



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la

Producción

“Determinación de la Resistencia y Resistividad Eléctrica de
Probetas de varios Diseños de Hormigón sometidas a Ataques de
Contaminantes”

PROYECTO DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA MECÁNICA

Presentado por:

Vicky Paola Mejía Orellana

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2010

AGRADECIMIENTO

A mi familia, seres queridos, amigos y a todos quienes de alguna u otra manera me brindaron su apoyo incondicional, e hicieron que esto sea posible.

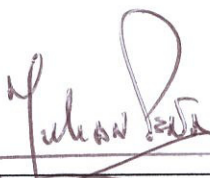
DEDICATORIA

A mi familia, amigos y seres
queridos.

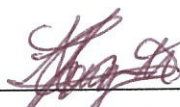
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Francisco Andrade S.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Julián Peña E.
DIRECTOR DE PROYECTO



Ing. Mauricio Cornejo M.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

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

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Vicky Paola Mejía Orellana

RESUMEN

El proyecto consiste en determinar la resistividad eléctrica del hormigón con el propósito de conocer su comportamiento a la protección que le confiere a las varillas. La resistividad eléctrica es afectada por diversos ambientes corrosivos a los que están expuestas las estructuras de hormigón.

En el capítulo 1, se analiza la teoría básica necesaria para la realización de este proyecto, tal como lo son propiedades de materiales utilizados, distintas técnicas a utilizarse en este estudio, y medios que afectan en las propiedades de los hormigones, además del detalle de él o los equipos que se necesitaron en este proyecto.

En el capítulo 2, se detalla el procedimiento de elaboración de las diversas probetas de hormigón, de dos tipos hormigón puzolánico y portland tipo II, y de cómo fueron expuestas en tres diferentes medios, una cámara de carbonatación, inmersas en cloruro de sodio y expuestas en condiciones

ambientales normales, además se explica cómo se determina el factor de celda experimental, ya que este es un dato importante en la realización de este proyecto, para así luego de todo el periodo de estudio, al que serán sometidas dichas probetas, presentar los datos y graficas obtenidas.

En el capítulo 3, se revisa y analiza los resultados obtenidos, considerando que las mediciones de la resistencia fueron efectuadas periódicamente cada 15 días, durante 6 meses, a su vez también se realiza como parte principal de este trabajo una evaluación comparativa de la resistividad eléctrica entre el hormigón puzolánico y el portland tipo II.

En el capítulo 4, se exponen todas las conclusiones que se consideren de dicho estudio, junto con las debidas recomendaciones que se generen durante el análisis realizado.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	II
ÍNDICE GENERAL	IV
ABREVIATURAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
 CAPÍTULO 1	
1. INFLUENCIA DE LA RESISTENCIA Y RESISTIVIDAD ELÉCTRICA	
EN LOS HORMIGONES	3
1.1 Propiedades eléctricas de los hormigones	3
1.1.1 Hormigón puzolánico	5
1.1.2 Hormigón portland tipo II	5
1.2 Técnicas de Medición	7
1.3 Obtención del factor de celda	15
1.4 Diferentes medios que afectan las propiedades eléctricas de los hormigones	16
1.5 Relación de las resistividades eléctricas del hormigón con los ensayos de resistencia a la polarización	18

CAPÍTULO 2

2. MEDICIÓN DE RESISTENCIA ELÉCTRICA EN LAS PROBETAS DE HORMIGÓN Y OBTENCIÓN DE LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA	20
2.1 Procedimiento para la medición de la resistencia eléctrica	20
2.2 Presentación de las mediciones de resistencia	23
2.3 Obtención experimental del factor de celda	32
2.4 Determinación de la resistividad eléctrica de las probetas	35
2.5 Presentación de datos y gráficas	39

CAPÍTULO 3

3 ANÁLISIS Y RESULTADOS	49
3.1 Revisión de resultados	49
3.2 Análisis comparativo de los hormigones puzolánico y portland tipo II	50
3.3 Influencia del inhibidor de corrosión	56

CAPÍTULO 4

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
---------------------------------------	----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

Ω	Ohm
cm	Centímetro
m	Metro
k	kilo
ρ	Resistividad eléctrica
R	Resistencia eléctrica
A	Área transversal
L	Longitud
K	Factor de celda
Nr.	Número
Pág.	Página
C1, 2	Terminales exteriores del Nilsson (extremo)
P1, 2	Terminales interiores del Nilsson (centro)
E _{corr}	Potencial de corrosión
R _p	Resistencia a la polarización
ΔV	Variación de potencial
Δi	Variación de corriente
mV	mili voltios
V	Tensión
s	segundos
AX, Y	Barra de acero ASTM A42
IX, Y	Barra de acero inoxidable INOX 304
Ref	Electrodo de referencia
2	Hormigón portland tipo II
P	Hormigón puzolánico
X	Sin inhibidor de corrosión
I	Con inhibidor de corrosión
C	Cámara de carbonatación
S	Inmersas en sal
N	Ambiente natural
RP	Resistencia eléctrica promedio
Prom.	Promedio
Resist.	Resistividad eléctrica
CO ₂	Dióxido de carbono
Cl ⁻	Iones cloruro

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.1	Criterio general de valores de resistividad eléctrica del hormigón.....	5
Figura 1.2	Grado de corrosividad según la resistividad del suelo.....	6
Figura 1.3	Equipo Nilsson modelo 400.....	7
Figura 1.4	Medición de resistividad por el método de Wenner.....	10
Figura 1.5	Circuito eléctrico básico de un telurímetro.....	10
Figura 1.6	Esquema empleado para la medición de resistencia del hormigón.....	11
Figura 1.7	Disposición de las barras de acero en las probetas en el hormigón.....	12
Figura 1.8	Cámara de carbonatación.....	13
Figura 1.9	Probetas inmersas en cloruro de sodio.....	13
Figura 1.10	Probetas expuestas al medio ambiente.....	14
Figura 1.11	Medición de resistencia.....	14
Figura 1.12	Probeta construida para el cálculo del factor de celda.....	16
Figura 1.13	Curva de resistencia a la polarización para hormigón portland tipo II, medio ambiente.....	19

Figura 2.1	Conexiones en el equipo Nilsson 400.....	21
Figura 2.2	Conexiones en la probeta de hormigón.....	22
Figura 2.3	Celda construida con las mismas características que las de hormigón.....	33
Figura 2.4	Medición de resistencia de la celda.....	34
Figura 2.5	Resistividad del hormigón portland tipo II sin inhibidor de corrosión.....	40
Figura 2.6	Resistividad del hormigón portland tipo II con inhibidor de corrosión.....	41
Figura 2.7	Resistividad del hormigón portland tipo II sin inhibidor de corrosión.....	42
Figura 2.8	Resistividad del hormigón portland tipo II con inhibidor de corrosión.....	42
Figura 2.9	Resistividad del hormigón portland tipo II sin inhibidor de corrosión.....	43
Figura 2.10	Resistividad del hormigón portland tipo II con inhibidor de corrosión.....	44
Figura 2.11	Resistividad del hormigón puzolánico sin inhibidor de corrosión.....	45

Figura 2.12	Resistividad del hormigón puzolánico con inhibidor de corrosión.....	45
Figura 2.13	Resistividad del hormigón puzolánico sin inhibidor de corrosión.....	46
Figura 2.14	Resistividad del hormigón puzolánico con inhibidor de corrosión.....	47
Figura 2.15	Resistividad del hormigón puzolánico sin inhibidor de corrosión.....	48
Figura 2.16	Resistividad del hormigón puzolánico con inhibidor de corrosión.....	48
Figura 3.1	Hormigón sin inhibidor de corrosión, medio cámara de carbonatación.....	51
Figura 3.2	Hormigón con inhibidor de corrosión, medio cámara de carbonatación.....	52
Figura 3.3	Hormigón sin inhibidor de corrosión, inmersas en cloruro de sodio.....	53
Figura 3.4	Hormigón con inhibidor de corrosión, inmersas en cloruro de sodio.....	54
Figura 3.5	Hormigón sin inhibidor de corrosión, ambiente natural.....	55
Figura 3.6	Hormigón con inhibidor de corrosión, ambiente natural.....	56

Figura 3.7	Hormigón con inhibidor de corrosión, ambiente natural.....	57
Figura 3.8	Hormigón portland tipo II, cámara de carbonatación.....	58
Figura 3.9	Hormigón portland tipo II, ambiente natural.....	59
Figura 3.10	Hormigón puzolánico, cámara de carbonatación.....	60
Figura 3.11	Hormigón puzolánico, inmersas en cloruro de sodio.....	61
Figura 3.12	Hormigón puzolánico, ambiente natural.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Medición de resistencia Nr. 1.....	23
Tabla 2 Medición de resistencia Nr. 2.....	24
Tabla 3 Medición de resistencia Nr. 3.....	25
Tabla 4 Medición de resistencia Nr. 4.....	26
Tabla 5 Medición de resistencia Nr. 5.....	27
Tabla 6 Medición de resistencia Nr. 6.....	28
Tabla 7 Medición de resistencia Nr. 7.....	29
Tabla 8 Medición de resistencia Nr. 8.....	30
Tabla 9 Medición de resistencia Nr. 9.....	31
Tabla 10 Medición de resistencia Nr. 10.....	32
Tabla 11 Mediciones de resistencia de la celda.....	34
Tabla 12 Resistividad eléctrica obtenida de las probetas de hormigón, primera y segunda medición.....	35
Tabla 13 Resistividad eléctrica obtenida de las probetas de hormigón, tercera y cuarta medición.....	36
Tabla 14 Resistividad eléctrica obtenida de las probetas de hormigón, quinta y sexta medición.....	37

Tabla 15	Resistividad eléctrica obtenida de las probetas de hormigón, séptima y octava medición.....	38
Tabla 16	Resistividad eléctrica obtenida de las probetas de hormigón, novena y décima medición.....	39
Tabla 17	Resistividad del hormigón portland tipo II, medio carbonatación..	40
Tabla 18	Resistividad del hormigón portland tipo II, inmersas en cloruro de sodio.....	41
Tabla 19	Resistividad del hormigón portland tipo II, medio ambiente.....	43
Tabla 20	Resistividad del hormigón puzolánico, medio carbonatación.....	44
Tabla 21	Resistividad del hormigón puzolánico, inmersas en cloruro de sodio.....	46
Tabla 22	Resistividad del hormigón puzolánico, medio ambiente.....	47

INTRODUCCIÓN

En la actualidad es imprescindible el uso del hormigón armado con barras de acero en cualquier tipo de construcción, desde los pilares de una casa común hasta las grandes edificaciones que conforman una ciudad. Las aplicaciones de este material compuesto son innumerables y parecen infinitas, por lo que las pruebas de calidad y resistencia a las que se lo somete son de vital importancia para garantizar una estructura confiable.

Es importante destacar que al tratarse de hormigón conteniendo barras de acero, se habla de un material que no sólo se ajusta al diseño deseado, sino que sirve de protector presentando una oposición a la penetración de agentes externos que puedan disminuir u afectar el desempeño de las barras de acero incrementando riesgos de falla en la estructura. Es por tanto importante determinar aquellas propiedades básicas con las que debe cumplir el hormigón para que su funcionamiento sea el adecuado y minimizar los riesgos de contaminación del material.

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar el comportamiento del hormigón al exponerlo en condiciones normales y adversas, que nos permitan determinar esas propiedades, como lo son la resistencia y la resistividad eléctrica del hormigón.

El hormigón debe ser denso, compacto, homogéneo, poco poroso y, además, con buenas propiedades mecánicas. Estas propiedades se consiguen, entre otros factores, con una correcta dosificación de sus componentes.

CAPÍTULO 1

1. INFLUENCIA DE LA RESISTENCIA Y RESISTIVIDAD ELÉCTRICA EN LOS HORMIGONES

A continuación se presentará y analizará la teoría que precede la elaboración de este proyecto, la misma que incluye, entre otros: las propiedades eléctricas de los hormigones puzolánico y portland tipo II, la técnica de medición empleada, el equipo necesario para la medición de la resistencia eléctrica y, la importancia del factor de celda para poder obtener los valores de resistividad eléctrica del hormigón.

1.1. Propiedades eléctricas de los hormigones

Los hormigones, al igual que el resto de materiales, poseen propiedades que los identifican. Son de particular interés para el desarrollo de este proyecto, las propiedades eléctricas que los caracterizan, específicamente lo relacionado a: la resistividad eléctrica. La resistividad eléctrica es una propiedad única para cada

material, y es el recíproco de su conductividad. La unidad de medida empleada es el $k\Omega\text{-cm}$ u $\Omega\text{-m}$.

Esta propiedad depende principalmente del grado de saturación de los poros del concreto, y de la hidratación de la pasta; y, se ve afectada por el tipo de cemento, la relación agua/cemento, la porosidad de la estructura, entre otros.

La velocidad de corrosión del acero en el concreto se ve afectada por su resistividad, de ahí la importancia del análisis de dicha propiedad.

Acorde a varias investigaciones realizadas sobre los valores de resistividad eléctrica, no existe aún un acuerdo general acerca del límite de resistividad eléctrica por encima del cual el riesgo de corrosión en las estructuras se pueda considerar despreciable. Pero de acuerdo a los resultados experimentales obtenidos, es factible emplear como criterio general el siguiente:

Valor	Criterio
$\rho > 200 \text{ k}\Omega\text{-cm}$	Poco riesgo
$200 > \rho > 10 \text{ k}\Omega\text{-cm}$	Riesgo moderado
$\rho < 10 \text{ k}\Omega\text{-cm}$	Alto riesgo

FIGURA 1.1 CRITERIO GENERAL DE VALORES DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DEL HORMIGÓN

1.1.1. Hormigón puzolánico

El hormigón puzolánico se obtiene de la mezcla de la molienda del clinker con la puzolana. Su resistencia es parecida a la del cemento normal, pero con la particularidad de que su resistencia a ataques de agua de mar es superior, por lo que se recomienda su uso para construcciones que están en contacto directo con el agua.

