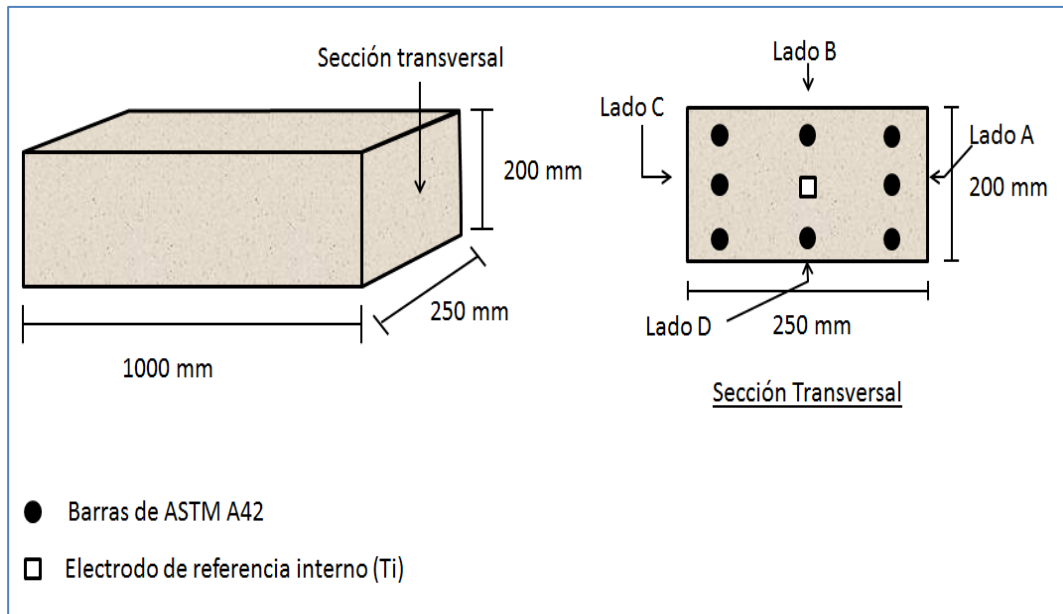


FIGURA 4. PROBETA RECTANGULAR PARA LOS CEMENTOS CON Y SIN INHIBIDOR.

Inhibidor usado

El inhibidor usado para las probetas rectangulares es el “MCI 2006 NS”.

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

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Medición de potenciales y resistividad

Para la medición de **a) Potencial de corrosión** y **b) Resistividad**; con la pinza de lagarto se agarra a una de las varillas y se cierra el circuito colocando en “Sensor B” encima del punto de medición tal como se mostró en la Figura 3. La medición se la realizará en el “Lado B” y en los puntos de separación de la probeta rectangular tal como se muestra en la figura 5.

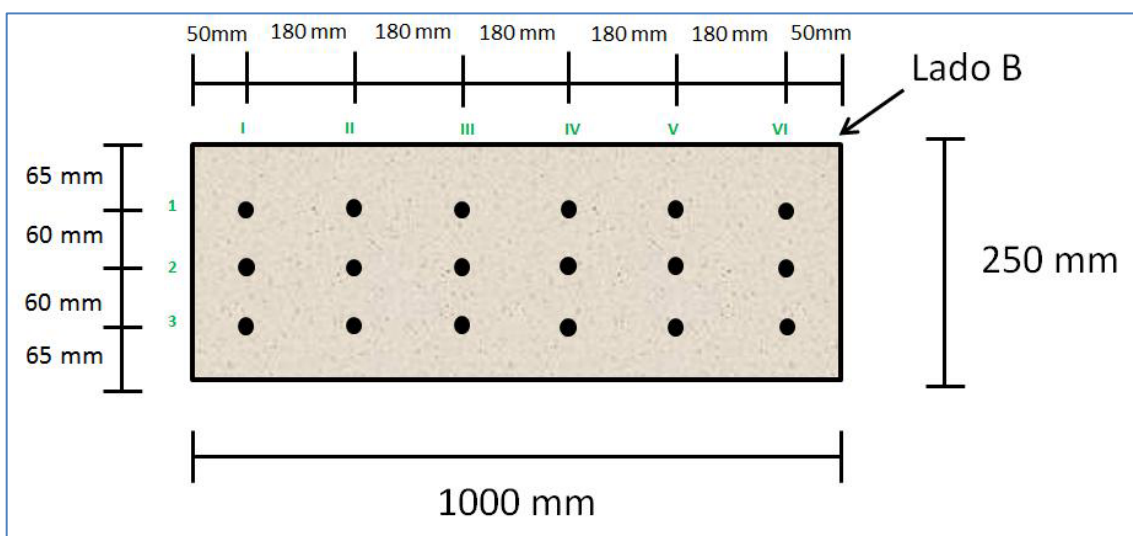


FIGURA 5. ESPACIADO ENTRE PUNTO Y PUNTO DONDE SE REALIZARÁ LA MEDICIÓN.

Para la preparación de la solución que contiene el “Sensor B” (Cu/CuSO_4), se usó agua destilada y se añadió a esta el CuSO_4 y se lo agitó hasta que queden pequeños cristales de CuSO_4 sin poder diluirse; es decir; mezcla saturada.

Una vez que se realizó la separación de los puntos en donde se va a realizar la medición, y se cargó al Sensor B con la solución de (Cu/CuSO_4), se procedió a meter la información necesaria que necesita el Gecor8 para realizar la medición.

En la Figura 6, se muestra la pantalla que aparece después de seleccionar el método de mapeo. Los datos ingresados son: el nombre de la tarea usando el tipo de cemento y el lado en que se realiza la medición, el paso en X igual a 18, el tamaño en X igual a 90, el paso en Y igual a 6, el tamaño en Y igual a 12 y el camino de la red seleccionado "Random".

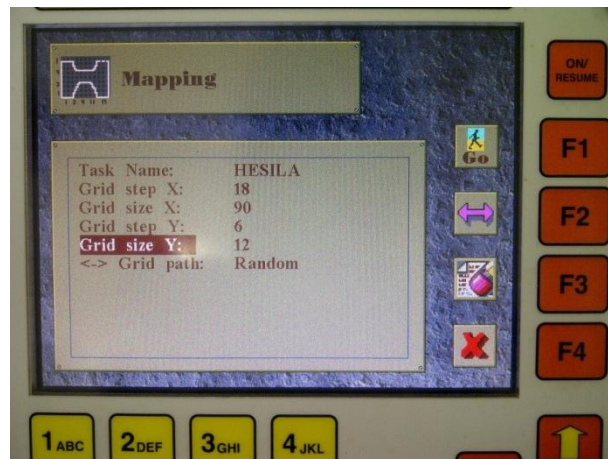


FIGURA 6. PANTALLA PARA DATOS DE MAPEO.

Habiendo introducido los valores anteriores en la pantalla de "Mapping data", se procede a colocar el sensor B como se observa en la Figura 7 en el punto de medición que corresponde de acuerdo a lo que indica la pantalla "Mapping measurement" habiendo realizado la previa humectación de la esponja y la pared.



FIGURA 7. COLOCACIÓN DEL SENSOR B EN EL PUNTO DE MEDICIÓN.

Una vez realizada las mediciones y habiendo guardado los resultados, se procede a copiar la información en una computadora extrayendo la tarjeta PCMCIA del equipo y colocándola en el puerto PCMCIA de la computadora.

Mediciones de corriente de corrosión

Para la medición de la **a)** Corriente de corrosión, con la pinza de lagarto se agarra a una de las varillas y el “Sensor A” se lo coloca en el centro de la superficie del “Lado B” tal como se muestra en la Figura 3.

Este ensayo se lo debe realizar preferentemente después de realizar el mapeo para aprovechar el equipo conectado en un extremo a la varilla de hacer y el otro extremo al sensor A.

En la Figura 8, se muestra la pantalla que aparece después de seleccionar el método de estructura aérea. Los datos ingresados son: el nombre de la tarea usando la identificación del tipo de cemento y el área de reforzamiento. Esta área corresponde a las varillas de acero, con contacto eléctrico entre ellos, de la capa de refuerzo cerca de la superficie de hormigón por debajo de un círculo de diámetro 105 mm centrada en el sensor. Con un diámetro de varilla de 1 [cm] el área de reforzamiento calculada es de 32.9 [cm²].

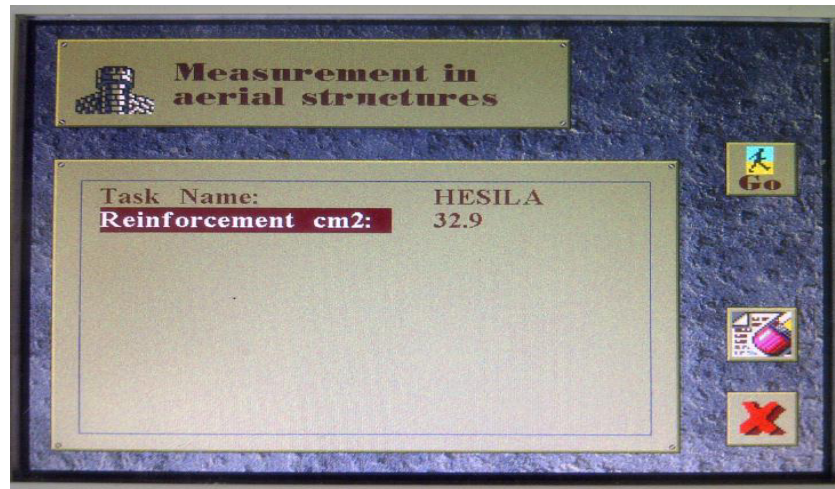


FIGURA 8. PANTALLA DE DATOS PARA MEDICIONES EN ESTRUCTURAS SUMERGIDAS O MUY HUMEDAS

Habiendo introducido los valores anteriores en la pantalla, se procede a colocar el sensor A en el centro de la superficie tal como se muestra en la Figura 9, habiendo realizado la previa humectación de la esponja y la superficie.



