

Efecto de la distancia al mar en la agresividad por cloruros en estructuras de hormigón en la costa brasileña

Effect of distance from sea on chloride aggressiveness in concrete structures in brazilian coastal site

G. R. MEIRA^{*}, I. J. PADARATZ^{**}, C. ALONSO^{***}, C. ANDRADE^{***}

^{*}Dept. Construcción Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica, João Pessoa-PB

^{**}Dept. Ingeniería Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC

^{***}Instituto de Ciências de la Construcción Eduardo Torroja, Madrid

Fecha de recepción: 20-XII-2002

Fecha de aceptación: 13-III-03

BRASIL/ESPAÑA

RESUMEN

La influencia de la distancia al mar es un tema clave en el estudio de la agresividad salina en zona de atmósfera marina, ya que permite conocer cómo afecta a la durabilidad de las construcciones cuando aumenta la distancia al mar. Este trabajo presenta resultados de un estudio experimental que valora la situación a través de la medida del depósito de cloruros de la niebla salina y en probetas de hormigón expuestas a distintas distancias desde el mar en la ciudad de João Pessoa, ubicada en la costa noreste de Brasil. Los resultados indican una importante disminución del depósito de cloruros de la niebla salina a medida que se aumenta la distancia al mar, especialmente en los primeros doscientos metros. La concentración de cloruros en el hormigón indica un comportamiento semejante. Sin embargo, la disminución de la concentración de cloruros con la distancia ocurre de forma más suave que en la niebla. A pesar de la necesidad de más investigación, aspectos como la relación entre los cloruros de la niebla y los que se fijan en la superficie del hormigón, los fenómenos que ocurren en el transporte de los cloruros en el hormigón, el efecto del lavado superficial y el efecto piel del hormigón pueden justificar esas diferencias.

SUMMARY

The distance of concrete structures from the sea is an important aspect when studying the deleterious effect of airborne salinity in marine environment zone. It permits to know how the durability of structures is affected by increasing the distance from the sea. This paper presents results of an experimental work on assessing the effect of the distance from sea on chloride aggressiveness, considering both the airborne salinity and chloride content in concrete specimens located at different distances from sea. This study has been carried out at João Pessoa, capital of the State of Paraíba, located in the northeast part of Brazil. The results indicated a drastic reduction of chloride deposition from marine aerosol, especially along the first 200 meters from the sea. Similar behavior was observed in the concrete specimens, even though the reduction has been less pronounced. Although more research is necessary, the differences in the rates of chloride decrease may be explained by different reasons, including the different chloride concentration in air and on concrete surface, the phenomena related to the skin effect and surface washing by rain.

PALABRAS CLAVE: cloruros, atmósfera marina, corrosión, hormigón.

KEYWORDS: chlorides, marine environment, corrosion, concrete.

1. INTRODUCCIÓN

La degradación de obras de hormigón reforzado en el ambiente marino es algo que preocupa la comunidad científica desde hace mucho tiempo. En ese sentido, se han llevado a cabo varios estudios basados en

1. INTRODUCTION

The deterioration of concrete structures in marine environment has been the subject of research for a long time and many papers have been published on this topic(1-3). Most of the studies have considered either

estructuras reales expuestas al ambiente marino (1-3). Sin embargo, la mayor parte de los trabajos se concentran en condiciones sumergidas en el mar o en zonas de mareas, generando resultados que tienen mucho más valor para estructuras en estas condiciones de exposición.

El efecto que hay cuando las estructuras se adentran en la costa ha sido poco estudiado, basándose en datos de estructuras reales. Sin embargo, la acción agresiva del medio marino no se limita a la zona de costa sino que se extiende hacia el interior y construcciones relativamente alejadas del mar siguen sufriendo su efecto en lo que se conoce como zona de influencia de la atmósfera marina. En Brasil, país de una larga costa y con una importante ocupación urbana en esta zona, ese efecto tiene un importante papel en la degradación de estructuras como consecuencia de la acción de la corrosión de sus armaduras.

El proceso agresivo tiene origen en la formación y en el transporte del aerosol marino, que se produce por la rotura de burbujas en la interfase entre la atmósfera y la superficie del mar. Este efecto es importante cuando el viento alcanza un determinado límite de velocidad, que algunos autores creen que está alrededor de 7-11 m/s (4). Sin embargo, hay otros datos que indican que desde los 3 m/s el fenómeno de formación de la niebla salina ya empieza a ser significativo (5). El viento no sólo contribuye a la formación de la niebla salina, sino que además influye en su transporte hacia el interior.

En la formación del aerosol marino, se produce un aumento en la concentración de sales con el incremento de la velocidad de los vientos, lo que deriva, en parte, del incremento en el tamaño de las partículas generadas y en su distribución en el conjunto que compone el aerosol (5). En general, a pesar de que las partículas de menor tamaño están en mayor proporción en la composición de la niebla, las partículas mayores pueden representar el 5-10% del total de partículas y corresponder al 90-95% del total de la masa (5).

La distribución vertical del aerosol marino, especialmente en zonas cerca del mar, sufre una fuerte influencia del efecto de la gravedad. Así, las partículas más grandes y más pesadas se depositan en los niveles más bajos, por lo que la concentración disminuye con la altura (6).

