



## INSPECCIÓN Y MONITOREO POR CORROSIÓN A ESTRUCTURAS EXPUESTAS EN AMBIENTES SECOS

F. Almeraya Calderón<sup>1</sup>., J. G. Chacón N.<sup>1</sup>., A. Borunda T<sup>1</sup>., V. Orozco C<sup>1</sup>., J. Lugo C<sup>1</sup>.,  
O. López G<sup>1,2</sup>., J. González<sup>1,2</sup>., F. Estupiñan L<sup>1</sup>., J. Castañeda A<sup>1,2</sup>.,  
A. Martínez Villafañe<sup>1</sup>, C. Gaona Tiburcio<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>**Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S. C**

Departamento de Integridad y diseño de Materiales Compuestos/ Grupo Corrosión  
Miguel de Cervantes # 120, Complejo Industrial Chihuahua. Chihuahua, Chih., México.

<sup>2</sup>**Universidad Autónoma de Chihuahua**

Facultad de Ingeniería. Chihuahua. México

E-mail: [facundo.almeraya@cimav.edu.mx](mailto:facundo.almeraya@cimav.edu.mx)

### RESUMEN

En el presente trabajo se llevo a cabo realizando una inspección y monitoreo por corrosión en una estructura de concreto reforzado (Silos y Molino de trigo), expuesta en un ambiente seco. Las técnicas empleadas en el estudio fueron: *Resistencia a la Polarización Lineal* en lo que respecta a la cinética y *Medición de Potenciales* para la parte termodinámica; así como la medición de la *Resistividad del suelo* en diversas zonas de la estructura. La estructura cuenta con 12 Silos de 24 m de altura y un edificio de 4 niveles donde se realizan las operaciones de molienda de trigo. Adicional a las pruebas de corrosión se realizaron análisis por carbonatación y % de cloruros. Se llevo a la conclusión que los potenciales de corrosión representan un 10% de probabilidad y el nivel de corrosión es considerado despreciable. El concreto de la estructura es muy resistivo, tiene una profundidad de carbonatación elevada y el 5 de cloruros es muy bajo.

**Palabras Clave:** Corrosión, Monitoreo, Estructuras, Carbonatación, Cloruros.

### 1. INTRODUCCIÓN.

El concreto armado es uno de los materiales más usados en la construcción, para la elaboración de muchas estructuras como pueden ser [1]:



- Elementos estructurales de edificación e Infraestructura.
- Puentes de concreto.
- Muros de contención.
- Uso Concreto armado en Túneles.
- Pavimentos Rígidos.
- Obras de drenaje.
- Presas.
- Silos de concreto armado.
- Tanques de concreto armado para almacenamiento.

Hoy en día en México los diseños de dichas estructuras se basan en mecanismos de fallas dúctiles generados por distintos esfuerzos en las estructuras. Sin embargo, dichas estructuras están sometidas otros factores distintos a los que fueron diseñadas, los cuales de una u otra forma afectan en la vida útil de la misma, deteriorando tanto el concreto como el acero que la componen.

El desconocimiento de cómo afectan estos factores a la estructura puede conducir a problemas críticos de corrosión y degradación en el interior concreto armado, lo que puede producir daños irreparables como pueden ser [2-3]:

- Grietas.
- Vibraciones.
- Deformaciones.
- Colapsos.

Es importante tener conocimiento algunos de los distintos factores que pueden afectar la vida útil de una estructura de concreto, y los daños producidos pueden ocasionar grandes pérdidas económicas, humanas y materiales.

El objetivo de este trabajo fue realizar una Inspección, Evaluación y diagnóstico de Corrosión en estructuras de concreto reforzado (Silos y Molino de trigo), en Navojoa, Sonora.; empleando técnicas electroquímicas de resistencia a la polarización y potenciales de corrosión así como pruebas químicas como carbonatación y % de cloruros..