1.1.2. Hormigón portland tipo II

El hormigón portland tipo II tiene una resistencia moderada a la acción de los sulfatos y es usado cuando se requiere un calor moderado de hidratación. El cemento portland tipo II adquiere su resistencia de forma más lenta que el tipo I, pero

al final alcanzan la misma resistencia. Se emplea en alcantarillados, tubos y zonas industriales principalmente.

En resumen, la resistividad es una propiedad eléctrica, y guarda una relación directa con la resistencia. Los valores de resistividad se calculan de acuerdo a la ecuación:

$$\rho = R \times \frac{A}{L} \quad (1)$$

ρ : Resistividad eléctrica (Ωcm)

R: Resistencia eléctrica (Ω)

A: Área transversal (cm^2)

L: Longitud (cm)

Resistividad del suelo (Ohm-cm.)	Corrosividad del suelo
0-500	Muy Corrosivo
500-1000	Corrosivo
1000-2000	Moderadamente Corrosivo
2000-10000	Ligeramente Corrosivo
Mayor de 10000	Baja Corrosividad

FIGURA 1.2 GRADO DE CORROSIVIDAD SEGÚN LA RESISTIVIDAD DEL SUELO

1.2. Técnicas de Medición

Uno de los propósitos de este proyecto fue la medición de la resistividad eléctrica de las probetas de hormigón. Para efectuar las mediciones de resistividad se requiere de un telurímetro, instrumento que permite medir resistencia de puesta a tierra y resistividad del terreno. Para la realización de este proyecto se empleó el equipo Nilsson modelo 400, que tiene funciones similares.



FIGURA 1.3 EQUIPO NILSSON MODELO 400

El Nilsson 400 inyecta en el terreno una corriente y mide con buen grado de precisión la tensión generada en dicho terreno, de ésta manera, conociendo la magnitud de la corriente inyectada y midiendo el valor de la tensión generada, puede obtenerse la resistencia eléctrica como el valor registrado por el equipo, y, finalmente para determinar la resistividad eléctrica se realiza un cálculo indirecto, multiplicando los valores de resistencia por una constante, un factor geométrico, denominado factor de celda, el cual será fijo según la geometría de la probeta, la disposición de los electrodos (barras de acero) y de la condición de exposición.

La ecuación empleada para el cálculo de la resistividad eléctrica es la siguiente:

$$\rho = K \times R \quad (2)$$

ρ : Resistividad eléctrica (Ωcm)

K: Factor de celda (cm)

R: Resistencia (Ω)

Al comparar la ecuación (1) con la ecuación (2) se observa que la constante de celda K, es un factor de forma que depende de la

distancia que hay entre los dos extremos por donde va a circular la corriente y del área transversal a la misma.

Método de las cuatro puntas

La resistividad eléctrica se puede obtener aplicando la técnica de Wenner, la cual fue desarrollada inicialmente para prospección geofísica y luego fue aplicada al hormigón. En esta técnica se emplean cuatro electrodos, los cuales son colocados de tal forma que la distancia entre sí sea la misma. Una corriente conocida es pasada entre los electrodos externos y la diferencia de potencial entre los electrodos interiores es medida. La resistividad se obtiene como función del voltaje, intensidad y la distancia entre los electrodos.

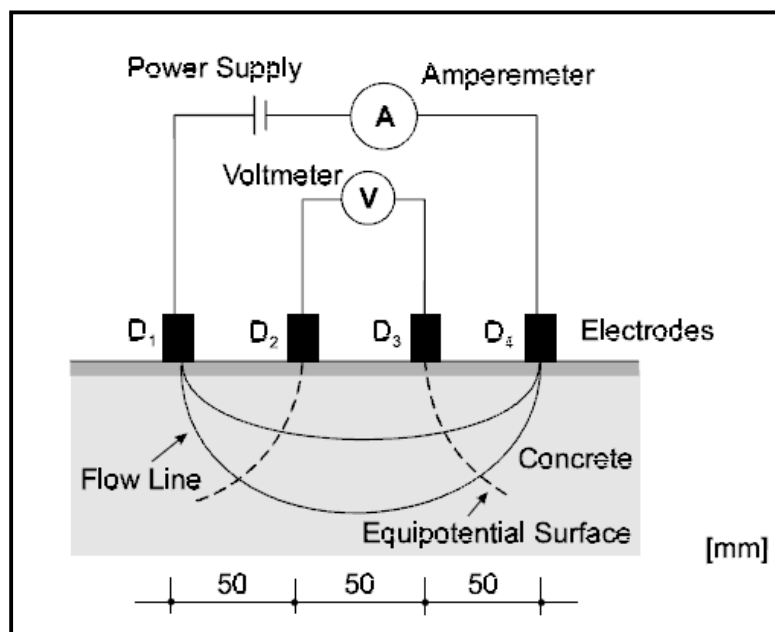


FIGURA 1.4 MEDICIÓN SE RESISTIVIDAD POR EL MÉTODO DE WENNER

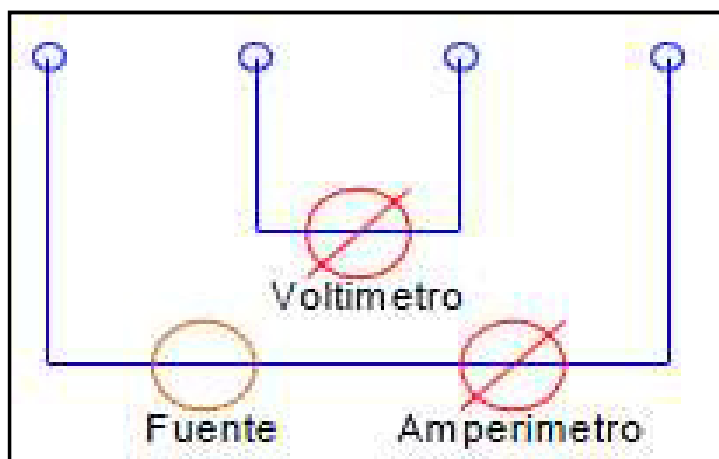


FIGURA 1.5 CIRCUITO ELÉCTRICO BÁSICO DE UN TELURÍMETRO

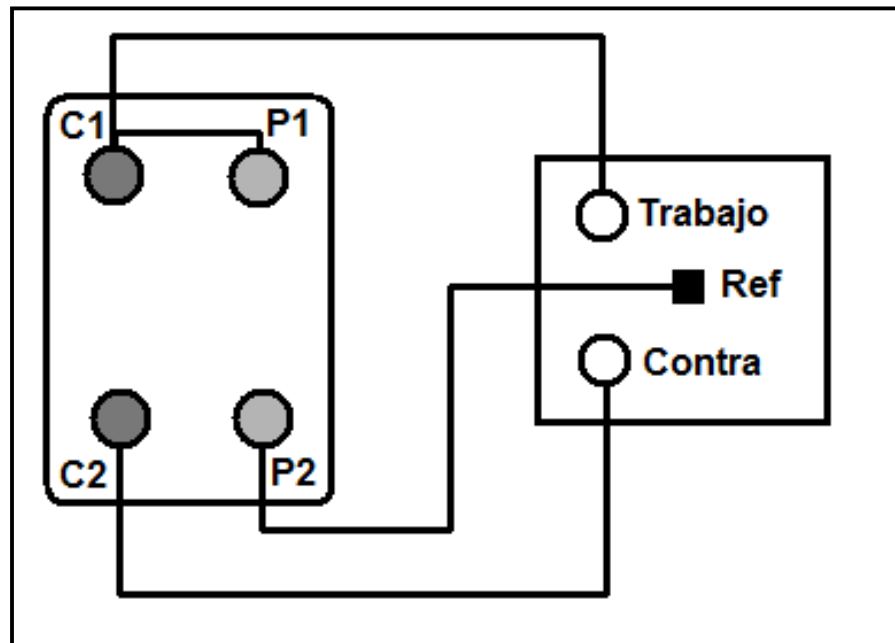


FIGURA 1.6 ESQUEMA EMPLEADO PARA LA MEDICIÓN DE RESISTENCIA EN EL HORMIGÓN

Desarrollo del proyecto

Las probetas fueron elaboradas con dos tipos diferentes de hormigones, portland tipo II y puzolánico. Se emplearon barras de acero ASTM A42 y acero inoxidable INOX 304, la disposición de las barras es la indicada en la figura 1.7. Las probetas son de forma cúbica, cuyo lado mide 10 cm.

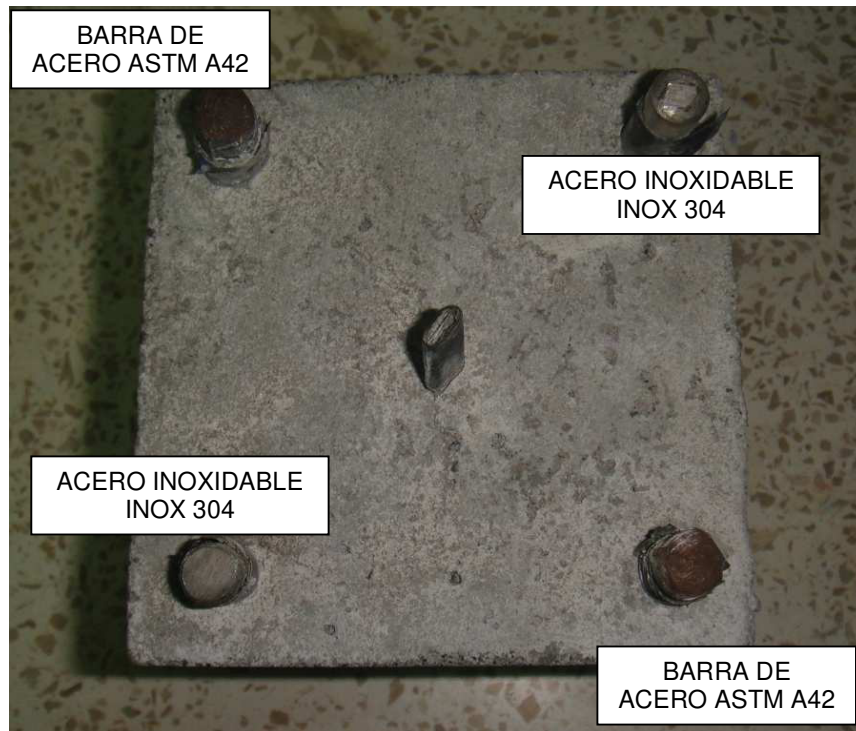


FIGURA 1.7 DISPOSICIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO EN LA
PROBETAS DE HORMIGÓN

En total se emplearon veinticuatro probetas para la ejecución de este proyecto, doce de cemento portland tipo II y doce de cemento puzolánico. De las doce probetas elaboradas para cada tipo de hormigón, cuatro fueron colocados en una cámara de carbonatación, cuatro inmersas en cloruro de sodio y las cuatro restantes fueron expuestas al ambiente.



FIGURA 1.8 CÁMARA DE CARBONATACIÓN



FIGURA 1.9 PROBETAS INMERSAS EN CLORURO DE SODIO



FIGURA 1.10 PROBETAS EXPUESTAS AL MEDIO AMBIENTE

Las mediciones de resistencia eléctrica fueron realizadas cada quince días hasta completar diez mediciones en total.



FIGURA 1.11 MEDICIÓN DE RESISTENCIA

1.3. Obtención del factor de celda

Para obtener el valor de la constante (K) se utilizó un dispositivo prismático con base de sección cuadrada de 10 cm de lado (la misma sección que tienen las probetas en estudio), el cual se llena con una solución de conductividad conocida, cloruro de potasio, hasta una altura de 10 cm, conservando la mismas dimensiones que las probetas de hormigón.

Se empleo un soporte cuadrado de 10 cm de lado para sostener las barras de acero, cuya sección expuesta es igual a las de las probetas en estudio. El soporte se introdujo en el recipiente prismático hasta quedar en contacto con el líquido. De esta manera, se logro una probeta similar a las de hormigón, con la diferencia que el electrolito empleado es de conductividad conocida. Se procedió a realizar las mediciones de resistencia R, empleando el equipo Nilsson 400, previamente descrito.

Reemplazando el valor obtenido de R y la resistividad de nuestra solución en la ecuación (1), se obtiene el valor de la constante de la celda que el presente proyecto fue igual a 6.83cm.



FIGURA 1.12 PROBETA CONSTRUIDA PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR DE CELDA

1.4. Diferentes medios que afectan las propiedades eléctricas de los hormigones

De las propiedades eléctricas de los hormigones, la resistividad eléctrica es, junto con la disponibilidad de oxígeno, una de las variables más influyentes en la intensidad de corrosión.

La resistividad permite determinar el riesgo de corrosión temprana, debido a la relación lineal existente entre la intensidad de corrosión y

la conductividad electrolítica, lo que indica que una baja resistividad está directamente relacionada con una alta intensidad de corrosión.

La resistividad eléctrica se ve afectada principalmente por los cambios en el ambiente, tales como:

- Contenido de humedad: Al incrementar la humedad, la resistividad disminuye, y viceversa.
- Temperatura: El efecto de la temperatura es controversial, debido a que la resistividad depende de si el hormigón está protegido o no, lo que quiere decir, si el agua puede condensarse o evaporarse. El aumento de temperatura, disminuye la resistividad, pero puede pasar lo contrario debido al secado del elemento. Cuando la temperatura desciende, sucede lo opuesto, pero solo hasta una determinada temperatura (5°C), para valores inferiores a dicha temperatura la resistividad aumenta de manera que la condensación no puede compensar este efecto.
- Contenido de cloruro: La presencia de cloruros o de otro componente inorgánico causa un incremento de la resistividad.
- Carbonatación: Provoca un incremento en la resistividad.
- Tipo de cemento: Agentes externos como humo de sílice suelen inducir un incremento al valor de resistividad.

- Porosidad: La porosidad es una consecuencia de la relación agua/cemento, la compactación y del curado. La resistividad disminuye, al aumentar la relación agua/cemento.

1.5. Relación de las resistividades eléctricas del hormigón con los ensayos de resistencia a la polarización

Para la realización de este proyecto, se analizó la incidencia de los iones cloruros, y la carbonatación del hormigón en el proceso de corrosión de las armaduras. Los parámetros electroquímicos que caracterizan al proceso de corrosión del acero en el hormigón son el potencial de corrosión (E_{corr}), la resistencia de polarización (R_p) y la resistividad eléctrica del hormigón (ρ).

