

CORROSION EN ARMADURAS DE HORMIGON REFORZADO QUE CONTIENEN CLORUROS DE CALCIO

CUSTODIO VASQUEZ Q.

Ingeniero Metalúrgico, M.Sc.
Profesor Titular UIS
Centro de Investigaciones en Corrosión, UIS

LUIS ORLANDO AGUIRRE R.

Ingeniero Metalúrgico, M.Sc.
Profesor Titular UIS
Centro de Investigaciones en Corrosión, UIS

JAIME GARCIA SCH.

Ingeniero Civil, M.Sc.

RESUMEN

En este trabajo se determinaron las velocidades de corrosión del refuerzo del hormigón (concreto) de 2000 y 3000 psi, con 1, 1,5, 2,0, 2,5 y 3,0% de CaCl_2 , por los métodos gravimétrico (concreto parcialmente sumergido en agua) y de polarización lineal. Se halló el potencial de protección y la densidad de protección por medio de la curva de polarización catódica. Se observó el efecto del CaCl_2 sobre la resistencia a la compresión de concreto y su resistividad.

INTRODUCCION

El hormigón y el acero, constituyen dos materiales perfectamente compatibles, con similares coeficientes de dilatación térmica cuyas características de complementan. La unión de ambos materiales, que se conoce con el nombre de hormigón reforzado, participa de la excelente resistencia mecánica a la compresión del hormigón a la que se suma una adecuada resistencia a la tensión que el acero aporta y de la que el hormigón carece.

La durabilidad del hormigón reforzado depende, como es lógico, de la durabilidad de los materiales que lo componen. Ambos materiales se comportan de forma distinta ante la acción de medios exteriores, siendo el acero el más sensible de ambos materiales al efecto de dicho medio, y por lo tanto el menos durable de los dos.

El acero puede ser corroído por la humedad ambiental y por el oxígeno del aire, a cuyo efecto se suma el de otros agentes nocivos tales como el anhídrido sulfuroso (SO_2), que con frecuencia contamina la atmósfera urbana e industrial, y los cloruros existentes en el ambiente costero. Pero el hormigón, en general es capaz de proteger suficientemente a las varilla y alambres de acero que constituyen las armaduras, del medio exterior agresivo antes señalado, formando el conjunto (hormigón reforzado) un material aceptable.

A veces los productos corrosivos no provienen del exterior, sino que los contiene el propio hormigón, incluso como constituyentes normales del mismo en muchos casos. Tal sucede con algunos aditivos de los que se suelen utilizar para conferir o modificar algunas de las propiedades o el comportamiento del hormigón durante su amasado, su puesta en obra o su fraguado y endurecimiento. La presencia en el hormigón de aceleradores de fraguado y de endurecimiento que contienen cloruros (cloruro cálcico por lo general) produce corrosión localizada y por picaduras.

En este artículo se presenta el efecto del cloruro de calcio y del Sikacrete sobre la corrosión de las armaduras y su influencia en la resistencia a la corrosión. Mediante las curvas de polarización catódica se determinan el potencial de protección y la densidad de corriente de protección.

MECANISMO DE LA CORROSION DEL ACERO EN EL HORMIGON

La acción protectora del concreto sobre el acero es de doble naturaleza:

en primer lugar, el concreto es un aislante, una barrera física entre el acero y el medio externo. La impermeabilidad o compacidad y el espesor del recubrimiento del concreto son dos características fundamentales de su capacidad protectora contra la corrosión. Las características físicas del concreto como aislante están relacionadas con la estructura de la red de poros que se genera, debido al exceso de agua que es necesario utilizar en el amasado para hacer suficientemente trabajable el material. La porosidad total del concreto está constituida, tanto por los poros cerrados u ocluidos como por la red de poros cuyos tamaños oscilan entre pocos Amstrongs (A°) hasta alrededor de $100 A^\circ$ (poros de gel), y desde aproximadamente $100 A^\circ$ hasta $10^5 A^\circ$ (poros capilares)

y desde 10^5 A° hasta el orden de milímetros, que son llamados poros de aire o poros grandes. Todos los que están comunicados entre sí están relacionados con el concepto de permeabilidad o penetrabilidad, que es la característica que va a controlar la llegada de agentes agresivos hasta las variables de acero.

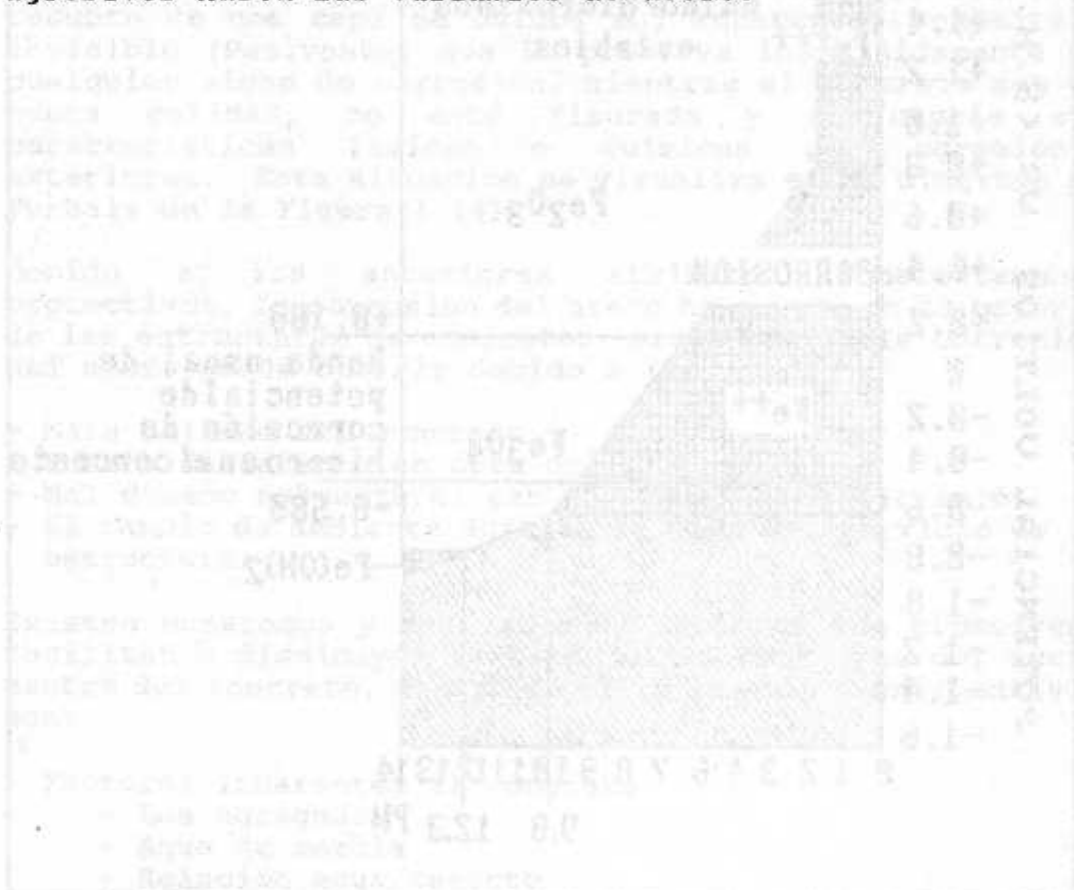


Figura 1. Tipo de poros de acuerdo al tamaño de penetración de los agentes agresivos. Se muestra la permeabilidad de los poros de acuerdo al tamaño de penetración de los agentes agresivos.

