

ESTIMACIÓN RÁPIDA DEL COEFICIENTE DE DIFUSIÓN DE CLORUROS EN ESTADO NO ESTACIONARIO EN HORMIGÓN

QUICK ESTIMATION OF CHLORIDE DIFFUSION COEFFICIENT FROM NON-STEADY-STATE EXPERIMENTS IN CONCRETE

J.R. Lliso Ferrando^{1,2}, I. Gasch Molina¹, A. Martínez-Ibernón^{1,2}, J.M. Gandía-Romero^{1,2}, M. Valcuende Payá², J. Soto Camino¹.
III. Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico de la Universitat Politècnica de València¹. Dpto. Construcciones Arquitectónicas de la Universitat Politècnica de València²

RESUMEN

La corrosión inducida por cloruros en las estructuras de hormigón armado situadas en ambientes marinos es un problema grave. Para prevenir este fenómeno, el hormigón utilizado en este tipo de construcciones debe tener una alta resistencia a la difusión de cloruros hacia su interior. Para analizar esta propiedad intrínseca del material, existen diferentes ensayos para llevar a cabo en laboratorio.

Por un lado, hay varias normas basadas en la primera Ley de Fick. Estos documentos asumen el estado estacionario. Este enfoque no puede ser aplicado en casos reales. Para ello, se utiliza la segunda Ley de Fick (condiciones no estacionarias), donde se asume que el contenido de cloruros varía con el tiempo y tiene en cuenta el posible enlace químico que genere el ion. Son varias las normas que analizan este parámetro, sin embargo, se trata de métodos que requieren largos periodos de ensayo. En este estudio se presenta una ecuación para una estimación rápida del coeficiente de difusión en estado no estacionario del hormigón. En este trabajo se recopilan datos de más de 100 ensayos llevados a cabo en laboratorio durante el último año.

ABSTRACT

Chloride-induced corrosion in reinforced concrete structures located in the marine environments is a major problem. To prevent it, the concretes used in these types of constructions must have a high resistance to the chloride diffusion. To assess this intrinsic property of the material, there are different laboratory tests can be performed.

On the one hand, there are several Standards based on the first Fick's Law. These documents assume stationary conditions. This approach is not applicable in real cases. For this, the second Fick's Law (non-stationary conditions) is used, where the modelling considers the chloride content varies with respect to time or the possibility of chemical bonds being generated during the diffusion process. There are different test methods that focus on analysing the chloride diffusion coefficient under non-steady-state conditions. However, some tests are quite time-consuming. This paper presents an equation for a quick estimation of the non-steady-state chloride diffusion coefficient based on the analysis of more than 100 laboratory tests performed during the last year.

INTRODUCCIÓN

La difusión de los cloruros a través del hormigón se puede modelizar mediante la primera Ley de Fick [1]. Sin embargo, este enfoque asume unas condiciones de flujo unidireccional y constante que no representa el caso de las estructuras de hormigón armado, por lo que solo pueden simularse en condiciones de laboratorio.

En una estructura real el flujo de cloruros depende el tiempo, pero, además, existe una variación del contenido del ion respecto a la profundidad. Este método de difusión se puede modelizar mediante la segunda Ley de Fick [2]. Para el caso de difusión unidireccional semifinita, la ecuación sería [3], donde se introduce el coeficiente de difusión en estado no estacionario (D_{nns}).

Analizar este parámetro en el hormigón es de gran utilidad ya que permite comparar hormigones o realizar estimaciones de la respuesta del material en un ambiente marino. Algunos de los ensayos realizados para estimar el D_{nns} requieren de largos periodos de tiempo. Otros, en cambio, como el NT Build 492 aceleran el ensayo mediante un proceso de migración y su duración oscila entre 24 y 96 horas.

En este trabajo se presenta una ecuación para realizar una estimación rápida del D_{nns} a partir del análisis de más de 100 muestras mediante el método NT Build 492. Estos ensayos se realizaron en laboratorio durante el último año, abarcando desde hormigones convencionales hasta hormigones de muy alta resistencia (resistencias f_c entre 30 y 150 MPa a 28 días).

INTRODUCTION

The chloride diffusion in concrete can be modelled using the Fick's first law [1]. However, this approach assumes steady, unidirectional flow conditions that do not represent the case of reinforced concrete structures. Therefore, this can only be simulated under laboratory conditions.

In real structures, the chloride flux is time-dependent but, in addition, there is a variation of the ion content with respect to Depth. This diffusion method can be modelled by means of the Fick's second law [2]. For the case of semifinite unidirectional diffusion, the equation would be [3], where the non-steady-state diffusion coefficient (D_{nns}) is introduced.

Analysing this parameter in concrete is very useful as it allows comparing concretes or estimating the materials' response in the marine environment. Some tests carried out to estimate the D_{nns} require long time periods. Others, such as NT Build 492, accelerate the test through a migration process and take between 24 and 96 hours.

