



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL  
**PIRHUA**

# EVALUACIÓN DE LA CORROSIÓN EN POSTES DE CONCRETO ARMADO DE LA URBANIZACIÓN LOS TALLANES

Oswaldo Víctor Seminario Vega

Piura, 01 de Diciembre de 2003

FACULTAD DE INGENIERÍA

Área Departamental de Ingeniería Mecánico-Eléctrica

Diciembre 2003



Esta obra está bajo una [licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

**UNIVERSIDAD DE PIURA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Programa Académico de Ingeniería Mecánica - Eléctrica**



**“Evaluación de la Corrosión en Postes de Concreto  
Armado de la Urbanización los Tallanes”**

**Tesis que presenta el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería**

**Oswaldo Victor Seminario Vega**

**Para optar el Título de INGENIERO MECÁNICO-ELÉCTRICO**

**Asesora: Dra. Ing<sup>o</sup> Rosalba Guerrero Aslla**

**Piura, octubre 2003**

*A mis padres*

*Oswaldo y Rocío*

## PRÓLOGO

En la provincia de Piura se tienen instalados alrededor de 20,500 postes de concreto armado centrifugado, los mismos que están expuestos a una serie de fenómenos naturales, tales como la corrosión del concreto y de la armadura de los mismos, exposición atmosférica, humedad, radiación ultravioleta, etc. Hasta la fecha, se tienen reportes de corrosión de las armaduras de los postes en un número de 1339 postes; los mismos que se encuentran distribuidos en toda la Provincia de Piura y pertenecen a las redes primarias, secundarias y de alumbrado público.

La urbanización Los Tallanes, fue escogida para estudiar los factores causales de la corrosión; ya que en ésta se tienen antecedentes de caída de postes y cambios de estos, por problemas de deterioro del concreto armado en la base de los postes. En esta urbanización, se ha encontrado en un breve recorrido 290 postes de baja tensión con problemas de corrosión, de los cuales 125 se encontraron en muy mal estado (esto representa aproximadamente el 50% con problemas de corrosión y el 41% de ellos en estado alarmante).

En un país como el nuestro, que cuenta con una amplia zona costera, donde los problemas de durabilidad de los postes CAC son cada vez más notorios, es importante la inclusión de los conceptos del mecanismo de corrosión y técnicas para la protección del concreto reforzado. Con la finalidad de entender la necesidad de darle la resistencia química al poste, si así lo condiciona el medio donde va ser ubicada la estructura.

El tema tiene como finalidad realizar un breve estudio del grado de corrosión, que sufren los postes de concreto armado centrifugado, instalados en la urbanización Los Tallanes-Piura; así como elaborar las recomendaciones, técnicas y prácticas de los procedimientos y métodos utilizados para evaluar la corrosión. Así mismo, definir los procedimientos, métodos de reparación y protección de acuerdo a normas, estándares y caso práctico.

Para finalizar, deseo expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible el presente trabajo, en especial a mi asesora Dra. Ing. Rosalba Guerrero Aslla, al Ing. Osby García Saldarriaga y al técnico Eduardo Mejía; quienes colaboraron con su experiencia y conocimientos en el presente estudio, el cual espero sirva como referencia para la complementación de la NTP 339-027. Asimismo, agradezco a la Universidad de Piura por brindarme todas las facilidades para el desarrollo de esta tesis y por la formación integral que me brindó en los años de estudio.

## **R E S U M E N**

El objetivo principal del presente estudio es identificar la causa del problema de corrosión del concreto armado en la base de los postes CAC, para proponer métodos adecuados de reparación para los postes corroídos y métodos de prevención de la corrosión en la elaboración de los postes, que se instalaran en un medio corrosivo. Estos métodos son evaluados tanto técnica como económicamente.

Se hizo la evaluación del terreno en la Urbanización Los Tallanes, ya que esta zona posee más del 80% de sus postes CAC corroídos. Con la finalidad de encontrar los factores promotores del problema y de manera comprobatoria se evaluó el concreto y la armadura de los postes dañados.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación, se concluye que los postes deberán protegerse ante la carbonatación y la intrusión de iones cloruros y sulfatos en el concreto. Proponiendo la complementación de la norma de fabricación de poste CAC en el Perú (NTP 339-027), con los métodos de prevención de la corrosión, para postes que se ubicarán en un medio corrosivo.

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1. COSIDERACIONES TEÓRICAS</b> .....	3
1.1 Características del concreto como material de construcción .....	3
1.1.1 Cambios de volumen .....	9
1.1.2 Ventajas y desventajas del concreto como material de construcción .....	9
1.2 Método de estudio de un proceso corrosivo .....	10
1.3 Pasividad.....	10
1.4 Corrosión en el concreto y sus armaduras .....	11
1.4.1 Variables que afectan la corrosión .....	14
1.2.4 Factores electroquímicos que afectan el proceso de corrosión .....	15
1.2.4.1 Influencia de los factores físicos ambientales.....	15
1.2.4.2 Influencia de los factores químicos .....	16
<b>2. ANÁLISIS DE LAS CAUSAS DE CORROSIÓN EN POSTES CAC</b> .....	17
2.1 Criterios de evaluación.....	17
2.1.1 Morfología de la corrosión que sufren las armaduras .....	18
2.1.1.1 Corrosión localizada .....	18
2.1.1.2 Corrosión por picaduras.....	19
2.1.1.3 Corrosión por macroceldas .....	20
2.1.2 Por tipo de terreno .....	21
2.1.3 Por causas ocasionadas por terceros.....	22
2.1.4 Por causas mioambientales .....	24
2.1.4.1 Efecto de Carbonatación .....	24
2.1.4.2 Efecto de la penetración de Sulfatos .....	25
2.1.4.3 Efecto de la penetración de Cloruros.....	26
2.1.4.4 Efecto de la aireación diferencial .....	27
2.1.4.5 Efecto de las fisuras.....	28
2.1.4.6 Otros factores de corrosión .....	28

<b>3. ANÁLISIS DE DAÑOS EN POSTES CAC DE LA URBANIZACIÓN LOS TALLANES.....</b>	<b>29</b>
3.1 Métodos fabricación y preparación de postes CAC.....	29
3.2 Criterios a tener en cuenta para la evaluación de daños en los postes CAC de la Urb. los Tallanes.....	32
3.3 Muestreo.....	33
3.3.1 Evaluación del terreno .....	33
3.3.2 Evaluación del concreto.....	39
3.3.3 Evaluación de las armaduras .....	44
3.3.4 Medidas de potencial .....	46
3.4 Resultados y análisis de datos .....	54
<b>4. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LOS DAÑOS CAUSADOS POR CORROSIÓN EN LOS POSTES CAC.....</b>	<b>56</b>
a. Comprobación de los esfuerzos normales .....	56
4.1.1 Por peso de la estructura .....	58
4.1.2 Por peso del instrumental y las fuerzas de tensión de los conductores y retenidas.....	58
4.1.3 Por flexión debido a la fuerza del viento .....	60
4.2 Análisis de pandeo en la estructura .....	62
<b>5. MÉTODOS DE REPARACIÓN DE POSTES CAC CORROÍDOS.....</b>	<b>65</b>
5.1 Método de colocación de cono truncado de concreto en la base del poste .....	69
5.1.1 Análisis de la factibilidad del método.....	70
5.2 Método de aplicación de un sellador en la parte inferior del poste, luego de la reparación.....	73
5.2.1 Análisis de la factibilidad del método .....	74
3.4 Ventajas y desventajas de los métodos de reparación .....	77
<b>6. RECOMENDACIONES A TENER EN CUENTA PARA LA ELABORACIÓN DE UN POSTE CAC.....</b>	<b>79</b>
6.1 Recomendaciones para el control de corrosión .....	79
6.1.1 Selección de materiales del concreto.....	80
6.1.2 Aditivos químicos para mezcla (Admixtures).....	81
6.1.3 Tratamientos especiales del concreto .....	84
6.1.4 Recubrimiento del acero de refuerzo .....	86

<b>7. RECOMENDACIONES A TENER EN CUENTA PARA LA ELABORACIÓN DE UN POSTE CAC.....</b>	<b>87</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>.92</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>.96</b>

## INTRODUCCIÓN

Los postes de concreto armado centrifugado son los más utilizados en las sociedades industrializadas. Sus propiedades mecánicas y su poca necesidad de mantenimiento los han hecho los más competitivos entre otros postes de diferente material. Sin embargo, en ambientes muy agresivos; su durabilidad se acorta debido a la corrosión, tanto de la armadura del acero, así como del concreto mismo del poste.

Por este motivo, el presente trabajo tiene como objetivo principal evaluar los problemas de corrosión en la base de sus postes CAC en una zona de Piura, para determinar los motivos del ataque por corrosión, con el objetivo de desarrollar métodos de reparación, para los postes dañados; y métodos de prevención de la corrosión, para evitar un futuro deterioro en aquellos que pudieran ser instaladas en un medio que presente considerable contenido de agentes agresivos para el concreto armado.

Esta tesis se ha desarrollado en siete capítulos, los cuales describiremos muy brevemente a continuación. En el primer capítulo enumeraremos las principales características y propiedades del concreto sano sin contaminantes o agentes agresivos externos, tales como la durabilidad, resistencia y trabajabilidad; así como sus ventajas y desventajas frente a otros materiales de construcción.

En el segundo capítulo se trata sobre la corrosión de las armaduras de acero embebidas en concreto y la corrosión del concreto, especialmente frente a la presencia de cloruros y sulfatos; el proceso de estos fenómenos, sus agentes y los efectos en las estructuras.

En el tercer capítulo se expone la parte experimental y la metodología de la evaluación de la zona escogida para llevar a cabo el estudio. En un inicio se habla de manera general del proceso de elaboración de postes CAC; posteriormente se evalúa el terreno de la zona, el concreto de los postes y las armaduras de los mismos; se hace mención a los tipos de ensayos realizados, la evaluación de los resultados de los análisis químicos del terreno y del concreto, y se explica también la condición actual de la estructura por medio de la medición de los potenciales de corrosión de las armaduras de los postes muestreados.

En el cuarto capítulo se presenta un análisis estructural de los postes atacados por corrosión. En éste analizaremos los esfuerzos ocasionados en la zona dañada del poste CAC, provocados por fuerzas del propio peso de la estructura, fuerzas externas y por la fuerza del viento. Se verá una evaluación de la estructura por pandeo y una clara disminución de la resistencia del poste en su zona deteriorada.

En el quinto capítulo se presenta la elaboración de dos métodos de reparación de postes CAC atacados por corrosión; a los cuales se les evalúa su factibilidad y su efectividad; mostrándonos las ventajas y desventajas de cada método, concluyendo en cuál de éstos es el mejor.

En el sexto capítulo se exponen varios métodos de prevención de la corrosión del concreto armado de los postes, que pudieran ser instalados en un medio agresivo. En el desarrollo de estos métodos se expone el mecanismo de protección, los costos que involucran la aplicación de éstos, y referencias del uso actual de dichos mecanismos de protección.

En el séptimo y último capítulo, se detallan los factores que intervienen en la selección de un mecanismo de prevención de la corrosión del concreto armado de los postes CAC.

Para finalizar, se enumeran las conclusiones y recomendaciones obtenidas a partir de la parte experimental, la elaboración de métodos de reparación y la exposición de métodos de prevención de la corrosión.

# I. CONSIDERACIONES TEORICAS

## 1.1. Características del concreto como material de construcción

El conocimiento del concreto como material es importante para comprender adecuadamente la corrosión del concreto armado ante la presencia de agentes agresivos tales como los iones cloruro u otros, motivo por el cual se hace necesario brindar información básica sobre el concreto.

El concreto es una mezcla, en proporción requerida, de cemento, agregado fino, agregado grueso, agua, aire (como resultado de las operaciones propias del proceso de puesta en obra), y eventualmente aditivos. Es un material temporalmente plástico que puede colarse o moldearse y, más tarde, se convierte en una masa compacta (concreto endurecido) por acción química entre el cemento y el agua.

Estructuralmente el concreto presenta tres fases perfectamente definidas:

- *Constituyente matriz.*- Es el enlazador. Es una pasta formada de cemento, agua y aire. Ordinariamente, la pasta constituye aproximadamente del 25% al 40% del volumen total de concreto<sup>1</sup>. Las funciones de la pasta son la de dar resistencia mecánica y lubricar los agregados. De la preparación de esta depende la cantidad de espacios vacíos distribuidos por toda la pasta de cemento endurecida. Los espacios vacíos ó poros se presentan en distintos tamaños y de forma irregular. La porosidad es una propiedad inherente del concreto, que se debe al exceso de agua necesaria para la hidratación del cemento y que al evaporarse deja una red de capilares y poros microscópicos.
- *Constituyente disperso.*- Es el llenador. Son los áridos que por conveniencia se separan en agregado fino y agregado grueso. El agregado constituye aproximadamente

---

<sup>1</sup>Atoche Pacherres, Miguel Ángel. Análisis de la corrosión del concreto por ataque de sulfatos. Tesis Ingeniería Industrial. UDEP. Facultad de Ingeniería. 1987, p. 3.

del 60% al 80% del volumen total del concreto<sup>2</sup> y, generalmente, provienen de rocas naturales comunes. La función de los agregados es dar alta resistencia mecánica, disminuir los costos del concreto y controlar los cambios volumétricos.

En consecuencia, el concreto es un material donde la matriz envuelve el disperso para luego adherirse entre sí. Cada partícula del agregado, así como el espacio entre las mismas está completamente lleno de pasta. Esto se puede comprobar al observar la estructura interna del concreto.

Las características del concreto pueden variar en grado considerable, mediante el control de sus ingredientes (calidad del cemento). Por lo tanto, para una estructura específica que va a trabajar en ciertas condiciones ambientales; resulta económico utilizar un concreto que tenga las características óptimas para esas condiciones. Entre las propiedades principales del concreto tenemos:

- ***Durabilidad***

Es una propiedad muy importante del concreto. La durabilidad es la propiedad que tienen las estructuras de concreto armado, de mantener sus condiciones de resistencia y servicio, para las cuales han sido proyectadas, a lo largo de su vida útil. Las estructuras de concreto están expuestas durante su vida útil al ataque químico y físico de diferentes agentes. La durabilidad del concreto variará entonces conforme tales factores sean más o menos agresivos, y también de acuerdo con las propiedades de sus componentes, la preparación de la mezcla y las condiciones de colado y curado que se hayan aplicado en su construcción, más que de la resistencia mecánica a la compresión del concreto (siendo esta propiedad de mucha importancia para la parte de resistencia mecánica).

Una durabilidad inadecuada se manifiesta inmediatamente, a través del deterioro físico y químico de la estructura de concreto. Este deterioro o disminución de su capacidad funcional, se debe básicamente por ataques de factores internos y externos que alteran la estructura como se mencionó anteriormente. Estos factores pueden clasificarse en tres grandes grupos: físicos, químicos y mecánicos.

Dentro de los factores mecánicos se encuentra el daño causado por el impacto de elementos duros, erosión o cavitación, la acción de las heladas en zonas frías que puede dañar gravemente el concreto, debido a la expansión del agua al congelarse generando fisuras en la estructura. Los factores químicos pueden ser diversos tales como el deterioro por reacción alcali - sílica, contaminación por ácidos y aceites, ataque por sulfatos. Sin embargo, el fenómeno más dañino desde el punto de vista de la durabilidad, es el de la corrosión de las armaduras (en el caso del concreto armado). Este fenómeno de origen electroquímico, tiene su origen en la disminución de la capacidad del concreto de proteger las barras de acero frente a la corrosión, esta disminución puede deberse a varios factores, pero los dos más importantes son la carbonatación y el ataque por cloruros.

La durabilidad también puede verse afectada por la forma y los moldes de la estructura, que influyen en el humedecimiento y el secado, así como por la variación de la temperatura. Esto tiene que ver especialmente con operaciones de centrifugado y curado,

---

<sup>2</sup> Ibid. p. 3

esta última afecta principalmente al concreto de recubrimiento del refuerzo. A continuación se describirá brevemente como influyen estas operaciones en la durabilidad del concreto.

El centrifugado, viene a ser la operación de verter la mezcla completa en un molde donde este gira con cierta velocidad, dependiendo de ésta la compactación.<sup>3</sup>

La compactación, es esencial para expeler todo el aire atrapado, para consolidar el concreto, reducir el riesgo de agrietamiento, así como para asegurar una buena adhesión tanto entre las capas de concreto colocado como con el acero de refuerzo, con el resultado de un elemento homogéneo. Este va a ser un factor importante para obtener reducida permeabilidad en el concreto.<sup>4</sup>

El curado es el proceso a través del cual ocurren las reacciones químicas necesarias, para la formación de la matriz del aglomerante en el concreto. Además comprende el tratamiento que se da a un concreto, mortero, etc., una vez colocado. Consiste en mantener húmeda la superficie para evitar la rápida evaporación del agua<sup>5</sup>. Aunque no constituyen un recubrimiento o protección permanente, los agentes de curado son de primordial importancia en la obtención de un concreto de buena calidad, puesto que las superficies de concreto no curados son inevitablemente más permeables, y por lo tanto, menos durables que las del concreto curado.

El curado, como ya se dijo anteriormente, afecta principalmente al concreto de recubrimiento del refuerzo o también llamado espesor de recubrimiento, y que por definición es el concreto que protege a la armadura contra la corrosión causada por el ingreso de agentes agresivos. Según la Red Iberoamericana XV.B DURAR, el concreto de recubrimiento viene a ser “la mínima distancia libre entre cualquier punto de la superficie lateral de una barra y el parámetro más próximo de la pieza”<sup>6</sup>, es decir, el espacio entre la superficie de concreto expuesta al medio ambiente y el punto más cercano a la armadura. Existen normas internacionales donde se especifican los valores adecuados de acuerdo a la agresividad ambiental, como se muestra en la **Fig. 1.1.1** Vale la pena recordar que el recubrimiento adecuado, en cuanto espesor y calidad, es necesario también para otros propósitos, como por ejemplo, para transferir las fuerzas en el refuerzo, para proporcionar al acero resistencia contra el fuego y para proveer un ambiente alcalino en la superficie del acero<sup>7</sup>; es por eso que el curado requiere una supervisión cuidadosa.

---

<sup>3</sup>Red Iberoamericana XV.B “DURAR” (Durabilidad de la Armadura). Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. CYTED, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo: Rio de Janeiro, 1997, p. 197

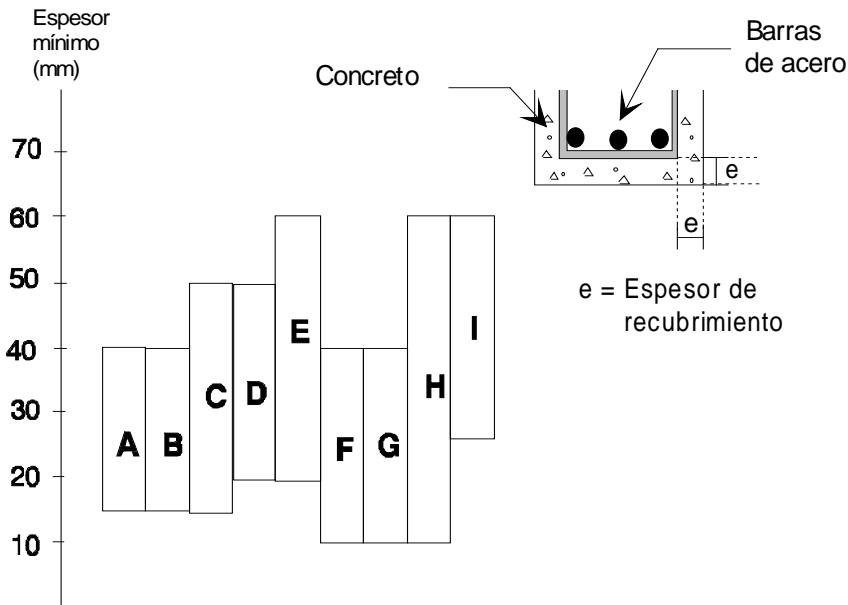
<sup>4</sup> Neville, Adam. “Mantenimiento y Durabilidad de las Estructuras”. En: Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto (IMCYC). Dic. 1998. <on line> [www.imcyc.com](http://www.imcyc.com)

<sup>5</sup> Red Iberoamericana XV.B “DURAR”. op. cit. , p. 198

<sup>5</sup> Red Iberoamericana XV.B “DURAR”. op. cit. , p. 198

<sup>6</sup> Red Iberoamericana XV.B “DURAR”. op. cit. , p. 199

<sup>7</sup> Neville, Adam. art. cit.



**Fig. 1.1.1.- Valores de espesor de recubrimiento de armaduras contempladas por las siguientes normativas: A) EH-88: España, B) Código Modelo: CEB, C) Eurocódigo n.º 2: Comunidad Económica Europea, D) pr ENB – 206 – CEN, E) BS 8810 – 1985: Inglaterra, F) BAEL- 83: Francia, G) DIN 1045- 1978: Alemania Federal, H) ACI – 318: USA I) JASS – 5 – 1986: Japón.<sup>8</sup>**

**Tabla 1.1.1.- Propiedades típicas de estructuras de concreto.**

Resistencia a la compresión	35 MPa
Resistencia a la flexión	6 MPa
Resistencia a la tensión	3 MPa
Módulo de elasticidad	28 Gpa
Relación de Poisson	0.18
Coefficiente de dilatación térmica	$10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Densidad: peso normal	2300 Kg/m <sup>3</sup>

Se deberá tener en cuenta que las propiedades del concreto pueden variar significativamente de las cifras dadas, dependiendo de la selección de los materiales y dosificación para una aplicación particular.<sup>9</sup>

### • Resistencia

La resistencia por si sola no puede utilizarse como un indicador de la durabilidad. Ahora se sabe, que para muchas condiciones de exposición de las estructuras de concreto,

<sup>8</sup> Andrade, C. Manual inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras. Programa temático del Consejo Superior de Investigaciones Científicas “Corrosión y Protección de Materiales”, Subprograma “Corrosión de Armaduras”. Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción: Madrid, 1988.p. 37

<sup>9</sup> Atoche Pacherras, Miguel Ángel. op. cit., p. 6.

*tanto* la resistencia *como* la durabilidad deben ser consideradas explícitamente en la etapa de diseño.

En efecto, los criterios de aceptación del concreto endurecido se basan casi exclusivamente en resultados de ensayos de resistencia de probetas moldeadas. Está claro que esos resultados nunca pueden representar la calidad de la capa superficial, por ejemplo, porque evalúan el comportamiento global de las probetas las que, además, se preparan y curan de una manera totalmente diferente de las condiciones reales en la estructura. Esa capa superficial debe proteger a las armaduras contra la corrosión inducida por la carbonatación o por ingreso de cloruros, y es también la más afectada por ataques químicos, congelación, etc.

Entre los principales factores que afectan la resistencia del concreto tenemos:

- Relación agua/cemento (a/c); es la de mayor influencia en la resistencia del concreto; cuanto mayor sea esta proporción menor será la resistencia.
- Calidad del cemento; el contenido de cemento en la mezcla afecta la resistencia del concreto; la resistencia disminuye conforme se reduce el contenido de cemento.
- Tipo de cemento; afecta la manera en que se desarrolla la resistencia y la resistencia final.
- Condiciones del curado; son vitales para el desarrollo de la resistencia del concreto, dado que las reacciones de hidratación del cemento solo ocurren en presencia de una cantidad adecuada de agua, se debe mantener la humedad en el concreto durante el periodo de curado.

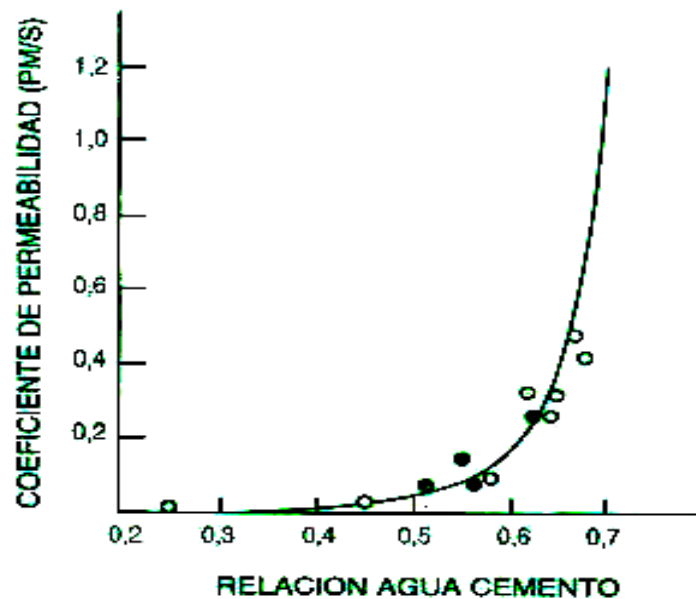
### • **Permeabilidad**

La permeabilidad del concreto es otra propiedad importante, ya que tiene efectos en la durabilidad (entre menos permeable sea el hormigón, los fenómenos de transporte son más lentos, incrementándose la vida útil de la estructura), resistencia y es probablemente el factor aislado más importante que incide en el proceso de corrosión en el hormigón armado puesto que, para un recubrimiento dado, la permeabilidad determina el grado de penetración de agentes agresivos desde el ambiente. A la vez, concretos de alta permeabilidad tendrán también baja resistividad.<sup>10</sup>

La permeabilidad del concreto está intrínsecamente relacionada con la relación agua/cemento, particularmente cuando ésta excede de 0.6, pues entonces la permeabilidad resultante crece de manera exponencial. En términos generales, las investigaciones al respecto coinciden en mantener la relación agua/cemento por debajo de 0.5 para condiciones moderadas de exposición, e incluso limitarla hasta 0.4 para condiciones muy severas, lo cual se refleja en la mayor parte de las normas y reglamentos vigentes.

---

<sup>10</sup> Girón Vargas, Humberto A. "Ataque por cloruros en el concreto". En: Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto (IMCYC), Octubre 1998. <on line> [www.imcyc.com](http://www.imcyc.com)



*Fig. 1.1.2.- Gráfico de Powers. Muestra la relación entre impermeabilidad y la relación a/c de la mezcla. La impermeabilidad es inversamente proporcional a la distribución y al volumen total de poros.<sup>11</sup>*

### • *Trabajabilidad*

La trabajabilidad es la facilidad o dificultad de mezclarse los materiales, manejarse, transportarse, centrifugarse y de dar un buen acabado con poca pérdida de homogeneidad. Es una propiedad importante del concreto fresco.

*Consistencia – cono de Abrams.*- Es el grado de humedecimiento de una mezcla o la fluidez que pueda tener. Ello hace que las mezclas puedan clasificarse en secas, plásticas y húmedas, de acuerdo a su menor o mayor cantidad de agua. La consistencia se relaciona, aunque no es sinónimo, con la trabajabilidad. La diferencia fundamental entre ambas es que la consistencia es una propiedad de la mezcla en sí misma y se determina por el grado de plasticidad; y la trabajabilidad es una propiedad que siempre es función de la colocación de la mezcla. Ello hace que concretos de la misma consistencia puedan variar en trabajabilidad.

La plasticidad es la facilidad del concreto a ser moldeado cuando está fresco.

<sup>11</sup> Alanis, Irene L.; Berardo, Lilita N.; Valentini, Cristóbal: Construcción Civil: Corrosión del acero en estructuras de hormigón armado. Guía Práctica de la Corrosión, CYTED, 1994, p. 7

### ***1.1.1. Cambios de volumen***

La expansión debido a las reacciones químicas entre los ingredientes del concreto pueden ocasionar pandeo y contracción, al secarse pueden ocasionar grietas. La expansión también se debe al calor de hidratación del cemento y a las elevadas temperaturas ambientales.

La contracción se da al secarse el concreto. El que un cambio en el volumen dañe el concreto, con frecuencia depende de las sujeciones y restricciones presentes.

#### **• *Deformación elástica***

Es una deformación que ocurre con carga constante durante un largo tiempo. La deformación del concreto continúa, pero con una rapidez que disminuye con el tiempo. Es más o menos proporcional al esfuerzo con cargas de trabajo y aumenta cuando se incrementa la relación a/c. Parte de la deformación se recupera al retirar la carga.

#### **• *Peso propio***

El concreto con arena y grava de peso normal aproximadamente, tiene una densidad de 2300 Kg/m<sup>3</sup> y, por lo tanto, se le debe considerar en el diseño de estructuras; aunque debe recordarse que este valor puede variar significativamente, puesto que depende de la selección de los materiales y del dosificado que requiera una aplicación particular.

### ***1.1.2. Ventajas y desventajas del concreto como material de construcción***

Entre las más importantes de ventajas y desventajas tenemos:

#### **Ventajas:**

- Alta relación resistencia – costo.
- Moldeable.
- Durable.
- Alta resistencia al fuego y a la penetración del agua.
- Confortable al calor.
- Propiedades estéticas.

#### **Desventajas:**

- Baja resistencia a la tensión.
- Baja ductilidad.
- Baja relación resistencia – peso.
- Inestabilidad en el volumen.