Respecto al transporte hacia el interior de la costa, además de la influencia del viento, el efecto gravitatorio y la fricción con los obstáculos también influyen de modo muy significativo en la concentración de sales, contribuyendo a que se produzca una disminución en la concentración de las mismas a medida que se aumenta la distancia al mar (7-9).

the underwater structures or structures in tidal zone, and as such these results can only be used in structures under these conditions.

The effect of sea salinity on real structures built away from the sea has been less studied. It is known that the aggressiveness due to the sea aerosols is not limited to coastland but extends inland. As a result, structures far from the sea are affected in an area known as marine influence atmospheric zone. In Brazil, a country with a long and highly populated coastland, the marine atmosphere plays an important role in the chloride attack of concrete structures promoting corrosion of reinforcing steel and structural degradation.

The aggressiveness in marine atmospheric zone has its origin in the sea spray aerosol formed by breaking of small bubbles on the surface of the sea and being carried by the wind. This effect is important when the speed of wind exceeds certain level. This value has been reported by some authors to be in a range of 7-11 m/s (4). On the other hand, other publications suggest that values in excess of 3 m/s are high enough for the phenomenon to occur (5). Not only the formation of the marine aerosols is related to the wind speed, but also its transport across the land is strongly affected.

Regarding the formation of the aerosols, it has been observed that its salt content increases when wind speed increases, partially due to an increase in the particles size and higher content of larger particles in the aerosol (5). In general, although smaller particles make the bulk of aerosol composition, the larger particles may represent 5-10 % of the total amount of particles, which means 90-95 % of the total mass (5).

Referring to the vertical distribution of particles in the aerosols, especially near to the sea, one may observe the strong gravitational effect. Specifically, bigger and more heavy particles will normally be deposited in lower layers, leading to a decrease of the aerosols concentration at higher levels (6).

In relation to the movement of the aerosols inland, besides the wind influence, the gravitational effect and presence of obstacles friction contribute to the reduction in airborne salt content in continental areas (7-9).

Los cloruros, como parte de la niebla, tienen este comportamiento (8-9) y las construcciones en la zona de atmósfera marina sufren su agresividad de modo distinto en función de la distancia al mar.

Este trabajo, valora el comportamiento de la niebla salina en una región de clima tropical de noreste del Brasil, concretamente en lo que se refiere a la tasa de depósito de cloruros de la niebla, teniendo en cuenta el efecto de la distancia al mar y cómo esto se refleja en la concentración de cloruros acumulada en el hormigón expuesto en cada zona de influencia.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Caracterización climatológica del ambiente

La caracterización del ambiente se hizo a través de una estación climatológica del Gobierno Brasileño ubicada en la zona donde se llevó a cabo la investigación. Los parámetros monitorizados fueron la temperatura, la humedad relativa, la precipitación, la dirección preferencial de los vientos y su velocidad.

2.2. Estudio de la niebla salina

Los puntos de monitoreo elegidos para valorar el depósito de cloruros de la niebla salina están a 10, 100, 200, 500 y 1.100 m desde el mar bajo las coordenadas indicadas en la Tabla 1. Para la elección de dichos puntos, además de las diferencias mínimas de altitud, se tuvo en cuenta la menor presencia de construcciones con el objetivo de tener la menor interferencia posible en las medidas de cloruros del efecto de la fricción de la niebla con los obstáculos. En cada punto de monitoreo se puso un aparato de la vela húmeda para recoger los cloruros, según los criterios de la norma ASTM G140/96 (10). Las muestras fueron recolectadas mensualmente y fueron valoradas por potenciometría con una disolución de nitrato de plata (0,05N). Este procedimiento se repitió a lo largo de los seis primeros meses del año 2002.

This reduction in the amount of particles with the distance from the sea applies also to chlorides (8-9) and thus, concrete structures in marine atmosphere zone should be considered as being exposed to distinct aggressiveness levels at different distances from the sea.

This paper discusses the chloride deposition from marine aerosol, in a tropical climate region in northeast part of Brazil, as a function of the distance from the sea. It also examines how it affects the existing concrete structures in marine atmosphere areas.

2. EXPERIMENTAL WORK

2.1. Environmental characterization

Climatic data were collected by a Brazilian Government weather station located in the region where the research took place. Data were collected on temperature, relative humidity, precipitation, wind direction and wind speed.

2.2. Marine aerosol study

Monitoring stations for measuring airborne chlorides deposition were placed at 10, 100, 200, 500 and 1100 meters from the sea, according to the geographical coordinates shown in Table 1. The area chosen was as plane as possible, to avoid significant variation in height, and free of obstacles to reduce friction effect in the measured data. At each station an apparatus for determining atmospheric chloride deposition rate by the wet candle method was installed, and the samples were collected according to the specifications established in the ASTM standard G140/96 (10). Samples of liquid from the wet candle device were collected monthly and analysed by potentiometric titration with silver nitrate solution (0,05N). This procedure was repeated during the first six months of 2002.