FIGURA 9. COLOCACIÓN DEL SENSOR A EN EL PUNTO DE MEDICIÓN.

Una vez realizada las mediciones y habiendo guardado los resultados, se procede a copiar la información en una computadora extrayendo la tarjeta PCMCIA del equipo y colocándola en el puerto PCMCIA de la computadora.

Para la preparación de la solución que contiene el “Sensor A” (CU/CUSO₄), fueron los mismos pasos que se realizó para el “Sensor B”.

RESULTADOS:

Mediciones de Potencial de corrosión

TABLA 3 POTENCIAL DE CORROSIÓN EN LA PROBETA RECTANGULAR (HE CI) LADO B

Lado B	I	II	III	IV	V	VI
1						
Nivel de corrosión						
2						
Nivel de corrosión						
3						
Nivel de corrosión						

TABLA 4 POTENCIAL DE CORROSIÓN EN LA PROBETA RECTANGULAR (HE SI) LADO B

Lado B	I	II	III	IV	V	VI
1						
Nivel de corrosión						
2						
Nivel de corrosión						
3						
Nivel de corrosión						

**TABLA 5 POTENCIAL DE CORROSIÓN EN LA PROBETA
RECTANGULAR (GU CI) LADO B**

Lado B	I	II	III	IV	V	VI
1						
Nivel de corrosión						
2						
Nivel de corrosión						
3						
Nivel de corrosión						

**TABLA 6 POTENCIAL DE CORROSIÓN EN LA PROBETA
RECTANGULAR (GU SI) LADO B**

Lado B	I	II	III	IV	V	VI
1						
Nivel de corrosión						
2						
Nivel de corrosión						
3						
Nivel de corrosión						

Medición de resistividad

**TABLA 7 RESISTIVIDAD DEL HORMIGON EN LA PROBETA
RECTANGULAR (HE CI) LADO B**

Lado B	I	II	III	IV	V	VI
1						
2						
3						

**TABLA 8 RESISTIVIDAD DEL HORMIGON EN LA PROBETA
RECTANGULAR (HE SI) LADO B**

Lado B	I	II	III	IV	V	VI
1						
2						
3						

**TABLA 9 RESISTIVIDAD DEL HORMIGON EN LA PROBETA
RECTANGULAR (GU CI) LADO B**

Lado B	I	II	III	IV	V	VI
1						
2						
3						

**TABLA 10 RESISTIVIDAD DEL HORMIGON EN LA PROBETA
RECTANGULAR (GU SI) LADO B**

Lado B	I	II	III	IV	V	VI
1						
2						
3						

Mediciones con el sensor A

TABLA 11 CORRIENTE DE CORROSIÓN EN LA PROBETA RECTANGULAR (HECI)

Lado B	i_1 [uA/cm ²]	i_2 [uA/cm ²]	i_{Promedio} [uA/cm ²]	Velocidad de corrosión [mm/año]
Medición				

TABLA 12 CORRIENTE DE CORROSIÓN EN LA PROBETA RECTANGULAR (HESI)

Lado B	i_1 [uA/cm ²]	i_2 [uA/cm ²]	i_{Promedio} [uA/cm ²]	Velocidad de corrosión [mm/año]
Medición				

Tabla 13 CORRIENTE DE CORROSIÓN EN LA PROBETA RECTANGULAR (GUCI)

Lado B	i_1 [uA/cm ²]	i_2 [uA/cm ²]	i_{Promedio} [uA/cm ²]	Velocidad de corrosión [mm/año]
Medición				

TABLA 14 CORRIENTE DE CORROSIÓN EN LA PROBETA RECTANGULAR (GUSI)

Lado B	i_1 [uA/cm ²]	i_2 [uA/cm ²]	i_{Promedio} [uA/cm ²]	Velocidad de corrosión [mm/año]
Medición				

OBSERVACIONES

CONCLUSIONES:

PREGUNTAS:

1.- Que puede inferir acerca de los valores de Resistividad tomados en los hormigones? Qué relación existe con la porosidad del hormigón y su vulnerabilidad a corroerse?

2.- Con los potenciales obtenidos con la medición de mapeo que puede decir acerca de las varillas que se encuentran dentro del hormigón, están en buen estado?

3.- El inhibidor MCI 2006 NS influyó en los resultados en la medición de las lecturas de los Potenciales de corrosión?

4.- Que otros tipos de inhibidores usted conoce? Que aplicaciones tienen?

5.- La relación agua cemento influye en la corrosión de las varillas ASTM-A42? Explique.

6.- Porque en las estructuras expuestas en un medio marino se recomienda las varillas de acero inoxidable 316 en vez de usar acero inoxidable 304 que son las que más se usan comercialmente? Sugerencia: Relaciónelo con el porcentaje de Molibdeno. Qué tipo de corrosión localizada sufren estas varillas?.

BIBLIOGRAFIA:

APÉNDICE E

MEDICIONES DE LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DEL HORMIGÓN PARA LAS PROBETAS RECTANGULARES AL MEDIO AMBIENTE

TABLA 1 RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN HE SIN INHIBIDOR

	LADO A						LADO B						LADO C						LADO D					
15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	4,36	3,44	3,75	3,48	3,04	4,22	9,39	9,2	11,53	12,56	12,28	7,21	7,72	5,43	5,89	9,91	6,16	7,09	4,32	4,66	6,42	3,92	4,03	3,84
2	3,71	3,03	3,06	3,27	3,5	3,68	9,19	8,3	7,48	8,5	12,45	7,16	6,78	4,69	5,52	4,11	4,08	4,91	5,4	3,85	3,97	4,01	5,55	6,28
3	4,52	4,74	4,17	5,94	5	6,18	13,16	11,87	13,21	10,3	12,31	5,81	11,01	13,93	5,27	4,23	4,97	7,38	5,16	4,35	5,08	4,35	6,4	7,47
30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	14,82	15,63	11,48	12,13	15,3	10,44	14,33	15,09	15,6	14,99	12,82	11,7	8,5	6,96	7,89	8,27	7,66	8,53	5,7	4,51	4	4,65	4,74	5,35
2	17,23	16,92	14,53	12,05	12,45	15,73	9,93	13,77	11,86	13,1	10,38	7,3	7,96	6,46	7,14	6,07	5,13	6,73	5,6	5,36	3,16	4,66	5,79	6,11
3	19,33	21,45	18,1	23,2	21,84	14,42	13,17	12,16	12,13	10,11	9,85	8,92	11,66	4,21	5,13	5,75	5,1	6,11	6	5	5,48	5,79	7,65	7,02
14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	7,62	7,85	10,05	10,29	10,09	4,79	15,87	13,88	16,98	17,03	16,94	6,86	8,43	6,22	7,24	7,03	7,15	7,89	5,59	3,98	4,69	4,97	4,62	5,29
2	13,11	11,44	14,89	14,16	12,76	11,57	9	12,82	11,2	15,03	12,21	3,94	7,06	5,58	5,71	5,03	4,71	6,17	6,86	4,29	3,46	4,64	5,79	5,63
3	10,17	13,9	16,29	15,77	15,06	7,67	10,93	13,02	15,54	14,38	13,47	6	8,96	6,69	6,89	4,75	5,16	8,82	6,91	5,31	5,8	6,96	6,63	6,62
29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	17,44	12,34	9,93	11,3	11,71	9,31	14,39	13,67	20,52	19,9	14,34	10,58	10,28	7,72	7,19	7,8	8,34	8,89	8,83	6,67	6,2	5,58	6,1	7,55
2	11,22	10,61	9,73	8,39	7,87	8,13	10,89	13,15	13,92	14,88	11,93	6,78	8,5	7,42	7,17	5,94	6,43	6,84	9,95	7,68	5,47	7,53	6,68	7,94
3	12,1	9,88	10,61	11,11	10,23	8,48	12,27	10,77	13,54	11,44	10,05	7,74	11,33	6,21	6,53	5,09	5,64	10,45	11,13	20,73	7,88	11,43	9,44	13,68
15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	20,43	14,13	16,71	17,72	14,38	9,94	22,74	21,95	20,77	24,62	16,45	6,89	11,81	10	10,64	9,39	10,56	9,98	7	5,14	4,07	6,94	7,29	7,57
2	15,81	15,67	12,69	13,65	9,33	14,95	18,07	16,67	16,73	20,89	14,01	5,98	10,67	8,1	8,98	7,03	6,73	7,19	5,88	4,99	4,59	4,87	6,53	6,89
3	21,93	22,82	16,63	19,95	13,75	10,96	20,12	22,25	24,26	15,59	14,76	10,49	22,18	7,11	8,23	6,82	7,57	13,98	7,95	7,36	5,78	7,02	7,6	6,63
30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	18,75	15,76	15,73	15,09	16,03	11,08	21,88	21,86	19,51	24,24	15,87	7,55	10,57	15,07	6,39	5,77	7,14	10,89	10,91	5,66	4,87	7,72	7,31	8,19
2	15,47	14,06	13,91	14,63	10,34	15,49	17,96	15,55	16,06	21,31	14,95	6,96	9,95	8,73	8,76	6,55	6,14	7,79	6,71	6,26	5,48	6,46	7,76	8,66
3	16,31	17,52	14,21	21,9	13,16	11,94	21,38	17,76	21,46	16,23	13,37	10,21	16,75	7,77	7,34	5,95	6,78	11,74	24,11	15,33	7,34	20,11	9,38	8,27

