

DOCUMENTO N° 1. MEMORIA Y ANEJOS

ANEJO N° 6. CLIMATOLOGÍA, HIDROLOGÍA
Y DURABILIDAD DE LOS MATERIALES

Contenido

1	ESTUDIO CLIMÁTICO	5
1.1	DATOS DEL ESTUDIO	5
1.1.1	Situación geográfica.....	5
1.1.2	Temperaturas	5
1.1.3	Precipitaciones	9
1.1.4	Heladas.....	12
1.1.5	Vientos	13
1.1.6	Mareas.....	15
1.2	CONCLUSIONES DEL ESTUDIO CLIMÁTICO	15
2	ESTUDIO DE DURABILIDAD DE MATERIALES	16
2.1	INTRODUCCIÓN.....	16
2.2	ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE DURABILIDAD	17
2.3	VIDA ÚTIL DESEABLE	17
2.4	MORTEROS EN OBRAS DE REPARACIÓN	17
2.5	ELEMENTOS METÁLICOS	17

1 ESTUDIO CLIMÁTICO

1.1 DATOS DEL ESTUDIO

1.1.1 Situación geográfica

La estructura objeto del presente proyecto se encuentra en el PK 079/036 de la línea Bilbao-Donostia, en el municipio de Zumaia, y salva el río Urola en su tramo final.



Figura 1. Ubicación del puente objeto del Proyecto

Para el estudio del entorno climático de la zona de ubicación del puente, se han recogido y analizado los datos de la estación meteorológica de Igueldo, San Sebastián, debido a su proximidad a la zona de estudio

Los datos utilizados en la redacción de este anejo se han extraído del Instituto Nacional de Meteorología del Ministerio de Medio Ambiente.

Puente sobre el río Urola en el PK 079/036 :

Latitud: 43° 17' 30.10" N

Longitud: 02° 14' 41.40" W

Altura: 4 m

Estación de Igueldo, San Sebastián:

Latitud: 43° 18' 27" N

Longitud: 02° 02' 22" O

Altura: 251 m

1.1.2 Temperaturas

En las siguientes figuras 2, 3, 4 y 5 se representan las temperaturas extremas y las temperaturas medias en la estación de Igueldo. Las temperaturas máximas y mínimas se refieren al periodo estudiado mientras que el intervalo de registro de las temperaturas medias comprende el periodo 1981-2010.

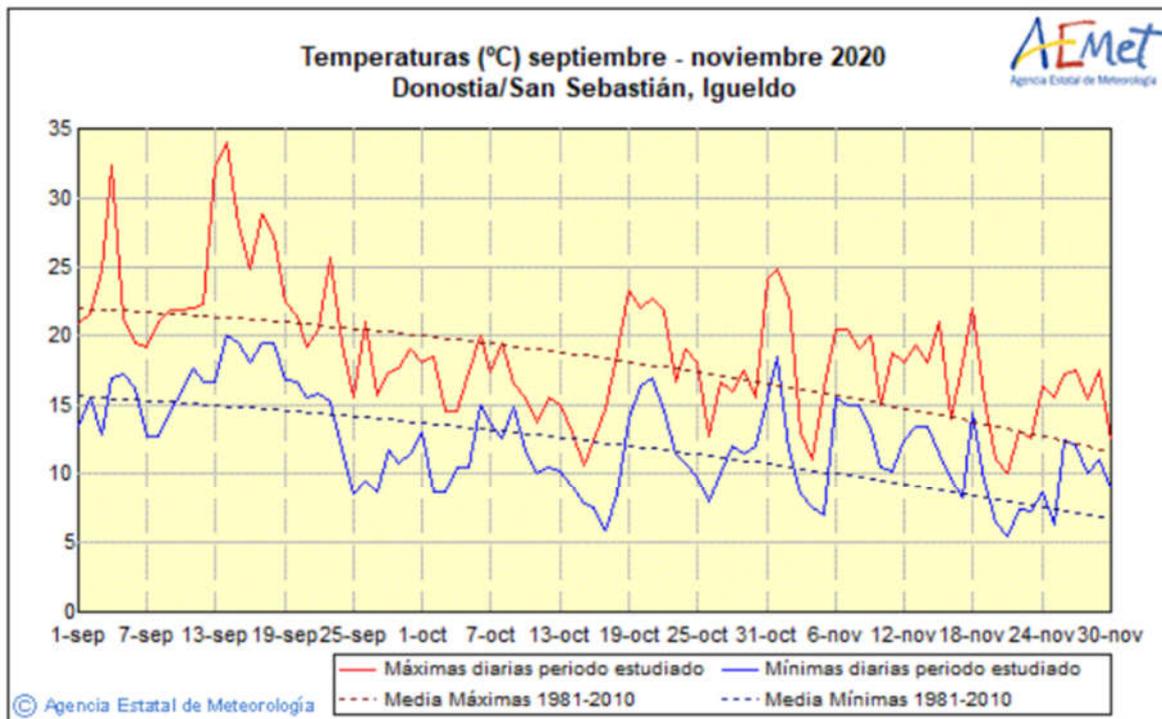


Figura 2. Temperaturas extremas y medias. Estación de Igueldo, San Sebastián. Periodo septiembre-noviembre 2020

