Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Departament d'Enginyeria Civil
Departamento de Ingeniería Civil

INFORME DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN DEL IÓN CLORURO DE MORTEROS DE CEMENTO TRATADOS CON EL PRODUCTO KOMSOL CONTROLL INNERSEAL

Prof. Miguel A. Climent

(e-mail: ma.climent@ua.es)

Departamento de Ingeniería Civil

Universidad de Alicante, España

Noviembre 2014

Tel. 96 590 3707 - Fax 96 590 3678
Campus de Sant Vicent del Raspeig
Ap. 99 E-03080 Alacant
e-mail: dic@ua.es
web: http://dic.ua.es

1 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo de la investigación ha sido evaluar el aumento relativo del período de iniciación de la corrosión del acero por cloruros, debido a la utilización del producto Komsol Controll Innerseal, con el fin de incrementar la vida útil del hormigón armado en ambientes con alto contenido en cloruros.

2 TRATAMIENTO EXPERIMENTAL

Los ensayos de referencia que se emplean para evaluar la resistencia a la penetración de cloruros son los de difusión natural en estado no estacionario [1, 2]. Sin embargo, debido al elevado tiempo que éstos requieren [3], se decidió utilizar para este trabajo métodos acelerados basados en la migración de cloruro mediante la aplicación de un campo eléctrico, Nordic Standard NT Build 492 [4]. Además, por limitaciones de agenda, se decidió trabajar, en esta investigación preliminar, con mortero de cemento Portland como material simplificado para representar el comportamiento del hormigón. La composición del mortero de cemento ensayado se describe en la Tabla 1.

Composición de mortero de cemento	
Cemento Portland(g) CEM I/42,5 R (Según Norma Europea EN-197-1)	350
Arena silícea normalizada (g)	1350
Relación agua/cemento	0.5

Tabla 1. Composición de morteros para probetas de ensayo

Las probetas de ensayo se prepararon de la siguiente forma:

- El mortero fue preparado en moldes cilíndricos (de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura) y compactado mecánicamente. Los cilindros de mortero se curaron durante 7 días en una cámara de humedad controlada, a una temperatura de 20ºC y una humedad relativa (HR) del 95%.
- Pasado el tiempo de curado, se cortaron probetas más pequeñas (cilindros de 10 cm de diámetro por 5 cm de altura) empleando para ello una sierra de corte

de diamante refrigerada por agua. Del cilindro original grande se eliminaron tanto la parte superior como la inferior (1.5 cm de la parte superior y lo mismo de la inferior). Se utilizaron un total de ocho probetas para los ensayos.

- Las probetas de mortero se secaron en una estufa a 105ºC hasta masa constante. Este paso se introdujo para facilitar una rápida absorción del producto Komsol Controll Innerseal después de su aplicación, por motivos de agenda.
- Una parte de las muestras fue tratada en la superficie de una de sus caras con el producto Controll Innerseal, mientras que el resto de las muestras se mantuvieron sin tratar (para ser utilizadas como muestras de referencia para los cálculos de comparación relativa). Después del tratamiento con el producto, todas las muestras de ensayo (tratadas y no tratadas) se mantuvieron en condiciones ambientales de laboratorio (aprox. T 25ºC y HR 50% - 60%) hasta los tiempos de ensayo correspondientes, siendo éstos a 7 y 28 días después de la aplicación del producto.
- Antes del ensayo, las muestras se saturaron a vacío siguiendo la recomendación de la norma ASTM C-1202-97 [5]. Los ensayos se llevaron a cabo siguiendo la norma Nordic NT Build 492 [4].

3 MODELO MATEMÁTICO PARA EVALUAR EL INCREMENTO DE LA VIDA ÚTIL.

Teniendo en cuenta que la investigación sólo se dirige a una evaluación relativa de las propiedades de durabilidad (mortero tratado en relación con el mortero no tratado), tomaremos el coeficiente de migración de cloruros como una primera aproximación al parámetro básico de transporte iónico a través del hormigón, siendo éste el coeficiente de difusión *D*.

La segunda ley de Fick para la difusión unidireccional semi-infinita en un medio homogéneo, sin considerar la posible fijación de la especia que difunde, está definida por la siguiente expresión [6]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \qquad (1)$$

Donde *C* es la concentración de la especie que difunde, *D* es el coeficiente de difusión, *t* es el tiempo y x es la distancia desde el punto a partir del cual comienza la difusión (en el caso de hormigones expuestos a ambientes con alto contenido en cloruros, esta profundidad se mide desde la superficie expuesta).

La solución de la ecuación diferencial (1) para el caso particular de concentración constante de la especie que difunde en la superficie del hormigón (C_S) y coeficiente de difusión constante, es la siguiente:

$$C = C_S\left(1 - erf\frac{x}{\sqrt{Dt}}\right) \qquad (2)$$

Donde *erf* es la función matemática denominada función error.

