ÍNDICE

1. ESTUDIO CLIMÁTICO 3
1.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA 3
1.2 TEMPERATURAS 4
1.3 PRECIPITACIONES 5
1.4 HELADAS 6
2. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO CLIMÁTICO 6
3. ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL RESIDUAL 7
3.1 INTRODUCCIÓN 7
3.2 DURABILIDAD DE UNA ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO 8
3.3 COMPROBACIÓN DE LA DURABILIDAD EN LOS CONTRAFUERTES DE LA GRADA RIO 8
3.4 ESTRATEGIA PARA AUMENTAR LA VIDA ÚTIL EN LOS CONTRAFUERTES DE LA GRADA RIO 9

1. ESTUDIO CLIMÁTICO

1.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El Estadio de Balaidos se encuentra ubicado en el casco urbano de la ciudad de Vigo, dista de la línea costera uno 2,5km, tal y como se puede apreciar en imagen adjunta:

Para el estudio del entorno climático de la zona de ubicación del estadio, se han recogido y analizado los datos de dos estaciones meteorológicas de Vigo, las más próximas a la zona de estudio y con mayor histórico de registros.

Los datos utilizados en la redacción de este anejo se han extraído de los datos publicados por la Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Infraestruturas a través de la página web de Meteogalicia, publicación del Ministerio de Medio Ambiente, con los registros obtenidos durante el período 2.000-2.012, en las estaciones de Illas Cíes y Vigo Marina II.

A continuación se presentan los datos de situación de la estructura y la estación meteorológica de la que se han obtenido los datos:

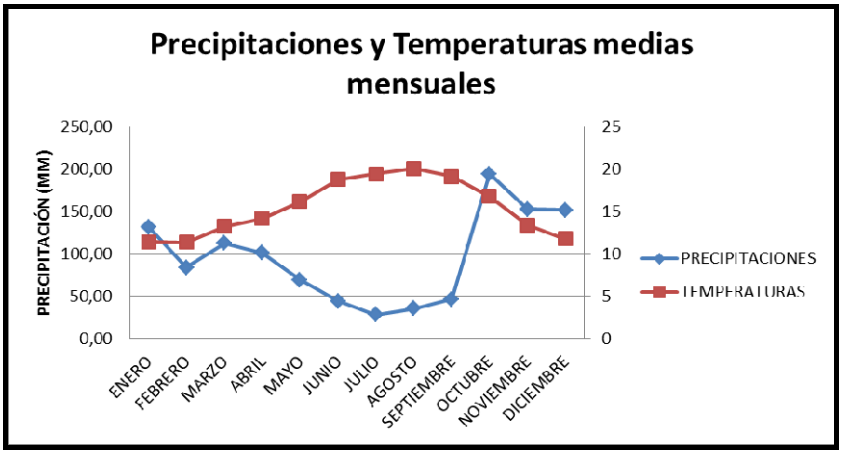
- Estadio de Balaidos:
  - Latitud: 42º 12’ 42” N
  - Longitud: 8º 44’ 22’’ W
  - Altura: 10 m

- Estación de Illas Cíes
  - Latitud: 42º 13’ 12” N
  - Longitud: 8º 54’ 14” W
  - Altura: 15 m

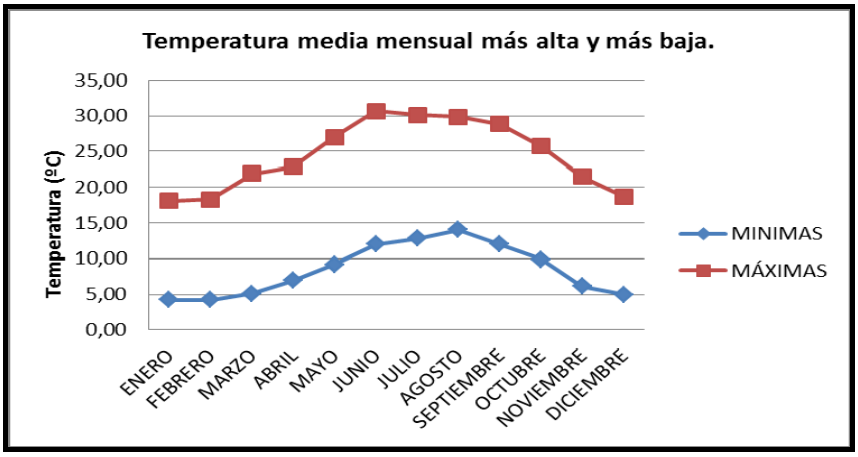
- Estación de Vigo Marina II.
  - Latitud: 42º 13’ 47” N
  - Longitud: 8º 44’ 56” W
  - Altura: 6 m

