

Disponible en [www.hormigonyacero.com](http://www.hormigonyacero.com)  
Hormigón y Acero, 2020  
<https://doi.org/10.33586/hya.2020.2856>

## ARTÍCULO EN AVANCE ON LINE

### DEPOSITO DE CLORUROS EN EL HORMIGON EN LAS ATMOSFERAS DE LA ISLA DE TENERIFE-ESPAÑA

María del Carmen Andrade Perdrix

DOI: <https://doi.org/10.33586/hya.2020.2856>

Para ser publicado en: *Hormigón y Acero*

Por favor, el presente artículo, hasta ser incluido en un número, debe ser citado así:

**María del Carmen Andrade Perdrix, (2020) DEPOSITO DE CLORUROS EN EL HORMIGON EN LAS ATMOSFERAS DE LA ISLA DE TENERIFE-ESPAÑA, *Hormigón y Acero*, Avance online, doi: <https://doi.org/10.33586/hya.2020.2856>**

Este es un archivo PDF de un artículo que ha sido objeto de mejoras propuestas por dos revisores después de la aceptación, como la adición de esta página de portada y metadatos, y el formato para su legibilidad, pero todavía no es la versión definitiva del artículo. Esta versión será sometida a un trabajo editorial adicional, y una revisión más antes de ser publicado en su formato final, pero presentamos esta versión para adelantar su disponibilidad.

En el proceso editorial y de producción posterior pueden producirse pequeñas modificaciones en su contenido.

© 2020 Publicado por CINTER Divulgación Técnica para la Asociación Española de Ingeniería Estructural, ACHE

# Depósito de cloruros en el hormigón en las atmósferas de la Isla de Tenerife-España

*Deposition of chlorides in the concrete in the atmospheres of Tenerife Island- Spain*

Concepción BLANCO PEÑALVER<sup>a</sup>, Carmen ANDRADE PERDRIX<sup>b</sup>, R. SOUTO SUÁREZ<sup>c</sup>, J.J. SANTANA RODRÍGUEZ<sup>d</sup>, N. RODRÍGUEZ BRITO<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Dr. Química. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Gobierno de Canarias

<sup>b</sup> Dr. Química Industrial. International Centre for Numerical Methods in Engineering (CIMNE), UPC

<sup>c</sup> Prof. Dr. Departamento de Química, Universidad de La Laguna

<sup>d</sup> Prof. Dr. Departamento de Ingeniería de Procesos, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

<sup>e</sup> Dr. Química. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Gobierno de Canarias

## RESUMEN

El efecto del viento sobre la superficie del mar y su oleaje cerca de la costa provoca la formación de un aerosol con un contenido de cloruros y sales que depende de su velocidad. Este aerosol penetra por la red de poros pudiendo provocar la corrosión de la armadura lo que ha sido estudiado en probetas de hormigón situadas al menos en dos atmósferas de Brasil. No existen en cambio estudios similares en España. En el presente trabajo se comunican los contenidos de cloruros que se han recogido con el método de la vela húmeda en cinco estaciones colocadas en diversos emplazamientos de la Isla de Tenerife en España.

## ABSTRACT

The effect of the wind on the surface of the sea and its waves near the coast causes the formation of an aerosol with a content of chlorides and salts that depends on wind speed. This spray penetrates the concrete and can cause corrosion of the reinforcement, which has been studied in concrete specimens located in at least two atmospheres in Brazil. There are no similar studies in Spain. In the present work, the contents of chlorides that have been collected with the wet candle method in five stations placed in various locations of the Island of Tenerife in Spain are communicated.

**PALABRAS CLAVE:** Durabilidad y mantenimiento de estructuras, hormigón, cloruros, aerosol marino

**KEYWORDS:** Durability and maintenance of structures, concrete, chlorides, marine aerosol.

## 1. Introducción

En los códigos sobre hormigón estructural, los ambientes se clasifican en función del riesgo por carbonatación o cloruros y tienen en cuenta el grado de humedad que tiene la atmósfera. En cada uno de los ambientes, las cantidades mínimas de cemento, los contenidos máximos de agua/cemento y los espesores de recubrimiento son variados para prevenir el riesgo de corrosión. Esta clasificación en general

refleja bien los riesgos aunque a veces en una misma estructura se dan varios ambientes y se obliga con ello a usar distintos tipos de hormigón y distintos recubrimientos.

