

## INTRODUCCION

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

# **CAPÍTULO 1**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### **Tipos de puzolanas**

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

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

- a) colinita
- b) montmorillonita

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

- a) Tierra de diatomeas, semiopalos y pizarras.

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

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

**IV Sub productos industriales:**

Escoria de alto horno.

Ceniza volante.

Humo silíceo.

**CARACTERISTICAS:**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

##### **Técnica Potenciostáticas**

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



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

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

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

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

Donde:

W: pérdida de peso de la especie electroactiva

m: peso molecular

Z: número de electrones involucrados en la reacción electroquímica

F: constante de Faraday (96500 culombios)

I: corriente en amperios

t : tiempo en segundos

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

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

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

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

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

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

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

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

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

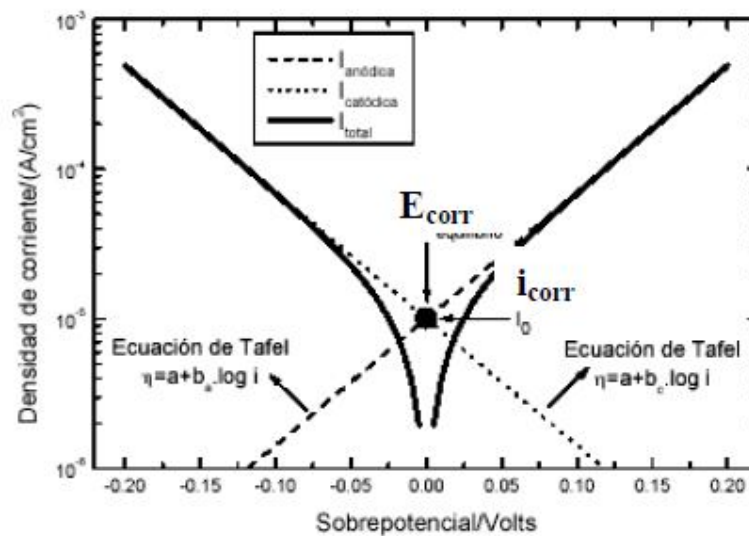


Figura 1.- Curva de polarización anódica y catódica

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

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

con :

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

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

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

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