TABLA 2 RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN HE CON INHIBIDOR

	LADO A						LADO B						LADO C						LADO D					
15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	6,79	3,98	6,45	5,72	7,29	7,88	4,66	3,98	3,7	3,57	2,94	3,08	5,23	4,01	3,25	3,23	5,49	7,03	4,04	2,95	3,72	2,9	3,52	3,01
2	4,05	3,94	3,96	3,67	4,8	4,74	3,92	3,72	3,9	2,89	3,69	4,39	3,2	2,42	2,47	2,83	3,35	3,56	2,9	2,88	2,92	2,33	2,71	3,52
3	5,41	5,73	5,02	6,2	5,36	5,54	4,6	3,96	4,01	2,67	3,19	3,42	3,37	2,47	2,41	2,77	3,52	4,76	3,63	3,1	3,44	2,88	3	4,24
30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	6,66	5,09	4,87	4,37	4,21	7,03	6,35	5,5	6,81	5,03	4,95	4,68	8,82	7,55	8	5,35	7,96	9,34	9,59	5,94	7,48	5,64	5,32	4,24
2	5,3	4,44	3,75	4,19	4,91	5,22	5,41	5,25	5,01	4,04	5,66	6,92	4,73	3,88	5,4	4,07	5,31	6,3	4,25	5,04	5,21	3,2	6,18	9,4
3	6,77	8,04	12,78	7,55	6,89	7,58	8,21	6,07	5,65	4,98	5,43	5,06	6,87	5,2	5,14	3,9	5,77	8,77	4,57	5,58	5,9	4,59	5,61	7,8
14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	12,09	10,43	9,06	12,93	8	9,09	8,07	5,57	5,39	5,12	3,22	5,19	11,56	7,65	7,38	5,78	11,28	11,79	8,3	5,35	5,86	4,21	6	6,02
2	7,01	9	5,07	7,46	6,01	9,32	6,01	9,64	9,9	4,86	6,66	4,02	6,07	5,25	4,54	4,19	5,72	6,51	5,56	5,62	5,65	3,91	5,85	17,51
3	10,37	10,27	6,93	10,18	8,46	11,14	7,79	8,7	6,22	8,97	6,05	6,32	8,44	8,33	6,18	5,3	7,9	12,67	9,13	10,82	7,07	6	3,73	8,85
29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	11,58	9,07	8,92	11,7	8,81	9,13	11,2	8,72	7,57	8,03	4,08	6,21	18,42	10,01	9,87	8,79	10,59	13,69	10,18	6,88	7,86	6,18	6,94	6,54
2	7,53	7,68	7,04	7,37	8,71	7,94	8,91	8,88	7,77	7,44	7,4	8,41	7,1	6,42	7,39	6,23	9,4	7,78	6,5	6,85	6,33	5,88	5,99	7,94
3	13,76	12,51	8,58	13,02	11,06	10,35	9,95	10,37	8,28	7,21	8,86	8,38	10,16	7,81	7,59	7,39	8,74	13,69	6,9	7,13	7,91	6,34	4,73	10,16
15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	21,49	12,91	13,29	10,81	12,96	11,69	10,92	9,26	7,88	8,55	4,14	10,1	14,36	12,22	8,41	7,29	10,34	12,42	11,17	13,67	6,86	5,37	7,56	6,72
2	9,29	7,81	6,42	9,49	9,18	8,7	9,15	9,24	8,45	7,81	7,72	10,61	7,83	7,48	6,36	5,44	6,94	9,55	5,37	6,26	6,08	5,23	5,91	6,61
3	14,18	14,07	10,79	14,88	11,48	12,29	11,3	10,21	8,43	9,17	9,32	11,6	13,61	8,6	6,39	6,04	7,74	14,26	7,59	7,68	6,38	5,75	5,28	14,79
30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	11,41	9,63	8,86	9,26	9,83	10,87	13,07	8,85	7,38	7,54	5,25	9,76	9,56	9,22	8,37	8,43	8,41	15,83	7,64	6,18	5,75	5,18	5,97	6,03
2	8,93	7,9	6,31	9,25	8,76	8,01	10,19	9,76	9,03	7,11	6,65	8,26	8,35	6,98	7,34	6,2	11,18	8,37	5,97	6,03	7,19	4,76	6,55	6,96
3	14,37	10,95	8,34	13,63	10,12	10,54	16,72	10,33	8,76	8,54	10,53	8,07	14,28	9,98	6,8	7,97	10,31	9,14	7,85	7,19	7,34	5,92	4,92	8

TABLA 3 RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN GU SIN INHIBIDOR

	LADO A						LADO B						LADO C						LADO D					
15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	4,4	3,79	5,59	6,3	9,64	6,49	4,43	4,55	4,47	3,88	5	4,56	6,39	5,96	5,03	5,96	5,28	6,26	5,86	4,18	4,56	4,126	4,39	4,28
2	4,91	3,77	3,94	4,28	5,15	6,11	3,44	3,99	4,23	3,2	3,78	3,67	4,07	3,89	3,24	3,35	3,24	4,73	4,17	3,83	3,47	3,21	3,8	5,5
3	6,18	7,59	5,91	5,39	5,95	6,67	4,81	5,16	4,92	3,81	4,39	2,4	5,14	4,04	4,75	3,83	4,88	5,88	4,74	4,14	7,24	4,71	7,4	5,43
30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	7,8	6,74	7,97	9,96	8,82	11,18	8,4	6,14	7,96	8,21	8,84	7,86	11,64	9,19	9,84	7,51	7,96	13,11	12,31	7,72	8,82	7,62	9,89	8,56
2	10,15	8,07	8,1	7,63	10	10	5,78	7,87	6,89	6,09	8,29	4,9	10,81	10,07	9,07	8,19	8,34	10,35	7,47	7,02	6,49	5,07	5,71	10,15
3	13,52	10,8	12,66	11,13	10,88	14,19	7,17	8,25	7,96	7,15	7,05	4,18	14,77	10,35	11,71	9,79	8,54	13,1	6,5	6,76	8,51	5,76	7,77	10,98
14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	12,19	7,8	11,73	12,37	11,96	14,65	8,52	8,27	8,93	6,86	8,7	9,9	9,58	8,89	7,93	8,4	9,05	10,61	11,56	8,42	9,43	8,08	10,71	7,26
2	9,28	7,91	8,77	9,1	10,48	13,46	6,28	8,87	8,41	6,45	7,63	7,21	7,83	7,53	6,4	6,6	6,6	8,22	7,93	8,23	11,25	3,94	8,58	6,66
3	14,94	12,98	13,44	13,62	12,98	15,22	9,36	10,39	9,5	8,85	9,86	4,37	7,59	8,13	8,82	7,76	8,97	9,69	8,76	7,96	8,3	5,4	8,56	8,42
29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	11,04	8,98	15,86	17,45	14,19	15,23	13,11	11,31	12,14	10,52	12,2	11,92	10,78	13,09	8,25	9,04	9,56	13,93	12,07	10,03	10,08	8,43	8,09	7,49
2	12,24	10,64	9,66	13,56	16,22	16,34	8,5	12,83	11,3	7,56	9,44	6,09	8,81	7,11	6,4	6,82	6,2	8,19	8,02	9,44	8,81	5,64	6,57	7,54
3	15,51	17,42	21,59	15,14	14,42	18,36	10,44	11,29	9,82	10,13	7,85	5,37	9,75	8,64	8,92	8,51	8,29	10,77	6,99	8,05	8,25	6,21	6,91	9,41
15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	11,1	9	15,28	18,63	16,3	16,04	10,95	12,46	13,31	8,45	13,21	14,82	11,18	12,79	9,72	9,65	8,63	14,77	13,41	9,31	10,42	6,76	9,52	11,83
2	11,29	11,94	11,75	15,26	16,98	15,05	11,35	13,82	12,65	10,56	10,27	7,06	10,52	8,21	7,12	7,63	7,21	10,46	8,12	8,65	7,1	5,04	10,58	8,68
3	16,16	17,12	21,2	17,7	15,32	17,22	12,04	13,98	12,15	14,52	12,53	9	10,35	9,25	9,02	8,67	11,89	12,4	8,41	10,82	9,1	6,21	8,48	9,15
30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	15,98	19,49	17,82	14	18,1	17,22	10,95	9,94	9,98	7,53	6,74	9,77	9,66	6,59	7,77	8,66	7,23	10,38	5,18	5,48	7,19	7,85	7,76	6,96
2	14,55	13,61	12,68	10,93	10,77	13,52	8,73	7,05	6,79	7,81	7,1	6,57	7,75	7,13	8,27	8,19	8,09	9,15	6,19	6,91	5,8	6,07	6,79	8,71
3	14,44	10,97	12,92	14,01	12,3	13,8	7,41	7,85	7,29	7,11	9,92	8,43	13,76	11,31	10	9,26	9,7	10,95	8,6	10,14	11,7	10,42	12,18	13,3