## 2. METODOLOGÍA

El alcance de este trabajo se basó en inspeccionar la estructura a evaluar y definir los sitios a evaluar, posteriormente se realizaron pruebas de corrosión y químicas en las zonas de interés acordadas con la empresa afectada. Los trabajos se realizaron en un molino de Trigo ubicado en Navojoa, Sonora, el cual cuenta con 12 silos de 24 m de altura y un edificio de molienda de cuatro pisos; se acordó evaluar solo los silos Silo 6 y 12 (solo exterior), Silo 7 (interior e exterior), Sótano del Edificio de Molienda, Nivel cero (planta baja lado Este), Piso 1 y 3 del Edificio de Molienda, Pared de las Nodrizas (lado Este y Oeste) y zona de Galerías.

Las técnicas de evaluación fueron:

- Mapeo de potenciales de corrosión ASTM C876
- Técnica de resistencia a la polarización, Rp. ASTM G59
- Determinación de Cloruros y Carbonatación
- Medición de pH del concreto.
- Resistividad del concreto. ASTM G57

## 3. RESULTADOS

### Inspección a la estructura:

Durante la inspección de los silos y edificio de molienda, se encontró que hay zonas con deterioros que se atribuyen a la mala calidad del concreto así como algunos puntos donde se tiene la presencia de corrosión (ver foto 1).

Observaciones encontradas durante la inspección a la estructura:

- En los diferentes niveles del edificio de molienda, se revisaron columnas y trabes y no se observó algún deterioro importante.

- En el Sótano del Edificio de Molienda no se observa deterioro en columnas y trabes, excepto en un muro en la zona más baja del Sótano, en dirección oeste. En este muro se observa una mala calidad del concreto y corrosión en la varilla de acero.



Muro del edificio de Molienda  
Lado Este Cerca de Falla



Muro en la parte alta del edificio de molienda



Techo de Galerías



Sótano lado Oeste

**Foto1.** Deterioros encontrados durante la inspección

- En la zona de galerías, se observó al final de la misma, sobre el techo un deterioro en el concreto donde se observan desprendimientos y corrosión en la varilla de acero.

- En lo que respecta a los silos, se observa que algunos de ellos presentan agrietamientos en la superficie y no se observa una corrosión visible sobre los mismos. Lo que si se pudo observar es que la calidad del concreto no parece ser muy buena como consecuencia de la edad de los silos
- En las zonas más altas del edificio de molienda y de los silos se observó deterioro en la superficie del concreto, donde se observan agrietamientos, desprendimientos y corrosión del acero

#### Potenciales de Corrosión:

La interpretación de los potenciales de corrosión se realiza con base a la norma ASTM C-876 [3] ver tabla 1.

Potencial $E_{\text{corr}}$ (mV)	Riesgo de Daño
< -200	10 % de probabilidad de corrosión
-200 a -350	Cierta incertidumbre
> -350	90 de probabilidad de corrosión

**Tabla 1.** Potenciales de corrosión con base a ASTM C-876

El análisis de los diagramas de isopotenciales obtenidas durante el monitoreo por corrosión al Edificio de Molienda y Silos, se realizó de acuerdo a los criterios de evaluación establecidos por la norma ASTM C-876 y a criterios establecidos por organismos internacionales como el DURAR [4].

Los Silos y edificio de molienda presentan de manera general potenciales de corrosión entre -100 y +200 mV, lo que representa que de acuerdo con ASTM C-876, se tiene un 10% de probabilidad de corrosión y bajo los criterios de DURAR representa una corrosión uniforme y con un riesgo de daño bajo.

