

PROTECCION CATODICA DEL REFUERZO DEL CONCRETO UTILIZANDO UNA CUBIERTA DE CONCRETO CONDUCTIVO

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

Profesor Asociado UIS

RESUMEN

En este trabajo se estudió a nivel experimental un sistema de protección catódica de acero en concreto contaminado por cloruros utilizando una cubierta de concreto conductivo como ánodo secundario y un alambre de platino como ánodo primario, cumpliendo holgadamente los criterios de protección catódica estipulados en la literatura.

INTRODUCCION

Debido al grave problema de corrosión a que se veían expuestas las varillas de acero de refuerzo en las cubiertas de los puentes y en los parqueaderos de automóviles por el uso de sales para derretir la nieve y el hielo en el invierno en los Estados Unidos y Europa, fue necesario desarrollar diferentes alternativas a las practicadas comúnmente para solucionar este problema, una de esas alternativas es la protección catódica. La protección catódica en suelos y aguas de mar es ampliamente aceptada. Esta ha sido practicada en todo el mundo desde su introducción en 1824; la protección catódica de acero en concreto es mucho menos practicada que la de acero enterrada en la tierra o sumergido en el mar.

Los primeros esquemas de protección catódica para concreto reforzado estuvieron basados en capas conductivas par cubiertas de puentes. Muchos de los primeros trabajos prácticos significativos sobre protección catódica de acero en concreto son atribuibles a Stratfull en California

(Estados Unidos), quien primero aplicó protección anódica a una cubierta de un puente en 1958.

Posteriormente vinieron otros desarrollos que han proveído tipos adicionales de sistemas de ánodos que mejoraron la disminución de peso, costo, mejor distribución de corriente y sobre todo la aplicación a otras estructuras diferentes a las cubiertas de puentes.

Hoy en día, en los Estados Unidos y Europa, el ingeniero que diseña este sistema tiene varias opciones a su disposición para implementar la protección catódica para el acero en el concreto. Además existen organizaciones como la NACE y otras que están en proceso de establecer prácticas y normas recomendadas para el uso en la protección catódica de estructuras de concreto reforzado.

Se pretende con este artículo demostrar que esta tecnología, puede ser aplicada en nuestro país y que puede ser una opción económica atractiva a largo plazo como método de rehabilitación de estructuras de concreto reforzado con acero con serios daños por corrosión del metal.

TECNICAS USADAS PARA CONTROLAR LA CORROSION DEL ACERO DENTRO DEL CONCRETO.

Técnicas utilizadas sobre estructuras nuevas.

- Cuidadoso diseño y buenas prácticas de construcción.
 - Control a través de la limitación de la cantidad de cloruros.
 - Control con base en el uso de bajas relaciones agua/cemento y en aumento de espesores de cubiertas sobre acero.
- Método de excluir el ión cloruro proveniente de fuentes externas del concreto.
 - Membrana a prueba de agua
 - Impregnación con polímeros
 - Cubiertas de concretos polimérico
 - Cubiertas de concreto de bajo asentamiento
 - Cubiertas de concreto modificado con latex
- Método para proteger el acero de refuerzo del ión cloruro.
 - Uso de aceros resistentes a la corrosión
 - Recubrimiento sobre el acero
 - Uso de inhibidores

Técnicas utilizadas para proteger estructuras de concretos reforzado y existentes.

- Técnicas aislantes
- Modificación del ambiente
- Control activo de flujo de electrones (protección catódica)

CRITERIOS PARA PROTECCION CATODICA DEL ACERO DENTRO DEL CONCRETO

Los criterios de protección catódica tienen como finalidad verificar si una determinada estructura se encuentra efectivamente protegida contra la corrosión. Para las estructuras de acero enterradas en el suelo, el principal criterio adoptado consiste en polarizar toda la estructura a potenciales iguales o más negativos que $-0,850$ voltios vs el electrodo de referencia de Cu/CuSO_4 . En el caso de estructuras aéreas de concreto, todavía no existe un consenso sobre cual criterio es el más adecuado para ser adoptado. Sin embargo, la NACE (National Association of Corrosion Engineers) pregoniza como criterio de protección, una polarización catódica mínima de 100 milivoltios. El acero es considerado protegido cuando el potencial polarizado obtenido cuatro horas después de apagar la fuente de corriente es 100 milivoltios más negativo que el original potencial de corrosión. Además de este criterio existen los siguientes:

- Potencial absoluto de $-0,770$ voltios vs Cu/CuSO_4 .
- Variación negativa mínima de 300 mv.
- Determinación de la curva potencial vs logaritmo de la densidad de corriente.

Algunos autores recomiendan que los potenciales no deben alcanzar valores más negativo que $-1,17$ voltios vs Cu/CuSO_4 , so pena de poner en riesgo la adherencia entre acero y concreto.

PROTECCION CATODICA POR CORRIENTE IMPRESA DEL REFUERZO DEL CONCRETO UTILIZANDO UN CONCRETO CONDUCTIVO. (1,4,5,6)

Puesto que el concreto es un conductor eléctricamente pobre, los ánodos en los sistemas de protección catódica deben ser colocado muy cerca uno del otro para permitir una distribución uniforme de la corriente aplicada.

Los sistemas de ánodos ramificados requieren intensivas labores de instalación lo cual aumenta los costos; los sistemas con ánodos de mallas requieren cubrir la superficie a proteger con una capa de concreto de cemento Portland, además de los altos costos de las propias mallas, mientras que los sistemas de ánodos con recubrimiento conductores no pueden ser utilizados en sitios sujetos a abrasión, en adición a requerir un excelente grado de control e inspección. Todo lo anterior conduce a pensar en otras alternativas. Una de estas alternativas es la de disminuir la resistencia eléctrica del cemento Portland.

La resistencia eléctrica del concreto ha sido reportada en un rango desde 150 Ω cm. El viaje de la corriente eléctrica a través de tan heterogéneo material puede tomar seguir posibles recorridos:

- A través de la propia pasta de cemento.
- A través del agregado y de la pasta de cemento en pie.
- A través de las partículas de agregado en contacto una con otra.

Puesto que la resistencia eléctrica del agregado (aparentemente 10^4 a 10^5 Ω cm) puede ser estimada como infinita comparada con la de la pasta de cemento (aproximadamente 1000 a 1500 Ω cm) una alta proporción de la corriente eléctrica es conducida a través de la pasta de cemento. Es obvio entonces que la resistencia de un concreto es dependiente del agregado y de la pasta de cemento y que cualquier cosa que reduzca la resistividad de estos componentes puede afectar la conductividad total del concreto.

En 1975, se informó de un trabajo sobre mortero conductivo para usar como una placa sobre los pilares de los puentes. En 1980, se reportó un trabajo sobre concretos conductivos por una compañía de comunicaciones en Inglaterra, utilizando un apropiado agregado carbonaceo conductivo y liviano, con una relación de agregado a cemento de 2,0 y una relación de agua a cemento de 0,58, la compañía produjo una mezcla teniendo una resistencia de 3500 psi y resistividades de sólo 10 a 15 Ω cm. Un esquema general del sistema de protección catódica se puede apreciar en la Figura 1 (1).