TABLA 4 RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN GU CON INHIBIDOR

	LADO A						LADO B						LADO C						LADO D					
15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	5,21	4,3	5	3,68	5	5,67	4,14	4,13	3,23	3,15	3,57	3,77	4,68	2,39	2,18	2,33	3	3,22	2,29	3,25	3,62	3,43	3,62	3,05
2	4,61	3,91	4,82	3,83	3,31	5,97	3,97	2,97	2,96	2,67	2,81	3,02	2,67	2,1	2,17	2,46	2,48	3,33	7,44	3,09	2,24	2,17	2,57	3,02
3	5,61	4,01	5,07	3,99	4,87	4,49	3,93	2,67	5,83	2,88	2,49	3,48	3,72	3,72	2,97	2,56	3,21	3,79	4,17	4,36	3,2	4,06	3,66	4,46
30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	10,08	7,49	9,03	7,74	7,42	13,18	5,57	4,05	4,14	4,48	6,22	5,74	5,57	4,58	4,53	6,38	5,97	6,26	6,83	5,17	5,48	8,06	6,03	6,44
2	9,23	6,47	6,2	5,61	5,75	9,33	3,96	4,29	4,18	3,74	3,48	7,7	4,94	4,69	4,6	5,56	5,21	5,95	6,87	5,67	6,1	3,87	4,81	5,63
3	8,95	5,53	7,56	8,45	6,44	10,36	4,24	4,35	3,74	4,01	3,93	5,3	7,3	4,48	5,4	5,37	5,82	7,01	12,94	7,04	6,69	8,22	8	9,07
14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	6,28	6,9	8,48	9,91	12,61	12,69	5,82	12,34	4,26	6,84	4,54	16,91	13,11	4,68	5,98	6,33	5,23	6,32	10,07	8,17	6,64	6,77	4,04	3,84
2	4,99	5,17	5,19	5,19	4,77	6,09	4,21	5,11	4,13	4,86	3,93	4,78	5,66	4,49	5,56	5,17	5,35	8,82	3,93	4,28	5,26	3,8	4,67	5,77
3	5,12	4,77	5,27	5,39	6,35	5,47	6,39	4	4,1	4,53	19,46	5,13	9,24	7,65	6,4	6,82	8,15	7,03	7,02	5,96	6,37	6,58	7,71	7,84
29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	10,23	11,3	11,89	12	12,35	14,25	11,78	12,47	12,47	9,15	15,41	17,07	6,9	6,12	5,36	8,16	6,03	7,13	7,13	6,89	4	7,58	8,99	7,93
2	9,96	9,48	7,43	8,17	6,92	10,15	9,01	9,08	9,08	8,05	6,8	13,87	5,94	5,47	5,41	5,51	6,04	7,04	4,48	5,92	5,34	24,43	5,74	7,2
3	12,95	9,61	8,06	7,65	9,49	11,51	6,8	6,41	6,41	6,82	12,21	9,59	11,75	9	6,01	7,29	6,56	7,21	8,09	7,79	8,71	8,87	8,4	7,99
15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	8,86	9,12	11,33	7,9	10,11	10,25	6,82	5,85	5,94	5,92	6,9	10,67	7,17	6,41	6,8	7,21	8,37	8,69	5,25	6,36	10,11	10,5	7,09	7,78
2	6,99	6,71	7,58	6,95	6,65	8,43	5,8	4,57	4,85	5	5,3	4,18	7,13	6,38	6,9	7,09	7,09	10,08	5,3	5,49	5,75	4,99	6,17	9,1
3	7,2	6,24	6,49	6,7	6,24	7,25	4,99	4,64	5,37	4,9	7,04	5,96	13,54	10,76	8,65	8,22	8,37	10,47	12,61	10,02	8,72	8,93	10,25	10,38
30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	15,98	19,49	17,82	14	18,1	17,22	10,95	9,94	9,98	7,53	6,74	9,77	9,66	6,59	7,77	8,66	7,23	10,38	5,18	5,48	7,19	7,85	7,76	6,96
2	14,55	13,61	12,68	10,93	10,77	13,52	8,73	7,05	6,79	7,81	7,1	6,57	7,75	7,13	8,27	8,19	8,09	9,15	6,19	6,91	5,8	6,07	6,79	8,71
3	14,44	10,97	12,92	14,01	12,3	13,8	7,41	7,85	7,29	7,11	9,92	8,43	13,76	11,31	10	9,26	9,7	10,95	8,6	10,14	11,7	10,42	12,18	13,3

APÉNDICE F

MEDICIONES DE LOS POTENCIALES DE CORROSIÓN EN EL HORMIGÓN PARA LAS PROBETAS RECTANGULARES AL MEDIO AMBIENTE

TABLA 1 POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL HORMIGÓN HE SIN INHIBIDOR

15 de Agosto	LADO A						LADO B						LADO C						LADO D					
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-137,7	-143,5	-145,6	-146,3	-151,3	-146,3	-196,21	-176,9	-186	-191,7	-179,9	-185,2	-191,4	-195,9	-192,2	-202,2	-209	-209,9	-262,9	-251,5	-265,9	-286,6	-262	-254,3
2	-144	-142,12	-142,2	-146,4	-138,7	-142,53	-190,5	-204,6	-159,8	-190,5	-163,4	-191,5	-189,9	-197	-194,6	-197	-202,2	-212,1	-229,1	-257	-284,7	-285,3	-260,73	-269,2
3	-138,2	-139,8	-136	-140,5	-152,4	-137,3	-153,87	-182,1	-183,5	-178,2	-172,1	-218	-222,3	-235,4	-208,9	-212,1	-185,6	-208,2	-218,2	-244,1	-272,8	-276,2	-275,6	-260,8
30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-187,69	-186,97	-196,32	-199,79	-154,48	-230,19	-240,53	-210,13	-236,41	-254,22	-245,41	-234,87	-226,82	-225,33	-220,2	-256,03	-237,99	-249,11	-294,31	-289,15	-332,31	-229,25	-293,67	-290,88
2	-151,3	-167,97	-154,31	-232,84	-184,68	-185,67	-219,32	-242	-213,74	-229,3	-220,61	-258,42	-240,56	-223,73	-229,22	-214,96	-228,63	-249,84	-275,28	-285,43	-356,61	-301,94	-295,71	-299,72
3	-145,72	-196,28	-197,19	-149,85	-168,68	-237,21	-185,12	-187,26	-203,71	-195,87	-234,61	-228,22	-242,16	-237,18	-257,85	-233,07	-229,08	-258,44	-277,6	-273,45	-328,74	-294,14	-293,2	-292,28
14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-187,22	-281,13	-223,94	-260,07	-127,48	-395,91	-227,94	-253,14	-266,44	-265,75	-293,3	-414,58	-207,33	-221,68	-226,21	-238,41	-238,75	-300	-320,03	334,22	-347,02	-331,09	-342,95	-351,63
2	-134,15	-264,87	-257,12	-285,32	-216,55	-297,22	-256,93	-307,01	-277,57	-277,16	-304,45	-486,96	-205,22	-198,65	-167,64	-201,09	-227,56	-284,67	-295,58	-327,29	-386,36	-350,62	-344,85	-354,99
3	-197,17	-286,57	-281,58	-206,8	-284,04	-388,26	-207,27	-284,87	-284,93	-274,62	-301,27	-374,96	-225,81	-217,36	-227,05	-215,61	-248,62	-292,03	-304,32	-314,67	-366,02	-344,55	-345,32	-356,53
29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-216,14	-244,42	-222,18	-252,12	-238,79	-381,66	-260,92	-272,51	-274,66	-274,29	-292,92	-377,96	-221,02	-240,92	-235,45	-245,36	-251,01	-283,7	-262,02	-314,06	-320,45	-311,34	-319,72	-314,72
2	-244,63	-239,34	-258,44	-299,51	-273,88	-351,82	-256,44	-274,24	-275,71	-270,86	-283,43	-410,66	-221,82	-229,1	-234,16	-210,58	-252,44	-264,74	-240,35	-287,11	-374,2	-279,94	-301,12	-310,54
3	-225,81	-244,52	-261,95	-235,61	-269,38	-382,55	-255,76	-295,46	-292,88	-278,36	-309,37	-339,17	-225,34	-240,09	-254,99	-258,83	-240,94	-266,21	-202,85	-305,2	-352,56	-276,16	-290,1	-282,62
15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-220,69	-292,88	-253,39	-313,41	-271,7	-436,22	-185,25	-229,83	-242,54	-234,4	-275,02	-471,4	-195,09	-195,02	-202,2	-221,44	-228,25	-270,08	-300,43	-337,18	-378,94	-316,85	-320,53	-326,08
2	-220,07	-228,29	-289,03	-325,85	-347,02	-352,29	-232,47	-255,38	-237,77	-233,78	-259,32	-412,33	-203,93	-191,65	-198,85	-190,51	-213,33	-263,87	-283,47	-311,1	-380,58	-340,1	-321,8	-322,21
3	-251,15	-288,94	-308,41	-283,95	-341,41	-436,02	-191,69	-275,41	-268,54	-269,62	-280,85	-339,88	-224,75	-225,48	-230,85	-224,06	-222,59	-269,67	-282,37	-298,28	-379,94	-309,22	-318,47	-315,62
30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-249,91	-262,01	-236	-249,23	-267,81	-399,06	-271,81	-296,96	-303,11	-299,01	-328,74	-450,86	-258,18	-265,1	-273,21	-273,33	-246,97	-281,49	-283,11	-344,41	-372,6	-314,39	-329,86	-330,77
2	-236,05	-259,75	-253,4	-274,86	-251,64	-299,56	-282,56	-296,21	-287,16	-277,59	-304,24	-417,5	-243,86	-247,6	-256,85	-244,22	-253,93	-289,42	-286,87	-292,88	-382,2	-326,1	-315,1	-315,47
3	-212,93	-245,02	-250,09	-242,28	-294,15	-380,98	-245,25	-308,22	-292,31	-286,13	-335,68	-345,4	-267,38	-260,42	-268,67	-275	-251,78	-288,4	-246,98	-299,13	-376,47	-304,72	-309,18	-308,38

TABLA 2 POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL HORMIGÓN HE CON INHIBIDOR