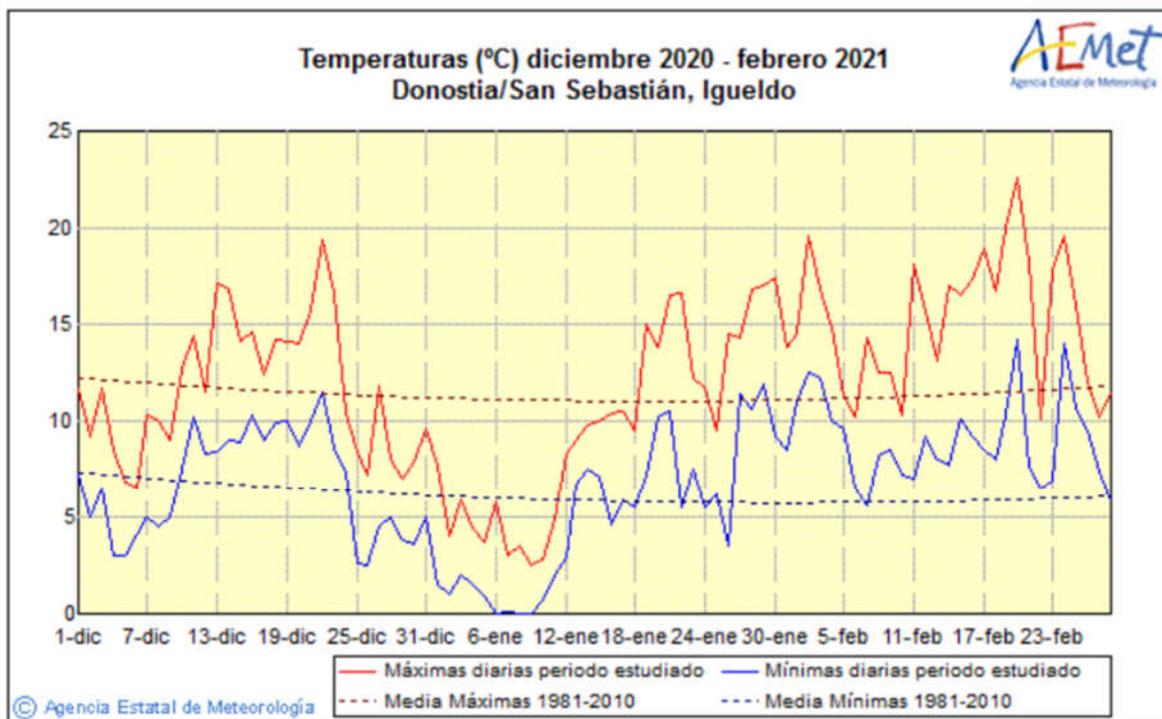


Figura 3. Temperaturas extremas y medias Estación de Igueldo, San Sebastián. Periodo diciembre 2020 - febrero 2021

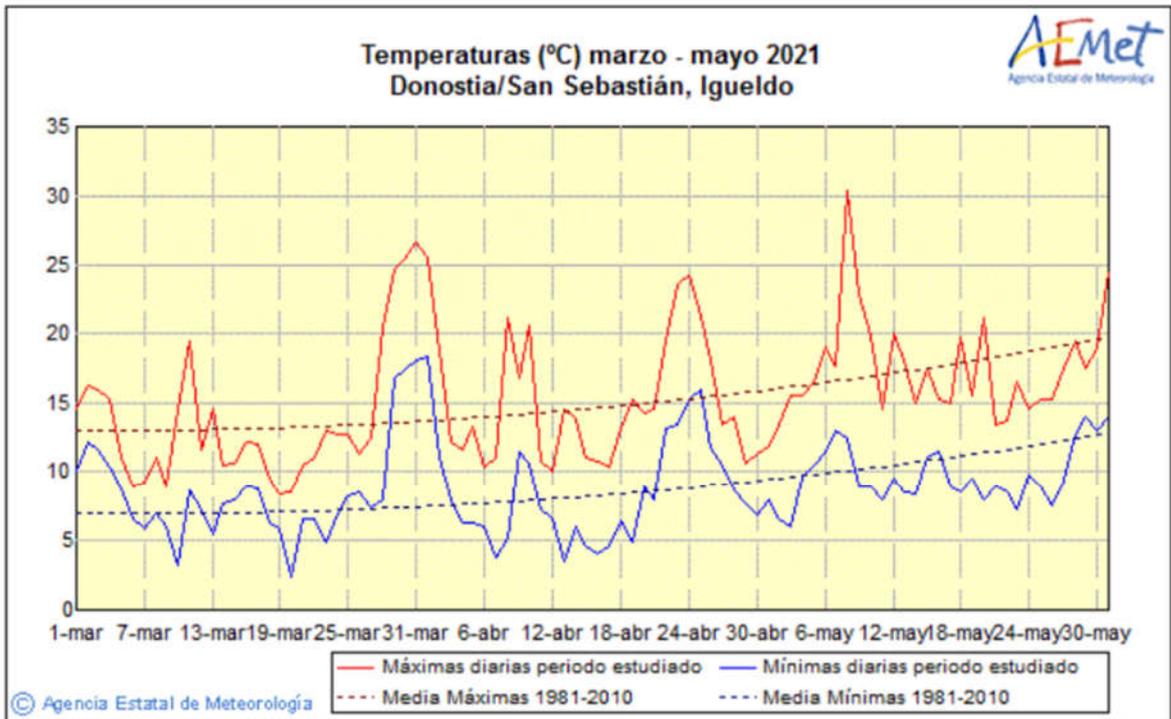


Figura 4. Temperaturas extremas y medias. Estación de Igeldo, San Sebastián. Periodo marzo-mayo 2021

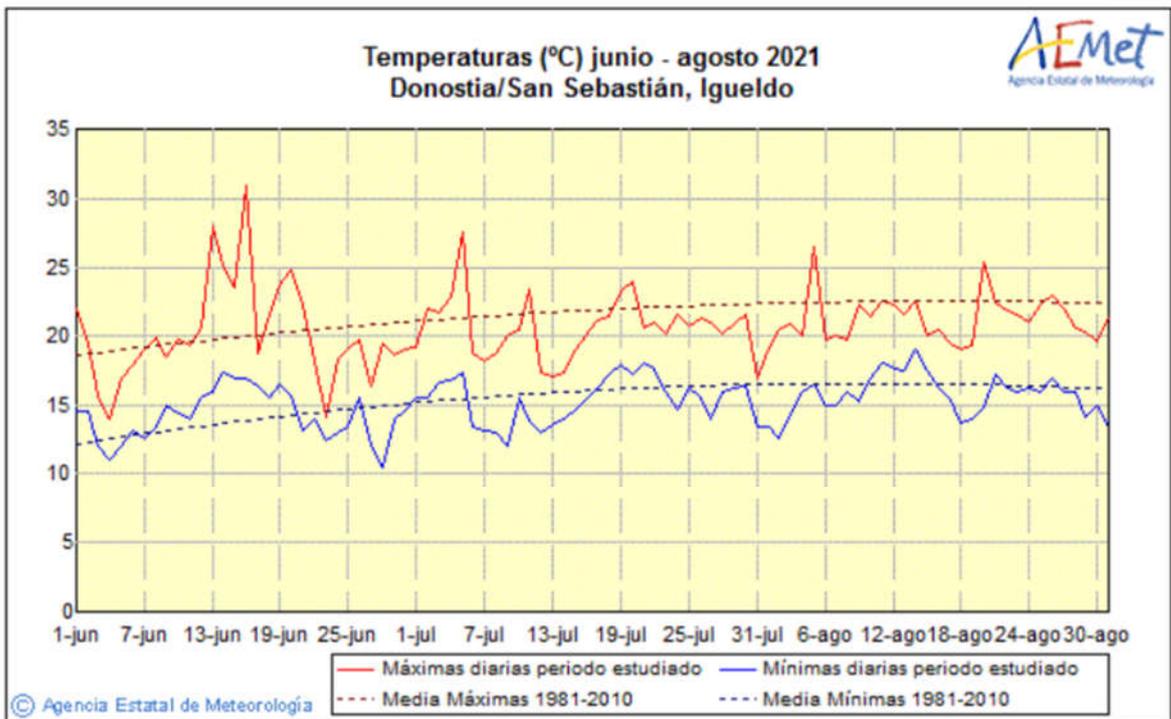


Figura 5. Temperaturas extremas y medias. Estación de Igeldo, San Sebastián. Periodo junio-agosto 2021

En la figura 6 se representa las medias mensuales de temperaturas y precipitaciones en la estación de Igeldo. El intervalo de registros de temperaturas y precipitaciones comprende el periodo 1971-2010.

