
5. ERANSKINA.- EGITURAK

ANEJO 5.- ESTRUCTURAS

ÍNDICE

ANEJO 5.- ESTRUCTURAS

A.- PASARELA

- 1.- Introducción y descripción de la pasarela
- 2.- Bases de proyecto
- 3.- Acciones
- 4.- Valores representativos de las acciones
- 5.- Valores de cálculo de las acciones
- 6.- Valores de cálculo de las acciones
- 7.- Materiales
- 8.- Metodología y cálculos justificados
- 9.- Contraflechas
- 10.- Prueba de carga
- 11.- Proceso constructivo
- 12.- Durabilidad y mantenimiento de las estructuras
- 13.- Estribos y cimentaciones

Anexo.- Cálculo del tablero de la Pasarela

B.- PANTALLA DE CARRILES HINCADOS

C.- ANCLAJE BARANDILLAS

A.- PASARELA

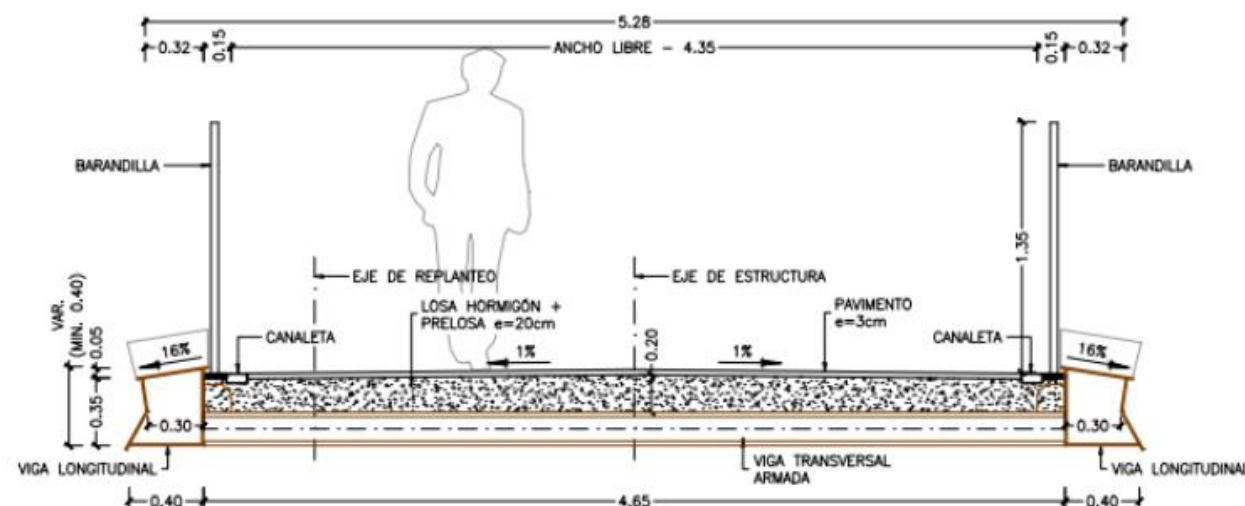
1. INTRODUCCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA PASARELA

La pasarela objeto del proyecto da continuidad al itinerario ciclista peatonal que discurre por la margen izquierda del río Bidasoa, y sustituye a una pasarela de hormigón que no cumple con la normativa de accesibilidad.

La solución propuesta consiste en una estructura metálica de un único vano, de 16,50m de luz. Los estribos se han proyectado de hormigón. El ancho libre de la pasarela es de 4,35m, respetando el ancho libre mínimo de 3,0 m, condicionante del proyecto. El tablero está formado por una sección de acero corten formada por dos vigas longitudinales simétricas situadas en paralelo. El canto de las vigas es variable, desde 0,40m a 0,60m en centro de vano.

La sección resistente de las vigas longitudinales está formada por dos platabandas, superior e inferior, de ancho y espesor variable. Las almas laterales tienen un espesor de 10mm. Los diafragmas intermedios transversales están espaciados cada 2,0 m

El tránsito peatonal se resuelve mediante una losa de hormigón armado de 0,15 m de espesor apoyada en unas prelosas, cuyo espesor es de 0,05m. Las prelosas se apoyan sobre vigas transversales espaciadas cada 2,0 m, que coinciden con la posición de los diafragmas transversales. Las vigas transversales son tipo HEB -180, salvo en los estribos donde se ha proyectado una viga armada.



2. BASES DE PROYECTO

2.1 Normativa y documentación considerada

Para la realización de este proyecto se ha tenido en cuenta la siguiente normativa:

- R.D.470/2021 – Por el que se aprueba el Código Estructural. (2021)
- RPM-95 – Recomendaciones para el proyecto de puentes metálicos. Ministerio de Fomento (1995).
- UNE EN 1993-2 – Calculo de estructuras de acero. Parte 2: Puentes metálicos (2006).
- IAP-11. Instrucción de las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera. Ministerio de Fomento (2011).
- Guía de cimentaciones en obras de carretera. Ministerio de Fomento (2004).
- Recomendaciones para el proyecto de puesta en obra de los apoyos elastoméricos para puentes de carretera. MOPU 1982.
- UNE-EN 1337-3 Apoyos estructurales. Parte 3: Apoyos elastoméricos.
- Recomendaciones para la realización de pruebas de carga de recepción en puentes de carretera. Ministerio de Fomento (1999).

3. ACCIONES

3.1 Valores característicos de las acciones

Con carácter general se han seguido los criterios especificados en la Instrucción sobre las acciones en el proyecto de puentes de carretera IAP-11.

3.2 Acciones permanentes

Se refiere al peso de los elementos que constituyen la obra, y se supone que actúan en todo momento, siendo constante en magnitud y posición. Están formadas por el peso propio y la carga muerta.

Peso propio tablero metálico

- La carga se deduce de las mediciones finales de la estructura, considerando para el acero el valor del peso específico de $78,5 \text{ kN/m}^3$.

Peso propio de la losa

- El peso propio de la losa, de 20cm de espesor máximo de hormigón, es de 5 kN/m^2 .

Carga Muerta

- Se ha considerado una densidad de 23 kN/m^3 del pavimento superior de 3cm de espesor. Por lo que la carga considerada es de $23 \times 0,03 = 0,69 \text{ kN/m}^2$.
- El peso total de las barandillas se ha estimado en $2,75 \text{ kN/m}$.

3.3 Acciones debidas al terreno

En este apartado se consideran las acciones originadas por el terreno natural o de relleno, sobre los elementos de la pasarela en contacto con él, en este caso corresponde a los estribos y muros.

El empuje es función de las características del terreno y de la interacción terreno estructura. En el presente proyecto, se ha considerado una densidad de 18,0 kN/m³.

Se incluye en esta acción la posible presencia de sobrecargas de uso, actuando en la coronación de los terraplenes, que ocasionan un incremento de los pesos y empujes transmitidos por el terreno al elemento portante. La actuación de estas sobrecargas se considerará como una acción variable y de valor 5,0 kN/m².

Para el cálculo de los empujes del terreno se ha empleado un ángulo de rozamiento interno del relleno de valor $\phi=30^\circ$ y cohesión igual a 0,0.

3.4 Acciones variables

3.4.1 Sobrecarga de uso

Acorde a la IAP-11 para la determinación de los esfuerzos estáticos de la sobrecarga de uso debida al tráfico de peatones, se ha de considerar la acción simultánea de las cargas siguientes.

- Una carga vertical uniformemente distribuida de 5,0 kN/m².
- Una fuerza horizontal longitudinal de valor igual al 10% del total de carga vertical uniformemente distribuida, actuando en el eje del tablero al nivel de la superficie del pavimento. Esta carga será de $0,1 \cdot 12,50 = 1,25$ kN/m.

A efectos de las comprobaciones locales, se ha considerado una carga vertical puntual de 10 kN, actuando sobre una superficie cuadrada de 0,10 m de lado.

3.5 Viento

La obtención de la carga equivalente de viento se efectúa de acuerdo con la Instrucción sobre las acciones a considerar en puentes de carretera IAP-11, concretamente en su apartado 4.2.