TABLA 1/TABLE 1
Coordenadas geográficas de los puntos de monitoreo
Geographical coordinates of monitoring stations

Distancia desde el mar <i>Distance from sea (m)</i>	Latitud <i>Latitude</i>	Longitud <i>Longitude</i>
10	7°1'42,9"	34°49'50,1"
100	7°1'42,2"	34°49'52,8"
200	7°1'41,0"	34°49'55,8"
500	7°1'47,2"	34°50'13,1"
1100	7°5'41,8"	34°50'56,7"

2.3. Estudio de la concentración de cloruros en el hormigón

Las probetas de hormigón fueron fabricadas en las dimensiones 0,15x0,15x1,40 m, con relación agua/cemento 0,65. Se empleó un cemento brasileño tipo CPIV, cuya composición se incluye en la Tabla 2. Las probetas tuvieron un período de curado en cámara húmeda de siete días. Estas probetas fueron expuestas en la zona de atmósfera marina, en puntos que están a 10, 100 y 200 m desde el mar, según las mismas coordenadas de la Tabla 1. Al cabo de los seis meses, se sacaron muestras para los análisis de cloruros y obtención de los perfiles.

La obtención de las muestras tuvo como primer paso la extracción de testigos con 7,0 cm de diámetro, a una altura de 0,80 m desde el suelo, en la dirección donde se concentraron los vientos preferenciales y evitándose el lavado superficial del hormigón a través del empleo de una cinta impermeable en el área de la extracción (Figura 1). De los testigos se obtuvo el primer mm pulverizado, representando la muestra superficial y luego las muestras siguientes, también en polvo, fueron tomadas hacia adentro en profundidades de 5,0 mm hasta el límite de 30,0 mm. Para cada muestra se determinó su contenido de cloruros totales, valorado por potenciometría, según los criterios de la norma ASTM C1152 (11).

3. RESULTADOS

3.1. Características climatológicas del ambiente

El ambiente investigado tiene las características típicas de un clima tropical. La temperatura se mantiene en una franja de variación con poca amplitud, comprendida, aproximadamente, entre 20 y 30 °C (Figura 2). La humedad relativa se mantiene, en su mayoría, entre el 60 y 80 %, acompañando la época de mayor incidencia de las lluvias, que permiten valores incluso más elevados (Figura 3). Las precipitaciones se concentran en el período desde marzo hasta agosto, cuando obtienen valores medios alrededor de los 300 mm mensuales. Los vientos mantienen velocidades medias relativamente bajas, entre los 2,9 y 3,4 m/s y se concentran, preferencialmente, en el cuadrante NE-SE.

2.3. Chloride concentration study in concrete

Prismatic concrete specimens of 0.15x0.15x1.40 m were cast using Brazilian cement CP IV (chemical composition shown in Table 2) and a water to cement ratio of 0.65. The specimens were cured in a wet chamber for 7 days before being placed at locations 10, 100 and 200 m away from the sea, according geographical coordinates on Table 1. After six months of exposure, samples were extracted from the specimens to obtain chloride profiles in concrete.

The first step in obtaining the samples was to remove (by drilling) from the prismatic specimens 7.0 cm diameter core at a level of 0.80 m from the ground (see Figure 1). The direction of coring was parallel to the historically established predominant wind direction. Care was taken to avoid washing effect on specimens surfaces, protecting them with a waterproof tape. The first millimeter of each core was powdered and was used as a surface sample. Additional samples, also powdered, were taken up to the depth of 30 millimeters from six layers each 5.0 mm thick. For each sample the total chlorides content was determined by potentiometric titration, following the procedures of ASTM C1152 (11).

3. RESULTS

3.1. Local weather conditions

The region chosen for the experimental work lies in a typical tropical climate. The local temperature shows little variation, ranging roughly from 20 to 30 degrees Celsius (Figure 2). The relative humidity stays usually between 60 and 80 %, with higher values during longer rain periods (Figure 3). Major rain precipitation happens from March to August, with monthly average of 300 mm. The predominant winds are usually from NE-SE and their speed is typically low and stays between 2.9 and 3.4 m/s.

TABLA 2/TABLE 2
Composición química del cemento empleado
Chemical composition of cement

	SO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	RI/IR	PF/LI
CPIV-32	2,96	29,34	5,72	2,40	48,40	3,44	0,37	2,17	22,67	4,18