Con el objetivo de progresar en la recomendación de mezclas óptimas de hormigón para cada ambiente, se ha realizado un amplio estudio del que el presente trabajo aporta los aspectos de la deposición de cloruros en hormigones en contacto con la atmósfera marina aérea. Para ello, primero se han caracterizado los ambientes existentes en el Archipiélago Canario en relación al contenido de cloruros en su

aerosol marino. También, se ha caracterizado tanto con la humedad relativa como con la temperatura. El Archipiélago Canario se caracteriza por presentar sectores climáticos variados en una zona geográfica muy reducida lo que le confiere la propiedad de ser un laboratorio natural excepcional para el estudio de la penetración de cloruros [1]. Otra cuestión importante de señalar es que los hormigones fabricados en Canarias se caracterizan por el origen volcánico de sus áridos, siendo los cementos Portland con puzolana los más usados.

En cuanto a las peculiaridades del ingreso de cloruros en zonas aéreas, el efecto del viento sobre la superficie del mar y su oleaje cerca de la costa provoca la formación de un aerosol con un contenido de cloruros y sales que depende de la velocidad de ese viento [2]. Este aerosol es transportado por el viento hacia el interior de tierra hasta que termina depositándose, y en el caso de las estructuras de hormigón, penetra por la red de poros pudiendo provocar la corrosión de la armadura. El alcance hacia el interior de este aerosol ha sido estudiado por numerosos investigadores y existen modelos, al igual que se ha estudiado su acumulación en probetas de hormigón situadas al menos en dos atmósferas de Brasil. No existen en cambio estudios similares en España.

## 2.- Parte experimental.

En el presente trabajo se comunican los contenidos de cloruros que se han recogido con el método de la vela húmeda en cinco estaciones colocadas en diversos emplazamientos de la Isla de Tenerife como muestra la figura 1. En ellas se colocaron las probetas cilíndricas de 15 x 30 cm (figura 2).

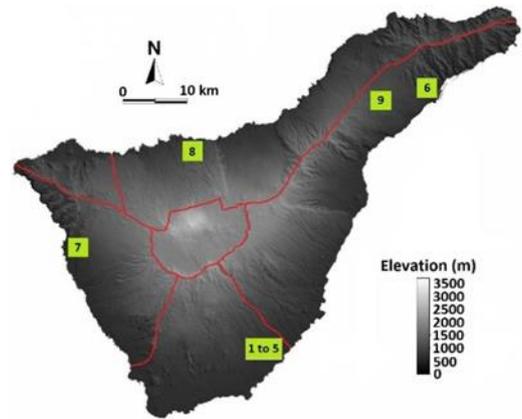


Figura 1. Situación de las estaciones de ensayo en la Isla de Tenerife



Figura 2. Probetas cilíndricas en estación de ensayo

Los cloruros se recolectaron mediante el método de la vela húmeda (figura 3), así como mediante una “bufanda” que se colocó en algunas probetas (figura 4).



Figura 3. Dispositivo de vela húmeda para la captación de cloruros del aerosol marino



Figura 4. Probetas cilíndricas con la bufanda

Se fabricaron dos tipos de hormigón con áridos del litotipo Basalto Afanítico Masivo (BAFM) y cementos con adiciones puzolánicas canarias. Las muestras fueron sometidas a los ensayos tradicionales. En la Tabla 1 se recogen los resultados obtenidos.

Tabla 1.- Resultados de los ensayos de laboratorio realizados a los hormigones.