Las ventajas de este sistema son varias; tiene muy bajo costo porque la única inversión son los alambres de platino o de titanio platinizado que son de dos o tres milímetros

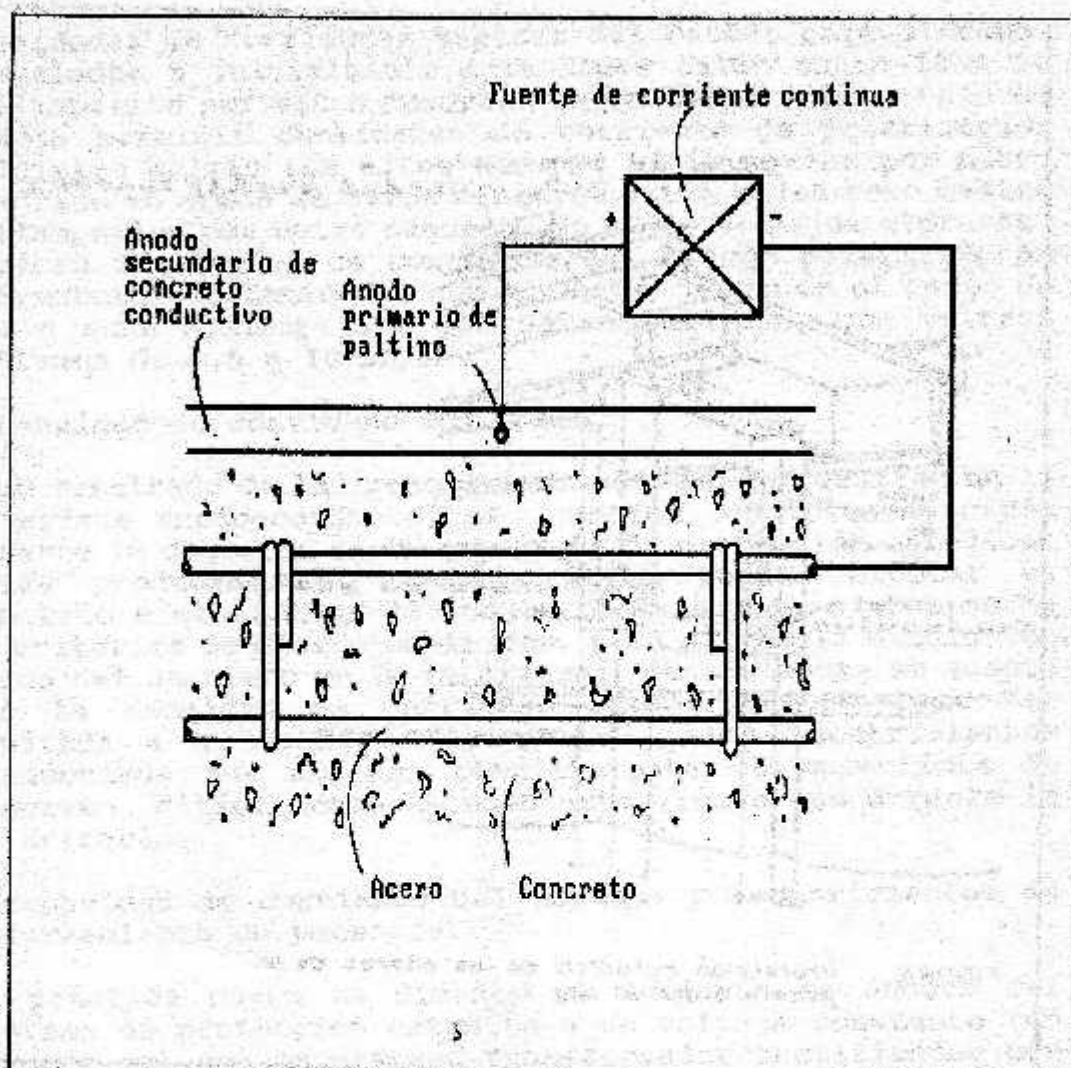


Figura 1. Sistema de ánodo con concreto conductivo.

de diámetro y se colocan en superficies planas cada tres a cinco metros; no requiere intensivas labores de instalación, no necesita una cubierta protectora de concreto convencional, además de que la inspección y control en la instalación no son tan rigurosas. Una aplicación práctica de este sistema puede verse en la Figura 2 (4).

CRITERIOS DE DISEÑO

El requerimiento principal de un esquema de protección catódica para concreto reforzado es que suficiente

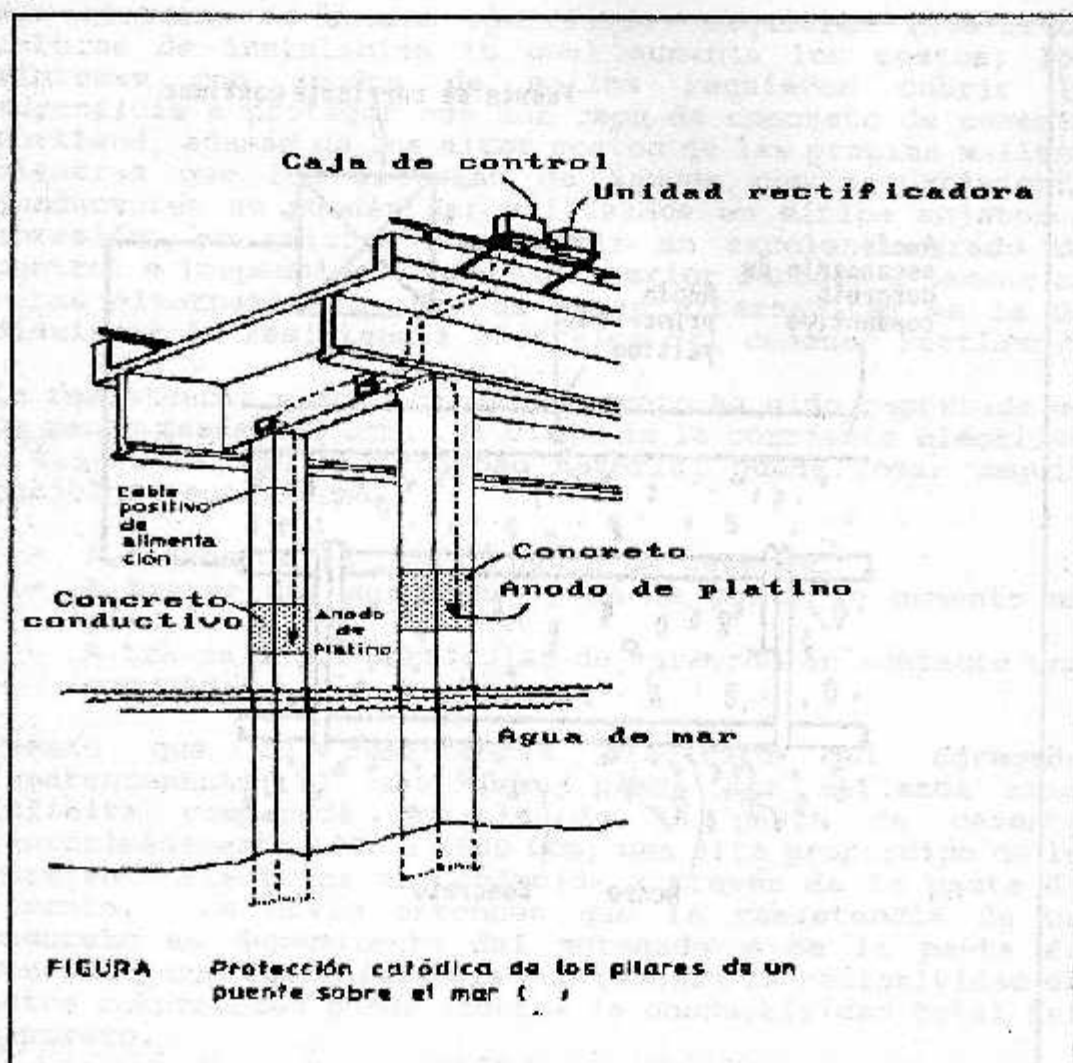


FIGURA Protección catódica de los pilares de un puente sobre el mar ()

Figura 2. Protección catódica de los pilares de un puente sobre el mar.

corriente pueda fluir del sistema de ánodos de protección catódica hasta dentro del reforzamiento para recuperar la corriente de corrosión y detener la corrosión.