	LADO A						LADO B						LADO C						LADO D					
15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-160,7	-174,99	-160,16	-157,24	-157,71	-156,77	-140,82	-183,66	-170,7	-174,49	-181,85	-139,9	-148,23	-108,11	-131,43	-126,09	-128,82	-148,99	-165,23	-170,9	-156,52	-149,81	-169,21	-190,6
2	-160,63	-165,17	-159,59	-157,28	-150,53	-158,73	-98,75	-181,29	-168,38	-142,65	-165,84	-147,31	-133,38	-134,28	-139,8	-133,14	-146,15	-141,54	-164,23	-172,42	-172,61	-165,91	-185,27	-170,25
3	-154,64	-151,44	-145,23	-155,72	-157,13	-155,06	-194,16	-190,5	-159,67	-134,11	-139,94	-173,58	-134,92	-148,69	-135,05	-136,29	-134,58	-138,4	-165,7	-167,53	-182,75	-167,32	-171,57	-177,74
30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-182,18	-170,27	-129,76	-126,73	-173,32	-188,25	-210,48	-228,46	-210,51	-207,09	-192,72	-209,41	-149,23	-141,49	-142,46	-135,34	-146,19	-162,7	-159,84	-158,01	-151,56	-146,45	-172,21	-197,62
2	-190,3	-133,49	-141,61	-139,06	-167,22	-190,14	-149,51	-211,58	-192,95	-184,87	-184,86	-192,14	-138,64	-140,25	-151,77	-137,5	-149,48	-151,06	-162,9	-172,99	-169,05	-174,11	-178,88	-192,74
3	-181,95	-161,74	-168,16	-169,89	-193,59	-204,38	-213,59	-219,91	-175,08	-155,78	-172,27	-214,52	-138,78	-146,91	-153,75	-122,77	-134,98	-148,05	-167,65	-172,67	-174,85	-186,07	-185,28	-201,98
14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-140,63	-123,43	-160,27	-126,38	-152,56	-178,26	-186,99	-210,34	-185,67	-173,95	-259,31	-247,51	-168,38	-174,21	-171,45	-182,17	-177,42	-216,74	-202,84	-199,74	-209,22	-211,73	-234,94	-265,49
2	-141,11	-128,78	-179,67	-139,85	-162,16	-188,17	-145,42	-176,66	-178,12	-181,23	-143,82	-228,97	-177,8	-156,28	-172,43	-159,08	-187,56	-219,65	-206,41	-212,54	-221,1	-218,82	-222,28	-227,62
3	-136,18	-126,16	-173,49	-150,62	-169,67	-179,88	-186,69	-172,59	-154,75	-148,78	-162,83	-202,11	-163,67	-159,08	-164,86	-163,99	-203,92	-195,99	-208,92	-205,5	-213,02	-222,01	-266,07	-226,48
29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-222,95	-201,39	-232,69	-195,39	-256,12	-270,45	-230,36	267,79	-249,45	-229,14	-312,23	-278,89	-224,18	-218,9	-206,51	-192,62	-230,42	-248,17	-224,03	-214,85	-207,57	-213,94	-227,89	-239,45
2	-238,44	-227,05	-232,62	-212,68	-222,69	-263	-227,15	-261,81	-241,31	-231,95	-240,01	-260,09	-239,11	-221,43	-216,76	-178,13	-240,99	-239,61	-232,43	-227,15	-224,92	-217,01	-216,35	-229,42
3	-225,41	-204,81	-232,42	-213,75	-229,21	-280,72	-269,46	-266,47	-216,46	-185,33	-231,11	-291,43	-229,1	-207,56	-213,82	-195,2	-216,8	-240,4	-235,29	-228,25	-226,49	-224,05	-287,12	-236,24
15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-151,29	-134,79	-142,71	-127,12	-136,82	-200	-199,11	-196,3	-182,15	-173,17	-251,93	-226,74	-184,59	-146,68	-230,14	-152,68	-159,62	-184,59	-205,12	-198,53	-195,85	-194,08	-206,46	-222,46
2	-155,5	-142,58	-146,53	-135,98	-137,52	-193,79	-180,42	-178,01	-185,1	-174,96	-185,2	-210,87	-192,42	-162,73	-158,81	-136,96	-157,17	-192,42	-217,11	-204,51	-204,92	-192,21	-205,12	-219,23
3	-147,35	-109,2	-142,11	-126,38	-164,85	-197,92	-206,78	-182,21	-167,85	-157,98	-160,68	-220,59	-145,16	-151,16	-160,68	-124,06	-147,88	-145,16	-210,18	-195,62	-207,92	-201,05	-256,14	-219,39
30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-259,41	-214,43	-218,12	-198,91	-218,55	-256,18	-258,64	-255,06	-231,36	-203,4	-270,98	-255,81	-243,48	-207,65	-202,21	-180,22	-193,24	-225,77	-262,02	-231,77	-227,78	-216,33	-227,91	-241,33
2	-250,49	-239,12	-220,79	-208,44	-229,22	-265,16	-246,42	-265,78	-222,22	-216,91	-235,58	-233,19	-253,62	-228,9	-196,08	-186,46	-192,98	-206,14	-272,25	-239,86	-229,19	-218,71	-229,93	-224,33
3	-219,6	-228,92	-219,34	-209,56	-241,67	-277,09	-278,11	-262,64	-194,41	-204,71	-198,39	-249,68	-255,17	-238,45	-203,64	-190,46	-197,8	-223,59	-260,23	-244,9	-229,12	-235,59	-280,31	-242,4

TABLA 3 POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL HORMIGÓN GU SIN INHIBIDOR

	LADO A						LADO B						LADO C						LADO D					
15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-153,2	-159,4	-159,8	-130,5	-135	-148,2	-102,9	-139,4	-136	-143,4	-147,9	-159,7	-133	-111,7	-135,9	-124,4	-125,2	-143,5	-160,3	-136	-134,4	-185,3	-194,1	-206,3
2	-147,5	-145,6	-163,2	-148,6	-135,6	-141,5	-107,4	-126,52	-124,6	-139,6	-145,5	-138,1	-131,4	-127,2	-131,11	-146,4	-137,4	-136,1	-161,2	-162,4	-177,3	-175,37	-186,9	-192,1
3	-144,9	-129,9	-136,5	-133,8	-150,3	-151,3	125,2	-161,7	-151,4	-144,8	-132,7	-140,3	-133,1	-131	-133,3	-131,9	-139,2	-150,1	-171,3	-193,9	-163,7	-160,4	-180,4	-180,4
30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-254,16	-248,02	-239,43	-213,61	-241,77	-233,49	-181,34	-186,59	-188,35	-187,38	-173,82	-216,34	-199,51	-195,16	-181,49	-175,96	-195,68	-181	-184,84	-167,39	-188,72	-185,97	-194,16	-200,39
2	-261,76	-246,53	-236,15	-228,98	-236,38	-252,06	-190,92	-166,76	-171,36	-157,38	-168,33	-192,58	-195,6	-197,09	-191,28	-171,2	-191,06	-180,52	-192,91	-179,55	-183,11	-184,29	-177,13	-180,54
3	-265,18	-243,13	-231,66	-218,92	-232,58	-254	-176,27	-180,97	-164,08	-144,44	-150,39	-176,92	-166,13	-188,01	-176,5	-168,94	-171,32	-158,65	-177,45	-173,6	-154,92	-166,95	-174,32	-173,55
14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-142,93	-144,18	-137,75	-136,5	-143,91	-138,12	-128,79	-110,49	-100,99	-112,5	-137,48	-180,94	-200,62	-168,61	-139,83	-144,18	-169,5	-164,56	-165,53	-161,4	-154,06	-149,69	-166,44	-202,26
2	-164,03	-153,76	-128,55	-173,51	-159,39	-138,88	-153,77	-97,99	-98,33	-114,01	-129,06	-124,16	-178,71	-143,82	-140,99	-126,16	-153,57	-168,93	-191,86	-179,23	-154,62	-169,21	-175,52	-202,74
3	-186,18	-172,64	-141,12	-158,14	-150,24	-173,7	-130,76	-107,28	-84,88	-103,1	-121	-140,51	-174,94	-158,29	-138,72	-138,36	-137,28	-162,51	-206,05	-184,2	-167,98	-167,03	-167,25	-210,13
29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-260,18	-245,18	-250,04	-221,38	-247,94	-231,72	-269,95	-245,79	-231,96	-239,53	-245,9	276,85	-263,38	-236,77	-197,7	-199,54	-228,25	-233,22	-252,45	-246,42	-240,03	-234,43	-243	-262,7
2	-282,26	263,26	-242	-254,3	-259,46	-258,66	-256,12	-224,54	-232,53	-228,93	-246,49	-226,56	-238,42	-200,53	-208,51	-179,86	-216,12	-235,09	-257,05	-258,43	-218,18	-238,7	-235	-257,18
3	-291,81	-266,69	-244,68	-236,24	-242,29	-267,69	-262,08	-257,16	-205,91	-206,66	-256,73	-242,45	-264,4	-237,49	-221,36	-213,87	-210,63	-256,93	-240,6	-243,89	-224,21	-229,66	-217,51	-249,13
15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-243,5	-208,75	-192,73	-170,86	-188,31	-200	-273,84	-230,47	-203,99	-203,01	-216,07	-268,42	-228,31	-206,18	-166,88	-166,85	-179,44	-208,9	-276,75	-247,68	-222,75	-217,42	-237,26	-286,51
2	-236,9	-200	-181,98	-180,66	-180	-214,53	-263,76	-208,5	-186,82	-201,07	-218,02	-203,36	-225,35	-173,61	-189,51	-162,72	-186,66	-207,82	-280,72	-250,4	-217,82	-226,23	-230,33	-271,25
3	-209,58	-175,04	-148,92	-137,97	-141,75	-188,31	-244,02	-225,42	-182,93	-168,29	-187,1	-216,06	-247,82	-214,74	-176,95	-179,35	-189,91	-219,88	-277,05	-242,39	-227,93	-225,58	-218,76	-257,14
30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-244,71	-216,32	-229,62	-217,22	-222,88	-246,96	-251,98	-254,72	-253,75	-290,88	-293,81	-294,81	-261,14	-249,86	-236,88	-250,2	-242,41	-271,22	-324,29	-292,82	-294,7	-311,29	-306,52	-308,77
2	-239,61	-231,31	-231,21	-222,69	-217,6	-237,2	-269,84	-254,66	-255,62	-320,44	-292,44	-287,91	-273,13	-242,19	-239,6	-2447,1	-260,07	-259,96	-341,79	-300,27	-299,4	-307,99	-295,81	-318,02
3	-245,31	-214,17	-208,14	-212,12	-214,79	-232,43	-264,53	-255,22	-254,14	-280,16	-280,71	-274,81	-271,32	-231,99	-252,85	-249,89	-241,9	-247,12	-316,68	-315,04	-300,3	-313,45	-292,25	-324,21

