

IMPORTANCIA DE LAS MACROCELDAS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO
SITUADAS EN AMBIENTE MARINO
SIGNIFICANCE OF MACROCELL CURRENTS IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES
LOCATED IN THE MARINE ENVIRONMENT

J.R. Lliso Ferrando^{1,2}, I. Gasch Molina¹, A. Martínez-Ibernón^{1,2}, J.M. Gandía-Romero^{1,2}, M. Valcuende Payá².
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 es una de las principales causas de deterioro prematuro en las estructuras de hormigón armado. La difusión de los cloruros en el hormigón se produce como consecuencia de la permeabilidad de este material. Este ion es capaz de alcanzar las armaduras y desencadenar despasivación localizada de las armaduras y, por tanto, la corrosión localizada. En estos puntos se generan picaduras, donde conviven las regiones anódicas y catódicas, que producen la corrosión local o microcelda ($i_{CORR,MICRO}$). Además, la conexión eléctrica con las regiones del armado que todavía mantienen su estado inicial de pasividad desencadena las corrientes de macrocelda ($i_{CORR,MACRO}$). La corrosión total del armado equivale a la suma de ambas componentes: $i_{CORR,TOTAL} = i_{CORR,MICRO} + i_{CORR,MACRO}$. A pesar de que las corrientes de macrocelda han sido estudiadas por numerosos autores, su importancia en las estructuras de hormigón armado y la necesidad de ser consideradas por los sistemas de monitorización embebidos no ha sido demostrada. El objetivo de este estudio es demostrarlo. Para ello, diferentes probetas fabricadas con 4 tipos de hormigón fueron expuestas a un ambiente marino. La corrosión de las armaduras embebidas se monitorizó durante más de 300 días. Al finalizar este periodo, se realizó una validación gravimétrica del estudio. Los resultados demostraron que las corrientes de macroceldas pueden multiplicar por 50 el daño por corrosión en los casos más desfavorables.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los sistemas de monitorización de la corrosión embebidos emplean sensores aislados del resto del armado. Este enfoque ignora las corrientes de macrocelda. La corrosión total de una región del armado corresponde a la suma de ambas componentes, tanto la intensidad de corrosión local como de microcelda: $i_{CORR,TOTAL} = i_{CORR,MICRO} + i_{CORR,MACRO}$.