## *1.2. Métodos de estudio de un proceso corrosivo*

Para cualquier estudio fundamental de un proceso corrosivo debe conocerse:

- **Material** : Su composición, estructura atómica detallada, heterogeneidades macroscópicas y microscópicas.
- **Interfase material / medio corrosivo** : Formación y crecimiento de películas, disolución del metal y evolución gaseosa, disolución de la película, adsorción, etc.
- **Medio corrosivo** : Naturaleza química, concentración, presión, temperatura, velocidad, etc.

## *1.3. Pasividad*

Se refiere a la pérdida de reactividad química de ciertos metales y aleaciones bajo particulares condiciones en el medio que los rodea, de tal forma que algunos llegan a ser inertes, ejemplo: el hierro, níquel, silicio, cromo, titanio y sus aleaciones, zinc, cadmio, estaño, uranio y torio.

Aparentemente la pasividad es un caso especial de polarización por activación, debido a la formación de una película superficial ó barrera protectora, la cual permanece estable dentro de un considerable rango de poder oxidante y es destruida sólo en soluciones fuertemente oxidantes.

En el caso del hierro, esta película se forma porque el ión  $Fe_2^+$  disuelto, reacciona con otros iones presentes en el agua y se transforma en óxidos de hierro; formando la capa pasivante (un film de óxido férrico –  $Fe_2O_3$ ) lo suficientemente compacta para evitar que continúe el ataque en la superficie.

#### 1.4. Corrosión en el concreto y sus armaduras

El concreto confiere al acero una protección de doble naturaleza: por un lado, es una barrera física que lo separa del medio ambiente y por otro, el líquido encerrado en los poros del concreto es un electrolito que puede formar un óxido protector (pasivación) de forma duradera. Esta solución acuosa está constituida principalmente de iones  $OH^-$ , a los que se debe la alta alcalinidad; la cual con el contenido de oxígeno normal del ambiente en las estructuras aéreas, hace que el acero se recubra de una capa pasiva de óxidos muy adherentes, compactas, que lo preserva indefinidamente de cualquier signo de corrosión, mientras el concreto sea de buena calidad y no cambien sus características físico-químicas por acción del medio exterior.

El fenómeno de la corrosión del acero de refuerzo es causa frecuente de que las estructuras de concreto se deterioren prematuramente, aún cuando el concreto, por su alta alcalinidad con un pH promedio de 12.5<sup>13, 14, 15, 16</sup> y baja conductividad, suele ser un medio que proporciona buena protección al acero contra la corrosión, fundamentalmente por la presencia de una película pasivante microscópica de óxido, que evita su disolución anódica.

Las reacciones de hidratación que se llevan a cabo en el cemento durante el curado, son de gran interés e importancia ya que uno de los productos de éstas, se encuentra directamente relacionado con la protección que el concreto proporciona a las estructuras de acero reforzado. Los silicatos del cemento producen con el agua el principal cementante e hidróxido de calcio, cuya cantidad es generalmente suficiente para mantener el pH dentro de su valor promedio en la solución contenida en los poros del concreto, independientemente del contenido de humedad. Sin embargo, dentro de un esquema de ambiente agresivo, esta protección no es suficientemente eficaz y el fenómeno de corrosión se produce.

Si el pH disminuye a menos de 10 por la acción de efectos tales como la carbonatación, la corrosión puede iniciarse. El efecto de la carbonatación puede disminuir el pH a niveles de 8 ó 9, resultando en corrosión del acero, cuando están presentes la humedad y los iones cloruro disueltos en agua en niveles por encima de 0.2 por ciento relativos a la masa de cemento, lo cual acelera la corrosión.

Cabe destacar que, en opinión de diversos autores, la corrosión puede iniciarse por la acción de iones cloruro sobre el acero de refuerzo, aun en ambientes con un pH superior a 10 u 11, aunque estos casos se relacionan con cloruros presentes de origen en la mezcla por efectos de los agregados, el agua o los aditivos, debido a que en este caso los Cl<sup>-</sup> toman contacto inmediatamente con el acero de refuerzo. Los que penetran del exterior están

---

<sup>13</sup> Girón Vargas, Humberto A. art. cit.

<sup>14</sup> Ramírez Cruz, Elmer. Op. cit. p. 13.

<sup>15</sup> Gonzáles Fernández, J. A. Op. cit., p. 323.

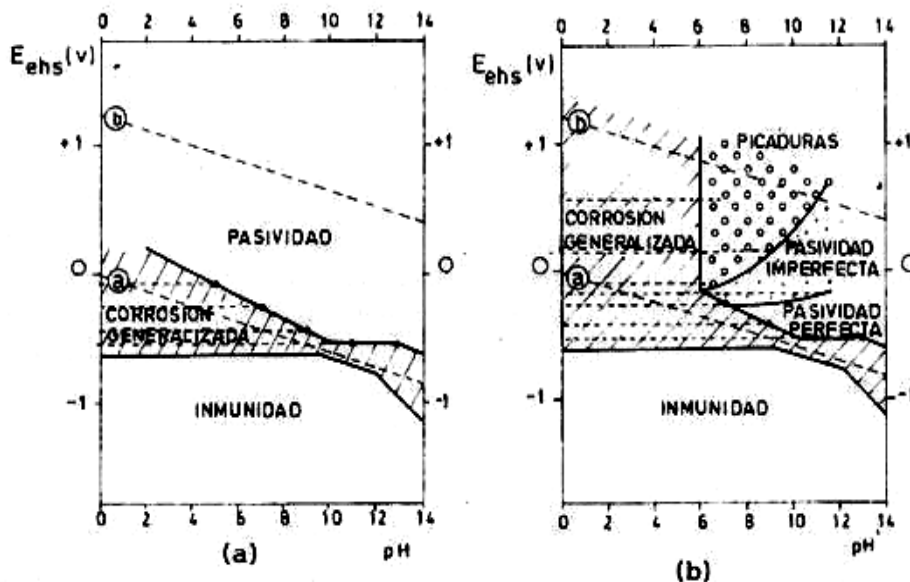
<sup>16</sup> Almeraya Calderón, F.; Gaona, Tiburcio C; y. Martínez Villafañe, A. "Monitoreo y control de la corrosión en estructuras de concreto". En: IMCYC. Octubre 1998. <on line> [www.imcyc.com](http://www.imcyc.com)

generalmente asociados con el proceso de carbonatación, el cual incide inmediatamente sobre los niveles de pH en el concreto <sup>17</sup>.

Los esquemas de la **Fig. 1.4.1** tratan de resumir los efectos que la introducción de cloruros provocan en las circunstancias de corrosión y pasivación del acero en medios tan básicos como los morteros de cemento y el concreto. Las distintas situaciones pueden representarse, para un único pH, que para el caso de morteros y hormigones se situará entorno a 13.

En ausencia de  $Cl^-$  se produce una pasividad estable **Fig. 1.4.1 a**. La presencia de  $Cl^-$ , destruye la estabilidad del estado pasivo para ciertos valores de potencial, dividiendo la zona de potencial en tres partes que son: de pasividad perfecta, de pasividad imperfecta o inestable y de picaduras (esquema de la **Fig. 1.4.1 b**), restringiendo sustancialmente el dominio de la pasividad perfecta.

La corrosión electroquímica de los elementos consiste básicamente en la conexión eléctrica o electrolítica entre un cátodo y un ánodo. En relación con el acero embebido en el concreto, las barras de refuerzo actuarán como un conductor eléctrico y el agua en los poros de la pasta actuará como electrolito, que es una solución capaz de conducir la corriente eléctrica por medio de un flujo de iones. Cualquier concreto húmedo, contiene suficiente electrolito para conducir una corriente que pueda causar corrosión. Durante el proceso de corrosión, el oxígeno es consumido y genera los productos de corrosión; el agua se necesita para permitir que el proceso de corrosión se mantenga y continúe.



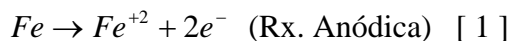
**Fig. 1.4.1.** – Comportamiento del hierro en soluciones exenta de cloruros (a) y en presencia de cloruros (b). Las líneas a y b representan, respectivamente, el equilibrio de descomposición del agua y de desprendimiento de hidrógeno.<sup>18</sup>

<sup>17</sup> Girón Vargas, Humberto A. art. cit.

<sup>18</sup> Red Iberoamericana XV.B “DURAR”. Op. cit. p. 26.

Las reacciones involucradas en el proceso de corrosión del acero son como sigue:

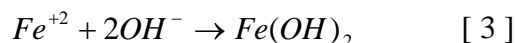
La reacción anódica en el cual el hierro se oxida a iones ferrosos:



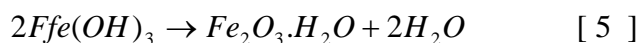
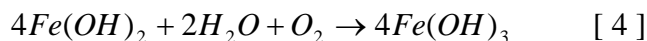
Los electrones fluyen a través del acero para combinarse con el oxígeno y el agua proporcionada por la humedad para formar iones hidroxilo. La reacción catódica en la cual el oxígeno se reduce a iones  $OH^{-}$  es:



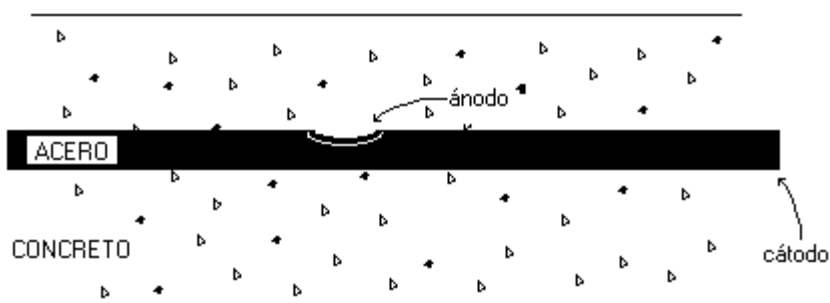
Los iones hidroxilo se combinan entonces con los iones ferrosos en el ánodo para formar hidróxido ferroso, la reacción en el ánodo es entonces:



Este hidróxido ferroso puede reaccionar para formar hidróxido férrico  $Fe(OH)_3$  y óxido férrico  $Fe_2O_3$  en presencia de agua junto con otras especies como podemos apreciar en las siguientes ecuaciones, que tienen lugar, también, en el ánodo:



La incidencia de estas reacciones es que los productos de corrosión ocupan un gran volumen en comparación con el acero original tal como lo indica la **Fig.1.4.2 y Tabla 1.4.1.**



**Fig. 1.4.2.- Esquema de microcelda formada sobre una barra de acero.**  
*Elaboración propia*

**Tabla 1.4.1 .- Volumen relativo de varios productos de corrosión.<sup>19</sup>**

Producto	Volumen Aprox.
Fe (original steel)	1.0
FeO	1.8
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	2.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.2
Fe(OH) <sub>2</sub>	3.6
Fe(OH) <sub>3</sub>	4.2
Fe(OH) <sub>3</sub> 3H <sub>2</sub> O	6.4

Vaysburd <sup>20</sup> cita a Brawne quien sostiene que la presión desarrollada por un incremento del volumen de los productos de corrosión es equivalente a una expansión radial entre 0.1 y 0.2 mm es suficiente para desarrollar grietas radiales a partir de las armaduras.

#### **1.4.1. Variables que afectan la corrosión**

La corrosión de las armaduras viene influenciada por las características del concreto, del acero que lo constituye y el medio circundante.

Las características del concreto que afectan a la corrosión pueden resumirse de forma muy esquemática de la siguiente manera:

- Permeabilidad del agua : Esta característica cuanto menor sea, más protegerá a las armaduras.
- Permeabilidad al aire : Igual al caso anterior.
- Absorción de agua : Igual al caso anterior.
- Grado de carbonatación : No será perjudicial mientras no afecte a la armadura.
- Difusividad de iones despasivantes (esencialmente  $Cl^-$  y  $SO_4^{-2}$ ) : Cuanto menor sea, más protege a las armaduras.

En cuanto a las características del acero, podría decirse que es más resistente cuando esté mejor y más homogéneamente protegido y cuanto menos solicitado mecánicamente sea y menores variaciones tengan estas solicitaciones.

<sup>19</sup> Schnerch, David A.: art. cit.

<sup>20</sup> Vaysburd, Alexander M. "Rehabilitation of an Elevated Roadway Bridge." Bridge Repair and Rehabilitation. American Concrete Institute Compilation 29, 1995: 15-20. cit. por Schnerch, David A. art. cit.

De cualquier forma, para que se llegue a producir la corrosión, se requiere que se den algunas circunstancias que afecten a la propia armadura, y que de manera muy somera, pueden resumirse en las siguientes:

- Debe existir un electrolito en contacto con ella.
- Debe existir una diferencia de potencial, que pueda originarse en distintas zonas de una misma armadura por diferencia de humedad, aireación o concentraciones salinas.
- Debe existir oxígeno, para la reacción catódica que oxide el hierro, absorbiendo los electrones liberados en su disolución, ocasionada por la diferencia de potencial.
- Pueden existir elementos corrosivos que faciliten las reacciones anteriores.

Si estos elementos se encuentran en el exterior, deben atravesar la capa de concreto de recubrimiento; este proceso se condiciona a la difusividad que permite el concreto, (los despasivantes más frecuentes son los iones  $Cl^-$  y  $SO_4^{2-}$ ). Por todo ello, las características del concreto de recubrimiento, condicionan en buena parte la posibilidad de originarse corrosión en las armaduras.

#### ***1.4.2. Factores electroquímicos que afectan el proceso de corrosión***

La velocidad de corrosión del acero en el concreto está gobernada por muchos factores diferentes entre sí; pero íntimamente relacionados.

##### ***1.4.2.1. Influencia de los factores físicos ambientales***

La permeabilidad del concreto al agua, oxígeno, dióxido de carbono e iones de cloruro, está regida por las propiedades físicas estructurales resultantes de los componentes empleados, como por la técnica de preparación.

La permeabilidad, sea de líquidos o de gases, no es una simple función de la porosidad, que depende del tamaño, distribución y continuidad de los poros.

La permeabilidad es función de la relación agua/cemento, de las condiciones de fraguado, dureza del concreto, tipo de agregados, mezclado, etc. Es entonces muy importante el factor de permeabilidad de la cubierta de concreto entre acero/medio corrosivo, regulada por el espesor mínimo para proteger de la corrosión.

El parámetro espesor es función del espesor mínimo. Entonces también podemos decir que el espesor es función de la permeabilidad.

Si por cualquiera de los factores anteriores, el concreto posee una gran permeabilidad, es posible que la alta alcalinidad de la interfase concreto/armadura de acero, disminuya por lixiviado de los hidróxidos alcalinos ( $Ca(OH)_2$ ,  $NaOH$ ,  $KOH$ ), haciendo perder las propiedades pasivantes del sistema.

### ***1.4.2.2. Influencia de los factores químicos***

La composición química y tipo de cemento en el concreto tendrán influencia sobre el fenómeno de corrosión de la armadura de acero y en el concreto, particularmente en presencia de iones cloruros ( $Cl^-$ ) y sulfatos ( $SO_4^{2-}$ ).

Estos iones tienen la misma naturaleza de ataque en la armadura y en el concreto. Siendo de mayor intensidad el ataque de los cloruros en la armadura y de los sulfatos en el concreto.

La acción agresiva de estos aniones deriva de su tendencia a promover la ruptura de la película de óxido pasivante en el Fe, dando lugar a alcanzar en las zonas afectadas, valores de potenciales de rotura ( $E_r$ ) y esto dando como resultado la corrosión por picaduras. Siendo de mayor intensidad el ataque de los cloruros que el ataque de los sulfatos.

Adicionalmente se sabe que en presencia de bacterias, ocurre un nuevo ataque para la película pasivante del Fe, ya que las bacterias comen sulfatos; así que comprobada la existencia de bacterias y sulfatos en el concreto, por un proceso metabólico en las bacterias los sulfatos se vuelven sulfuros y a su vez estos con el  $H_2O$ , forma el ácido sulfhídrico; siendo esta solución ácida un fuerte destructor de la película de óxido pasivante en el Fe.

Los iones pueden proceder de los constituyentes de la mezcla original y por difusión del medio exterior, dependiendo esto último de las propiedades de permeabilidad.

La acción corrosiva de los sulfatos, es una Corrosión producida por expansiones, pues la formación de la estrigita va acompañado por un aumento de volumen, el cual al no poder encontrar un espacio suficiente para su expansión dentro de la pasta de cemento endurecida, genera ciertas presiones internas y finalmente causa agrietamiento, descascaramiento y destrucción del concreto en forma progresiva, por lo tanto, la acción destructiva es de carácter físico-químico. Los cloruros tienen la misma naturaleza pero su ataque es menos resaltante a la vista en el concreto.

## **II. ANALISIS DE LAS CAUSAS DE CORROSION EN POSTES CAC**

### *2.1. Criterios de evaluación*

Los criterios para la evaluación del mecanismo de corrosión en los postes CAC, son los mismos que se deben tener en cuenta para la evaluación de las estructuras en general de concreto armado.

Estos criterios se elaboran teniendo en cuenta principalmente, el tipo de ataque que ha sufrido la armadura, el tipo de concreto de la estructura observando el medio en que ésta trabaja. Así mismo, con esta observación se pueden predecir los causales de la corrosión; pudiendo dar una idea de los tipos de agentes corrosivos en contacto con la estructura y de una manera comprobatoria, hacer los análisis químicos necesarios, para identificar y cuantificar los agentes corrosivos. Para lograr obtener la información necesaria en la evaluación de las estructuras, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Medición del potencial de corrosión en la armadura del poste, para evaluar el estado de actividad corrosiva y dividir a la estructura en fracciones, de acuerdo a la intensidad del ataque corrosivo.
- Con respecto al concreto, se evalúa el estado de alcalinidad por medio del resultado de reacciones químicas y físicas; ya que éste deberá cumplir con ciertas condiciones de impermeabilidad y composición química.
- Para el terreno donde se instala el poste, se deberá tener en cuenta el contenido de los agentes destructores de la película pasivante y el contenido de agentes que resquebrajan el concreto.

Teniendo en cuenta estos criterios, se han desarrollado métodos para medir los parámetros indicadores de corrosión, y de esta manera obtener datos confiables del estado de la estructura.

### ***2.1.1. Morfología de la corrosión que sufren las armaduras***

Teniendo en cuenta la forma de ataque de los agentes corrosivos en estas estructuras, se puede predecir el tipo de deterioro por corrosión que presentaran las armaduras de los postes.

Los tipos de ataque más comunes son el de corrosión localizada (picaduras) y el de corrosión generalizada (macrocelas).

#### ***2.1.1.1. Corrosión localizada***

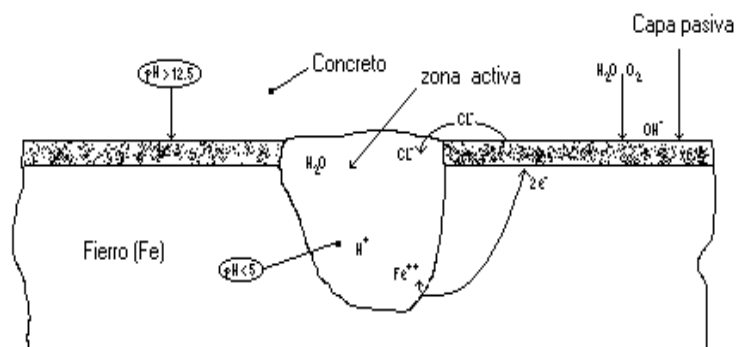
Este tipo de corrosión se caracteriza porque la capa pasiva formada sobre el acero, se rompe puntual o parcialmente. También esto se presenta, cuando el pH del concreto ha disminuido, de tal manera que deja desprotegido al Fe. Estas zonas deterioradas actúan como ánodo frente al resto de la superficie que permanece positiva actuando como cátodo, por lo que el ataque progresa en profundidad. Cuanto menor sea la relación del área ánodo/cátodo; mayor será el riesgo de una elevada velocidad de corrosión. Así tenemos que ciertos iones como los cloruros, sulfuros, sulfatos, etc, pueden provocar una corrosión por picadura, si se encuentran en la masa del concreto, en una cantidad por encima del límite o umbral que los hace agresivos en este medio específico.

La existencia de huecos rellenos de aire en contacto con las armaduras, debido en general a una deficiente puesta en obra del concreto, la heterogeneidad del concreto, la resistencia mecánica a la compresión y la resistencia al ambiente externo, pueden dar lugar a fenómenos de aireación diferencial provocando corrosión de las zonas con menor oxigenación, que actúan como ánodos.

La existencia de corrientes dispersas en el subsuelo, que pueden tener diversos orígenes, produce un ataque corrosivo causado por el paso de corrientes eléctricas desde circuitos metálicos hacia conductores iónicos ambientales (terreno, agua, etc.). En presencia de corrientes dispersas, la zona anódica resulta caracterizada por altos potenciales, aquellas catódicas en cambio por bajos potenciales. Se sabe además, que los valores de potenciales pueden variar bruscamente a lo largo del tiempo.

### 2.1.1.2. Corrosión por picaduras

En presencia de cloruros y aún con el pH suficientemente elevado, la despasivación del acero se produce en modo localizado en la superficie de la armadura. El consecuente ataque corrosivo es aquel típico de picaduras. En la figura 2.1.1.2.1 se muestra el detalle.



**Fig. 2.1.1.2.1.- Esquema de un ataque corrosivo tipo picadura**

La zona donde la capa resulta destruida funciona de ánodo (zona activa), respecto a aquella circundante sobre la cual algunas veces tiene lugar la reducción de oxígeno (zona pasiva).

La reducida extensión de la zona anódica respecto de aquella catódica; además de la particular localización del ataque, implica una elevada velocidad de penetración que puede resultar de muchos centenares de mm/año. En las regiones donde está operando una corrosión por picado, el potencial varía bruscamente a lo largo de la varilla de Fe, teniendo valores de hasta los  $-700$  mV en la zona anódica; en las regiones vecinas que son las zonas catódicas, los potenciales alcanzan valores en el rango de  $-350$  a  $-100$  mV.

La probabilidad de incubación de la picadura crece al aumentar la carbonatación del concreto y la relación cloruros/oxidrilos ( $OH^-$ ). En consecuencia, crece con el contenido de cloruros en el cemento, con la capacidad del cemento de unir los cloruros (asociada esta característica principalmente con el contenido de aluminato tricálcico).

La incubación de la picadura sólo es posible si la armadura opera a un potencial mayor que el de rotura ( $E_r$ ), que se sabe, se hace menor con el mayor contenido de cloruros en el concreto y con otras características del concreto en particular con su pH.

El funcionamiento del par galvánico entre el área anódica y la catódica, contribuye a aumentar posteriormente la agresividad del concreto en la zona anódica, en

cuanto ésta se enriquece en cloruros (que llegan a aquellas regiones transportados por la corriente) y reduce su alcalinidad (por hidrólisis de los productos anódicos; por lo que dentro de la picadura el pH puede descender directamente a valores inferiores a 5). Una vez que la picadura se ha incubado, el proceso de este ataque resulta estabilizado y acelerado, al producirse el mismo fenómeno corrosivo (“mecanismo autocatalítico” de la picadura).

### ***2.1.1.3. Corrosión por macroceldas***

La corrosión de la armadura inmersa en el concreto muchas veces no está uniformemente distribuida sobre toda la superficie metálica, sino que se produce en manera preferencial en aquellas zonas donde, por cualquier motivo, las condiciones de pasividad resultan debilitadas.

El ataque por ejemplo, se puede localizar en correspondencia de las regiones de elevada porosidad, donde existen cavidades o fisuras en el concreto o donde el espesor de la cubierta del fierro es mínimo y por consiguiente, la acción despasivante del ambiente externo puede penetrar más rápidamente; también, en la zona donde por cualquier motivo se concentra la solución agresiva, en particular los cloruros; por ejemplo en las regiones donde la impermeabilización es menor.

Otras veces el ataque se localiza por la presencia de heterogeneidad en el concreto, que puede hacer variar las condiciones electroquímicas de funcionamiento del Fe de la armadura. Por ejemplo: calidad de cemento o por presencia de materiales extraños en la superficie metálica (por ejemplo, presencia de yeso, etc.)

La velocidad de penetración de la corrosión en correspondencia a las regiones anódicas, depende de la conductibilidad del concreto, de la extensión del área catódica circundante, y de la densidad de corriente intercambiada sobre éste. La extensión del área catódica está determinada a su vez también, por la conductividad del concreto.

La velocidad de penetración en el área anódica puede resultar elevadísima y alcanzar, en las peores condiciones, valores de varios décimos de milímetro por año.

Un ejemplo de corrosión por macroceldas es aquel que se encuentra sobre estructuras “resanadas”, sustituyendo con una mezcla cementicia, sólo el cemento degradado.

En estos casos, la armadura en la parte restablecida funciona catódicamente respecto a aquella puesta en las zonas circundantes contaminadas con cloruros. Ya que el concreto contaminado contiene unas propiedades menos alcalinas que la mezcla nueva de resane, y por diferencia de pH se forman las macroceldas, la corrosión en este caso viene sujeta a una apreciable aceleración. En efecto, en general después de un tiempo del

orden de 1 a 2 años, se observa la aparición de visibles fenómenos de corrosión en la zona inmediatamente vecina al resane efectuado.

Otro caso importante de acoplamiento galvánico, es aquel que se verifica entre la armadura pasiva inmersa en el concreto, y superficies metálicas expuestas a un ambiente no pasivante y de baja resistividad como el agua de mar.

Esta situación se realiza por ejemplo, sobre postes en zonas donde hay brisa marina en sus primeros años de vida, por la presencia de partes de Fe externo a la estructura, pero en contacto con la armadura. La parte de Fe dentro del concreto se comporta como cátodo, mientras que la parte externa de ánodo; y por tanto su corrosión resulta acelerada. De hecho, este tipo de ataque galvánico prosigue solo por algunos años, esto es, en tanto que la condición de pasividad sobre el Fe inmerso en el concreto se hace menor y por tanto la macrocelda cesa de funcionar.

### ***2.1.2. Por tipo de terreno***

Dependiendo del tipo de terreno en textura, color y olor. Se puede determinar de manera cualitativa que tan corrosivo es éste; ya que el principal causante de la aceleración de Corrosión en estructuras de concreto armado, ubicadas en zonas alejadas del mar, es el terreno; al tener éste la presencia de iones despasivantes solubles, en su composición.

Ya se ha hablado del papel que juegan los principales iones despasivantes en el mecanismo de corrosión del concreto armado. Pero valdría recalcar de manera más específica, cómo varía la corrosión para diferentes valores de humedad del terreno en contacto con el concreto armado, ya que esta característica en los terrenos es muy importante para el desarrollo de la corrosión en las estructuras de concreto armado.

Para los iones despasivantes presentes en el terreno, la humedad presente en el mismo es una posibilidad de estar en el mecanismo de Corrosión, ya que por medio del agua presente en el terreno, éstos se disuelven y son trasladados junto con el agua por medio del fenómeno físico de capilaridad, luego al evaporarse el agua los iones presentes quedan en la composición del concreto.

A medida que esto sucede repetidamente la cantidad de iones se incrementa de manera intermitente, y la relación  $Cl^- / OH^-$  aumenta de la misma forma, dando lugar a la disminución en valor del potencial de rotura ( $E_r$ ) de la capa de óxido pasivante y de esta manera contribuyendo a la corrosión, ya que se da la corrosión por picaduras (por cloruros) y la destrucción del concreto (por sulfatos).

Hasta ahora no han sido consideradas las disipaciones de naturaleza óhmica unidas con la circulación de corriente en el concreto, entre el área anódica y catódica presentes en la superficie de la armadura, a escala microscópica.

En efecto, estas disipaciones ocurren cuando la humedad proveniente del terreno es alta y por consiguiente la conductividad del concreto también lo es; o también en los casos en los cuales las corrientes en juego son muy reducidas (como sucede, por ejemplo en el lado anódico cuando la armadura está pasivada).

En efecto, la conductividad del concreto aumenta a medida que la humedad también lo hace, favoreciendo a la corrosión. La humedad alta favorecerá a la corrosión sin llegar a la saturación, que corresponde a un valor de humedad del 100%; ya que a este valor de humedad no permite al oxígeno llegar a la armadura fácilmente y la corrosión se desacelera, dando como resultado una corriente de Corrosión muy baja. Asimismo, hay factores como la porosidad y posibles fisuras del concreto que favorecen al factor de la alta humedad en el terreno; favoreciendo indirectamente a la corrosión.

No sólo la humedad en el terreno favorece a la corrosión, si no que hay otros factores que nos dan información del grado de agresividad del terreno, como se dijo anteriormente.

Nombraremos otros factores importantes como son: el color amarillo claro del terreno que nos advierte de la posible presencia de salitre en él. El olor a descompuesto es un indicador de presencia de bacterias.

Existen métodos analíticos practicados en un laboratorio de química, aplicados a unas muestras de terreno. Estos métodos se llevan a cabo para la obtención de información sobre el contenido de agentes solubles agresivos al concreto armado y para evaluar el nivel de corrosividad del terreno.