El primer paso consiste en la obtención de la velocidad básica del viento para un periodo de retorno de 50 años (V_b).

$$V_b = c_{dir} c_{season} \cdot V_{b,0}$$

Donde,

- c_{dir} : Factor de dirección, que a falta de estudios más precisos puede tomarse igual a 1,0
- c_{season} : Factor estacional, que a falta de estudios precisos puede tomarse igual a 1,0
- $V_{b,0}$: Velocidad básica fundamental del viento (m/s)

La ciudad de Irun se encuentra dentro de la “zona C” del mapa de isotacas, por lo que $V_{b,0}$ es igual a 29,0 m/s (figura 4.2-a en IAP-11).

La velocidad básica del viento para un periodo de retorno T es:

$$V_b(T) = V_{b,0} \cdot c_{prob}$$

A falta de estudios específicos, se tomará un periodo de retorno de 100 años para situaciones persistentes ($c_{prob} = 1,04$).

Por tanto, para un periodo de retorno de 100 años, la velocidad básica del viento es:

$$V_b(100) = 29,0 \cdot 1,04 = 30,16 \text{ m/s}$$

La velocidad media del viento ($V_m(z)$) a una altura z sobre el terreno es:

$$V_m(z) = c_r(z) \cdot c_o \cdot V_b(100)$$

Donde,

- c_o es el factor de topografía e igual a 1,0
- $c_r(z)$ es el factor de rugosidad e igual a $K_r \ln(z/z_0)$ para $z \geq z_{min}$

El entorno de la ubicación de la pasarela considerado para la obtención de estos valores es “Tipo III” (tabla 4.2-b en IAP-11).

Los valores de K_r , z_0 y z_{min} para este tipo de entorno son 0,216, 0,30 m y 5 m, respectivamente.

El empuje del viento es:

$$F_w = (1/2 \cdot \rho \cdot v_b(100)^2) \cdot c_e(z) \cdot c_f \cdot A_{ref}$$

Donde,

- ρ es la densidad del aire e igual a 1,25 kg/m³.
- $v_b(100)$ es la velocidad básica del viento para un periodo de retorno de 100 años.
- c_f es el coeficiente de fuerza del elemento considerado.
- A_{ref} es el área de referencia.
- $c_e(z)$ coeficiente de exposición en función de z.

Se ha considerado un factor de turbulencia, K_t , de 1,0.

3.6 Acciones térmicas

Para evaluar los efectos de la variación de temperatura sobre el tablero es preciso establecer en qué rango de temperaturas se puede encontrar la estructura. A estos efectos se consideran dos situaciones límites, la del frío o enfriamiento y la de calor o calentamiento. Como primer paso es obtener T_{max} y T_{min}.

T_{max} obtenida de la gráfica de isotermas de la temperatura máxima anual del aire es para el emplazamiento del puente de 45°C.

T_{min} obtenida de la tabla temperatura mínima anual del aire es para el emplazamiento del puente de -10,0°C.

Estos valores se corresponden con un T=50años, por lo que para un T=100 años los valores serán:

$$\begin{aligned} T_{min}(100) &= -11,11^{\circ}\text{C} \\ T_{max}(100) &= 46,74^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

La componente uniforme de la temperatura del tablero, también denominada temperatura efectiva (temperatura media de la sección transversal), tiene un valor mínimo T_{e,min} y un valor máximo T_{e,max} que se determina a partir de la temperatura del aire, mediante las expresiones siguientes:

$$\begin{aligned} T_{e,min} &= T_{min} + \Delta T_{e,min} \\ T_{e,max} &= T_{max} + \Delta T_{e,max} \end{aligned}$$

Que en el caso de tableros tipo 1 “tableros de acero” vale:

$$\begin{aligned} T_{e,min} &= T_{min} - 3 = -14,11^{\circ}\text{C} \\ T_{e,max} &= T_{max} + 16 = 62,74^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Y considerando una temperatura inicial de la estructura (T₀) igual a 15°C, la variación térmica que experimenta el tablero será:

$$\begin{aligned} \Delta T_{N,contracción} &= T_0 - T_{e,min} = 15 - (-14,11) = 29,11^{\circ}\text{C} \\ \Delta T_{N,dilatación} &= T_{e,max} - T_0 = 62,74 - 15 = 47,74^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Se ha considerado un coeficiente global de dilatación lineal igual a 1,2·10⁻⁵ °C⁻¹. Por lo que:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{contracción} &= 29,11 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} = 0,35\text{‰} \\ \varepsilon_{dilatación} &= 47,74 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} = 0,57\text{‰} \end{aligned}$$

Para el dimensionamiento de apoyos y juntas de dilatación se ha considerado una variación uniforme de temperatura de:

$$\begin{aligned} \Delta T_{N,contracción} &= 29,11 + 15,0 = 44,11^{\circ}\text{C} \\ \Delta T_{N,dilatación} &= 47,74 + 15,0 = 62,74^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

El efecto de la diferencia vertical de temperatura se ha considerado mediante el empleo de una componente lineal equivalente de la diferencia de temperatura entre la cara superior e inferior de la sección transversal de valor:

$$\begin{aligned} \text{Fibra superior más caliente: } &+18^{\circ}\text{C} \\ \text{Fibra superior más fría: } &-13^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Resultando una deformación impuesta igual a:

$$\begin{aligned} \text{Fibra superior más caliente: } \chi &= 18/1,54 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} = 1,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1} \\ \text{Fibra superior más fría } \chi &= -13/1,54 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} = -1,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1} \end{aligned}$$

3.7 Acciones accidentales (Sismo)

La aceleración sísmica básica se define en la Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes (NCSP-07). El municipio de Irun tiene una aceleración básica menor a 0,04 g, por lo que no es necesaria la consideración de las acciones sísmicas.

4. VALORES REPRESENTATIVOS DE LAS ACCIONES

Con carácter general se han seguido los criterios especificados en la Instrucción sobre las acciones a considerar en puentes de carretera IAP-11.

Las acciones se definen, en su magnitud, por sus valores representativos. Una misma acción puede tener un único o varios valores representativos, según se indica a continuación, en función del tipo de acción.

4.1 Acciones permanentes (G)

Para las acciones permanentes se considerará un único valor representativo, coincidente con el valor característico G_k.

4.2. Acciones permanentes de valor no constante (G*)

Acciones del terreno: para el peso del terreno, que gravita sobre elementos de la estructura, se considerará un único valor representativo, coincidente con el valor característico. Para el empuje del terreno, se considerará el valor representativo expuesto previamente.

4.3. Acciones variables (Q)

Cada una de las acciones variables puede considerarse con los siguientes valores representativos:

- Valor característico Q_k: valor de la acción cuando actúa aisladamente, que ha sido ya definido.

- Valor de combinación $\Psi_0 Q_k$: valor de la acción cuando actúa en compañía de alguna otra acción variable, para tener en cuenta la pequeña probabilidad de que actúen simultáneamente los valores más desfavorables de varias acciones independientes.
- Valor frecuente $\Psi_1 Q_k$: valor de la acción que es sobrepasado durante un período de corta duración respecto a la vida útil del puente (5% del tiempo). Corresponde a un período de retorno de una semana.
- Valor cuasi-permanente $\Psi_2 Q_k$: valor de la acción que es sobrepasado durante una gran parte de la vida útil del puente (el 50% o más del tiempo), o bien el valor medio.

Los valores de los coeficientes Ψ son los siguientes:

Acción			Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Sobrecarga de uso	gr 1, Cargas verticales	Vehículos pesados	0,75	0,75	0
		Sobrecarga uniforme	0,4	0,4	0 / 0,2 ⁽¹⁾
		Carga en aceras	0,4	0,4	0
	gr 2, Fuerzas horizontales		0	0	0
	gr 3, Peatones		0	0	0
	gr 4, Aglomeraciones		0	0	0
	Sobrecarga de uso en pasarelas		0,4	0,4	0
Viento	F_{wk}	En situación persistente	0,6	0,2	0
		En construcción	0,8	0	0
		En pasarelas	0,3	0,2	0
Acción térmica	T_k		0,6	0,6	0,5
Nieve	$Q_{Sn,k}$	En construcción	0,8	0	0
Acción del agua	W_k	Empuje hidrostático	1,0	1,0	1,0
		Empuje hidrodinámico	1,0	1,0	1,0
Sobrecargas de construcción	Q_c		1,0	0	1,0

(1) El factor de simultaneidad Ψ_2 correspondiente a la sobrecarga uniforme se tomará igual a 0, salvo en el caso de la combinación de acciones en situación sísmica (apartado 6.3.1.3), para la cual se tomará igual a 0,2.