La corrosión por cloruros en aceros se inicia cuando se alcanza una alta concentración de cloruros, denominada concentración crítica (C_C), en la zona de contacto con las barras de acero, es decir a una profundidad equivalente al recubrimiento del acero ($x = e$). Así, el tiempo de inicio de la corrosión, el cual en una primera aproximación conservadora es considerado como tiempo de vida útil, puede ser expresado como:

$$t = \frac{1}{D}\left(\frac{e}{inverf\left(1 - \frac{C_C}{C_S}\right)}\right)^2 \qquad (3)$$

Donde *inverf* es la función matemática denominada inversa de la función error.

Si la aplicación al mortero del producto Controll Innerseal permite reducir la magnitud del coeficiente de difusión desde un valor D_0 (mortero de referencia sin aplicación de producto), a un valor más bajo D_{CI} (mortero tratado con producto Controll Innerseal), entonces, el aumento relativo de la vida útil, en relación a la corrosión por cloruros de la armadura, puede ser calculado utilizando la siguiente expresión:

$$\frac{t_{CI}}{t_0} = \frac{D_0}{D_{CI}} \qquad (4)$$

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos, mediante el tratamiento con el producto Komsol Controll Innerseal, de los ensayos de migración de cloruros junto con los valores calculados del incremento de la vida útil (Ecuación 4) en relación con la corrosión por cloruros de las armaduras.

Tiempo desde la aplicación del producto	Mortero de referencia (no tratado)		Mortero tratado con Komsol Controll Innerseal		Incremento relativo de la vida útil
(días)	D_0 (x 10^{-12} m^2/s)	Valor medio de D_0 (x 10^{-12} m^2/s)	D_{Cl} (x 10^{-12} m^2/s)	Valor medio de D_{Cl} (x 10^{-12} m^2/s)	t_{Cl}/t_0
7	155.6	163.0	61.0	62.5	2.6
	170.4		64.0		
28	122.6	122.2	40.4	40.9	3.0
	121.8		41.3		

Tabla 2. Resultados obtenidos, mediante el tratamiento con el producto Komsol Controll Innerseal, de los ensayos de migración de cloruros junto con los valores calculados del incremento de la vida útil (en relación con la corrosión por cloruros de las armaduras).

La Tabla 2 muestra valores de coeficiente de difusión más altos que los valores típicos encontrados para hormigones comerciales utilizados en la construcción y obra pública [7]. Sin embargo, este hecho es razonable ya que, por motivos de agenda, las probetas de mortero fueron secadas antes de ensayar. Se sabe que este tratamiento agresivo de secado (105º C) puede aumentar la porosidad y cambiar la distribución del tamaño de poro de los materiales cementicios, y como consecuencia modificar considerablemente sus propiedades de transporte de masa [8].

La observación más importante de la Tabla 2 es que la aplicación del producto Komsol Controll Innerseal conduce a un aumento considerable de la resistencia a la penetración del ión cloruro en el material cementicio, como muestra la disminución significativa de los valores de coeficiente de migración de cloruro. De hecho, la vida útil calculada, en relación con la iniciación de la corrosión por cloruros de la armadura de acero, se multiplica por un factor de entre 2.6 y 3.

5 CONCLUSIONES

La aplicación en superficie del producto Komsol Controll Innerseal ha aumentado considerablemente la resistencia a la penetración de cloruro de un mortero de cemento, tal y como se muestra en la importante disminución del coeficiente de migración de cloruros. En base a los datos obtenidos, la vida útil calculada, en relación a la iniciación de la corrosión de la armadura de acero por cloruros, se puede multiplicar por un factor entre 2.6 y 3.

6 REFERENCIAS

[1] CEN/TC 104 (2009). Testing hardened concrete—determination of the chloride resistance of concrete, unidirectional diffusion. Final draft prCEN/TS 12390-11. (European technical specification).

[2] ASTM (2004). Standard test method for determining the apparent chloride diffusion coefficient of cementitious mixtures by bulk diffusion, C1556-03. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.

[3] M.A. Climent, G. de Vera, J.F. López, E. Viqueira, C. Andrade (2002). A test method for measuring chloride diffusion coefficients through nonsaturated concrete. Part I. The instantaneous plane source diffusion case. Cement and Concrete Research, 32(7):1113–1123.

[4] Nordtest (1999). NT Build 492. Concrete, mortar and cement-based repair materials: chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments. Espoo, Finland.

[5] ASTM (1997). Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration, C1202-97. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania.

[6] J. Crank (1975). The Mathematics of Diffusion, 2nd edition. Oxford University Press, Oxford, UK.

[7] A. Boddy, E. Bentz, M.D.A. Thomas, R.D. Hooton (1999). An overview and sensitivity study of a multimechanistic chloride transport model, Cement and Concrete Research, 29 (6) (1999) 827–837.

[8] T.C. Powers, L.E. Copeland, J.C. Hayes, H.M. Mann (1955). Permeability of Portland cement paste. Portland Cement Association Bulletin 53, pp. 285-298, Chicago, USA.

Alicante, a 27 de Noviembre de 2014

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

Miguel Ángel Climent Llorca

Catedrático de Universidad

Carlos Antón Gil

Investigador Contratado