Densidad de corriente del cátodo.

Los requerimientos de densidad de corriente de cátodo pueden ser independientes del tipo de sistema de protección catódica a ser usado, sujeto a que la distribución de corriente sea adecuada. Esta densidad de corriente del cátodo está referida al área del acero protegido;

densidades de corrientes típicas del cátodo para sistemas instalados e inicialmente encendidos están entre 10 a 20 miliamperios por metro cuadrado en promedio. Estos valores pueden permitir densidades de corriente de polarización iniciales quizás tan altos como 90 miliamperios por metro cuadrado en áreas de altos cloruros y tan bajas como cuatro miliamperios por metro cuadrado en áreas de bajos cloruros. Típicas densidades de corriente del cátodo polarizado en estructuras contaminadas con cloruros están en el rango de dos a ocho miliamperios por metro cuadrado, con valores extremos de 0,5 a 10 mA/m².

Densidad de corriente del ánodo

Como resultado de las reacciones anódicas que ocurren en la interfase ánodo-concreto, se generan condiciones ácidas durante la descarga de la corriente de protección catódica. Estos productos de reacción ácida pueden afectar el concreto o el sistema de ánodos, y esto guía a otra serie de criterios de diseño empíricos, para evitar la disolución ácida del concreto en la interfase; generalmente se acepta que la densidad de corriente ánodo-concreto debe ser limitada a un valor de 108 mA/m². Los recubrimientos conductivos que abarcan completamente la superficie de concreto difícilmente exceden este límite aún durante la polarización.

Capacidad de corriente del sistema y recubrimientos de reforzamiento de potencia.

La práctica común es diseñar el conjunto de ánodos del sistema de protección catódica a un voltaje constante (no automático) con un sistema transformador rectificador con una capacidad equivalente de 10 a 20 mA/m² de densidad de corriente del cátodo después de la polarización, la cual puede tomar un par de meses, el sistema podría operar desde 1/3 hasta 1/10 de su capacidad instalada. Típicos requerimientos de potencia polarizado en operación son de aproximadamente 25 milivatios/m² o de 0,2 Kilovoltios.hr/año.

MATERIALES Y METODOLOGIA EXPERIMENTAL

El equipo y materiales utilizados durante el desarrollo de este trabajo fue el siguiente:

Balanza de precisión, multimetro digitales, fuente de corriente continua Hewlett Packard, electrodo de referencia

calomel saturado, caja de sustitución de resistencias, pHmetro y cables de conexión eléctrica, cemento Portland fabricado por cementos diamante S.A., coque metalúrgico con granulometría de 0,8 mm a 6 mm, agua del acueducto metropolitano de Bucaramanga, arena seca, grava, lámina de cobre, redondos lisos de acero al carbono de diámetro 3/8 de pulgada y 1/4 de pulgada, cloruro de sodio analítico.

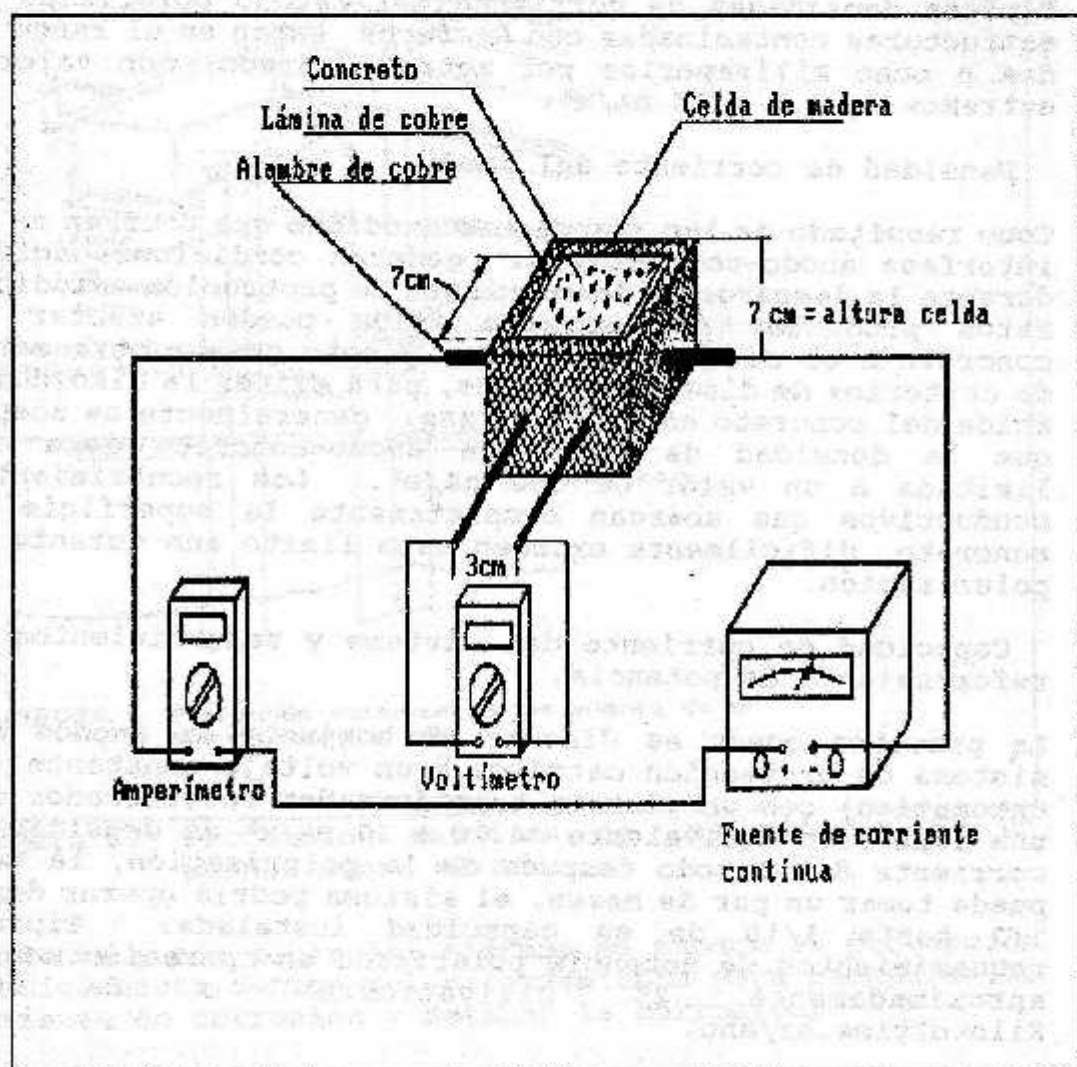


Figura 3. Celdas para ensayos de resistividad eléctrica de concretos.

Primero, se diseñaron 10 muestras de concreto conductivo variando las cantidades de coque, cemento, arena y agua. Posteriormente se fabricaron las mezclas y se colocaron en una celda de madera para la medición permanente de la

resistividad eléctrica. Esta medición se realizó desde el primer día hasta el día treinta con una lectura diaria. En la Figura 3 se observa la celda para los ensayos de resistividad.

Con cada una de las mezclas se fabricaron cilindros para los ensayos de resistencia a la compresión (ICONTEC 550) y se registró el valor de la carga de falla para cada cilindro (ICONTEC 675).

Las probetas de concreto comercial se fabricaron con una relación en peso agua a cemento de 0,71, cemento arena de 0,41 y cemento grava de 0,356 (7).