1.2 TEMPERATURAS

En la siguiente figura se representa las medias mensuales de temperaturas y precipitaciones de los datos obtenidos de ambas estaciones. El intervalo de registros de temperaturas y precipitaciones comprende el periodo 2.000-2.012.

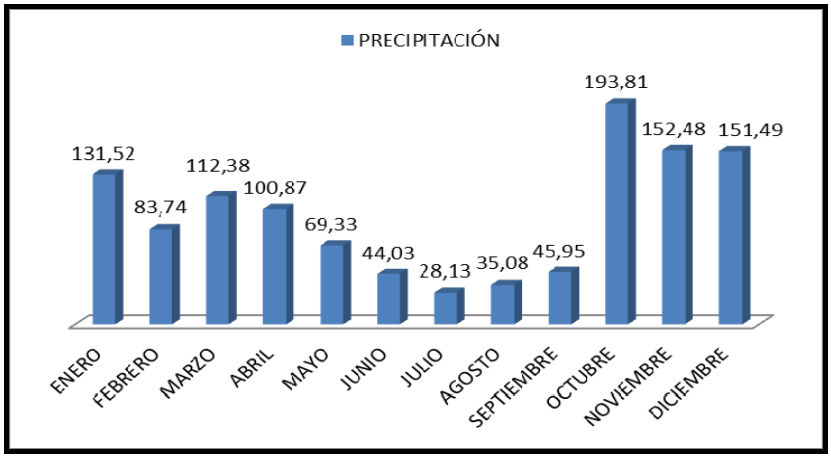


A continuación se muestran los valores de las temperaturas medias más altas y más bajas de la estación anterior:



1.3 PRECIPITACIONES

Los valores de precipitación total media mensual obtenidos en las mencionadas estaciones se recogen en la figura adjunta:



La precipitación media anual es de 1.148 mm, siendo julio y agosto los meses menos lluviosos.

Por los datos que asoman las estaciones, no hay días de nieve.

1.4 HELADAS

Se considera como día de helada aquel en que la temperatura desciende hasta un valor de 0ºC o inferior. Este dato es de enorme interés para intentar evaluar el potencial ataque de los ciclos de hielo-deshielo.

En las estaciones analizadas el valor medio anual de días de helada es cero, por tanto podemos concluir que esta estructura no está sometida a ciclos de hielo-deshielo.

2. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO CLIMÁTICO

Teniendo en cuenta los anteriores datos se ha identificado el clima según la clasificación de Koppen. La zona de estudio se trata de un clima templado y lluvioso con veranos cálidos (Cfb). En este tipo de clima no existe estación seca propiamente dicha.

Con los datos anteriores también es posible obtener un índice de aridez, también llamado índice termo-pluviométrico o ITP, que ofrece una indicación válida global del tipo de clima en cada zona.

El índice se define como la relación entre la Temperatura Media y la Precipitación Total Anual en mm. En el caso de la zona del Estadio de Balaídos, para una temperatura media de 15,4 ºC y una precipitación total anual de 1.148 mm, se puede adoptar un valor del ITP de 1,34.

De acuerdo con el valor de ITP, son zonas húmedas aquellas en las que el índice está comprendido entre 0 y 2. Si el valor resulta entre 2 y 3 se trata de una zona semiárida. Si está comprendida entre 3 y 6 la zona es árida, y, por último, si es superior a 6 es zona subdesértica. En cualquier caso, cabe decir que la aridez es un concepto complejo, ya que realmente está determinado por el volumen anual de precipitaciones, por su distribución estacional y por el valor de la evaporación.