Figura 1. Factores de simultaneidad (tabla 6.1-a en IAP-11)

5. VALORES DE CÁLCULO DE LAS ACCIONES

Con carácter general se han seguido los criterios especificados en la Instrucción sobre las acciones a considerar en puentes de carretera IAP-11.

Los valores de cálculo de las diferentes acciones son los obtenidos aplicando el correspondiente coeficiente parcial de seguridad γ_F a los valores representativos de las acciones, definidos en el apartado anterior.

Los estados límites se clasifican en:

- Estados límites de servicio.
- Estados límites últimos.

5.1 Estados límites últimos (ELU)

Los estados límites últimos que se consideran son los siguientes:

- E.L.U. de pérdida de equilibrio, por falta de estabilidad de una parte o la totalidad de la estructura, considerada como un cuerpo rígido.
- E.L.U. de rotura, por deformación plástica excesiva, inestabilidad local o pérdida de estabilidad de una parte o de la totalidad de la estructura.
- E.L.U. de fatiga, por rotura progresiva bajo cargas repetidas.

Los coeficientes parciales de seguridad se muestran a continuación para las comprobaciones de equilibrio y las comprobaciones resistentes.

(para la comprobación del ELU de equilibrio)

Acción		Efecto	
		Estabilizador	Desestabilizador
Permanente (G y G*)	Peso propio	0,9 ⁽¹⁾	1,1 ⁽¹⁾
	Carga muerta	0,9 ⁽¹⁾	1,1 ⁽¹⁾
	Empuje del terreno	1,0	1,5
Variable (Q)	Sobrecarga de uso	0	1,35
	Sobrecarga de uso en terraplenes	0	1,5
	Acciones climáticas ⁽²⁾	0	1,5
	Empuje hidrostático	0	1,5
	Empuje hidrodinámico	0	1,5
	Sobrecargas de construcción	0	1,35

(1) Los valores de 0,9 y 1,1 podrán sustituirse por 0,95 y 1,05 respectivamente, si se prevé la colocación de sistemas de control que permitan conocer, durante la ejecución de la obra, el valor de las fuerzas de desequilibrio y si se pueden adoptar las medidas correctoras necesarias para mantener este valor dentro de los límites que garanticen la seguridad de todos los elementos de la estructura afectados por esta acción. Los equipos y sistemas de control deberán ser definidos y valorados en los diferentes documentos del proyecto, de forma que sea preceptiva su instalación en la obra, incluyéndose una descripción detallada de las medidas correctoras que deberán adoptarse caso de ser necesarias.

(2) Por acciones climáticas se entiende la acción térmica, el viento y la nieve.

Figura 2. Coeficientes parciales para las acciones, para la comprobación ELU de equilibrio (tabla 6.2-a en IAP-11)

(para las comprobaciones resistentes)

Acción		Efecto	
		Favorable	Desfavorable
Permanente de valor constante (G)	Peso propio	1,0	1,35
	Carga muerta	1,0	1,35
Permanente de valor no constante (G*)	Pretensado P_1	1,0	1,0 / 1,2 ⁽¹⁾ / 1,3 ⁽²⁾
	Pretensado P_2	1,0	1,35
	Otras presolicitaciones	1,0	1,0
	Reológicas	1,0	1,35
	Empuje del terreno	1,0	1,5
	Asientos	0	1,2 / 1,35 ⁽³⁾
	Rozamiento de apoyos deslizantes	1,0	1,35
Variable (Q)	Sobrecarga de uso	0	1,35
	Sobrecarga de uso en terraplenes	0	1,5
	Acciones climáticas	0	1,5
	Empuje hidrostático	0	1,5
	Empuje hidrodinámico	0	1,5
	Sobrecargas de construcción	0	1,35

- (1) El coeficiente $\gamma_{G^*} = 1,2$ será de aplicación al pretensado P_1 en el caso de verificaciones locales tales como la transmisión de la fuerza de pretensado al hormigón en zonas de anclajes, cuando se toma como valor de la acción el que corresponde a la carga máxima (tensión de rotura) del elemento a tasar.
- (2) El coeficiente $\gamma_{G^*} = 1,3$ se aplicará al pretensado P_1 en casos de inestabilidad (pandeo) cuando ésta pueda ser inducida por el axil debido a un pretensado exterior.
- (3) El coeficiente $\gamma_{G^*} = 1,35$ corresponde a una evaluación de los efectos de los asientos mediante un cálculo elasto-plástico, mientras que el valor $\gamma_{G^*} = 1,2$ corresponde a un cálculo elástico de esfuerzos.

Figura 3. Coeficientes parciales para las acciones, para las comprobaciones resistentes (tabla 6-2-b en IAP-11)

5.2 Estados límites de servicio (E.L.S.)

Se consideran los siguientes estados límites de servicio:

- E.L.S. de vibraciones inaceptables para los usuarios del puente o que puedan afectar a su funcionalidad o provocar daños en elementos no estructurales.
- E.L.S. de plastificaciones en zonas localizadas de la estructura que puedan provocar daños o deformaciones irreversibles. Uno de los objetivos de la comprobación de este E.L.S. es evitar los fenómenos de fatiga.

Los coeficientes parciales de seguridad en servicio son los siguientes:

Acción		Efecto	
		Favorable	Desfavorable
Permanente de valor constante (G)	Peso propio	1,0	1,0
	Carga muerta	1,0	1,0
Permanente de valor no constante (G*)	Pretensado P_1	0,9 ⁽¹⁾	1,1 ⁽¹⁾
	Pretensado P_2	1,0	1,0
	Otras presolicitaciones	1,0	1,0
	Reológicas	1,0	1,0
	Empuje del terreno	1,0	1,0
	Asientos	0	1,0
	Rozamiento de apoyos deslizantes	1,0	1,0
Variable (Q)	Sobrecarga de uso	0	1,0
	Sobrecarga de uso en terraplenes	0	1,0
	Acciones climáticas	0	1,0
	Empuje hidrostático	0	1,0
	Empuje hidrodinámico	0	1,0
	Sobrecargas de construcción	0	1,0

- (1) Para la acción del pretensado se tomarán los coeficientes que indique la EHE-08 o normativa que la sustituya. En la tabla figuran los valores que la EHE-08 recoge para el caso de estructuras postesas. En el caso de estructuras pretensas, los coeficientes parciales son 0,95 y 1,05 para efecto favorable y desfavorable, respectivamente.

Figura 4. Coeficientes parciales para las acciones, para las comprobaciones en EL (Tabla 6.2-c en IAP-11)

6. VALORES DE CÁLCULO DE LAS ACCIONES

Con carácter general se han seguido los criterios especificados en la Instrucción sobre las acciones a considerar en puentes de carretera IAP-11.

Las hipótesis de carga a considerar se formarán combinando los valores de cálculo de las acciones cuya actuación pueda ser simultánea, según los criterios generales que se indican a continuación.

6.1 Estados Límites Últimos

Las combinaciones de las distintas acciones consideradas en las situaciones persistentes y transitorias, se realizarán de acuerdo con el siguiente criterio:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,i}^* + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} Q_{k,i} \psi_{0,i}$$

Donde,

$G_{k,j}$	Valor representativo de cada acción permanente.
$G_{k,i}$	Valor representativo de cada acción permanente de valor no constante.
$Q_{k,i}$	Valor representativo (valor característico) de la acción variable dominante.
$\psi_{0,i} Q_{k,i}$	Valores representativos (valores de combinación) de las acciones variables concomitantes con la acción variable dominante.

Se han analizado todas las combinaciones que resultan de considerar como acciones dominantes la sobrecarga de uso, el viento y las acciones térmicas.

6.2 Estados Límites de Servicio

Las combinaciones de las distintas acciones consideradas en estas situaciones, se realizará de acuerdo con el siguiente criterio:

- Combinación característica (poco probable o rara):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,i}^* + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- Combinación frecuente:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,i}^* + \gamma_{Q,1} \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- Combinación cuasi-permanente:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,i}^* + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

7. MATERIALES

7.1 Hormigón

Se han dispuesto los siguientes hormigones:

- Hormigón de limpieza y nivelación HL-15/B/20
- Hormigón en losa de tablero HA-35/B/20/IIa
- Hormigón en estribos HA-35/B/20/IIa
- Hormigón en prelosa de tablero HP-40/B/20/IIa

7.2 Acero pasivo

Se considera la utilización de acero B 500 S.