- Factores inherentes al acero:
 - Tipo de acero
 - Estado superficial
 - Contacto del acero con el ambiente
 - Tipo de ambiente

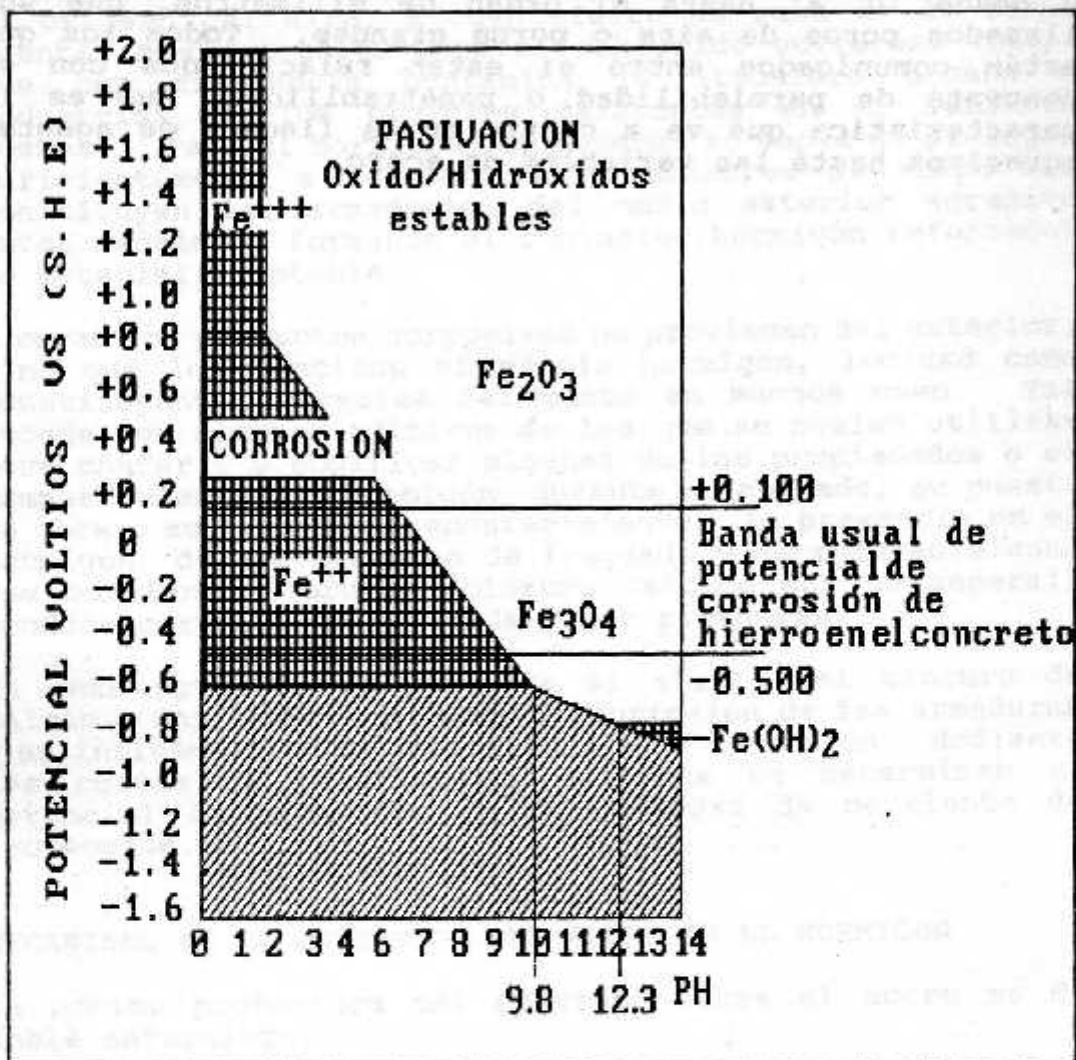


Figura 1. Diagrama de Pourbaix para el sistema Fe-H₂O a 25 °C.

En segundo lugar, los poros de concreto, cuando la humedad ambiental es suficiente, están rellenos por un líquido acuoso constituido precisamente por iones OH^- (alcalinidad elevada con un pH entre 12 y 14), Ca^{++} , Na^+ , K^+ , SO_4^{--} . A esta elevada alcalinidad y con el contenido de O_2 normal en las estructuras no enterradas o sumergidas, el acero se recubre de una capa de óxidos muy adherente, compacta e invisible (Pasivante) que lo preserva indefinidamente de cualquier signo de corrosión, mientras el concreto sea de buena calidad, no esté fisurado y no cambie sus características físicas o químicas por agresiones exteriores. Esta situación se visualiza en el diagrama de Purbaix de la Figura 1 (4).

Debido a los anteriores atributos inherentemente protectivos, la corrosión del acero no ocurre en la mayoría de las estructuras de concreto. sin embargo, la corrosión del acero puede ocurrir debido a (7):

- Mala calidad del concreto
- Puesta deficiente en obra del concreto
- Mal diseño estructural par el ambiente de servicio
- El cambio de ambiente durante la vida del servicio de la estructura.

Existen numerosos y muy variados factores que promueven, facilitan o disminuyen la tendencia a corroerse del acero dentro del concreto, dentro de ellos los más significativos son:

- Factores inherentes al concreto
 - Los agregados
 - Agua de mezcla
 - Relación agua/cemento
 - Espesor del recubrimiento
 - Existencia de fisura o grietas en el concreto
 - Utilización de aditivos
 - Presencia de huecos de aire en el concreto en contacto con el acero
 - Tipos de cemento
- Factores inherentes al medio ambiente
 - Presencia y concentración de iones agresivos.
 - Humedad ambiental y disponibilidad de oxígeno
- Factores inherentes al acero
 - Estado superficial
 - Contacto del acero con otros metales
 - Estado de esfuerzos

- Factores externos

- Corrientes erráticas o vagabundas.

Aunque teóricamente son muy numerosos los factores que influyen en la pérdida de pasividad del acero dentro del concreto, existen dos fenómenos que son los mayores responsables de problemas de corrosión en estructuras de concreto reforzado, y estos son la carbonatación y la presencia de iones despasivantes (1,5).

La instrucción de iones agresivos puede destruir las películas de pasivación exponiendo al acero a rápida corrosión si el oxígeno y la humedad están presentes. Los iones tales como los cloruros, sulfuros, sulfatos, sulfocianuros, formiatos, bromuros pueden provocar corrosión si se encuentran en la masa del hormigón por encima del límite o umbral que los hace agresivos en este medio específico. En el concreto, los más peligrosos y conocidos son los cloruros por ser los causantes de los mayores problemas de corrosión.

Los iones cloruros pueden ser introducido dentro del concreto en una variedad de formas:

- Incluidos intencionalmente como aditivos acelerantes.
- Incluidos accidentalmente como contaminantes en los agregados.
- Penetración del exterior por medio de sales para derretir el hielo.
- Penetración por medio de vapores y salmueras industriales.
- Penetración por rociadura o nieblas marinas.