Considerando los valores obtenidos para las variables climáticas analizadas, es posible establecer unas condiciones de susceptibilidad de ataque por agentes climáticos, atendiendo sólo a las acciones y sin tener en cuenta el material sobre el que actúan.

En este caso concreto, se puede concluir:

- Las precipitaciones son altas en la zona (1.148 mm de precipitación media total anual). Estos hechos hacen que se deba prestar atención a aquellos fenómenos de deterioro que tengan al agua como agente principal.

- Las épocas de finales de primavera y parte del verano son las más propicias para que aparezcan eflorescencias por cristalización de sales en la superficie (épocas donde se combinan precipitaciones e insolación que favorecen el fenómeno).
- No existen grandes diferencias entre las temperaturas extremas, por lo que son menos probables las exfoliaciones.

3. ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL RESIDUAL EN LAS ESTRUCTURA DE HORMIGÓN

3.1 INTRODUCCIÓN

El presente estudio comprende las consideraciones relativas a la situación actual de durabilidad de la estructura objeto del mismo, así como la estimación de su vida útil, a partir de los resultados obtenidos en la inspección y auscultación realizada sobre la estructura.

Se ha partido de la identificación de las posibles clases de agresividad actuantes sobre la estructura, y de la estimación del período de vida útil deseable a la vista de las características de cada elemento en relación con su responsabilidad y riesgo.

La construcción de las gradas de río del estadio de Balaidos finalizó en el año 1982, fecha en la que las condiciones de durabilidad no estaban contempladas por la reglamentación vigente, constituida entonces por las instrucciones EH-82 y EP-77 para hormigón armado y pretensado, respectivamente. En consecuencia, durante la fase de proyecto no fue posible la consideración de un objetivo cuantificable en relación del período de vida útil de servicio de la estructura.

En consecuencia, el presente estudio contempla la aplicación de algunos criterios de durabilidad disponibles con el estado actual de conocimiento, pero de imposible disposición en el momento del proyecto, al haberse desarrollado con posterioridad.

Para ello se parte del conocimiento de la estructura aportada por:

- el proyecto y las publicaciones realizadas por sus autores en el momento de su construcción,
- la inspección de los contrafuertes realizada por Galaicontrol, y
- los resultados de los ensayos efectuados por Galaicontrol.

3.2 DURABILIDAD DE UNA ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO

Se entiende por Estado Límite de Durabilidad, el fallo que se produce al no alcanzar la vida útil para la que fue proyectada una estructura, consecuencia de que los procesos de degradación del hormigón o de las armaduras, que alcanzan una merma suficiente tal que impida que la estructura se comporte de acuerdo a las hipótesis con las que ha sido proyectada.

En el caso de la corrosión, tanto por carbonatación como por cloruros, el tiempo total necesario para que el ataque o degradación sean significativos, hasta el punto de no poder utilizarse la misma por temas de seguridad, se expresa como la suma de dos períodos:

$$t_L = t_i + t_p$$

donde t_i *es el período de iniciación de la corrosión, entendiendo como tal, el tiempo que tarda el frente de penetración del agresivo en alcanzar la armadura, provocando el inicio de la corrosión en la misma;*

y t_p *es el período de propagación (tiempo de propagación de la corrosión hasta que se produzca una degradación significativo del elemento estructural).*

3.3 COMPROBACIÓN DE LA DURABILIDAD EN LOS CONTRAFUERTES DE LA GRADA RIO

En la estructura que nos ocupa, los contrafuertes exteriores de los pórticos de la Grada Rio del estadio de Balaidos, se aprecia que en un porcentaje importante se han producido procesos de corrosión avanzado, llegando incluso a ser necesaria la sustitución de barras de acero en algunos puntos inspeccionados, corroborando que en esas áreas se ha superado ya el período de iniciación y se encuentran en período de propagación, de ahí las roturas y exfoliaciones del hormigón detectadas.

En principio, según todos los datos de campo obtenidos en los informes de inspección principal y especial, el agresivo principal es el atmosférico, lo que lleva a una carbonatación del hormigón que envuelve la armadura, perdiendo su pasivación natural embebida en el hormigón (con valores de pH's superiores a 10-12), y favoreciendo su reacción de oxidación.