La resistencia a la polarización (R_p) fue evaluada como $\Delta V/\Delta i$, variando el potencial (V) en el intervalo $E_{corr} \pm 30$ mV a una velocidad de barrido de 0.2 mV/s.

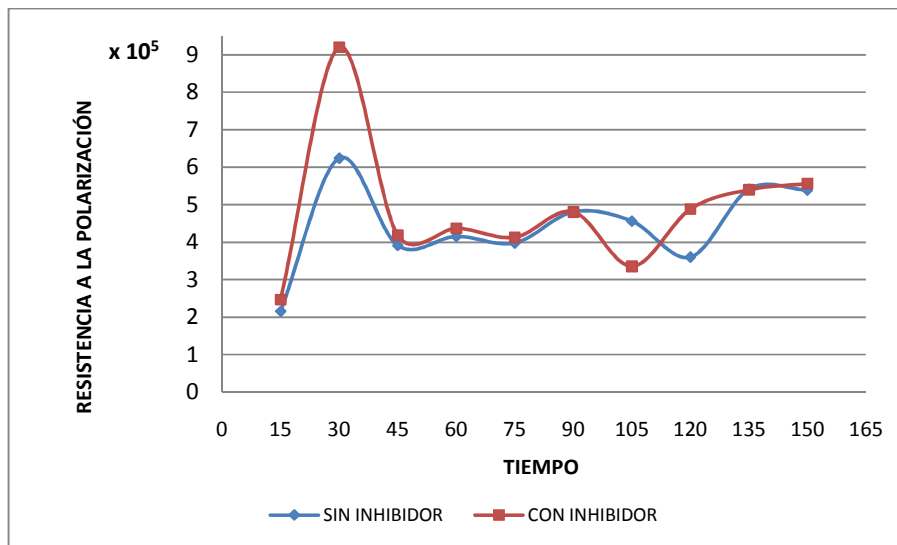


FIGURA 1.13 CURVA DE RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN
PARA HORMIGÓN PORTLAND TIPO II, MEDIO AMBIENTE

Al observar la figura 1.13 se observa que la resistencia a la polarización busca la estabilización a medida que se incrementa el tiempo, el mismo comportamiento se observa para los otros medios de exposición, pero con valores de resistencia R_p inferiores. Los valores más bajos se obtuvieron en aquellas probetas inmersas en cloruro de sodio.

CAPÍTULO 2

2. MEDICIÓN DE RESISTENCIA ELÉCTRICA EN LAS PROBETAS DE HORMIGÓN Y OBTENCIÓN DE LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

A continuación se explica el desarrollo de este proyecto, la realización de las mediciones empleando el equipo Nilsson 400, la obtención del factor de celda y se presentan los datos y las gráficas obtenidas, cuyos resultados permiten conocer el comportamiento de la resistividad del hormigón.

2.1. Procedimiento para la medición de la resistencia eléctrica

Para la medición de la resistencia eléctrica del hormigón, se realizaron las siguientes conexiones:

Conexiones en el equipo Nilsson 400:

- Los puntos C1 y P1 se conectan entre sí.

- El punto C1 se conecta a la barra de acero ASTM A42 (AX) de la probeta de hormigón.
- El punto C2 se conecta a la barra de acero inoxidable INOX 304 (IY) de la probeta de hormigón.
- El punto P2 es conectado al electrodo de referencia de la probeta.

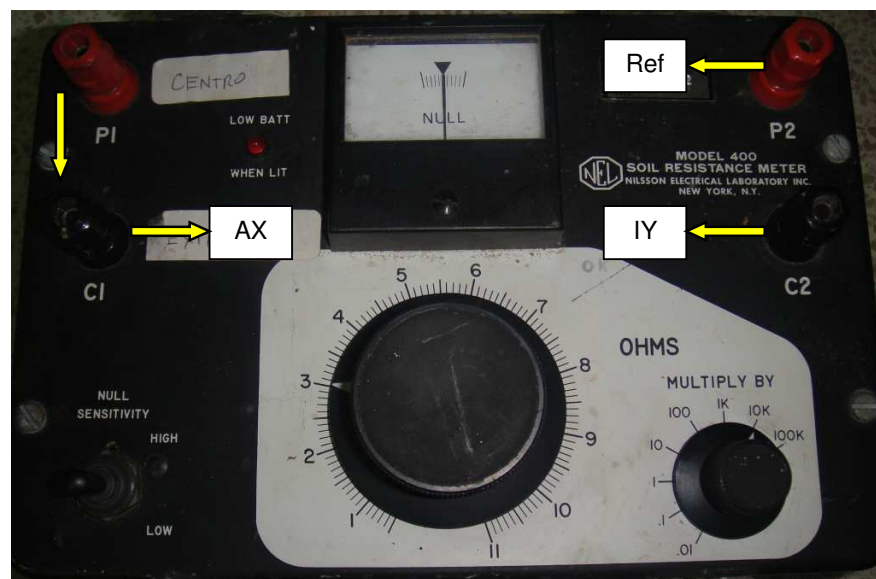


FIGURA 2.1 CONEXIONES EN EL EQUIPO NILSSON 400

Conexiones en la probeta:

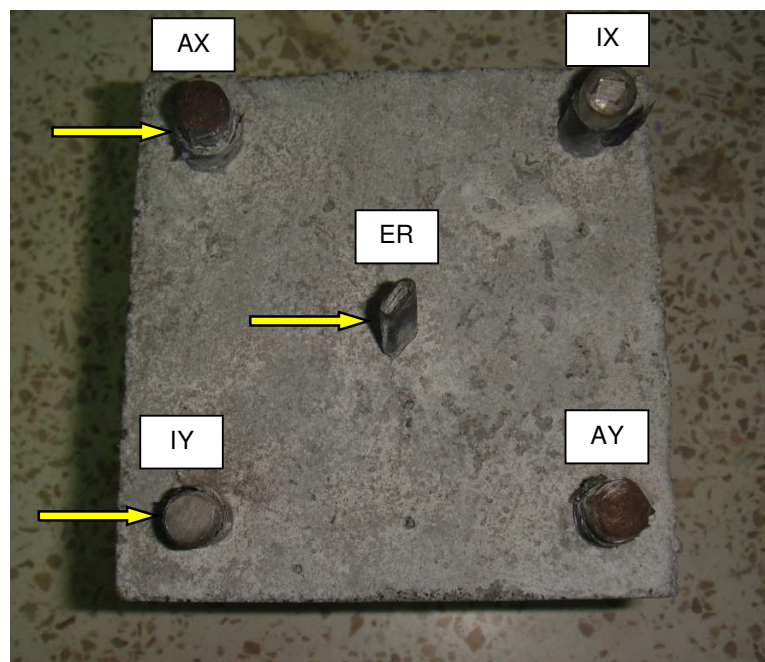


FIGURA 2.2 CONEXIONES EN LA PROBETA DE HORMIGÓN

2.2. Presentación de las mediciones de resistencia

TABLA 1
MEDICIÓN DE RESISTENCIA NR. 1

DESCRIPCIÓN		CÓDIGO PROBETA	Fecha: 31-Jul			
			AX	AY	RP	DÍAS
PORTLAND	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2X-R-C-1	-	-	-	-
		2X-R-C-2	-	-	-	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-C-1	-	-	-	-
		2I-R-C-2	-	-	-	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2X-R-S-1	670	720	695	15
		2X-R-S-2	810	710	760	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2I-R-S-1	810	630	720	15
		2I-R-S-2	730	650	690	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	2X-R-N-1	1050	1100	1075	15
		2X-R-N-2	1500	950	1225	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	2I-R-N-1	1200	1500	1350	15
		2I-R-N-2	1600	1300	1450	
PUZOLÁNICO	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PX-R-C-1	-	-	-	-
		PX-R-C-2	-	-	-	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PI-R-C-1	-	-	-	-
		PI-R-C-2	-	-	-	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PX-R-S-1	700	740	720	15
		PX-R-S-2	710	640	675	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PI-R-S-1	680	770	725	15
		PI-R-S-2	770	550	660	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	PX-R-N-1	2000	1900	1950	15
		PX-R-N-2	1800	1500	1650	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	PI-R-N-1	2000	2400	2200	15
		PI-R-N-2	1600	1700	1650	

TABLA 2
MEDICIÓN DE RESISTENCIA NR. 2

DESCRIPCIÓN		CÓDIGO PROBETA	Fecha: 14-Ago			
			AX	AY	RP	DÍAS
PORTLAND	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2X-R-C-1	1400	1700	1550	15
		2X-R-C-2	1400	1500	1450	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-C-1	1070	1060	1065	15
		2I-R-C-2	1060	1030	1045	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2X-R-S-1	710	700	705	30
		2X-R-S-2	740	710	725	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2I-R-S-1	640	720	680	30
		2I-R-S-2	770	650	710	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	2X-R-N-1	1300	1400	1350	30
		2X-R-N-2	1900	1200	1550	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	2I-R-N-1	1500	1900	1700	30
		2I-R-N-2	2100	1700	1900	
PUZOLÁNICO	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PX-R-C-1	1300	1500	1400	15
		PX-R-C-2	2400	2300	2350	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PI-R-C-1	1200	1900	1550	15
		PI-R-C-2	1400	1500	1450	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PX-R-S-1	640	660	650	30
		PX-R-S-2	710	660	685	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PI-R-S-1	790	810	800	30
		PI-R-S-2	840	580	710	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	PX-R-N-1	2800	2800	2800	30
		PX-R-N-2	2400	2200	2300	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	PI-R-N-1	2800	2000	2400	30
		PI-R-N-2	2200	2200	2200	

TABLA 3
MEDICIÓN DE RESISTENCIA NR. 3

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

TABLA 4
MEDICIÓN DE RESISTENCIA NR. 4

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

TABLA 5
MEDICIÓN DE RESISTENCIA NR. 5

DESCRIPCIÓN		CÓDIGO PROBETA	Fecha: 25-Sep			
			AX	AY	RP	DÍAS
PORTLAND	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2X-R-C-1	1700	2200	1950	60
		2X-R-C-2	2000	1700	1850	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-C-1	1200	1300	1250	60
		2I-R-C-2	1300	1200	1250	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2X-R-S-1	670	760	715	75
		2X-R-S-2	770	680	725	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2I-R-S-1	770	690	730	75
		2I-R-S-2	820	670	745	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	2X-R-N-1	2400	2700	2550	75
		2X-R-N-2	3700	2400	3050	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	2I-R-N-1	3000	3700	3350	75
		2I-R-N-2	3900	3100	3500	
PUZOLÁNICO	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PX-R-C-1	1700	2200	1950	60
		PX-R-C-2	3300	3000	3150	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PI-R-C-1	1600	2700	2150	60
		PI-R-C-2	2000	2000	2000	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PX-R-S-1	730	810	770	75
		PX-R-S-2	710	800	755	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PI-R-S-1	1400	1800	1600	75
		PI-R-S-2	880	700	790	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	PX-R-N-1	5400	5900	5650	75
		PX-R-N-2	4600	4500	4550	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	PI-R-N-1	5900	3900	4900	75
		PI-R-N-2	4300	4800	4550	

TABLA 6
MEDICIÓN DE RESISTENCIA NR. 6

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

TABLA 7
MEDICIÓN DE RESISTENCIA NR. 7

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

TABLA 8
MEDICIÓN DE RESISTENCIA NR. 8

DESCRIPCIÓN		CÓDIGO PROBETA	Fecha: 6-Nov			
			AX	AY	RP	DÍAS
PORTLAND	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2X-R-C-1	2000	2400	2200	105
		2X-R-C-2	2000	2000	2000	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-C-1	1400	1500	1450	105
		2I-R-C-2	1400	1400	1400	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2X-R-S-1	750	850	800	120
		2X-R-S-2	890	830	860	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2I-R-S-1	900	770	835	120
		2I-R-S-2	920	740	830	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	2X-R-N-1	3200	3700	3450	120
		2X-R-N-2	4500	3200	3850	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	2I-R-N-1	4200	4600	4400	120
		2I-R-N-2	5300	3200	4250	
PUZOLÁNICO	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PX-R-C-1	2200	2600	2400	105
		PX-R-C-2	4200	3700	3950	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PI-R-C-1	2200	3200	2700	105
		PI-R-C-2	2300	2700	2500	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PX-R-S-1	780	800	790	120
		PX-R-S-2	890	720	805	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PI-R-S-1	890	940	915	120
		PI-R-S-2	890	770	830	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	PX-R-N-1	6500	6900	6700	120
		PX-R-N-2	6000	6000	6000	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	PI-R-N-1	7700	5500	6600	120
		PI-R-N-2	6500	7000	6750	

TABLA 9
MEDICIÓN DE RESISTENCIA NR. 9

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

TABLA 10
MEDICIÓN DE RESISTENCIA NR. 10

DESCRIPCIÓN		CÓDIGO PROBETA	Fecha: 10-Dic			
			AX	AY	RP	DÍAS
PORTLAND	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2X-R-C-1	2200	2700	2450	135
		2X-R-C-2	2200	2300	2250	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-C-1	1600	1700	1650	135
		2I-R-C-2	1600	1600	1600	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2X-R-S-1	810	870	840	150
		2X-R-S-2	930	840	885	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2I-R-S-1	740	900	820	150
		2I-R-S-2	870	730	800	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	2X-R-N-1	3800	4600	4200	150
		2X-R-N-2	5700	3500	4600	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	2I-R-N-1	5600	6300	5950	150
		2I-R-N-2	6100	4700	5400	
PUZOLÁNICO	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PX-R-C-1	2500	3100	2800	135
		PX-R-C-2	5100	4400	4750	
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PI-R-C-1	2900	3900	3400	135
		PI-R-C-2	2800	2800	2800	
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PX-R-S-1	780	910	845	150
		PX-R-S-2	830	790	810	
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PI-R-S-1	810	870	840	150
		PI-R-S-2	730	670	700	
	SIN INHIBIDOR-NATURAL	PX-R-N-1	8200	8200	8200	150
		PX-R-N-2	7800	8200	8000	
	CON INHIBIDOR-NATURAL	PI-R-N-1	10800	7000	8900	150
		PI-R-N-2	7600	7400	7500	

2.3. Obtención experimental del factor de celda

Se construyo una celda que cumpla con las mismas características que las probetas de hormigón, en cuanto a dimensiones, disposición

de las barras de acero y área de exposición de las barras. Se empleó un electrolito, cloruro de potasio, cuya resistividad eléctrica es conocida ($\rho = 240\Omega\text{cm}$), y se realizaron las mediciones de resistencia a la celda con el equipo Nilsson 400 siguiendo el mismo procedimiento utilizado para las probetas de hormigón.