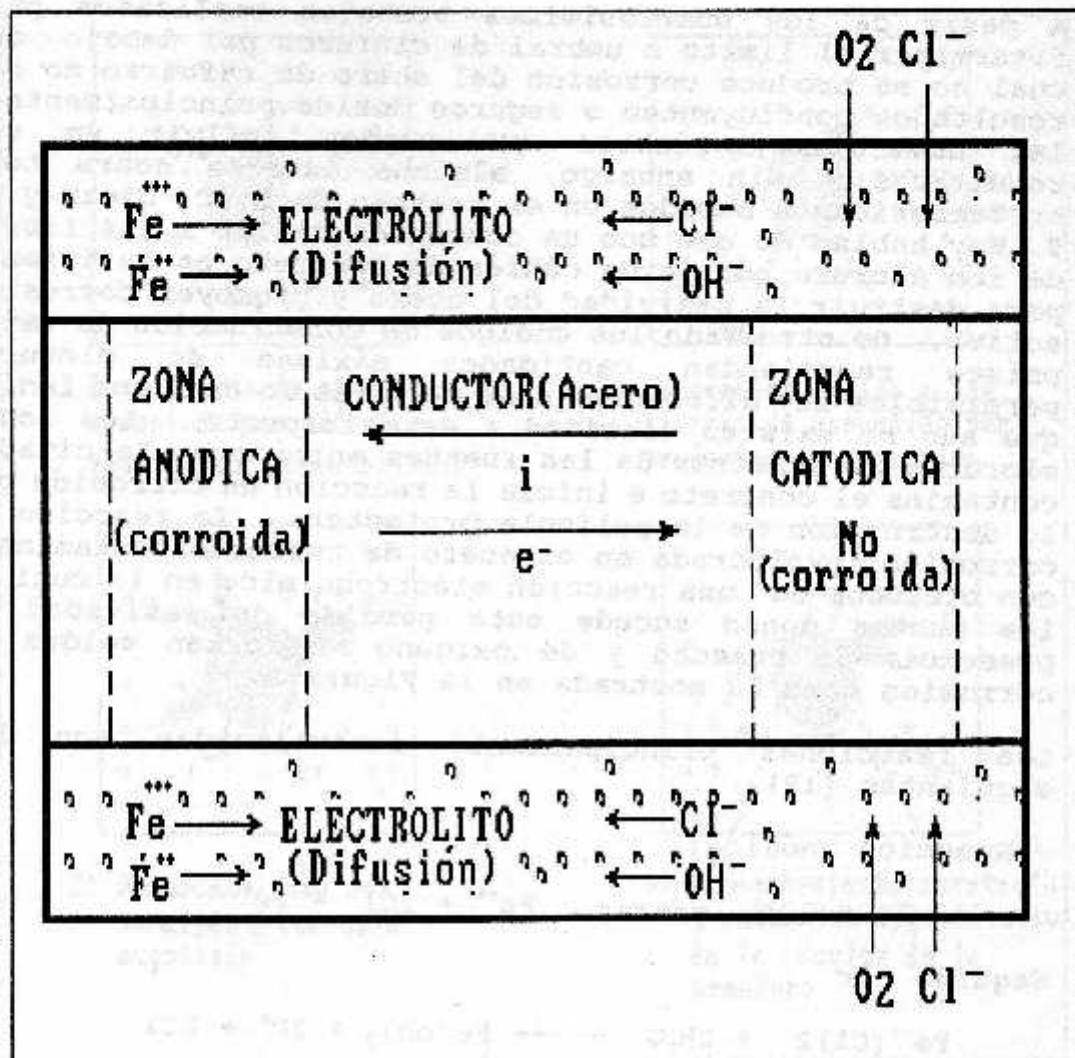


Figura 2. Celda de corrosión en el concreto reforzado.

A pesar de los numerosísimos trabajos realizados para determinar el límite o umbral de cloruros por debajo del cual no se produce corrosión del acero de refuerzo no hay resultados concluyentes o seguros debido principalmente a las numerosas variables que pueden influir en sus resultados; sin embargo, algunos autores sobre todo norteamericanos basados en el trabajo de K. C. Clear y R. E. Hay hablan de que con un contenido de 1,0 a 1,4 libras de ión cloruro por yarda cúbica de concreto es suficiente para destruir la pasividad del acero y promover corrosión activa. De otro lado los códigos de construcción de varios países recomiendan cantidades máximas de cloruros permisibles muy diferentes unas de otras lo cual nos indica que aún no existen claridad a este respecto. Los iones cloruros al penetrar de las fuentes anteriormente citadas contamina el concreto e inicia la reacción de corrosión por la destrucción de la película protectora. La reacción de corrosión involucrada en el acero de refuerzo contaminado con cloruros es una reacción electroquímica en la cual en los puntos donde sucede esta pérdida de pasividad en presencia de humedad y de oxígeno se forman celdas de corrosión como la mostrada en la Figura 2.

Las reacciones principalmente involucradas son las siguientes (12).

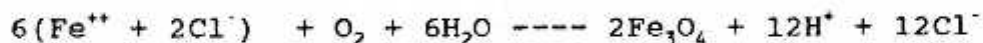
- Reacción anódica:



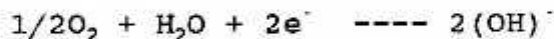
Seguida por

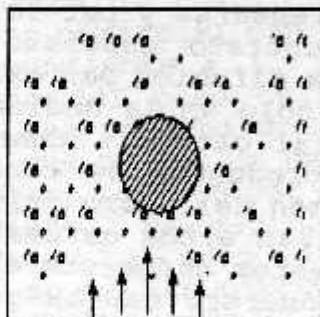


Con el oxígeno presente, una segunda reacción ocurre en el ánodo:



reacción catódica:

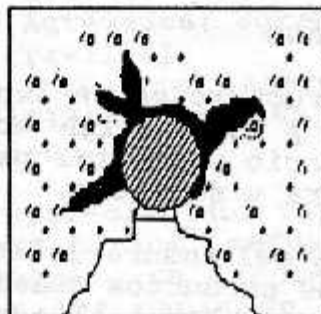




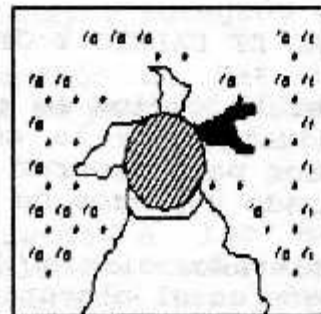
A) Penetración de agentes agresivos por difusión, absorción o permeabilidad



B) Fisuración debida a las fuerzas de expansión por productos de corrosion



C) Desmochamiento del hormigón y corrosion acentuada



D) Desmochamiento acentuado y reducción significativa de la sección de la armadura

Figura 3. Deterioración progresiva debido a la corrosion de las armaduras.

Así, el rol del Cl^- es el de promover la corrosión en ánodo, el cual es desprendido para reusarse y por lo tanto la reacción de corrosión en el concreto expuesto a la atmósfera es un sistema limitado a la difusión del oxígeno; esto es, la reacción puede ocurrir sólo en la medida como el oxígeno pueda ser suministrado al cátodo. Cuando el acero de refuerzo se corroe, los productos de corrosión ocupan de dos a siete veces el volumen del acero original, este incremento de volumen desarrollan altos esfuerzos de tensión sobre el concreto y cuando estos esfuerzos exceden los esfuerzos admisibles para el concreto causan grietas sobre el concreto. El agrietamiento conduce a una mayor corrosión de las varillas expuestas, cual puede comprometer la vida de la estructura entera. Este proceso se puede ver en la Figura 3 (4).

CLORURO DE CALCIO Y CEMENTOS PORTLAND

la prefabricación de elementos estructurales se impone en la industria de la construcción, y ello exige acelerar procesos para ahorrar moldes y espacio y acortar periodos de curado y plazos de puesta en obra y servicio.