RI = Residuo insoluble / IR = *Insoluble residue*

PF = Pérdida al fuego / LI = *Loss on ignition*

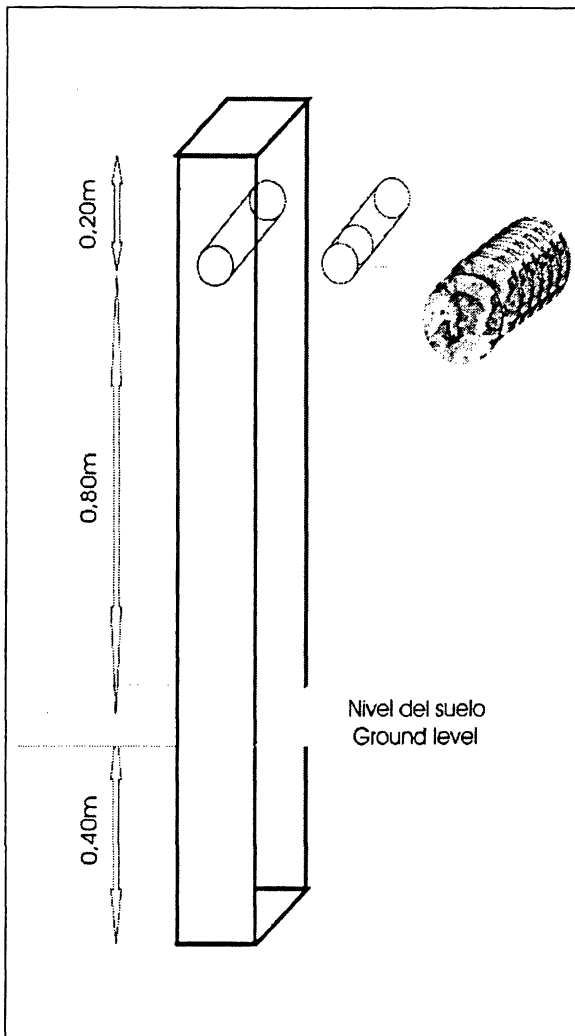


Figura 1.- Esquema de las probetas y toma de muestras.

Figure 1.- Schematic of concrete specimens showing the location of cores for chloride content determination.

3.2. Medidas del depósito de cloruros del aerosol marino

Los resultados obtenidos en los primeros meses (enero-junio/2002), referentes al depósito seco de los cloruros oriundos del aerosol marino se han incluido en la Tabla 3. Los datos son claros respecto a la disminución de la concentración de agresivo, especialmente en los primeros 200 m.

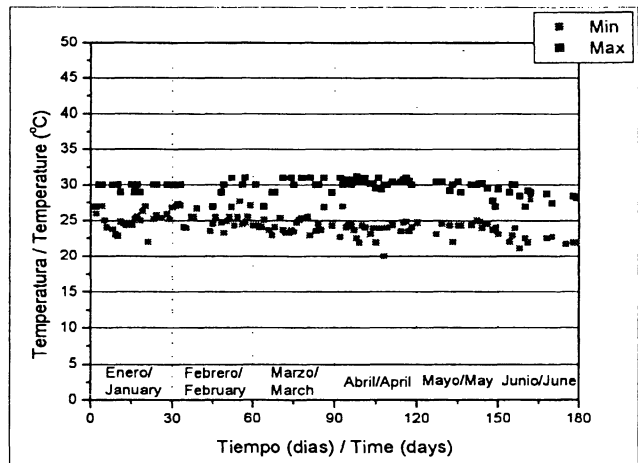


Figura 2.- Distribución de la temperatura del ambiente en el período estudiado.

Figure 2.- Local temperature distribution during the test period.

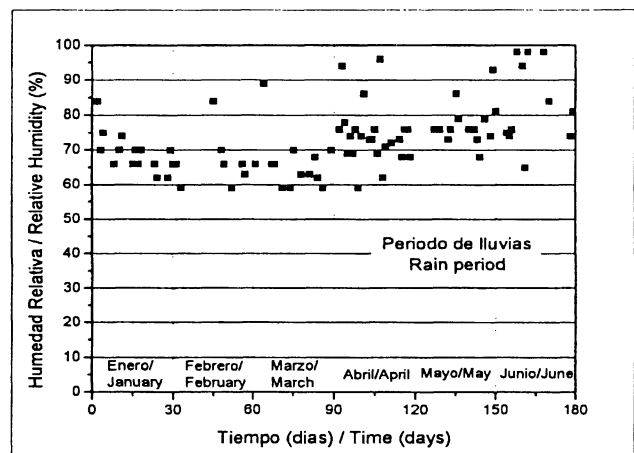


Figura 3.- Distribución de la humedad relativa del ambiente en el período estudiado.

Figure 3.- Local relative humidity during the test period.

3.2. Chloride deposition from sea spray aerosols

The results obtained during the first six months (January-June/2002) of dry deposition of marine aerosols are shown in Table 3. The data show a clear reduction of the airborne salinity in the first 200 m.

TABLA 3/TABLE 3

Depósito de cloruros del aerosol marino entre enero/2002-junio/2002
Chloride deposition from marine aerosol between January-June/2002

Distancia desde el mar Distance from sea (m)	Concentración (mg/m ² .dia) / Concentration (mg/m ² .day)							Promedio Average	D.S. S. D. (%)
	Ene Jan	Feb Feb	Mar Mar	Abr Apr	May May	Jun Jun			
10	483,56	412,45	438,61	497,85	415,10	473,54	453,52	8,04	
100	74,48	69,70	80,68	147,80	89,82	162,11	104,10	38,63	
200	9,85	12,20	20,59	13,93	15,14	26,66	16,40	37,68	
500	8,92	13,04	15,17	9,29	12,43	12,43	11,88	20,03	
1100		5,88	6,02	3,57	5,18	9,29	5,99	34,83	

3.3. Concentración de los cloruros en el hormigón

Las concentraciones de cloruros en el hormigón de acuerdo con las profundidades presentadas en el apartado 2 y la concentración total hasta la profundidad de 3,0 cm se han incluido en la Tabla 4. La representación en la forma de perfiles se hizo en la Figura 4, donde se ve, muy claramente, el efecto de la distancia en los perfiles a 10, 100 y 200 m de la costa. Los perfiles que representan las probetas más cerca del mar tienen mayores concentraciones de cloruros acumulados que aquellos a 100 y 200 m respectivamente.