El ataque de las bacterias en el concreto se da cuando aquellas son del tipo BSR, pues comen sulfatos existentes en el suelo y producen sulfuros por un proceso metabólico, que junto con la humedad genera el ácido sulfhídrico; siendo éste un agente destructor de la película pasivante en el Fe.

Las características de un terreno fuertemente corrosivo se han nombrado. Sin embargo, para que un terreno sea corrosivo, no tiene necesariamente que cumplir con todas esas características cualitativas; si no que pueden ser corrosivo sin presenta algunas de las características anteriores.

### ***2.1.3. Por causas ocasionadas por terceros***

Cabe señalar, que las causas que ocasionan la Corrosión no siempre son por el nivel corrosivo del terreno, ni por las condiciones ambientales, ni por una inadecuada

elaboración de la estructura de concreto armado; si no que la Corrosión es resultado del mal almacenamiento, del mal manipuléo y transporte del poste de concreto armado que se le da antes y durante el montaje; causando fisuración en éste.

En efecto, existen normas de manipuleo y transporte de postes de concreto armado. Las cuales recomiendan la manera óptima de maniobrar con los postes:

- Sobre las maniobras de carga y descarga de postes CAC, se deberán realizar utilizando equipos mecánicos adecuados, que permitan utilizar estrobos individuales de cables de acero u otro material conveniente habilitado, y que tomen el poste por lo menos en dos puntos estratégicos, de tal manera que se deberá manipular horizontalmente. No se recomienda el uso de montacargas, debido a que el poste queda apoyado por el centro con un gran voladizo; pudiendo este fácilmente sacudir, causando la susceptibilidad a fisurarse.
- La carga y descarga deben hacerse cuidadosamente evitando golpearlo con partes de otro cuerpo presente.

- Para el transporte, se debe emplear un camión plataforma adecuado para la longitud del poste, evitando que parte del poste vaya en voladizo. Se permitirá para un poste de 9 m de longitud como máximo; 1 m de longitud máxima del voladizo, para postes con longitud entre 10 a 15 m; la longitud de voladizo permitida es de máximo de 2 m y para un poste con longitud mayor a 15 m y menor a 20 m; se permite como máximo una longitud de voladizo de 3 m.

El transporte deberá hacerse sobre tacos de madera que tengan cortes curvos, que permita alojar el poste y asegurarlo; o alternativamente usar cajones de madera resistentes, con sus respectivos tacos laterales, debidamente asegurados (clavados) para evitar deslizamiento o salto brusco durante el transporte.

- Para el almacenamiento, se tiene el almacén general y el de obra. Para el almacén general, éste deberá tener un piso nivelado y compacto para evitar deformaciones del suelo, con la sobrecarga de los postes.

Los postes se almacenarán en forma horizontal, colocando por lo menos 03 listones de madera resistente por fila para poste de baja tensión y con un máximo de 12 a 14 filas en altura, y 04 listones de madera resistente por fila para poste de media tensión y con un máximo de 6 a 8 filas en altura.

Para el almacén en obra, el terreno deberá tener las mismas características del almacén general. Si el número de filas es menor, habrá que asegurarse que estén bien nivelados.

- Para el izaje del poste, esto es para su montaje final, se debe utilizar equipos mecánicos adecuados, tomando de uno, dos o más puntos al poste, de acuerdo al tamaño de poste y carga de trabajo y verificando que no se produzca fisuración en él.

### ***2.1.4. Por causas medioambientales***

Las causas medioambientales que favorecen a la corrosión, son varias y estas son provenientes de las características de los terrenos, corrientes subterráneas (sólo si existen) y del medio ambiente.

#### ***2.1.4.1. Efecto de Carbonatación***

La característica de este proceso es la aparición de una estrecha banda que separa dos zonas con valores de pH muy diferentes, por lo general una de  $\text{pH} \leq 9$  y otra de  $\text{pH} \geq 12$ .

Afortunadamente la carbonatación es un proceso lento que solo se hace patente después de años o decenios. Dependiendo de la calidad de concreto, en la carbonatación hay que distinguir:

- Un proceso químico consistente en la reacción de  $\text{CO}_2$  con el hidróxido cálcico de la solución contenida en los poros del concreto y/o con los hidratados del mismo.
- La difusión de  $\text{CO}_2$  a través del concreto ya carbonatado.
- La difusión del agua formada en la primera etapa.

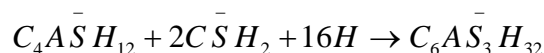
Dado que los procesos de difusión tienen lugar en los poros del concreto, es evidente la importancia del volumen ocupado por los mismos. Dentro del margen práctico de relación agua/cemento (0.4 - 0.7), siempre existe en el concreto más agua que la que se puede combinar químicamente con el cemento y es conocido que esto determina la porosidad del concreto fraguado, lo que a su vez condiciona la resistencia del mismo a la carbonatación.

Los casos característicos de corrosión de las armaduras con agrietamiento del concreto suelen estar asociados con la carbonatación de los concretos húmedos. Ya que este proceso lo que hace es disminuir considerablemente el pH (disminuyendo la alcalinidad). De tal manera que deja al Fe desprotegido y si tenemos en cuenta la presencia de humedad, el resultado es una velocidad de corrosión bastante elevada en la armadura, llegando incluso a valores del orden de mm/año.

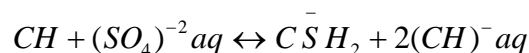
En general puede afirmarse que las armaduras embebidas en el concreto carbonatado no se corroerán si las condiciones ambientales son tales que no atacan un acero sin protección; corroyéndose en cambio, de forma generalizada, bajo condiciones capaces de resultar agresivas para el acero desnudo.

### 2.1.4.2. Efecto de la penetración de Sulfatos

El ataque por sulfatos es actualmente un proceso relativamente complejo, el cual puede envolver determinados procesos secundarios. Sin embargo las experiencias de laboratorio y obra tienen definitivamente establecido una correlación entre el contenido de  $C_3A$  (aluminato tricálcico) de un cemento Pórtland y su susceptibilidad al ataque por sulfato. La causa importante es la formación de la estringita a partir del monosulfoaluminato de la pasta de cemento endurecido. La reacción es la siguiente:



En realidad, el ataque por sulfoaluminato se inicia por una reacción entre los iones de sulfatos provenientes del medio y el hidróxido de calcio de la pasta de cemento endurecida. La reacción es la siguiente:



El mecanismo de ataque por sulfatos puede, por lo tanto, considerarse como una secuencia de tres procesos:

- Penetración de los iones sulfatos
- Corrosión producida por el Magnesio
- Corrosión producida por el ion Hidrógeno

La corrosión por sulfatos es una corrosión producida por expansiones, pues la formación de la Estringita ( $C_6A\bar{S}_3H_{32}$ ) va acompañada por un gran aumento de volumen, el cual al no poder encontrar espacio suficiente para su expansión dentro de la pasta de cemento endurecida, genera ciertas presiones internas y finalmente causa agrietamiento, descascaramiento y destrucción del concreto en forma progresiva, por lo tanto, la acción destructiva es de carácter físico – químico.

Además se debe señalar que las fuerzas de adherencia cemento – agregado se debilitarán, las resistencias mecánicas del concreto disminuirán y sus dimensiones aumentarán.

La intensidad de la corrosión depende de la naturaleza del catión, que acompaña al anión sulfato; de la concentración y solubilidad del sulfato; y de la solubilidad de la sal cálcica formada por la reacción del sulfato con el CH.

La presencia de cloruros reduce el proceso de formación del sulfoaluminato, por lo que favorece a la resistencia del concreto frente a los sulfatos.

La acción corrosiva de  $MgSO_4$ . Se dá por la presencia del ion magnesio, que provoca la disminución de las resistencias mecánicas del concreto y con el tiempo lo hincha y lo desmorona.

Cuando el concreto está hecho de cemento Pórtland, la superficie del concreto queda totalmente recubierta por una capa de  $Mg(CH)_2$  y si está hecho con cemento Puzolánico, en la superficie del concreto aparecen puntos aislados de esta capa.

La acción corrosiva del  $H_2SO_4$ . Se dá por la presencia del ion hidrógeno, que provoca la disminución de la resistencia mecánica y la lixiviación, es decir, que la cal precipita finamente, dividida en forma de concentraciones o eflorescencias blancas (manchas que pueden ser blancas o grisáceas).

### ***2.1.4.3. Efecto de la penetración de Cloruros***

Los cloruros como es conocido, pueden encontrarse en el concreto desde el momento de la confección o también provenir del exterior.

En el primer caso pueden derivar del agua usada para el empaste, de los agregados o aditivos.

En el segundo caso, los iones provienen del ambiente externo y es menos fácil prever su velocidad de penetración y su concentración a una profundidad determinada.

El mecanismo que gobierna el ataque de parte de los cloruros a la armadura, es el mismo que normalmente corresponde a la corrosión del fierro en ambiente alcalino.

Las teorías que explican el inicio y la propagación de tal fenómeno afirman que hay un ataque ácido del fierro en algunas zonas bien definidas, que autoestimulan a causa de la hidrólisis del compuesto soluble que se forma según la reacción.



La severidad del ataque, debido a los cloruros que penetran por difusión en el concreto, no sólo depende de la cantidad de estos iones que alcanzan la superficie metálica, sino también de otros factores tales como la disponibilidad de oxígeno y el número y tamaño de huecos adyacentes a las armaduras. Es decir se debe tender a una mínima permeabilidad del concreto, lo que exige relaciones agua/cemento reducidas.

Los iones cloruro atacan en los defectos de la capa pasivante, es decir donde se encuentra el óxido ferroso ya que este es más vulnerable que el óxido férrico. El ataque se da destruyendo la capa de óxido protectora (corrosión por picaduras), además de este ataque se dan algunas reacciones a medida que transcurre éste, que colaboran con la formación de herrumbre aumentando el volumen del hierro, causando fuerzas de tensión en el concreto.

Estas reacciones son las de formación de cloruros ferrosos ( $FeCl_2$ ) y cloruros férricos ( $FeCl_3$ ) que son agentes capaces de moverse en el Fe herrumbrando la superficie del hierro. Esta formación de herrumbre se da, dejando expuestos los nuevos iones ferrosos en la superficie del hierro, ya que primero son iones ferrosos antes de ser iones férricos. Quedando vulnerables ante el ataque de los iones cloruros nuevamente y a su vez dejando establecido un proceso continuo de corrosión.

Los iones ferrosos, con la capa de óxido pasivante forman el óxido ferroso de manera transitoria, ya que la forma termodinámicamente estable del óxido es el ser óxido férrico. Mientras transcurre este proceso de transformación ocurren desperfectos en la capa pasivante, dejando zonas muy pequeñas donde existe óxido ferroso. Siendo esta zona la vulnerable contra el ataque por cloruros.

#### ***2.1.4.4. Efectos de la aireación diferencial***

El oxígeno, como en muchos otros fenómenos de corrosión, juega también aquí un complejo papel. En su ausencia no deben atacarse las armaduras, al no poder realizarse la semireacción catódica del proceso de corrosión, consistente en la reducción del oxígeno disuelto en la solución que ocupa los poros. Sin embargo, cuando está presente en mayor proporción en ciertas zonas que otras, crea una macrocelda galvánica; son las zonas menos aireadas las que actúan como ánodos y se corroe.

Un ejemplo de este tipo de corrosión se presenta cuando una estructura de acero está parcialmente enterrada, donde el ataque se produce en la región recubierta por la arena, donde está impedido el acceso de oxígeno.

En efecto, vale la pena resaltar que los postes deberán ser elaborados de manera homogénea, de tal manera que la permeabilidad del concreto tienda a ser uniforme en toda la superficie del poste y evitar mayor concentración de oxígeno en ciertas zonas.

#### ***2.1.4.5. Efecto de las fisuras***

El concreto es notablemente heterogéneo, y en su interior pueden tenerse diferencias de concentración de oxígeno, cloruros, de pH y en consecuencia formarse macropilas con distancias entre zonas anódicas y catódicas de hasta algunos metros. Por lo tanto, es muy importante la influencia de las fisuras, que pueden provenir de la mala elaboración del poste, por descuido en el almacenamiento o por el deficiente montaje del poste; Ya que las fisuras facilitan la formación de macropilas.

#### ***2.1.4.6. Otros factores de corrosión***

Se ha detectado en la práctica, algunos otros factores que contribuyen con el desarrollo de la corrosión; y es muy importante tenerlos en cuenta en la evaluación de la corrosión. Dentro de estos factores, se encuentra la influencia de las corrientes vagabundas; estas pueden tener varios orígenes (instalaciones de puestas a tierra). Estas consisten en el paso de circuitos metálicos a conductores ambientales (terreno, agua, etc.). La salida de las corrientes dispersas de las estructuras correspondientes, su sucesivo ingreso en las estructuras metálicas presentes en el terreno, y en fin, su entrada a la estructura inicial, dan lugar al funcionamiento de sistemas galvánicos produciendo Corrosión en el concreto armado.

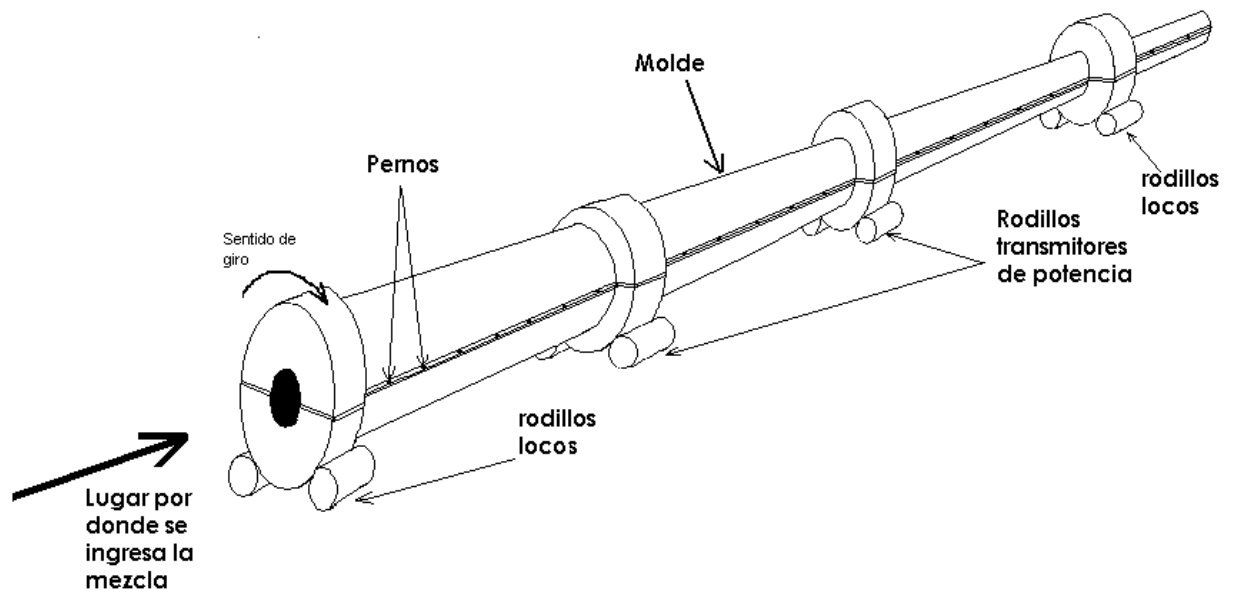
Otro factor que se debe tener en cuenta, para la evaluación de corrosión; Son las sustancias de naturaleza ácida depositadas en la superficie del concreto, ya que la solución es capaz de penetrar en el concreto, dependiendo de la permeabilidad de éste. Esta solución por tener pH muy bajo, tiende a bajar el pH del concreto. Dejando desprotegido al fierro, exponiéndolo a los ataques corrosivos, provenientes del medio ambiente.

### **III. ANALISIS DE DAÑOS EN POSTES CAC DE LA URB. LOS TALLANES**

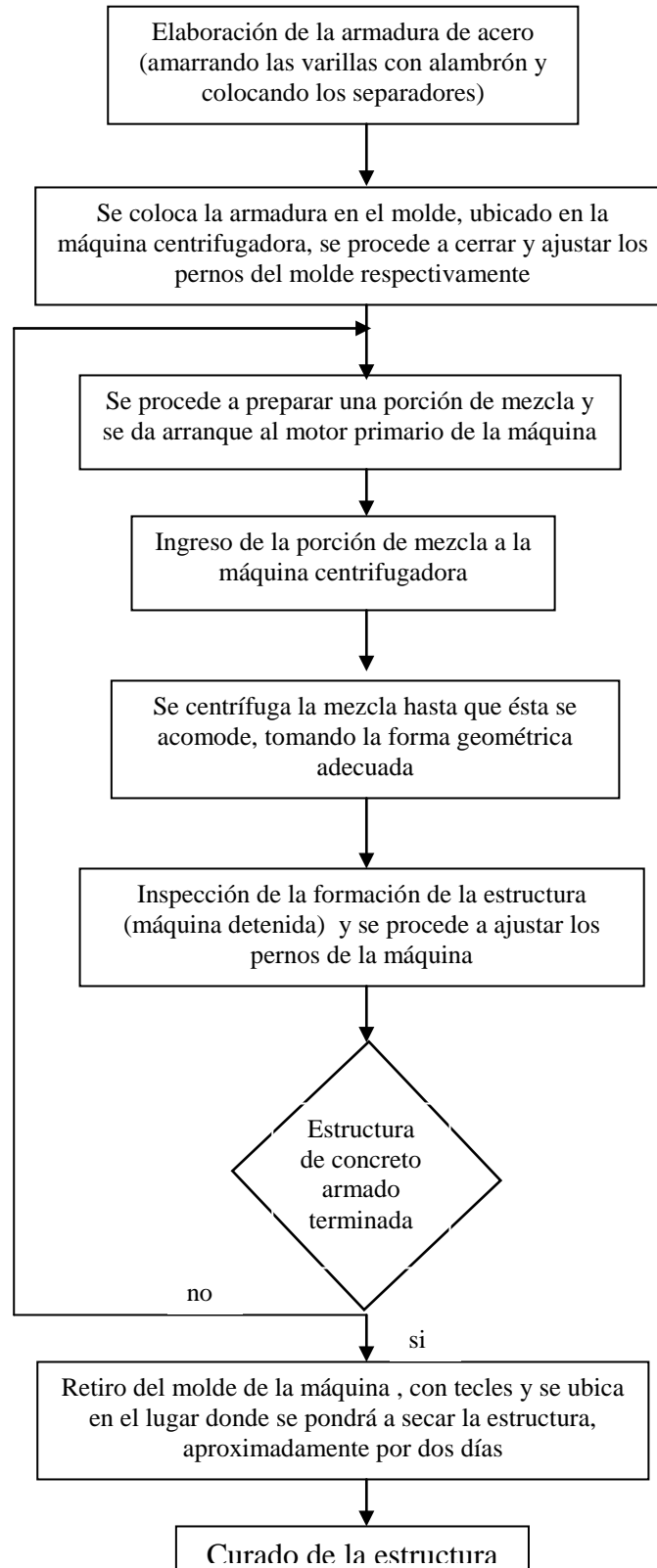
#### *3.1. Métodos de fabricación y preparación de postes CAC*

La fabricación y la preparación de los postes CAC, se hace de una manera muy simple. El método se basa en una máquina centrifugadora, que consta de unos rodillos motrices accionados directamente por el motor primario, y unos rodillos que giran locos como guías. La máquina está compuesta además por un molde de acero del poste; éste es intercambiable con otros de distintos tamaños, para distintos tamaños de postes. Dentro del molde, se instala la armadura de refuerzo de acero, separada del molde por unos discos separadores de concreto, la cantidad de barras de refuerzo, depende de las dimensiones del poste. El molde gira por medio de los rodillos motrices, y para abarcar toda su longitud y evitar grandes deflexiones, se utilizan los rodillos de guía en el resto de longitud del molde. Los rodillos motrices hacen girar al molde, de manera que por uno de los extremos del mismo se hace ingresar la mezcla de concreto y de esta manera se obtiene la geometría del poste CAC.

A continuación se muestra un esquema explicativo del detalle del molde y de la máquina centrifugadora; además se muestra un diagrama de flujo del procedimiento de la elaboración de los postes CAC.



*Figura 3.1.1.- Esquema de la máquina centrífuga. Fuente: elaboración propia*



**Fig 3.1.2.- Diagrama de flujo de la elaboración del poste CAC. Fuente: elaboración propia.**

### *3.2. Criterios a tener en cuenta para la evaluación de daños en los postes CAC de la Urb. Los Tallanes*

Los criterios adoptados para evaluar el deterioro por corrosión, se han basado en:

- Los resultados de los análisis de composición química de las muestras de terreno; tomadas para la comprobación de la existencia de agentes solubles estimulantes del mecanismo de corrosión y la determinación del grado corrosivo del terreno.
- Los resultados de los análisis de composición química de las muestras de concreto; tomadas para la comprobación de la presencia de iones despasivantes del acero, en el concreto.
- Se evaluó también la presencia de carbonatación, depositando una solución de fenolftaleína, que nos permita visualizar el grado de alcalinidad del concreto.
- Se evaluó también la medida de potencial electroquímico en varias zonas del poste, tomando como referencia la norma ASTM C-876.
- Se evaluó el estado de las varillas de acero. Para darnos cuenta de la velocidad de corrosión.

Durante el desarrollo de estos temas a tratar, en este mismo capítulo se menciona mucho sobre la ubicación de los postes muestreados y la ubicación de las zonas donde se tomaron las muestras de terreno. Es por esta razón que se proporcionará un mapa de la Urbanización los Tallanes y sus alrededores, marcando los puntos donde se ubican las tomas de muestras tanto de concreto como de suelo (Ver Anexo I).

### 3.3. Muestreo

Para una buena determinación y evaluación del mecanismo de corrosión de los postes CAC; es necesario determinar en qué medio trabaja el poste (composición química del suelo) y tipo de ambiente; y cuáles son las características que presenta el poste CAC (grado de permeabilidad). Es por ello que se ha efectuado un muestreo del terreno por debajo del poste, para determinar el nivel corrosivo del terreno. Asimismo, se ha muestreado el concreto del poste, para evaluar el grado de carbonatación, y la presencia de agentes despasivantes.

#### 3.3.1. Evaluación del terreno

El terreno fue muestreado en 06 puntos diferentes (M1 a M6) dentro de la zona donde se ubica la urbanización, se eligieron estos lugares donde se encontraban los postes corroídos. Este terreno básicamente se ha clasificado en 02 tipos, por su consistencia y su color.

El terreno de la primera etapa en su parte superficial presenta un terreno arenoso y seco, a medida que descendemos aparece un terreno amarillento oscuro. Indicándonos que es un terreno arcilloso y con mayor grado de humedad.

Otro tipo de terreno se encuentra, ubicado en la segunda etapa de la urbanización, y en sus fronteras. Se sabe por referencias de los vecinos que esta zona no es inundable y por debajo del poste se tiene un terreno de color amarillo claro y de una consistencia más suave (terreno arcilloso y seco) con respecto a lo observado en el terreno de la primera etapa.

Las muestras fueron tomadas a la profundidad, donde se encontraba la parte inferior del poste. Estas muestras fueron analizadas en un laboratorio de suelos, para determinar principalmente la respectiva cantidad de los agentes elevadores del nivel corrosivo del terreno.

Para determinar el nivel de agresividad del terreno de una manera referencial, se hicieron algunas evaluaciones, tomando en cuenta la cantidad de los agentes corrosivos, presentes en el terreno.

Los resultados de los análisis químicos realizados a las muestras del terreno, nos dieron los siguientes resultados por muestra:

**RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS DEL TERRENO:**

Determinaciones	M1	M2	M3	M4	M5	M6
pH	9.08	8.42	7.67	8.25	8.2	9.02
R.E (ohm-cm)	1369.86	1408.45	483.092	1408.45	505.051	1351.4
Sulfatos (SO <sub>4</sub> -- mg/100g)	30	30	90	60	80	50
Cloruros (Cl- mg/100g)	10	8	1.5	9	30	16
Sales solubles (mg/100g)	190	180	200	170	210	180
Magnesio (Mg <sup>++</sup> mg/100g)	1.2	0.6	1.2	1.2	1.8	2
Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/100g)	0	0	0	0	0	0
Acidez total (meq/Kg)	1.5	1.5	2	2	1	2
Alcalinidad total (gr/Kg) (carbonatos)	0.0828	0.0234	0.0876	0.0264	0.039	0.0651
Humedad Higroscópica (%)	0.47	0.27	0.35	0.68	1.5	0.66

A continuación se muestra la forma en que se toman los criterios para efectuar la evaluación del terreno, con su respectiva aplicación, tomando los datos obtenidos en los análisis:

**Tabla 3.3.1.1.- AGRESIVIDAD DEL TERRENO EN RELACION A SU RESISTIVIDAD<sup>1</sup>**

Resistividad Ohm - cm	Corrosividad
<1000	Altísima - Muy agresivo
1000-2000	Alta - Fuertemente agresivo
2000-3500	Superior al normal - Discretamente agresivo
3500-5000	Normal - Débilmente agresivo
5000-10000	Baja - Agresividad muy débil
≥10000	No agresivo

Según esta evaluación se determinó lo siguiente:

<sup>1</sup>Corrosione e Protezione di Strutture Metalliche e in Cemento Armato Negli Ambienti Naturali (Pietro Pedeferrì)

**Tabla 3.3.1.2.- Resultados de la agresividad de las muestras de terreno en relación a su resistividad**

<b>Numero de muestra</b>	<b>Valor de resistividad eléctrica (ohm-cm)</b>	<b>Evaluación según la resistividad</b>
<b>M1</b>	1369.86	Alta, fuertemente agresivo
<b>M2</b>	1408.45	Alta , fuertemente agresivo
<b>M3</b>	483.092	Altísima, muy agresivo
<b>M4</b>	1408.45	Alta , fuertemente agresivo
<b>M5</b>	505.051	Altísima, muy agresivo
<b>M6</b>	1351.4	Alta , fuertemente agresivo

A continuación se llevará a cabo un método evaluativo, denominado método de “Índices de Steinrath”. Que tiene en cuenta las principales características de un terreno muy corrosivo, para una evaluación más rigurosa.

El método evaluativo de Steinrath se elabora, asignándole un valor a la característica corrosiva del terreno, dependiendo de la cantidad y del grado de importancia de ésta, el valor del índice se hará más negativo.

Entonces según este criterio de evaluación, podemos decir que el grado de corrosividad total del terreno, dependerá de cuan negativo sea la suma de los índices.

**Tabla 3.3.1.3.- INDICES DE STEINRATH PARA LA EVALUACIÓN DE LA CORROSIVIDAD ESPECIFICA<sup>1</sup>**

PARAMETRO	CARACTERISTICA DEL TERRENO	INDICE
Naturaleza del Terreno	Calcáreo, marma calcárea, arena	+2
	Arena arcillosa	0
	Arcilla, marma arcillosa, humus	-2
	Turba	-4
Estado del Terreno	Presencia de agua subterránea	-1
	Nivel freático variable	-2
	Terreno de relleno	-2
	Heterogeneidad en el terreno	-3
Resistividad	Mayor de 10000 Ohm-cm	0
	Entre 5000 - 10000 Ohm-cm	-1
	Entre 2300 - 5000 Ohm-cm	-2
	Entre 1000 - 2300 Ohm-cm	-3
	Menor de 1000 Ohm-cm	-4
Tenor de agua (humedad)	Menor del 20%	0
	Mayor del 20%	-1
pH	Mayor de 6	0
	Menor de 6	-1
Acidez Total	Menor de 2.5 meq/kg	0
	Entre 2.5 a 5 meq/kg	-1
	Mayor de 5 meq/kg	-2
Potencial Redox	Mayor de 400 mV	+2
	Comprendido entre 200 - 400 mV	0
	Comprendido entre 0 - 200 mV	-2
	Menor de 0 mV	-4
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub> y Mg CO <sub>3</sub> hasta pH 4,8	Mayor de 50 g/kg	+2
	Entre 10 a 50 g/kg	+1
	Menor de 10 g/kg	0
Sulfuro de hidrógeno y sulfuros	Ausencia	0
	Trazas (< 0.5 mg de S <sup>-2</sup> /kg)	-2
	Presencia (> 0.5 mg de S <sup>-2</sup> /kg)	-4
Presencia de carbón o de coke	Ausencia	0
	Presencia	-4
Ión cloruro	Menor de 100 mg/ kg	0
	Mayor de 100 mg/ Kg	-1
Ión sulfato	Menor de 200 mg/Kg	0
	Entre 200 a 500 mg/Kg	-1
	Entre 500 a 1000 mg/Kg	-2
	Mayor de 1000 mg/Kg	-3

<sup>1</sup> Corrosione e Protezione di Strutture Metalliche e in Cemento Armato Negli Ambienti Naturali (Pietro Pedferri)

- **Criterios de evaluación de la agresividad:**

<b>Suma de los índices</b>	<b>Comportamiento del terreno</b>
Mayor de 10	Prácticamente no corrosivo
Entre -4 a 9	Poco corrosivo
Entre -5 a -10	Corrosivo
Menor que -10	Muy corrosivo

Según este criterio, para las muestras de suelo analizadas se han obtenido los siguientes resultados:

*Tabla 3.3.1.4.- Resultados de la aplicación del criterio de Steinrath*

<b>Parámetro evaluado</b>	<b>Índices de Stainrath</b>					
	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>M6</b>
Naturaleza del terreno	0	0	0	0	0	0
Estado del terreno	-2	-2	-2	-2	-2	-2
Resistividad	-3	-3	-4	-3	-4	-3
Tenor de agua	0	0	0	0	0	0
pH	0	0	0	0	0	0
Acidez total	0	0	0	0	0	0
Alcalinidad total	0	0	0	0	0	0
Ión cloruro	-1	0	-1	0	-1	-1
Ión sulfato	-1	-1	-2	-2	-2	-1
<b>Suma de Índices</b>	<b>-7</b>	<b>-6</b>	<b>-9</b>	<b>-7</b>	<b>-9</b>	<b>-7</b>

Los valores de las sumas de los índices de Steinrath, nos indica que el terreno **“es corrosivo”**. Por ésta razón será necesario, medir el grado corrosivo que tiene el terreno ante el concreto.