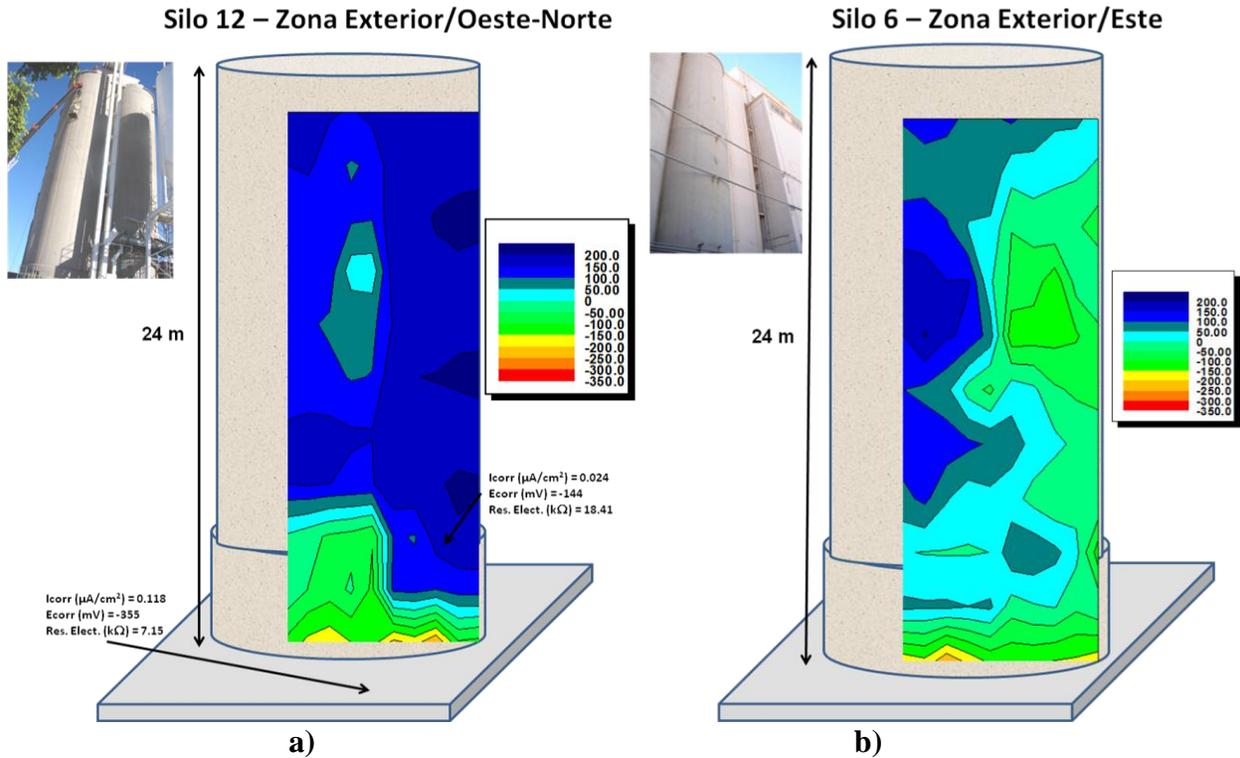


Foto 2. Diagramas de Isopotenciales (Potenciales de corrosión):  
 a: Silo 12 Lado Oeste y b) Silo 6 Lado Este