FIGURA 2.3 CELDA CONSTRUIDA CON LAS MISMAS PROPIEDADES QUE LAS DE HORMIGÓN

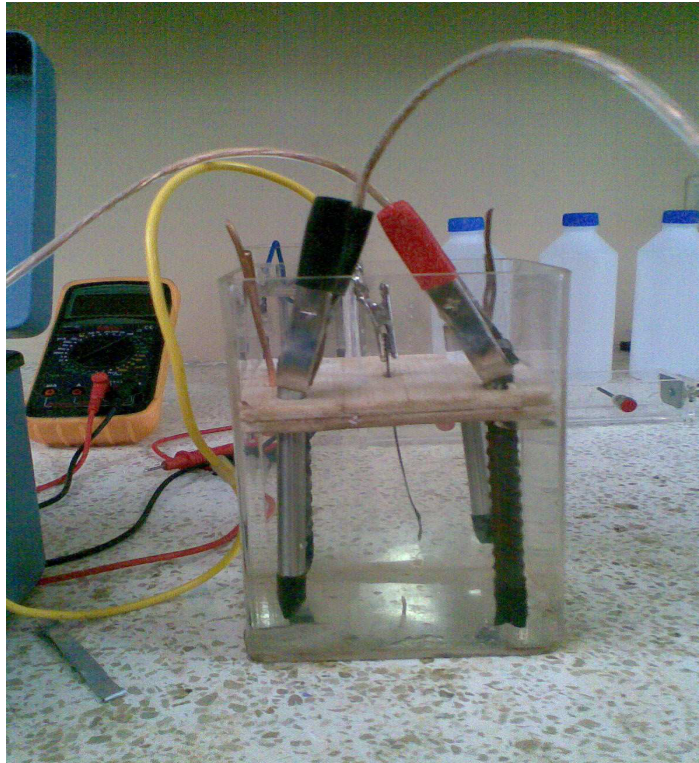


FIGURA 2.4 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE LA CELDA

TABLA 11

MEDICIONES DE RESISTENCIA DE LA CELDA

Medición Nr.	1	2	3	4
RESISTENCIA (OHM)	34	37	33	37
RESISTIVIDAD (OHM-CM)	240	240	240	240
FACTOR K (CM)	7.06	6.49	7.27	6.49

El valor del factor de celda promedio obtenido fue de: 6.83cm, dato con el cual se procedió a obtener la resistividad eléctrica de las probetas de hormigón.

2.4. Determinación de la resistividad eléctrica de las probetas

Para determinar la resistividad eléctrica de las probetas de hormigón se empleo la ecuación (2) (pág. 8), obteniendo los siguientes resultados:

TABLA 12
RESISTIVIDAD ELÉCTRICA OBTENIDA DE LAS PROBETAS DE
HORMIGÓN, PRIMERA Y SEGUNDA MEDICIÓN

	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO PROBETA	Medición Nr. 1 (31-Jul)			Medición Nr. 2 (14-Ago)		
			PROM	RESIST.	DÍAS	PROM	RESIST.	DÍAS
P O R T A L A N D	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2X-R-C-1	-	-	-	1500	10245	15
		2X-R-C-2						
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-C-1	-	-	-	1055	7205.65	15
		2I-R-C-2						
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2X-R-S-1	727.5	4968.83	15	715	4883.45	30
		2X-R-S-2						
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2I-R-S-1	705	4815.15	15	695	4746.85	30
		2I-R-S-2						
SIN INHIBIDOR-NATURAL	2X-R-N-1	1150	7854.50	15	1450	9903.50	30	
	2X-R-N-2							
CON INHIBIDOR-NATURAL	2I-R-N-1	1400	9562.00	15	1800	12294.00	30	
	2I-R-N-2							
P U Z O L Á N I C O	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PX-R-C-1	-	-	-	1875	12806.25	15
		PX-R-C-2						
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PI-R-C-1	-	-	-	1500	10245	15
		PI-R-C-2						
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PX-R-S-1	697.5	4763.93	15	667.5	4559.03	30
		PX-R-S-2						
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PI-R-S-1	692.5	4729.78	15	755	5156.65	30
		PI-R-S-2						
SIN INHIBIDOR-NATURAL	PX-R-N-1	1800	12294.00	15	2550	17416.50	30	
	PX-R-N-2							
CON INHIBIDOR-NATURAL	PI-R-N-1	1925	13147.75	15	2300	15709.00	30	
	PI-R-N-2							

TABLA 13
RESISTIVIDAD ELÉCTRICA OBTENIDA DE LAS PROBETAS DE
HORMIGÓN, TERCERA Y CUARTA MEDICIÓN

DESCRIPCIÓN	CÓDIGO PROBETA	Medición Nr. 3 (28-Ago)			Medición Nr. 4 (11-Sep)			
		PROM	RESIST.	DÍAS	PROM	RESIST.	DÍAS	
P O R T L A N D	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2X-R-C-1	1825	12464.75	30	1850	12635.5	45
		2X-R-C-2						
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-C-1	1275	8708.25	30	1275	8708.25	45
		2I-R-C-2						
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2X-R-S-1	675	4610.25	45	705	4815.15	60
		2X-R-S-2						
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2I-R-S-1	660	4507.80	45	665	4541.95	60
		2I-R-S-2						
SIN INHIBIDOR-NATURAL	2X-R-N-1	1775	12123.25	45	2300	15709.00	60	
	2X-R-N-2							
CON INHIBIDOR-NATURAL	2I-R-N-1	2225	15196.75	45	2825	19294.75	60	
	2I-R-N-2							
P U Z O L Á N I C O	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PX-R-C-1	2400	16392	30	2475	16904.25	45
		PX-R-C-2						
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PI-R-C-1	2400	16392	30	2000	13660	45
		PI-R-C-2						
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PX-R-S-1	652.5	4456.58	45	807.5	5515.23	60
		PX-R-S-2						
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PI-R-S-1	650	4439.50	45	840	5737.20	60
		PI-R-S-2						
SIN INHIBIDOR-NATURAL	PX-R-N-1	3225	22026.75	45	4450	30393.50	60	
	PX-R-N-2							
CON INHIBIDOR-NATURAL	PI-R-N-1	3025	20660.75	45	3875	26466.25	60	
	PI-R-N-2							

TABLA 14
RESISTIVIDAD ELÉCTRICA OBTENIDA DE LAS PROBETAS DE
HORMIGÓN, QUINTA Y SEXTA MEDICIÓN

DESCRIPCIÓN	CÓDIGO PROBETA	Medición Nr. 5 (25-Sep)			Medición Nr. 6 (8-Oct)			
		PROM	RESIST.	DÍAS	PROM	RESIST.	DÍAS	
P O R T L A N D	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2X-R-C-1	1900	12977	60	1900	12977	75
		2X-R-C-2						
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-C-1	1250	8537.5	60	1300	8879	75
		2I-R-C-2						
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2X-R-S-1	720	4917.60	75	712.5	4866.38	90
		2X-R-S-2						
CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2I-R-S-1	737.5	5037.13	75	662.5	4524.88	90	
	2I-R-S-2							
SIN INHIBIDOR-NATURAL	2X-R-N-1	2800	19124.00	75	3550	24246.50	90	
	2X-R-N-2							
CON INHIBIDOR-NATURAL	2I-R-N-1	3425	23392.75	75	4200	28686.00	90	
	2I-R-N-2							
P U Z O L Á N I C O	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PX-R-C-1	2550	17416.5	60	2700	18441	75
		PX-R-C-2						
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PI-R-C-1	2075	14172.25	60	1900	12977	75
		PI-R-C-2						
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PX-R-S-1	762.5	5207.88	75	665	4541.95	90
		PX-R-S-2						
CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PI-R-S-1	1195	8161.85	75	742.5	5071.28	90	
	PI-R-S-2							
SIN INHIBIDOR-NATURAL	PX-R-N-1	5100	34833.00	75	5200	35516.00	90	
	PX-R-N-2							
CON INHIBIDOR-NATURAL	PI-R-N-1	4725	32271.75	75	5325	36369.75	90	
	PI-R-N-2							

TABLA 15
RESISTIVIDAD ELÉCTRICA OBTENIDA DE LAS PROBETAS DE
HORMIGÓN, SÉPTIMA Y OCTAVA MEDICIÓN

DESCRIPCIÓN	CÓDIGO PROBETA	Medición Nr. 7 (23-Oct)			Medición Nr. 8 (6-Nov)			
		PROM	RESIST.	DÍAS	PROM	RESIST.	DÍAS	
P O R T L A N D	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2X-R-C-1	2275	15538.25	90	2100	14343	105
		2X-R-C-2						
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-C-1	1700	11611	90	1425	9732.75	105
		2I-R-C-2						
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2X-R-S-1	737.5	5037.13	105	830	5668.90	120
		2X-R-S-2						
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2I-R-S-1	687.5	4695.63	105	832.5	5685.98	120
		2I-R-S-2						
SIN INHIBIDOR-NATURAL	2X-R-N-1	3650	24929.50	105	3650	24929.50	120	
	2X-R-N-2							
CON INHIBIDOR-NATURAL	2I-R-N-1	4125	28173.75	105	4325	29539.75	120	
	2I-R-N-2							
P U Z O L Á N I C O	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PX-R-C-1	3300	22539	90	3175	21685.25	105
		PX-R-C-2						
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PI-R-C-1	2650	18099.5	90	2600	17758	105
		PI-R-C-2						
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PX-R-S-1	800	5464.00	105	797.5	5446.93	120
		PX-R-S-2						
	CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PI-R-S-1	757.5	5173.73	105	872.5	5959.18	120
		PI-R-S-2						
SIN INHIBIDOR-NATURAL	PX-R-N-1	5875	40126.25	105	6350	43370.50	120	
	PX-R-N-2							
CON INHIBIDOR-NATURAL	PI-R-N-1	6000	40980.00	105	6675	45590.25	120	
	PI-R-N-2							

TABLA 16
RESISTIVIDAD ELÉCTRICA OBTENIDA DE LAS PROBETS DE
HORMIGÓN, NOVENA Y DÉCIMA MEDICIÓN

DESCRIPCIÓN	CÓDIGO PROBETA	Medición Nr. 9 (20-Nov)			Medición Nr. 10 (10-Dic)			
		PROM	RESIST.	DÍAS	PROM	RESIST.	DÍAS	
P O R T L A N D	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2X-R-C-1	2100	14343	120	2350	16050.5	135
		2X-R-C-2						
	CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	2I-R-C-1	1400	9562	120	1625	11098.75	135
		2I-R-C-2						
	SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2X-R-S-1	720	4917.60	135	862.5	5890.88	150
		2X-R-S-2						
CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	2I-R-S-1	687.5	4695.63	135	810	5532.30	150	
	2I-R-S-2							
P U Z O L Á N I C O	SIN INHIBIDOR-NATURAL	2X-R-N-1	4050	27661.50	135	4400	30052.00	150
		2X-R-N-2						
	CON INHIBIDOR-NATURAL	2I-R-N-1	4975	33979.25	135	5675	38760.25	150
		2I-R-N-2						
	SIN INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PX-R-C-1	3075	21002.25	120	3775	25783.25	135
		PX-R-C-2						
CON INHIBIDOR-CARBONATACIÓN	PI-R-C-1	2450	16733.5	120	3100	21173	135	
	PI-R-C-2							
SIN INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PX-R-S-1	757.5	5173.73	135	827.5	5651.83	150	
	PX-R-S-2							
CON INHIBIDOR-INMERSIÓN SAL	PI-R-S-1	717.5	4900.53	135	770	5259.10	150	
	PI-R-S-2							
SIN INHIBIDOR-NATURAL	PX-R-N-1	6625	45248.75	135	8100	55323.00	150	
	PX-R-N-2							
CON INHIBIDOR-NATURAL	PI-R-N-1	6725	45931.75	135	8200	56006.00	150	
	PI-R-N-2							

2.5. Presentación de datos y gráficas

Los valores de resistividad eléctrica calculados para cada tipo de hormigón se presentan a continuación; y para un mejor estudio de los resultados obtenidos, se elaboraron curvas de resistividad, que muestran su comportamiento a medida que pasa el tiempo.