4. DISCUSIÓN

El comportamiento de la niebla salina, con una clara reducción de la concentración de cloruros en los primeros 200 m, está de acuerdo con las observaciones

3.3. Chloride concentration in concrete

The chloride contents in concrete samples, for the various depths described in section 2, and total chloride content until the depth of 3.0 cm are presented in Table 4. The profiles representation is in Figure 4, where the effect of distance from sea is quite noticeable for profiles referring to 10, 100 and 200 m, with higher concentrations of chlorides at distances closer to sea.

4. DISCUSSION

The airborne salinity, with a clear reduction in chloride content in the first 200 m, agrees with the previous published results referred to at the beginning of this

TABLA 4/TABLE 4
Contenido total de cloruros hasta la profundidad de 3,0 cm
Total chloride content up to the depth of 3.0 cm

Dist. desde el mar (m) <i>Dist. from sea (m)</i>	Contenido de cloruros respecto al cemento (%) <i>Chloride content (% cement weight)</i>							Total Medio <i>Total average</i>
	Sup/Surf (0-1mm)	1-5mm	5-10mm	10-15mm	15-20mm	20-25mm	25-30mm	
10	0,0353	0,0503	0,3128	0,1290	0,0435	0,0368	0,0263	0,0993
100	0,0561	0,0766	0,1950	0,0964	0,0400	0,0353	0,0194	0,0764
200	0,0233	0,0540	0,1080	0,0683	0,0300	0,0240	0,0173	0,0492

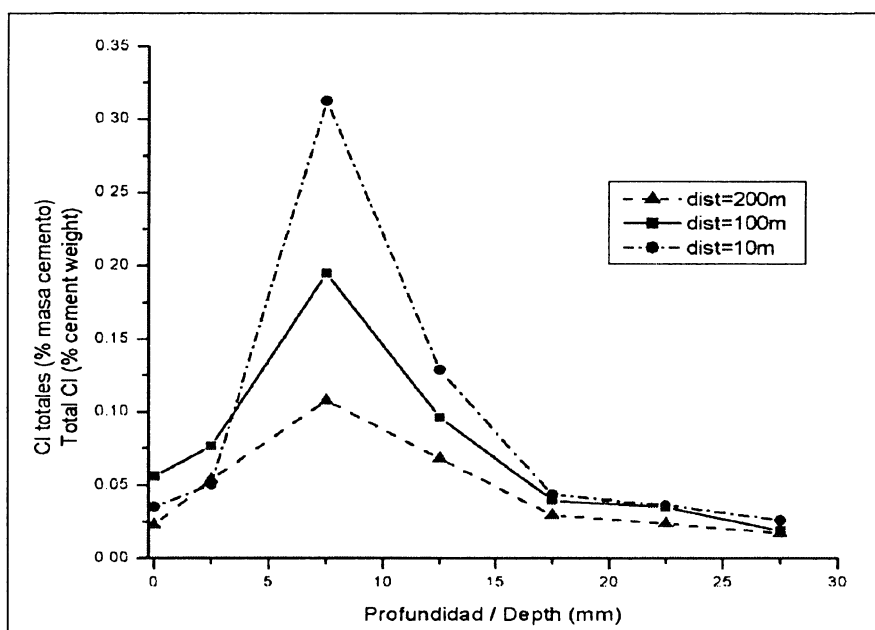


Figura 4.- Perfiles de cloruros en el hormigón.
Figure 4.- Chloride profiles in concrete.

apuntadas al inicio del trabajo, además de que los niveles medios de velocidad de los vientos están en una franja de menor influencia en la generación y transporte del aerosol marino.

Las partículas más grandes contribuyen significativamente en la concentración salina pero, por otra parte, no alcanzan mucha altitud (6) y no llegan muy lejos hacia el interior (12). Los resultados que se han encontrado probablemente reflejan este efecto, ya que entre los 10 y 100 m y entre los 100 y 200 m hay una acentuada reducción en la concentración salina, para, enseguida, tener lugar una reducción más suave de la concentración en una zona donde la presencia de las partículas mayores ya es menos representativa y las partículas más pequeñas pueden llegar más lejos. El efecto de la velocidad del viento en la concentración de sales sigue una función exponencial, aumentando acentuadamente la concentración de estos con el incremento lineal de la velocidad del viento (7). Otro aspecto es que el aumento de la concentración salina con el viento es más importante por encima de un mínimo crítico, cuyo valor es de 3m/s según Morcillo *et al.* (9).

Así, el caso estudiado está alrededor de este límite crítico (3 m/s), lo que hace que las diferencias observadas en la concentración entre los meses en los cuales el estudio se llevó a cabo no cambien mucho (Tabla 3) y ese parámetro pueda tomarse como aproximadamente constante.

Por otro lado, los datos de la Tabla 3 están gráficamente representados en la Figura 5 teniendo en cuenta la distancia desde el mar. El comportamiento observado se ajusta a una función del tipo $C = a \cdot x^{-b}$ (Figura 5). Este ajuste se acerca al obtenido por otros autores cuando trabajaron con distancias de magnitud similar (7). En este caso, el ajuste obtenido refleja la poca variabilidad respecto a la velocidad del viento y su pequeña magnitud a lo largo del tiempo en el cual se llevó a cabo el estudio. En niveles más elevados de velocidad del viento, pequeñas variaciones en sus valores significan grandes variaciones en las concentraciones de las sales (5, 7), lo que podría contribuir al incremento del grado de dispersión de los resultados encontrados.