El mayor problema está en los escasos recubrimientos dejados a la armadura en la construcción de los elementos, ya que la carbonatación alcanza rápidamente la profundidad a la que se encuentra la barra de acero, y esto conlleva que la corrosión de la armadura se produzca en un periodo muy corto.

Si comprobamos el estado límite de durabilidad de forma teórica, aplicando el procedimiento semiprobabilístico indicado en la EHE-08, resulta que para espesores de recubrimiento de 15 mm sobre la armadura, su período de iniciación se ha producido a los 23 años desde la puesta en servicio.

Según el modelo de carbonatación indicado en la EHE-08, el período necesario para que se produzca la carbonatación a una distancia d respecto a la superficie, es el resultado del cuadrado del cociente entre el espesor de recubrimiento en milímetros, d, y un coeficiente de carbonatación, Kc:

$$t = (d/Kc)^2$$

Basándonos en datos teóricos:

- *Estructura expuesta a la lluvia,* $c_{env} = 0,5$;
- *Aire ocluido del hormigón inferior a 4,5 %,* $c_{air} = 0,7$;
- *Cemento Portland tipo CEM I (sin adiciones, probablemente el empleado en la fabricación del hormigón en la época en que se construyó la estructura),* $a = 1.800$ y $b = -1,7$;
- *Considerando un espesor de recubrimiento de 15 mm sobre la armadura,* $d = 15$;
- *Y considerando una resistencia media del hormigón a compresión, sumando 8 N/mm2 a la resistencia característica especificada en proyecto,* $f_{cm} = 20 + 8 = 28\ N/mm^2$

Aplicando la ecuación indicada en la EHE-08 para el modelo de la carbonatación, resulta un tiempo para que se produzca la carbonatación del hormigón en torno a la armadura de unos 23 años.

Recordemos que la puesta en servicio es del año 1982, por lo que han transcurrido 30 años desde su construcción.

Por lo tanto, las patologías encontradas pueden justificarse por este fenómeno de la carbonatación.

Esto indica que la vida útil de la estructura se ha disminuido considerablemente estos últimos años, tal como se ha observado por los daños encontrados en las inspecciones que, aunque todavía no afectan a su capacidad estructural, por encontrarse en fases iniciales y ocupar un porcentaje de superficie de la estructura pequeño todavía, sí hay elementos, aquellos donde mayor incidencia tiene la climatología adversa, en donde se hace urgente la reparación estructural.