TABLA 17
RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN PORTLAND TIPO II, MEDIO
CARBONATACIÓN

TIEMPO (DÍAS)	RESISTIVIDAD (OHM-CM)	
	SIN INHIBIDOR	CON INHIBIDOR
15	10245.00	7205.65
30	12464.75	8708.25
45	12635.50	8708.25
60	12977.00	8537.50
75	12977.00	8879.00
90	15538.25	11611.00
105	14343.00	9732.75
120	14343.00	9562.00
135	16050.00	11098.75

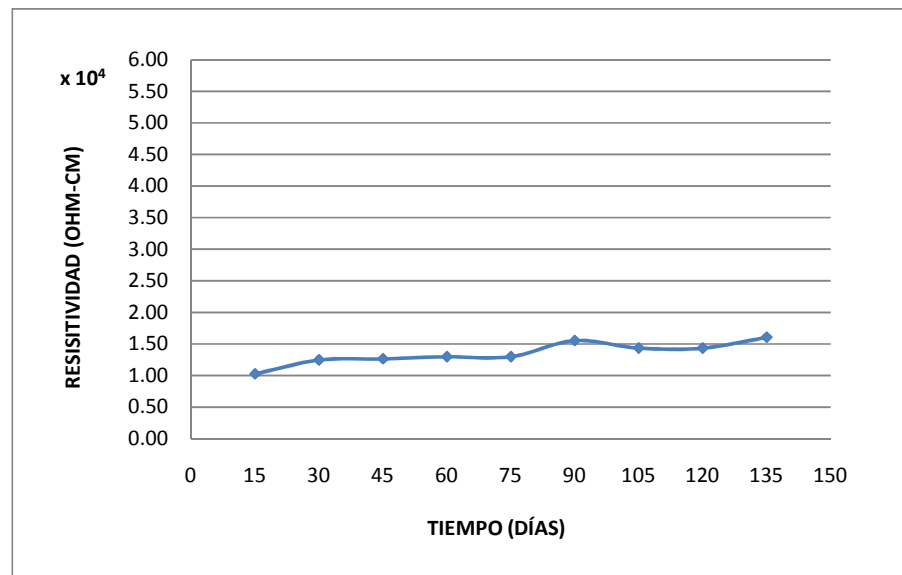


FIGURA 2.5 RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN PORTLAND TIPO II
SIN INHIBIDOR DE CORROSIÓN

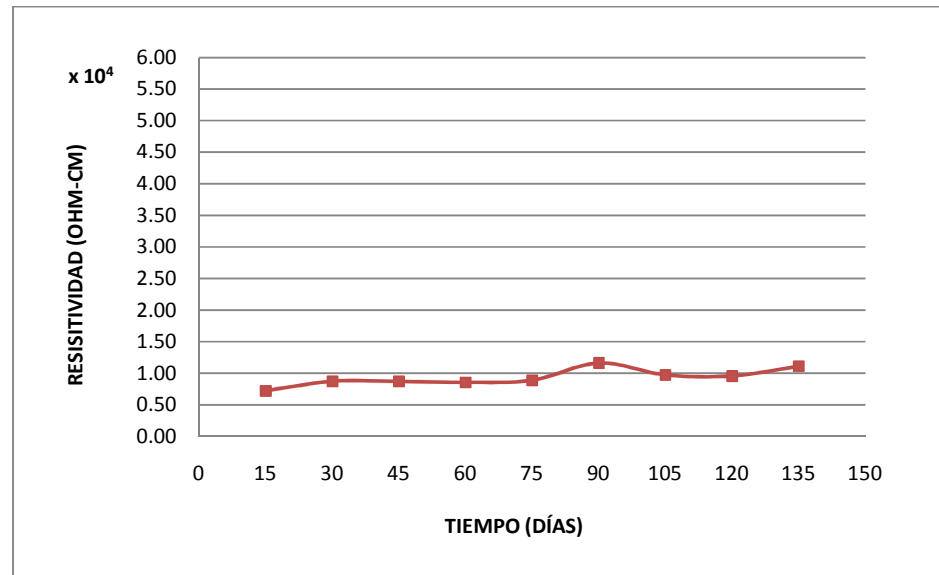


FIGURA 2.6 RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN PORTLAND TIPO II
CON INHIBIDOR DE CORROSIÓN

TABLA 18

RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN PORTLAND TIPO II, INMERSAS
EN CLORURO DE SODIO

TIEMPO (DÍAS)	RESISTIVIDAD (OHM-CM)	
	SIN INHIBIDOR	CON INHIBIDOR
15	4968.83	4815.15
30	4883.45	4746.85
45	4610.25	4507.80
60	4815.15	4541.95
75	4917.60	5037.13
90	4866.38	4524.88
105	5037.13	4695.63
120	5668.90	5685.98
135	4917.60	4695.63
150	5890.88	5532.30

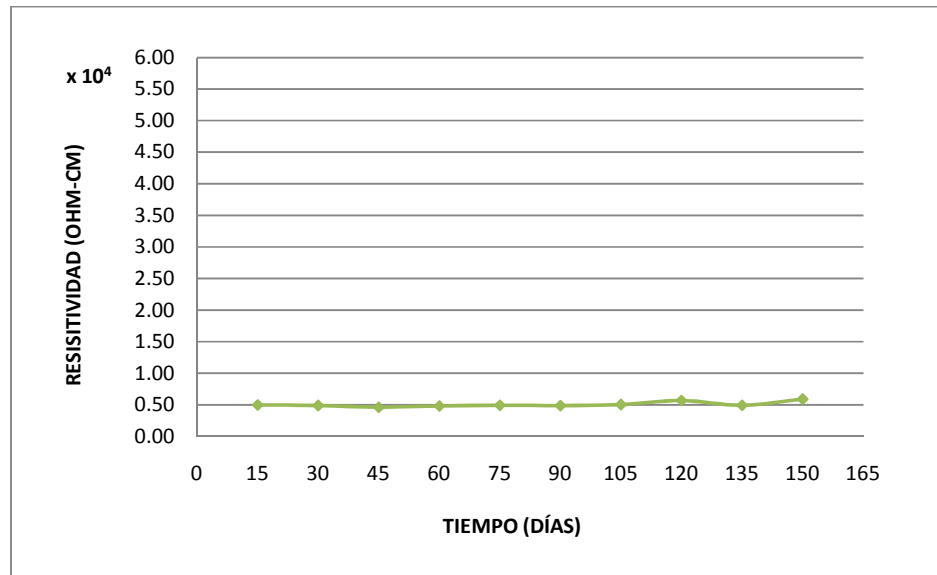


FIGURA 2.7 RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN PORTLAND TIPO II
SIN INHIBIDOR DE CORROSIÓN

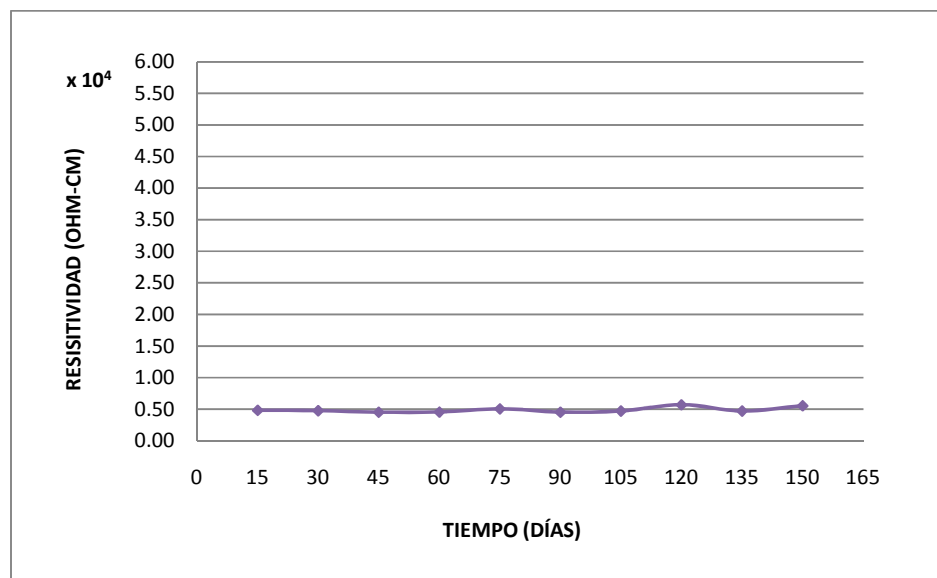


FIGURA 2.8 RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN PORTLAND TIPO II
CON INHIBIDOR DE CORROSIÓN

TABLA 19
RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN PORTLAND TIPO II, MEDIO
AMBIENTE

TIEMPO (DÍAS)	RESISTIVIDAD (OHM-CM)	
	SIN INHIBIDOR	CON INHIBIDOR
15	7854.50	9562.00
30	9903.50	12294.00
45	12123.25	15196.75
60	15709.00	19294.75
75	19124.00	23392.75
90	24246.50	28686.00
105	24929.50	28173.75
120	24929.50	29539.75
135	27661.50	33979.25
150	30052.00	38760.25

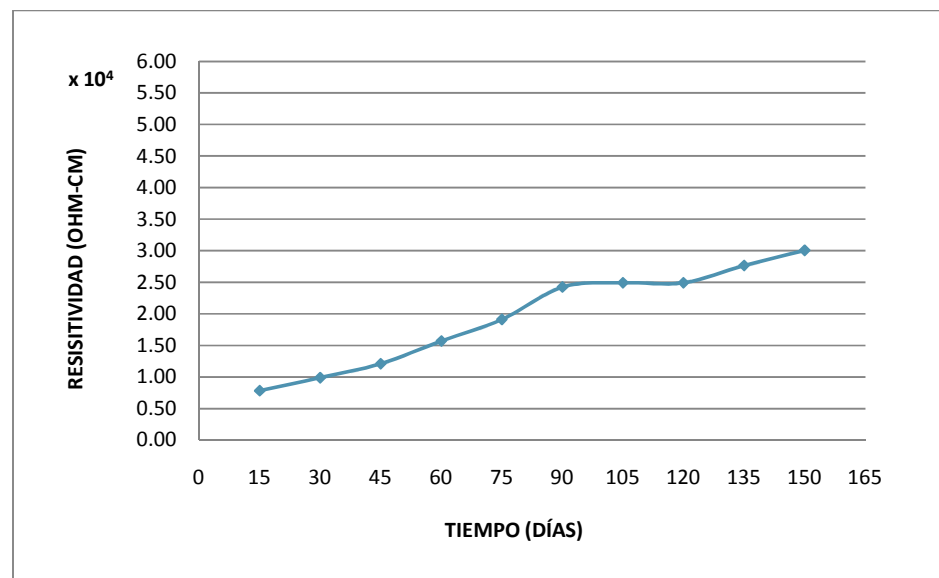


FIGURA 2.9 RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN PORTLAND TIPO II
SIN INHIBIDOR DE CORROSIÓN

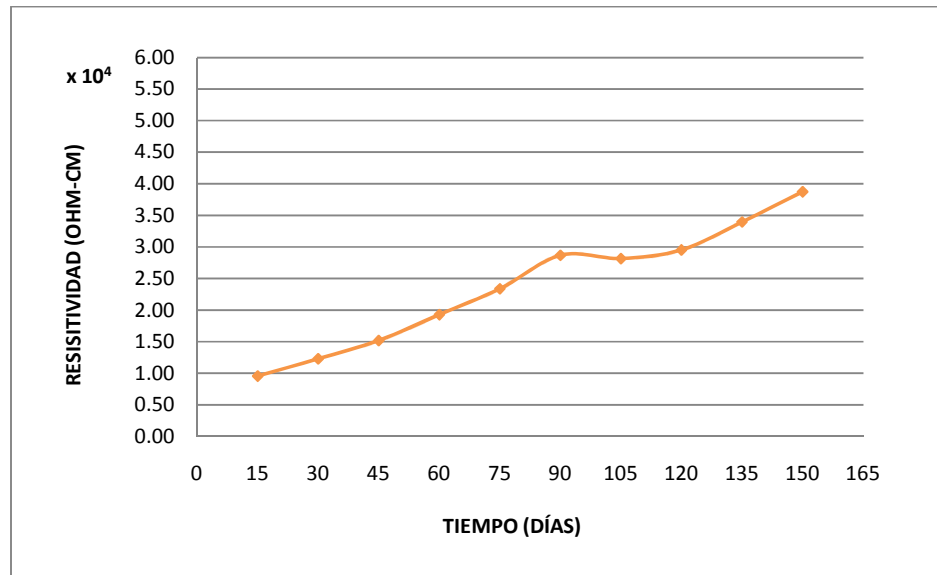


FIGURA 2.10 RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN PORTLAND TIPO II
CON INHIBIDOR DE CORROSIÓN

TABLA 20
RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN PUZOLÁNICO, MEDIO
CARBONATACIÓN

TIEMPO (DÍAS)	RESISTIVIDAD (OHM-CM)	
	SIN INHIBIDOR	CON INHIBIDOR
15	12806.25	10245.00
30	16392.00	16392.00
45	16904.25	13660.00
60	17416.50	14172.25
75	18441.00	12977.00
90	22539.00	18099.50
105	21685.25	17758.00
120	21002.25	16733.50
135	25783.25	21173.00

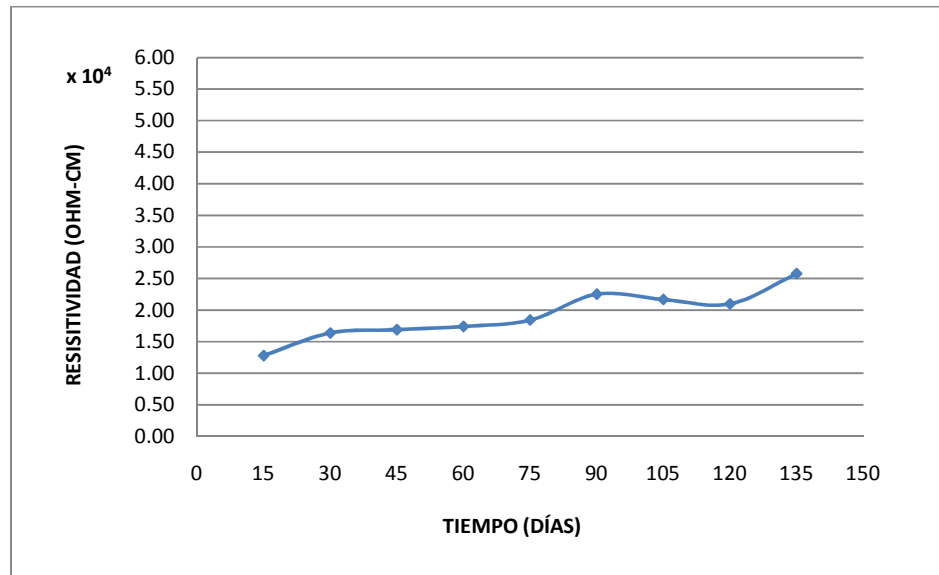


FIGURA 2.11 RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN PUZOLÁNICO SIN INHIBIDOR DE CORROSIÓN

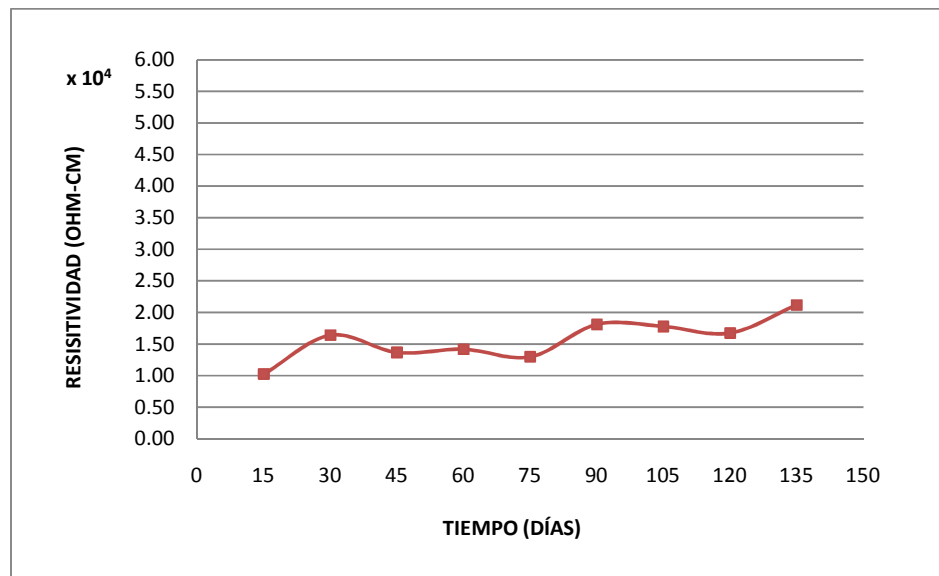


FIGURA 2.12 RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN PUZOLÁNICO CON INHIBIDOR DE CORROSIÓN

TABLA 21
RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN PUZOLÁNICO, INMERSAS EN
CLORURO DE SODIO

TIEMPO (DÍAS)	RESISTIVIDAD (OHM-CM)	
	SIN INHIBIDOR	CON INHIBIDOR
15	4763.93	4729.78
30	4559.03	5156.65
45	4456.58	4439.50
60	5515.23	5737.20
75	5207.88	8161.85
90	4541.95	5071.28
105	5464.00	5173.73
120	5446.93	5959.18
135	5173.73	4900.53
150	5651.83	5259.10