Este método evaluativo del terreno, se desarrollará evaluando la cantidad de los factores de mayor participación en la corrosión del concreto.

**Tabla 3.3.1.5.- EVALUACIÓN DE LA AGRESIVIDAD DE UN TERRENO EN RELACIÓN A ESTRUCTURAS DE CONCRETO<sup>1</sup>**

AGENTE AGRESIVO	AGRESIVIDAD			
	DEBIL	MODERADA	FUERTE	MUY FUERTE
pH	> 6.5	6.5 - 5.5	5.5 - 5.0	< 5.0
CO <sub>2</sub> mg/l	< 30	30 - 60	60 - 100	> 100
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	< 5	5 - 50	50 - 100	> 100
Mg <sup>++</sup>	< 10	10 - 50	50 - 100	> 100
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	< 20	20 - 100	100 - 1000	> 1000
Cl <sup>-</sup>	< 5	5 - 50	50 - 100	> 100
Acidez total	< 10	10 - 50	50 - 100	> 100

Nota: Los agentes agresivos son expresados en mg/100 g de terreno seco (humedad extraíble a 100°C).

Según este criterio, para las muestras de suelo analizadas, los resultados obtenidos son:

**Tabla 3.3.1.6.- Resultados de la agresividad del terreno para estructuras de concreto**

Resultados de evaluación	AGRESIVIDAD					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
pH	Débil	Débil	Débil	Débil	Débil	Débil
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Débil	Débil	Débil	Débil	Débil	Débil
Mg <sup>++</sup>	Débil	Débil	Débil	Débil	Débil	Débil
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	Moderad	Moderad	Moderad	Moderad	Moderad	Moderad
Cl <sup>-</sup>	Moderad	Moderad	Débil	Moderad	Moderad	Moderad
Acidez total	Débil	Débil	Débil	Débil	Débil	Débil

Claramente podemos apreciar que el problema mayor ante el concreto; es aquel de la presencia de los iones  $Cl^-$  y  $SO_4^{2-}$ .

<sup>1</sup> Corrosione e Protezione di Strutture Metalliche e in Cemento Armato Negli Ambienti Naturali (Pietro Pedferri)

### 3.3.2. Evaluación del concreto

Las muestras de concreto se extrajeron de 04 postes afectados con corrosión. Estos mostraban grietas longitudinales en el concreto, con una altura desde el nivel del suelo que varía en valor desde 15cm hasta los 45cm. Los postes muestreados están ubicados dentro de la urbanización y en sus fronteras. Los postes fueron elegidos, entre aquellos que mostraban visiblemente coloración y aspecto diferente del concreto, aparentemente de 3 tipos de cementos diferentes, y pudiendo dividirse a su vez en dos grupos por la antigüedad. El primer grupo está conformado por los 3 primeros postes muestreados. Siendo aparentemente del mismo tipo de cemento el primer y el segundo poste muestreados, diferenciándose del tercero por la geometría y el tipo de cemento. El segundo grupo estaría constituido por el cuarto poste muestreado, con un cemento de color diferente y con una geometría más grande con respecto a los demás postes muestreados. Las muestras se adquirieron de 1 sola zona del poste y esta zona es la zona afectada (muy cercana al suelo).

En la zonas donde se ha efectuado el muestreo, se depositó una solución alcohólica de fenolftaleína. Para evaluar de manera cualitativa, el espesor de carbonatación del concreto en los postes. Esto se define en base a la intensidad del color rojo púrpura, que se tornaba al secarse la solución en la superficie del concreto no carbonatado. Esta solución funciona reaccionando de manera tal, que cambia a color rojo púrpura en mayor o menor intensidad la superficie del concreto, dependiendo de su pH, es decir, según sea el grado de alcalinidad de éste (Ver **fig. 3.3.2.1**).



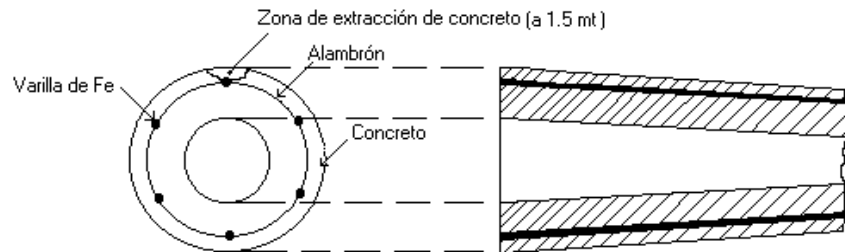
**Fig. 3.3.2.1.- Detalle del cambio de coloración del concreto, por aplicación de Fenolftaleína**

Recordemos que si el pH es menor de 7 se habla de un material de naturaleza ácida (el color no cambia a rojo púrpura), Si es 7 es un material de naturaleza neutra (no cambia a rojo púrpura) y si es mayor a 7 es de naturaleza alcalina (cambia a rojo púrpura, más o menos intenso según se incremente el pH).

En los tres primeros postes muestreados, el ensayo con solución de fenolftaleína de la zona baja afectada con corrosión, ha evidenciado un pH correspondiente a baja alcalinidad, deterioro del concreto en esta zona del poste; dejando incluso las barras de acero al descubierto.

La parte superior (a 1.5 mts del suelo) de los postes muestreados, se encontraba carbonatado solamente hasta un espesor de (8-12) mm. Es decir presentan una porción del espesor de concreto, que no reaccionan con cambio de color ante la Fenolftaleína; encontrándose el resto de espesor en buenas condiciones y sin proceso de carbonatación (cambia a color rojo púrpura tenue).

Para el cuarto poste dañado ubicado en la frontera de la segunda etapa de la urbanización, no presentaba problemas de carbonatación en ninguna parte del poste, incluyendo incluso la zona inferior con resquebrajamiento del concreto, de acuerdo al ensayo con fenolftaleína; esto demuestra la ausencia de carbonatación en el poste. Cabe resaltar que este poste aparentemente, ha sido fabricado con un tipo de cemento diferente y además se sabe que es de menor antigüedad que los otros 03 postes muestreados.



**Fig. 3.3.2.2.- Detalle de la extracción del concreto y de la distribución de las varillas de Fe en el concreto.**

Para una evaluación más rigurosa se ha procedido a analizar químicamente muestras del concreto, para poder comprobar la existencia de iones despasivantes en la zona dañada del poste.

Se sabe que el agua con los iones despasivantes disueltos en ella, sube por el fenómeno físico de capilaridad a través del concreto y en consecuencia la altura alcanzada no es muy elevada, ya que la humedad disminuye a medida que avancemos en altura. Entonces podemos decir, que la altura afectada dependerá del nivel freático y del grado de inundación de la zona donde se encuentra el poste.

A continuación se mostrará los distintos espesores de recubrimientos y las alturas de las grietas, medidos en los 04 postes muestreados:

**Tabla 3.3.2.1.- Espesores de recubrimiento de concreto, de la armadura**

Poste	Espeso (mm)	Altura de grietas (cm)
01	17	48
02	17	43
03	13	27
04	8	12

Los análisis del concreto en las zonas afectadas con corrosión, dieron como resultado lo siguiente:

### RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DEL CONCRETO:

Descripción de la muestra	Cloruros		Sulfatos	
	%	ppm	%	ppm
<b>M1</b>	0.1848	1848	0.2367	2367
<b>M2</b>	0.1236	1236	0.1488	1488
<b>M3</b>	0.3061	3061	0.1648	1648
<b>M4</b>	0.1931	1931	0.0946	946

Para tener una referencia del nivel agresivo del concreto para con el acero y además el nivel máximo de contaminación del concreto; debemos hacer una comparación del contenido de iones despasivantes y compararlos con los datos documentados en ciertas bibliografías.

Vale la pena recordar que el contenido de iones despasivantes en el concreto, va a depender del nivel de humedad que posee el terreno donde está ubicado el poste, el tipo de cemento del poste y la calidad del concreto.

Para el caso del contenido crítico de cloruros en el concreto, los calificativos vienen dados por los rangos de la tabla 3.3.1.4 utilizada anteriormente para evaluar la corrosividad del terreno con respecto al concreto. Utilizando de esa tabla los rangos que corresponden al ion cloruro:

**Tabla 3.3.2.2.- NIVEL DE AGRESIVIDAD DEL CONTENIDO DEL ION CLORURO PARA EL CONCRETO<sup>1</sup>**

Elemento Agresivo	Nivel de Agresividad			
	Débil	Moderado	Fuerte	Muy Fuerte
Cl- (ppm)	<50	50 - 500	500 - 1000	>1000

<sup>1</sup> Corrosione e Protezione di Strutture Metalliche e in Cemento Armato Negli Ambienti Naturali (Pietro Pedferri)

Vemos en la tabla de los resultados de los análisis del concreto, que todas las muestras tienen un porcentaje de contenido de ion cloruro mayor que el contenido permisible por el concreto, según el criterio de Steinrath. Lo que nos llevaría a afirmar que el nivel de agresividad para el concreto es muy fuerte.

Para analizar el nivel de agresividad de cierta cantidad de ion cloruro en concreto para con el acero, tendremos primero que hacer una transformación de los resultados de ion cloruro que están dados en porcentaje en peso de concreto y referirlos a porcentaje en peso de cemento. Para lograr esto se tomaron datos estándar de las características de los postes de la urbanización Los Tallanes, en una fábrica de postes. Donde se determinó la cantidad de cemento en gramos por cada kilogramo de concreto:

**Tabla 3.3.2.3.- Datos tomados de la fábrica de postes<sup>2</sup>:**

<b>Peso del concreto de un poste (solo concreto)</b>	<b>Peso del cemento en un poste</b>	<b>Peso de cemento por kilogramo de concreto</b>
180 Kg	85 Kg	470 gr

Con el dato de la cantidad del peso del cemento por kilogramo de concreto, transformamos el porcentaje en peso de concreto de las muestras a porcentaje en peso de cemento de la mismas muestras y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 3.3.2.4.- Datos del contenido de ion cloruro en porcentaje referido al cemento**

<b>Descripción de las muestras</b>	<b>Cloruros (% referido al cemento)</b>
<b>M1</b>	0.3932
<b>M2</b>	0.263
<b>M3</b>	0.6512
<b>M4</b>	0.411

Con los datos del contenido de cloruros en porcentaje en peso de cemento para cada muestra, procederemos a evaluar su criticidad para el acero según la tabla 3.3.2.5, que nos da los porcentajes permisibles de ion cloruro en porcentaje en peso referido al cemento, para varias normas de diferentes países:

<sup>2</sup> La fábrica de postes donde se tomaron los datos: "Estructura de Postes San Jorge"

**Tabla 3.3.2.5.- Valor crítico de cloruros en concreto armado<sup>3</sup>:**

<b>País</b>	<b>Norma</b>	<b>Límite max. de CL-</b>	<b>referido a:</b>
USA	ACI 318	≤ a 0.15% en ambiente de CL	cemento
USA	ACI 318	≤ a 0.3% en ambiente normal	cemento
USA	ACI 318	≤ a 1% en ambiente seco	cemento
INGLATERRA	CP - 110	≤ a 0.35% al menos en un 95%	cemento
AUSTRALIA	AS 3600	≤ al 0.22%	cemento
NORUEGA	NS 3474	≤ al 0.6%	cemento
ESPAÑA	EH 91	≤ al 0.4%	cemento
EUROPA	EUROCODIGO 2	≤ al 0.22%	cemento

Los resultados obtenidos del nivel de agresividad del ion cloruro al acero para las muestras de concreto, se podría decir que son **críticos** al evaluarlos con la tabla 3.3.2.6. Habrá que tener en cuenta que la tabla señalada para la evaluación del nivel de agresividad se basa en un concreto nuevo con un pH alrededor de 12.5 a 13.5<sup>4</sup>, pero si consideramos el estado carbonatado del concreto; su cantidad admisible es mucho menor<sup>5</sup>; lo que agrava mucho más la situación actual del acero en los postes de la urb. Los Tallanes.

Para el caso de los iones sulfatos, el nivel de contenido crítico de este ion en el concreto viene condicionado, por el nivel máximo admisible de contenido del mismo ion en el terreno y el agua del terreno, ya que nosotros partimos de la consideración que no hay presencia de sulfatos en el concreto inicialmente y la cantidad encontrada en el análisis de las muestras de concreto son provenientes del exterior (terreno húmedo). Por este motivo se usará parte de la tabla 3.3.1.4, correspondiente a los contenidos del ion sulfato; para evaluar la agresividad al concreto:

<sup>3</sup> Manual de Inspecciones, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión de Estructuras de Hormigón Armado; CYTED

<sup>4</sup> Corrosion Effect of Stray Currents and the Techniques for Evaluating Corrosion of Rebars in concrete; Editor: Victor Chaker

<sup>5</sup> Manual, inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras; programa temático del consejo superior de investigaciones científicas "Corrosión y Protección de Materiales", coordinador: S. Feliu (Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas); Subprograma: "Corrosión de Armaduras", obra coordinada por: C. Andrade (Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción)

**Tabla 3.3.2.6.- NIVEL DE AGRESIVIDAD DEL CONTENIDO DE ION SULFATO PARA EL CONCRETO<sup>1</sup>:**

Elemento Agresivo	Nivel de Agresividad			
	Débil	Moderado	Fuerte	Muy Fuerte
SO <sub>4</sub> -- (ppm)	<200	200 - 1000	1000 - 10000	>10000

Según los resultados del contenido de sulfatos en las muestras de concreto, se recomienda usar un cemento resistente a los sulfatos para el concreto de los postes ubicados en la Urb. Los Tallanes, ya que estos porcentajes son bastante considerables. A continuación se muestran los resultados de la agresividad al concreto:

**Tabla 3.3.2.7. Resultados del contenido crítico de sulfatos en el concreto**

Número de muestra	Grado relativo del ataque por sulfatos			
	Débil	Moderado	Fuerte	Muy Fuerte
M1			X	
M2			X	
M3			X	
M4		X		

Podemos observar, que el contenido del ion sulfato es fuerte para casi todas las muestras del concreto de los postes muestreados. Lo que nos indicaría un efecto agresivo al concreto, contribuyendo al resquebrajamiento del mismo y apoyando indirectamente a la corrosión del acero, al dejar llegar fácilmente el oxígeno a las armaduras.

Aunque los sulfatos no tienen un efecto tan nocivo sobre las armaduras como los cloruros, sabemos que son también iones despasivantes, y su determinación resulta conveniente, ya que permite valorar si el concreto del recubrimiento ha podido verse afectado por el ataque de estos iones y provocado un aumento de la permeabilidad debido a expansiones y agrietamientos típicos del ataque por sulfatos<sup>5</sup>. Permitiendo así el ingreso de una mayor cantidad de iones despasivantes a las armaduras.

### **3.3.3. Evaluación de las armaduras**

La evaluación de las armaduras se ha basado en una inspección visual, con el fin de determinar el diámetro actual de las varilla de Fe en las zonas afectadas. Como

---

<sup>5</sup> Manual, inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras; programa temático del consejo superior de investigaciones científicas “Corrosión y Protección de Materiales”, coordinador: S. Feliu (Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas); Subprograma: “Corrosión de Armaduras”, obra coordinada por: C. Andrade (Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción).

comparación se ha medido el diámetro de las varillas a una altura de 1.8 m. (donde el Fe se encuentra en buenas condiciones) y se encontró que estas son de ½”, Comparándolo el diámetro actual de las varillas pertenecientes a las armaduras en la zona dañada del poste. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 3.3.3.1.- Descripción del estado actual de las armaduras, pertenecientes a los postes de La Urbanización Los Tallanes.**

<b>Poste</b>	<b>Diámetro del Fe</b>	<b>Comentario</b>
01	12.3 mm	La varilla de Fe, mantiene el corrugado; pero desgastado debido a la Corrosión generalizada hasta los 45 cm; en este sector incluso no se encontró el alambón,. A alturas superiores hay presencia de corrosión por picaduras.
02	11 mm	No se encontró el corrugado en la varilla de Fe, ni alambón. La zona afectada alcanza hasta 15 cm de altura sobre el suelo, lo que nos da una idea de la altura alcanzada por la humedad, debido a la capilaridad.
03	11.5 mm	Se encontró poco corrugado en la varilla de Fe. El metal, presenta un fuerte desgaste y el alambón se había consumido. La altura afectada era de 30 cm; en los siguientes 8 cm se pudo observar una morfología de corrosión por picaduras. Lo que nos lleva a tener una idea de la altura alcanzada por los iones solubles despasivantes.
04	12.7 mm	Aquí el Fe se encontraba en muy buenas condiciones, a pesar del resquebrajamiento del concreto hasta una altura de 12 cm en la zona inferior del poste. Esto nos lleva a suponer que el problema de la ruptura del concreto no es causado por la corrosión en la armadura; si no por algún ataque químico directamente al concreto.

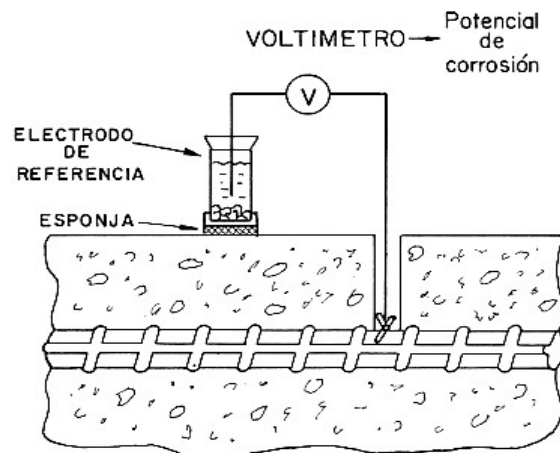
La altura de las grietas encontradas en los postes inspeccionados, nos puede dar una idea de la altura alcanzada por los iones despasivantes, solubles en el agua. La cantidad de estos iones en los primeros centímetros de la zona dañada por la corrosión, justifica el mayor daño visible en la parte cercana al suelo; tanto para la armadura, como para el concreto. Se resalta este hecho ya que la forma de trabajar de estas estructuras, es tal que concentran la mayor cantidad de esfuerzos en esta zona baja del poste. Es por ello de vital importancia, la evaluación del concreto y de las armaduras, ya que el su deterioro afecta la resistencia mecánica a la estructura, tanto en compresión (concreto) como en tracción (acero).

### 3.3.4. Medidas de potencial

Para evaluar el avance de la corrosión en las armaduras de los postes y determinar de manera más precisa el estado de las armaduras, se efectuaron medidas de potencial electroquímico comparando los valores con aquellos indicados por la norma ASTM C-876.

La medición se llevó a cabo con un multímetro digital y un electrodo de referencia de  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ ; ésta se efectuó haciendo conexión en la armadura de la zona dañada por la corrosión. Es decir, un borne del multímetro se conecta a la armadura y el otro borne a un electrodo de  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ , el mismo que se desliza sobre la superficie del concreto para lograr medir el potencial de la armadura, en distintos puntos a través del concreto (Ver **figura 3.3.3.1**).

La medición de los potenciales se efectuó cada  $90^\circ$  alrededor del poste en sentido horario y cada 10 cm de altura desde el nivel del suelo. Conservando siempre la referencia de la medida de potencial en la parte inferior de la armadura del poste.



**Fig. 3.3.3.1.- Detalle de la medición de potenciales en los postes CAC.**

Los postes donde se midieron los potenciales fueron los mismos 04 postes, en los que se ha muestreado el concreto. El primero, el tercero y el cuarto poste dieron resultados coherentes, con referencia a la norma ASTM C-876. Pero el segundo dio unos resultados que no son coherentes con ésta norma.

La norma ASTM C-876 indica que los potenciales de las armaduras mayores a  $-250$  mV no debe haber corrosión, para valores de potenciales entre  $-250$  mV y  $-350$  mV hay incertidumbre sobre la existencia de corrosión; pero para valores menores de  $-350$  mV, indica que es seguro la existencia de corrosión.

Otros estudios realizados, se ha demostrado que estos rangos de valores varían de acuerdo a la calidad del cemento y del grado de permeabilidad del concreto.

Los resultados de las mediciones de potencial obtenidos en los 04 postes, fueron los siguientes:

<b>Poste 01:</b>				
alturas \ potenciales	alineado(mV)	90°(mV)	180°(mV)	270°(mV)
8cm	-353			
20cm	-315			
30cm	-330			
40cm	-341	-186	-174	-316
50cm	-194	-182	-240	-235
60cm	-96	-118	-126	-46
70cm	-54	-90	-72	-45
80cm	-73	-48	-28	-23
90cm	-33	-57	-24	-50
100cm	-28	-75	-33	-54
150cm	-83	-77	-61	-51
200cm	-87	-94	-62	-81

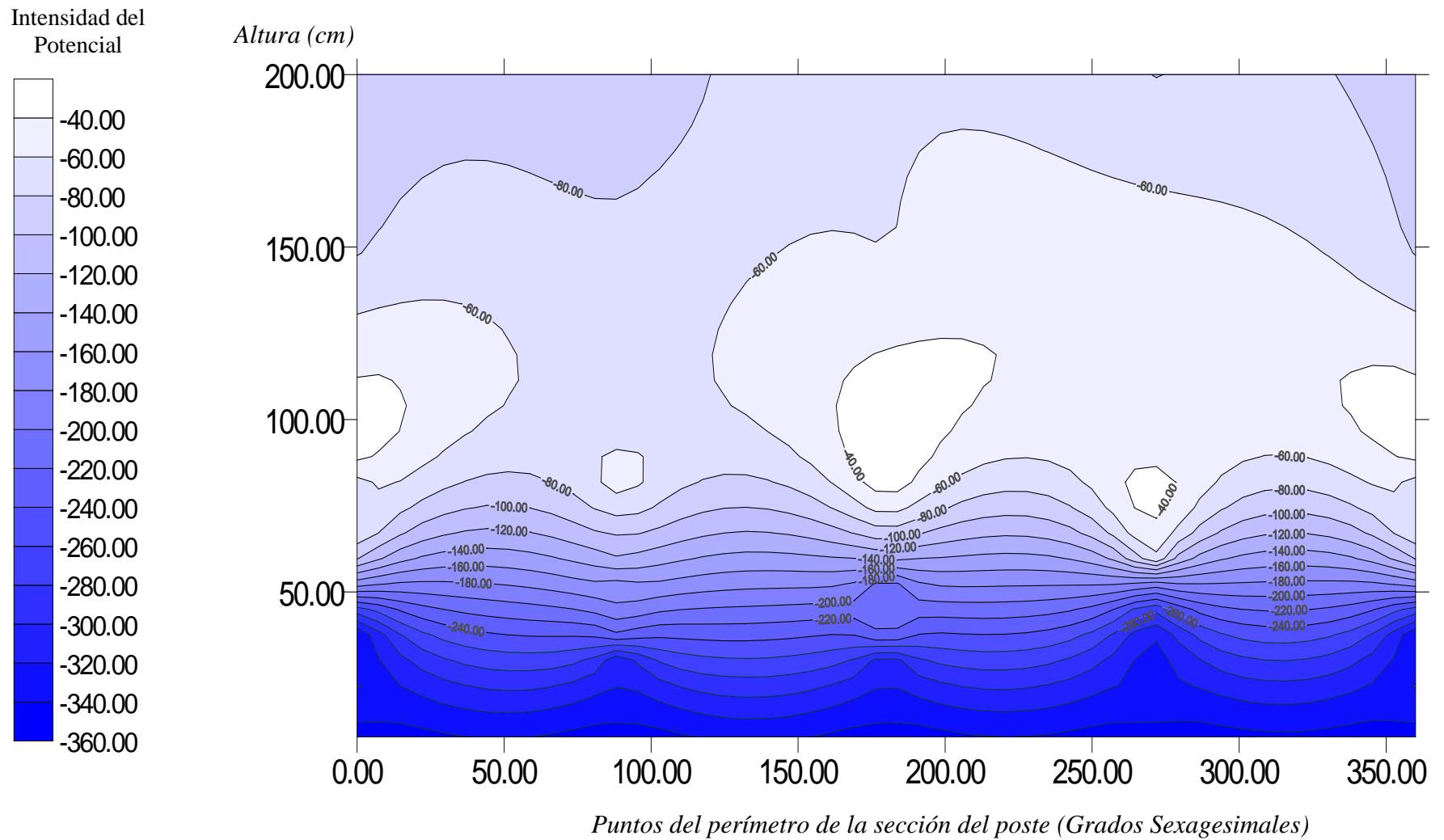
<b>Poste 02:</b>				
alturas \ potenciales	alineado(mV)	90°(mV)	180°(mV)	270°(mV)
5cm	-258	-374	-281	-225
20cm	-290	-376	-275	-283
30cm	-233	-335	-300	-280
40cm	-273	-250	-284	-209
50cm	-188	-209	-218	-190
60cm	-208	-222	-213	-198
70cm	-203	-220	-227	-174
80cm	-196	-203	-196	-164
90cm	-180	-203	-181	-140
100cm	-195	-184	-190	-150
110cm	-164	-188	-198	-174
120cm	-166	-178	-188	-154
130cm	-161	-167	-173	-162
140cm	-190	-185	-183	-183
150cm	-188	-176	-177	-170
200cm	-180	-183	-189	-169

<b>Poste 03:</b>				
alturas \ potenciales	alineado(mV)	90º(mV)	180º(mV)	270º(mV)
15cm	-290		-342	
20cm	-294	-233	-196	-322
30cm	-198	-185	-137	-240
40cm	-132	-130	-119	-139
50cm	-106	-125	-109	-123
60cm	-108	-132	-107	-119
70cm	-120	-106	-112	-121
80cm	-110	-79	-118	-127
90cm	-108	-93	-126	-137
100cm	-116	-100	-106	-124
110cm	-128	-107	-115	-130
120cm	-135	-110	-130	-129
130cm	-120	-120	-124	-134
140cm	-160	-109	-147	-147
150cm	-143	-111	-160	-142
200cm	-81	-125	-126	-87

<b>Poste 04:</b>				
alturas \ potenciales	alineado(mV)	90º(mV)	180º(mV)	270º(mV)
10cm	-310	-236	-263	-246
20cm	-193	-147	-240	-318
30cm	-136	-132	-128	-160
40cm	-116	-95	-95	-83
50cm	-66	-66	-57	-73
60cm	-70	-72	-96	-58
70cm	-12	-54	-73	-76
80cm	-13	-60	-33	-68
90cm	-11	-45	-34	-63
100cm	-18	-74	-35	-62
150cm	-37	-39	-4	-52
200cm	-15	-21	-8	-7

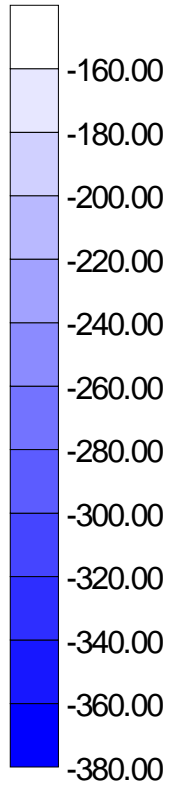
Con los resultados de potenciales obtenidos, se elaboraron los siguientes mapas equipotenciales para cada poste evaluado:

### Mapas equipotenciales del poste muestreado 01

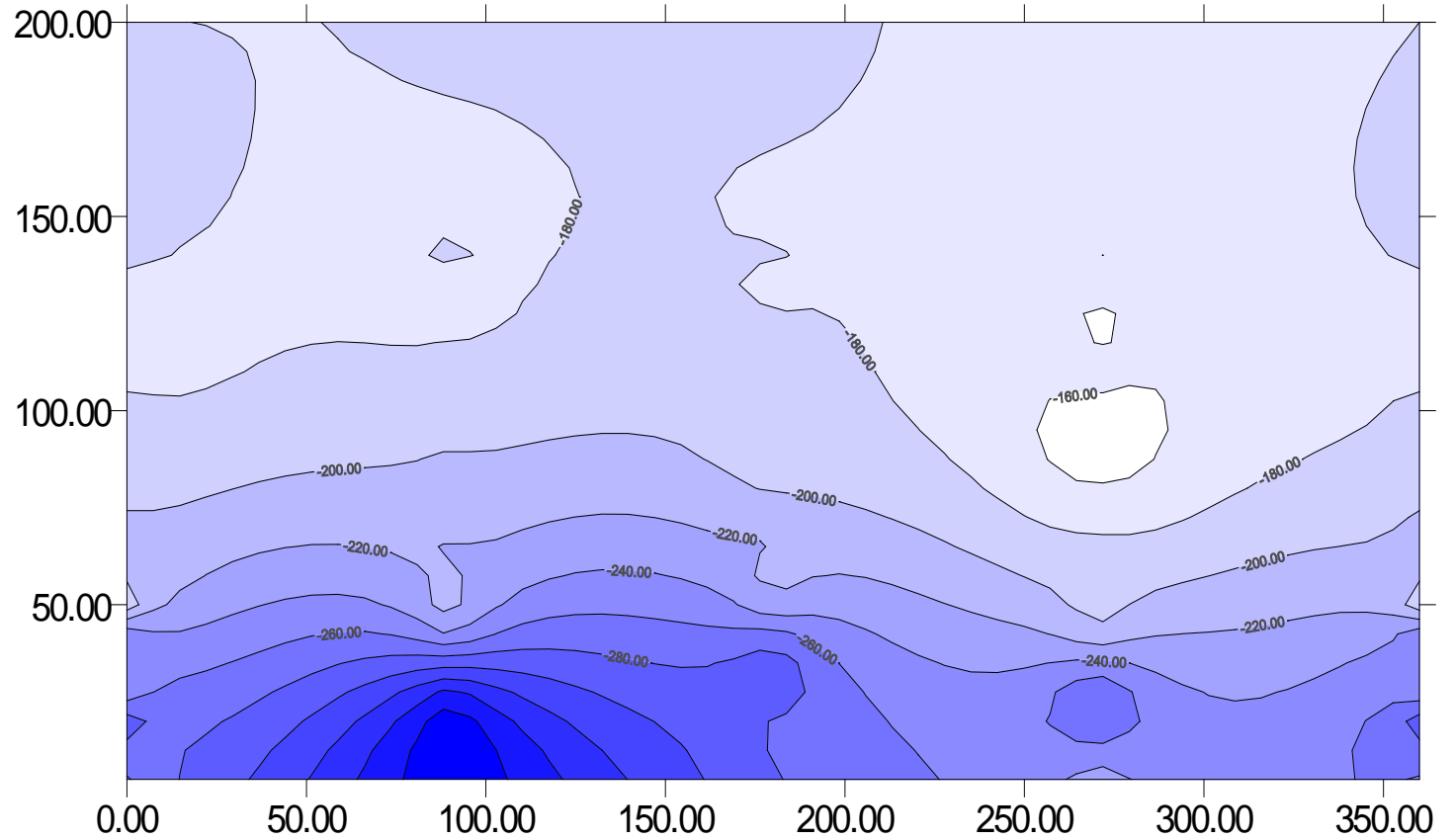


### Mapas equipotenciales del poste muestreado 02

Intensidad del  
Potencial

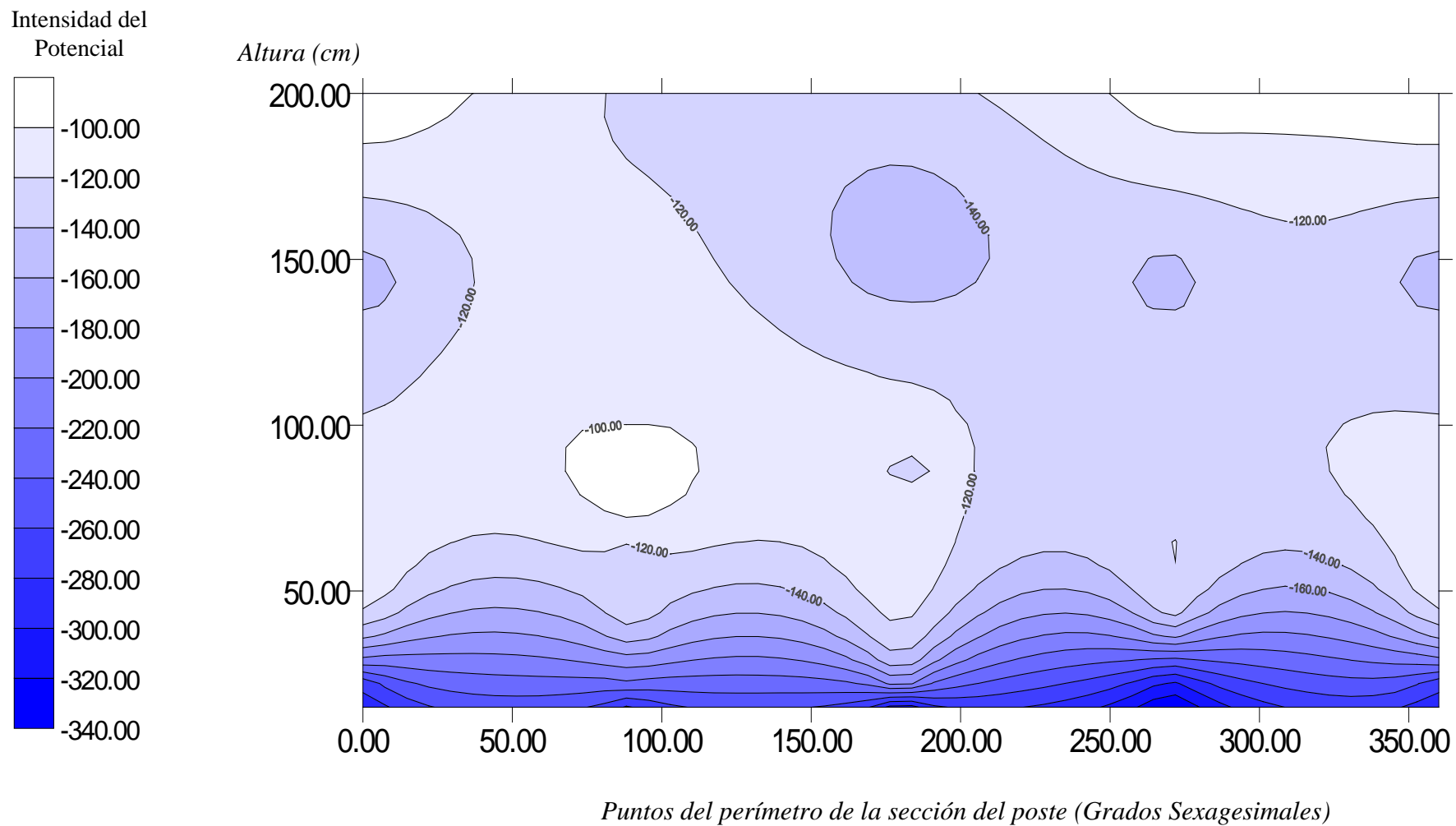


Altura (cm)



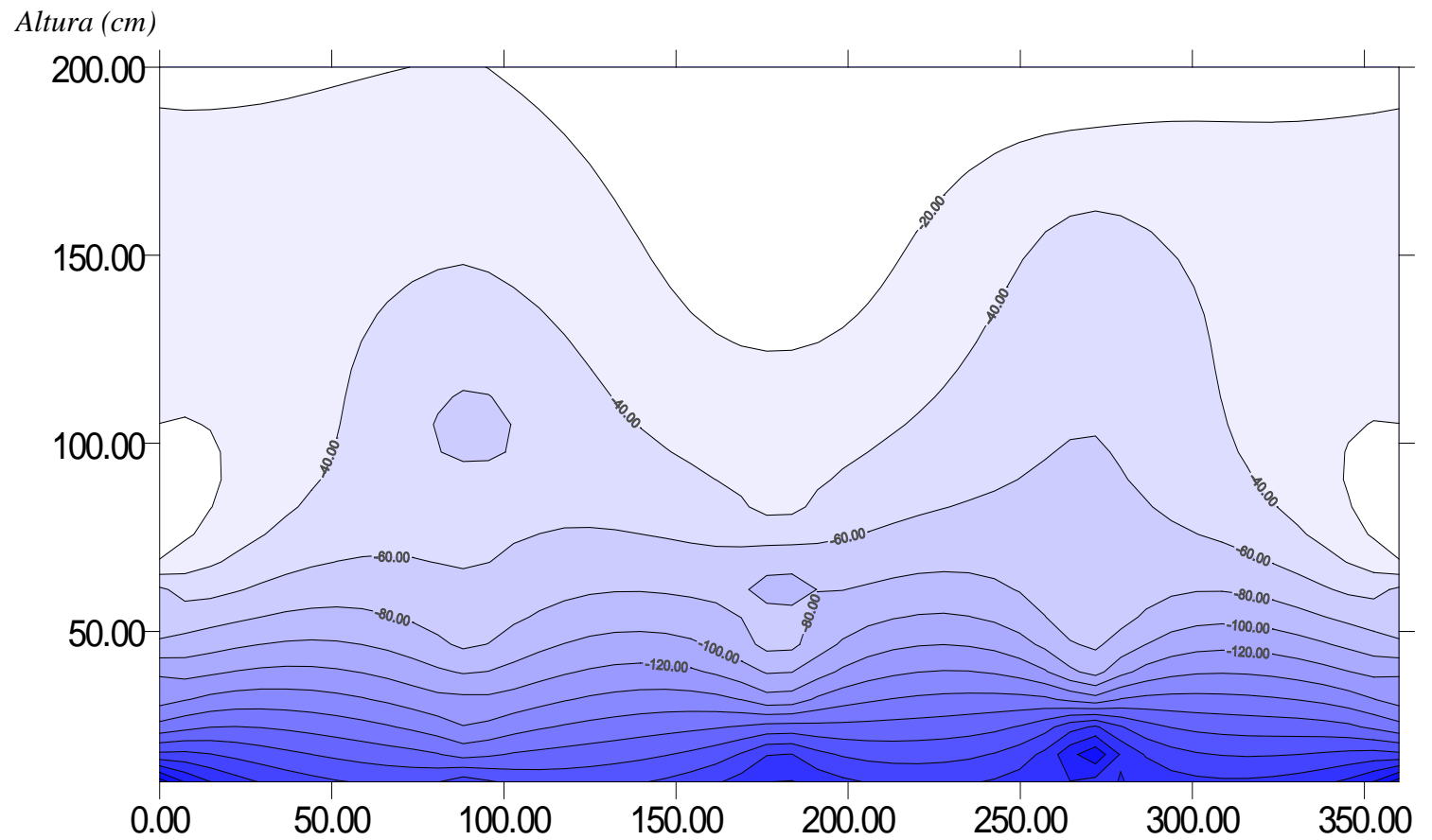
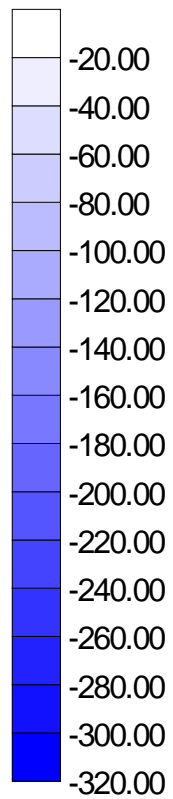
Puntos del perímetro de la sección del poste (Grados Sexagesimales)

### Mapas equipotenciales del poste muestreado 03



### Mapas equipotenciales del poste muestreado 04

Intensidad del  
Potencial



*Puntos del perímetro de la sección del poste (Grados Sexagesimales)*

Si comparásemos la altura, que coincide con la zona donde hay concentración de líneas en los mapas equipotenciales, con las alturas de grietas encontradas en los postes con problema de corrosión, los valores son coherentes en el primer, tercer y cuarto poste, pues coinciden los valores de potenciales que indican corrosión según la norma ASTM C 876 ; con las alturas de las grietas encontradas.

Para el segundo poste, las líneas equipotenciales no siguen una tendencia, como la de los otros postes. Si bien es cierto la altura agrietada, afectada tiene un potencial indicativo de corrosión, los siguientes centímetros más arriba (20cm, 30cm) tiene unos potenciales similares a los de la parte inferior agrietada, sin tener presencia de daños por corrosión, además los valores de potenciales a medida que se incrementa la altura bajan poco y se mantienen casi constantes en toda la altura restante del poste; esto es como si el estado corrosivo fuera crítico en toda la altura de 2 metros medida, lo que nos conduce a pensar que la calidad de cemento es diferente.

### 3.4. *Resultados y análisis de datos*

Según lo determinado en las medidas, pruebas y análisis químicos. Se ha observado que el factor más importante para el desarrollo del mecanismo de la corrosión que tienen los postes, es el de la presencia de iones despasivantes y solubles en el terreno donde están ubicados los postes. A este factor se le suma el problema de carbonatación, la apreciable presencia de humedad y la baja resistividad del terreno; estos tres últimos contribuyen a la corrosión de manera que le ofrecen adecuadas condiciones para que se desarrolle la corrosión de manera óptima.

Si comparamos la cantidad de ion cloruro y ion sulfato en el terreno con las cantidades en el concreto, veremos que son mucho menores las cantidades en el concreto como es de esperarse, pues sabemos que puede darse el caso de la presencia de un porcentaje inicial de ion cloruro en las armaduras al hacer el poste, como se dijo anteriormente. Se incrementará el porcentaje de contenido de ion cloruro al admitir mayor cantidad de cloruros provenientes del terreno, por medio de la humedad del mismo.

El porcentaje del contenido tanto de ion cloruro, como el de ion sulfato; sobrepasa claramente el porcentaje permisible para el acero y concreto respectivamente. Lo que explica una fuerte corrosión en las armaduras y así mismo un mal estado del concreto en los postes, como se ha documentado en el capítulo 03.

La morfología de corrosión encontrada en las armaduras es por picaduras, debido a los agentes agresivos. En las zonas expuesta al medio ambiente del acero, debido a las grietas, se encontró una corrosión más desarrollada; debido a la inestabilidad del acero en el medio ambiente.

La medida de los potenciales de corrosión, nos verifican las alturas de armaduras corroídas. Como también nos confirma el adecuado cumplimiento de la norma ASTM-C876 para este caso; ya que los valores de potenciales cumplen con el estado de las armaduras encontrado.

Los postes muestreados que poseen las mayores alturas de grietas en el concreto, son el poste 01 y el poste 02 pertenecientes a la primera etapa de la urb. Los Tallanes. Se resalta este dato ya que la primera etapa es mucho más inundable que la segunda.

Se deberá tener en cuenta que el estado actual del concreto en la base de los postes variará su criticidad no solo por su nivel de humedad, sino también estará en función del espesor de recubrimiento y de la calidad del concreto para el medio corrosivo. Pues un claro ejemplo de lo dicho son los postes de la segunda etapa de la urbanización, pues esta etapa no es inundable; pero guarda un apreciable nivel de humedad, que junto con el terreno corrosivo

que se presenta en esa zona han causado la corrosión de más del 80% de postes ubicados en esta etapa.

El grado de carbonatación es un factor que contribuye al desarrollo del mecanismo de corrosión, de tal manera que disminuye la alcalinidad del concreto como ya se ha explicado anteriormente. Pero no es un factor decisivo, ya que para nuestro caso es un proceso bastante lento; esto lo hemos comprobado al medir el pequeño espesor de recubrimiento de concreto carbonatado en la parte superior del poste. Pues si tenemos en cuenta el tiempo de servicio de los postes que es aproximadamente 22 años, nos daremos cuenta que el proceso requiere de muchos años para producir la carbonatación de todo el espesor de recubrimiento de concreto.

El grado de carbonatación, afectará más al grado de agresividad del contenido de ion cloruro en el concreto para el acero, que el concreto mismo. Pues como ya se dijo antes, un concreto carbonatado necesita menos cantidad de cloruros que los que necesitaría si no lo estuviera para encontrarse en una condición crítica. Afirmandonos una despasivación segura por cloruros en las armaduras de los postes de la urbanización los Tallanes.

Los valores de resistividad son bastante bajos. Lo que nos llevaría a pensar que el terreno está lleno de sales, lo que se puede constatar en los resultados de las muestras del terreno. Dentro de este fuerte contenido de sales solubles muchas de estas serán cloruros o sulfatos que son los causantes de la despasivación del acero.

Las grietas encontradas en el concreto. Son causadas por la cristalización de su gran contenido de sales solubles<sup>6</sup> y además se le suma a este factor las fuerzas expansivas del crecimiento en volumen del acero, debido al herrumbre. Estas grietas son longitudinales a las varillas de acero, debido a que la presión normal producido por el herrumbre se dá a lo largo de la varilla; causando una tendencia en el concreto a la formación de grietas orientadas longitudinalmente.

---

<sup>6</sup> "Concrete", Segunda Edición 2003; Sydney Mindess, University of British Columbia; J. Francis Young, University of Illinois at Urbana - Champaign

## IV. EVALUACION ESTRUCTURAL DE LOS DAÑOS CAUSADOS POR CORROSION EN LOS POSTES CAC

### 4.1. *Comprobación de los esfuerzos normales*

Debido al importante desempeño de los esfuerzos normales en la estructura de concreto armado, que resultan de soportar el mismo peso del poste CAC, luminarias y esfuerzos resultantes del momento causado por la fuerza de empuje del viento sobre el poste y conductores. Se debe tener en cuenta en el caso de instalaciones eléctricas aéreas el peso de los conductores, el de la ferretería y aisladores y algunas veces de la fuerza y momentos provenientes de la retenida; siendo este caso el más crítico, por la gran solicitud de esfuerzos normales al poste. Se ha creído conveniente tomar esta parte del estudio, para tratar las repercusiones que conlleva tener que utilizar la estructura de concreto armado con problemas de corrosión para soportar las cargas ya antes mencionadas. Cabe resaltar la gran resistencia que tiene el concreto armado ante los esfuerzos normales debido a la buena resistencia del concreto frente a la compresión, combinada con las características elásticas del acero ante los esfuerzos de tracción. Este punto nos da un motivo de evaluación de la disminución de resistencia normal perteneciente a la estructura de concreto armado dañada por la corrosión, con respecto a un estructura sana.

Para la evaluación mecánica se utilizará como apoyo un software de análisis mecánico llamado Algor, que elabora su análisis por medio de elementos finitos. Este nos da como resultado los distintos valores de los esfuerzos en la estructura, indicándonos por medio de colores las distintas intensidades de los esfuerzos. La estructura de concreto armado se estudiará como si fuera una estructura homogénea; o sea como si el material del poste fuera solamente de concreto.

Para lograr esta homogeneidad de material se tiene que transformar la porción de acero en concreto, teniendo como dato el factor de transformación ( $n$ ) que se obtuvo al dividir el módulo de elasticidad del acero entre el del concreto:

$$n = \frac{E_{Fe}}{E_c}$$

El módulo de elasticidad del concreto se estimó por lo recomendado por la ACI. Dice que el módulo del concreto se puede calcular así:

$$E_c = w^{1.5} \times 33 \times \sqrt{f'}$$

Donde:

$E_c$  : módulo de elasticidad del concreto ( $lb / pulg^2$ )

$w$  : peso del concreto en ( $lb / pie^3$ )

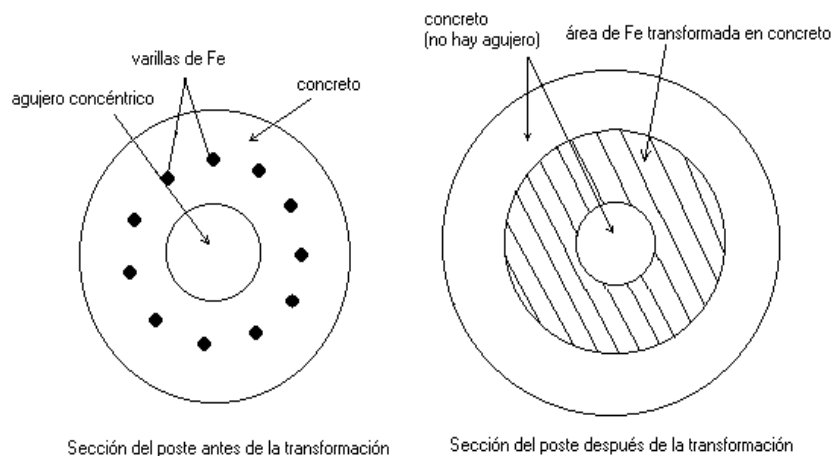
$f'$  : resistencia a la compresión del concreto ( $lb / pulg^2$ )

Teniendo en cuenta la información recomendada y sabiendo también que la resistencia del concreto promedio en compresión es aproximadamente  $210 \text{ Kg} / \text{cm}^2$  y que el módulo de elasticidad del Fe es  $31.23 \times 10^6 \text{ lb} / \text{pulg}^2$  aproximadamente, podemos estimar el valor de  $E_c = 3.4 \times 10^6 \text{ lb} / \text{pulg}^2$  y el factor de transformación  $n = 10$  aproximadamente. Con el dato encontrado del factor de transformación se podrá proceder al análisis de esfuerzos.

El área del acero quedará transformada en área equivalente en concreto, formando una corona circular, obedeciendo a la siguiente fórmula:

$$A_{Fe} = n \times \frac{\pi}{4} \times d^2 \times \# \text{ varillas} = \frac{\pi}{4} [D^2 - d^2]$$

Gráficamente se verá como una sección de mayor área:



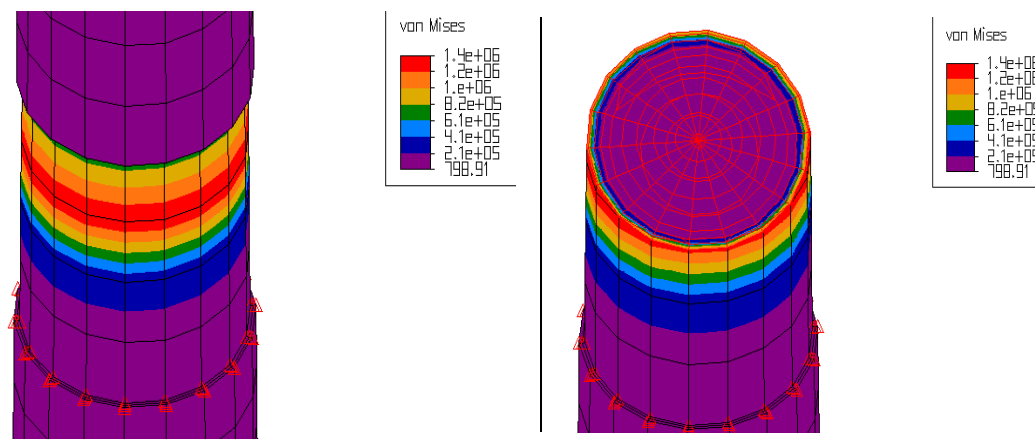
**Fig. 4.1.1.- Detalle de la transformación del área de las varillas de Fe en una sección de corona circular en material de concreto.**

Esta transformación se tendrá en cuenta en casi toda la longitud del poste, exceptuando la zona de la base atacada por la corrosión (la altura de la parte afectada del poste será el promedio de las alturas de las grietas longitudinales encontradas), donde se considerará una disminución de área del acero del 12%.

#### 4.1.1. Por peso de la estructura

El peso de la estructura es una carga que aumenta su importancia a medida que la altura del poste es mayor y cuando la densidad del concreto es alta (para el caso de los postes ubicados en las esquinas en instalaciones aéreas), es de vital importancia tener en cuenta esta carga debido a que la zona más crítica del poste es la de la parte inferior, donde tenemos ubicado los daños corrosivos.

A continuación se muestra el análisis de los esfuerzos normales debido al peso del poste:



**Fig. 4.1.1.1.- Resultado del análisis mecánico del poste considerando sólo el peso del poste (resultados en MPa)**

Con los resultados obtenidos del análisis, podemos notar claramente que la zona más afectada con un esfuerzo de 1.4 MPa; es la zona inferior dañada por la corrosión. Si bien es cierto que la resistencia a la compresión del concreto es aproximadamente 17.2 MPa, mejor dicho que el peso de la estructura no exige mucho al poste, cabe resaltar que la resistencia del concreto disminuye mucho al haber presencia de sales, cloruros y sulfatos incluso poniendo muchas veces en problemas a los postes de instalaciones eléctricas subterráneas, como es el caso en los postes de la urbanización los Tallanes.

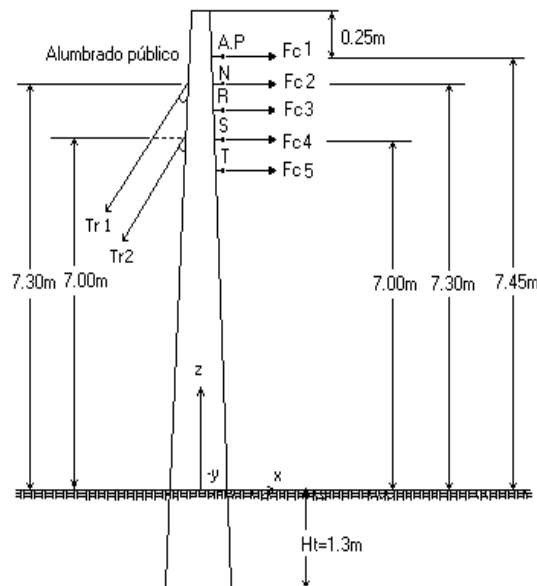
#### 4.1.2. Por el peso del instrumental y las fuerzas de tensión de los conductores y retenidas

Los esfuerzos normales que aparecen debido al peso de la ferretería, aisladores y conductores, no se presentan en los postes de la urbanización Los Tallanes, debido que esta cuenta con instalaciones eléctricas subterráneas. Pero al observar los resultados del terreno y el estado de los postes por las fronteras de la urbanización, podemos concluir que el problema de corrosión también se presenta en los postes CAC vecinos de la urbanización; estos son de mayor altura y cuentan con instalaciones eléctricas aéreas. Esta es la razón por la cuál el análisis es basado en postes de instalaciones eléctricas aéreas.

Los resultados de los esfuerzos debido al peso de la ferretería, aisladores y conductores y debido a la tensión de la retenida y de los mismos conductores. Se han obtenido tomando un caso crítico; que es el de analizar un poste de final de línea con retenida y con conductores de cobre desnudo de sección considerable.

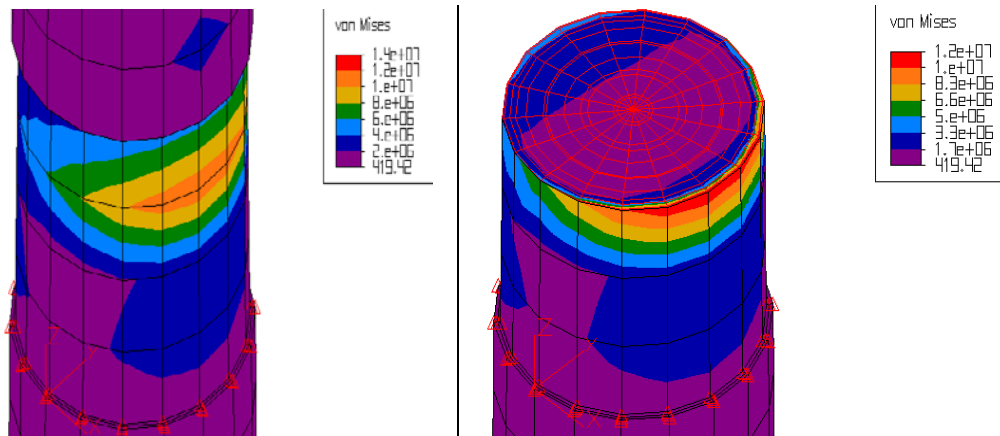
Para nuestro caso usaremos conductores de cobre, de  $35 \text{ mm}^2$  de sección, considerando su esfuerzo límite de trabajo y la fuerza del viento sobre ellos, también consideraremos un conductor para alumbrado público y uno para el neutro que tienen la mitad de sección de los conductores de fase. También como resultado de las condiciones impuestas en nuestro análisis, es necesario usar dos retenidas para poder soportar la tensión de los conductores, que cuentan con un ángulo de  $10^\circ$  al inicio de la catenaria. El peso de los aisladores y el de la ferretería es muy pequeño comparándolo con las magnitudes de las fuerzas resultantes debido a los conductores en nuestro análisis.