7.3 Acero estructural

Los aceros empleados son:

- Acero S 355 J2W Acero en perfiles.
- Acero S 355 J2W: Acero estructural en chapas

Se pintan la superficie interior de las vigas así como la platabanda superior de las pasarelas para evitar el deterioro estético de las mismas. Se ha elegido una durabilidad alta del sistema de pintura, es decir más de 15 años hasta el primer mantenimiento, según la ISO-12994-1.

Se ha elegido un sistema de pintura igual o superior que el recomendado en el anexo informativo de la norma UNE-EN ISO 12944-5, sobre sistemas de pintura para las clases de exposición relativas a la corrosión atmosférica. En concreto se ha optado los siguientes sistemas:

- Superficie interior de secciones cerradas :

Pintado de elementos metálicos mediante chorreado inicial hasta grado Sa 2 1/2, imprimación a base de pintura Epoxi-Aluminio laminar de 125 micras y pintura de acabado a base de una capa de epoxi-aluminio laminar con un mínimo de 125 micras de película seca.

- Superficie exterior:

Pintado de elementos metálicos mediante chorreado inicial hasta grado Sa 2 1/2, imprimación a base de pintura Epoxi-Zinc de 75 micras, pintura intermedia a base de Epoxi-Poliamida con un mínimo de 100 micras de película seca y dos manos de pintura de acabado a base de Esmalte de poliuretano alifático repintable con un mínimo de 80 micras de película seca 40+40.

7.4 Acero pretensado

Se ha considerado la utilización de acero pretensado Y 1860 C.

7.5 Niveles de control

En el proyecto se adoptan los siguientes niveles de control:

- Acero pasivo B 500 S

Todos los casos: Normal

- Acero estructural

Todos los casos: Normal

- Acero pretensado

Todos los casos: Normal

- Hormigón

Todos los casos: Intenso

- Ejecución

Todos los casos: Intenso

7.6 Coeficientes de seguridad

Los controles anteriormente definidos están en acuerdo recíproco con los coeficientes parciales de seguridad para la resistencia, adoptados en los cálculos justificativos de la seguridad estructural.

Los coeficientes parciales de seguridad para la resistencia adoptados son:

- Hormigón $\gamma_c = 1,50$
- Acero pasivo $\gamma_s = 1,15$
- Acero estructural $\gamma_a = 1,05$
- Acero pretensado $\gamma_p = 1,15$

8. METODOLOGÍA Y CÁLCULOS JUSTIFICATOS

8.1 Programas de cálculo empleados

- FAGUS-7 desarrollado por CUBUS AG. Cálculo de secciones
- SOFISTIK Modelo general 3D. Cálculo de elementos finitos tipo barra.

Prontuario informático de estructuras metálicas y mixtas (PIEM) desarrollado por FHECOR Ingenieros Consultores. Programa de cálculo de secciones mixtas mediante el método elastoplástico que tiene en cuenta la abolladura de los paneles comprimidos.

8.2 Modelo general de cálculo

El análisis global de la pasarela, se ha llevado a cabo mediante un modelo de elementos finitos tipo barra tridimensional realizado mediante el programa comercial SOFISTIK.

A continuación se incluyen unas imágenes tridimensionales del modelo de cálculo.

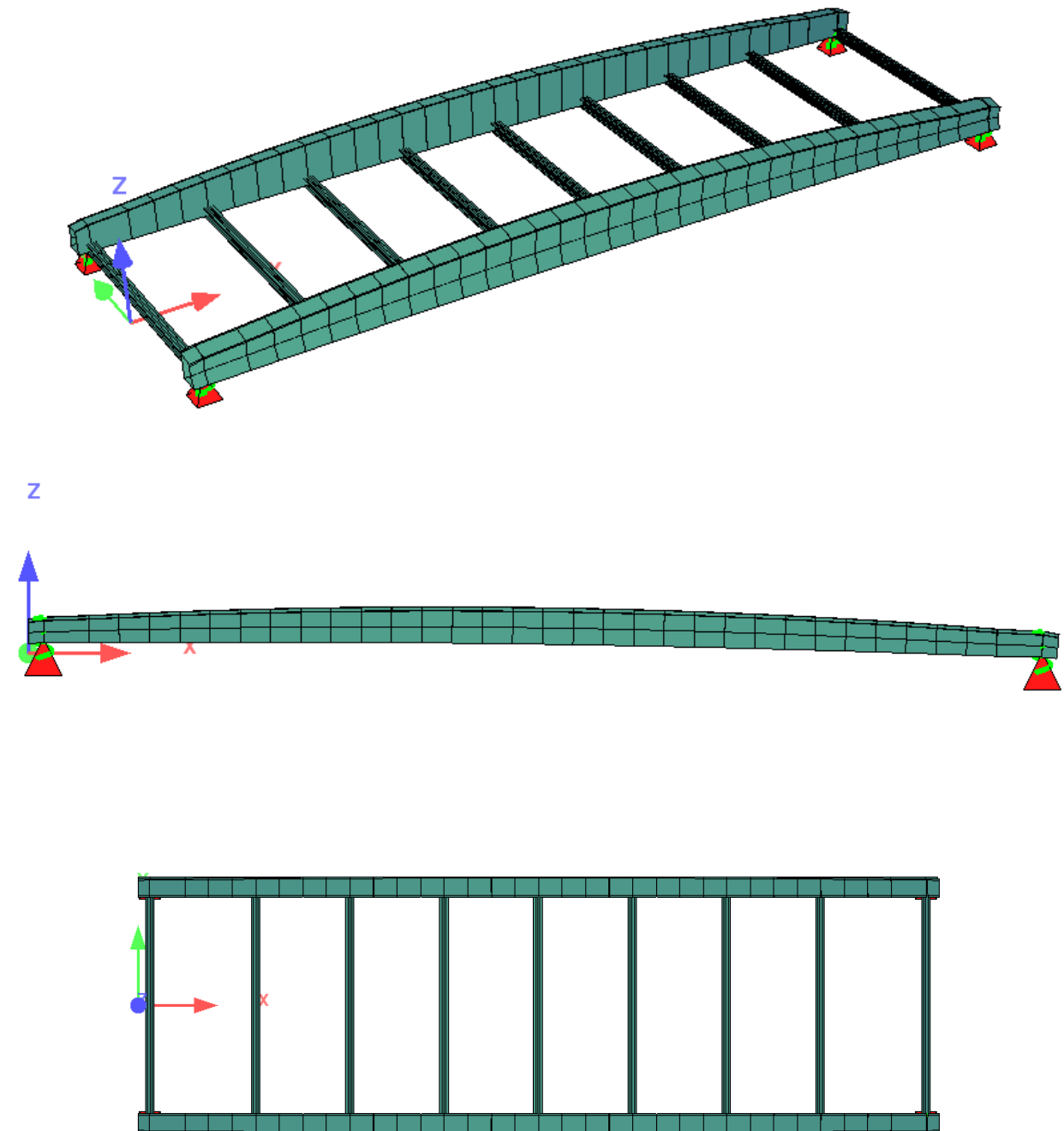


Figura 5. Pasarela 1. Representación tridimensional, alzado y planta del modelo de cálculo con el programa SOFISTIK

8.3. Cálculos justificativos del tablero

A continuación se recogen los cálculos justificativos de los elementos estructurales del tablero recogidos en los planos, comprobando la viabilidad de las dimensiones en ellos indicadas.

8.3.1. Vigas longitudinales

8.3.1.1. Estado límite de servicio de vibraciones

Acorde a la IAP-11 se comprueba que las frecuencias naturales de las estructuras se sitúan fuera del rango de vibraciones críticas (1.07 Hz (transversal) ; 6,59 Hz (vertical)).

8.3.1.2. Estado límite de servicio de plastificaciones locales

En condiciones de servicio, procede realizar comprobaciones tensionales. Acorde al R.D.470/2021 de 29 de junio y al EC-3, las tensiones en el acero bajo la combinación característica no deben superar el valor del límite elástico del acero (f_y).

Se ha llevado a cabo un análisis tensional de las vigas longitudinales de la estructura para la combinación pésima ELS Característica, y la tensión máxima en las fibras más extremas de las vigas en todas las pasarelas es inferior al límite elástico del acero, 355 MPa. Los resultados de estas comprobaciones se encuentran en los Apéndices.