TABLA 4 POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL HORMIGÓN GU CON INHIBIDOR

15 de Agosto	LADO A						LADO B						LADO C						LADO D					
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-215,4	-196,6	-199,9	-215	-228,5	-206,6	-261,5	-257	-256,5	-268	-252,2	-263	-209,2	-216,3	-228,2	-223,8	-220,1	-222,3	-265	-281,9	-282	-270,7	-286,7	-270,3
2	-208,9	-216	-193,9	-216	-212,1	-220,3	-259,1	-240,7	-244,7	-269,2	-253,8	-274,8	-199,9	-209,2	-220,4	-218,5	-226,9	-225,8	-253,6	-287,1	-271,1	-286	-261,5	-265,9
3	-189,9	-207,3	-201,7	-219,7	-185,59	-199,4	-221	-224,2	-227,9	-242,3	-245,6	-245,3	-200,3	-200,2	-214,6	-248	239,5	-240,2	-246,1	-272,8	-270,3	-273,7	-249,9	-266,2
30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-212,02	-225,93	-228,59	-226,85	-215,46	-220,15	-226,8	-221,04	-228,04	-247,92	-233,53	-227,97	-215,74	-221,49	-234,34	-223,04	-222,87	-208,99	-253,63	-246,73	-242,43	-253,37	-255,88	-247,03
2	-217,85	-241,64	-231,06	-239,93	-229,51	-220,28	-226,05	-214,86	-232,27	-252,97	-231,12	-241,64	-222,8	-226,07	-231,95	-235,99	-229,47	-216,71	-244,73	-249,36	-245,95	-261,65	-243,29	-240,78
3	-216,61	-229,04	-226,77	-241,73	-218,94	-181,35	-234,33	-228,88	-226,17	-240,12	-246,26	-240,77	-212,29	-225,05	-215,29	-224,19	-226,12	-225,66	-282,39	-259,4	-251,49	-255,48	-250,74	-240,43
14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-203,37	-183,24	-162,24	-160,06	-147,44	-146,14	-172,64	-173,2	-183,99	-227,04	-184,71	-183,69	-251,54	-257,19	-278,55	-283,95	-268,79	-252,34	-244,79	-231,9	-208,72	-207,2	-197,4	-207,68
2	-194,4	-192,48	-182,83	-172,84	-149,31	-155,24	-184,72	-170,54	-173,98	-243,56	-175,33	-182,64	-266,29	-269,93	-272,79	-289,05	-273,45	-258,55	-251,17	-229,65	-213,35	-224,78	-210,55	-224,06
3	-187,33	-168,17	-201	-171,07	-172,24	-161,46	-186,77	-220,98	-163,24	-196,95	-171,09	-161,58	-294,92	-263,1	-265,87	-271,79	-264,08	-261,69	-262,5	-233,85	-212,73	-227,38	-206,13	-220,63
29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-203,37	-183,24	-162,24	-160,06	-147,44	-146,14	-245,11	-207,6	-244,06	-283,51	-253,71	-238,24	-227,06	-220,6	-238,15	-245,6	-233,57	-237,72	-286,01	-272,46	-278	-293,19	-290,83	-266,73
2	-194,4	-192,48	-182,83	-172,84	-149,31	-155,24	-245,53	-246,37	-253,66	-321,48	-265,77	-242,66	-248,62	-244,96	-250,96	-267,04	-250,76	-231,9	-318,24	-279,51	-292,93	-240,11	-286,19	-292,13
3	-187,33	-168,17	-201	-171,07	-172,24	-161,46	-240,69	-240,4	-247,69	-269,88	-262,52	-242,82	-246,58	-234,24	-260,86	-267,74	-256,14	-242,13	-279,17	-294,87	-303,13	-298,1	-275,55	-300,4
15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-275,05	-240,75	-257,43	-265,27	-275,96	-312,72	-266,81	-247,58	-256,61	-307,81	-301,15	-297,05	-223,8	-253,33	-224,43	-245,67	-247,49	-250,47	-312	-250,69	-250,98	-289,14	-274,92	-276,21
2	-279,36	-250,03	-256,2	-274,73	-286,16	-306,95	-275,32	-249,24	-257,98	-376,98	-327,17	-311,06	-247,22	-230,19	-237,47	-245,09	-252,5	-251,09	-345,11	-281,75	-278,36	-293,71	-288,01	-296,4
3	-276,19	-258,98	-264,86	-284,75	-297,3	-316,69	-290,02	-262,22	-272,79	-304,83	-304,34	-305,11	-270,77	-211,88	-234,73	-253,42	-252,02	-256,58	-330,5	-314,41	-306,79	-311,35	-295,45	-326,68
30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-244,71	-216,32	-229,62	-217,22	-222,88	-246,96	-251,98	-254,72	-253,75	-290,88	-293,81	-294,81	-261,14	-249,86	-236,88	-250,2	-242,41	-271,22	-324,29	-292,82	-294,7	-311,29	-306,52	-308,77
2	-239,61	-231,31	-231,21	-222,69	-217,6	-237,2	-269,84	-254,66	-255,62	-320,44	-292,44	-287,91	-273,13	-242,19	-239,6	-2447,1	-260,07	-259,96	-341,79	-300,27	-299,4	-307,99	-295,81	-318,02
3	-245,31	-214,17	-208,14	-212,12	-214,79	-232,43	-264,53	-255,22	-254,14	-280,16	-280,71	-274,81	-271,32	-231,99	-252,85	-249,89	-241,9	-247,12	-316,68	-315,04	-300,3	-313,45	-292,25	-324,21

Electrodo de referencia (CSC)

TABLA 1 POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL HORMIGÓN HE SIN INHIBIDOR

	LADO A						LADO B						LADO C						LADO D					
15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-136,8	-163,3	-183,5	-161,6	-153,3	-191,1	-142,4	-170,7	-176,3	-183,7	-178	-160,6	-159,5	-169	-180,8	-183,5	-178,9	-188,7	-210,1	-210,4	-233,4	-231,9	-225,8	-227,4
2	-109,8	-145	-176,4	-207,3	-170,9	-130,2	-135,5	-201,3	-191,5	-184,8	-148,7	-170,4	-158,1	-173,7	-179,7	-181,6	-175,7	-178,3	-173,6	-227,3	-233,3	-241,2	-217,4	-225,1
3	-123,7	-165,7	-164,5	-147,2	-138,9	-194,4	-162,5	-179,4	-174,5	-165,1	-157,5	-175,4	-183,2	-170,7	-178,6	-175,1	-175,4	-177,2	-207,5	-235,3	-238,9	-233,7	-237,5	-213,8
30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-195,1	-202	-219	-223,2	-145,5	-215,4	-142,4	-170,7	-176,3	-183,7	-178	-160,6	-223,6	-224	-211,2	-225,9	-218,1	-249	-271,5	-257,2	-310,6	-271,5	-275,6	-284,6
2	-168,9	-192,2	-170,5	-204,8	-171,3	-217,7	-135,5	-201,3	-191,5	-184,8	-148,7	-170,4	-229,5	-228,1	-226,2	-220,1	-217,4	-239,2	-276,5	-271,2	-327,6	-285,5	-274,2	-289,5
3	-126,8	-199,9	-193	-154,7	-162,2	-221,4	-162,5	-179,4	-174,5	-165,1	-157,5	-175,4	-222,5	-234,2	-235	-211,4	-213,3	-246,2	-284,2	-270,5	-297,8	-263,9	-273,1	-273,3
14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-183,4	-270	-247,5	-268,1	-195,1	-369,8	-221,3	-283,8	-274,7	-275,2	-315,5	-422,2	-235,6	-254,1	-258,8	-277,6	-279,8	-308,8	-239,1	-322,3	-344,1	-319,3	-334,1	-355,6
2	-123,5	-265,9	-263,1	-230,9	-251,1	-293,4	-235	-247,7	-280,2	-279,9	-296,4	-442,1	-245,5	-243,6	-238,5	-228,1	-276,2	-275,4	-270	-310,1	-382,5	-325	-334,4	-349,6
3	-93,1	-234,8	-220,3	-97,8	-272,5	-345,1	-256	-202,7	-283,3	-269,7	-290,5	-356	-248,8	-306,4	-254,9	-264,8	-269,8	-296,8	-277,9	-287,4	-372,2	-300,8	-318,7	-326,8
29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-244,6	-238,4	-262,9	-278,2	-242,2	-402,7	-257,1	-276,5	-285,9	-273,3	-293,8	-454,3	-323,9	-244,4	-245,2	-266,8	-240	-289	-244,3	-308,2	-330,1	-298,7	-309,3	-311,6
2	-230,3	-269,9	-283,7	-297,9	-277,8	-319,6	-273	-296,3	-286,6	-281	-300,8	-428	-229,8	-233,3	-218	-181,7	-257,2	267,4	-257	-299	-363,5	-311,7	-308,7	-318,4
3	-229,5	-260,7	-252,6	-286,5	-274,9	-389,6	-262,7	-289,7	-293	-290,3	-323,7	-344,1	-232	-230,8	-234,4	-228,5	-240,9	-277,2	-260,5	-266,7	-421	-297,9	-302,5	-309,6
15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-157,3	-214,8	-206,1	-257,6	254,4	-333,8	-202,6	-245,8	-262,7	-273,4	-315,9	-432,2	-198,4	-219,3	-222,2	-242,1	-240,4	-266,3	-234,4	-297,8	-323,6	-308,9	-294,4	-220,4
2	-168,5	-222,2	-227	-236,9	280,7	-319,8	-251,5	-256,5	-264,8	-251,1	-282,2	-368,5	-205	-226,4	-226,5	-237,3	-243,8	-258,5	-264,5	-215,8	326,1	-304,6	-298,5	-317,7
3	-189,6	-208,8	-221,1	-218,3	-270,4	-356,7	-178	-244,5	-244,9	-261,5	-306,6	-461,8	-207,4	-220,86	-230,5	-221,1	-225,7	-249,6	274,1	-272,3	328,9	-283,2	-248,4	-204,5
30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-242,8	-230,9	-260,6	-264,8	-273,9	-347,9	-271,6	-279	-277,6	-279,2	-314,5	-425,6	-247	-242,5	-254,4	-255,8	-255,2	-281,8	-286,2	-305,7	-326,8	-306	-304,8	-295,1
2	-236,6	-263,5	-263,6	-265,6	-289	-352,7	-261,3	-274,2	-278,4	-273,8	-303,5	-383,4	-245,6	-246,5	-247,5	-250,5	-259,8	-280,4	-282,1	-289,3	-339	-303	-297,2	-307,6
3	-234,5	-259,4	-261,6	-261,7	-288,3	-357,2	-258	-286,2	-282,5	-274,1	-305,9	-348,5	-248,1	-242,4	-251,9	-258,5	-264,2	-278,4	-280,3	-285	-332,2	-291,8	-293,9	-301,1