This paper presents an equation for a rapid estimation of D_{nns} after the analysis of more than 100 samples using the NT Build 492 method. These test were carried out in laboratory during last year, ranging from ordinary concretes to ultra-high-performance concretes (strengths f_c between 30 and 150 MPa at the age of 28 days).

$[1] \quad F = -D_{ss} \cdot \frac{dC}{dx}$

$[2] \quad \frac{\partial C}{\partial t} = D_{nss} \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$

$[3] \quad C(x, t) = C_s \cdot \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2 \cdot \sqrt{D_{nss} t}}\right) \right]$

$[1] \quad F = -D_{ss} \cdot \frac{dC}{dx}$

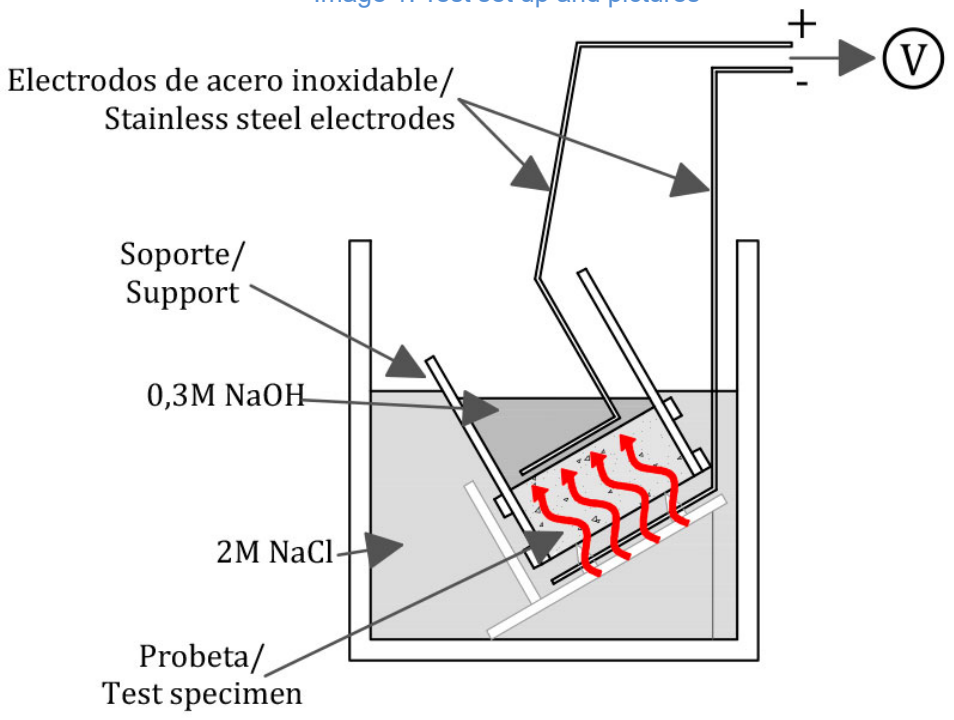
$[2] \quad \frac{\partial C}{\partial t} = D_{nss} \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$

$[3] \quad C(x, t) = C_s \cdot \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2 \cdot \sqrt{D_{nss} t}}\right) \right]$

PLAN EXPERIMENTAL

A lo largo del último año se han realizado más de 100 ensayos de laboratorio para estimar el coeficiente D_{nns} según se describe en la NT Build 492. A partir de los datos obtenidos (D_{nns} y I_{V30}) se presenta una ecuación para la estimación rápida de D_{nns} .

Imagen 1. Configuración del ensayo e imágenes del proceso /
Image 1. Test set up and pictures