INTRODUCTION

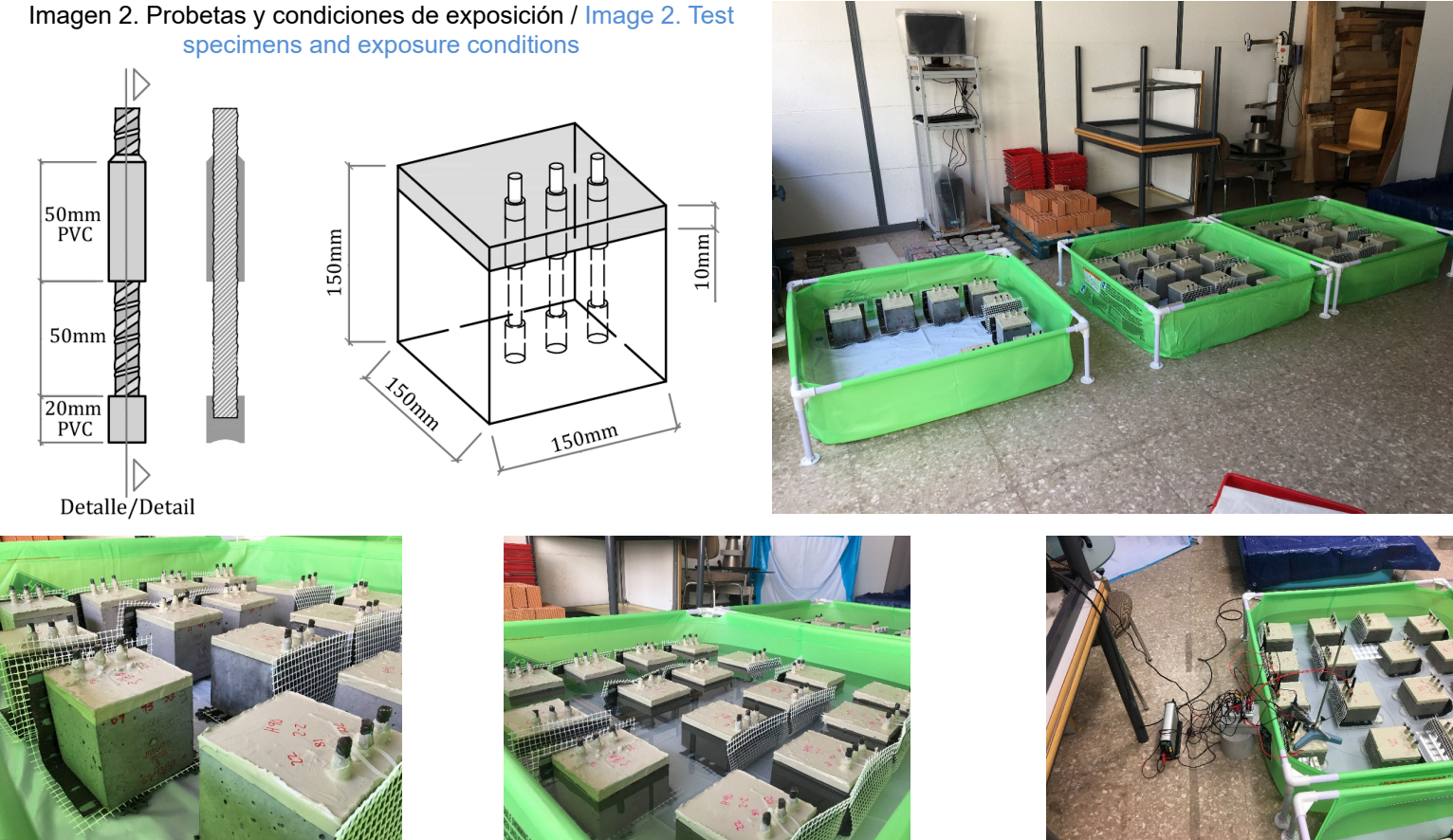
Most embedded corrosion monitoring systems use sensors that remain isolated from the rest of the rebars. This approach ignores macrocell currents. The total corrosion of rebars corresponds to the sum of both the local and microcell corrosion intensity components: $i_{CORR,TOTAL} = i_{CORR,MICRO} + i_{CORR,MACRO}$.

PLAN EXPERIMENTAL

Para demostrar la importancia de las corrientes de macrocelda se fabricaron 36 probetas (108 armaduras) con cuatro tipos de hormigón. Las muestras fueron parcialmente sumergidas en agua de mar y durante más de 300 días se realizó la monitorización de la corrosión.

EXPERIMENTAL PLAN

To prove the significance of macrocell currents, 36 specimens (108 reinforcements) were manufactured. Four types of concrete were prepared. The specimens were partially immersed in seawater and corrosion monitoring was carried out for more than 300 days.



ABSTRACT

Chloride-induced corrosion is one of the main causes of early deterioration in reinforced concrete structures. The chloride diffusion in concrete occurs due to the material's permeability. This agent can reach the reinforcement, and it can cause the local depassivation of the rebar, and this triggers localised corrosion. At these sports, pitting corrosion is generated, where anodic and cathodic regions coexist. They produce local corrosion or microcells ($i_{CORR,MICRO}$). In addition, the electrical connection between rebars which keep their initial passivity together with the corroding areas produce macrocell currents ($i_{CORR,MACRO}$). The total corrosion ($i_{CORR,TOTAL}$) of the rebars corresponds to the sum of both components: $i_{CORR,TOTAL} = i_{CORR,MICRO} + i_{CORR,MACRO}$. Although macrocell currents have been extensively studied, their significance in reinforced concrete structures and the need to be considered by embedded monitoring systems has not been proved. The aim of this study is to demonstrate the importance of these currents in $i_{CORR,TOTAL}$. For this purpose, reinforced concrete specimens were exposed to a simulated marine environment. They were prepared with four different concrete types. The corrosion of reinforcements was monitored for more than 300 days. At the end of the exposure period, a gravimetric validation was performed. The results obtained showed the macrocell currents can multiply the corrosion damage by a factor of 50.