El comportamiento de la concentración de los cloruros en el hormigón está de acuerdo con lo observado respecto al depósito del aerosol marino en el continente y con otras publicaciones sobre el ambiente de atmósfera marina (13-14). Eso va en el sentido de que las estructuras de hormigón ubicadas en la zona de atmósfera marina deben abordarse de modo diferente en función de su ubicación específica y que, estructuras

paper. This is despite the fact that relatively low wind speed (~3 m/s) probably plays less important role in generation and transport of salt aerosol than what could be expected if wind velocity was much higher.

*The bigger aerosol particles contribute significantly to the atmospheric salinity. Therefore, they may not reach higher altitudes (6) and do not travel far inland (12). The field results suggest this tendency as they show a strong reduction of salinity between the first 10 and 100 m and between 100 and 200 m. Afterwards, the salt concentration decreases at slower rates in a zone where bigger particles are less numerous and the smaller ones can travel farther. The effect of wind speed on chloride content of marine aerosols follows an exponential function with a great increase in chloride concentration as the wind speed increases (7). According to Morcillo *et al.* (9), such influence becomes important at wind speeds above 3 m/s.*

Since this experiment was performed in regions where the wind speeds remained relatively constant at about 3 m/s, there were not significant month-to-month differences in chloride concentrations within each group of distances considered during this six months study (Table 3) and this parameter could be taken as constant.

The data presented in Table 3 are graphically shown in Figure 5, and relate the chloride content to the distance from sea. It can be observed that a mathematical function $C = a \cdot x^{-b}$, as proposed by others (7) when working with similar distances, seems to match the field data quite accurately. In this case, the scatter reflects small variability of wind speed and remains at low levels during the period of study. When the wind speed is high, even small changes will result in significant changes in salt contents (5,7), and that will contribute to higher data variability.

Chloride concentration data in concrete agree with marine aerosol deposition data distribution inland and results published elsewhere (13-14). Therefore, concrete structures built in the atmospheric marine environment should be designed for durability taking

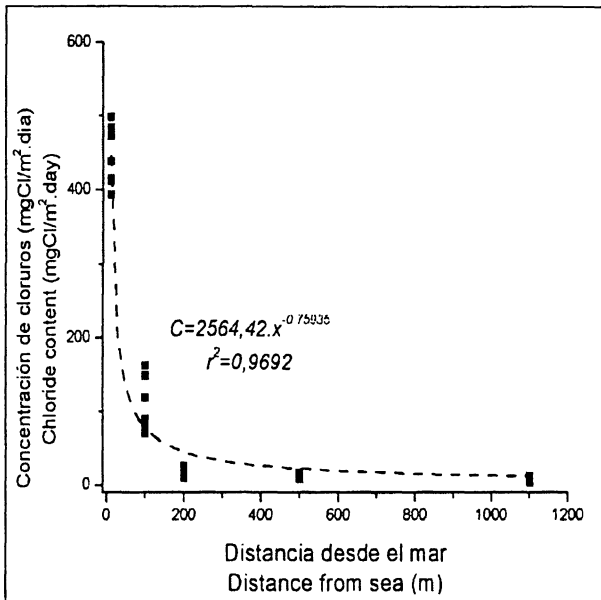


Figura 5.- Efecto de la distancia en el depósito de los cloruros de la niebla salina.

Figure 5.- Effect of distance on chloride deposition.

ubicadas relativamente cerca, pueden presentar condiciones agresivas muy distintas. Al comparar el depósito de cloruros de la niebla con la concentración de cloruros acumulada en el hormigón, se pudo observar que la reducción de la concentración de cloruros de la niebla con el incremento de la distancia al mar se produce de modo más acentuado que en el hormigón (Tablas 3 y 4) y no hay una relación lineal entre los cloruros de la niebla y aquéllos que penetran en el hormigón (Figura 6). Respecto a esto último, es importante resaltar que la penetración de cloruros en el hormigón está afectada por otros parámetros intrínsecos al propio material además de que, según Mustafa (13), un importante porcentaje de los cloruros de la niebla no se fija en la superficie del hormigón y, por lo tanto, no lo penetra. Eso puede llevar a pensar que para mayores concentraciones de cloruros en la niebla la proporción de cloruros que se fijan en la superficie del hormigón no es necesariamente proporcionalmente mayor. Sin embargo, son necesarios más estudios para comprobar este comportamiento, especialmente cuando efectos como el lavado superficial se pueden hacer presentes.

Otro aspecto observado en los perfiles (Figura 4) es la presencia de una zona inicial con menor concentración de cloruros cerca de los 7,5 mm más superficiales para, enseguida, asumir la forma clásica de los perfiles que parecen representar un proceso difusivo. Esta zona inicial puede representar el efecto piel, donde el hormigón externo y el interior tienen distintas propiedades (15). Sin embargo, otros efectos se pueden hacer más presentes, con el lavado superficial debido a la