El acelerador clásico del fraguado y del endurecimiento del hormigón es el cloruro cálcico o los productos comerciales que lo constituyen, y aquí está el problema: el acero que normalmente es pasivo en el concreto reforzado o pretensado y se halla bien protegido, puede dejar de estarlo en presencia del ión cloruro. En estas condiciones, la corrosión de las varillas de la armadura tiene importancia secundaria si no es intensa o continuada; pero la de los alambres pretensados si tienen una mayor importancia.

La corrosión de las armaduras por la presencia del cloruro de calcio en el concreto no depende sólo de la cuantía o concentración de esta sal, sino más bien de la cantidad o concentración de la sal que queda libre sin transformarse en el complejo cloroaluminato. la cantidad o concentración de sal libre dependerá, además:

- De la cantidad de cloruro calcico añadido al concreto.
- De la cantidad de cemento que tenga el concreto
- Del tipo de cemento.
- De la cantidad de aluminato tricálcico que tenga el cemento.

El cloruro de calcio en pequeñas dosis (hasta el 2% de producto comercial con riquezas de 70 a 80% de sal anhidra, correspondiente a 1,4 a 1,6 de cloruro cálcico anhidro, respecto del peso del cemento) se puede emplear aunque existe una pequeña probabilidad de tener corrosión lo que indica que no hay un umbral en la cantidad o concentración de cloruro cálcico por debajo de la cual no se puede dar la corrosión. Es decir, posibilidad de corrosión la hay siempre, y tan sólo la probabilidad de la misma es la que varía, según las circunstancias.

MATERIALES Y METODOLOGIA EXPERIMENTAL

- Materiales empleados.

- Cemento Portland Paz de Río.
- Agregados: agregado fino (arena) y agregado grueso (gravilla).
- Refuerzo: Acero de construcción de Paz de Río (1018), tipo liso, diámetro 1/4 de pulgada y longitud 13 cm.

- Preparación del refuerzo.

Se cortan los refuerzos de acuerdo a las medidas mencionadas, se limpian con una pulidora mecánica hasta remover las capas de óxidos, se engrasan tan pronto se vayan puliendo para protegerlas, luego cuando van a ser embebidas en el concreto, se limpian bien con alcohol, y se secan inmediatamente con aire para evitar la oxidación. Las varillas secas se pesan en una balanza analítica con una aproximación de 0,1 mg.

- Elaboración de las probetas de concreto.

De acuerdo con las Normas ICONTEC 396 y 673 se elaboraron las probetas par obtener las condiciones de trabajo de 2000 y 3000 psi de resistencias. Las etapas par su elaboración fueron:

- Homogenizar en seco el cemento y agregados
- Adicionar el agua de amasado que contiene los porcentajes de 1, 1,5, 2,0, 2,5 y 3,0% de cloruro cálcico, y 2% de aditivo comercial Sicakrete para cada probeta de las resistencias iniciales.
- Los moldes de PVC se engrasan y de llena 1/3 parte con la pasta de concreto pisonando sobre cada una de las 3 capas 25 veces, El refuerzo se coloca cuando se agrega la primera capa a una distancia de espesor de

pared de 1 cm.

- A las 24 horas de elaboradas las probetas, se desecan y se sumergen en agua durante 7 días, Para luego realizar los montajes de las pruebas de corrosión. Para llenar a cabo los ensayos de compresión las probetas se sumergen en agua y se realizan los ensayo a los 3, 7 y 28 días. Con el fin de obtener datos representativos, se elaboró cada muestra y contramuestra.

- Para determinar la resistividad de los dos tipos de concretos (2000 y 3000 psi) con las respectivas adiciones de cloruros de calcio, se elaboran probetas diseñadas para esta medida.

Montaje y monitoreo.

Los elementos utilizados son los siguientes:

- 12 probetas de concreto
- Voltímetro
- 2 burbujeadores de aire
- Electrodo de referencia de calomel saturado
- 1 pila de acrílico.

Las probetas fueron sumergidas parcialmente (10 cm) en agua. Para observar el comportamiento de las diferentes adiciones de cloruros de calcio en las dos clases de concreto (2000 Y 3000 psi) se realizan medidas diarias durante 5 minutos de los potenciales de corrosión con el electrodo de calomel saturado.

Medición de la resistividad.

Los elementos usados para este ensayo fueron los siguientes:

- 12 probetas de concreto de 8cm x 8cm x 11cm cada una.
- Voltímetro
- Amperímetro
- Fuente de corriente directa Hewlett Packard

Las mediciones de voltajes y corriente (con el fin de calcular resistividades) se toman a partir del segundo día de elaboradas las probetas, hasta que la corriente suministrada por la fuente sea máxima. Esta corriente que pasa por el concreto se mide con el amperímetro colocado en

serie, y el voltaje se mide con una conexión en paralelo a la probeta de concreto.

- Método de polarización lineal.

Se emplearon los siguientes elementos:

- 12 probetas de concreto: 6 probetas de 2000 psi cada una con el porcentaje de CaCl_2 indicado y 6 probetas de 300 psi con el porcentaje de CaCl_2 indicado.
- Potenciostato P53 Forschungsmstitut Meimsberg Made in GDR, alcance 1000 mA.
- Voltímetro digital.
- Electrodo de referencia de calomel saturado.
- Electrodo de platino.
- Celda de acrílico.