TABLA 2 POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL HORMIGÓN HE CON INHIBIDOR

	LADO A						LADO B						LADO C						LADO D					
15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-128,6	-128,5	-132,5	-140,7	-142,2	-141,6	-130,8	-166,5	-173,1	-164,5	-160,7	-155,4	-153,3	-137,8	-132	-128,7	-131,4	-147,2	-164,7	-159,5	-152,5	-161,7	-174,7	-201
2	-138,2	-136,2	-134,2	-140,7	-135,1	-140,6	-125,2	-162,8	-153,6	-161,5	-154,6	-144,5	-170,9	-143,9	-136,1	-132,6	-148	-145,6	-162,1	-160,8	-165,6	-170,4	-174,5	-193,7
3	-141,2	-136,5	-128,6	-136,7	-138,7	-137,8	-176,2	-183,8	-169,4	-163,1	-135,1	-169,7	-174,4	-142	-137,2	-131,3	-136,5	-150,6	-164,4	-165,4	-155,1	-171,9	-185,7	-193,7
30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-154,7	-146,2	-133,6	-140,8	-177,1	-188,6	-127,1	-155,1	-140,8	-141,7	-174,2	-168	-110,5	-123,4	-123,7	-109,7	-128,1	-149,8	-125,6	-131	-120,6	-128,2	-124,5	-110,1
2	-162	-146,3	-146,6	-145,4	-173,8	-188,6	-127	-166,3	-139,3	-139,7	-140,5	-177,6	-127,2	-106,7	-135	-117,2	-114,2	-163	-125,7	-122,4	-117,2	-113,2	-145,7	-145,5
3	-143,2	-149,7	-142,3	-143,4	-175,7	-187,9	-171,4	-117,9	-139,6	-129,3	-141,9	-177,7	-124	-143,8	-146,2	-127,2	-146,6	-172,1	-140,5	-142,7	-145,1	-148,3	-147,2	-158,8
14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-192,9	-173,7	-225,5	-188,1	-213,4	-261	-190,7	-207,4	-230,1	-216	-273	-258,9	-176,7	-184,3	-175,9	-181,5	-192,6	-235,6	-197,4	-202,2	-204,7	-208,2	-239,4	-258,5
2	-190,6	-180,8	-230,4	-203,1	-220,3	-265	172,4	-218,3	-205,7	-212,2	-213,4	-236,7	-196,2	-172,7	-172,1	-160,9	-202,9	-222,8	-205,5	207,3	-209,2	-206,5	-219,3	-222,2
3	-186,6	-175,5	-228,8	-200,2	-233,5	-270,8	-219,3	226,5	178,3	-193,1	-192	-231,2	-190	-159,7	-180,7	-185,4	-206,6	-220,3	-190,7	-200,6	-207,3	-217,2	-252,6	-224,9
29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-149,1	-126,8	-130,2	-114,5	-138,7	-168,5	-179	-181,8	-173,5	-163,4	-222,2	-203,3	-156,1	-160,2	-142,7	-130,3	-139,8	-176,6	-198,9	-179,1	-185,4	-184,2	-204,2	-206,5
2	-165,1	-151,9	-155,7	-124,6	-141,4	-172,3	-181,8	-200	-178,7	-176,4	-171,6	-187,9	-180,5	-132,6	-157,7	-134,9	-150,8	-178,7	-220,3	-194,6	-192,1	-183,3	-193,5	-200,8
3	-153,7	-141,8	-156,9	-132,6	-146,7	-177	-204,6	-190,1	-153,2	-140,3	-172,5	-190,2	-163	-162,7	-137,7	-128,1	-140,9	-171,6	-222,5	-201,1	-183,6	-197,7	-230,5	-196
15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-226,2	-200,1	-212,1	-194,3	-212,3	-267,6	-246,5	-240,2	-239,6	-221,8	-277,2	-269,2	-232,7	-225,1	-193,2	-185,6	-199	-246,8	-207,3	-206,3	-214	-215,2	-219,6	-224,2
2	-229,5	-218,2	-216,3	-196,6	-210,3	-262,1	-224,8	-241,5	-209,8	-215,7	-208,1	-242,7	-241,5	-213,4	-188,7	-154,7	-209	-228,7	-230,6	-226,2	-218,6	-211,3	-222,9	-220,4
3	-218,6	-210,5	-222,7	-207,1	-250,2	-279,8	-256,2	-219,3	-270,5	-189,4	-205,6	-270,5	-236	-205,5	-186,1	-164,9	-201,7	-246,2	-223,6	-208,6	-208,4	-203,6	-230,8	-217,9
30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-152,1	-146,2	-140,8	-134,6	-164,4	-205,7	-214,9	-207,6	-198,5	-191,8	-232,8	-235,4	-221,3	-148,4	-176,7	-174,1	-182,5	-205,9	-235,3	-219,3	-215,3	-209,4	-221,4	-235,4
2	-175,4	-158,2	-153,4	-151,9	-176,1	-211	-212,2	-207,9	-193,7	-194,5	-203,4	-226,5	-234,5	-198,8	-176,8	-169,8	-178,4	-200,3	-249,8	-225,9	-218,6	-210	-226,1	-235,9
3	-176,1	-168,6	-158,7	-146,7	-202,6	-224	-220,7	-206,9	-183,6	-195,7	-207,8	-240,8	-221,7	-194,4	-177,4	-174,6	-183,1	-204,7	-250,7	-227,5	-224,7	-220	-245,8	-240,8

TABLA 3 POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL HORMIGÓN GU SIN INHIBIDOR

	LADO A						LADO B						LADO C						LADO D					
15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-167,5	-184,5	-184,4	-155	-159,3	-187,2	-142,2	-162,5	-175,3	-170,3	-175,7	-181,5	-202,6	-177,2	-168,2	-210,5	-218,8	-227,7	-160,3	-136	-134,4	-185,3	-194,1	-206,3
2	-161,3	-173,3	-190,7	-195,9	-177,1	-188,7	-131,3	-146,5	-154,1	-168,9	-172	-149,2	-211,5	-187,1	-200,5	-207,5	-212,3	-214,8	-161,2	-162,4	-177,3	-175,37	-186,9	-192,1
3	-176,2	-192,1	-168,3	-178,6	-188,7	-193,1	-136,7	-183,7	-158,2	-151,3	-158,7	-149,9	-195,3	-204,7	-199,3	-191,9	-206,2	-217,6	-171,3	-193,9	-163,7	-160,4	-180,4	-180,4
30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-241,8	-230,3	-228,7	-207,8	-230,5	-216,1	-188,7	-177	-188,5	-188,2	-186,4	-231,4	-215,8	-207,5	-190,5	-193,1	-204	-208,1	-226,3	-237	-242,5	-233,3	-244,5	-248,1
2	-229,4	-229,9	-230,46	-226,1	-225	-222,2	-187,1	-170,4	-170,8	-176,7	-184,4	-199,7	-222	-207,1	-205,2	-199,1	-207,8	-210	-241,3	-213,5	-230,6	-230,8	-233	-244,4
3	-221,5	-210,9	-203,7	-196,6	-202,8	-213,5	-192,6	-205,5	-177	-145,1	-158	-183,6	-233,6	-215,8	-204,5	-199	-197,1	-203,1	-235,5	-224,7	-214,5	-206,8	-233,3	-223,1
14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-251,1	-238,4	-213,7	-208,9	-218,6	-227,6	-226,7	-224	-216,6	-220,8	-224,1	-216,6	-237,2	-225,7	-197,5	-187,5	-203,8	-177,2	-194	-190,3	-174,9	-188,5	-204,2	-221,8
2	-244,4	-219,6	-199	-232,3	-210,2	-222,2	-209,8	-201,1	-198,2	-191,2	-216,2	-196,1	-222,1	-213,7	-203,8	-187	-202,3	-193,4	-227,5	-190,3	-173,4	-200,6	-208,3	-221,4
3	-252,8	-222,5	-175,6	-198,9	-199,9	-213,5	-215	-206,5	-179	-171,7	-173,1	-212,2	-244,4	-230,4	-212,6	-204,9	-198,98	-190,7	-226,9	-188,6	-205,5	-202,4	-208,5	-225,4
29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-160,6	-171,5	-169,5	-145,8	-133,4	-133,8	-216,5	-193	-191,4	-188,3	-204,3	-207,4	-213,2	-198,8	-172,9	-159,8	-183,4	-160,7	-240,2	-233,9	-216,5	-208,3	-213,2	-249,1
2	-194,5	-183,3	-178,8	-188,5	-177,4	-184,1	-202,4	-174,6	-159,3	-178,3	-191,1	-151,2	-188,2	-184,4	-183	-150,7	-175,9	-182,5	-245,8	-219	-192,1	-221,5	-225,8	233,9
3	-210	-192,4	-184,5	-186,7	-176,3	-168	-197,8	-188,9	-173,6	-142,7	-155,6	-169,5	-202,3	-185,6	-166,7	-179,3	-169,5	-190,1	-235,8	-222,9	-224,1	-213,4	-212	-216,5
15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-300	-262,8	-256,3	-223,4	-249,5	-260,2	-284,6	267,4	-245,2	-244,2	-260,7	-287,3	-270,9	-229,6	-189,1	-199	-205,3	-216,16	-254,9	-240,5	-239,7	-248,2	-255,5	-287,1
2	-307,2	-283,3	-253,5	-256	-252,5	-262,3	-299	-235,9	-232,8	-228,4	-242,1	-246,5	-258,8	-212,5	-203,3	-183,8	-205,6	-234,3	-280,3	-248	-233,1	-242,1	-240,9	-272,5
3	-289	-273,2	-248,3	-231,4	-245,5	-265,2	-261,5	-244,4	-204,5	-191,7	-233,12	-213,8	-256,8	-224	-209,1	-208,8	-213,7	-245,5	-273	-239,8	-226,7	-235,9	-239,1	-267,2
30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-189,3	-178,5	-169,4	-159,7	-169,6	-178,7	-238,8	-200,6	-194	-195,1	-201,3	-226,2	-237,6	-199,7	-184,8	171,4	-185,7	-194,1	-274,2	-246,7	-223,6	-313,29	-223,9	-252,4
2	-209	-185,7	-171,7	-170,1	-178,2	-184,1	-227,3	-199,6	-184,7	-192,1	-200,6	-208,7	-217,6	-192,7	-189,1	-173,9	-187,4	-198,2	-274,7	-247,5	-224,5	-222,2	-223,8	-249,6
3	-206,4	-185,5	-175,9	-173,1	-179,5	-188	-235,3	-213,4	-192,9	-187,7	-205,4	-205,2	-234	-197,6	-183,6	-183,6	-193,1	-203,4	-269,9	-240,3	-226,4	-220,1	-223,6	-245,1