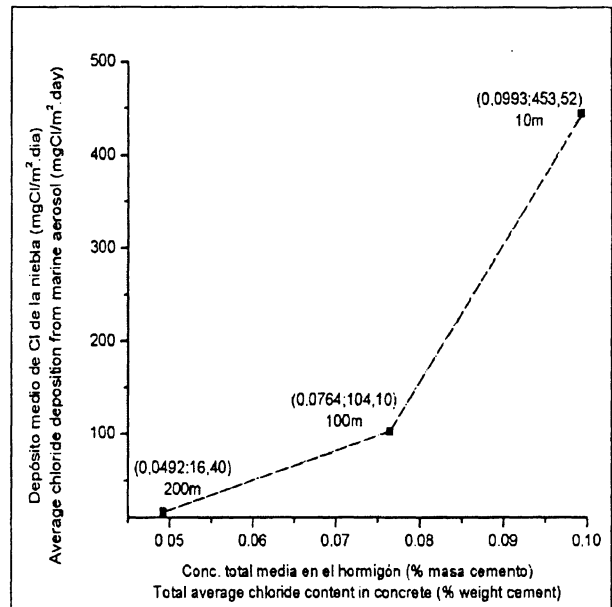


Figura 6.- Relación entre el depósito de cloruros de la niebla y la concentración acumulada en el hormigón.

Figure 6.- Relationship between chloride deposition from aerosol and total chloride content in concrete.

into account their specific location. Closely located structures may be subjected to quite distinct levels of environmental aggressiveness. When comparing chloride deposition from marine aerosol with that accumulated in concrete, one might observe a faster reduction in chloride deposition from marine aerosol with increasing distance from the sea than that in concrete (Tables 3 and 4). It is also observed that the relationship between chlorides from aerosol and that in concrete is not linear (Figure 6). It is important to mention that chloride penetration into concrete is affected by other parameters intrinsic to the material itself. In addition, a significant amount of chlorides present in aerosols does not deposit on concrete surface (13). This may lead to think that greater concentrations of chlorides in aerosols do not necessarily result in proportionally higher salt content deposited on concrete surface. However, more research is necessary to confirm that behavior, as rain washing effect may also play a role.

Another aspect noticed in the profiles (Figure 4) is the presence of a surface layer of approximately 7.5 millimeters in thickness that contains less chloride than the layers located deeper from the surface. Beyond this surface layer, the profiles follow the classical behavior related to the chloride diffusion process in concrete. This surface zone may represent a skin effect where the concrete has different characteristics compared to the bulk (15). Other factors such as surface washing by

lluvia o por la presencia de una zona donde el hormigón sufre de modo más continuo el secado y mojado en su interacción con el ambiente (16).

5. CONCLUSIONES

En las condiciones específicas del estudio, la reducción del depósito de cloruros de la niebla salina se da de modo acentuado, especialmente en los primeros 200 m de distancia al mar y este comportamiento se ajusta a una función del tipo $C = a \cdot x^{-b}$ ($C =$ depósito de Cl de la niebla; $x =$ distancia desde el mar).

En el hormigón, la reducción de la concentración de cloruros con la distancia al mar es más suave e indica que no hay una relación empírica entre los cloruros de la niebla y aquéllos que penetran en el hormigón que se pueda representar por una función lineal.

Teniendo en cuenta estos aspectos, las construcciones ubicadas a lo largo de la costa sufren distintos niveles de agresividad en función de su ubicación con relación a la distancia al mar, sugiriendo que este efecto deba ser tenido en cuenta desde la fase de proyecto de las estructuras, cuando se plantea su durabilidad futura.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a CAPES la beca adjudicada a Gibson Rocha Meira, lo que permitió el trabajo en colaboración con IETcc. Los autores también agradecen a Clóvis dos Santos Lima Neto su permiso en exponer las probetas en un área privada.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) A. Costa, J. Appleton: *Chloride penetration into concrete in marine environment-part I: main parameters affecting chloride penetration*. Materials and Structures, Vol. 32 (1999), pp. 252-259.
- (2) P. Sandberg, L. Tang, A. Andersen: *Recurrent studies of chloride ingress in uncracked marine concrete at various exposure times and elevations*. Cement and Concrete Research, Vol. 28, nº 10 (1998), pp. 1489-1503.
- (3) R. N. Swamy, H. Hamada, J. C. Laiw: *A critical evaluation of chloride penetration into concrete in marine environment*. In: International Conference on Corrosion and Corrosion protection of Steel in Concrete. University of Sheffield, Sheffield (1994), pp. 404-419.
- (4) Donald E. Spiel, Gerrit de Leew: *Formation and production of sea spray aerosols*. Journal of Aerosol Science, Vol. 27, supplement 1 (1996), pp. S65-S66.
- (5) J. W. Fitzgerald: *Marine aerosols: a review*. Atmospheric Environment, Vol. 25A, nº 3/4 (1991), pp. 533-545.
- (6) Duncan C. Blanchard, Ramon J. Cipriano: *The vertical distribution of the concentration of sea salt in the marine atmosphere near Hawaii*. Tellus, Vol. 36B (1984), pp. 118-125.
- (7) Mats E.R. Gustafsson; Lars G. Franzén: *Dry deposition and concentration of marine aerosols in a coastal area, SW Sweden*. Atmospheric Environment, Vol. 30, nº 6 (1996), pp. 977-989.
- (8) Mats E.R. Gustafsson; Lars G. Franzén: *Inland transport of marine aerosols in southern Sweden*. Atmospheric Environment, Vol. 34 (2000), pp. 313-325.
- (9) M. Morcillo, B. Chico, I. Mariaca, E. Otero: *Salinity in marine atmospheric corrosion: its dependence on the wind regime existing in the site*. Corrosion Science, Vol. 42 (2000), pp. 91-104.
- (10) American Society for Testing and Materials: ASTM G-140 (1996): *Standard test method for determining atmospheric chloride deposition rate by wet candle method*. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia.

rain and wet/dry cycles on concrete interaction with environment may also affect the amount of chlorides on this surface layer (16).