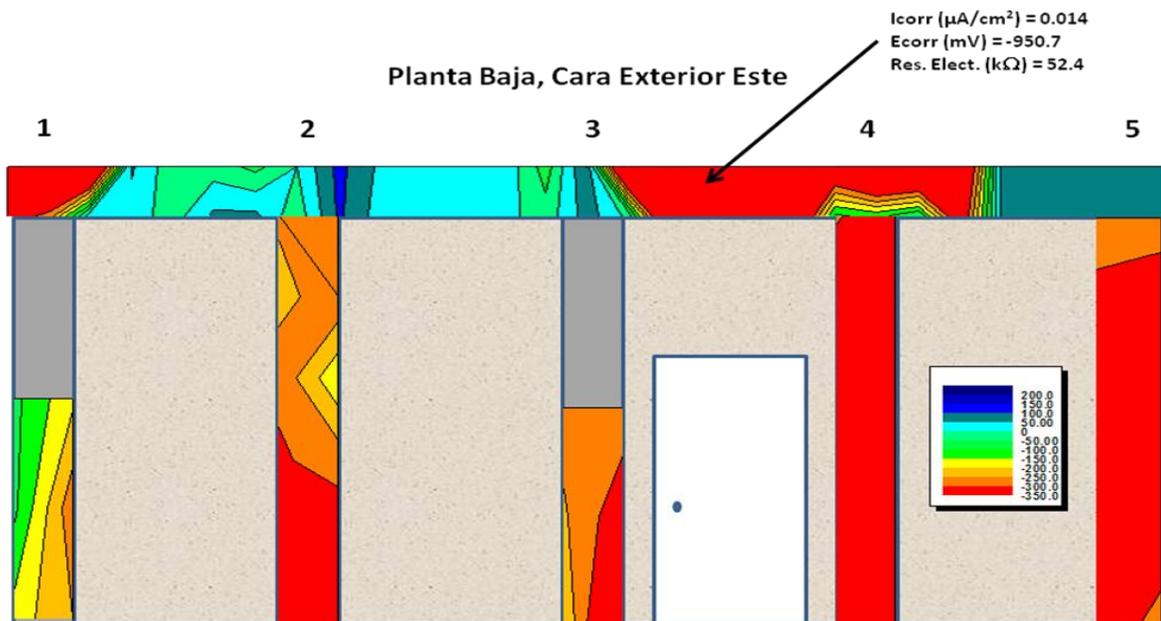


Foto 3. Diagramas de Isopotenciales (Potenciales de corrosión)- Edificio de Molienda Nivel 0.0 m  
 Planta Baja, Lado Este

Velocidad de Corrosión:

La medición de la velocidad de corrosión se realizó con el Gecor 6 y la interpretación de la velocidad de corrosión es en base a la  $i_{\text{corr}}$ .

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

**Tabla 2.** Interpretación de la  $i_{\text{corr}}$  de corrosión en concreto (DURAR) [4].

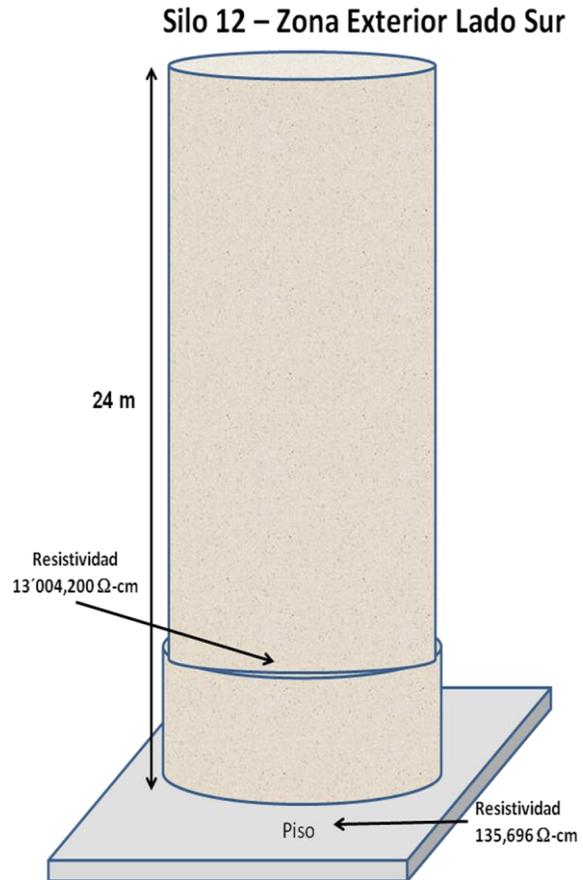
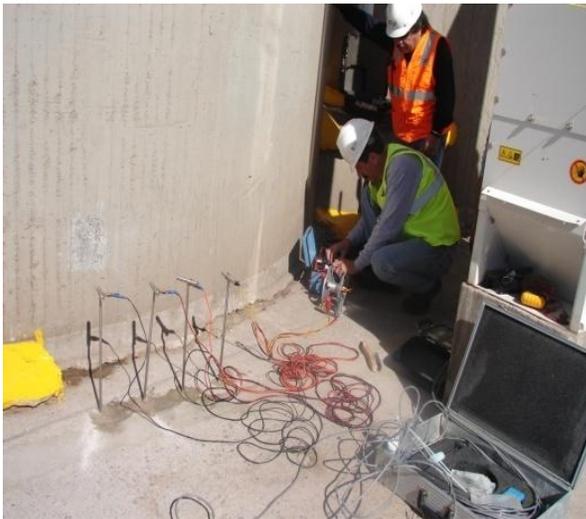
El nivel de corrosión es considerado despreciable, de acuerdo a los valores de la velocidad de corrosión, ya que esta dentro del intervalo de  $\leq 0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  en la mayoría de todos los sitios; excepto el Nivel 0.0 (piso) cercano al silo 12, donde se tuvo un nivel de corrosión moderado por encontrarse en un intervalo de  $0.1 - 0.5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ .

Sitio	$E_{\text{corr}}$ (mV)	$I_{\text{corr}}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	Nivel de Corrosión
Silo 12 – Exterior/Oeste-Sur nivel 2 m	-144	0.024	Despreciable
Silo 12 – Zona Exterior/Oeste-Sur En el Piso	-355	0.118	Moderado
Nodriza– Zona Este A 2 m de altura	34	0.004	Despreciable
Nodriza– Zona Este ( 4 m de altura)	150	0.009	Despreciable
Silo 12-1. Zona Exterior Columna Lado Oeste	-97.1	0.019	Despreciable
Silo 12-1 Zona Exterior, Columna Lado Este	-71.4	0.007	Despreciable
Sótano, Lado Oeste	-131	0.014	Despreciable
Planta Baja, Cara Exterior Este	-950.7	0.014	Despreciable
Piso 3. Columna 3, Lado Este	-873.7	0.008	Despreciable
Piso 1. Columna 3. Lado Oeste	-819.4	0.042	Despreciable

**Tabla 3.** Valores de Velocidad de corrosión en diversos sitios del Molino San Cristóbal.

Resistividad del Concreto:

El concreto de la estructura en general, tiene la característica de ser muy resistivo y los valores de resistividad están en  $135\,696\ \Omega\text{-cm}$  y  $13\,004\,200\ \Omega\text{-cm}$ . Estos valores obtenidos representan que se tiene un concreto muy poco corrosivo ya que valores mayores a  $10,000\ \Omega\text{-cm}$  tienen esta característica [4].