8.3.1.3. Estado límite de último de rotura por agotamiento frente a cortante

Mediante el PIEM se ha comprobado la capacidad última de la sección a esfuerzo cortante, bajo la acción combinada de la torsión del tablero, para la combinación pésima en ELU de cortante (V_z) máximo y mínimo.

Se ha comprobado que la capacidad última de las secciones a esfuerzo cortante es mayor que los esfuerzos alcanzados en el cálculo. Los resultados de estas comprobaciones se encuentran en los Apéndices.

8.3.1.4. Estado límite último de rotura por agotamiento frente a interacción de flexión y cortante

Las secciones del tablero de las pasarelas están sometidas al efecto combinado de la sollicitación de flexión y cortante, de manera que la comprobación a rotura se ha llevado a cabo también teniendo en cuenta su interacción.

Mediante el PIEM, se comprueba la capacidad última de las secciones bajo el efecto combinado del momento flector y el cortante, para la combinación pésima de ELU de momento flector y cortante (M_y , V_z) máximo y mínimo. Los resultados de estas comprobaciones se encuentran en los Apéndices.

8.3.2. Vigas transversales

Se ha comprobado las vigas transversales de todas las pasarelas como elemento biapoyado. El resultado de las comprobaciones realizadas en todas las pasarelas ha sido satisfactorio, tanto a flexión como a cortante.

Las comprobaciones realizadas se encuentran en los Apéndices.

8.3.3. Rigidización y diafragmas

Se ha comprobado la capacidad de agotamiento a esfuerzo cortante de diafragmas para todas las pasarelas, verificando que el cortante máximo para la combinación pésima en ELU es inferior al cortante resistente. En los Apéndices se incluyen los cálculos realizados.

8.3.4. Losa y Prelosa

Mediante el programa FAGUS-7, se ha comprobado que la armadura dispuesta, tanto en la losa como en la prelosa, es suficiente para aguantar los esfuerzos de flexo-compresión producidos, suponiendo la losa y la prelosa como elementos biapoyados en las vigas transversales. Las comprobaciones realizadas se encuentran en los Apéndices.

8.4. Cimentación de estribos

La cimentación de los estribos estará formada por pilotes.

8.5. Estribos

Los estribos de la pasarela son estribos cerrados:

- Vigas cargadero
- Etribo cerrado

Los fustes de los estribos cerrados se han comprobado para ELU y ELS considerando la acción tanto de las cargas provenientes del tablero como de las provenientes del terreno. En aquellos estribos en que ambos lados del fuste están parcial o completamente enterrado o en aquellos en los que no hay relleno tras el estribo (E-2 pasarela 2) se ha considerado del lado de la seguridad una posible descompensación de tierra en su comprobación.

8.6. Neoprenos

Los neoprenos han sido dimensionados acorde a la norma UNE-EN 1337-3 Apoyos estructurales. Parte 3: Apoyos elastoméricos.

En el Apéndice se incluyen los cálculos justificativos de los mismos.

8.7. Juntas de dilatación

Se ha dispuesto una junta de recorrido. En el Apéndice se incluyen los gráficos de los movimientos longitudinales de las pasarelas.

9. CONTRAFLECHAS

En el tablero de la pasarela deberá existir una contraflecha que, para las fases de construcción y la carga permanente, resulte una geometría coherente con la rasante prevista en el trazado.

En el Apéndice se incluyen los cálculos y resultados de contraflechas de la estructura metálica en la pasarela.

10. PRUEBA DE CARGA

Para definir las hipótesis de la prueba de carga se han reproducido unas cargas que produzcan unos momentos flectores en las vigas longitudinales de la pasarela de entre el 60 y el 70% de los producidos por el valor característico de la sobrecarga de uso.

En el Apéndice se incluyen las distribuciones de cargas asumidas, así como los cálculos y resultados detallados para la prueba de carga.

La prueba de carga se ha estudiado con el modelo de cálculo global de SOFISTIK. La flecha máxima obtenida en la prueba de carga para la pasarela es de 23,9 mm.

11. PROCESOS CONSTRUCTIVOS

El montaje de la pasarela se realizará desde el vial de la margen derecha, empleando una grúa. Una vez posicionada la estructura metálica se procederá al montaje de pre-losas y armadura de la losa, y posteriormente el hormigonado de la losa y tablero, para finalmente realizar los acabados.

12. DURABILIDAD Y MANTENIMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS

12.1. Consideraciones iniciales

El presente anejo recoge las comprobaciones y planteamientos relativos a la estrategia de durabilidad planteada, al objeto de conseguir que la mantenga un comportamiento adecuado frente a las acciones no mecánicas que actúan sobre la estructura, sin sobrepasar un nivel inadmisible de deterioro.

Este anejo supone que se realizará un mantenimiento adecuado de todos los elementos de las estructuras, de acuerdo con los criterios establecidos en este proyecto. Supone además que, para aquellos elementos cuya vida útil nominal sea inferior a la de la estructura, se procederá a su sustitución una vez alcanzada aquella, salvo que de una inspección específica sobre dichos elementos pueda deducirse que su estado permite un período de vida adicional, que deberá ser definido por el Facultativo que realice la inspección y aprobado, en su caso, por la Propiedad.

Para la comprobación el Estado Límite de Durabilidad, se ha seguido lo indicado en:

Para los elementos de hormigón:

El capítulo 9 Durabilidad, del R.D. 470/2021, de 29 de junio, así como de los modelos aplicables al ambiente marino que se definen en el “Model Code for Service Life Design”, de la International Federation for Structural Concrete (FIB), aunque no es el caso.

Para los elementos de acero:

El capítulo 19 Durabilidad, del R.D. 470/2021, de 29 de junio.

El método empleado para asegurar la durabilidad de la estructura, puede concretarse en las siguientes fases:

- Fase 1. Definición de vida útil
- Fase 2. Identificación del ambiente
- Fase 3. Identificación de los mecanismos preferentes de deterioro
- Fase 4. Definición del Estado Límite (umbral inadmisible de daño)
- Fase 5. Selección del método de comprobación
- Fase 6. Selección de los modelos de deterioro
- Fase 7. Comprobación del Estado Límite de Durabilidad
- Fase 8. Definición de criterios específicos de mantenimiento

Se ha partido de la identificación de las posibles clases de agresividad actuantes sobre las estructuras 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.

A partir de las anteriores consideraciones, se ha adoptado una vida útil nominal para las pasarelas de 100 años. En algunos elementos de equipamiento (barandillas, barreras, etc.) se acepta un valor de vida útil entre 10 y 15 años, ya que son elementos fácilmente sustituibles.

Para los elementos de hormigón estructural se ha identificado el Estado Límite de Durabilidad con la fisuración del recubrimiento como consecuencia de la corrosión de las armaduras, ante una situación de corrosión por cloruros. Se ha confiado la durabilidad a la garantía de protección adecuada para la armadura, mediante la adopción de unos recubrimientos suficientes y una calidad de los mismos que se pretende conseguir con las características del propio hormigón.

En el caso de los elementos de hormigón, la prolongada vida útil que se pretende ha obligado a prescribir unas exigencias de calidad del hormigón y de comportamiento del mismo ciertamente exigentes, para poder garantizar una alta prestación de durabilidad. La selección efectuada de los materiales a emplear en la fabricación del hormigón es conforme con lo prescrito en el capítulo 8 del R.D.470/2021 de 29 de junio. La comprobación del Estado Límite de los elementos de hormigón estructural se ha planteado mediante métodos semiprobabilistas, según del R.D.470/2021 de 29 de junio, orientados a limitar la probabilidad de fisuración del recubrimiento como consecuencia de la corrosión de las armaduras por fenómenos de ataque de cloruros, fundamentalmente.

En los elementos metálicos estructurales, los mecanismos de deterioro están relacionados con los procesos de corrosión del acero, relacionados con la agresividad ambiental a los metales que depende las

características climáticas y ambientales del lugar de exposición. La estrategia para la consecución de la vida útil se basa según el R.D.470/2021 de 29 de junio, por un lado en la elección del sistema de protección y el mantenimiento del mismo y por otro en la elección de formas estructurales adecuadas. El empleo de acero autopatinable estructural hace que los problemas de corrosión sean prácticamente inexistentes.

En este sentido, se ha prestado especial atención a la evacuación rápida del agua del tablero, para lo que se han dispuesto los correspondientes sistemas de drenaje superficial, se ha estudiado la sección transversal de las vigas para que no se produzcan acumulaciones del agua y se ha pintado el ala superior de las vigas para que el agua se evacue adecuadamente.