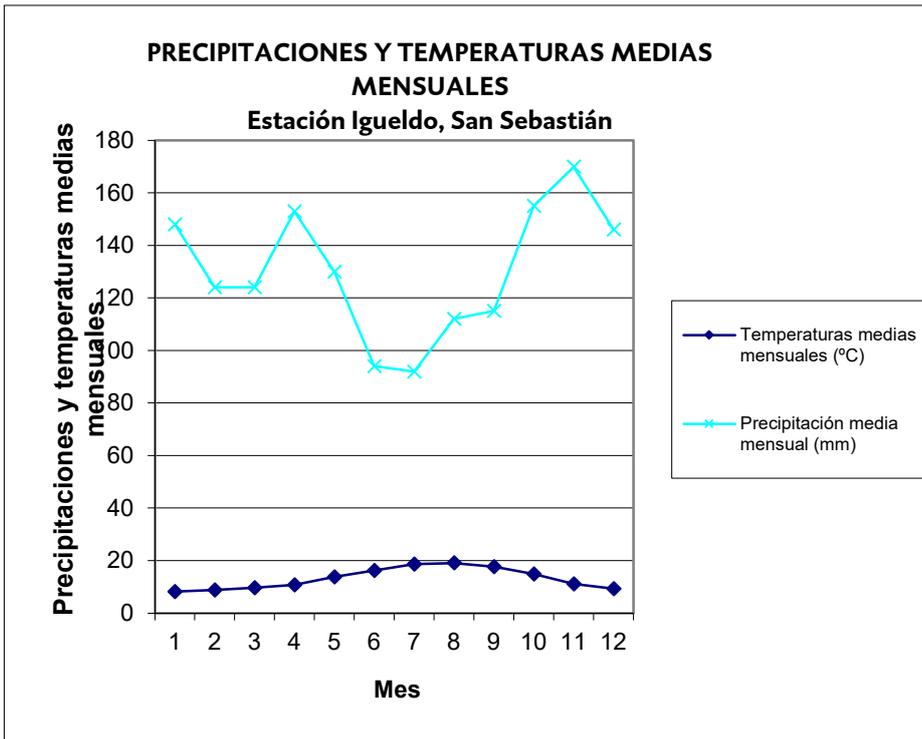


Figura 6. Media mensual de temperaturas y precipitaciones Estación de Igueldo, San Sebastián Periodo 1971-2000.

En la figura 7 se recogen los valores de las temperaturas medias más altas y más bajas de la estación anterior:

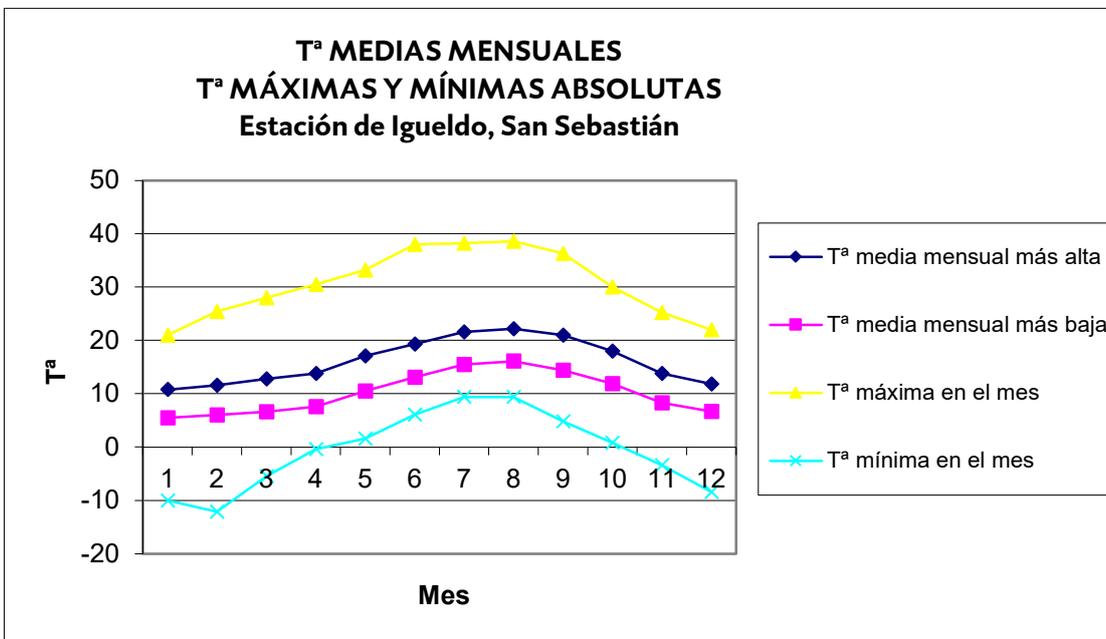


Figura 7. Temperaturas medias y extremas. Estación de Igueldo, San Sebastián. Periodo 1971-2010.

Del análisis de esta figura se observa que no se han registrado valores por debajo de -12.1°C. En cuanto a la media máxima, se da en el mes de agosto, alcanzando 22,20°C.

1.1.3 Precipitaciones

En las siguientes figuras 8, 9, 10 y 11 se representan los valores de precipitaciones extremas y los valores de precipitaciones medias en la estación de Igueldo. Los valores de precipitaciones máximas y mínimas se refieren al periodo estudiado mientras que el intervalo de registro de los valores de precipitaciones medias comprende el periodo 1981-2010.