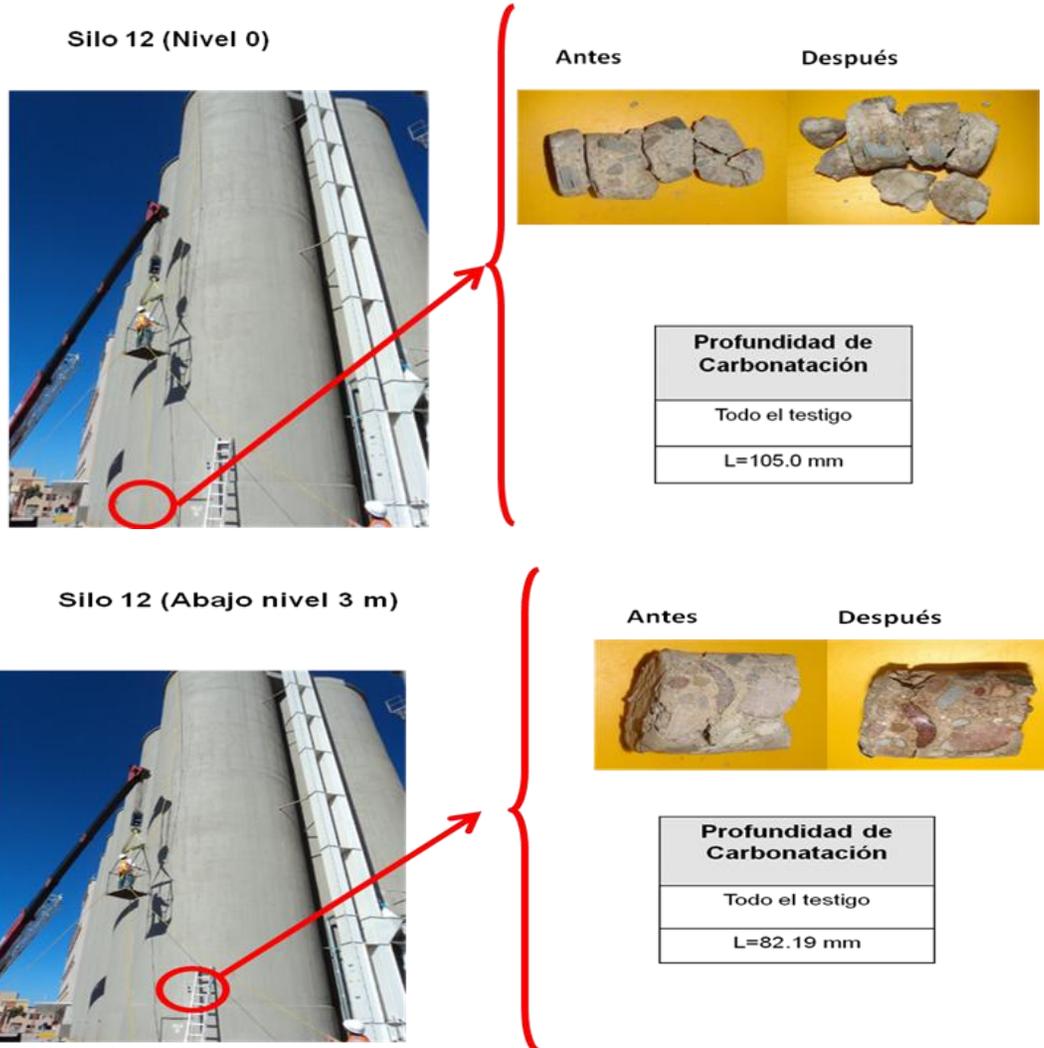


**Foto 4.** Resistividad del concreto por el método Wenner de los cuatro puntos [4].

Carbonatación:

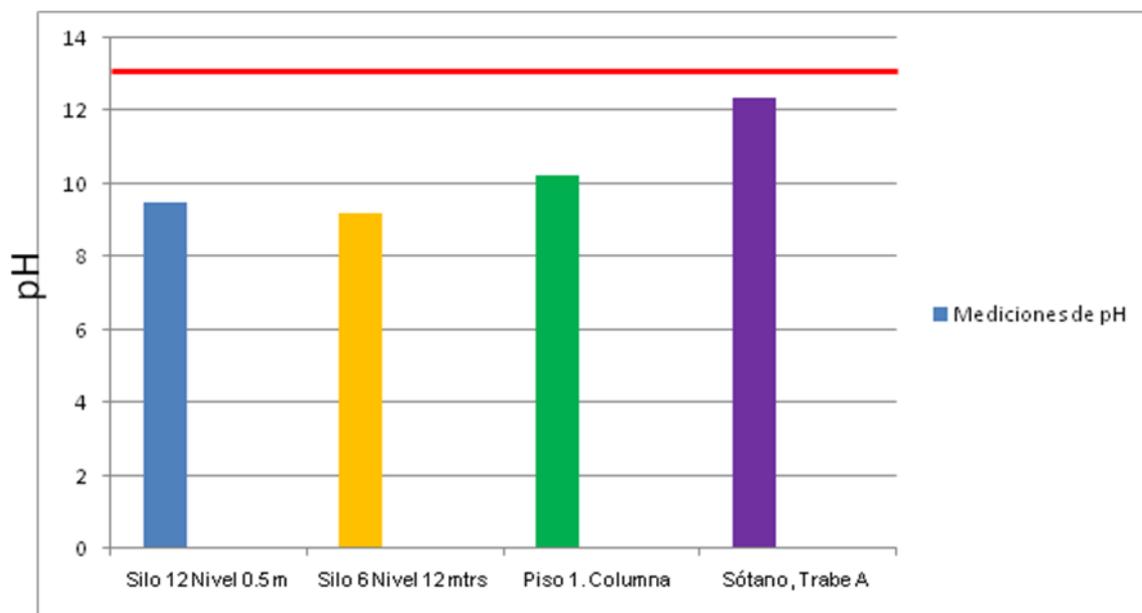
La profundidad de carbonatación obtenida (por medio del método de la fenolftaleína) de los testigos evaluados en diferentes zonas y alturas de la estructura, presenta problemas de carbonatación. Estos resultados indican que el concreto ya no cuenta con propiedades adecuadas para detener los agentes agresivos del ambiente. De acuerdo a los valores de pH obtenidos en algunas muestras de concreto indican una disminución de pH 13 a pH 8-9.