Ensayo	Código		
	C-12	C-13	
Resistencia a compresión $f_{c,med}$ 28 días (MPa)	45,7	44,8	
Penetración de agua	$P_{máx}$ (mm)	36,1	24,2
	$P_{med}$ (mm)	15,4	10,6
Porosidad por intrusión de mercurio (%Vol)	16,27	17,03	
Porosidad al agua (%Vol)	16,50	17,75	
Resistividad eléctrica 28 días ( $\Omega.m$ )	72,6	79,4	

### 3.- Resultados

En las Figuras 5 a 7 se muestran los datos climáticos mensuales registrados durante los años de duración de este estudio (fuente AEMET Opendata), de las estaciones meteorológicas más cercanas a nuestras estaciones de ensayo (TFN es la más cercana a la estación de ensayo LL/M-9, TFS a las estaciones ITER-1 a ITER-5 y P/C a la estación S/J-8)

En la Figura 8 (a, b y c) se representan los valores de concentración media de cloruros para todas las estaciones de ensayo conjuntamente con la velocidad media mensual del viento en las estaciones ITER-1 a 5. A medida que aumenta la velocidad del viento

aumenta la concentración de cloruros recolectados por la vela húmeda y la bufanda. La velocidad promedio registrada es superior a los  $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en todo el periodo de estudio, lo que la sitúa por encima del umbral estudiado por otros autores [3,4].