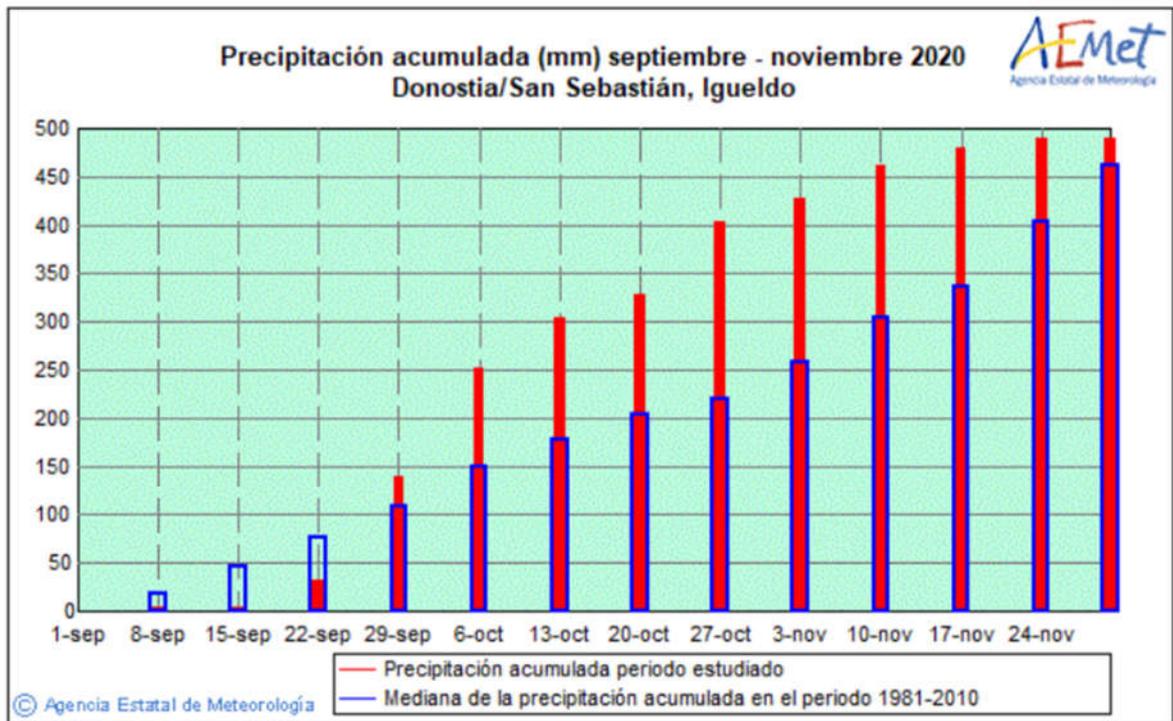


Figura 8. Precipitaciones extremas y medias. Estación de Igueldo, San Sebastián. Periodo septiembre-noviembre 2020

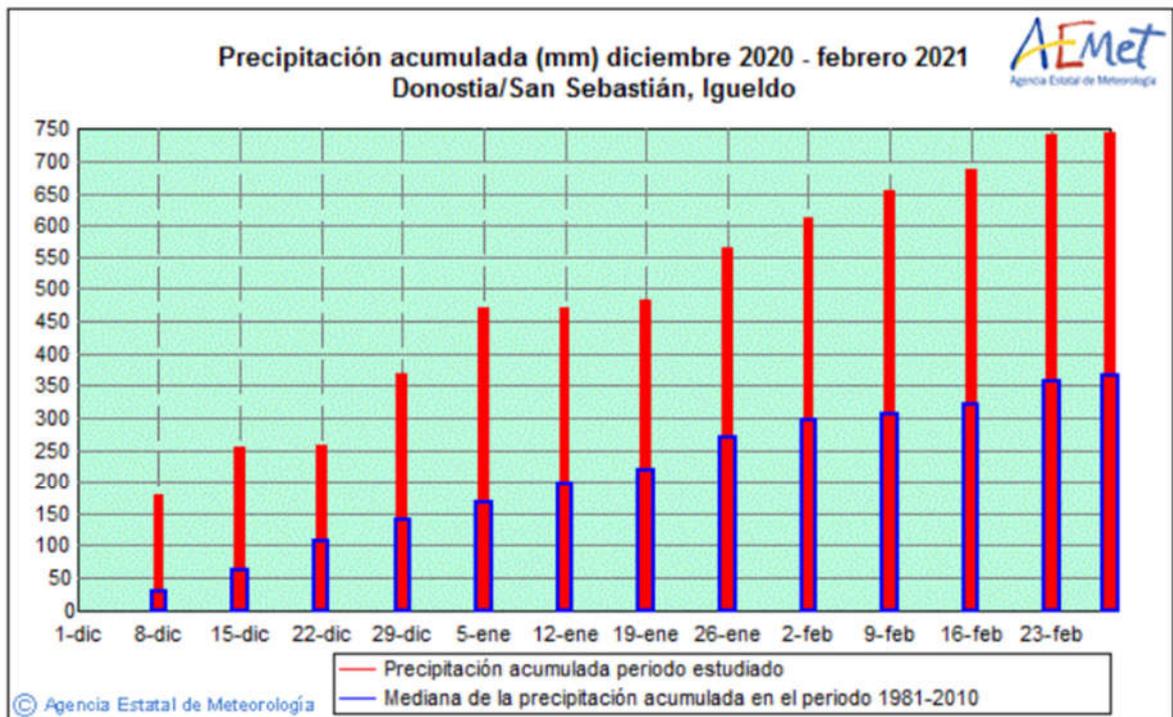


Figura 9. Precipitaciones extremas y medias. Estación de Igueldo, San Sebastián. Periodo diciembre 2020-febrero 2021

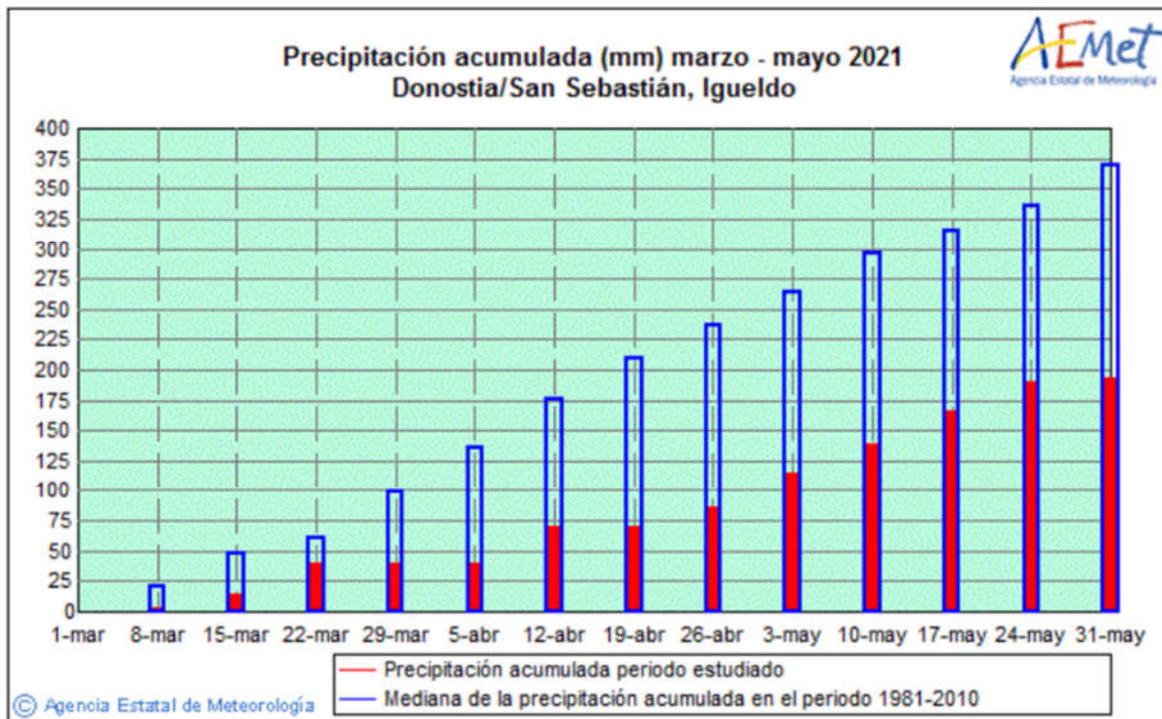


Figura 10. Precipitaciones extremas y medias. Estación de Igueldo, San Sebastián. Periodo marzo-mayo 2021