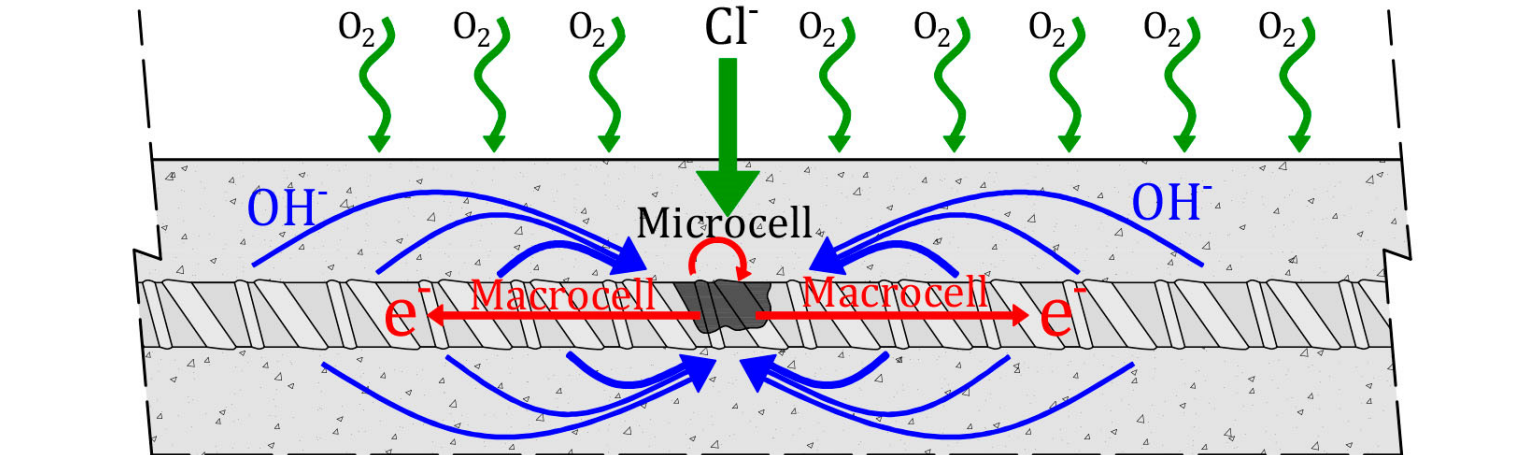


Tabla 1. Dosificaciones (kg/m³ de hormigón) / Table 1. Mixture proportions of concrete (kg/m³ of concrete)

	T-30	T-40	T-50	T-90
Cemento / Cement (CEM II 32.5 B-L)	307			
Cemento / Cement(CEM I 42.5 R/SR)		292	450	500
Agua / Water	184	190	225	178
Superplastificante / Superplasticizer	1.85	2.80	1.37	3.50
Humo de sílice / Silica fume				55
Arena (0/4) / Sand (0/4)	1438	1256	880	914
Grava (4/7) / Gravel (4/7)			880	779
Grava (4/12) / Gravel (4/12)	491	707		
Relación agua/cemento / Water/binder ratio	0.60	0.65	0.50	0.32

Tabla 2. Ensayos realizados a 28 días / Table 2. Characterisation tests performed at 28 days age

	T-30	T-40	T-50	T-90
Resistencia a compresión / Compressive strength (MPa) [Standard UNE-EN 12390-3:2020]	30.67 (1.12)	39.47 (3.21)	47.75 (0.92)	88.86 (2.42)
Coefficiente de porosidad accesible al agua / Porosity accesible to water (%) [Standard UNE 83980:2014]	15.51 (0.21)	14.79 (0.30)	13.17 (0.07)	9.14 (0.03)
Coefficiente de succión capilar / Capillary suction coefficient (kg/m ² min ^{0.5}) [Standard UNE 83980:2014]	72.75 (4.82)	67.41 (10.2)	53.06 (2.36)	31.27 (1.25)
Permeabilidad al oxígeno / Oxygen permeability (m ²) [Standard UNE 83982:2008]	3.12 · 10 ⁻¹⁶ (8.3 · 10 ⁻¹⁷)	1.02 · 10 ⁻¹⁶ (2.3 · 10 ⁻¹⁷)	1.17 · 10 ⁻¹⁶ (2.9 · 10 ⁻¹⁷)	7.63 · 10 ⁻¹⁹ (2.3 · 10 ⁻¹⁹)
Difusión de cloruros (migración) / Chloride migration coefficient (migration) (m ² /s) [Standard NT Build 492]	53.8 · 10 ⁻¹² (4.1 · 10 ⁻¹¹)	26.8 · 10 ⁻¹² (1.5 · 10 ⁻¹¹)	22.1 · 10 ⁻¹² (8.5 · 10 ⁻¹²)	1.9 · 10 ⁻¹² (1.3 · 10 ⁻¹²)
Resistividad / Resistivity (Ωm) [Standard UNE 83988-1:2008]	51.64 (7.23)	51.90 (12.10)	49.05 (5.32)	800.80 (26.87)