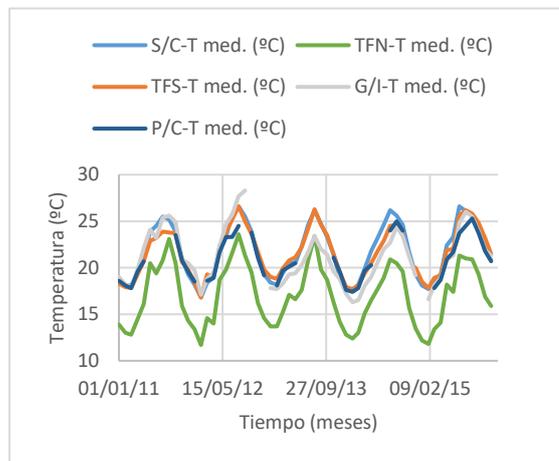


Figura 5. Evolución de la temperatura

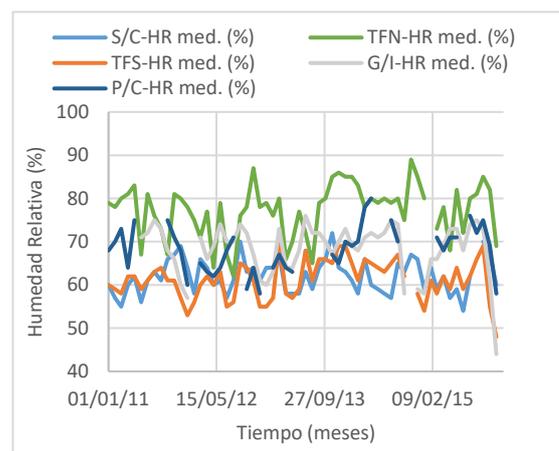


Figura 6. Evolución de la humedad relativa

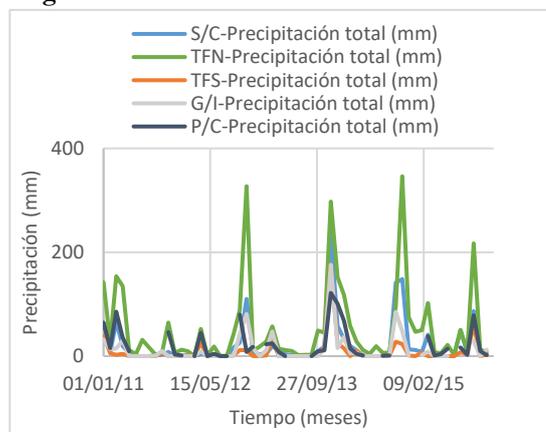


Figura 7. Precipitación

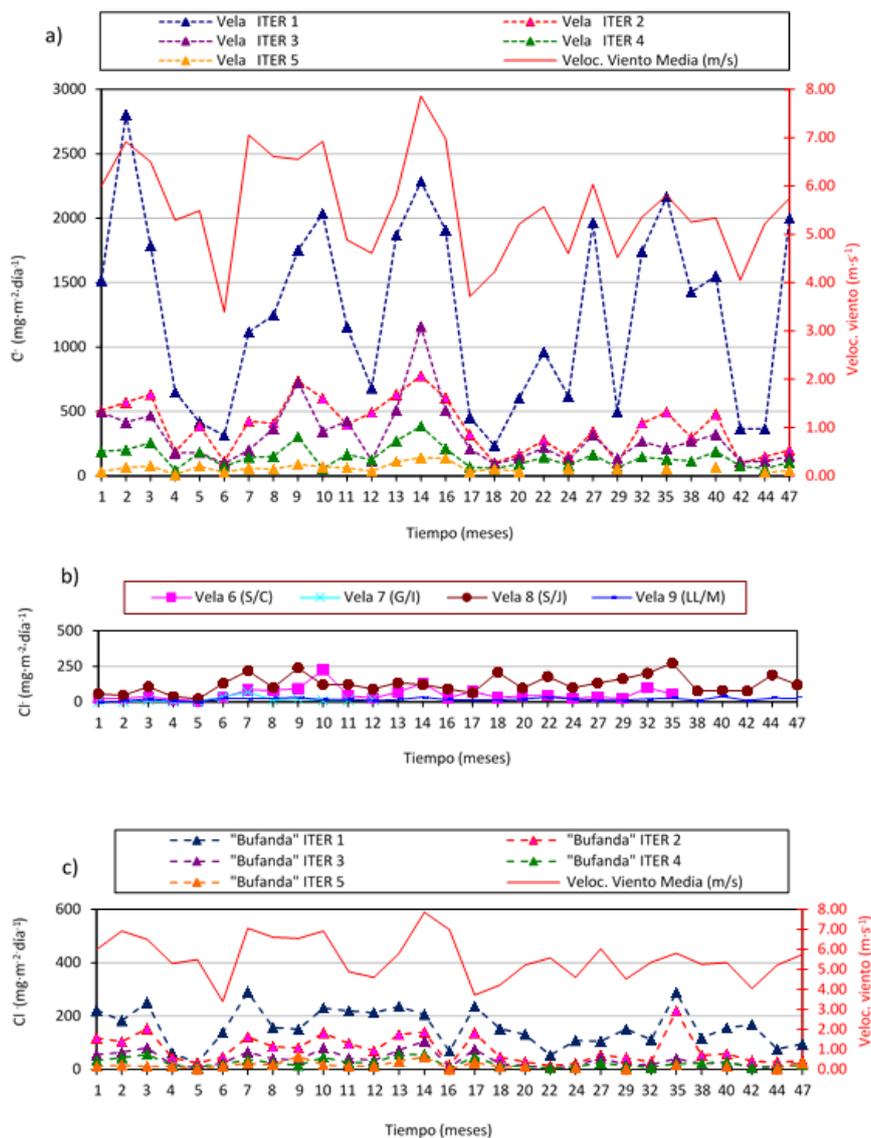


Figura 8. a) Cloruros mensuales recogidos por las velas húmedas situadas en las cinco estaciones de la zona sur-sureste (Granadilla) a diferentes distancias del mar y velocidad del viento media. b) Cloruros mensuales recogidos por el dispositivo de la vela húmeda situado en las estaciones de ensayo 6 a 9. c).- Cloruros recogidos por las "bufandas" situadas en las cinco estaciones de la zona sur-sureste (Granadilla) a diferentes distancias del mar y velocidad del viento media.

#### 4.- Discusión.

Los resultados encontrados confirman el descenso exponencial de la deposición de cloruros con la distancia a la costa (figura 9) y con la velocidad del viento (figura 10).

Solo en una de las estaciones los cloruros depositados han tenido relevancia desde la perspectiva de la durabilidad de la armadura, ya

que en las demás la cantidad depositada ha sido muy pequeña. La relación entre la distancia y el depósito de cloruros ha sido de tipo potencial  $D = a \cdot x^{-b}$  mientras que la relación con la velocidad del viento ha sido exponencial  $D = a \cdot e^{bv}$ , ecuaciones en las que a y b son parámetros de ajuste empírico. En el trabajo se comparan estos resultados con los propuestos por Meira [3,4], no encontrándose una completa concordancia, posiblemente debido al irregular

régimen del viento en el presente caso y a que la velocidad en la isla de Tenerife es mayor que la registrada por Meira que fue de alrededor de  $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Es precisamente para velocidades mayores de  $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  cuando existen divergencias en la literatura debido al mayor arrastre del aerosol por las mayores velocidades. Las cantidades que penetran en el hormigón, son función de su calidad como era esperable. En el presente trabajo se dan los datos encontrados con los hormigones ensayados.