Las probetas base con área seccional cuadrada de concreto comercial se fabricaron con una altura de 44 cm y 14 cm de lado.

El reforzamiento de cada probeta consistió en cuatro varillas longitudinales de acero de 3/8 de pulgada (0,95 cm) de diámetro por 40 cm de longitud y de tres varillas transversales de acero de 1/4 de pulgada (0,64 cm) de diámetro por 50 cm de longitud envolviendo a las varillas longitudinales. A todas las varillas se les hizo limpieza con grata metálica hasta eliminar completamente la película de óxidos.

La probeta base después de un curado durante siete días se colocó en un recipiente de vidrio. Todas las mañanas a las 8:00 am se agregaba agua de acueducto al recipiente de vidrio hasta el nivel superior de la probeta base. En la tarde a las 5:00 pm se evacuaba el agua completamente del recipiente de vidrio con ayuda de una bomba. El anterior procedimiento aseguraba nueve horas de humedecimiento por 15 horas de secado o exposición al oxígeno al día. La concentración de cloruros se simuló agregando al agua de mezclado del concreto un dos por ciento de NaCl en relación al peso de cemento.

En la Figura 4 se presenta el esquema para la medición del potencial en circuito abierto del acero en el concreto.

Se instalaron dos tipos de sistemas de probeta base con protección catódica. Un sistema consistió de una probeta base de concreto reforzado, un ánodo primario de platino y una cubierta de concreto conductivo que presentó las mejores características en cuanto a baja resistencia electrónica y aceptable resistencia a la compresión. El concreto conductivo escogido fue el CC-7.

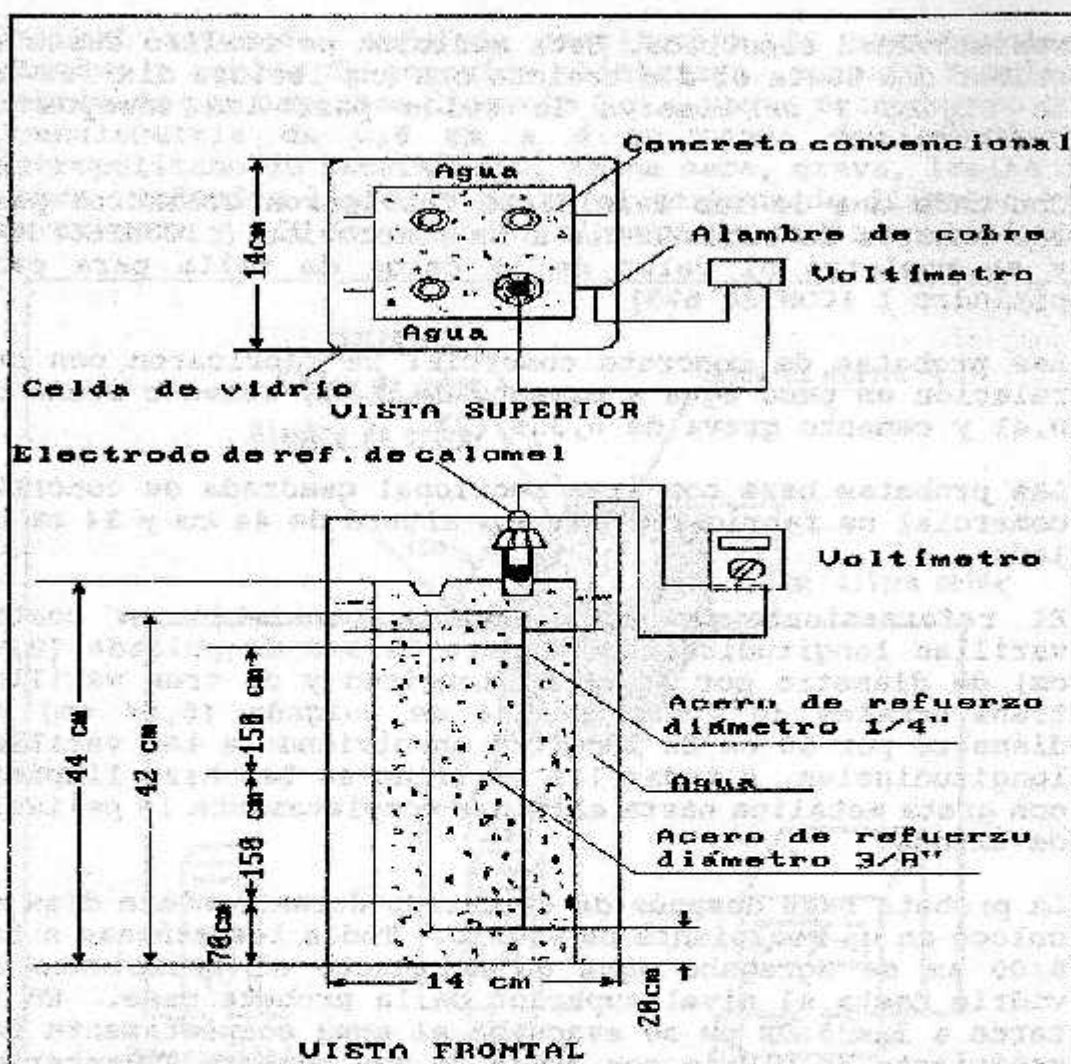


Figura 4. Esquema para la medición del potencial en circuito abierto del acero en concreto.

El otro sistema instalado consistió en una probeta, un ánodo primario de alambre de platino y una cubierta de cemento convencional, de la misma características en cuanto a materiales, porcentajes y procedimientos al concreto de la probeta base. El espesor de ambas cubiertas para los dos sistemas fue de aproximadamente un centímetro. Cada sistema se colocó en un recipiente de vidrio separado. Los sistemas se colocaron en paralelo a la fuente de corriente continua y se sometieron a las mismas condiciones de exposición.