A continuación se mostrará la distribución de las fuerzas debida a los conductores:



**Fig. 4.1.2.1.- Esquema de la distribución de fuerzas en el poste de final de línea de distribución eléctrica.**

Según el esquema mostrado de la distribución de fuerzas se procedió al análisis en el software Algor y los resultados obtenidos fueron los siguientes:



**Fig. 4.1.2.2.- Resultados del análisis mecánico del poste considerando sólo las fuerzas de los conductores, retenidas y peso del instrumental (resultados en MPa)**

Los resultados obtenidos nuevamente nos demuestran que las fuerzas repercuten de manera pronunciada sobre la zona que se encuentra afectada por la corrosión, siendo esta vez mucho más crítico, ya que presenta zonas muy pequeñas con esfuerzos de hasta 14 Mpa, dándonos así una idea de lo grave que puede ser el tener este poste corroído soportando las cargas del esquema.

### 4.1.3. Por flexión debido a la fuerza del viento

La fuerza correspondiente al viento sobre la superficie del poste expuesta a éste, es importante tenerla en cuenta por su gran magnitud en lugares abiertos como en la urbanización Los Tallanes donde la velocidad del aire alcanza valores altos. Para nuestro análisis del momento causado por esta fuerza, vamos a considerar una velocidad del viento de 75 Km/hr y su punto de aplicación ( $z$ ) que va a depender de la altura del poste expuesta al viento ( $H_{pv}$ ), del diámetro del poste en la punta ( $d_p$ ) y del diámetro del poste en el empotramiento ( $d_e$ ).

La fuerza del viento sobre el poste, la presión sobre la superficie del poste expuesta al viento ( $P_v$ ), el área de la superficie del poste expuesta al viento ( $A_{pv}$ ) y el punto de aplicación de la fuerza se calcula de la siguiente manera:

$$F_{vp} = P_v \times A_{pv} \dots\dots\dots(Kg)$$

$$A_{pv} = H_{pv} \times \left( \frac{d_p + d_e}{2} \right) \dots\dots\dots(m^2)$$

$$z = \frac{H_{pv}}{3} \times \left( \frac{d_e + 2 \times d_p}{d_e + d_p} \right) \dots\dots\dots(m)$$

$$P_v = K \times v^2 \dots\dots\dots(Kg / m^2)$$

$K = 0.0042$  (constante de las superficies cilindricas)

$V = 75$  Km/hr (velocidad del viento)

El poste para el análisis es de 9 metros de longitud y las dimensiones geométricas que necesitamos para calcular los esfuerzos del viento sobre el poste son las siguientes:

$$H_{pv} = 7.7 \text{ mts}$$

$$d_p = 0.120 \text{ mts}$$

$$d_e = 0.235 \text{ mts}$$

$$A_{pv} = 1.36675 \text{ m}^2$$

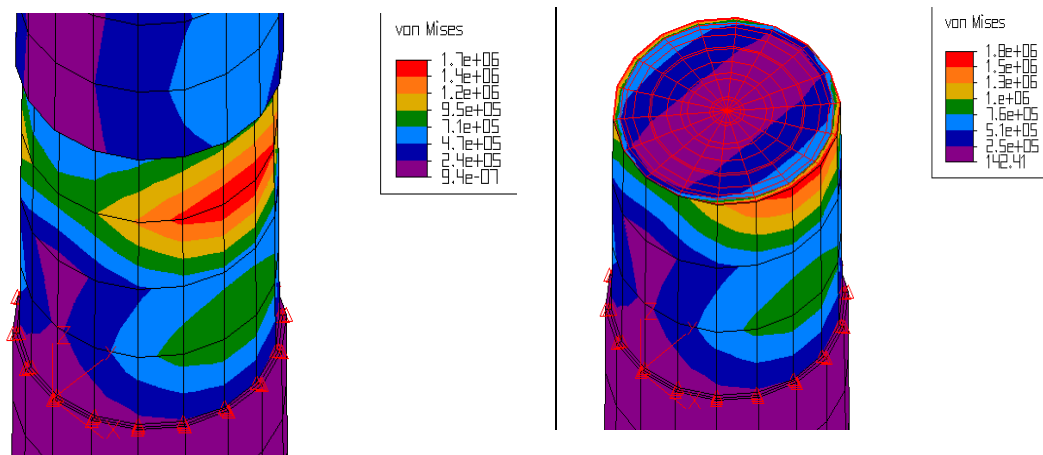
$$z = 3.4342 \text{ mts}$$

Por lo tanto el valor de la fuerza y de la presión son los siguientes:

$$F_{vp} = 32.2895 \text{ Kg}$$

$$P_v = 23.625 \text{ Kg} / m^2$$

Según los valores encontrados, procederemos a hacer el análisis en el software Algor, considerando sólo la fuerza del viento. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:



**Fig. 4.1.2.2.- Resultados del análisis mecánico del poste considerando sólo la fuerza del viento (resultados en MPa)**

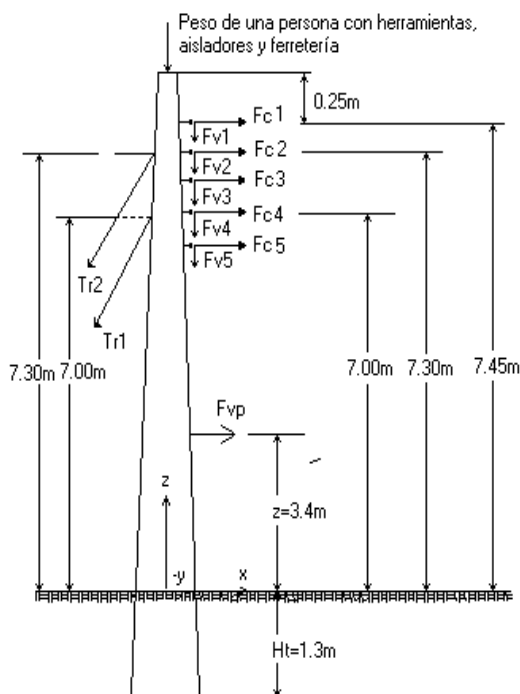
Los resultados obtenidos nos demuestran nuevamente la pérdida de capacidad de resistencia mecánica en la zona afectada del poste, con respecto a las zonas sanas del mismo; debido a la presencia de la presión ejercida por el viento sobre la estructura.

#### 4.2. *Análisis de pandeo en la estructura*

Como se ha podido observar anteriormente los valores elevados de esfuerzos en el poste, se pronuncian más en la zona donde se encuentra la corrosión y hasta el momento se ha hecho el análisis considerando las fuerzas que tiene que soportar el poste de manera independiente. Mejor dicho que solo se han aplicado las fuerzas de manera independiente sin tener en cuenta a la vez las otras fuerzas provenientes de otros orígenes.

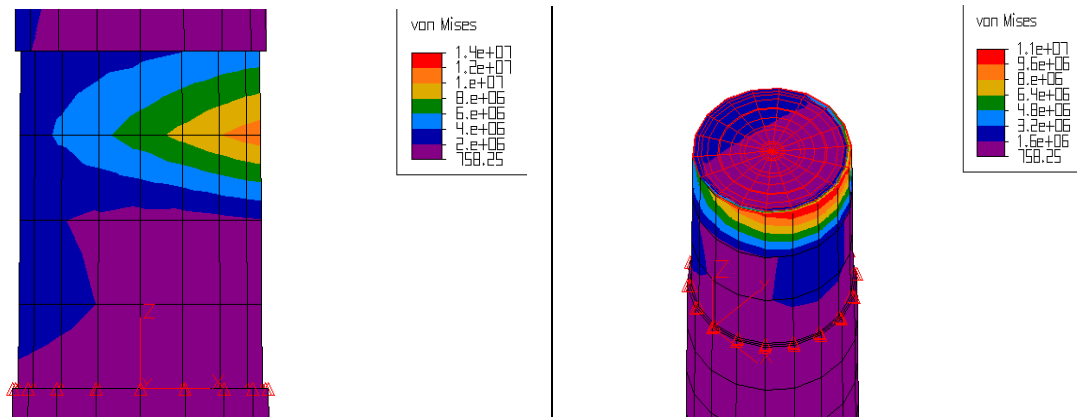
Entonces el análisis por pandeo es necesario ya que las grandes fuerzas resultantes de compresión en el poste, pueden ocasionar una falla por pandeo del poste. Siendo esta falla de manera frágil y por lo tanto instantánea, ya que el concreto es un material frágil.

A continuación se mostrará todas las fuerzas que actúan sobre el poste, para darnos una idea de la gran magnitud de la fuerza resultante de compresión:



**Fig. 4.2.1.- Esquema de la distribución de fuerzas totales que actúan sobre el poste.**

A continuación procederemos a analizar el poste por medio del software Algor, aplicando todas las fuerzas juntas, para observar si la zona dañada por corrosión tiene la capacidad de resistir los esfuerzos provocados por las fuerzas:



**Fig. 4.2.2.- Resultados del análisis mecánico del poste considerando todas las fuerzas que actúan sobre el poste (resultados en MPa)**

Lo que se puede observar en los resultados, es que nos encontramos unos valores de esfuerzos de compresión bastante altos para la esbeltez del poste. Lo que nos lleva a hacer el análisis por la teoría de Euler de columnas.

La carga crítica es  $P_{cr} = \frac{E I_x n^2 \pi^2}{l^2}$ ; donde “n” depende del número de apoyos en la columna ( para nuestro caso n=1 ) y “l” es la longitud efectiva de pandeo. El esfuerzo crítico se obtiene al dividir el  $P_{cr}$  entre el área de la sección recta  $A = \frac{\pi d^2}{4}$  y además sabiendo que  $I_z = \frac{\pi d^4}{64}$ , se puede obtener:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 x E}{4x \left( \frac{l}{r} \right)^2}$$

Se ve que el valor del esfuerzo crítico va a depender del valor que toma la relación “l/r”, denominado esbeltez. Para valores elevados de la relación de esbeltez, el esfuerzo crítico queda reducido, lo que indica que un poste muy esbelto patea y pierde su resistencia para valores de esfuerzo de compresión pequeños. Vale la pena resaltar que este análisis da resultados satisfactorios cuando  $\sigma_{cr}$  es menor que el esfuerzo de rotura del concreto  $\sigma_{rotura}$ . Para nuestro caso el valor resultante del esfuerzo crítico en la sección de la zona afectada por corrosión es  $\sigma_{cr} \approx 28.6$  MPa; Siendo este valor mayor que el esfuerzo

último de compresión del concreto. Lo que nos asegura nuevamente que el poste no falla por pandeo. Diciéndonos también con esto que la falla va ser más propensa a darse por los esfuerzos normales producidos en la sección dañada del poste debido a sus cargas, que debido a un pandeo; y que la relación de esbeltez no es tan crítica, como para aplicar la teoría de Euler.

Si bien es cierto, que la falla más propensa no es por pandeo, deberemos poner más atención a los esfuerzos producidos por fuerzas normales ya que son considerables en magnitud y podrían causar un derribamiento de un poste con corrosión.

El derribamiento de un poste corroído, se podría dar porque en nuestro análisis, no hemos considerado que el poste afectado por la corrosión posee una armadura vieja con diferentes propiedades mecánicas que una nueva y la posibilidad de presencia de sales en la zona inferior del poste haciendo perder resistencia al concreto.

## V. METODOS DE REPARACIÓN DE POSTES CAC CORROIDOS

Para desarrollar un método de reparación para postes CAC, es necesario tener en cuenta técnicamente la efectividad del método y además debe ser rentable para poder llevarlo a cabo. Se sabe que el costo del mantenimiento de estructuras de concreto armado es muy elevado, limitándonos a seleccionar los métodos más económicos y a su vez efectivos.

Para poder llevar a cabo estos métodos, es necesario que la armadura del poste no tenga una pérdida de sección mayor al 20%<sup>1</sup>. Pues en caso contrario, el poste deberá ser renovado.

Para elaborar los métodos de reparación es necesario seguir rigurosamente un procedimiento inicial, que es el de limpieza del poste. Este consiste en retirar el concreto contaminado con iones despasivantes, cuidando no causar fisuras, ni microfisuras en el concreto sobrante y no contaminado en el poste.

Por efectos de seguridad, se deberá sostener el poste por medio de cables tensados en su alrededor, cumpliendo la función de retenidas. Evitando de esta manera alguna falla mecánica por haberse retirado parcialmente el concreto.

Una manera de determinar hasta qué altura del poste se encuentra contaminado; es retirar el espesor de recubrimiento de concreto, desde la base del poste a nivel del suelo, hasta una altura donde no presente desgaste el Fe; pues esto indica que la presencia de agentes es muy pobre o nula en esa zona.

Una vez retirado el concreto contaminado; se procede a limpiar la armadura del óxido formado sobre su superficie. Es preferible que la limpieza de la armadura se haga por medio de un chorro de arena (arenado), por cepillado o lijado; de tal manera que el método preferentemente sea por fuerza mecánica, ya que el uso de un decapante que el fabricante

---

<sup>1</sup> Manual, inspección de obras por corrosión de armaduras; programa temático del consejo superior de investigaciones científicas “Corrosión y Protección de Materiales”, coordinador: S. Feliu (Centro Nacional de investigaciones metalúrgicas); Subprograma: “Corrosión de Armaduras”, obra coordinada por: C. Andrade (Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción)

lo presenta como “antióxido” o similar; se corre el riesgo de que contamine el concreto sobrante.

Una vez hecha la limpieza se procede a aplicar un pegamento epóxico sobre la superficie del concreto viejo que rodea las armaduras con el objetivo de que el concreto nuevo pueda adherirse al concreto viejo. El concreto nuevo se usará para rellenar el vacío dejado por el concreto retirado; éste debe cumplir con ciertas características de conformado para obtener un óptimo resultado del método. El cemento que conforme al concreto nuevo, por el tema económico deberá ser un cemento normal; puede ser un cemento Pórtland tipo I ó un tipo MS. Pero la relación agua/cemento del concreto nuevo debe estar entre los valores de 0.35 y 0.5, esta relación no puede ser mayor a 0.5 ya que estos valores son los recomendados para lograr una buena impermeabilidad del concreto, el agregado del concreto nuevo deberá ser fino; el tamaño recomendado para asegurar el mismo propósito de la permeabilidad; es de 5/8” de diámetro.

Se debe tener cuidado del sitio de donde se extrae el agregado, pues ese sitio puede contener agentes corrosivos. Por este motivo el agregado deberá ser de superficie lisa para poder limpiarlo con facilidad, en caso que se encuentre contaminado.

Después de haber llevado a cabo el procedimiento anterior correctamente. Se puede aplicar al poste uno de los siguientes métodos:

- 1.- Colocación de un cono truncado de concreto en la parte inferior del poste.
- 2.- Aplicación de un sellador sobre la superficie del poste, en la parte inferior de este, luego de la reparación.

Para poder aplicar uno de estos métodos es necesario haber seguido el procedimiento anterior; además cada método en particular debe seguir un procedimiento adecuado, para que obtenga óptimos resultados.

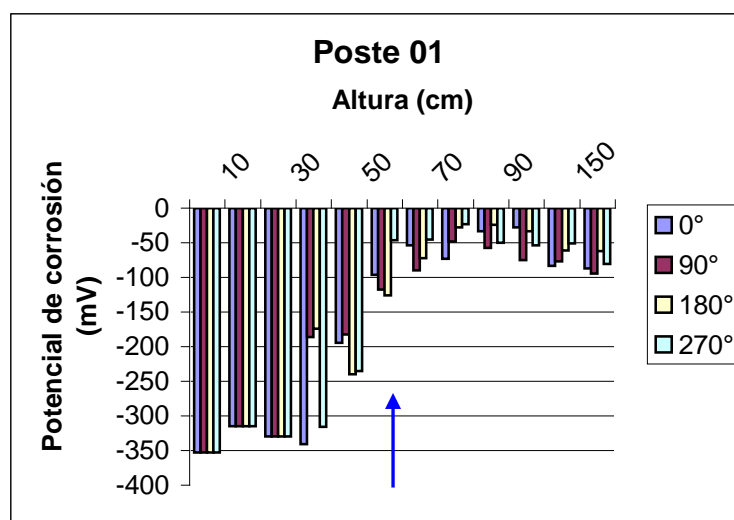
Para cada método, tendremos que definir una altura de actuación de éste. La altura se medirá desde el nivel del piso. Para el primer método se tendrá que definir la altura del cono truncado y para el segundo método, tendremos que definir la altura del poste hasta donde se va a aplicar el sellador.

Para determinar la altura recomendada de cada poste, consideraremos que el concreto inicialmente es permeable y tendremos que recurrir a los valores de potenciales obtenidos a diferentes alturas del poste (ver capítulo 03); para luego determinar con estos valores, según la norma ASTM-C876, la altura recomendada para cada poste muestreado.

Una vez obtenidas las alturas recomendadas para cada poste. Elaboraremos un promedio de éstas, obteniendo así el valor de la altura recomendada para la aplicación de los métodos.

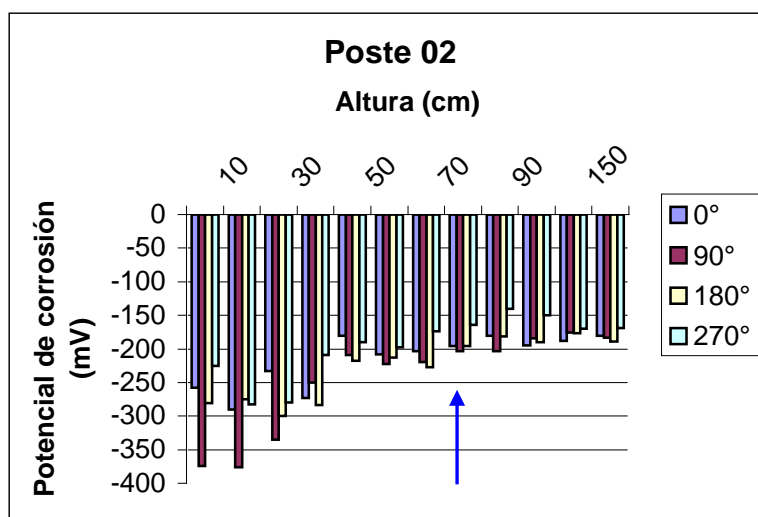
Para los postes que se encuentran contaminados hasta una altura mayor que la altura promedio recomendada; no tendremos problemas porque la diferencia de altura no cubierta por el cono o por el sellador, se recubrirá con concreto de baja permeabilidad, devolviendo la alcalinidad a esa zona.

Los resultados de los potenciales, obtenidos en el capítulo 03 para los 4 postes se muestran en las figuras 5.1, 5.2, 5.3, y 5.4. Ubicando claramente la altura recomendada del cono para cada poste muestreado.



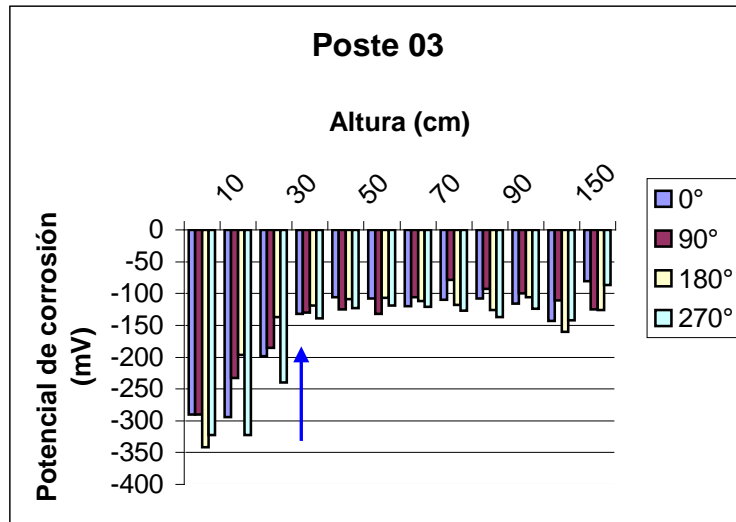
*Fig 5.1.- Resultados de los potenciales de corrosión para el poste1.*

Según la norma ASTM-C876, estos resultados nos dicen que a partir de los 48 cm de altura del poste, la armadura se encuentra en buenas condiciones. Lo que nos define una altura recomendada 48 cm para el poste 01.



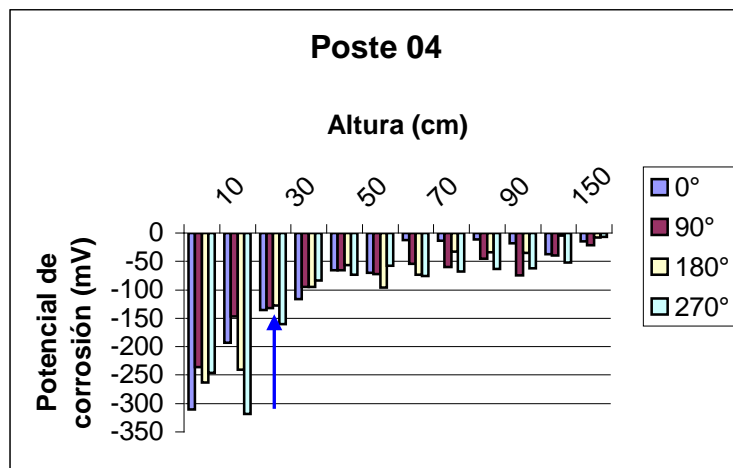
*Fig 5.2.- Resultados de los potenciales de corrosión para el poste2.*

Según la norma ASTM-C876, para estos valores de potenciales de corrosión. Nos dice que la altura recomendada para el poste 02 es de 65cm.



**Fig 5.3.- Resultados de los potenciales de corrosión para el poste3.**

Según la norma ASTM-C876, para estos valores de potenciales de corrosión, la altura recomendada del poste 03 es de 32 cm.



**Fig 5.4.- Resultados de los potenciales de corrosión para el poste4.**

Según la norma ASTM-C876, nos dice que con los valores de potenciales de corrosión en el poste 04; La altura recomendada es de 22 cm.

Para determinar la altura promedio del cono truncado y la altura del poste hasta donde se aplicará el sellador, se hará un promedio entre las alturas recomendadas obtenidas.

El resultado de la altura promedio es de 41.75 cm, este valor tendrá que afinarse para la aplicación de los métodos; ya que debemos ser más conservadores con el método de reparación. Dándole un valor mayor de altura, tanto para el cono; como para la altura de aplicación del sellador.

### *5.1. Método de colocación de cono truncado de concreto en la base del poste*

Para llevar a cabo este método, es necesario haber hecho el procedimiento de limpieza anterior. Pero al momento de colocar el nuevo concreto se encofrará de tal manera que se forme un cono truncado en la base del poste. El cono deberá cumplir con ciertas características geométricas y de conformado.

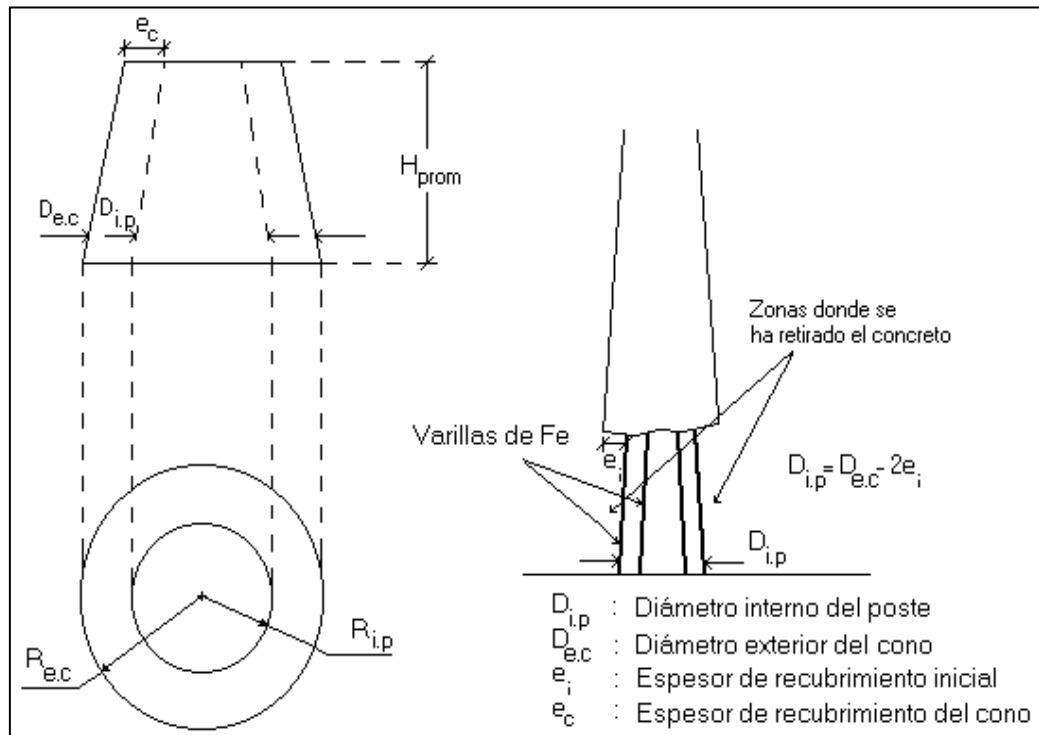
Además de un diseño adecuado del cono, que ayude a minimizar costos, se debe asegurar una buena durabilidad del concreto y para esto resulta decisiva la calidad y espesor de recubrimiento del cono para con la armadura, ya que es la única barrera contra un medio ambiente siempre agresivo para un metal como el acero, que no es estable a la atmósfera.

Así pues, la primera recomendación para hacer durable al nuevo concreto, es diseñar el cono y ponerlo en obra de tal forma que se consiga una homogeneidad que asegure una buena calidad. Asimismo, es necesario extremar las precauciones para asegurar un espesor de recubrimiento de concreto, en el cono, homogéneo y suficiente; ya que un alto porcentaje de los deterioros, se producen debido a los muy pequeños espesores de recubrimiento.

El cono deberá estar conformado por una mezcla de concreto, que cumpla con las condiciones citadas anteriormente para el concreto de relleno, pues este va ser el nuevo recubrimiento de la armadura desgastada y por lo tanto deberá tener una baja permeabilidad.

Para el diseño del cono truncado consideraremos al cono de sección de corona circular para el ahorro de material. Dependiendo de los valores de los diámetros de la corona circular, del diámetro exterior del poste a nivel del suelo, del espesor de recubrimiento inicial y del espesor del recubrimiento del cono. El espesor del cono truncado deberá ser no menor que 50 mm según lo recomendado por la norma ACI-318 en ambientes corrosivos. Quedando los diámetros de la corona circular en función del diámetro exterior del poste a nivel del suelo y del espesor de recubrimiento inicial.

Para la altura del cono, consideraremos la altura promedio recomendada; incrementando en 10% de dicha altura, de tal manera que se aplique el método de una manera conservadora. Ya que la norma ASTM C-876, variará levemente sus rangos dependiendo de la calidad del concreto.



**Fig. 5.1.1.- Detalle del cono truncado y de la limpieza del poste.**

Para terminar el método de reparación y cumplir con todos los objetivos de una reparación e incluyendo el factor de la estética, se tendrá que pintar el poste en la zona donde se ha colocado el concreto nuevo.

Para la elección de la pintura, sólo deberemos cuidar que ésta sea impermeable al vapor de agua (las razones se explicarán en el siguiente método).

### **5.1.1. Análisis de la factibilidad del método**

Una forma de valorar la problemática de la corrosión en postes de concreto armado centrifugado, es estimar los costos que tendrá una efectiva reparación; ya que será la única manera de poder contemplar los costos reales. En atención a esta problemática es que se evaluará para el presente trabajo los costos que conllevarían el empleo de este método, para la reparación de la corrosión de las armaduras embebidas en concreto contaminado y ver su factibilidad de acuerdo a las condiciones ambientales a las que son expuestas.

Partiremos de la consideración de que la evaluación económica de cualquier proyecto se fundamenta en buena parte en un análisis de costos, de acuerdo con los precios unitarios de los bienes y servicios necesarios para su elaboración.

Es conveniente mencionar que la definición de los precios de cada producto para el tiempo en que se realiza el análisis es el factor de decisión para adquirir cualquier bien material.

En el caso particular de un proyecto en el que se utilizará concreto para elaborar postes, al realizar la evaluación de costos se considera que el desempeño del producto es adecuado, que no requerirá mantenimiento y mucho menos una sustitución de una parte o del total del material, ya que, en términos generales, se acepta que este material será eterno en el mejor de los casos, y en el peor, que tendrá una larga vida (aprox. 50 años, según el área de mantenimiento de ENOSA). En la práctica cuando los postes presentan daños mucho antes de lo esperado y es necesario una reparación mayor, si se entiende por reparación mayor la reposición parcial o total del producto utilizado, estos costos adicionales nunca fueron considerados en el precio unitario de dicho producto; debido a que se partió del supuesto de que el concreto no requeriría ninguna reparación durante su servicio.

En el análisis, hay que saber evaluar que un producto de mayor valor inicial, muchas veces tendrá un precio final sensiblemente más económico que un producto convencional de menor precio inicial.