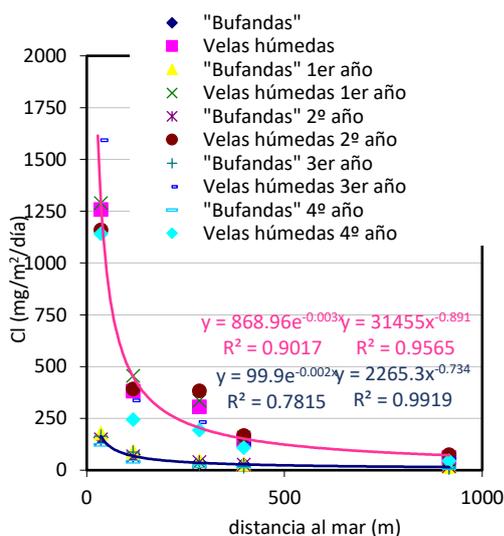


Figura 9. Efecto de la distancia en el depósito de cloruros

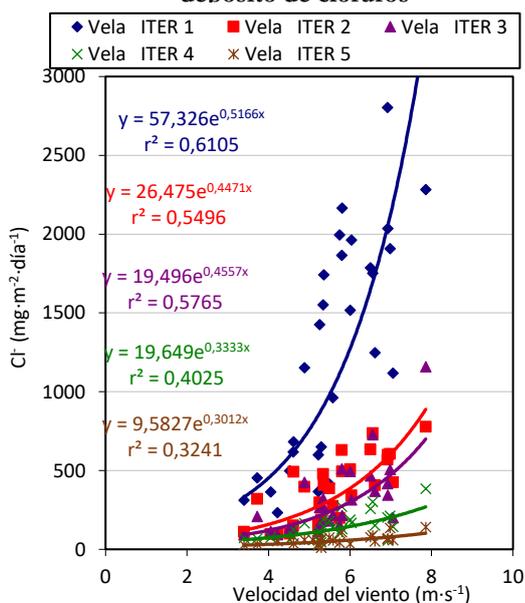


Figura 10. Efecto de la distancia en el depósito de cloruros

Como conclusión práctica en este trabajo se comprueba que la mayor distancia a considerar es la de 100-300 metros ya que los cloruros depositados a distancias mayores son cantidades muy pequeñas.

### Agradecimientos

Los autores agradecen las facilidades prestadas por el Servicio de Laboratorios y Calidad de la Construcción del Gobierno de Canarias. Asimismo agradecen la colaboración del Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA) y del Instituto Tecnológico y de Energías Renovables, S.A. (ITER). Finalmente quieren reconocer la Beca Innova ULPGC y la inspiración al Proyecto CALIDUR del Instituto de Ciencias de la Construcción del CSIC en colaboración con las CCAA.

### Referencias

- [1] Caracterización climática de las Islas Canarias para la aplicación del código técnico de la Edificación, CLIMCAN-010 y de su aplicación informática complementaria, CTE-DR/008/11. Gobierno de Canarias, Santa Cruz de Tenerife, 2011.
- [2] M. Morcillo, B. Chico, L. Mariaca, E. Otero, Salinity in marine atmospheric corrosion: its dependence on the wind regime existing in the site, Corros. Sci. 42 (2000) 91-104.
- [3] G.R. Meira, C. Andrade, C. Alonso, I.J. Padaratz, J.C. Borba, Modelling sea-salt transport and deposition in marine atmosphere zone – A tool for corrosion studies, Corros. Sci. 50 (2008) 2724-2731.
- [4] G.R. Meira, C. Andrade, C. Alonso, I.J. Padaratz, J.C. Borba Jr, Salinity of marine aerosols in a Brazilian coastal area—Influence of wind regime, Atmos. Environ. 41 (2007) 8431-8441.