3.4 ESTRATEGIA PARA AUMENTAR LA VIDA ÚTIL EN LOS CONTRAFUERTES DE LA GRADA RIO

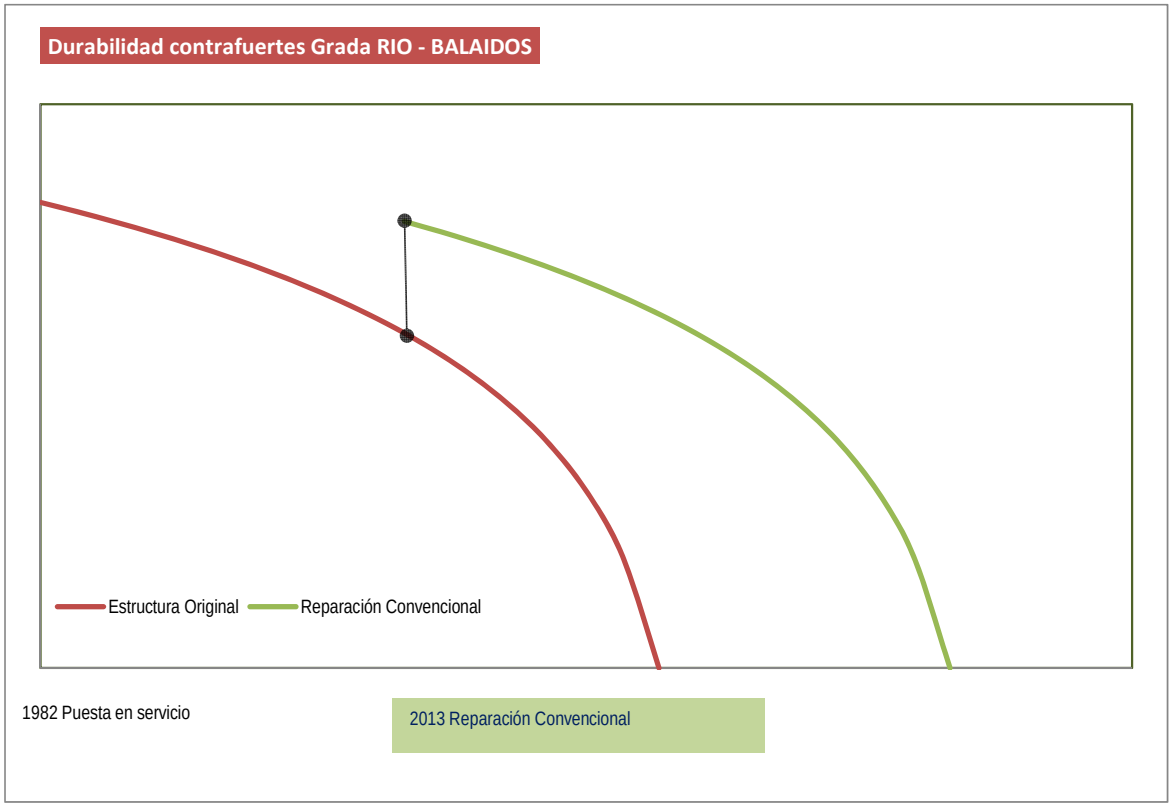
De las distintas posibilidades para llevar a cabo la reparación, se ha optado por la actuación en dos aspectos fundamentales:

- **Reparación estructural** en todos los daños que presenta actualmente la estructura, empleando **morteros especiales** con alta tixotropía y con características especiales que dan a la armadura una protección mucho mayor a la que tendría con morteros de cemento normales, embebiendo las armaduras, actualmente dañadas, previa limpieza y saneo de las

partes corroídas, con, al menos, 20 mm de recubrimiento de mortero tipo R4 según la norma UNE-EN 1504.

- **Protección superficial** de toda la estructura, para aumentar la resistencia a la penetración de la carbonatación y, de esa manera, prolongar la vida útil de la estructura. Las pinturas empleadas deben ser capaces de defender la superficie del hormigón de la entrada de agua y, al mismo tiempo, dejar salir el vapor de agua que se genera en el interior del hormigón por la presencia de humedad y con el efecto de la temperatura, ralentizando de esa manera la penetración de la carbonatación, alargando la vida útil de toda la estructura.

Un esquema visual de la actuación que se pretende, se refleja en el siguiente gráfico:



Se ha definido una vida útil residual de la estructura, a partir de la recepción de la obra e inmediatamente después de concluidas las intervenciones de reparación estructural y de otro tipo de elementos, propuestas en el proyecto, basada en la experiencia que se tiene hasta la fecha y en la recogida en la bibliografía especializada.

Dicho plazo temporal se entiende que es aquél en el que no será necesario realizar nuevas intervenciones de reparación como consecuencia de degradación de los elementos (accidentes aparte). Eso no significa que no haya degradación, imposible detener pero sí minimizar, sino que no se considera

necesario intervenir aún. Tampoco ese plazo constituye un tope exacto de vida del elemento, puesto que es posible que la evolución general de la estructura resulte más favorable, en especial si se realizan correctamente las operaciones de mantenimiento rutinario (especialmente limpieza de zonas de evacuación de agua para no presentar zonas de acumulación sobre partes estructurales que aceleren los procesos). Se plantean los siguientes valores:

- Pilas y vigas al exterior (elementos estructurales de hormigón): 15 años.
- Estructura metálica de cubierta: 15 años.
- Pintura de protección: 8 años.
- Juntas: 10 años.
- Instalación eléctrica: 10 años.

Periodicidad de inspecciones:

Se estima que las inspecciones principales deben realizarse cada cinco años, tal como aconseja toda la bibliografía recogida por los autores para estructuras de hormigón armado. Sólo si el resultado de la inspección señalase la necesidad de aumentar la frecuencia, se prescribiría la siguiente inspección a los dos años o incluso menos.