En la foto 5 se puede observar los testigos obtenidos del silo 12 a nivel 0.0 y 3.0 m, donde la profundidad de carbonatación es total de la muestra, lo cual indica que el concreto ya perdió su alcalinidad.



**Foto 5.** Testigos para Carbonatación- Silo 12

En la gráfica 1, se puede observar como el valor del pH de la estructura a disminuido en diferentes sitios de la estructura lo cual corrobora las pruebas de carbonatación donde los testigos están totalmente carbonatados.



Gráfica 1. Valores de pH en diversos sitios de la estructura evaluada

#### Porcentaje de Cloruros:

Los valores obtenidos de los cloruros en los diferentes sitios de la estructura, no rebasan no rebasan el 0.15 % de los mismos. Por lo cual la estructura no es afectada por este tipo de agentes corrosivos.

#### 4. CONCLUSIONES

- En términos de “durabilidad” la estructura se encuentra en condiciones desfavorables para desempeñar las funciones para las que fue construida por estar carbonatada.
- Los potenciales de corrosión de acuerdo con ASTM C-876, se tiene un 10% de probabilidad de corrosión y bajo los criterios de DURAR representa una corrosión uniforme y con un riesgo de daño bajo.
- El nivel de corrosión es considerado despreciable, ya que esta dentro del intervalo de  $0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  en la mayoría de todos los sitios.
- El concreto de la estructura evaluada, tiene la característica de ser muy resistivo, por lo cual es un concreto muy poco corrosivo.

- La profundidad de carbonatación obtenida de los testigos indican que la mayoría de las estructura, presenta problemas de carbonatación, por lo cual ya perdico su alcalinidad.
- Los valores de pH corroboran las pruebas de carbonatación, ya que se tiene una disminución del mismo a valores entre 8 y 9.
- Los valores obtenidos del % de cloruros no rebasan el 0.15 %.

## 5. REFERENCIAS

1. Castro B. P y Sanjuán B. M.A. Acción de los agentes químicos y físicos sobre el concreto. IMCYC Primera Edición 2001. pp. 1-2.
2. Andrade C. (1989). “*Manual-Inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras,*” Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, España.
3. Keer J. G. (1992). Surface treatments. En “*Durability of Concrete Structures- Investigation, repair, protection,*” Mays G. (Editor), E&F Spon, Londres, Reino Unido, pp. 143-157.
4. ASTM C-876 (ASTM C876-91 (reapproved 1999) Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete)
5. DURAR (Manual de Inspección, Evaluación y Diagnostico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado. DURAR Red Temática XV.B Durabilidad de la Armadura. CYTED, (1997).
6. ASTM Standard G 57. “Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method”