La Figura 5 esquematiza los sistemas con protección

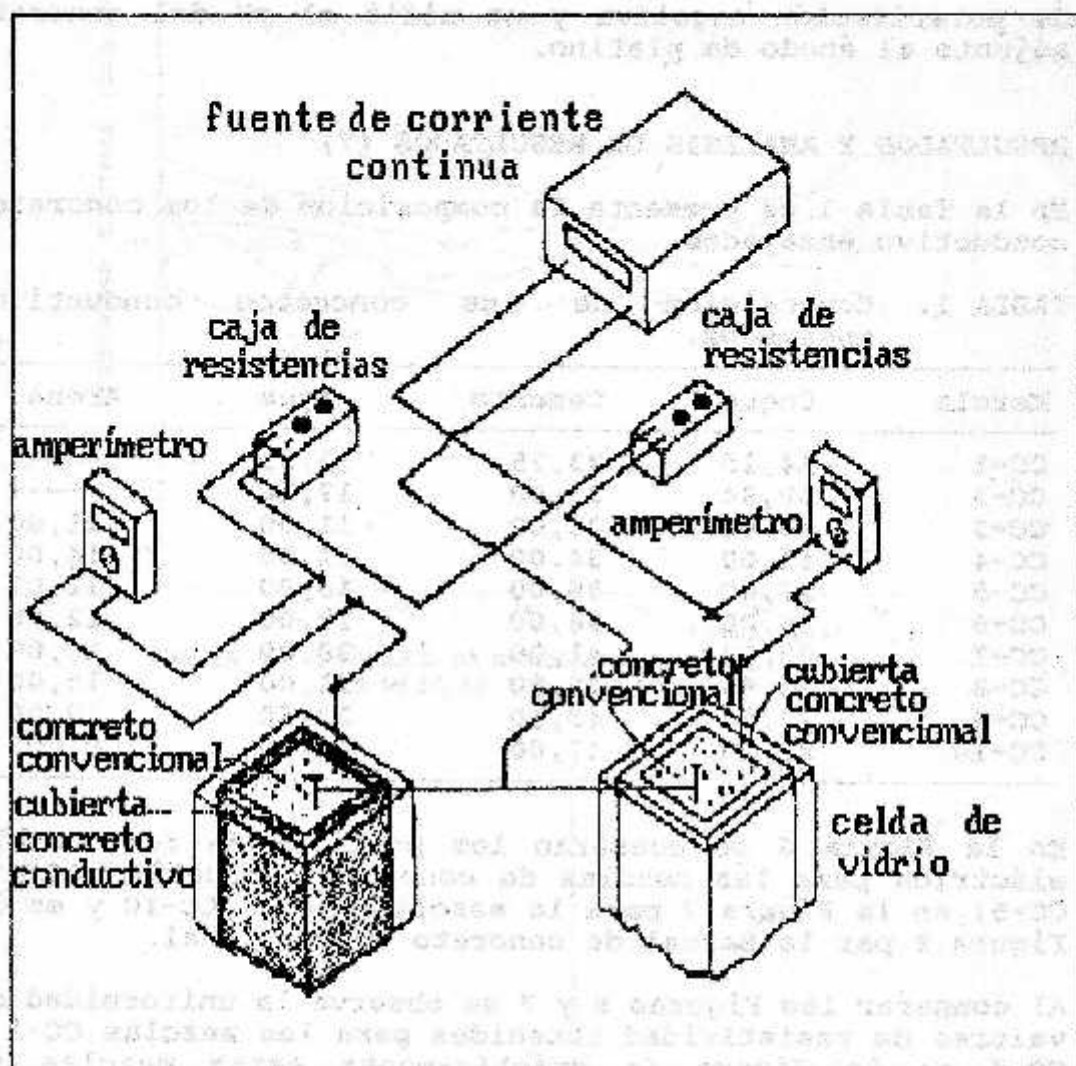


Figura 5. Esquema de los sistemas de protección catódica.

catódica y la forma como fueron instalados.

Se tomaron lecturas de potencial al cátodo en tres posiciones de la probeta base, para cada sistema, todos los días.

Se tomaron lecturas de potencial del ánodo en una sola posición de la probeta base para cada sistema, todos los días.

Se tomaron medidas de la densidad de corriente del cátodo. Se aplicó el criterio de protección catódica de los 100 mv

de polarización negativa y se midió el pH del concreto adjunto al ánodo de platino.

RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS (7)

En la Tabla 1 se presenta la composición de los concretos conductivo ensayados.

TABLA 1. Composición de los concretos conductivos ensayados.

Mezcla	Coque	Cemento	Agua	Arena
CC-1	64,15	23,75	12,23	-----
CC-2	49,84	33,00	17,16	-----
CC-3	45,00	33,00	11,00	11,00
CC-4	41,00	34,00	11,00	14,00
CC-5	37,00	35,00	16,00	12,00
CC-6	33,00	38,00	17,00	12,00
CC-7	29,00	41,00	20,00	10,00
CC-8	26,50	42,50	21,00	10,00
CC-9	22,50	45,00	22,50	10,00
CC-10	20,00	47,00	25,00	8,00

En la Figura 6 se muestran los perfiles de resistencia eléctrica para las mezclas de concreto conductivo CC-1 a CC-5; en la Figura 7 para la mezclas CC-6 a CC-10 y en la Figura 8 par la mezcal de concreto convencional.

Al comparar las Figuras 6 y 7 se observa la uniformidad de valores de resistividad obtenidos para las mezclas CC-1 A CC-5 en la Figura 6; prácticamente estas mezclas se comportan idénticamente en cuanto a resistividad eléctrica con valores que están en el rango de 5 a 20 ohm-cm; muy diferente a lo que acontece en la figura 7 con los datos obtenidos para las mezclas CC-6 a CC-7 las cuales presentan un comportamiento muy similar con valores de resistencia eléctrica entre todas las mezclas ensayadas. El otro grupo consta de las mezcla CC-8, CC-9 y CC-10, en las cuales la resistividad eléctrica aumentó gradualmente en los primeros días con un comportamiento lineal, a partir del sexto día cambia la forma y el perfil toma un comportamiento casi parabólico. En la Figura 8 se aprecia claramente como los valores de resistividad eléctrica del concreto comercial no permanecen constante sino que aumentan progresivamente con el tiempo, hasta alcanzar valores extremadamente altos comparados con los alcanzados en los concretos conductivos.

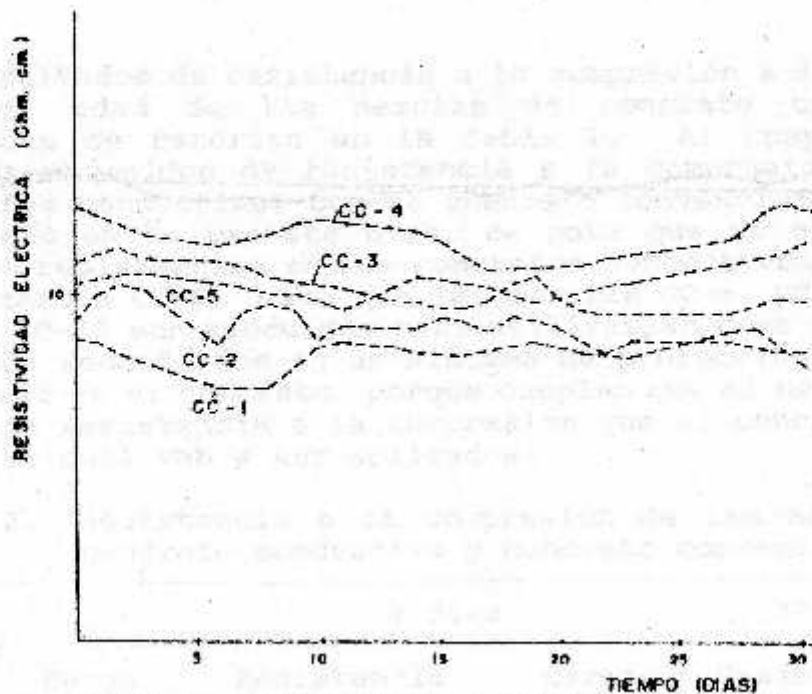


FIGURA 4 PERFILES DE RESISTIVIDAD ELECTRICA PARA LAS MEZCLAS CC-1, CC-2, CC-3, CC-4 Y CC-5.

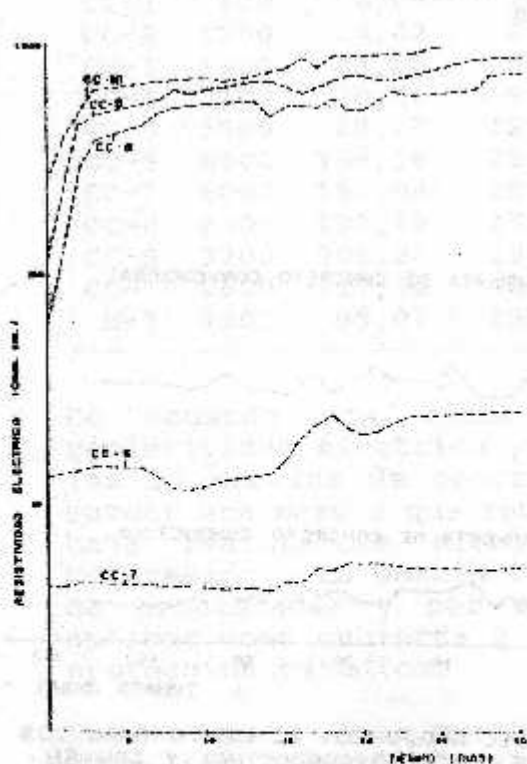


FIGURA 7 PERFILES DE RESISTIVIDAD ELECTRICA PARA LAS MEZCLAS CC-7, CC-6, CC-8, CC-9 Y CC-8.