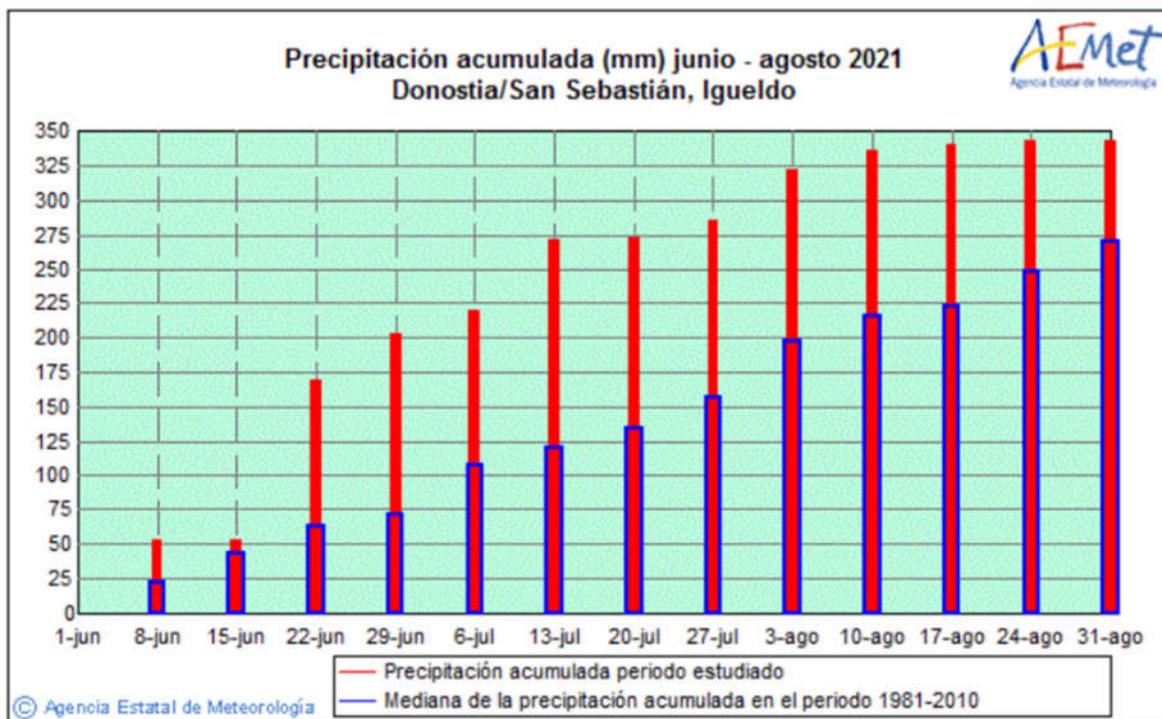


Figura 11. Precipitaciones extremas y medias. Estación de Igueldo, San Sebastián. Periodo julio-agosto 2021

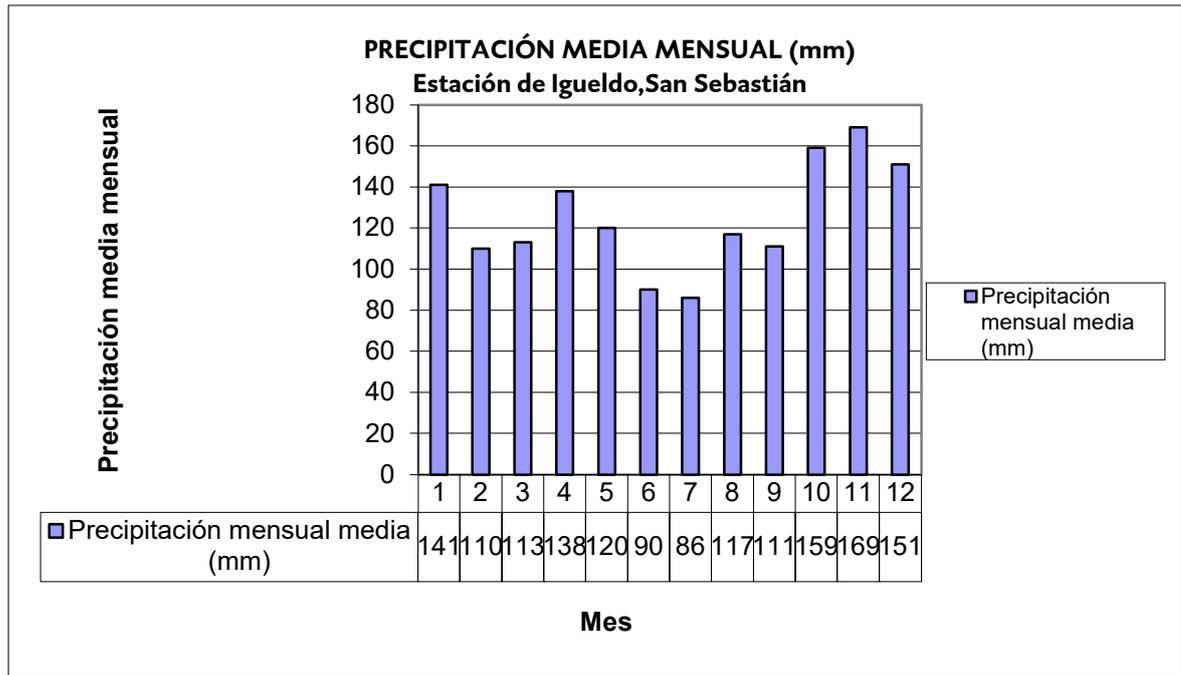


Figura 12. Precipitación Mensual Total. Valores en la estación de Igueldo, San Sebastián.

La precipitación anual total es de 1507 mm, siendo julio el mes menos lluvioso.

La figura 13 recoge el número medio de días al mes del tipo de precipitación, según se produzca ésta en forma de lluvia, tormenta o nieve. El porcentaje de días de lluvia por año se encuentra en torno al 38,66%. En cuanto al porcentaje de días de tormenta, está alrededor de un 7,48%. En cuanto al porcentaje de días de nieve es de un 1,10 %.