TABLA 4 POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL HORMIGÓN GU CON INHIBIDOR

	LADO A						LADO B						LADO C						LADO D					
15 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-229,9	-229,8	-243,2	-244,4	-238,1	-228,9	-230,3	-234,7	-245,2	-259,5	-238,5	-241,6	-193,2	-197,4	-217,3	-204,8	-197,7	-191,1	-243,3	-257,4	-241,5	-234,6	-243	-221,7
2	-218,7	-239,8	-229,4	-241,4	-220,6	-226	-232,6	-233,9	-245,7	-269,5	-239,2	-244,7	-202,5	-200,7	-211,6	-213,1	-205,8	-195,4	-241,5	-255,1	-240,3	-247,2	-215,3	-226,5
3	-234,7	-221,6	-221,7	-225,5	-215,4	-218,1	-225,3	-244,8	-243,2	-247,7	-249,1	-242,2	-200,6	-193,8	-190,9	-201	-210,2	-219,7	-238,1	-246,2	-241	-238,2	-212,2	-216,6
30 de Agosto	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-181,9	-207,5	-227,9	-228,3	-213,3	-198,6	-166,1	-1778,5	-176,1	-213,6	-193,2	-178,5	-127,7	-158	-160,8	-154,8	-139,1	-124,8	-132,4	-170,4	-174,5	-182,1	-185,7	-177,3
2	-186,7	-206,7	-186,9	-201,7	-196,5	-178,5	-131,3	138,6	-195,1	-215,3	-200,1	-206,2	-155,9	-174,5	-166,4	-186,1	-178,6	-167,5	-161,5	-192,3	-167,6	-162,9	-165,8	-173,1
3	-161,1	-197,3	-179	-180,1	-188,4	-180,1	-193,5	-207	-189,8	-206,8	-197,5	-198,6	-182,1	-171,8	-174,9	-163,4	-178,1	-171,2	-139,1	-184,6	-188,5	-187,9	-174,1	-168,4
14 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-141,5	-140,3	-149,2	-159	-143,6	-146,3	-185,5	-177,9	-190,4	-213,1	-205,7	-190,4	-204,6	-216,7	-241,1	-245,1	-243,1	-229,9	-288,5	-281,3	-290,1	-300	-290,5	-283,5
2	-167,2	-177,7	-170,5	-178,6	-163,8	-156,4	-198,2	-225,1	-226	-287,7	-223,3	-245	-253,1	-259	-265,9	-258,3	-240	-248,6	-321,1	-298,4	-292,9	-298,5	-287	-287,1
3	-183,1	-194,6	-175,8	-149,6	-182	-179,7	-223,7	-235,1	-234,3	-249,3	-227,3	-236,8	-236,2	-231,4	-240,4	-232,7	-236	-240,8	-266,6	-285,7	-275,6	-285,4	-270,9	-273,6
29 de Septiembre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-285,1	-282,3	-288,7	-288,7	-281,5	-288,4	-269,4	-268,5	-275,6	-311	-282,2	-284,8	-234,8	-250,5	-268,7	-276,7	-265,7	-266,9	-297,7	-287,9	-293,7	-304	-290,5	-260,4
2	-292,5	-280	-290,6	-287,6	-277,7	-275,6	-282,4	-273,5	-276,9	-376,7	-289,3	-290,8	-265,4	-272,9	-272,2	-281,5	-266,2	-257,1	-318,8	-287,4	-289	-288,4	-273,8	-274
3	-285	-267,2	-265,8	-270,8	-261,5	-276,8	-288,6	-285,3	-290,6	-327,4	-200,2	-294,6	-274,3	-249,5	-265,5	-273,2	-265,8	-256,8	-277	-273,7	-273,5	-270,4	-247,6	-277,8
15 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-187,7	-198,1	-195,3	-204,7	-210,6	-190	-189,3	-204,5	-197,5	-247,1	-218,1	-213	-222,9	-233	-253,7	-255,5	-247,5	-249,3	-227	-181,9	-187	-200	-201	-190
2	-221,3	-205,4	-227	-198,7	-219,1	-230	-193,9	-194,2	-245,3	-335,5	-228,2	-227	-247,4	-238,5	-242,7	-256,9	-250,3	-248,2	-175	-170	-170	-182	-174	-182
3	-212,6	-210,7	-201,4	-191,5	-201,3	-210,1	-220,3	-247,1	-237,4	-254	-216	-233,3	-252,8	-208,1	-240,6	-254,2	-244,2	-245	-149	-160	-185	-180	-152	-164
30 de Octubre	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1	-304,8	-293,5	-294,5	-306	-332,3	-334,5	-307,1	-291,7	-293,7	-332,5	-339,2	-345,1	-282,2	-263,4	-273,9	-282,1	-292,5	-304,9	-324,3	-293,7	-294,3	-305,9	-309,8	-316,1
2	-307,1	-293,5	-292,9	-302,7	-319,1	-332,7	-309,1	-292,3	-294,1	-356,6	-350,7	-351,7	-290,8	-275,6	-267,9	-276,4	-292,6	-301	-340,3	-294,7	-292,1	-302	-302,8	-313,6
3	-301,3	-291,6	-291,5	-304,8	-321,2	-333,6	-312,1	-296	-296	-337,3	-338,1	-353,5	-293,7	-259	-271	-281,7	-289,8	-298,4	-317,2	-301,3	-292,5	-304,6	-305,2	-319,5

BIBLIOGRAFÍA

- [1] HOLCIM S.A. Cemento HOLCIM/ Procesos de producción del cemento. [www.holcim.com.ec/productos- y-servicios/ calidad/ cemento holcim.html](http://www.holcim.com.ec/productos-y-servicios/calidad/cemento-holcim.html).
- [2] Félix Cesáreo Gómez de León Hijes; Diego J. Alcaraz Lorente.; Manual Básico de Corrosión para Ingenieros; Murcia: Universidad de Murcia, 2004.
- [3] Jones Denny A. "Principles and prevention of corrosion", Upper Saddle River, NJ, USA, Pearson-Prentice Hall, 1992.
- [4] Mehta, P.K. y Montero. Concrete, Structure, Properties and Materials (113-118).Ed Prentice Hall.1986.
- [5] Miguel Ángel Climent Lorca, Pedro Garcés, Emilio Gómez.; Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón armado. Editorial Club Universitario; San Vicente Alicante, España, 2008.
- [6] C Andrade., "Manual de inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras", Madrid, España, CSIC, 1986.
- [7] Inspección Española de hormigón estructural (EHE) 2008.
- [8] Luis Bilurbina A., Francisco Liesa M., José Ignacio Iribarren L, Corrosión y Protección; Ed. Copisteria Miracles S.A, Barcelona, España, 2003.

- [9] ASTM C876 Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete

- [10] ASTM C1157 Standard Performance Specification for Hydraulic Cement

- [11] ASTM C39M Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

- [12] ASTM C1152 Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete.

- [13] Wilson Huiracocha, Proyecto de grado “Determinación de la velocidad de corrosión del acero ASTM A-42 en hormigones diseñados con cemento tipo puzolánicos mediante técnicas cinéticas de laboratorio” Guayaquil.ESPOL.2010.

- [14] Stalyn Moreno, Proyecto de Grado “Determinación de la profundidad de carbonatación y penetración de cloruros mediante experimentación empleando procesos de difusión térmica en varios diseños de hormigón” Guayaquil. ESPOL.20