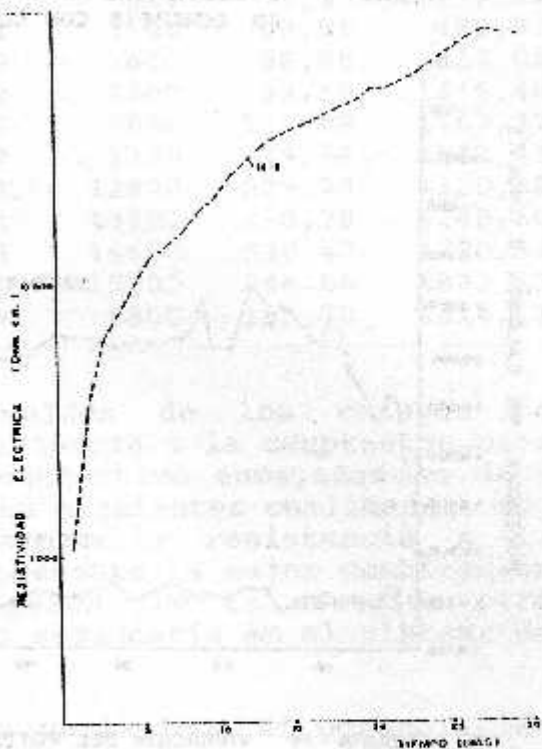


FIGURA 8 PERFILES DE RESISTIVIDAD ELECTRICA PARA LA MEZCLA DE CONCRETO CONVENCIONAL CC-10.

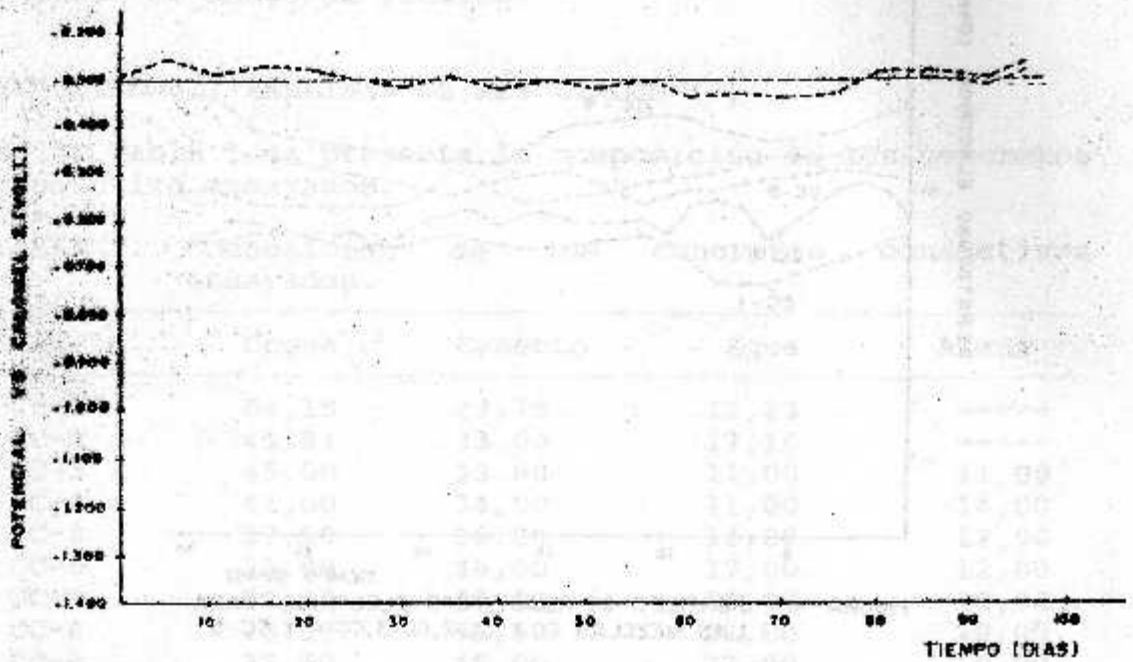


FIGURA 9 VARIACION DEL POTENCIAL EN CIRCUITO ABIERTO PARA ACERO EN CONCRETO CON EL TIEMPO.

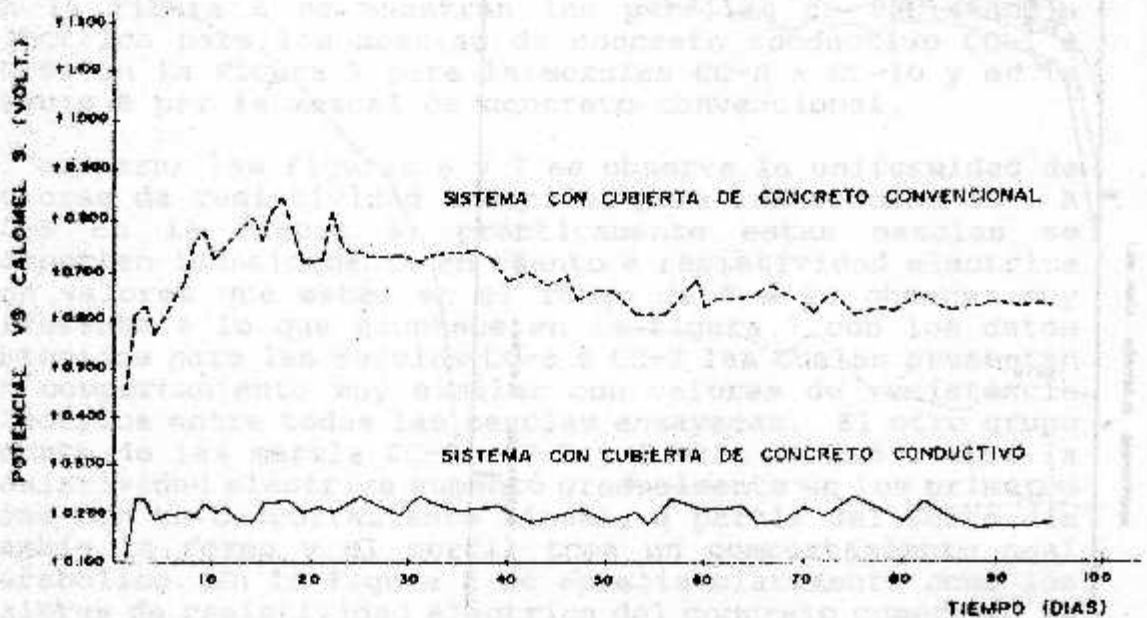


FIGURA 10 VARIACION DEL POTENCIAL DEL ANODO CON EL TIEMPO PARA LOS SISTEMAS CON CUBIERTA DE CONCRETO CONDUCTIVO Y CONVENCIONAL

Los resultados de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días de edad de las mezclas de concreto conductivo ensayadas se reportan en la Tabla 2. Al comparar los valores obtenidos de resistencia a la compresión de los concretos conductivos con el concreto convencional (H-1), utilizado en la probeta base, se nota que se obtuvieron mayores resistencias en los concretos conductivos a partir de la mezcla CC-6; o sea que las mezclas CC-6, CC-7, CC-8, CC-9 y CC-10 son adecuadas para utilizarlas como cubiertas o ánodos secundarios en un sistema de protección catódica del acero en el concreto, porque cumplen que al menos tenga la misma resistencia a la compresión que el concreto base sobre el cual van a ser aplicados.