12.2. Vida útil nominal y consideraciones de partida

Para analizar la durabilidad de la pasarela perteneciente a la vía peatonal Artia (Irun), es necesario dividir las en función de los elementos que poseen características similares y experimentan un mismo tipo de agresividad. Por lo tanto, a efectos de este Anejo, puede diferenciarse entre:

- Elementos de hormigón en losa de tablero
- Elemento de hormigón en alzados de muros y cargaderos
- Elementos de hormigón en zapatas/encepados
- Elementos de acero en tablero metálico
- Elementos de equipamiento

Este proyecto adopta como norma de referencia, entre otras, la Instrucción de acciones en puentes de carretera (IAP-11). De acuerdo con su apartado 2.2, a la vista de lo indicado en la Memoria, la vida útil nominal de las pasarelas debe ser de 100 años.

Para identificar la vida útil nominal de cada tipo de elemento, puede seguirse los criterios definidos en la tabla 2.1 del Eurocódigo EN 1990:2003, que permite definir unas vidas útiles inferiores, entre 10 y 50 años, en aquellos elementos que pueden ser reemplazables.

En este sentido, la capacidad para ser reemplazados los elementos se ha valorado en 3 categorías de reponibilidad:

Reemplazable (vida útil inferior a la de la estructura y se prevé su reemplazamiento)

Mantenible (posibilidad de reemplazamiento en el caso de que su vida útil sea inferior a la de la estructura)

Perdurable (imposibilidad de reemplazamiento, por lo que debe alcanzar la vida útil de la estructura, con un mantenimiento conforme con este proyecto).

Además, para la identificación de la vida útil de cada elemento, se ha tenido en cuenta las consecuencias originadas por el fallo de cada tipo de elemento, para lo que se ha utilizado la clasificación definida en el Anejo B del Eurocódigo EN 1990:2003:

Clase de consecuencias	Descripción
CC3	Consecuencia grave de pérdidas de vidas humanas; o

	consecuencias económicas, sociales o medioambientales muy importantes
CC2	Consecuencia moderada de pérdidas de vidas humanas; o consecuencias económicas, sociales o medioambientales considerables
CC1	Consecuencia leve de pérdidas de vidas humanas; o consecuencias económicas, sociales o medioambientales mínimas o despreciables

En el Eurocódigo EN 1990:2003 se asocian las clases de fiabilidad CR3, CR2 y CR1 y los valores mínimos recomendados para el índice de fiabilidad ϕ , que está relacionado con la probabilidad de fallo (Pf): $Pf = \phi(-\phi)$, siendo ϕ la función de distribución acumulada de la distribución normal estándar.

Se asume que la mayor incertidumbre proviene de las acciones que tienen máximos anuales estadísticamente independientes. Los valores de ϕ para un periodo de referencia diferente pueden calcularse empleando la siguiente expresión:

$\Phi(\beta n) = [\Phi(\beta 1)]^n$, donde:

βn es el índice de fiabilidad para un período de referencia de n años;

$\beta 1$ es el índice de fiabilidad para un año.

A partir de los criterios anteriores, se han adoptado las siguientes vidas útiles nominales para cada tipo de elementos.

Tipo de elemento	Fabricación	Reponibilidad	Daños	Vida útil
Losa de hormigón en tablero mixto	In situ	3	CC2	100
Elemento de hormigón en alzados de muros y cargaderos	In situ	3	CC2	100
Elementos de hormigón en zapatas/encepados	In situ	3	CC2	100
Acero en tablero metálico	Taller y montado in situ	3	CC2	100
Elementos de equipamiento	In situ	1	CC1	10-25

Además en la tabla adjunta se muestra, a título de referencia, la vida útil estimada para juntas, aparatos de apoyo, elementos de contención, sistemas de drenaje, impermeabilización, pavimentos y elementos de protección (pinturas, tratamientos anticorrosivos, ánodos de sacrificio, etc.), entre otros.

Componentes	Vida útil nominal
Firmes	8-15 años
Impermeabilización	25 – 30 años
Pinturas y protección anticorrosivas	10 – 20 años
Juntas	15 – 30 años
Equipos de drenaje	5 – 15 años
Apoyos estructurales	25 – 40 años

12.3. Agresividad ambiental y mecanismos preferentes de deterioro

La identificación de las clases de exposición ambiental para cada uno de los elementos del puente se basa en los criterios definidos en los apartados 8.2 “Bases de cálculo adicionales orientadas a la durabilidad”, teniendo en cuentas que el lugar de emplazamiento del puente se encuentra a menos de 5 km de la línea de costa, por lo que se sitúa dentro de la franja de influencia de un ambiente marino aéreo.

Para los elementos metálicos, de acuerdo con el R.D.470/2021 de 29 de junio, se definen como clases de exposición las que se refieren exclusivamente a procesos relacionados con la corrosión del acero.

La corrosión atmosférica de los metales depende las características climáticas y ambientales del lugar de exposición. Entre estas características cabe destacar:

La humedad del aire y en particular el tiempo de humectación (TDH)

Otras variables meteorológicas como la temperatura, viento predominante, etc. La composición química de la atmosfera, en especial el contenido de ión cloruro y de dióxido de azufre, que tienen una acción decisiva sobre el proceso.

En la actualidad se puede estimar la velocidad de corrosión en función de los datos de contaminación y datos meteorológicos específicos del lugar de exposición, aplicando ecuaciones de correlación (dosis/ respuesta) que se encuentran en la bibliografía, en particular los Mapas de España de Corrosividad Atmosférica, editados por el CYTED en 1993.

¡En el plano que se presenta a continuación se puede observar que Irun se encuentra ubicada en una zona con un índice de deterioro de Brooks bajo, con lo que los fenómenos esperados de corrosión del acero pueden ser importantes:

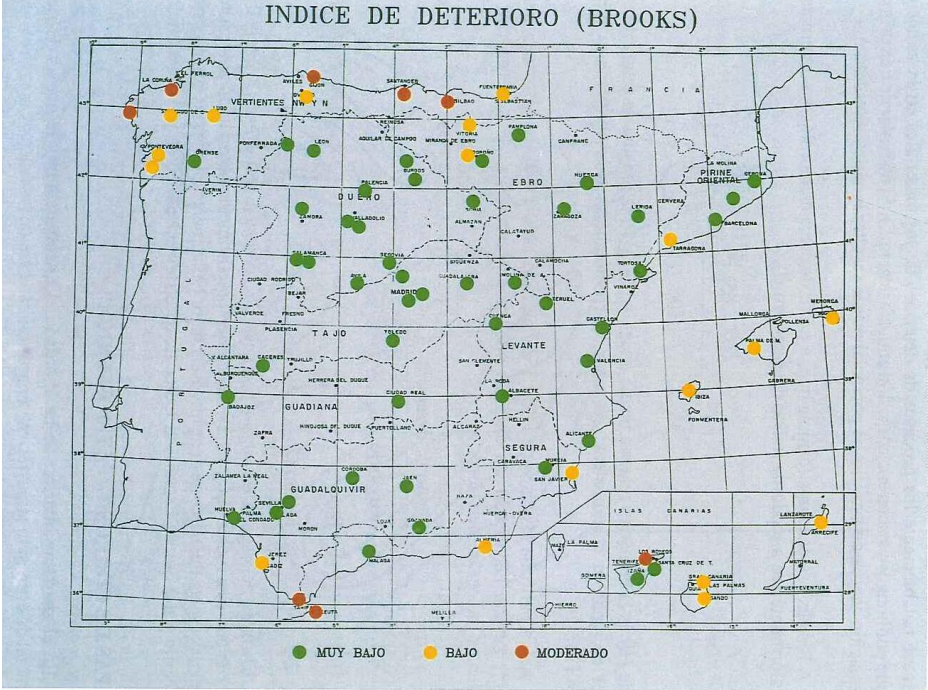


Fig. 19.2.- Mapa de España de acuerdo con el Índice de Deterioro de Brooks²⁰.