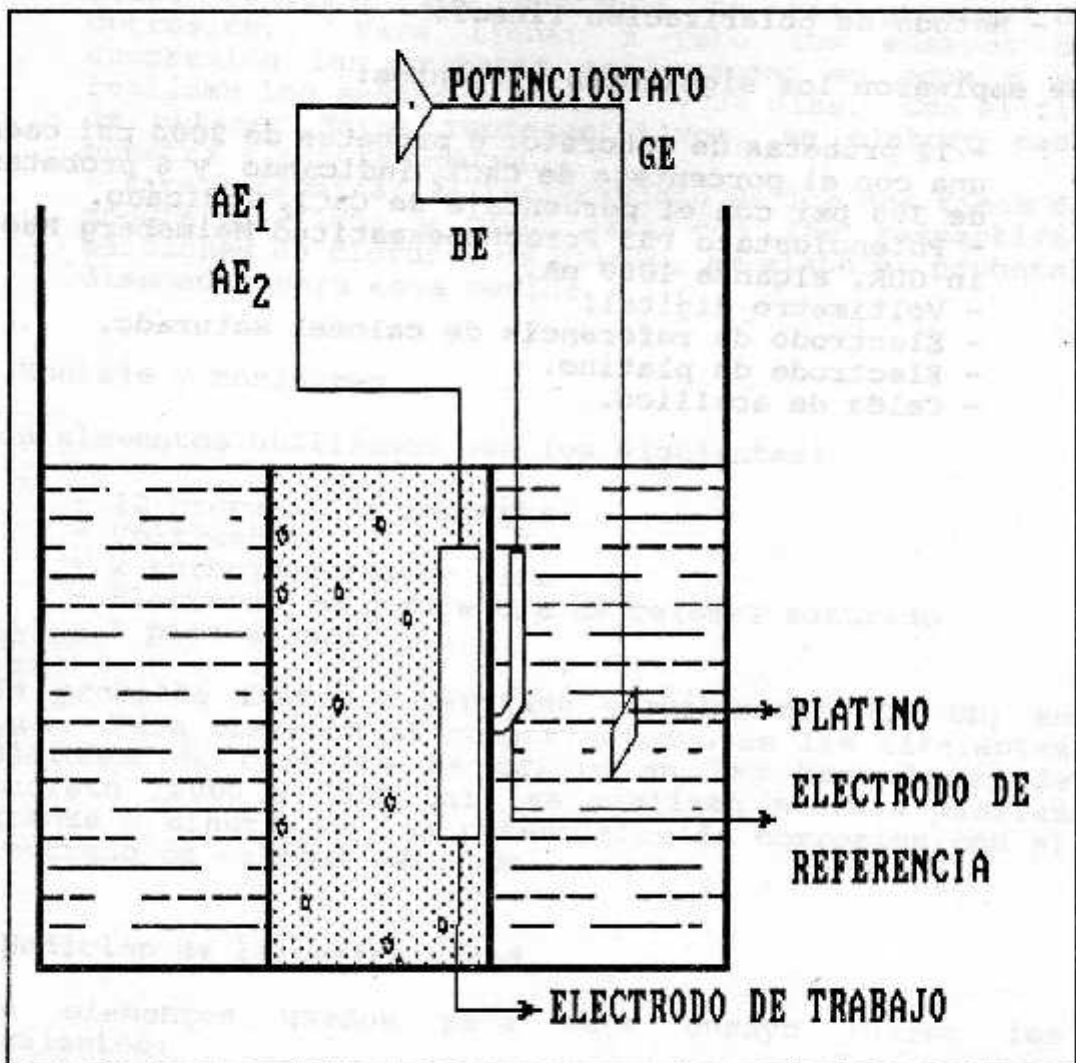


Figura 4. Montaje para realizar el ensayo electroquímico.

el montaje del sistema se llevó a cabo de acuerdo a la norma ASTM G5-78, como se observa en la Figura 4. Para el trazado de las curvas el procedimiento es de acuerdo al manual del potencióstato y se realiza un barrido de 10 mV hacia la parte anódica y catódica de las curvas, para encontrar las pendientes, aplicar la ecuación de Stern-Geary y determinar la velocidad de corrosión:

$$i_{corr} = \frac{0,026 \Delta i_{apli}}{\Delta E}$$

- Método gravimétrico.

Después de 5 meses de duración del ensayo se rompen las probetas de concreto y se toman las varillas del refuerzo para hacerla el decapado en una solución de ácido clorhídrico de peso específico 1,16 (100 ml), óxido de antimonio (2g) y cristales de cloruro estanoso (2g). Las varillas se lavan y se secan para posteriormente pesarlas.

RESULTADO Y ANALISIS DE RESULTADOS (13)

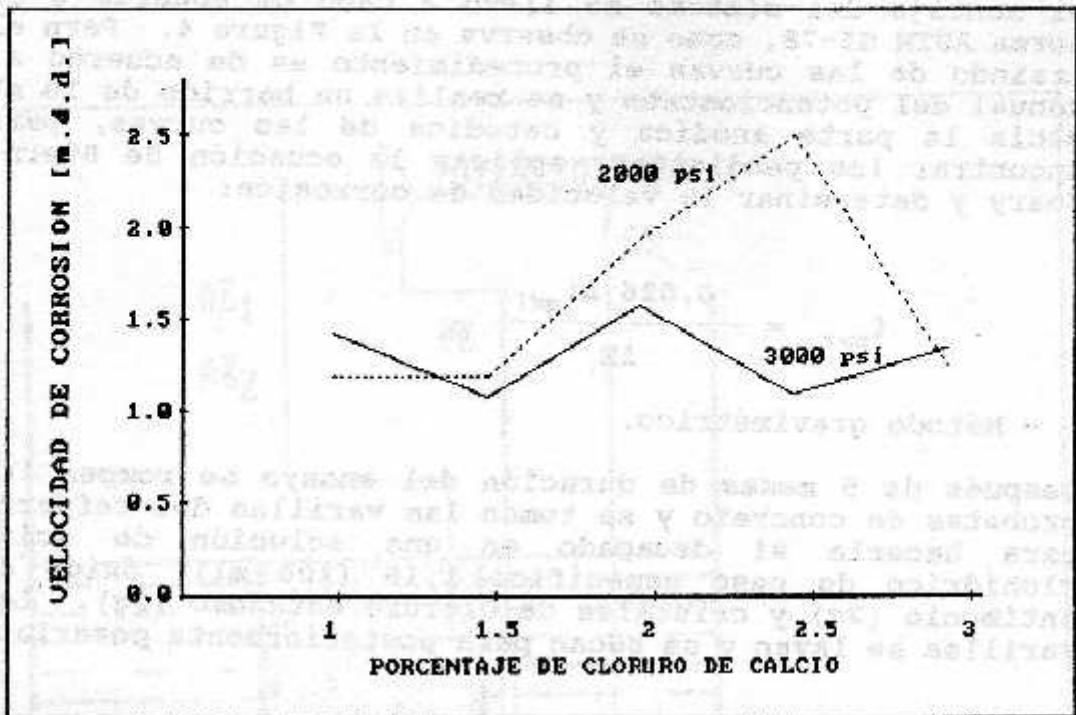


Figura 5. Velocidades de corrosión por el método gravimétrico para el refuerzo en concretos de 2000 y 3000 psi con sus porcentajes de cloruro de calcio, parcialmente sumergidos.

Las velocidades de corrosión por el método gravimétrico, del refuerzo para los concretos de 2000 y 3000 psi, con sus porcentajes de CaCl_2 y parcialmente sumergidos se muestran en la Tabla 1 y la Figura 5. En general, se presentan mayores valores de velocidad de corrosión en el concreto de 2000 psi que en el de 3000 psi sea que el concreto de 3000 psi protege de manera más efectiva el refuerzo, Un aumento en el porcentaje de cloruro de calcio no muestra una tendencia definida a un aumento o disminución de la velocidad de corrosión para las dos clases de concreto.

TABLA 1. Velocidad de corrosión en $[\text{mg}/(\text{dm}^2.\text{día})]$ para el refuerzo de los dos concretos utilizados y porcentajes de CaCl_2 .*

Resistencia del concreto (psi)	% CaCl_2	Velocidad de corrosión mdd $[\text{mg}/(\text{dm}^2.\text{día})]$
3000	1,0	1,387
	1,5	1,0579
	2,0	1,524
	2,5	1,0633
	3,0	1,2863
	Sicakrete	0,7263
	2000	1,0
1,5		1,1369
2,0		1,8868
2,5		2,4247
3,0		1,2159
Sicakrete		0,0310

* La pérdida de peso corresponde a toda la probeta (Zona sumergida + zona no sumergida)

Las velocidades de corrosión determinadas por el método de polarización lineal y los potenciales y corrientes de protección catódica determinados por el ensayo de polarización catódica para cada uno de los concretos y porcentajes de CaCl_2 utilizados se presentan en la Tabla 2.

TABLA 2. Resultados obtenidos en el ensayo de polarización lineal y polarización catódica a los refuerzos en los concretos utilizados con los porcentajes de CaCl_2 estimados.