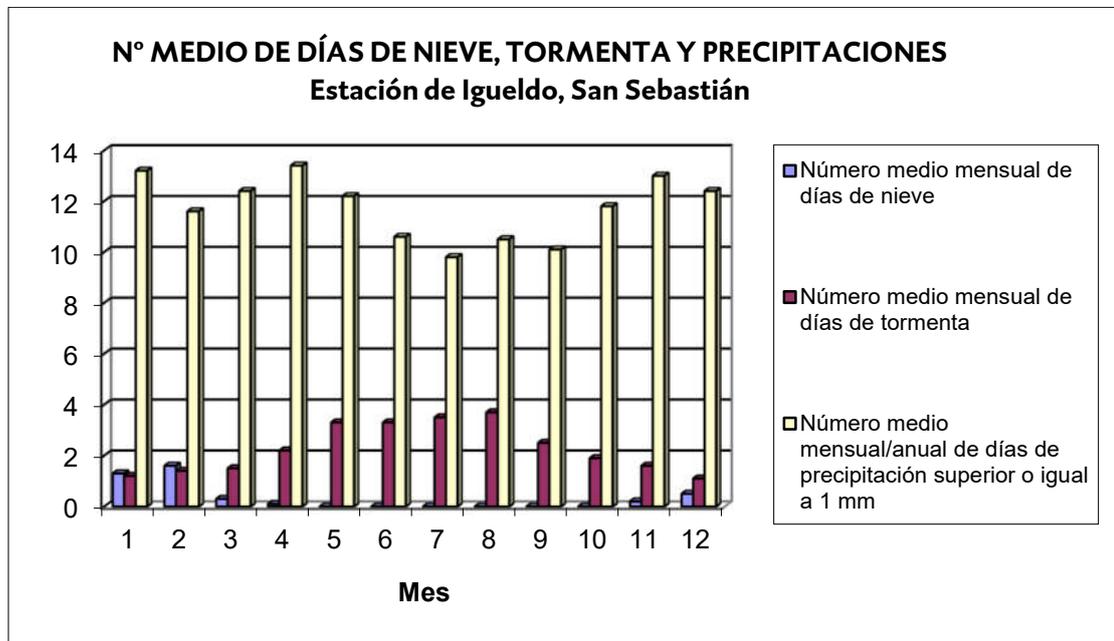


Figura 13. Número medio de días al mes de los tipos de precipitación. Guipúzcoa

1.1.4 Heladas

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

En el gráfico siguiente se puede apreciar que el número total de días de helada al año es de 7 días.

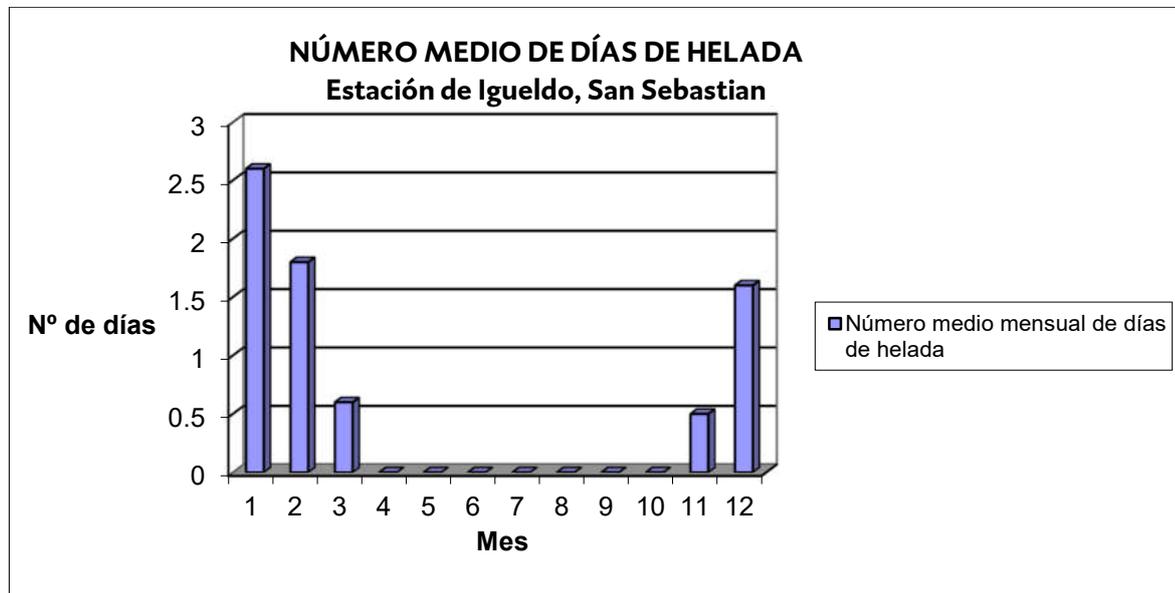


Figura 14. Número medio de días al mes de helada. Guipúzcoa

La tabla que se presenta a continuación es un resumen de los datos climáticos más significativos.

TEMPERATURA

Media de la máxima media mensual	16,5 °C
Media de la mínima media mensual	10,6 °C
Media anual	13,6 °C

PRECIPITACIÓN

Precipitación total anual	1507 mm
Precipitación media mensual	125,42 mm
Máxima precipitación media mensual	169 mm
Mínima precipitación media mensual	86 mm
Nº de días de lluvia al año %	38,66

HELADAS

Días de helada anual	7
----------------------	---

1.1.5 Vientos

A continuación se realiza un estudio del viento en Zumaia con el objetivo de determinar la velocidad de viento por encima de la cual es necesario retirar el encapsulado de la cimbra para evitar el riesgo de afecciones a la estructura como consecuencia del incremento de la superficie opaca del puente.

Se muestra a continuación una gráfica con la distribución de las velocidades de viento en función de los meses del año en Zumaia.

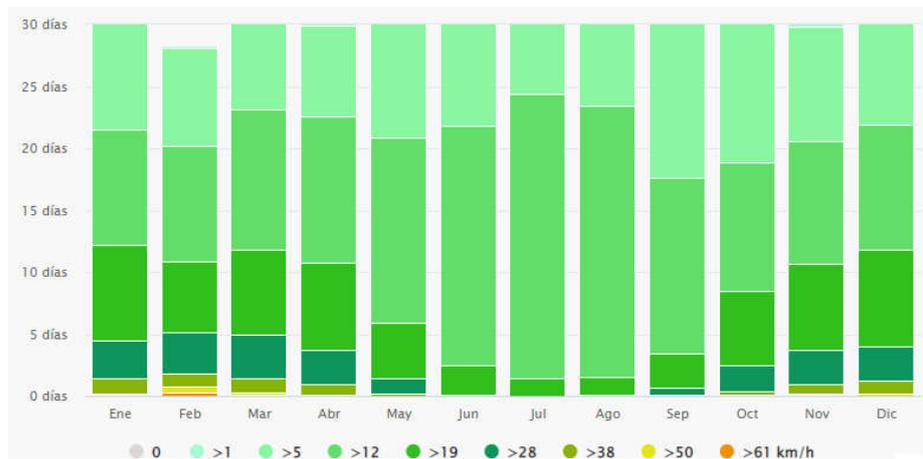


Figura 15. Distribución de las velocidades de viento a lo largo del año. Zumaia

Como se puede apreciar en la gráfica anterior:

- las velocidades de viento rara vez superan los 50 Km/h (13,89 m/s)
- La velocidad de viento predominante varía entre los 5 y 38 Km/h (1,39 y 10,56 m/s) a lo largo del año.