5. CONCLUSIONS

Considering the particular conditions of the present study, the chloride deposition from marine aerosols reduces drastically after the first 200 meters from the seacoast. The relationship between the chloride content and the distance from sea can be mathematically expressed by the equation $C = a \cdot x^{-b}$ ($C =$ chloride deposition from marine aerosol; $x =$ distance from sea).

In concrete, the reduction in chloride content with the distance from sea occurs at smaller rate, suggesting that a simple empirical linear relationship between chloride content in marine aerosols and chlorides that penetrate in concrete does not exist.

As a consequence, concrete structures located in the marine atmosphere zone may be subjected to different aggressiveness, depending on their distance from the sea, suggesting that all these aspects should be taken into account for design procedures, when durability may be considered.

ACKNOWLEDGEMENTS

Authors thank CAPES for supporting the Sandwich Dictorate of Gibson R. Meira in IETcc (Spain), which made possible to work in collaboration. Authors also thank Clóvis dos Santos Lima Neto for permitting to expose the specimens in a private area.

- (11) American Society for Testing and Materials: ASTM C-1152 (1990): *Standard test method for acid-soluble chloride in mortar and concrete*. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia.
- (12) S. Feliu, M. Morcillo, B. Chico: *Effect of distance from sea on atmospheric corrosion rate*. NACE, Vol. 55, n° 9 (1999), pp. 883-891.
- (13) M. A. Mustafa, K. M. Yusof: *Atmospheric chloride penetration into concrete in semi-tropical marine environment*. Cement and Concrete Research, Vol. 24, n° 4 (1994), pp. 661-670.
- (14) P. Castro, O. T. Rincón, E. J. Pazzini: *Chloride penetration in marine environments*. In: International Congress on High-Performance Concrete and Performance and Quality of Concrete Structures. UFRGS, Porto Alegre – Brasil (1999), pp. 371-389.
- (15) C. Andrade, J. M. Díez, C. Alonso: *Mathematical modelling of a concrete surface "skin effect" on diffusion in chloride contaminated media*. Advances on Cement Based Materials, Vol. 6 (1997), pp. 39-44.
- (16) P. Castro, O. T. Rincon, E. J. Pazzini: *Interpretation of chloride profiles from concrete exposed to tropical marine environments*. Cement and Concrete Research, Vol. 31 (2001), pp. 529-537.

* * *

**Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la
Construcción
(www.alconpat.org)**

La Asociación, se constituyó el día 20 de mayo de 1993, con domicilio legal en la Ciudad de Córdoba, República Argentina, declarándose ésta como sede permanente de creación.

En su origen, la Asociación se denominó con las siglas de Q+PARECO, siglas que fueron cambiadas por las de ALCONPAT a partir de la aprobación del Estatuto en la Asamblea de Santo Domingo, en octubre de 2001, declarándose, asimismo, como sede itinerante al país que organice la asamblea y sede social la correspondiente a la secretaría permanente.

Son fines de la Asociación promover la integración profesional de los ingenieros, arquitectos, constructores, etc., impulsando un amplio intercambio técnico, científico y humano, en la búsqueda de un mayor perfeccionamiento profesional que beneficie el desarrollo de las comunidades a los que sus integrantes pertenezcan. En tal sentido, se realizarán cuantas actividades conduzcan a tales fines como congresos, publicaciones, y cursos, entre otros. Su principal reunión es el Congreso Latinoamericano de Patología de las Construcciones, conocido por sus siglas como CONPAT.

El primer CONPAT se realizó en Córdoba, Argentina, durante 1991, en unión con el Tercer congreso de Control de Calidad debido a la afinidad entre ambos eventos. Como consecuencia del éxito obtenido en este evento, se programó el siguiente en Barquisimeto, Venezuela, durante 1993, y el de la Habana, Cuba, para 1995. Con el paso del tiempo, el número de profesionales participantes se incrementó considerablemente, lo cual ayudó a que en Porto Alegre, Brasil (1997), y Montevideo, Uruguay (1999), la participación aumentara y se enriqueciera con los trabajos de un mayor número de países participantes.

Debido al crecimiento y transformación de la Asociación Q+PARECO (nacida con el primer CONPAT en 1991), ésta cambió su nombre al de Asociación Latinoamericana para el Control de Calidad, Patología y Recuperación de las Construcciones (ALCONPAT) y se estrenó en el VI CONPAT (Santo Domingo, República Dominicana, 2001). La Asociación es ahora Latina, debido a la participación que, en los últimos años, se ha tenido de países latinos, por lo que los CONPATs tendrán ahora esta connotación.

México tiene la responsabilidad de organizar el CONPAT 2003. Durante este evento se realizarán el VII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y el IX Congreso de Control de Calidad en la Construcción, con la participación de profesionales de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Cuba, España, México, Paraguay, República Dominicana, Uruguay y Venezuela.