Tabla 3. Configuración de las muestras y nomenclatura / Table 3. Samples configuration and naming of test specimens

Hormigón / Concrete type	T-30		T-40		T-50		T-90	
Configuración eléctrica / Electric configuration	M	NM	M	NM	M	NM	M	NM
Recubrimiento / Cover (5 mm, +5)	6	3	6	3	6	3	6	3
Recubrimiento / Cover (10 mm, +10)	6	3	6	3	6	3	6	3
Recubrimiento / Cover (20 mm, +20)	6	3	6	3	6	3	6	3
Total / Total rebars	108 (36 probetas) / 108 (36 test specimens)							

RESULTADOS / RESULTS

Imagen 3. Resultados / Image 3. Results

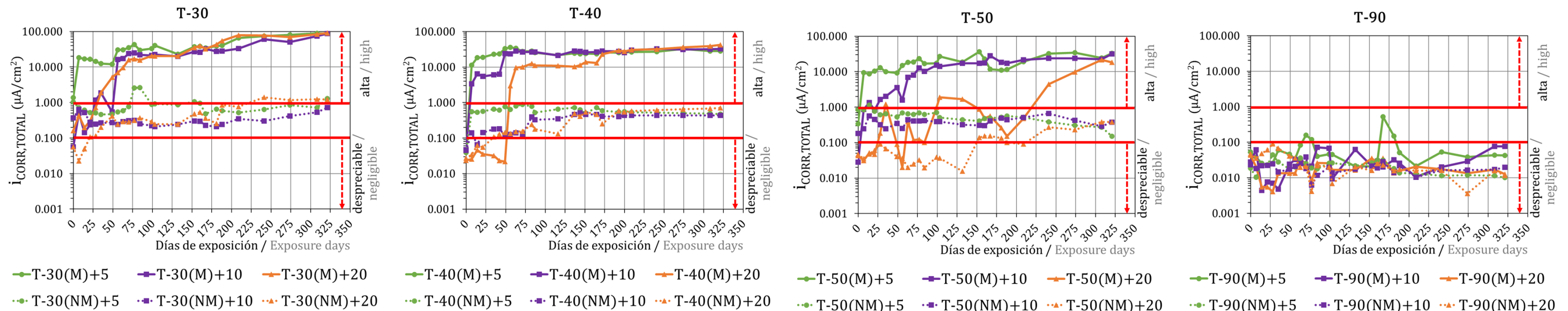


Tabla 4. Pérdida de masa (mg) acumulada por cada grupo de estudio / Table 4. Accumulated mass loss (mg) according to each studied group

Hormigón / Concrete type	T-30		T-40		T-50		T-90	
Configuración eléctrica / Electric configuration	M	NM	M	NM	M	NM	M	NM
Recubrimiento / Cover (5 mm, +5)	6676 (9)	128 (7)	3442 (11)	52 (14)	1819 (21)	47 (11)	22 (4)	2 (3)
Recubrimiento / Cover (10 mm, +10)	5393 (12)	45 (10)	2269 (9)	80 (8)	1589 (15)	22 (5)	5 (2)	2 (1)
Recubrimiento / Cover (20 mm, +20)	4468 (13)	101 (5)	627 (7)	21 (2)	737 (6)	18 (1)	2 (1)	3 (2)

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).