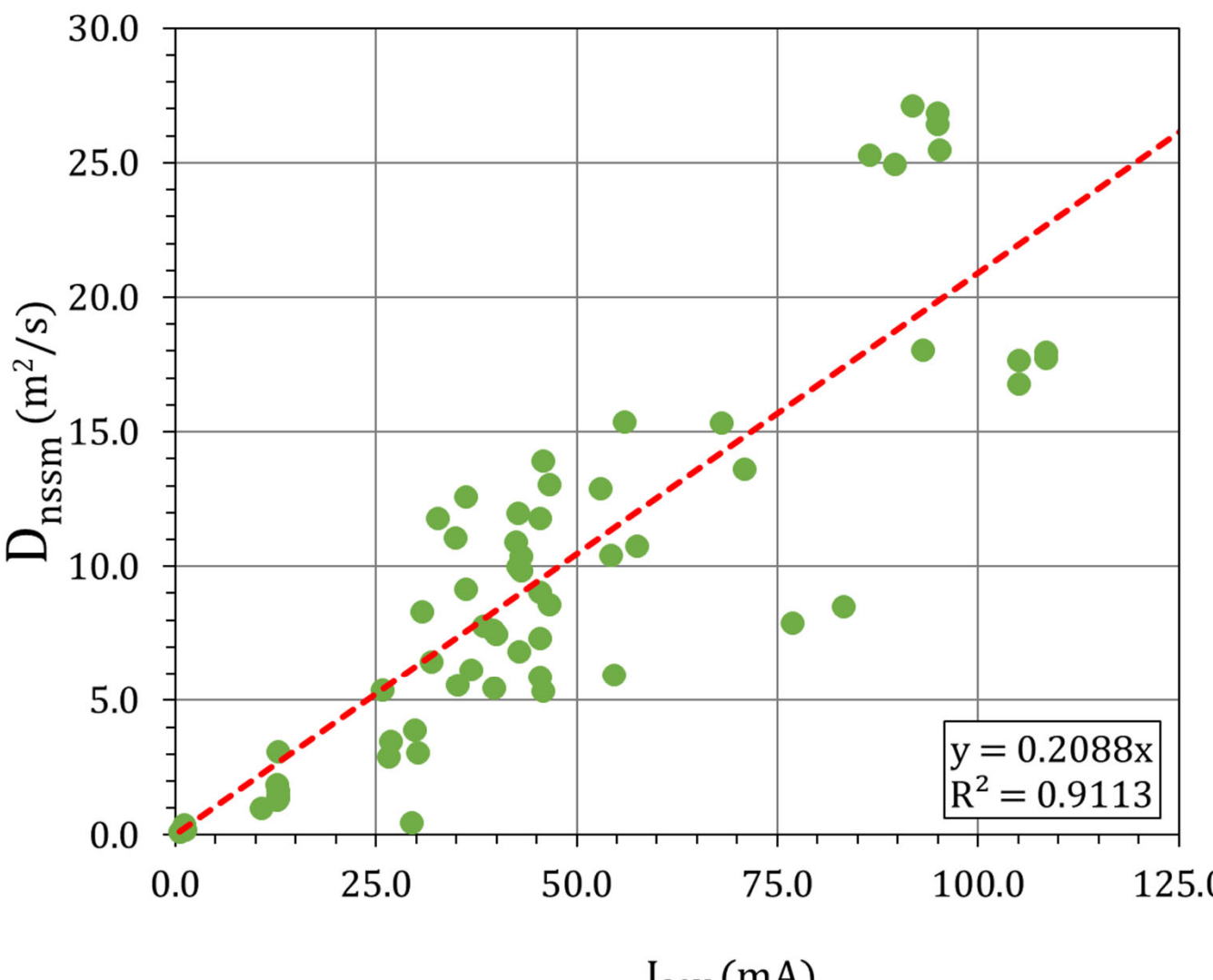


EXPERIMENTAL PLAN

Over the last year more than 100 test specimens were analysed to estimate the D_{nns} coefficient as described in Standard NT Build 492. From the data obtained (D_{nns} and I_{V30}), an equation for rapid estimation of D_{nns} is presented.

RESULTADOS / RESULTS

Imagen 2. Resultados / Image 2. Results



CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado una ecuación para obtener el valor del coeficiente de difusión de los cloruros en estado no estacionario (D_{nns}) en cualquier tipo de hormigón de manera rápida, únicamente aplicando una diferencia de potencial de 30 V y analizando la intensidad de corriente que pasa por el circuito (I_{30V}). Los datos utilizados provienen del análisis de más de 100 probetas, ensayos realizados en el último año en laboratorio con diferentes tipos de hormigón (resistencias f_c entre 30 y 150 MPa a 28 días).

$D_{nns} = 0.2088 \cdot I_{30V}$

Esta ecuación debe considerarse como un método rápido para estimar el D_{nns} . Sin embargo, los resultados obtenidos no deben ser asumidos como exactos, ya que la desviación con los datos utilizados en este estudio no fue despreciable ($R^2 = 0.91$).

CONCLUSIONS

In this work, an equation has been presented to obtain the chloride diffusion coefficient in non-steady state (D_{nns}) in any type of concrete in a fast way, only by applying a potential difference of 30 V and analysing the current intensity passing through the circuit (I_{30V}). The data used come from the analysis of more than 100 specimens, tests carried out in last year in the laboratory with different types of concrete (strengths f_c between 30 and 150 MPa at 28 days).

$D_{nns} = 0.2088 \cdot I_{30V}$

This equation should be considered as a quick method to estimate D_{nns} . However, the results obtained should not be assumed to be accurate, as the deviation with the data used in this study was not negligible ($R^2 = 0.91$).

ACKNOWLEDGEMENTS.

The authors thank the Spanish Government for Grant PID2020-119744RB-C21 funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033, and the support of the Universitat Politècnica de València. They are also grateful for the predoctoral scholarship granted to Josep Ramon Lliso Ferrando as part of the “Formación de Personal Investigador” programme from the Universitat Politècnica de València (FPI-UPV-2018).