Resistencia del concreto (psi)	% CaCl_2	E_{corr} (mV)	Resistencia de polar. R_p	i_{cor} mA/cm^2	add	E_{pc} (mV)	i_{pc} mA/cm^2
3000	1,0	-354	21984,4	$9,87 \times 10^{-4}$	2,6026	-877	3,1
	1,5	-406	52700,0	$4,12 \times 10^{-4}$	1,0864	-972	6,6
	2,0	-401	15747,9	$1,38 \times 10^{-3}$	3,6380	-1055	8,0
	2,5	-408	17698,6	$1,23 \times 10^{-3}$	3,2434	-876	6,4
	3,0	-376	52631,45	$4,12 \times 10^{-4}$	1,0864	-933	7,6
2000	Sicakrete	-404	8223,6	$2,64 \times 10^{-3}$	6,961	-980	5,6
	1,0	-393	787401,5	$2,76 \times 10^{-5}$	0,0727	-939	1,92
	1,5	-378	12032,07	$1,80 \times 10^{-3}$	4,6474	-933	1,92
	2,0	-400	52336,69	$4,15 \times 10^{-4}$	1,0943	-1083	6,6
	2,5	-399	10731,26	$2,02 \times 10^{-3}$	5,3265	-925	5,2
	3,0	-414	13157,89	$1,65 \times 10^{-3}$	4,3500	-922	3,2
	Sicakrete	-421	8518,24	$2,55 \times 10^{-3}$	6,725	-911	6,4

Para ambos concretos de 2000 y 3000 psi se pueden observar que las curvas con pendientes altas, en algunos de 3000 psi con 1,5% y 3,0% de CaCl_2 y de 2000 psi con 1% y 2% de CaCl_2 la i_{corr} y la velocidad de corrosión son bajas o sea que el efecto de estos porcentajes no es agresivo. Para curvas con pendientes bajas, en 3000 psi con Sicakrete y en 2000 psi con 2,5% de CaCl_2 y Sicakrete la i_{corr} y la velocidad de corrosión son altas, o sea que el efecto de estos porcentajes es agresivo.

En cuanto a la densidad de corriente de corrosión en ambos concretos se mayor cuando tiene presente el Sikaerete. Los datos de E_{pc} (potencial de protección catódica) y i_{cp} (densidad de corriente de protección) fueron leídos de las curvas de polarización catódica (por ejemplo, Figura 6).

Las densidades de corriente de protección altas se presentan cuando se trabaja con una relación de agua /cemento baja. Para el concreto de 3000 psi la densidad de corriente de protección mayor se presenta con un porcentaje de CaCl_2 de 2% y la menor con 1% mientras para el concreto de 2000 psi con 2% de CaCl_2 se tiene la mayor y con 1% y 1,5% se tiene la menor.

El efecto del CaCl_2 sobre la resistencia a la compresión se puede observar en la tabla 3 y 4. Se puede decir que a los 7 días se consigue más del 70% de la resistencia que se conseguiría si no se usara cloruro de calcio como acelerador de endurecimiento. en ambas Tablas la resistencia a la compresión aumenta con el porcentaje de cloruro de calcio.

TABLA 3. Efecto de los diferentes porcentajes de CaCl_2 sobre la resistencia a la compresión del concreto de 3000 psi.

%CaCl ₂	Resistencia a la compresión (psi)		
	Días		
	3	7	28
1,0	2490	2723,5	3828,5
1,5	2692,4	3221,6	3548,4
2,0	2661,4	3501,7	4357,7
2,5	2490	2688,5	3953
3,0	2785,8	3890,8	4855,7
Sicakrete	2365,6	2723,5	3735,1

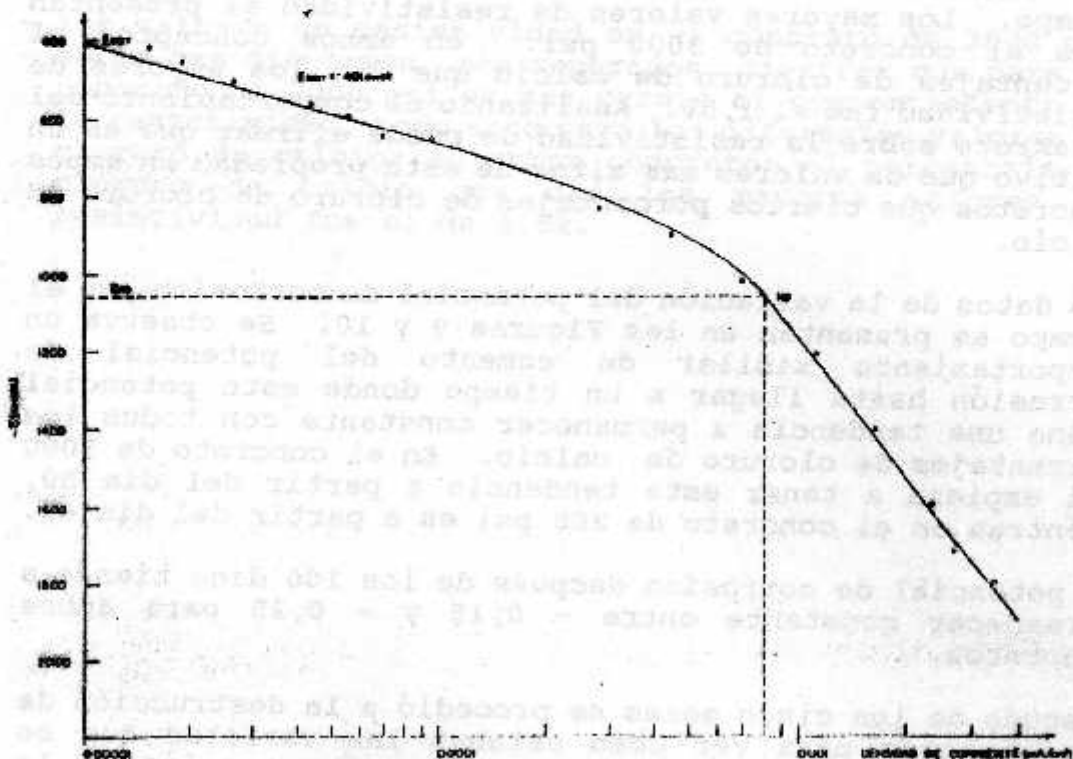


FIG. 6. CURVA DE POLARIZACIÓN CÁTODICA AL REFUERZO EN EL CONCRETO DE 3000psi CON 2% CaCl_2 .

TABLA 4. Efecto de los diferentes porcentajes de CaCl_2 sobre la resistencia a la compresión del concreto de 2000 psi.

%CaCl ₂	Resistencia a la compresión (psi)		
	Días		
	3	7	28
1,0	1929,82	2676,8	2863,6
1,5	1968,73	2147,7	2770,2
2,0	1820,88	1618,5	2490,0
2,5	1712	1883,1	2256,6
3,0	1774,0	1509,6	2801,3
Sicakrete	1291,74	1774,1	2396,7

La variación de la resistividad del concreto de 2000 y 3000 psi en función del tiempo se muestra en las Figuras 7 y 8. Se observa que la resistividad para ambos concretos tiene una tendencia a aumentar a medida que transcurre el tiempo. Los mayores valores de resistividad se presentan para el concreto de 3000 psi. en ambos conceptos el porcentajes de cloruro de calcio que dio los mayores de resistividad fue el 1,5%. Analizando el comportamiento del Sicakrete sobre la resistividad de puede afirmar que es un aditivo que da valores más altos de esta propiedad en ambos concretos que ciertos porcentajes de cloruro de cloruro de calcio.