Según las características de construcción seguidas para la elaboración de un poste de 6 mt, del tipo que se encuentra dentro de la urb. Los Tallanes, se tienen en cuenta los costos que aparecen en la **tabla 5.1.1.1**, en la cual se observa los costos del concreto común; con una relación de agua/cemento de  $0.54^2$  en peso. Los elementos complementarios para llevar una efectiva reparación por medio del método de la colocación de un cono truncado en la base del poste, se muestran en la **tabla 5.1.1.2**. En la cual se aprecia también el costo del método de reparación en sí; este sería el costo adicional que deberíamos incluir en los costos iniciales del poste, para que éste tenga una duración de 50 años, en un medio corrosivo. Los costos se elevarían aún más si tomamos en cuenta el costo en el sitio de la obra; pues habrá que considerar también los costos de fabricación del concreto (por ejemplo mano de obra, transporte de materiales, etc). La cantidad de acero para un poste variará según el tipo, diseño, tamaño y los fines para los que ha sido proyectado, por lo cual, es recomendable que estos costos sean calculados conociendo previamente esta información.

Entonces tomando como base de evaluación a los poste de la urb. Los Tallanes; consideraremos que el poste mide 6 metros y que la cantidad de acero en esos postes es aproximadamente  $110.46 \text{ Kg}/m^3$  de concreto.

Tomando este dato como referencia, se puede hacer una estimación del costo del acero total en el poste, como se aprecia en la **tabla 5.1.1.1**:

---

<sup>2</sup> Fábrica de postes donde se tomaron los datos: “Estructura de Postes San Jorge”

**Tabla 5.1.1.1.- Relación del costo para elaborar un poste de 6 metros.**

<b>Material</b>	<b>Cantidad por <math>m^3</math> de concreto del poste (Kg)</b>	<b>Costo en U.S\$ por <math>m^3</math> de concreto del poste</b>
Cemento Pórtland tipo I	662.77	80.20
Arena	882	3.15
Agregado fino	220	1.63
Acero	110.46	32.067
<b>Total</b>	<b>1875.23</b>	<b>117.05</b>

Con estos datos de costos, podríamos determinar el costo en dólares de un poste de 6 mt de altura que tiene un volumen de  $0.11316 m^3$ . Dándonos como resultado un total de **U.S\$13.24**. Para determinar el costo real de un poste en un medio agresivo, hace falta cuantificar el costo adicional de la reparación, y para esto elaboramos la tabla 5.1.1.2. Para la elaboración de la tabla 5.1.1.2, tendremos que considerar un espesor promedio de recubrimiento de concreto de 1.6 cm, un espesor del cono de 50mm, como se recomienda anteriormente y una relación agua/cemento de 0.45, ya que esta relación se encuentra en el rango recomendado para reducir la permeabilidad.

**Tabla 5.1.1.2.- Relación de costos para elaborar un cono, para postes de una altura de 6 metros<sup>3</sup>.**

<b>Material</b>	<b>Cantidad por <math>m^3</math> de concreto del poste (Kg)</b>	<b>Costo en U.S\$ por <math>m^3</math> de concreto del cono</b>
Cemento Pórtland tipo I	465	56.27
Arena	730	2.60
Agregado	800	5.94
<b>Total</b>	<b>1995</b>	<b>64.81</b>

Con los datos de esta tabla, podemos determinar los costos de un cono con las dimensiones establecidas anteriormente para un poste de 6 mt. Si sabemos que el cono tiene un volumen de  $0.014 m^3$  aproximadamente, entonces su costo es de \$ 0.9073. Si a este costo le sumamos el costo promedio del pegamento epóxico que es de 20 U.S\$/kg y se sabe que rinde aproximadamente  $2.5 m^2/kg$  y además sabemos que el área donde se va aplicar, para cada poste de 6 metros es de  $0.215 m^2$ ; nos dará un costo total de la reparación de \$2.627 por cada poste. Este será el costo adicional que deberemos agregarle al costo inicial de los materiales del poste, para que éste nos dure un tiempo prolongado en un medio corrosivo.

Entonces, se puede decir que el costo real de los materiales de un poste de 6 mt, se ha incrementado a U.S\$ 15.87. Lo que representa un aumentado del 16.6% del costo inicial.

<sup>3</sup> Datos obtenidos de Manual Práctico: "Dosificaciones y Equivalencias"; Cementos Lima S.A

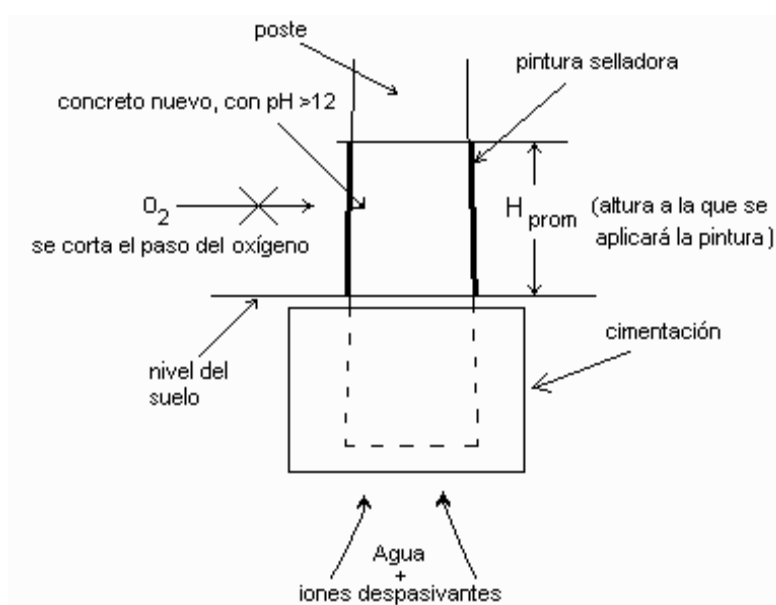
## 5.2. Método de aplicación de un sellador en la parte inferior del poste, luego de la reparación

Para llevar a cabo este método, es necesario haber seguido el procedimiento de limpieza y de reparación recomendado inicialmente.

Para este método se encofrará el concreto de tal manera que la superficie del poste en la zona de reparación, quede igual a la que tenía antes de reparar el poste.

Este método no consiste en aumentar el espesor de recubrimiento de concreto, si no en cambiar el concreto contaminado por uno nuevo y de mejor calidad. De manera que eliminamos la presencia de  $Cl^-$  y  $SO_4^{2-}$  en el concreto. Devolviéndole la pasividad a la armadura y la alcalinidad al concreto.

Para completar el método, se tendrá que aplicar un sellador en la zona inferior del poste, para aumentar la impermeabilización del mismo y así evitar el ingreso del oxígeno; evitando que se produzca la corrosión .



**Fig. 5.2.1.- Mecanismo de protección por pinturas selladoras**

En relación al uso de recubrimientos y pinturas protectoras, la consideración principal que se deberá tener en cuenta, cuando se usan en relación a un ataque por corrosión de armaduras, es su permeabilidad al vapor de agua, a los cloruros, al  $CO_2$  y al oxígeno.

Si la pintura se pretende utilizar para evitar el posterior ingreso de agentes agresivos, sin haber eliminado las causas de la corrosión ya antes declaradas, el uso de pinturas o membranas impermeabilizantes puede incluso agravar el problema.

Sólo podría usarse en estas circunstancias si se asegura previamente un secado completo y profundo del concreto. Si el concreto está contaminado de cloruros o está carbonatado y

permanece en su interior una humedad remanente, el proceso de corrosión continuará y en algunas circunstancias (cuando las pinturas sean permeables al vapor de agua) se agravará, ya que el agua penetrará en el concreto con más facilidad.

Cuando las películas protectoras se utilicen como acabado después de la reparación, es importante tener en cuenta que las pinturas denominadas <<anticarbonatación>> no tienen porqué ser impermeables a los cloruros, y que en general casi todas las existentes en el mercado son permeables al vapor de agua.

La impermeabilidad al vapor de agua puede ser una propiedad muy necesaria para asegurar la no progresión del deterioro.

El permitir el ingreso de agua, será muy funesto para nuestro caso ya que el terreno tiene una cantidad apreciable de Cloruros y Sulfatos solubles. Los cuales podrán ingresar sin problemas al disolverse en el agua. Incrementando la corriente de corrosión y en consecuencia la velocidad del deterioro.

El sellador que usaremos de referencia, se deberá aplicar hasta una altura mayor en 10% a la altura promedio recomendada. Con la finalidad de ser más conservadores en la aplicación del método. El número de películas de sellador deberá ser 2. Debido a que si fuera 1, podríamos tener problemas al generarse zonas con déficit de sellador. Tampoco podría ser 3; pues no sería factible económicamente, ya que obtendríamos la misma protección que si el número de películas fuese 2 a un mayor costo<sup>4</sup>.

### ***5.2.1. Análisis de la factibilidad del método***

A comparación del análisis de factibilidad del método anterior, éste análisis contempla el método de reparación por pinturas selladoras, para lograr la impermeabilidad. El Performance de este método, se debe evaluar controlando la efectividad en el tiempo y para esta evaluación se ha observado estructuras de concreto armado a las cuales se les ha aplicado el sellador Crystalflex, el cual se tomará como referencia en nuestro análisis y cuyos resultados hayan sido positivos. Los lugares donde se ha utilizado este sellador son: Ing. Malatesta / Fabrica de bebidas, en Ica; Muelle de la Estación Naval de Paita, en Paita; Muelle de carga líquida / Petróleos del Perú, en Bayovar; Planta desaladora de agua de mar / Petróleos del Perú, en Malacas – Talara.

Una de las formas de valorar este método y tomar la decisión de aplicarlo, es analizando los costos de éste. Pues como ya hemos dicho el precio del método, es un monto adicional al costo de la elaboración del poste, para que el poste nos dure los 50 años, que es la cantidad de tiempo promedio que debería durar una estructura de concreto armado.

---

<sup>4</sup> Arbulú Arbayza, Juan Carlos. Evaluación de la calidad de un impermeabilizante para mejorar la durabilidad en el concreto. Tesis Ingeniería Civil. UDEP. Facultad De Ingeniería. 1994

Para la evaluación de costos, se presenta la **tabla 5.2.1.1.** Donde se muestran los costos de la pintura selladora y además el costo de reposición del concreto en la zona dañada del poste.

La cantidad de concreto nuevo que se deposita en el poste, es mucho menor que la cantidad depositada para la aplicación del método anterior; además se debe tener en cuenta que la cantidad de superficie pintada por poste deberá duplicarse, ya que se le aplicarán dos capas de sellador.

El costo del resane de concreto en el poste, lo determinaremos utilizando el costo total en dólares por metro cúbico de concreto de la tabla 5.1.1.2 y a este costo se le sumarán los costos del pegamento epóxico y el del sellador Crystalflex como vemos en la siguiente tabla:

**Tabla 5.2.1.1.- Costos del material empleado para llevar a cabo el segundo método de reparación.**

<b>Material a utilizar en la reparación</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo por poste reparado (U.S\$)</b>
Concreto	0.0038 m <sup>3</sup>	0.246
Pegamento Epóxico	0.56 m <sup>2</sup> (02 capas)	2.627
Sellador (Crystalflex)	0.215 m <sup>2</sup>	1.055

El costo de los materiales para realizar el método de reparación por aplicación de un sellador, será de \$3,928. Este será el costo adicional que deberemos agregarle al costo inicial de los materiales del poste, para que éste nos dure un tiempo prolongado en un medio corrosivo.

Entonces ahora el costo total de los materiales del poste será de \$17.168, lo que incrementa el costo inicial en un 30% aproximadamente.

Vale la pena aclarar que el costo aumentará o disminuirá, dependiendo de las propiedades del sellador. Pero para este sellador se puede ver que los costos de esta reparación, es casi el doble que la reparación por colocación de un cono truncado en la base del poste.

Así mismo, es importante decir que los métodos sólo serán efectivos, si se lleva a cabo correctamente el procedimiento antes descrito de limpieza del concreto contaminado.

La efectividad de los métodos, nos aseguran una prolongación del tiempo de vida del poste, debido a una mejor disposición del poste para resistir el medio corrosivo. Ya que estos métodos de reparación tratan de eliminar el ingreso del oxígeno a las armaduras, para evitar la corrosión por cloruros y sulfatos en el acero. Pero no lograran evitar la corrosión del concreto nuevo en esa zona del poste, ya que la naturaleza de la

corrosión por sulfatos y cristalización de sales se dá por reacciones químicas sin intervenir el oxígeno.

### 5.3. *Ventajas y desventajas de los métodos de reparación*

Cada uno de los métodos de reparación descritos anteriormente, tienen el objetivo de renovar la pasividad entre el acero y el concreto y darle una mayor protección en la zona donde se deterioró el poste, para lograr disminuir la velocidad de corrosión y de esta manera alargar la vida de la estructura.

Cabe mencionar que los objetivos que se quieren con la elaboración de los métodos de reparación, serán cumplidos con mayor eficiencia, dependiendo del mecanismo de protección empleado por el método. Así elaboraremos una lista de las ventajas y desventajas de cada método:

#### **Método de reparación, por la colocación de un cono truncado de concreto en la base del poste:**

- Ventajas:

- Restaura la pasividad entre el acero con el concreto nuevo, alargando la vida del poste.
- El concreto nuevo, utilizado para la reparación es de mejor calidad.
- Retarda la intrusión de iones agresivos, en la zona a nivel del piso del poste.
- Este método incrementa el diámetro de la base del poste, recuperando parte de la resistencia mecánica perdida por desgaste del poste.
- Su costo es estable y bajo.

- Desventajas:

- No impide el ingreso de agentes agresivos, por la parte de la cimentación del poste, debido a la capilaridad.
- No impide el ingreso del oxígeno,  $CO_2$  y humedad.
- No impide el resquebrajamiento del concreto, por el ingreso de sales y sulfatos.
- No impide la corrosión por picaduras.

#### **Método de reparación, por la aplicación de un sellador en la parte inferior del poste, después de la reparación:**

- Ventajas:

- Restaura la pasividad entre el acero con el concreto nuevo, alargando alargar la vida del poste.
- El concreto nuevo, utilizado para la reparación es de mejor calidad.
- Retarda la intrusión de iones agresivos, oxígeno,  $CO_2$  y humedad en la zona a nivel del piso del poste.
- Retarda el desarrollo de la corrosión por picaduras.
- Dependiendo del sellador a utilizar, su costo y funcionamiento varía en un amplio rango.

- Desventajas:
  - No impide el ingreso de agentes agresivos, por la parte de la cimentación del poste, debido a la capilaridad.
  - No impide el resquebrajamiento del concreto, por el ingreso de sales y sulfatos.
  - Pierde sus propiedades en el tiempo, debido a cambios elevados de la temperatura del medio ambiente.

Como se puede ver, muchas de las ventajas y desventajas de ambos métodos son muy similares; pero existen ciertas características positivas del método de reparación por medio de la aplicación de un sellador sobre la superficie del concreto, que nos asegura un mejor desempeño en la protección del concreto armado ante la corrosión que el otro método.

Debido a que los selladores tienen en cuenta la obstrucción del paso del oxígeno y el agua, se evitará la corrosión producida por los cloruros, lo que es inevitable con el método de la colocación de un cono truncado en la base del poste. Vale la pena comentar que los rangos de temperatura de la zona donde se ubicará al poste, deberán ser los indicados en la hoja técnica del sellador, con el motivo de evitar una posible degradación en el tiempo del producto.

## **VI. RECOMENDACIONES A TENER EN CUENTA PARA LA ELABORACION DE UN POSTE CAC**

Si se ha determinado que la corrosión del refuerzo de acero en un poste de concreto armado será un problema, después de haber realizado el análisis del terreno, deben ser consideradas las siguientes medidas de prevención.

Cada medida de prevención deberá ser evaluada por su efectividad en el control de corrosión de acuerdo al medio ambiente en particular. Esto requiere de pruebas de la efectividad del producto; o sea que requiere de tiempo y de dinero.

Si no se quiere llevar a cabo la evaluación del producto, se deberá observar los resultados obtenidos con la aplicación del mismo en otras estructuras de concreto armado, exigiéndole al proveedor la información de donde ha sido aplicado y comprobar los resultados que se tienen hasta la fecha; esta observación no será posible aplicarla para todos los productos, ya que algunos serán nuevos en el mercado.

### *6.1. Recomendaciones para el control de corrosión*

La calidad del concreto depende de numerosos parámetros, y puede ser considerado como el más importante factor que influencia el “efecto barrera” de la cubierta.

Una adecuada selección de materiales puede mitigar la corrosión en los postes de concreto armado al incrementar su grado de impermeabilidad.

### ***6.1.1. Selección de materiales del concreto***

El concreto debe ser del tipo más apropiado para las condiciones imperantes. Los materiales del concreto, deben ser seleccionados para proveerlo menos permeable y de una matriz libre de rajaduras.

Todos los materiales del concreto deben cumplir con las normas industriales tales como:

- Cemento: ASTM C150; cemento mezclado: ASTM C595
- Agregados: ASTM C33; C330; ACI 318
- Agregados minerales para la mezcla, finamente divididos: ASTM C618
- Aditivos químicos para la mezcla: ASTM C260; C494
- Agua: el agua de mezcla (así como los agregados) no deben contener cantidades dañinas de cloruros, sulfatos y carbonatos. Para información adicional sobre el uso de agua de mezcla del concreto refiérase, a la publicación E.B.001 “Diseño y control de las mezclas de concreto”, de la asociación de cemento Pórtland (PCA: Portland Cement Association)

La norma ACI 318 para estructuras de concreto armado debe ser usada como un lineamiento general para determinar el máximo nivel de iones cloruros permisible en el concreto, como ya se señaló anteriormente. Los diseñadores tendrán extremo cuidado cuando consideren los niveles del contenido total de cloruros

Por otro lado la mezcla de concreto debe ser diseñada para ayudar a proteger adecuadamente al acero contra la corrosión. Las mezclas deben ser diseñadas para reducir la permeabilidad del concreto, retardando así la velocidad de corrosión.

Existen varios factores en el diseño de la mezcla de concreto que reducen la permeabilidad del concreto. Esto incluye:

#### **Reducir la relación agua/cemento:**

Esto se logra ya sea incrementando el contenido del cemento o reduciendo el contenido de agua. La relación agua/cemento es el factor primario de diseño para determinar el grado de protección ofrecido al acero por el concreto. La permeabilidad del concreto a los líquidos es una fuerte función de la relación agua/cemento.

Se ha comprobado en diferentes estudios que la reducción de la permeabilidad (a través del uso de una baja relación agua/cemento) retardará el proceso de los iones agresivos hacia el acero y por ende incrementará el tiempo necesario para el inicio de la corrosión.

La relación agua/cemento recomendada, como ya se ha dicho antes para que sea óptima, deberá estar en el rango de 0.4 a 0.45 (en peso), ya que 0.35 y 0.50 se consideran los límites inferior y superior recomendados, respectivamente.

### **Utilizar un agregado fino, bien seleccionado:**

Dado que el agregado constituye del 60 al 80 por ciento del concreto, su selección es de importancia básica. El agregado debe tener una buena distribución entre las partículas grandes y pequeñas con una mezcla óptima que provea un empacamiento completo y una minimización de espacios vacíos. El tamaño más grande de agregado no debe exceder el lineamiento establecido por la norma ACI 318 para el mínimo espesor de cubierta. El tamaño recomendado para lograr una buena impermeabilidad es de 1.9 cm (3/4"); pero la experiencia dice que para postes de distribución de baja tensión es recomendable usar un agregado más fino, para disminuir la tendencia a quebrarse. Entonces de este modo se deberá disminuir un poco el tamaño del agregado, hasta un diámetro promedio de 5/8".

Se deberá tener cuidado de usar agregados sólidos porosos; pues estos pueden no ser químicamente seguros debido a que los agregados pueden contribuir a la corrosión al transportar sobre su superficie o dentro de su sistema de poros, sales agresivas como Cloruros y Sulfatos ya sean de una pila de stock contaminado, o provenientes de su depósito nativo.

Si existiese un exceso de cloruro éste no será ligado dentro de la fase sólida de la pasta durante la hidratación del cemento. Los iones  $Cl^-$  pueden vencer la pasividad creada por el cemento alcalino, como ya se ha explicado anteriormente.

Los cloruros en los agregados deben ser, por esta razón, incluidos en la determinación del contenido total del concreto.

### **Usar materiales finamente divididos:**

Los cementos que contienen cenizas ligeras (fly ash), sean de carbón mineral pulverizado o provenientes de la industria del ferrosilicio (sílica fumes, microsíllica), el cemento tipo V (resistente al ataque por sulfatos), como también escoria finamente granulada de alto horno, u otro tipo de puzolanas, puede demorar el ataque de la corrosión al reducir la permeabilidad del concreto.

El potencial usuario de cenizas ligeras está advertido de que existe una enorme variación de estos materiales, y que las cenizas ligeras que no satisfagan los requisitos de la norma ASTM C618 deben ser evitados.

#### ***6.1.2. Aditivos químicos para mezcla (admixtures)***

Un aditivo químico para mezcla se define como "un material diferente al agua, agregados y cemento hidráulico, usado como un ingrediente o mortero, que es adicionado a la colada inmediatamente antes o durante la mezcla".

Los aditivos químicos han demostrado tener efectos beneficiosos sobre la resistencia del concreto a los medios ambientes corrosivos.

El aditivo químico en particular debe ser seleccionado para minimizar la corrosión en una situación específica. Aunque existen muchos tipos de aditivos en el mercado, las clases mayores son:

### **Aceleradores de fraguado:**

Son del tipo más usados. Entre ellos el cloruro de calcio ( $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ ), que actualmente está prohibido por ser un promotor de la corrosión del refuerzo del concreto (armaduras). En la actualidad se usan aceleradores sin cloruros o con muy bajo contenido de cloruros en su composición para ambientes agresivos; con la finalidad de disminuir la permeabilidad y de mejorar la resistencia a la compresión del concreto.

Este aditivo químico deberá cumplir con las normas ASTM C-494 y la NTP 334-088.

Su costo incluyendo IGV, oscila entre (0.33544 – 1.93132) U.S\$/Kg; dependiendo si el acelerador tiene además la propiedad de sellar filtraciones.

Si tomamos como referencia el acelerador de fraguado sin cloruros ACCELGUARD 80 de Euco. Los costos de los materiales del poste CAC de 6 metros se incrementan en U.S\$ 0.38106, lo que representa un incremento del 2.88 % de dicho costo.

Como referencia del producto, se sabe que éste ha sido aplicado en Minera Yanacocha, Minera Horizonte. Proyecto especial TAMBO CCARACOCHA, carretera La Oroya, Almacenes Saga Fallabella, etc. En los cuales se han obtenido resultados satisfactorios hasta la fecha.

### **Reductores de agua y/o retardadores:**

Los reductores de agua (ligno sulfonatos de calcio, benzonatos de sodio o ácidos hidroxilo – carboxílico) actúan reduciendo la cantidad de agua neta necesaria para obtener una trabajabilidad dada y su aplicación se hace en la mezcla.

Sus dosis de aplicación, vienen referidas al peso del cemento en su respectiva hoja técnica. A mayores dosajes estos también actúan incrementando el tiempo de fraguado del concreto, de aquí el término “retardador”. Además se sabe que estos aditivos no afectan las propiedades mecánicas del concreto armado y al reducir la relación agua/cemento reducen la permeabilidad del concreto.

Este aditivo químico deberá cumplir con las normas ASTM C-494 y la NTP 334-088.

Tomando como referencia el retardador de fraguado EUCORETARDER QS, cuyo costo incluyendo IGV es 0.5636 U.S\$/Kg; producirá un incremento de U.S\$ 0.09 al precio de los materiales del poste CAC de 6 metros, lo que representa un incremento del 0.68 % de dicho precio.

Como referencia del producto, se sabe que éste ha sido aplicado en Minera Yanacocha y Minera Horizonte. Donde se han obtenido resultados satisfactorios hasta la fecha.

### **Inhibidores de corrosión para concreto armado:**

Un inhibidor de corrosión para concreto armado es un aditivo químico añadido a la mezcla de concreto para proteger al acero de la corrosión; la baja permeabilidad del concreto previene la prematura pérdida del inhibidor. El inhibidor no debe ser perjudicial a las propiedades mecánicas del concreto, y debe ser evaluado por su efectividad en el control de la corrosión de acuerdo al particular diseño de la mezcla.

Desde hace mas de 10 años numerosos inhibidores han sido sugeridos, solo un pequeño grupo ha sido seriamente estudiado, y sólo uno (nitrito de calcio  $Ca(NO_2)_2$ ) es usado en gran escala en el extranjero. Este se produce a escala comercial como una solución estable con más de 40% de sólidos disueltos; pero nunca se ha usado en Perú, debido a que aún no es muy conocido y los pocos que ya tienen conocimiento de su efectividad, les sería muy costoso adquirirlo, pues tendrían que importarlo.

Este inhibidor no es perjudicial a las propiedades mecánicas del concreto; y es totalmente compatible con la microsílica u otras puzolanas que reducen la permeabilidad del concreto.

Se ha determinado que el mecanismo de protección de los inhibidores contra la corrosión es del tipo anódico, es decir sofocan la corrosión sobre el ánodo al reaccionar con los productos de corrosión existentes y formar una película adherente a la superficie del metal. Esta película actúa como barrera para prevenir que la solución corrosiva entre en contacto con la superficie del metal.

Habrá que tener mucho cuidado con el inhibidor anódico, debido a que éstos son efectivos sólo cuando está presente en concentraciones extremadamente altas, de otra manera, si son añadidos en cantidad insuficiente son peligrosos pues el ataque de la corrosión se hace intensamente localizado.

Ya se han hecho pruebas de la eficiencia del inhibidor  $Ca(NO_2)_2$ . Por ejemplo podemos citar lo documentado por Nishibayashi y su equipo, sobre la actuación a largo plazo del nitrito de calcio en estructuras instaladas en ambiente marino. Ellos han mostrado que con la adición de 20 litros/ $m^3$  de mezcla de una solución al 30% de  $Ca(NO_2)_2$  tipo C. Este incrementa las resistencias compresiva y flexional, reduce la contracción y no tiene efecto sobre la durabilidad del ciclo de congelamiento – descongelamiento. La aceleración del fraguado puede ser rebajada usando una pequeña cantidad de retardador convencional, si se desea disminuir la permeabilidad del concreto, ya que se debe decir también que este mecanismo de protección sólo nos evitará la corrosión en el acero, y no la del concreto. Pues los sulfatos entrarán al concreto y estos reaccionaran químicamente; produciendo posteriormente grietas en el concreto y su vez la pérdida del inhibidor.

Los investigadores K.C. Clear y Dr. Yash P. Virmani, aconsejan que es prudente añadir suficiente nitrito de calcio al concreto de modo tal que la relación cloruro/nitrito de calcio no excederá aproximadamente 1.5 veces durante la vida de la

estructura. Para lograr esto, por supuesto, se debe prevenir el contenido de sal al nivel del refuerzo de la estructura durante su vida. A pesar de que esto no es una ciencia exacta, esto puede ser logrado comúnmente usando datos históricos e información sobre la relación agua/cemento, espesor de cubierta del concreto y determinando el nivel corrosivo del medio que rodea a la estructura de concreto, como lo hemos hecho para el medio donde se encuentran ubicados los postes de la Urb. Los Tallanes.

El nitrito de calcio también ha demostrado ser efectivo en reducir la corrosión en el concreto rajado. Una reciente y extensa investigación alemana comprobó este hecho con concreto de alta relación agua/cemento.

En el Perú existe un inhibidor a base de aminoalcoles, el cual es aplicado a la mezcla, a una solución no menor del 3%<sup>1</sup> del peso de cemento y actúa cuando la armadura se encuentra expuesta a ambientes con cloruros, su nombre es Sikaferrogard – 9001 y su costo incluyendo IGV es de 4.2 U.S\$/Kg. Lo que incrementaría el precio de los materiales de un poste CAC de 6 metros en U.S\$ 10 (considerando una solución al 3 %) aproximadamente, representando este monto un incremento del 75 % de dicho precio.

El elevado costo del inhibidor es una de sus principales desventajas, a lo cual hay que añadir, que en condiciones reales sólo ejerce un control de la velocidad de corrosión más no la reduce a valores propios del estado pasivo como era de esperar<sup>1</sup>.

### ***6.1.3. Tratamientos especiales del concreto***

Para reducir la intrusión de cloruros y otros iones agresivos al refuerzo del concreto, se utilizan diversos materiales químicos que proveerán impermeabilización externa del concreto.

En la actualidad existen una amplísima gama de estos materiales químicos pero sólo un pequeño grupo ha sido seleccionado por su capacidad para evitar la intrusión de cloruros, resistencia a los ácidos débiles, resistencia a la inmersión en agua dulce o salada, a la radiación ultravioleta, al calor y a los ciclos tanto de congelamiento – descongelamiento – secado.

- **La impermeabilización externa o sellado de superficie:**

Se obtiene con la utilización de productos químicos orgánicos o inorgánicos que sellan la superficie del concreto curado formando películas delgadas (pinturas de recubrimiento), o películas gruesas (revestimientos o membranas).

---

<sup>1</sup> Julio Carlos Hernán de Lama Agramonte; Evaluación de inhibidor de corrosión en concreto ante la presencia de iones cloruros. Tesis de Ingeniería Industrial y de Sistemas. UDEP. Facultad de Ingeniería 2002.