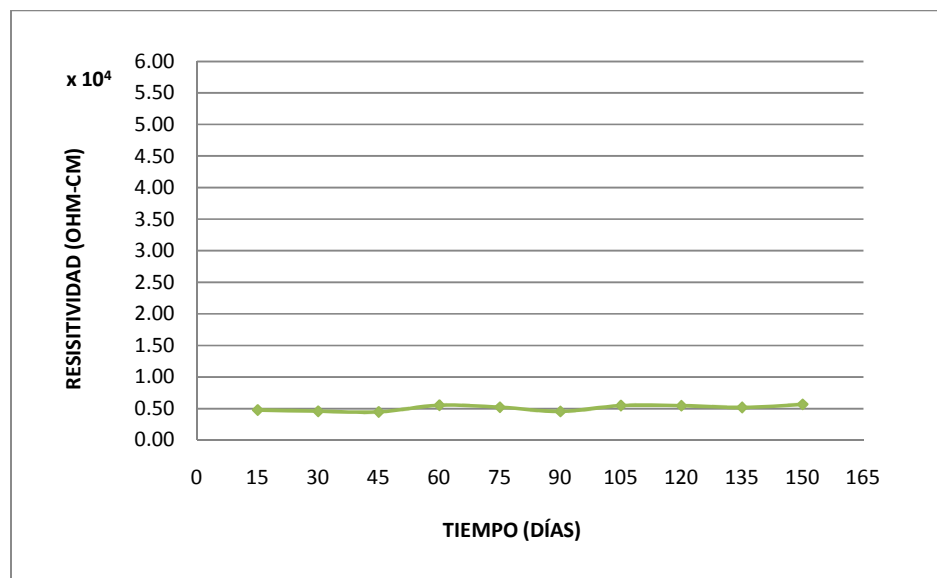


FIGURA 2.13 RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN PUZOLÁNICO SIN
INHIBIDOR DE CORROSIÓN

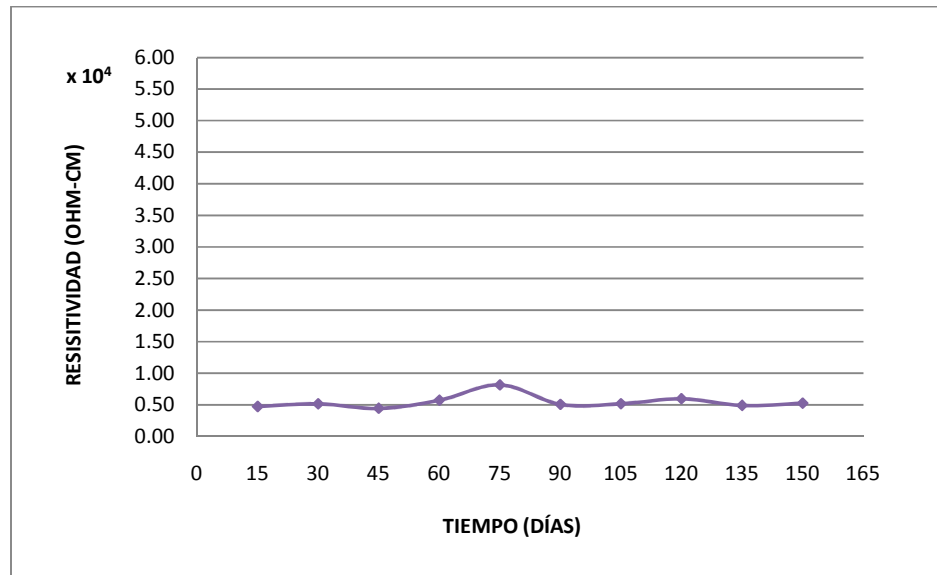


FIGURA 2.14 RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN PUZOLÁNICO CON INHIBIDOR DE CORROSIÓN

TABLA 22

RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN PUZOLÁNICO, MEDIO AMBIENTE

TIEMPO (DÍAS)	RESISTIVIDAD (OHM-CM)	
	SIN INHIBIDOR	CON INHIBIDOR
15	12294.00	13147.75
30	17416.50	15709.00
45	22026.75	20660.75
60	30393.50	26466.25
75	34833.00	32271.75
90	35516.00	36369.75
105	40126.25	40980.00
120	43370.50	45590.25
135	45248.75	45931.75
150	55323.00	56006.00

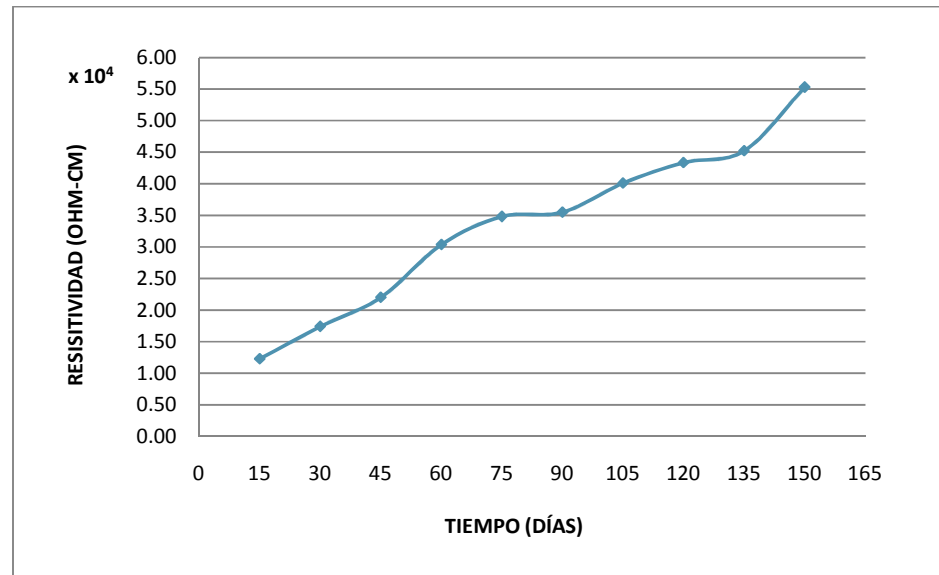


FIGURA 2.15 RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN PUZOLÁNICO SIN INHIBIDOR DE CORROSIÓN

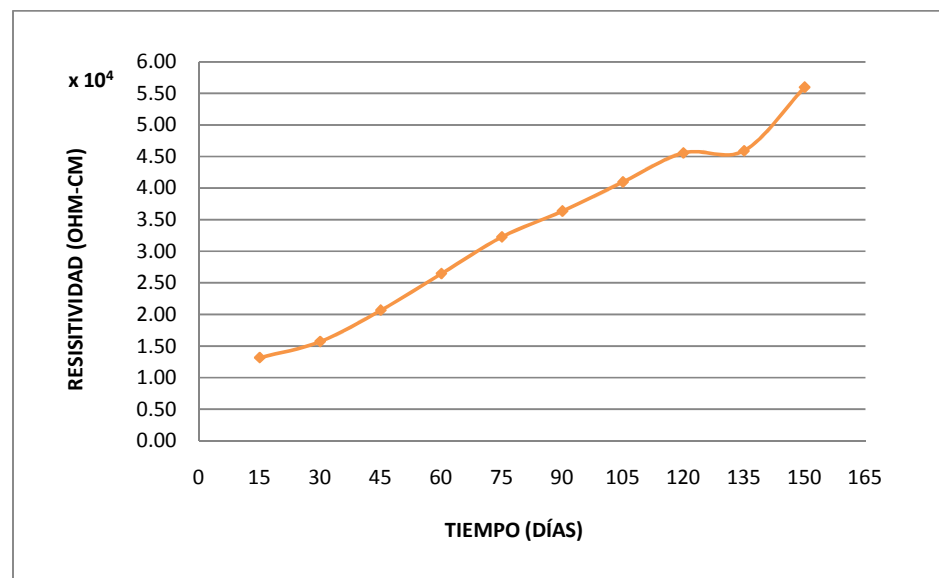


FIGURA 2.16 RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN PUZOLÁNICO CON INHIBIDOR DE CORROSIÓN

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

3.1 Revisión de resultados

Para el efecto de análisis de resultados se estudia el comportamiento de las dos clases de hormigones portland tipo II y puzolánico, se establecen curvas comparativas de resistividad eléctrica versus el tiempo transcurrido, y, exposición de las probetas en los tres diferentes medios.

Además se analiza el efecto que el inhibidor de corrosión genera en las probetas de hormigón, para ello se elaboran gráficas comparativas entre las probetas que tienen inhibidor de corrosión y aquellas que no.

Las curvas obtenidas permiten apreciar el comportamiento de los hormigones frente a los diferentes agentes contaminantes a los que fueron expuestos.

3.2 Análisis comparativo de los hormigones puzolánico y portland tipo II

Para establecer comparaciones entre los hormigones puzolánico y portland tipo II, se elaboró gráficas para cada una de las clases de probetas que fueron empleadas en este proyecto, en las que se consideró el medio al que fueron expuestas, y, si en su elaboración se empleó el inhibidor de corrosión.

Estructura de hormigón sin inhibidor de corrosión, agente contaminante CO₂

Como se puede observar en la figura 3.1 el cemento puzolánico presenta valores de resistividad eléctrica más elevados en relación al hormigón portland tipo II. El comportamiento que se observó a medida que el tiempo transcurría es similar para las dos clases de hormigones. El valor máximo de resistividad que alcanza el hormigón puzolánico es 25kΩ-cm, mientras que el del portland tipo II es 15kΩ-cm. De acuerdo a las figuras 1.1 y 1.2 estos valores indican poco riesgo de corrosión.

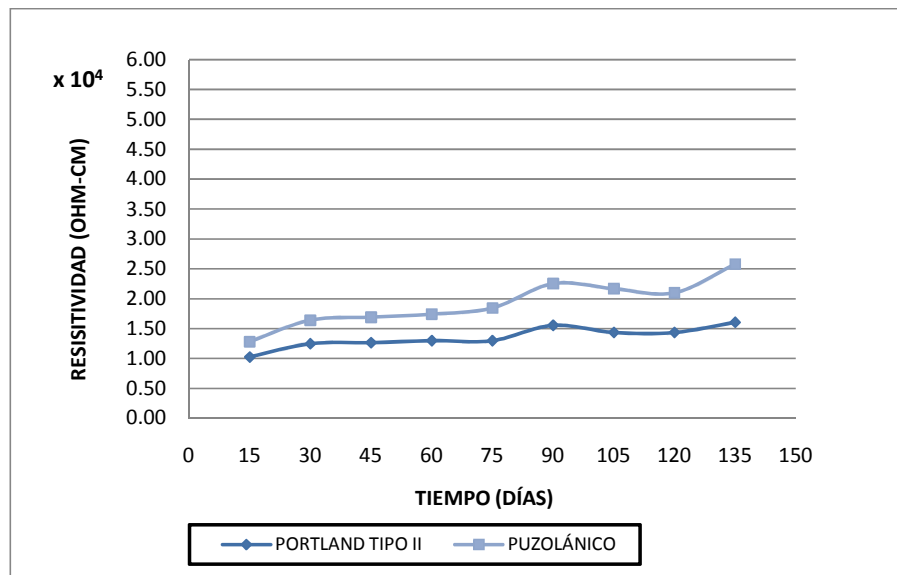


FIGURA 3.1 HORMIGÓN SIN INHIBIDOR DE CORROSIÓN, MEDIO CÁMARA DE CARBONATACIÓN

Estructura de hormigón con inhibidor de corrosión, agente contaminante CO_2

El comportamiento observado en la figura 3.2 para el hormigón portland tipo II y el puzolánico, conserva la misma tendencia en los dos casos, con diferencia en la magnitud, en este caso para el hormigón puzolánico se obtuvo valores de resistividad eléctrica superiores a las del hormigón portland tipo II. Hormigón puzolánico presenta a los 135 días de exposición al CO_2 un valor aproximado de 20k Ω -cm, esto quiere decir que el riesgo de corrosión es bajo.