TABLA 2. Resistencia a la compresión de las mezclas de concreto conductivo y concreto convencional.

Mezcla	7 días				28 días	
	Carga [Kg]	Resistencia		Carga [Kg]	Resistencia	
		[Kg/cm ²]	[lb/pulg ²]		[Kg/cm ²]	[lb/pulg ²]
CC-1	400	9,05	128,72	800	18,10	257,44
CC-2	1300	29,42	418,44	1500	33,95	482,87
CC-3	1900	43,00	611,59	2600	58,85	837,05
CC-4	3100	70,16	997,90	4400	99,59	1416,48
CC-5	3900	88,27	1255,48	5800	131,28	1867,22
CC-6	6900	156,18	2221,37	9700	219,56	3122,84
CC-7	8000	181,08	2575,53	12800	289,73	4120,88
CC-8	8500	192,40	2736,54	13200	298,78	4249,60
CC-9	9200	208,24	2961,83	14600	330,47	4700,34
CC-10	9600	217,30	3090,74	15200	344,06	4893,13
H-1	4200	95,07	1351,89	6800	155,70	2214,13

De acuerdo con datos obtenidos de los ensayos de resistividad eléctrica y resistencia a la compresión para las 10 mezclas de concreto conductivo ensayadas se debe buscar una mezcla que reúna las siguientes cualidades: muy baja resistencia eléctrica y alta resistencia a la compresión. La mezcla CC-7 presentó la mejor combinación de propiedades y por esta razón fue la escogida para aplicar como cubierta o ánodo secundario en el sistema de protección catódica.

En la Figura 9 se muestra la variación del potencial en circuitos abiertos para aceros en concreto con el tiempo. Se observa que el potencial en circuito abierto del acero

en concreto contaminado con dos por ciento de NaCl en relación al peso de cemento y expuesto a un ciclo uniforme diario de humedecimiento y secado puede ajustarse a un valor de 0,300 voltios versus el electrodo de referencia de calomel saturado. Este valor equivale para el electrodo de cobre/ sulfato de cobre a 0,224 voltios. De acuerdo a la norma ASTM C 876-87, con potenciales entre 0,20 y 0,35 voltios vs el electrodo de Cu/CuSO₄ existente iguales posibilidades en cuanto a la existencia o no de corrosión activa; por esta razón se debe buscar otro método de evaluación para asegurarnos de que no exista corrosión.

En la Figura 10 se presenta la variación del potencial del ánodo con el tiempo para los sistemas con cubiertas de concreto conductivo y convencional. Se observa que los potenciales del ánodo de platino para el sistema de protección catódica con cubiertas de concreto convencional lograron mayor valores con potencial de descarga que el sistema de protección catódica con cubierta de concreto conductivo debido a que el primer sistema tiene mayores resistencias eléctrica.

En la Figura 11 se muestra la variación del potencial del cátodo con el tiempo para los sistemas de cubiertas de concreto convencional y conductivo. Se observa que el sistema de protección catódica del acero en el concreto con cubierta de concreto conductivo cumple en toda su extensión los dos criterios tomados como referencia; Caso contrario ocurre en el sistema de protección catódica con cubiertas de concreto convencional en donde ningún valor supera a a cualquiera de los valores tomados como criterio de protección catódica.

En la Figura 12 se presenta la variación de la densidad de corriente con el tiempo par los sistemas con cubiertas de concreto conductivo y convencional.

Se observa que a partir de los 50 días los sistemas se han polarizado a valores de densidad de corriente que están entre los valores reportados en la literatura.

En la Tabla 3 se presenta la aplicación del criterio de protección catódica de polarización negativa de 100 milivoltios. se observa que el sistema de protección catódica con cubierta de concreto convencional no protege adecuadamente el acero inmerso en concreto contaminados por cloruros; caso contrario, el sistema de protección concreto con cubiertas de concreto conductivo si lo protege adecuadamente.

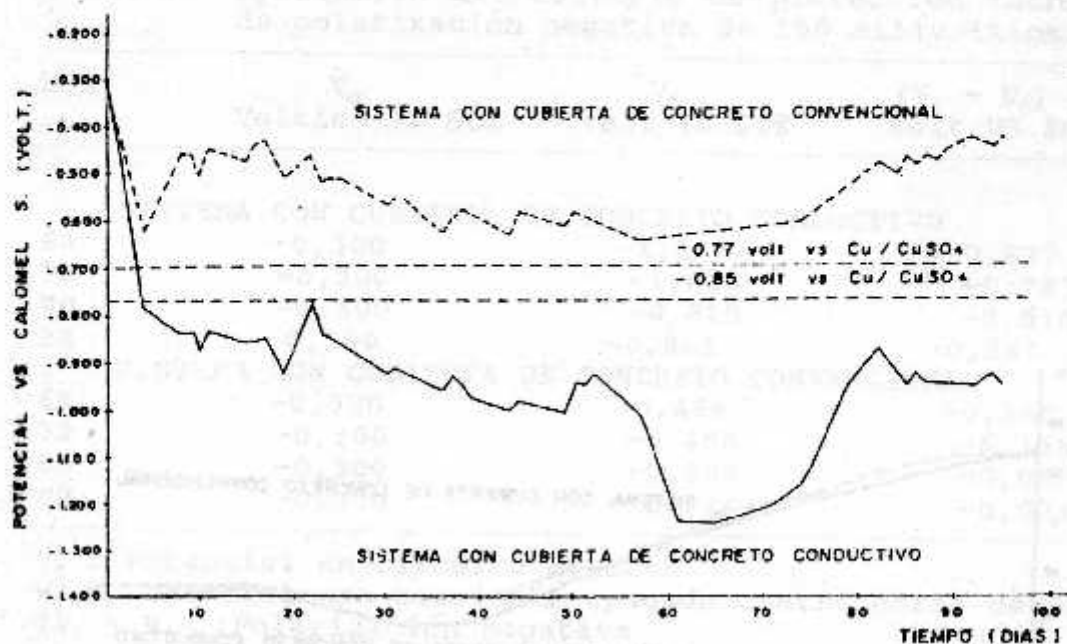


FIGURA 11. VARIACION DEL POTENCIAL DEL CATODO CON EL TIEMPO PARA LOS SISTEMAS CON CUBIERTAS DE CONCRETO CONVENCIONAL Y CONDUCTIVO.