Sin embargo, no está clara la ubicación de las mediciones de estas velocidades de viento, que no son altas, como se puede apreciar. Por ello, dado que la instrucción IAPF establece unas velocidades de viento para el dimensionamiento y comprobación de estructuras claramente superiores, serán éstas las que se utilicen.

De esta manera, como se puede apreciar en la imagen siguiente, para Zumaia corresponde una velocidad de referencia de viento de 28 m/s, que es superior a los registros indicados anteriormente. Esta velocidad de referencia de viento es la velocidad media del viento a lo largo de un periodo de diez minutos, medida en una zona plana y desprotegida frente al viento equivalente, en un entorno tipo II a una altura de diez metros, y para un periodo de retorno de cincuenta años.



Figura 16. Mapa de isotacas para la obtención de la velocidad de referencia del viento. IAPF

Esta velocidad de viento de referencia es modificada por la instrucción en función de la topografía, del periodo de retorno, de la altura a la que se encuentre la estructura y a las ráfagas de viento, obteniéndose así la velocidad de cálculo.

Esta velocidad de cálculo es la máxima velocidad de ráfaga que puede afectar a cualquier elemento del puente, durante el periodo de retorno considerado.

En nuestro caso esta velocidad de cálculo de viento durante las fases de trabajo es de 34,02 m/s.

Según la imagen siguiente extraída de la web de AEMET, la velocidad máxima registrada en la estación Igueldo, cercana al Zumaia, es de 187 km/h (51.94 m/s) el 15 de enero de 1975.

Donostia/San Sebastián, Igueldo

Latitud: [43° 18' 23" N](#) - Longitud: [2° 2' 28" O](#)
 Altitud: 251 m - Posición: [Ver localización](#)
 Intervalos de validez por variables:
 Precipitación: 1928-2021 Temperatura: 1928-2021 Viento: 1939-2021

Variable	Anual
Racha máx. viento: velocidad y dirección ...	Vel 187, Dir 160 (15 ene. 1975 10:10)

Figura 17. Racha máxima de viento. Estación de Igueldo.

Como se puede apreciar la velocidad de cálculo (34,02 m/s) es inferior a la velocidad de racha máxima registrada en la estación de Igueldo (51,94 m/s).

Destacar que esta comparativa no es completamente real ya que la estación de Igueldo no se encuentra exactamente en la ubicación del puente, por lo que sólo debe tomarse estos datos como valor orientativo.

Por tanto, a partir del análisis realizado, se considera que la velocidad que más se puede aproximar a la realidad en el punto de ubicación de la estructura es la indicada en la IAPF, con lo que la velocidad de viento considerada como límite para la retirada del encapsulado del andamio es de 34,02 m/s. Para velocidades de viento superiores, será necesario retirar el encapsulado y, si la Dirección de Obra lo considera necesario, incluso puede ser necesaria la retirada del andamio.

1.1.6 Mareas

A continuación se realiza un estudio de las mareas registradas en Zumaia para poder determinar la cota a partir de la cual se debe disponer el andamio de la pila, de forma que no se vea afectado por las mareas y, de esta manera, nunca queda sumergido frente a la máxima carrera de marea.

Según los datos obtenidos de la página web del Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente del Gobierno Vasco, el puerto de Zumaya tiene una carrera de marea de 4,5m.

La siguiente imagen, obtenida del visor de la página web de GeoEuskadi, muestra un corte del terreno a lo largo del puente:

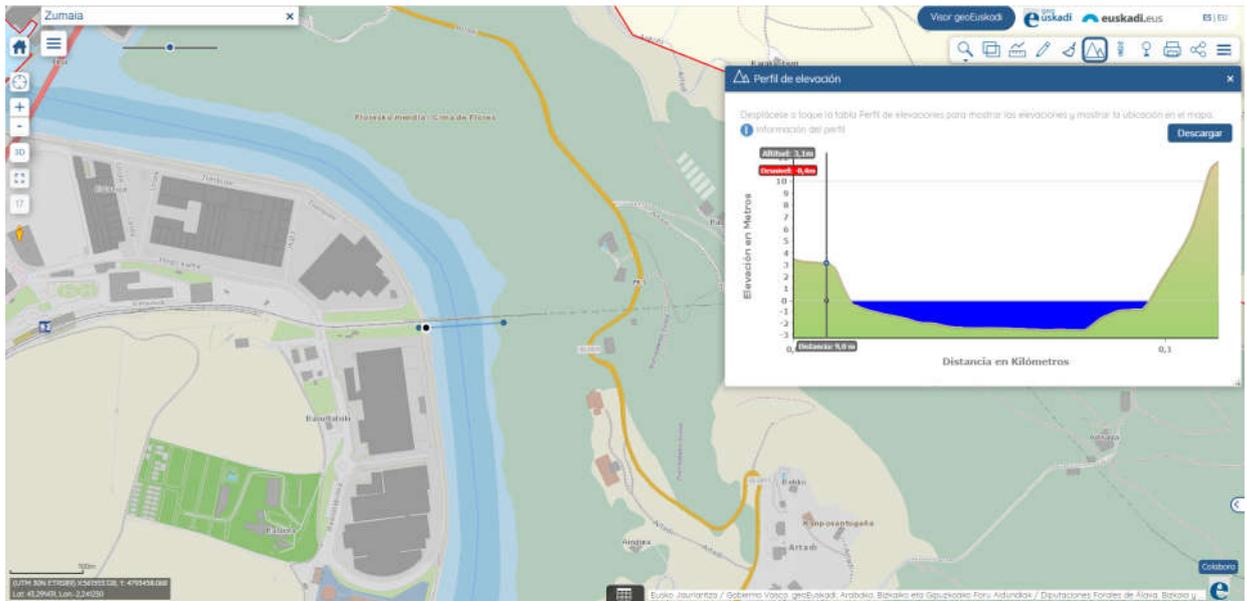


Figura 18. Sección del terreno. GeoEuskadi

Como se puede apreciar, el paseo peatonal y ciclista que se encuentra junto al puente tiene una elevación de 3,10 m aproximadamente y no es inundable frente a la carrera máxima de marea. De hecho, durante las inspecciones in situ realizadas, se ha podido comprobar que el agua queda lejos de la cota del paseo, con lo que ésta es una referencia importante para poder determinar la cota inferior del andamio de la pila.

Así, se establece esta cota como nivel máximo de agua con carrera de marea máxima de 2,70 m, que son 40 cm por debajo de la cota del paseo en el punto de ubicación de la estructura, lo que se considera conservador teniendo en cuenta la cota de agua observada. Por debajo de este valor no se pueden disponer los andamios de la pila ya que podrían quedar inundados bajo la lámina de agua.