La imagen siguiente sirve para corroborar que Irun no se puede considerar como de corrosividad baja:

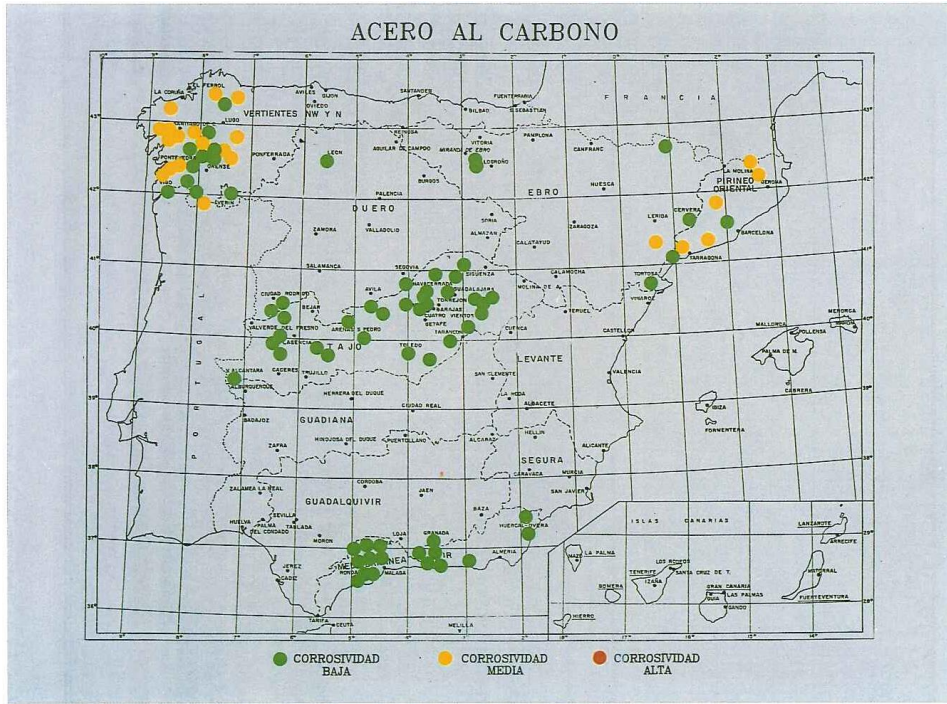


Fig. 19.4.- Mapa de España de corrosividades atmosféricas para el acero al carbono, según ISO¹⁸. Atmosferas rurales (prácticamente no contaminadas por SO₂ ni Cl⁻).

Dado que en Irun o en sus proximidades no existe ningún tipo de estación de medición de corrosión, se puede estimar la clase de corrosión a partir de los datos estadísticos obtenidos y registrados para el conjunto de España, a partir de las expresiones que aparecen en los Mapas de España de Corrosividad Atmosférica, editados por el CYTED:

$C = M \times t \times f_t \times f_c$, donde:

- M es el módulo de corrosión para 1.000 h de humectación de la superficie metálica en una atmósfera pura (libre de contaminantes).
- t (TDH), expresado en miles de horas anuales.
- f_t coeficiente de inhibición de la corrosión en el TDH anual
- f_c coeficiente estimulador de la corrosión a causa de los contaminantes del aire

A su vez, f_c se obtiene a través de la expresión siguiente:

$f_c = 1 + \alpha + \beta$, siendo:

α el término correspondiente a la influencia de la contaminación por SO_2

β el término correspondiente a la influencia de la contaminación por Cl-.

De acuerdo con las gráficas siguientes los valores de α y β son los siguientes:

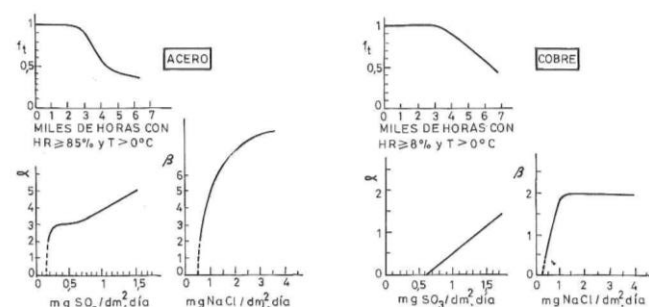


Fig. 4.14.- Variación de los coeficientes f_t , α y β para los distintos metales en función del TDH anual y valores medios de SO_2 y cloruros.

Las características de Irun son similares a las de Bilbao, donde sí que existen datos medidos:

SO_2 (mg $SO_3/dm^2 \times día$) = 1,47 (pág 65 Mapas de España de Corrosividad Atmosférica) $\rightarrow \alpha = 4,8$

Cloruros (mg ClNa7dm2xdía) = 1,40 (pág 65 Mapas de España de Corrosividad Atmosférica) $\beta \approx 6$

Por tanto, f_c tiene un valor de 11,8.

Para determinar el TDH para Irun es preciso conocer el número de horas anuales con una humedad relativa superior al 80% y temperatura superior a 0°. Este valor es de 5910 h (tabla 2.7. de Mapas de España de Corrosividad Atmosférica), es decir, 246,3 días:

TABLA 2.7.- Número de horas anuales en que han coincidido HR >80% y temperaturas > 0 °C.

CIUDAD	h/año	CIUDAD	h/año
Albacete	3.265	Lérida	3.320
Alicante	4.175	Logroño	4.175
Almería	5.640	Lugo	6.045
Avila	3.025	Madrid	3.155
Badajoz	3.985	Málaga	4.580
Barcelona	2.825	Menorca	5.135
Bilbao	5.910	Melilla	4.960
Burgos	4.305	Murcia	4.465
Cáceres	3.040	Orense	3.955
Cádiz	4.210	Oviedo	6.255
Castellón de la Plana	2.430	Palencia	5.175
Ceuta	7.170	Palma	3.815
Ciudad Real	4.525	Pamplona	4.690
Córdoba	4.305	Salamanca	4.375
Cuenca	4.095	Santander	5.660
Gerona	4.405	Segovia	3.220
Granada	2.785	Sevilla	5.070
Guadalajara	3.735	Soria	3.940
Huelva	4.000	Tarragona	3.985
Ibiza	4.990	Teruel	4.170
Jaén	1.590	Toledo	3.250
La Coruña	5.740	Valencia	3.400
Lanzarote	4.215	Valladolid	3.875
Las Palmas	4.020	Vitoria	5.745
León	3.890	Zamora	3.805
		Zaragoza	2.840

$$TDH = 1,686 \cdot 10^{-3} + 3,66 \cdot 10^{-3} D \approx 3,65 \cdot 10^{-3} D$$

donde D = número de días al año con precipitación y temperatura media > 0 °C

De esta forma, el TDH será:

$$TDH = 3,65 \times 10^{-3} \times D = 3,65 \times 10^{-3} \times 246,3 = 0,90$$

f_t se estima igual a la unidad.

M tiene un valor de 3,5 μm para acero al carbono

De esta forma:

$$C = M \times t \times f_t \times f_c = 3,5 \times 0,90 \times 1 \times 11,8 = 14,9 \approx 37,2 \mu m/año.$$

De acuerdo con estos valores se puede determinar, que la clase de exposición es C3, es decir, con una corrosividad media. La siguiente tabla recoge, a modo de resumen, la clasificación de la agresividad ambiental considerada para cada elemento:

Tipo de elemento	Ambiente	Normativa de referencia	Observaciones
Elementos de hormigón de losa de tablero	Illa	R.D.470/2021 de 29 de junio	Elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera(a menos de 5 Km)
Elemento de hormigón en alzados de muros y cargaderos	Illa	R.D.470/2021 de 29 de junio	Elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera(a menos de 5 Km)
Elemento de hormigón en zapatas/encepados	Illa	R.D.470/2021 de 29 de junio	Elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera(a menos de 5 Km)
Acero en tablero metálico	C3	R.D.470/2021 de 29 de junio	Atmósferas con niveles medios de contaminación y corrosión
Elementos de equipamiento	Illa	R.D.470/2021 de 29 de junio	Elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera(a menos de 5 Km)

12.4. Vida útil nominal y consideraciones de partida

En general, para cualquier proceso de deterioro, se acepta el Modelo Tuuti(*)