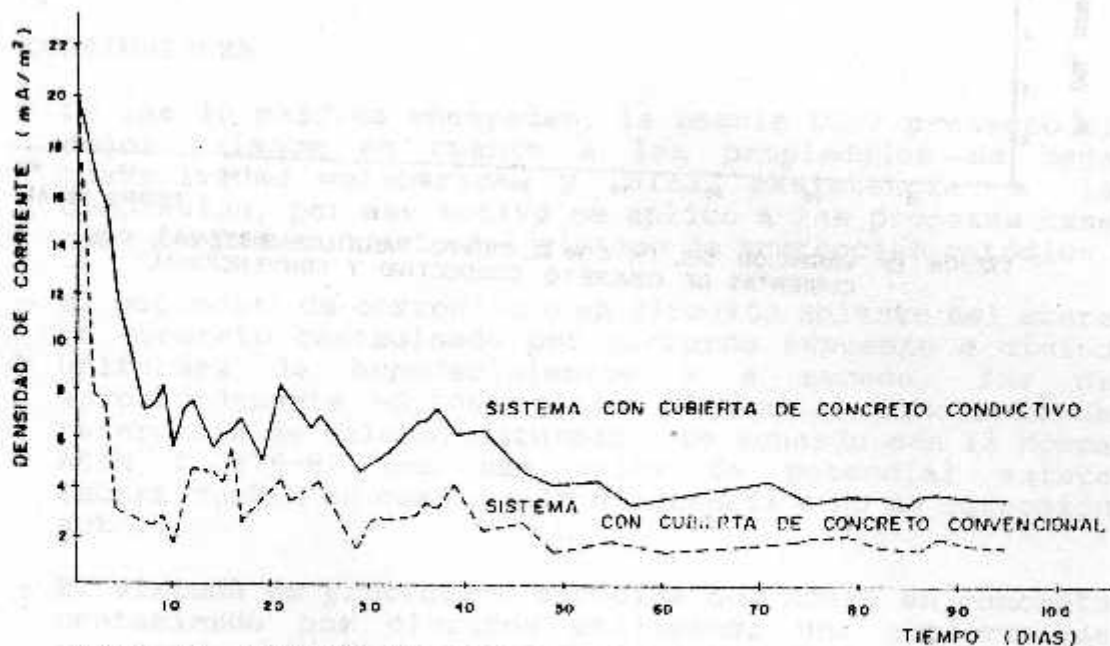


FIGURA 12. VARIACION DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE CON EL TIEMPO PARA LOS SISTEMAS CON CUBIERTAS DE CONCRETO CONDUCTIVO Y CONVENCIONAL.

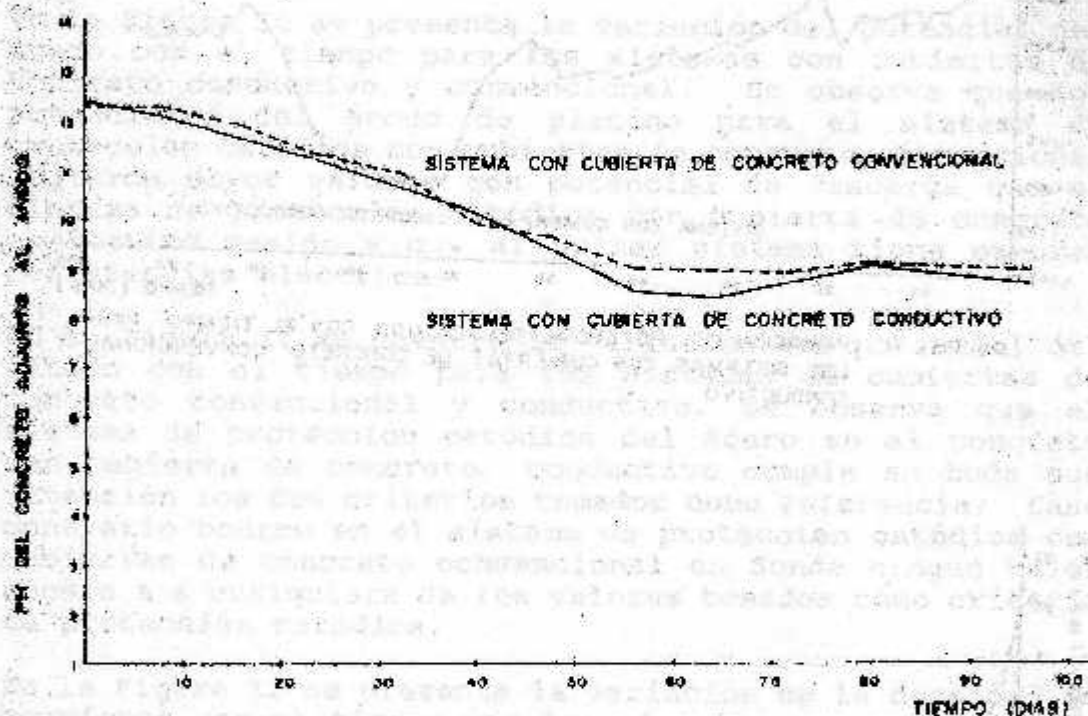


FIGURA 13 VARIACION DEL PH CON EL TIEMPO PARA LOS SISTEMAS CON CUBIERTAS DE CONCRETO CONDUCTIVO Y CONVENCIONAL.

TABLA 3. Aplicación del criterio de protección catódica de polarización negativa de 100 milivoltios.

Día	V_0 Voltios VS SCE	V_1 Volt VS SCE	$(V_1 - V_0)$ Volt VS SCE
SISTEMA CON CUBIERTA DE CONCRETO CONDUCTIVO			
64	-0,300	-1,137	-0,837
72	-0,300	-1,083	-0,783
80	-0,300	-0,815	-0,515
88	-0,300	-0,841	-0,541
SISTEMA CON CUBIERTA DE CONCRETO CONVENCIONAL			
64	-0,300	-0,466	-0,166
72	-0,300	-0,456	-0,156
80	-0,300	-0,359	-0,059
88	-0,300	-0,324	-0,024

V_0 : Potencial en circuito abierto

V_1 : Potencial con corriente apagada cuatro horas después

$(V_0 - V_1)$: Polarización negativa

En la Figura 13 se muestra la variación del pH con el tiempo para los sistemas con cubiertas de concreto conductivo y convencional. Se observa que ambos sistemas se comportan igual en cuanto al descenso del pH.

CONCLUSIONES

- De las 10 mezclas ensayadas, la mezcla CC-7 presentó el mejor balance en cuanto a las propiedades de baja resistividad eléctrica y alta resistencia a la compresión, por ese motivo se aplicó a las probetas base como ánodo secundario del sistema de protección catódica.
- El potencial de corrosión o en circuito abierto del acero en concreto contaminado por cloruros expuesto a ciclos uniformes de humedecimientos y a secado, fue de aproximadamente -0,300 voltios versus el electrodo de referencia de calomel saturado. De acuerdo con la norma ASTM C 876-87 con ese valor de potencial existe incertidumbre en cuanto a la existencia o no de corrosión activa.
- El sistema de protección catódica del acero en concreto contaminado por cloruros utilizando una cubierta de concreto conductivo como ánodo secundario y un alambre de platino como ánodo primario, cumplió holgadamente los

criterios de protección catódica estipulados por la literatura, con unos potenciales de cátodo después de polarización bastante satisfactorios en un rango de valores ni muy altos ni muy bajos, además de que la densidad de corriente del cátodo también estuvo en un valor final que cae entre los rangos reportados en las investigaciones sobre el tema como satisfactorias.

BIBLIOGRAFIA

1. CLEMENA, G. G. Electrically conductive portland cement concrete. Material performance. vol 7, No 3, mar 1988. pp 19-25.
2. LABRE, B. J. y GOMEZ, L. P. Corrosao e protecao catodica das armaduras de aço do concreto. Congreso Iberoamericano de corrosao e protecao. Rio de Janeiro 1989 pp 995-1006.
3. LEHMAN, J. A. Cathodic protection of reinforced concrete structures. Materials performance. vol 26, No 12, dic 1987. pp 78-81
4. -----, Cathodic protection for concrete structures: other than bridge decks. Conference cathodic protection of reinforced concrete bridge decks. Houston, nace. 1985.
5. WEYERS, R. E. y CADY, p. D. Cathodic protection of concrete bridge decks. ACI Journals. vol 81, no 6, nov/dic 1984. pp 618-622.
6. WAYATT, B. S. y IRVINE, D. J. A review of cathodic protection of reinforced concrete. Materials performance. vol 26, No 12, dic 1987. pp 9-11.
7. PICO, J. M. protección catódica por corriente impresa sel acero en el concreto contaminado con cloruros utilizando una cubierta de concreto conductivo. Proyecto de grado UIS, 1989.