La principal función de estos selladores es la de actuar como barreras para minimizar la intrusión de cloruros y la absorción de agua. Un sellador debe además permitir que el concreto “respire” cuando se seca en la época de estío.

La efectividad de los diferentes tipos de selladores de superficie es altamente variable y depende de las condiciones ambientales a las que está sujeto el poste. Todos los tipos deben ser resistentes a la alcalinidad del concreto. Dentro de los tipos genéricos de selladores, lo más sobresaliente son:

- Formulaciones epóxicas
- Formulaciones de Metil – Meta – acrilatos
- Silanos

Este último es considerado como un “sellador penetrante”, de características hidrófobas por su bajísima absorción al agua.

Otras formulaciones aceptadas como selladores de superficie son:

- Revestimientos Elastoméricos de Poliuretano
- Revestimientos termoplásticos de Vinilo

Los selladores pueden ser atomizados, aplicados con rodillos o brocha, y en caso de los revestimientos usando trallas o llanas debido a su alta densidad. El costo de estos materiales está en el rango de U.S\$1.61 a U.S\$5.38 por metro cuadrado. Lo que incrementa el precio de los materiales de un poste CAC de 6 metros en el rango de 5.93 U.S\$ a 19.81 U.S\$ (considerando una capa), que en porcentaje representa el 44.8% a 150% de dicho precio.

Tal como con cualquier aplicación de recubrimientos, el éxito del sistema depende de la calidad de la preparación de superficies. Para los recubrimientos de concreto, existen dos amplios niveles de preparación dependiendo del sistema a ser y la utilización final. Para nuestro caso, se llevará a cabo la limpieza de superficie según la norma ASTM D-4258. Este tipo de limpieza no altera el perfil de la superficie del sustrato, más bien remueve la suciedad y contaminación. Este nivel incluye limpieza con escoba, con aspiradora, chorro de aire, lavado con agua detergente, y limpieza con vapor.

Su aplicación se hará una vez ya hecho el poste. El sellador se deberá aplicar en toda la superficie del poste, incluyendo la superficie del agujero central y pasante del mismo; logrando de esta manera una mejor protección, ya que no solo protegerá al poste de la penetración de agentes agresivos. Sino también de la corrosión por aireación diferencial, debido a su muy baja y uniforme permeabilidad en toda la superficie del poste.

El número de capas de sellador, que deberá aplicarse en el concreto estará determinado, por una previa evaluación del producto<sup>2</sup>. Esta evaluación viene resumida en la hoja técnica del producto, donde nos indica el número de capas óptimo de la aplicación del sellador.

---

<sup>2</sup> Arbulú Arbayza, Juan Carlos. Evaluación de la calidad de un impermeabilizante para mejorar la durabilidad en el concreto. Tesis Ingeniería Civil. UDEP. Facultad De Ingeniería. 1994

#### ***6.1.4. Recubrimiento del acero de refuerzo***

Uno de los métodos más efectivos de minimizar la corrosión del refuerzo de acero es recubrir las barras, con recubrimientos epóxicos ó con recubrimientos metálicos (galvanizado).

En la práctica se ha comprobado que el galvanizado de la varillas de acero, reducen la adhesión de la armadura con la mezcla del concreto. Trayendo como consecuencia una menor resistencia mecánica de la estructura de concreto armado; lo que no es muy conveniente para nuestro caso.

Lo que sí se ha usado, obteniendo buenos resultados; son los recubrimientos epóxicos que recubren al acero de la armadura, protegiéndola de algún ataque corrosivo y evitando el contacto metálico entre el alambón y la varilla de acero.

Las barras de refuerzo recubiertas con epóxicos han mostrado en estas últimas décadas excelente adhesión al concreto. La manipulación y el transporte de este tipo de barra debe ser cuidadoso, a pesar de que resisten el abuso.

Al presente, existe una tendencia creciente en el uso del refuerzo recubierto con epóxico, por su resistencia a las condiciones corrosivas del concreto contaminado con cloruros.

Tomando como referencia el producto de nombre EUCOPOXY CT-85, el cual tiene un costo incluido el IGV de 49.2 U.S\$/galón. El cual producirá un incremento del precio de los materiales de un poste CAC de 6 metros en U.S\$ 5.314, representando este monto un incremento del 40% de dicho precio.

## VII. CRITERIOS DE SELECCION DE PRODUCTOS PARA ELABORAR POSTES CAC

Para seleccionar un adecuado método de protección aplicado durante la elaboración de un poste CAC, que será ubicado en un medio corrosivo, se deberán evaluar 3 puntos de vista; el primero es la evaluación técnica, el segundo es la evaluación del desempeño del método y el tercero es el factor económico.

Estos tres factores estarán relacionados entre sí, ya que el tercero incrementará su consideración a medida que el mecanismo de protección sea técnicamente más complejo (dependerá de la corrosividad del terreno). Asimismo, su desempeño deberá ser bueno, para asumir el costo adicional del precio de los materiales para elaborar un poste CAC, con el objetivo de lograr beneficios económicos a largo plazo.

El segundo punto de vista a considerar, es el más importante, ya que el desempeño del producto tendrá el calificativo de bueno o malo, dependiendo de los resultados obtenidos a largo plazo. Si bien es cierto que el desempeño es lo más importante de un producto, también es el factor más costoso para determinarlo, ya que requiere de mucho tiempo y dinero.

El desempeño se determinará después de una evaluación de la velocidad media de corrosión, en probetas de concreto armado con el respectivo producto, ubicadas en un medio similar donde va a trabajar el poste CAC.

Una forma más económica y alternativa para determinar el desempeño del producto, es pidiendo información al proveedor sobre dicho producto. Esta información deberá estar comprendida por la hoja técnica del producto y los lugares donde éste ha sido utilizado; con la finalidad de evaluar los resultados hasta la fecha, **en su respectivo medio.**

El tercer punto de vista va ligado directamente con el segundo, pues se sabe que los postes se compran por lotes, es decir en un número considerable y para poder asumir el

incremento del costo por cada poste, deberemos estar seguros del buen desempeño del producto a aplicar.

El primer punto de vista a considerar, es el más delicado a tratar ya que la evaluación técnica, es la que decide el método de protección que se aplicará a la elaboración de los postes. Pues se sabe que el problema de corrosión en el concreto armado, se puede dar por distintas naturalezas. Estas provienen del medio donde está ubicado el poste y si la evaluación técnica no está bien hecha, se escogerá un método inapropiado para resolver el problema. Trayendo como consecuencia que el método no tenga el efecto esperado ó simplemente no tenga efecto.

La evaluación técnica, deberá estar constituida por un previo análisis del terreno, que comprenda los puntos de la tabla donde se muestran los resultados de los análisis químicos del terreno (Ver el capítulo 3); con el objetivo de determinar el nivel de corrosividad y la cantidad de los agentes promotores de la corrosión en particular. A estos resultados tendremos que adicionarle, el problema siempre existente de la carbonatación del concreto.

El costo de análisis por muestra es de U.S\$ 215,2. Las muestras se deberán obtener con el adecuado método de muestreo dependiendo del tipo de terreno, además, el estudio deberá llevarse a cabo a un nivel reducido; mejor dicho que comprenda una densidad de muestras no menor a  $1/400 m^2$ <sup>1</sup> en la zona donde se hará la instalación de los postes. Debido a que el muestreo tiene la finalidad sólo de identificar las zonas donde las condiciones son de mayor o menor criticidad.

Una vez determinadas las cantidades de agentes corrosivos, se procede a seleccionar un método de protección, y por lo tanto; un producto adecuado para prevenir la corrosión del concreto armado, teniendo en cuenta el desempeño y el costo del mismo.

En el capítulo anterior, se han dado algunas recomendaciones a tener en cuenta para proteger a un poste CAC de la corrosión. Estos métodos de protección los podemos seleccionar en 02 grupos, el primero es de productos para reducir la permeabilidad del concreto y el segundo es de productos que se basan en la protección del acero.

Los productos que reducen la permeabilidad del concreto, los podemos dividir en 02 sub – grupos. Estos son, los que se aplican sobre la superficie del poste y otros que se aplican en la mezcla del concreto. Ambos actúan de manera eficiente en el cumplimiento de sus principales objetivos, por lo tanto, es importante aclarar que el principal objetivo de los aceleradores de fraguado es disminuir el tiempo que demora el concreto en fraguarse y como notable consecuencia se logra una disminución de la permeabilidad del concreto. En el caso de los reductores de agua, actúan con el objetivo de incrementar la durabilidad del concreto armado por medio de la reducción de agua en la mezcla, logrando disminuir considerablemente la permeabilidad del concreto. Sin embargo las pinturas selladoras para concreto, tienen como principal objetivo sellar el concreto para evitar el ingreso de algún elemento que atente contra la durabilidad del concreto armado. Es por eso que técnicamente

---

<sup>1</sup> Curso Aplicado de Cimentaciones; Servicio de Publicaciones del COLEGIO OFICIAL DE ARQUITECTOS DE MADRID; Jose María Rodríguez Ortiz, Jesús Serra Gesta, Carlos Oteo Mazo; pag. 26

entre los productos nombrados anteriormente, el adecuado para reducir lo máximo posible la permeabilidad del concreto, es el sellador.

No deberemos olvidar que, lo que se logra con estos productos es sólo la reducción de la permeabilidad del concreto, proporcionando una baja absorción de agua y una intrusión retardada de los agentes despasivantes, como los iones cloruros y sulfatos, logrando con esto un tiempo de vida bastante más largo respecto de aquel poste al cual no se le hubiera aplicado el producto.

Cabe resaltar, que las pinturas selladoras de concreto, pueden degradarse con el tiempo por efecto de exposición a rayos UV, ambiente seco y altas temperaturas del ambiente, comprendidas en el rango de (50 – 90) °C; dependiendo de la naturaleza del sellador. Las limitaciones, deberán estar indicadas en la hoja técnica del sellador, además, se debe considerar el riesgo de perder producto aplicado a la superficie del concreto, sobre todo en la parte inferior del poste, debido al procedimiento que requiere el izaje y cimentación del mismo. Así pues si se desea aplicar este tipo de protección, deberemos seleccionar un sellador que sea bastante adherente a la superficie del concreto, a pesar que este método de reducir la permeabilidad del concreto, llegue a tener un costo hasta 50 veces más que los otros dos métodos mencionados anteriormente (aceleradores de fraguado y reductores de agua ó retardadores).

Con respecto a los productos que se basan en la protección del acero, se sabe que éstos protegen formando una capa pasivante ó aislante sobre el acero; evitando así la corrosión del mismo. Estos productos no protegen a la estructura de la corrosión del concreto, al no impedir el ingreso de sales. Sus costo varía, dependiendo si lo que se quiere es formar una película pasivante (costo alto) o aislar al acero del concreto (costo bajo).

Para los aditivos inhibidores que forman una capa pasivante sobre el acero, se sabe que aumentan en promedio el costo de los materiales del poste de 6 metros en 75%. Sobre el desempeño de este método de protección se sabe muy poco, pero existen productos de característica inhibidor - sellador en el Perú, los cuales protegen al acero y a su vez al concreto, al actuar éste como sellador para evitar la excesiva infiltración de sales en el mismo.

Existe un método alternativo para proteger a la armadura del poste, éste se basa en la aplicación de pinturas epóxicas sobre la superficie de la armadura, antes del centrifugado. Logrando de esta manera darle una resistencia química adecuada, para contrarrestar el ataque por sustancias ácidas y cloruros. El costo promedio de estas pinturas es la mitad que el costo promedio de los inhibidores de corrosión.

Vale la pena comentar, que el uso de pinturas epóxicas nos dá una protección más confiable que los aditivos inhibidores, ya que al pintar toda la armadura con pintura epóxica, aseguramos un uniforme y completo recubrimiento del acero de la estructura. Lo contrario sucede con los inhibidores, ya que no se puede lograr una distribución del producto tan uniforme, debido que aplicar la cantidad exacta de inhibidor para la cantidad de acero del

poste, va depender de la cantidad de inhibidor referida al peso de cemento de la estructura (la aplicación de éste producto va a obedecer a una escala, para lograr la concentración adecuada) y la forma de aplicación.

Entonces por los motivos expuestos anteriormente, podemos decir que el producto de mayor confiabilidad y menor costo para la protección de la armadura, son la pinturas epóxicas.

Para seleccionar un método de protección ante la corrosión, deberemos evaluar: el contenido de cloruros y sulfatos en el terreno, el grado de humedad y su corrosividad. Este último punto se podrá determinar de la misma manera, como se hizo en el capítulo 03.

Una vez determinada las condiciones del terreno, se podrá llevar a cabo la aplicación de algún producto para prevenir la corrosión del concreto armado, en la edificación de los postes CAC que vayan a ser instalados en dicho terreno.

En el caso que el terreno, donde se efectuara la instalación eléctrica, presentara un terreno no corrosivo, bajo grado de humedad, un valor menor a 500 ppm de contenido de cloruros solubles y un valor menor a 1000 ppm de sulfatos solubles, no será necesario aplicar algún producto, para prevenir la corrosión del concreto armado, ya que sería injustificado el aumento de costo de los postes.

En el caso que el terreno, donde se efectuara la instalación eléctrica, presentara un terreno corrosivo o no corrosivo (este calificativo depende de varios factores), bajo o mediano grado de humedad, un valor mayor a 500 ppm de contenido de cloruros solubles y un valor mayor a 1000 ppm de contenido de sulfatos solubles, se deberá seguir un procedimiento de elaboración de postes CAC, el cual tenga en cuenta el uso de un producto, que reduzca la permeabilidad del concreto, con la finalidad de retardar la intrusión de agentes agresivos en el concreto y lograr aumentar el tiempo de vida del poste. En caso contrario el poste se corroerá en su base y necesitará posteriormente una reparación, que demandará un costo promedio mucho mayor (incluyendo costo de equipos y mano de obra), que el que se obtendría al aplicar un producto en la elaboración de la estructura para reducir la permeabilidad del concreto.

Cabe resaltar que la confiabilidad en la durabilidad de uno u otro procedimiento difieren mucho, ya que el método de prevención de la corrosión nos asegura un lento deterioro del poste y con ésto una larga vida del mismo. En cambio con el método de reparación no hay la seguridad de haber limpiado al 100% el contenido de agentes agresivos y por lo tanto no se asegura el alargamiento de tiempo de vida esperado.

En caso el terreno, donde se efectuara la instalación eléctrica, presentara un terreno corrosivo, alto grado de humedad, un valor mayor a 500 ppm de contenido de cloruros solubles y un valor mayor a 1000 ppm de contenido de sulfatos solubles, deberemos seleccionar un método de protección tal, que combine los métodos de impermeabilización y los de protección del acero. Esto se puede lograr combinando la protección brindada por los productos que reducen la permeabilidad del concreto y aquella de los que se basan en la protección del acero, ó empleando algún producto que combine ambos métodos de protección.

Debido a su menor costo y a sus buenos resultados para proteger al acero de la corrosión, son bastante usados los recubrimientos epóxicos; que revisten totalmente la armadura de acero, logrando una buena protección ante los cloruros y sustancias ácidas. Este método también tiene la ventaja de lograr un aislamiento entre las varillas de acero, ya que éstas van conectadas por medio del alambro, contribuyendo a reducir aún más la velocidad media de corrosión. Si a ésta protección del acero, le agregamos el efecto de algún producto que reduzca la permeabilidad del concreto; lograremos una completa protección del poste, a un costo promedio menor en 40 % al costo que demandaría si usáramos un inhibidor con un producto que reduce la permeabilidad del concreto.

El costo de la combinación de productos, para lograr una máxima reducción de la permeabilidad del concreto y una buena protección del acero, se obtiene considerando los costos de la aplicación de una pintura epóxica sobre la armadura y la aplicación de un sellador sobre la superficie del concreto, lo que resulta un aumento promedio de U.S\$7.5 al costo de los materiales para la elaboración de un poste de 6 metros, representando el 57% de aumento de dicho costo.

Es importante comentar, que el precio a pagar para prevenir la corrosión del poste, por medio del método de prevención propuesto; es mayor en U.S\$ 1<sup>(1)</sup> aproximadamente al costo que llevaría la reparación de la estructura, por medio del método de la colocación de un cono truncado en la base del poste y menor en U.S\$ 0.5<sup>(2)</sup> aproximadamente al costo del método de reparación por la aplicación de un sellador.

En caso que al poste ubicado en un medio bastante crítico no se le haya aplicado un método de prevención de corrosión, éste presentará deterioro en pocos años; y si bien es cierto que los costos de los métodos de reparación con el método de prevención de la corrosión propuesto no difieren mucho, es necesario comentar que la confiabilidad en durabilidad es menor para los métodos de reparación, ya que no se asegura haber retirado al 100% los agentes agresivos al concreto armado y por la pérdida de resistencia mecánica sufrida debido a la reducción del diámetro de las varillas de acero de la armadura.

---

<sup>(1)</sup> y <sup>(2)</sup>: Estos valores se obtuvieron, después de aumentarle los costos promedios de mano de obra y herramientas a los métodos de reparación de postes CAC.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## *Conclusiones:*

- Según el tipo de ataque que se encontró tanto en el concreto, como en el acero; se pudo intuir con bastante certeza, cuáles fueron los factores que intervinieron en la corrosión del poste CAC.
- El concreto se encontró más carbonatado en la zona del poste a nivel del suelo, respecto de la zona a 1.5 m del suelo del mismo. Esto fué comprobado al aplicar una solución de fenolftaleína sobre el recubrimiento de concreto en ambas zonas del poste, verificando un cambio o no a color rojo púrpura, que es el indicativo de la ausencia o presencia de la carbonatación del concreto respectivamente.
- Por medio de los análisis del concreto y por la evaluación de la carbonatación en la parte del poste a nivel del piso, se comprobó que un concreto carbonatado permite una corrosión del acero más fácil por cloruros, que si no lo estuviera.
- Por medio de los análisis del terreno de la Urbanización Los Tallanes, se comprobó que éste posee considerables cantidades de agentes despasivantes y su nivel de corrosividad es alto.
- El grado de corrosividad del terreno para el concreto armado, se pudo estimar también, por medio de la medición de la resistividad del terreno. Ya que éstos al ser bajos, nos indican la gran cantidad de sales presentes en el terreno.
- La corrosión encontrada en las armaduras a unos (20 – 30) cm del nivel del piso, es una corrosión por picaduras; pero la gran cantidad de herrumbre sobre la superficie del acero a nivel del piso, es debido al avance de la corrosión por cloruros, apoyada por la carbonatación del concreto y por la exposición del acero al medio ambiente, en esa zona.
- El contenido de iones despasivantes, encontrado en el concreto es mayor que el encontrado en el terreno. Esto probablemente se deba a la presencia de estos iones en los materiales utilizados para la elaboración del poste CAC, o bien por la concentración de los mismos por difusión y evaporación de la humedad.
- Un eficiente monitoreo de la corrosión en la armadura del poste, se logró por medio de la medida de potenciales de corrosión, referenciando los valores de potenciales, con los rangos que nos dá la norma ASTM C-876.

- Los dos métodos de reparación, se basan en mecanismos bastante efectivos, para retrasar la intrusión de agentes despasivantes al concreto, pero ninguno de estos dos métodos, impide el ingreso de los iones por la parte de la cimentación del poste, debido a la capilaridad. Lo que nos indica que el resquebrajamiento del concreto se producirá de igual manera en un futuro, pero en un período de tiempo más largo debido a la mejor calidad del concreto en esa zona.
- En la protección de las armaduras ante la corrosión por picaduras, el método de reparación basado en la aplicación de un sellador sobre la superficie del concreto, dará mejores resultados que el otro método de reparación por la colocación de un cono truncado sobre la base del poste; ya que éste obstruye en mayor grado el ingreso del oxígeno. Siendo esta característica una de las finalidades del sellador de concreto (Ver capítulo 05).
- El método de reparación que se propone al colocar un cono truncado en la base del poste, es económicamente el mejor, además, se sabe que éste cumple eficientemente el aumento de la impermeabilidad, el aumento del espesor de recubrimiento de concreto y el aumento de la resistencia mecánica. Este último es resultado del incremento del diámetro de la base del poste sobre el suelo, compensando la resistencia mecánica perdida por el desgaste del concreto armado.
- Un método de reparación, no puede tener una eficiencia igual a la que tiene un mecanismo de protección elegido desde la elaboración correcta de un poste CAC, ya que éste no brinda la garantía de haber retirado totalmente los agentes agresivos en un 100% y además no tiene en cuenta la formación de macroceldas provocadas por la diferencia de permeabilidad.
- Los selladores de concreto, los retardadores y los aceleradores de fraguado, si bien es cierto, son productos de diferente naturaleza y mecanismos de protección ante un medio corrosivo, sólo reducen en gran escala la permeabilidad del concreto; retrasando la intrusión de iones despasivantes e ingreso de agua a la estructura, logrando alargar la vida media de los postes CAC.
- Para seleccionar un mecanismo de protección de la corrosión, desde la elaboración de un poste CAC que va ser instalado en un medio corrosivo, se deberán evaluar tres puntos de vista; el primero es la evaluación técnica, el segundo es el desempeño del método y el tercero es su costo.
- En caso las condiciones determinadas del terreno, donde se va llevar a cabo la instalación de los postes CAC, presentara un estado bastante crítico, es conveniente, tanto económica como técnicamente, el uso de la combinación de los métodos de protección del concreto armado; por medio de la aplicación de una pintura epóxica sobre la superficie de la armadura y la aplicación de un sellador sobre la superficie del concreto.

### *Recomendaciones:*

- Cuando se usa un decapante, para limpiar el óxido sobre el acero o cuando se usa un acelerador de fraguado, para disminuir la permeabilidad del concreto, se deberá tener cuidado de la composición de estos productos; debido que algunos de estos productos contienen cloruros y pueden contaminar al concreto nuevo.
- Se deberá tener cuidado con los materiales que se emplean, para la mezcla de concreto en la elaboración de los postes CAC, ya que muchos de éstos (arena, agregado fino, agua, etc) pueden contener al iones agresivos para el concreto armado.
- Debido a que la norma de fabricación de postes CAC en el Perú (NTP 339-027) sólo dá las pautas para obtener un poste de buena resistencia mecánica. Se recomienda complementar dicha norma, sugiriendo un método de protección del concreto armado, en caso el medio donde se colocará el poste sea corrosivo. El método de protección deberá especificar tanto la protección del concreto como la del acero, ante la presencia de iones agresivos; de manera que se incluya en las especificaciones técnicas de fabricación de los postes de forma regular. Y con ello se obligue tanto al fabricante como al usuario a exigirlos.
- Para los métodos de reparación, se recomienda utilizar algún aditivo para mejorar las propiedades mecánicas del concreto nuevo y a su vez reducir aún más la permeabilidad del concreto. Esto con la finalidad de recuperar parte de la resistencia mecánica que se ha perdido por el desgaste del concreto armado y retrasar aún más la intrusión de cloruros y sulfatos.
- Es recomendable utilizar el método de reparación que se basa en la aplicación de un sellador sobre la superficie de concreto, en el caso que la zona donde están ubicados los postes sea inundable. Ya que el agua puede tener un valor de pH bajo (sustancias ácidas) e iones agresivos al concreto armado; reduciendo considerablemente la alcalinidad del concreto y facilitando su corrosión.
- La forma de evaluar el correcto funcionamiento de un producto para prevenir la corrosión de un poste CAC, se deberá hacer por medio de ensayos con probetas de concreto armado, aplicándoles el producto y simulando un medio igual al que van a tener los postes, una ves llevado a cabo el proyecto de electrificación.
- El inhibidor de corrosión para concreto armado, solo protege al acero; mas no protege de la corrosión al concreto, debido al ingreso de sales y de los iones sulfatos. Así que es recomendable utilizar algún producto para la protección del concreto, en caso se opte por el uso de un inhibidor.

- Para evitar un desencadenamiento agresivo de la corrosión, en un poste CAC recién instalado; se deberá evitar causar grietas al concreto, al manipular los postes. Es por eso que los requerimientos de transporte, almacenamiento y manipuleo de postes que requiere la empresa de distribución; deberán cumplirse estrictamente.

# Bibliografía

1. Adam Neville: *“Mantenimiento y Durabilidad de las Estructuras”*. En: Instituto Mexicano del cemento y el concreto (IMCYC), Dic. 1998. <on line> [www.imcyc.com](http://www.imcyc.com).
2. Alanis, Irene L.; Berardo, Liliana N.; Valentine, Critobal: *Construcción Civil: “Corrosión del acero en estructuras de hormigón armado”*. Guía Practica de la Corrosión, CYTED, 1994.
3. Almeraya Calderón F., Gaona Tiburcio C., Martínez García E., Martinez Villafañe A.: *“Corrosión en silos de concreto reforzado”*. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. Chihuahua, Chih. México. 1999. En: Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto (IMCYC), <on line> [www.imcyc.com](http://www.imcyc.com).
4. Andrade, C. *“Manual inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras”*. Programa temático del Consejo Superior de Investigaciones Científicas “Corrosión y Protección de Materiales”, Subprograma “Corrosión de Armaduras”. Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción: Madrid, 1988. 122 p.
5. Arbulú Arbayza, Juan Carlos: *“Evaluación de la calidad de un impermeabilizante para mejorar la durabilidad en el concreto”*. Tesis Ingeniería Civil. UDEP. Facultad de Ingeniería. 1994.
6. Atoche Pacherras, Miguel Ángel: *“Análisis de la corrosión del concreto por ataque de sulfatos”*. Tesis Ingeniería Industrial. UDEP. Facultad de Ingeniería. 1987; 287 p.
7. Biczok, Imre: *“La corrosión del hormigón y su protección”*. Ediciones Urmo, España, 1972.
8. Cementos Lima S.A.: *“Dosificaciones y equivalencias”*. Manual Práctico.
9. Chaker, Victor: *“Corrosion effect of stray currents and the techniques for evaluating corrosion of rebars in concrete”*. Noviembre 1984.
10. De Lama Agramonte, Julio Carlos Hernán: *“Evaluadores de inhibidores de corrosión en concreto ante la presencia de iones cloruros”*. Tesis Ingeniería Industrial. UDEP. Facultad de Ingeniería. Marzo 2002.
11. Girón Vargas, Humberto A. *“Ataque por cloruros en el concreto”*. En: Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto (IMCYC), Octubre 1998. <on line> [www.imcyc.com](http://www.imcyc.com).

12. Gonzáles Fernández, J.A. “*Control de la corrosión: Estudio y medida por técnicas electrolíticas*”. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid 1989. 524 p.
13. Notas Técnicas EUCO: Euco Perú S.A.. “*Pinturas epóxicas para el refuerzo del concreto armado*”, “*Aceleradores de fraguado*”, “*Reductores de agua ó Retardadores de fraguado.*”; Informaciones Técnicas; Euco – Perú; “*Euco epoxy CT-85: Pintura epóxica, protege del ataque químico al refuerzo del concreto armado*”, “*Accelguard 80: Aditivo para disminuir el tiempo de fraguado del concreto*”, “*Euco retarder QS: Aditivo para mejorar la durabilidad del concreto, reduciendo la permeabilidad del mismo*” Notas Técnicas.
14. Otero Núñez, Enrique: “*Estudio de la corrosión en concreto armado mediante mediciones de potencial*”. Tesis Ingeniería Industrial. UDEP. Facultad De Ingeniería. 1991.
15. Pedferri, Pietro: “*Corrosione e protezione delle strutture metalliche e in cemento armato negli ambienti naturali*”. Ed. Clup – Italia. 1985. 535 p.
16. Ramírez Cruz, Elmer. “*Corrosión de las armaduras embebidas en hormigón en ambientes de extrema agresividad. Posibilidades de protección mediante inhibidores*”. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Químicas, 1994.
17. Red Iberoamericana XV.B “DURAR” (Durabilidad de la armadura). “*Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado*”. CYTED, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo: Rio de Janeiro, 1997.
18. Schnerch, David A: “*Investigation of Steel Reinforcement Corrosion Protection by Chemical Admixture in Repaired Structural Concrete*”. En: The department of Civil and Geological Engineering. Faculty of Engineering. The University of Manitoba. Canadá. Abril 1999. <on line> <http://home.cc.umanitoba.ca/~umschner/corrosion>.
19. Servicio De Publicaciones del COLEGIO OFICIAL DE ARQUITECTOS DE MADRID; Rodríguez Ortiz Jose María, Serra Gesta Jesús, Oteo Mazo Carlos: “*Curso aplicado de cimentaciones*”. Primera edición, Abril 1982; segunda edición, junio 1984 . 26 p.
20. Sydney Midness, University of British Columbia; J. Francis Young, University of Illinois at Urbana - Champaign: “*Concrete*”. Segunda edición 2003.

## ANEXO I



Nota: Los números de color azul señalan la ubicación donde se tomaron las muestras del terreno, y los números de color naranja acompañados por una “c”, señalan la ubicación de los postes donde se tomaron las muestras de concreto.