Los datos de la variación del potencial de corrosión con el tiempo se presentan en las Figuras 9 y 10. Se observa un comportamiento similar de aumento del potencial de corrosión hasta llegar a un tiempo donde este potencial tiene una tendencia a permanecer constante con todos los porcentajes de cloruro de calcio. En el concreto de 3000 psi empieza a tener esta tendencia a partir del día 50, mientras en el concreto de 200 psi es a partir del día 40.

El potencial de corrosión después de los 100 días tiende a permanecer constante entre - 0,15 y - 0,25 para ambos concretos.

Después de los cinco meses se procedió a la destrucción de las probetas para ver como estaban las varillas que se habían introducido limpias. Se observó corrosión en la parte superior en el 30% de las varillas y el 100% presentan corrosión o deterioro en la interfase medio-aire.

Los refuerzos en los concretos de 3000 psi, 2% CaCl₂ y 2000 psi, 2,5% CaCl₂, presentan el mayor deterioro.

CONCLUSIONES

- Al destruir las probetas de concreto se observa en el refuerzo corrosión tipo picado.
- De una manera general, por el método de polarización el refuerzo del concreto de 3000 psi presentó las más bajas velocidades de corrosión que el refuerzo del concreto de 2000 psi con todo los porcentajes de cloruro de calcio utilizados.
- Con el método gravimétrico, el refuerzo del concreto de 3000 psi, parcialmente sumergido, presentó los menores valores de velocidad de corrosión.
- En el ensayo de polarización lineal, el Sicakrete da los mayores valores de velocidad de corrosión para los refuerzos de ambos concretos.
- los valores de resistividad en el concreto de 3000 psi están más dispersos, más separados, mientras que para el concreto de 2000 psi es más parejo el comportamiento de la resistividad, todo esto para los diferentes valores de cloruro de calcio; en ambos concretos el porcentaje de cloruro de calcio que dio los mayores valores de resistividad fue el de 1,5%.