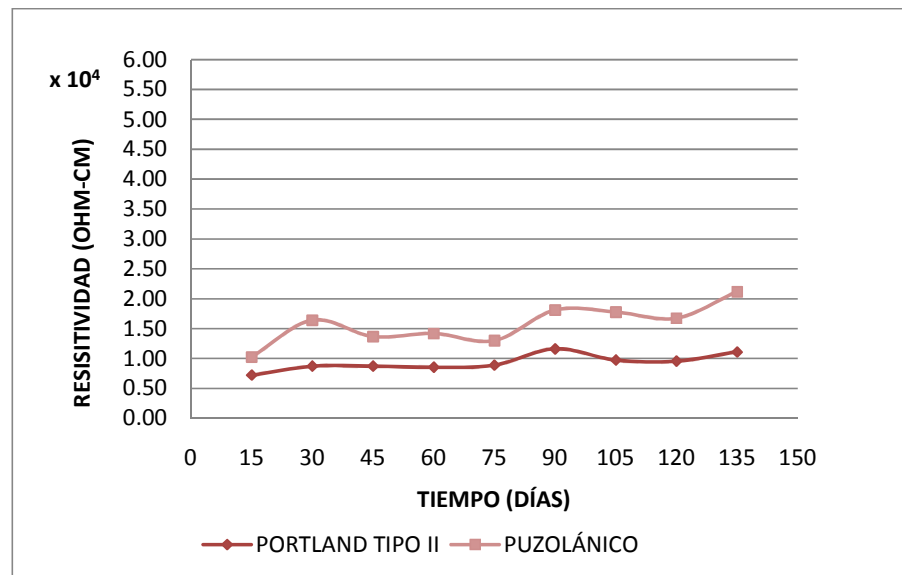


FIGURA 3.2 HORMIGÓN CON INHIBIDOR DE CORROSIÓN,
MEDIO CÁMARA DE CARBONATACIÓN

Estructura de hormigón sin inhibidor de corrosión, agente contaminante Cl

Para la prueba con probetas inmersas en sal la tendencia que se obtuvo, es igual para las dos clases de hormigones, incluso el valor de la resistividad eléctrica es el mismo, aproximadamente $5k\Omega\text{-cm}$ (Ver figura 3.3), el riesgo de corrosión es mayor.

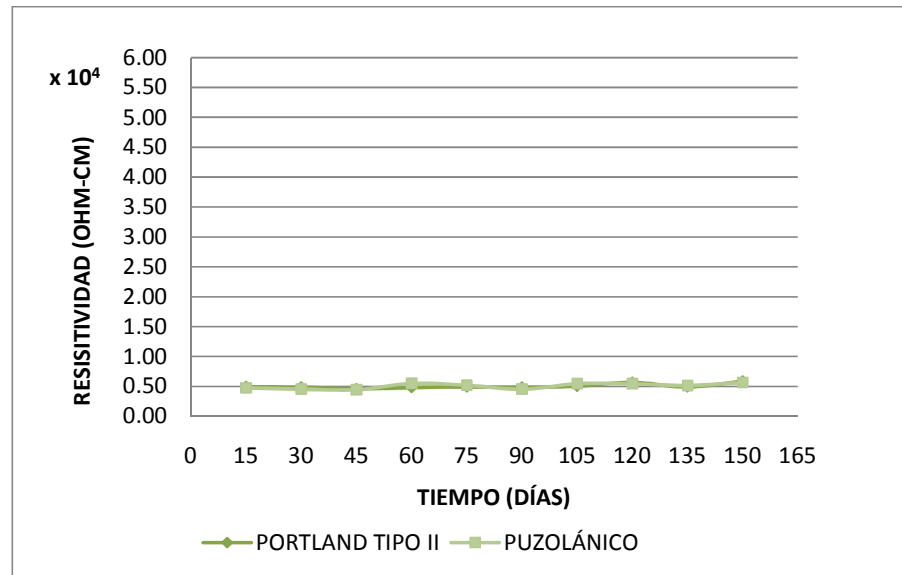


FIGURA 3.3 HORMIGÓN SIN INHIBIDOR DE CORROSIÓN,
INMERSAS EN CLORURO DE SODIO

Estructura de hormigón con inhibidor de corrosión, agente contaminante Cl

Los resultados obtenidos en la figura 3.4 indican que el valor de resistividad eléctrica se mantiene constante para el caso del hormigón portland tipo II y del puzolánico, es decir tienen el mismo comportamiento. Adicionalmente, si se compara con la curva de la figura 3.3, se puede apreciar que los valores de resistividad son casi iguales.

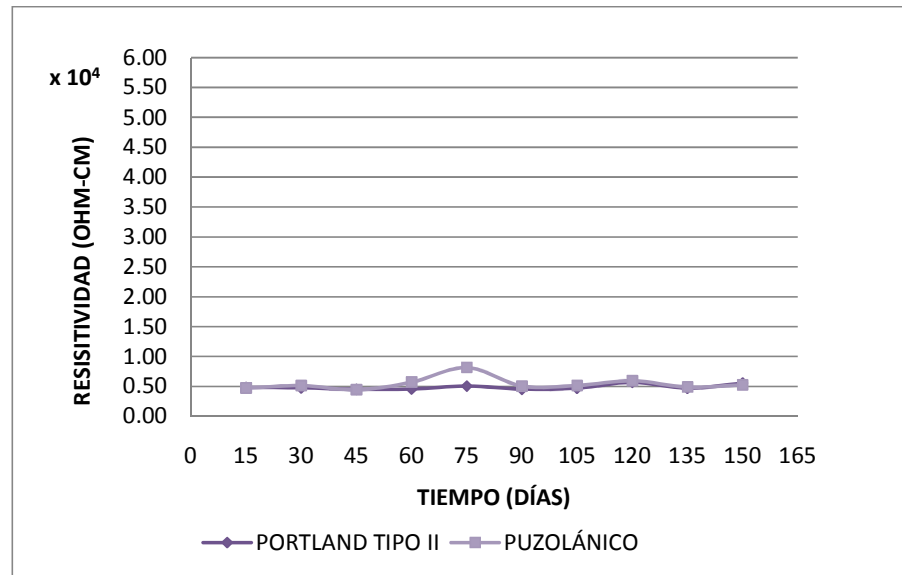


FIGURA 3.4 HORMIGÓN CON INHIBIDOR DE CORROSIÓN,
INMERSAS EN CLORURO DE SODIO

Estructura de hormigón sin inhibidor de corrosión, ambiente natural

En la figura 3.5 se graficaron los valores obtenidos de la resistividad eléctrica para las probetas expuesta a condiciones de ambiente natural, y se observa que el hormigón puzolánico alcanza valores mayores que el hormigón portland tipo II. A los 150 días el hormigón puzolánico alcanza un valor de 55kΩ-cm y el cemento portland 30kΩ-cm, lo cual indica que la corrosión es moderada.

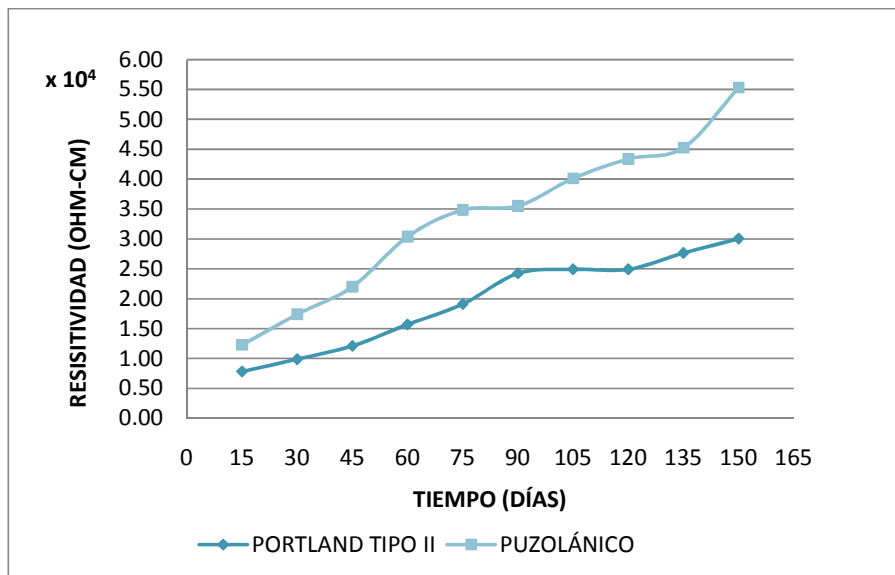


FIGURA 3.5 HORMIGÓN SIN INHIBIDOR DE CORROSIÓN,
 AMBIENTE NATURAL

Estructura de hormigón con inhibidor de corrosión, ambiente natural

El comportamiento del hormigón puzolánico y portland tipo II obtenido en la figura 3.6 es el mismo, la resistividad de los hormigones con el paso del tiempo, se incrementó. Al comparar los valores de resistividad en las curvas, se observa que el hormigón puzolánico presenta valores más altos.

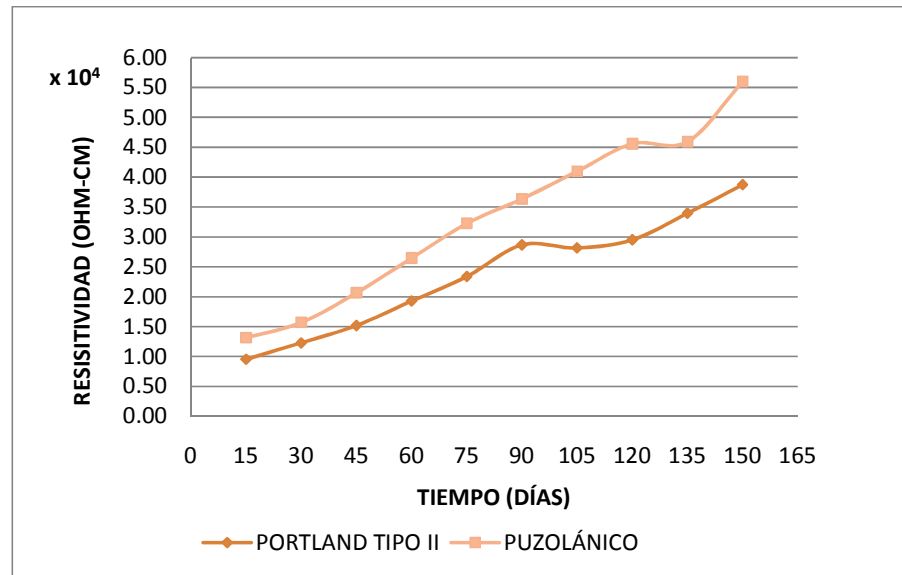


FIGURA 3.6 HORMIGÓN CON INHIBIDOR DE CORROSIÓN,
 AMBIENTE NATURAL

3.3 Influencia del inhibidor de corrosión

HORMIGÓN PORTLANT TIPO II

Probetas de hormigón, agente atacante CO₂

Las probetas que se elaboraron sin inhibidor de corrosión presentan valores de resistividad eléctrica superiores a las probetas con el inhibidor de corrosión. (Ver figura 3.7)

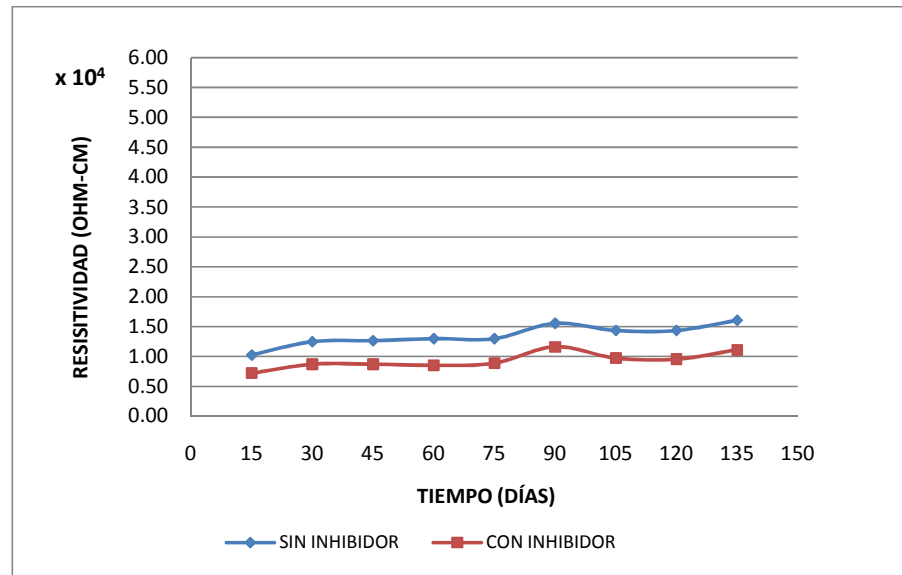


FIGURA 3.7 HORMIGÓN PORTLAND TIPO II, CAMARÁ DE CARBONATACIÓN

Probetas de hormigón, agente atacante Cl

Los valores de resistividad eléctrica obtenidos para las probetas inmersas en sal, se observan en la figura 3.8. Al comparar las probetas con inhibidor y sin inhibidor de corrosión se aprecia que la resistividad eléctrica para los dos casos es la misma, y se mantiene alrededor de 5 kΩ-cm.

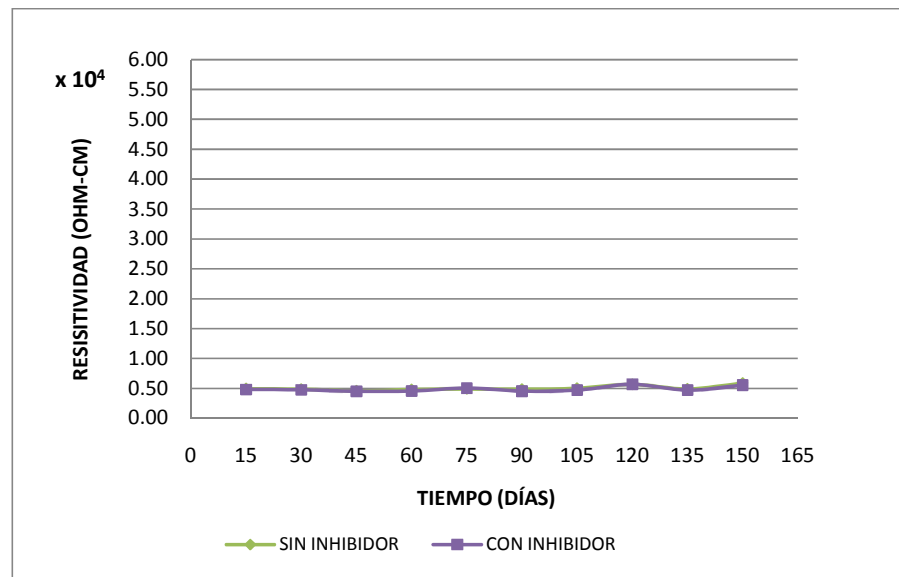


FIGURA 3.8 HORMIGÓN PORTLAND TIPO II, INMSERSAS EN SAL

Probetas de hormigón, ambiente natural

En el caso de las probetas expuestas al ambiente natural, se observa que aquellas sin el inhibidor de corrosión obtuvieron valores de resistividad eléctrica inferiores a las que fueron elaboradas con el inhibidor de corrosión.