1.2 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO CLIMÁTICO

La zona donde se ubica el puente posee un clima oceánico, se extiende por la cornisa cantábrica y la costa gallega, con una penetración hacia el interior que apenas supera, y no siempre, los 100 km. Entre los climas peninsulares ofrece el régimen menos contrastado. Mes a mes se mantiene un ritmo constante en las precipitaciones, humedad, temperaturas, insolación, etc.

Las precipitaciones son muy abundantes (1507 mm anuales) y las temperaturas son suaves (13,6 °C de media). Los inviernos son suaves y los veranos frescos con una oscilación térmica anual de 6,0 °C entre las medias máximas y mínimas en el mes. Las precipitaciones están bien distribuidas: llueve todos los meses del año, siendo noviembre el mes más lluvioso.

Se ha identificado el clima según la clasificación de Köppen. La zona de estudio se trata de un clima templado con precipitaciones constantes y verano suave, denominado también clima oceánico, como se

ha comentado anteriormente, con precipitaciones constantes y temperaturas suaves a lo largo de todo el año (Cfb).

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 este caso, para una temperatura media de 13,6°C y una precipitación total anual de 1507 mm, se puede adoptar un valor del ITP de 0,90.

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 (1507 mm de precipitación media total anual). Este hecho hace 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 los desplacados y exfoliaciones.
- Dada la existencia de 7 días al año con helada, se considera improbable el hecho de que se produzcan ataques de hielo-deshielo.
- Se establece que los 34,02 m/s velocidad límite para el desmontaje del encapsulado del andamio principal de la estructura.
- El andamio de la pila nunca podrá disponerse por debajo de los +2,70 m para evitar que pueda quedar situado bajo la lámina de agua con carrera máxima, tomando como referencia que la cota del paseo de servicio anexo al puente es la +3,10 m.

2 ESTUDIO DE DURABILIDAD DE MATERIALES

2.1 INTRODUCCIÓN

El presente apartado comprende las consideraciones y planteamientos relativos a la estrategia de durabilidad planteada, con objeto de conseguir un comportamiento adecuado del puente frente a las acciones no mecánicas que actúan sobre él.

Es necesario tener en cuenta las especiales características de la zona en que se ubica el puente, pues puede estar sometido al ataque de cloruros por la proximidad de la costa y la acción directa del agua de mar, pudiendo sufrir cualquiera de los siguientes fenómenos: corrosión en ambiente de aire y agua, ataque químico por sales disueltas en el agua (cloruros) y, aunque poco probable, el ataque químico-biológico.

En este sentido, es preciso tener en cuenta que la estructura apenas tiene elementos de hormigón, con lo que el ataque por cloruros a este tipo de elementos pierde importancia, dado que la estructura resistente es de fábrica y acero. Los únicos elementos de hormigón armado es la meseta de apoyo para la celosía central en pila y los dados de hormigón de apoyo de las celosías en los estribos.

2.2 ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE DURABILIDAD

Las condiciones ambientales son especialmente desfavorables en el caso del acero estructural ya que, una vez que se ha perdido la capa de protección del mismo la exposición en un ambiente húmedo provoca la aparición de corrosión, que se puede ver agravada por la presencia de cloruros de origen marino.

A partir de la caracterización geométrica de la estructura, y a la vista de los resultados de la inspección efectuada, se puede concluir que el ambiente en el que se encuentra ubicado el puente (ambiente con agresividad C4 de acuerdo con UNE-EN ISO 12.944-2) influye en el estado general de la estructura frente a los mecanismos de degradación, y en el caso del tramo metálico el estado de deterioro es avanzado, observándose en determinados puntos del mismo importantes corrosiones con pérdidas de sección, sobre todo, en los mamparos de pila y estribo 2.

2.3 VIDA ÚTIL DESEABLE

En los apartados anteriores se han identificado las condiciones ambientales que podrían resultar agresivas sobre la estructura. A la vista de las características de cada elemento, y en relación a su posible reposición y el riesgo asociado a su fallo, se puede estimar un período de vida útil deseable para el mismo.

A partir de lo anterior, se ha adoptado una vida útil de proyecto para la estructura de 50 años, aunque es evidente que para ello es necesario realizar tareas de mantenimiento ordinarias y especializadas, sobre todo, en el caso de la pintura, que no presenta una durabilidad superior en torno a los 15-20 años.

La durabilidad de los materiales comprende los siguientes, que son los que se van a emplear en el presente proyecto de reparación:

- Morteros en obras de reparación para elementos de fábrica.
- Elementos metálicos.

2.4 MORTEROS EN OBRAS DE REPARACIÓN

El mortero utilizado en las obras de reparación de fábrica será un mortero mixto de cal y cemento blanco bajo en sales en proporción 1:5 (cemento- cal dosificación en volumen). Este material asegura un alto grado de compatibilidad con la fábrica. Es especialmente importante que se emplee cal o cementos bajos en sales para evitar fenómenos de rotura en la fábrica por procesos expansivos de las sales de los cementos.

2.5 ELEMENTOS METÁLICOS

Los elementos metálicos estructurales y no estructurales se han proyectado en aceros convenientemente protegidos. Los perfiles de acero existentes se sanearán y se protegerán mediante pintura según se indica en el pliego de prescripciones técnicas particulares.

Las propiedades de la pintura considerada para la protección de la estructura se corresponden con un ambiente de agresividad C5 Hihg, superior al realmente existente, del lado de la seguridad. Las características de la pintura son las siguientes:

- Antes de aplicar la imprimación y después de realizado el chorreado y limpieza deberán sellarse todas las juntas, oquedades metálicas o espacios entre paquetes de chapas susceptibles de provocar acumulación de agua y futuras corrosiones con un producto elástico de poliuretano SIKAFLEX 11 FC de aplicación con pistola de silicona o con medios manuales. En caso necesario, se realizará también una regularización del perfil o chapa metálica con Betopox 920 P o similar, que es un adhesivo estructural bicomponente a base de resinas epoxi sin disolventes y cargas seleccionadas, tixotrópico, especialmente diseñado para el pegado de materiales de construcción.

- **IMPRIMACIÓN:**
Aplicación de una capa de 240 micras de SIGMAFAST 278: sistema anticorrosivo a base de resina epoxi pigmentada. Aplicación con airless neumática con un orificio de boquilla entre 0.46 – 0.53 mm.
- **PINTURA DE ACABADO:**
Antes de aplicar esta capa de protección se asegurará una limpieza de la superficie mediante el baldeo con agua eliminando todas las suciedades que se hayan podido generar por el paso del tiempo desde la aplicación de la capa previa de imprimación.
Aplicación de una capa de 80 micras de SIGMADUR 550H con el color RAL final elegido. Se trata de producto de acabado de poliuretano alifático resistente a los rayos ultravioleta de dos componentes.
Aplicación con airless neumática con un orificio de boquilla entre 0.43 – 0.48 mm.
Este producto se aplicará siempre cumpliendo las especificaciones de humedad y temperatura prescritas por el fabricante en su ficha técnica.