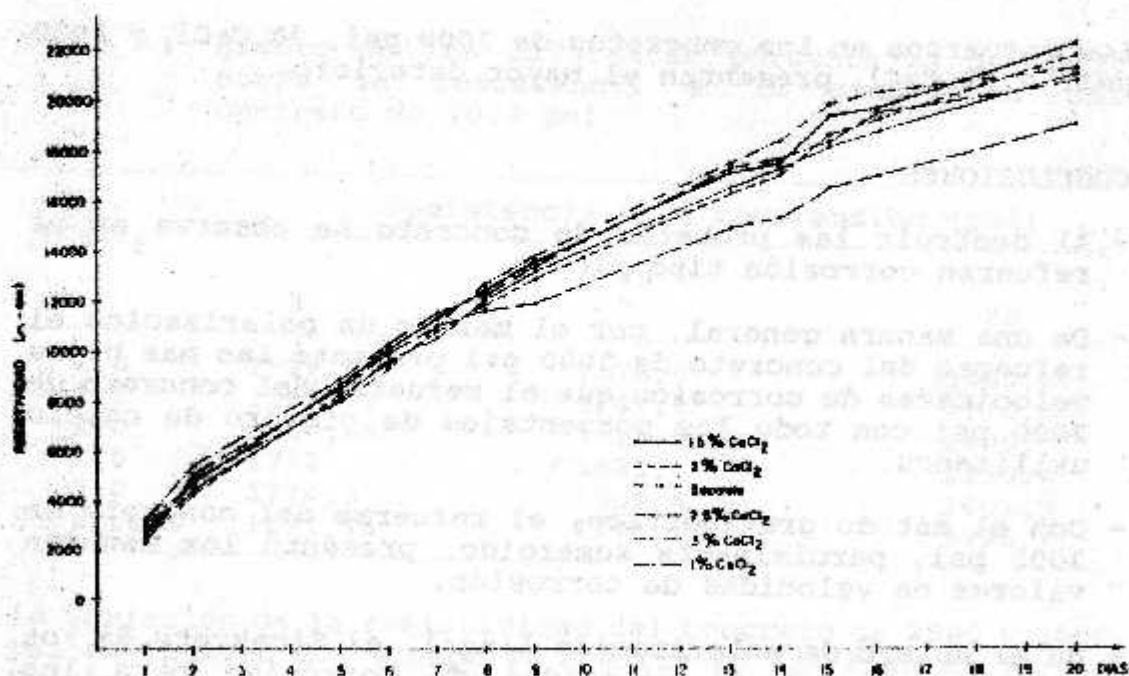


FIG. 7. VARIACION DE LA RESISTIVIDAD DEL CONCRETO DE 3000 PSI EN FUNCION DEL TIEMPO

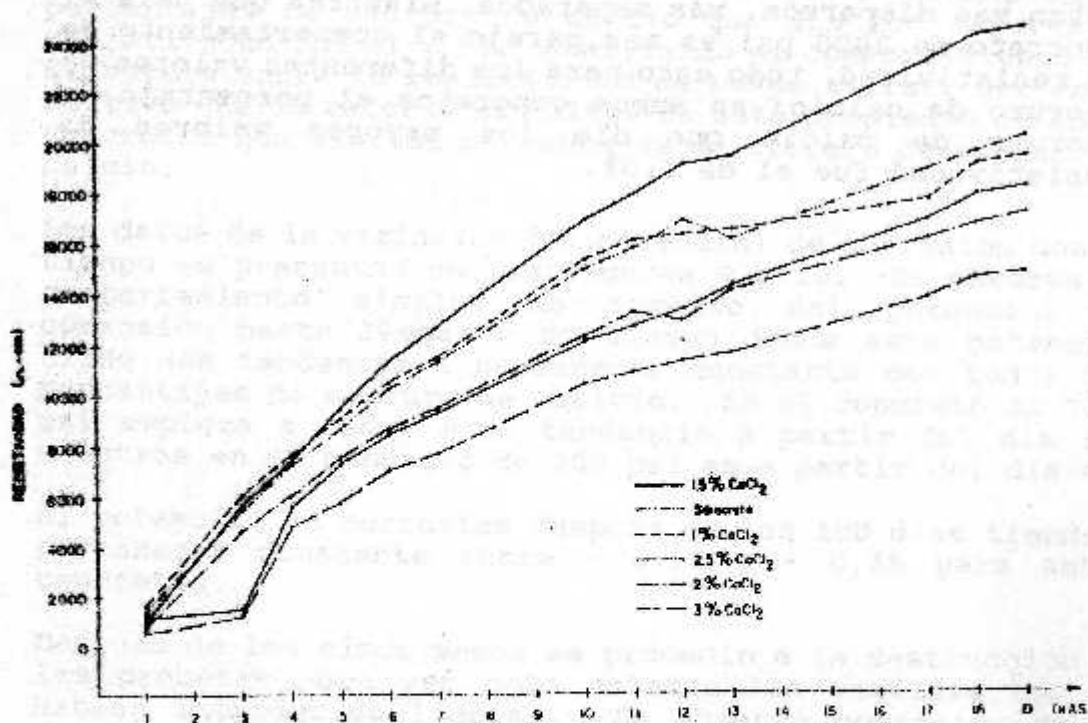


FIG. 8. VARIACION DE LA RESISTIVIDAD DEL CONCRETO DE 3000 PSI EN FUNCION DEL TIEMPO

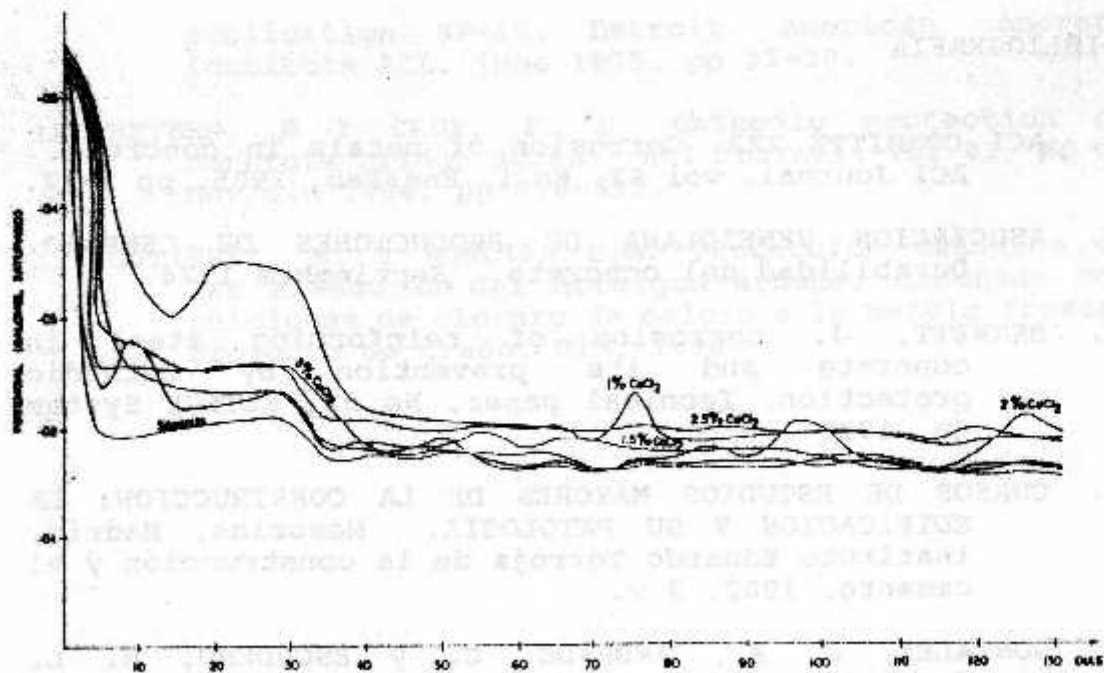


FIG. 9. VARIACION DEL POTENCIAL DEL REFUERZO DE ACERO EN EL CONCRETO DE 3000 PSI EN FUNCION DEL TIEMPO

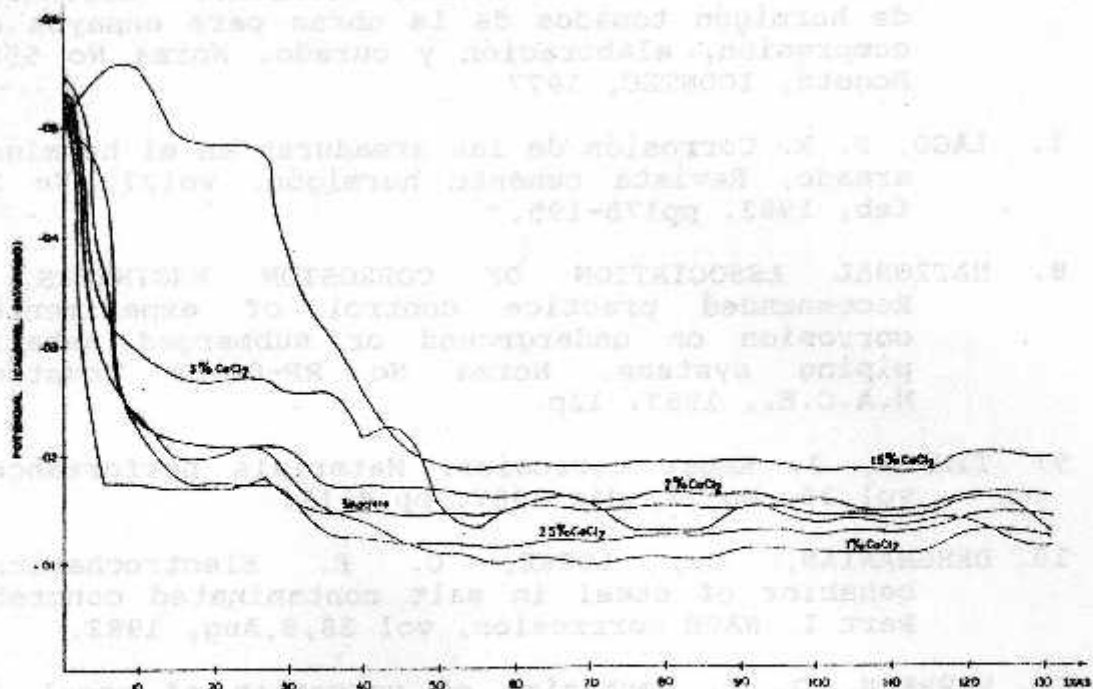


FIG. 10. VARIACION DEL POTENCIAL DEL REFUERZO DE ACERO EN EL CONCRETO DE 3000 PSI EN FUNCION DEL TIEMPO

BIBLIOGRAFIA

1. ACI COMMITTEE 222. Corrosion of metals in concrete. ACI Journal, vol 82, No 1, Ene/Feb, 1985. pp 3-32.
2. ASOCIACION VENEZOLANA DE PRODUCTORES DE CEMENTO. Durabilidad del concreto. Septiembre 1974.
3. BENNETT, J. corrosion of reinforcing steel in concrete and its prevention by cathodic protection. Technical paper, No 22, ELTECH System Co. 1987
4. CURSOS DE ESTUDIOS MAYORES DE LA CONSTRUCCION: LA EDIFICACION Y SU PATOLOGIA. Memorias, Madrid, instituto Eduardo Torroja de la construcción y el cemento. 1982. 2 v.
5. GONZALEZ, J. A., ANDRADE, C. y ESCUDERO, M. L. Corrosión en hormigón. Revista iberoamericana de corrosión y protección. vol 15, no 4, abril, 1984. pp 11-16.
6. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Cilindros de hormigón tomados de ls obras para ensayos de compresión, elaboración y curado. Norma No 550, Bogotá, ICONTEC, 1977
7. LAGO, P. R. Corrosión de las armaduras en el hormigón armado, Revista cemento hormigón. vol27, No 2, feb, 1983. pp175-195.
8. NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS. Recommended practice control of experimental corrosion on underground or submerged metallic piping systems. Norma No RP-01-69 Houston, N.A.C.E., 1983. 12p.
9. TINNEA, J. Rebar corrosion. Materials performance. vol 26, No 12, dic 1987. pp 9-11.
10. DEHGHANIAN, C., LOCKE, C. E. Electrochemical behavior of steel in salt contaminated concret. Part I. NACE corrosion, vol 38,8,Aug, 1982.
11. VERBECK, G, I. Mechanism of corrosion of steel in concret S 49-3 corrosion of metal in concrete

publication SP-49. Detroit, American concrete institute ACL. june 1975. pp 31-38.

12. WEYERS, R Y CADY, P. D. Cathodic protection of concrete bridge decks. ACI Journal. vol 81, No 6, nov/dic 1984. pp 618-622.

13. GUTIRREZ, M. Y NUNCIRA D.A. Protección catódica en las armaduras del hormigon armado, diseñado con adiciones de cloruro de calcio a la mezcla fresca. Proyecto de grado, UIS, 1990.