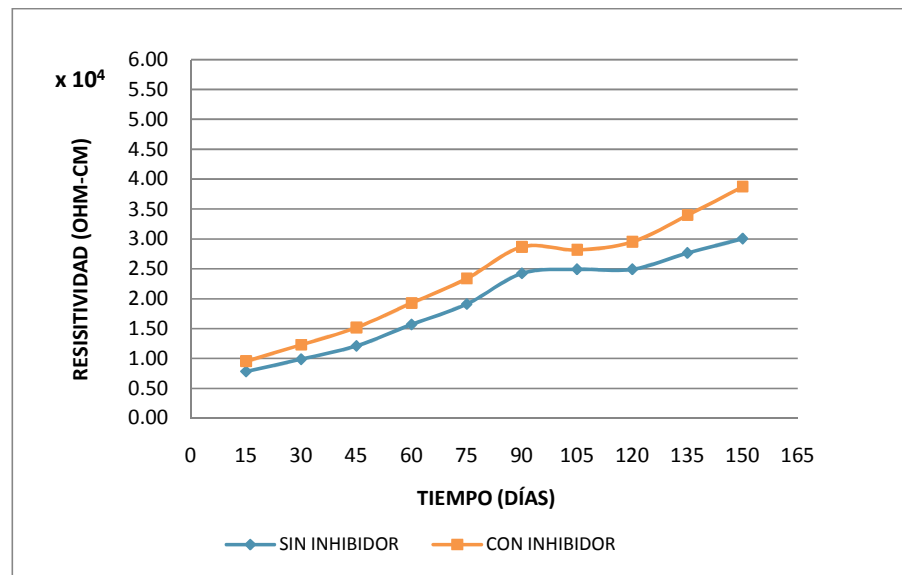


FIGURA 3.9 HORMIGÓN PORLAND TIPO II, AMBIENTE NATURAL

HORMIGÓN PUZOLÁNICO

Probetas de hormigón, agente atacante CO₂

Las probetas elaboradas sin el inhibidor de corrosión presentan valores de resistividad eléctrica superiores a los de las probetas con inhibidor, pero conservan la misma tendencia.

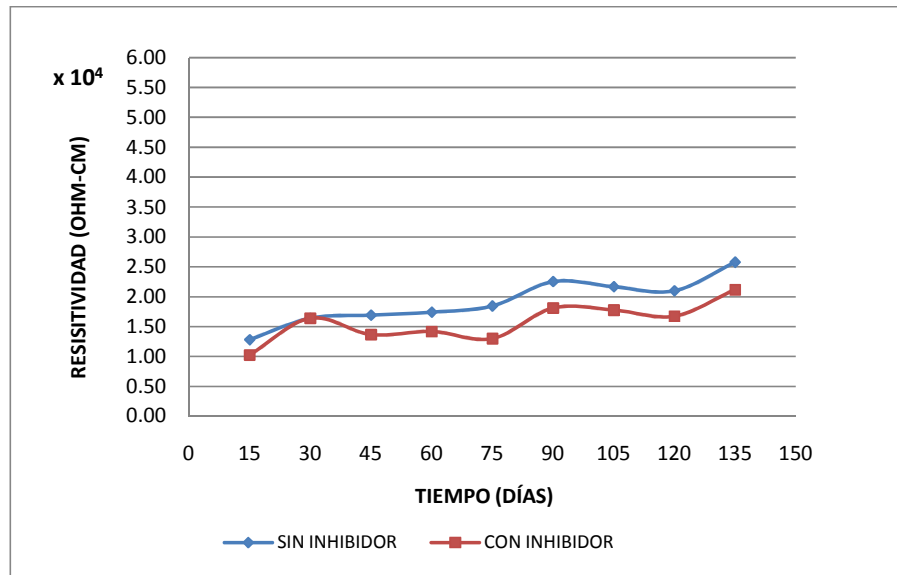


FIGURA 3.10 HORMIGÓN PUZOLANICO, CÁMARA DE CARBONATACIÓN

Probetas de hormigón, agente atacante Cl

Los resultados obtenidos para el hormigón puzolánico son similares a los obtenidos para el portland tipo II, los valores de resistividad eléctrica son los mismos, el inhibidor de corrosión no causa mayor diferencia.

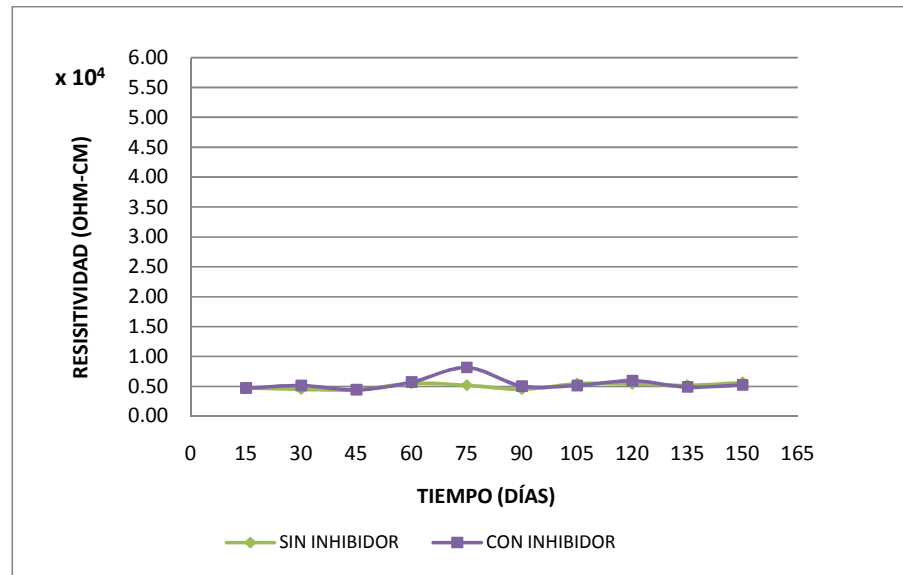


FIGURA 3.11 HORMIGÓN PUZOLÁNICO, INMSERSAS EN CLORURO DE SODIO

Probetas de hormigón, ambiente natural

Los resultados obtenidos para el caso del hormigón puzolánico al exponer las probetas en un ambiente natural se pueden apreciar en la figura 3.12, donde se observa que los valores de la resistividad eléctrica presentan variaciones, pequeñas variaciones entre las probetas que tiene inhibidor y aquellas que no tienen, alcanzando un valor máximo de 55kΩ-cm.

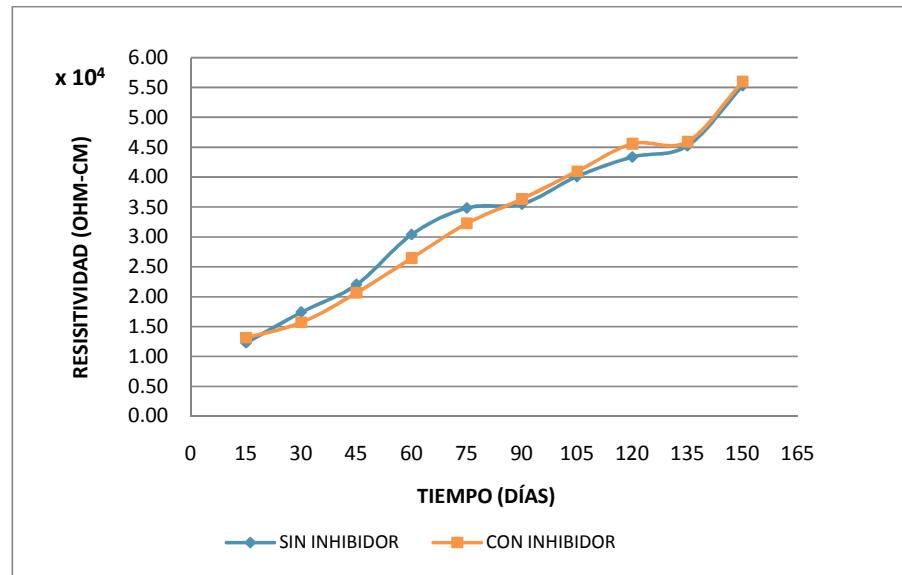


FIGURA 3.12 HORMIGÓN PUZOLÁNICO, AMBIENTE NATURAL

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye lo siguiente:

- 1) La resistividad eléctrica del hormigón presenta una tendencia creciente en el tiempo lo cual refleja el continuo proceso de curado que manifiesta el hormigón durante su etapa inicial. Si la resistividad eléctrica del hormigón tiende a aumentar, entonces la conductividad disminuye, por ende el riesgo a la corrosión también.
- 2) El hormigón puzolánico presenta una mejor resistividad eléctrica en relación con el hormigón portland tipo II.
- 3) El agente contaminante más agresivo son los iones cloruros, las probetas que fueron inmersas en solución salina presentan una resistividad eléctrica baja, por lo tanto, el riesgo de corrosión en este medio es más elevado.

- 4) El hormigón en condiciones normales tiene una resistividad eléctrica alta, por lo que su conductividad es baja, y el riesgo a la corrosión es mínimo.
- 5) El inhibidor de corrosión ocasionó que la resistividad eléctrica en los hormigones disminuya.

Se recomienda lo siguiente:

- 1) En el proceso de la elaboración de las probetas de hormigón es importante ser rigurosos con el tiempo de curado.
- 2) Es importante que las probetas sumergidas en cloruro de sodio estén totalmente sumergidas, y fuera interesante realizar pruebas con probetas que estén parcialmente inmersas en medio salino.
- 3) Al momento de elaborar las probetas, es importante considerar la relación agua/cemento, ya que la resistividad se ve afectada por este parámetro.
- 4) Se recomienda la utilización de un aditivo para mejorar la impermeabilidad del hormigón, con el fin de mejorar las

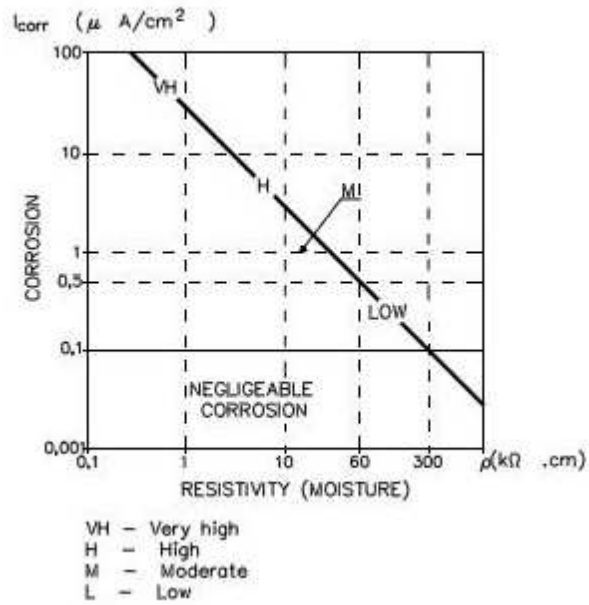
propiedades de la estructura y evitar filtraciones de agua, o de otro medio corrosivo.

- 5) Para futuros experimentos se recomienda realizar pruebas con otro tipo de hormigones, y emplear otro acero diferente al ASTM A42, por ejemplo A36.

APÉNDICES

APÉNDICE 1.- Relación general teórica entre los valores I_{corr} y de la resistividad ρ

CORROSION CURRENT-RESISTIVITY (MOISTURE) DIAGRAM



APÉNDICE 2.- Clasificación en Niveles de riesgo de corrosión en función de los valores de resistividad

Resistividad (k .cm)	Riesgo de Corrosión
>100-200	- Corrosión despreciable, hormigón muy seco
50 – 100	- Bajo
10 – 50	- Moderado a alto cuando el acero se corroe
<10	- La Resistividad no es el parámetro controlante de la velocidad de corrosión

APÉNDICE 3.- Resistividad del hormigón

<i>Resistivity</i>	<i>Corrosive potentiality</i>	<i>High risk</i>	<i>moisture</i>	<i>Cl or CO₂</i>	<i>Corrosion</i>	<i>Action</i>
$\rho \geq 200$ k Ω .cm	Low	No		-	Low	-
				No	Low	-
				Yes	Low-Medium	Monitoring
$\rho > 50$ k Ω .cm	Medium-Low	-		No	Low	-
				Yes	Low-Medium	Monitoring
$\rho > 10$ k Ω .cm	Medium	-		No	Low	-
				Yes	Medium-High	Monitoring
$\rho < 10$ k Ω .cm	High	-		No	Low-Medium	
				Yes	High	

Source. Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. DURAR. CYTED

BIBLIOGRAFÍA

1. Estudio de la Corrosión en barras de acero inoxidable en concreto contaminado por cloruros cuando se le aplican esfuerzos residuales, Publicación Técnica No. 287, Sanfandila, Qro 2006
2. Manual for assessing corrosión-affected concrete structures, Geotecnia y Cimientos S. A.
3. ESTEBAN ALEJANDRO ARVA, Corrosión de armaduras en homigón armado debido a factores medio ambientales, 2003.
4. Evaluación de la corrosividad del cemento conductor CELEC, Corporación para la Investigación de la corrosión, Junio 2007.
5. MANUEL D. VARELA, Curso teórico práctico sobre medición de puesta a tierra con telurímetro.
6. CARLOS PANCHANA, "Influencia del carboxilato de amina en la velocidad de corrosión del acero A42 en hormigones diseñados con cemento portland tipo II, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, ESPOL, 2010.