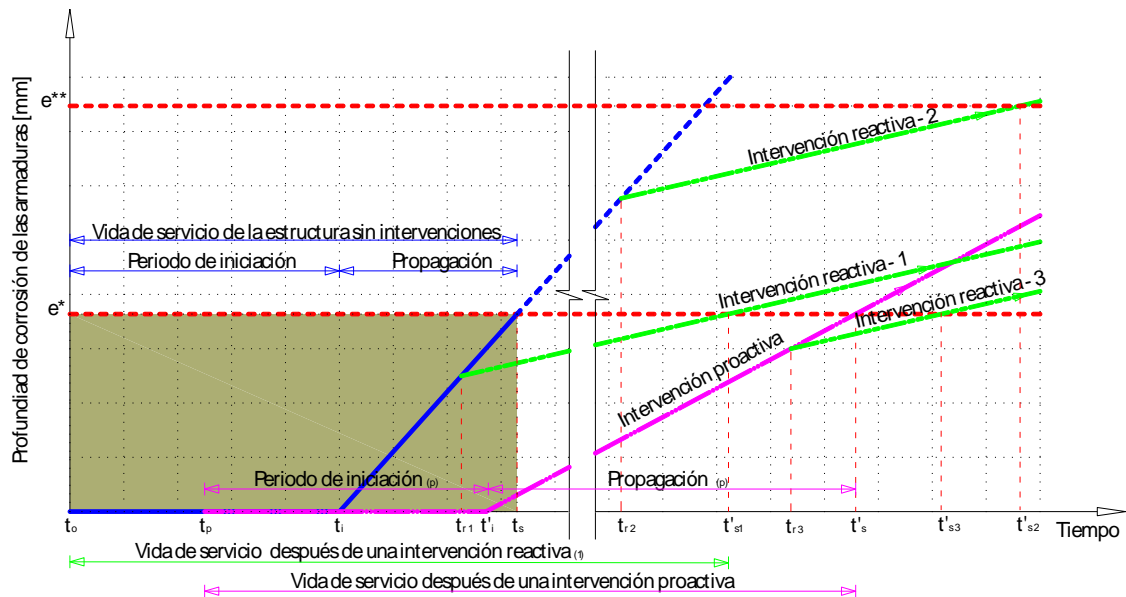


Figura 6 . Modelo de Tuuti para representar las fases de iniciación y de propagación de la corrosión de las armaduras en una estructura de hormigón. La pendiente de la recta que describe la fase de propagación expresa la velocidad de degradación

(corrosión, por ejemplo). Los dos tipos de intervención (proactiva o reactiva) permiten variar dicha velocidad de propagación y su efectividad vendrá dada por el momento de ejecución y capacidad de pasivación que se consigue suministrar a las armaduras.

(*) Tuuti, K. “Corrosion of steel in concrete” Swedish Cement and Concrete Research Institute. Stockholm. CBI Research 4:82 1982.

En el caso del tablero de acero, tampoco hay modelos teóricos de proyecto, por lo que se ha seguido una estrategia de durabilidad basada en las prescripciones establecidas en la normativa de referencia anteriormente mencionada.

Por el contrario, sí existen modelos para la estimación de la vida útil de estructuras de hormigón en el caso de corrosión por cloruros, que son los que se han utilizado en el presente Anejo.

En relación con las clases de exposición definidas en el apartado anterior de este Anejo para el hormigón, se han adoptado como Estados Límite, los siguientes umbrales de daño inadmisible:

Clase general Illa. Fisuración del recubrimiento como consecuencia de procesos de corrosión de las armaduras por ataque por cloruros de origen marino.

La vida de servicio de las estructuras de hormigón con armaduras consta de dos fases: la fase de iniciación y la fase de propagación.

Tanto la carbonatación como la penetración de cloruros son procesos de difusión en el hormigón a través de sus poros, cuya expresión es:

$$d = K_c \cdot \sqrt{t}$$

donde d es la profundidad de penetración del agresivo (en mm), t es el tiempo (años) y Kci es un coeficiente de penetración de cloruros, que tiene la siguiente expresión:

$$K_{ci} = \alpha \sqrt{12D(t)} \left(1 - \sqrt{\frac{C_{th} - C_b}{C_s - C_b}} \right)$$

Donde:

α Factor de conversión de unidades 56157

D(t) Coeficiente de difusión efectivo de cloruros, para la edad t, expresado en cm²/s

Cth Concentración crítica de cloruros, expresada en % en peso de cemento

Cs Concentración de cloruros en la superficie de hormigón, expresada en % de peso en cemento.

Cb Contenido de cloruros aportado por las materias primas en el momento de la fabricación del hormigón.

El coeficiente de difusión de cloruros varía con la edad del hormigón, de acuerdo con la expresión:

$$D(t)=D(t_0)(t_0/t)^n$$

Coeficientes D(t₀) (x10⁻¹²m²/s)

Tipo de cemento	a/c = 0,4	a/c = 0,45	a/c = 0,50	a/c = 0,55	a/c = 0,60
CEM I	8,9	10,0	15,8	19,7	25,0
CEM II/A-V	5,6	6,9	9,0	10,9	14,9
CEM III	1,4	1,9	2,8	3,0	3,4

Concentración de cloruros en la superficie de hormigón

Clase general de exposición	IIIa		IIIb	IIIc	IV
Distancia respecto a la costa	Hasta 500 m	500-5.000 m	Cualquiera		—
Cs (% peso de hormigón)	0,14	0,07	0,72	0,50	0,50

Periodo de propagación

La etapa de propagación se considera concluida cuando se produce una pérdida de sección de la armadura inadmisibles o cuando aparecen fisuras en el recubrimiento de hormigón. El período de tiempo para que se produzca puede obtenerse de acuerdo con la siguiente expresión:

$$t_p = \frac{80}{\phi} \cdot \frac{d}{v_{corr}}$$

Donde

t_p Tiempo de propagación en años.

d Espesor de recubrimiento en mm.

φ Diámetro de la armadura en mm.

v_{corr} Velocidad de corrosión en μm/año. A falta de datos experimentales específicos para el hormigón y las condiciones ambientales concretas de la obra, la velocidad de corrosión podrá obtenerse de la siguiente tabla.

Clase general de exposición			Vcorr (μm/año)
Normal	Humedad alta	Ila	3
	Humedad media	IIb	2
Marina	Aérea	IIIa	20
	Sumergida	IIIb	4
	En zona de mareas	IIIc	50
Con cloruros diferentes del medio marino		IV	20

La vida útil de la estructura, por tanto, será:

$$t_L = t_i + t_p = \left(\frac{d}{K_c}\right)^2 + \frac{80}{\phi} \cdot \frac{d}{v_{corr}}$$

Una vez estimadas las velocidades correspondientes períodos de iniciación y de propagación, deberá compararse su suma con la vida útil de proyecto, considerándose que se cumple el Estado Límite siempre que ésta no sea inferior a aquélla.

12.5 Comprobación del estado límite de durabilidad

12.5.1. Elementos estructurales de hormigón

La comprobación del Estado Límite para los elementos de hormigón, se ha formulado mediante un procedimiento semiprobabilista, análogo a la de otros Estados Límite considerados habitualmente en el proyecto y de acuerdo con la siguiente expresión:

$$t_L \geq t_d$$

donde:

t_L representa la vida útil estimada, entendida como el tiempo necesario para que el agente agresivo produzca un ataque o una degradación significativa y obtenida como suma de los períodos de iniciación y de propagación, de acuerdo con lo indicado en el apartado anterior, y

t_d representa el valor de la vida útil de proyecto, que se obtiene de multiplicar la vida útil nominal del elemento estructural (100 años en el caso de este proyecto), por un factor de seguridad γ_t=1,10.

12.5.2. Elementos estructurales de acero al carbono

Para la consecución de la vida útil nominal en el caso de los elementos de acero al carbono, se han seguido las prescripciones de la norma UNE-EN ISO 12.499.

Superficie exterior del tablero de acero:

El ambiente en el que está ubicado la superficie exterior del tablero, de acuerdo con UNE-EN ISO 12.944-2, es el C3 correspondiente a agresividad media. El tablero está situado en una zona con pérdidas de masa de entre 200 y 400 g/m² tras el primer año de exposición y pérdidas de espesor comprendidas entre las 25 y 50 μm para el mismo período.

Al objeto de racionalizar el mantenimiento del sistema de protección, se ha contemplado la necesidad de que éste sea de durabilidad alta (categoría H de la UNE-EN ISO 12.944-5). En esa misma línea, si bien algo más concreta, el Paper 477 de la National Association of Corrosion Engineers (NACE) diferencia entre:

la vida útil ideal del sistema, entendida como el período hasta que se requiere intervenir sobre una superficie comprendida entre el 3 y el 5% de la zona protegida, no existiendo aún ningún tipo de corrosión activa.

la vida útil práctica del sistema, entendida como el período hasta que se requiere intervenir sobre una superficie comprendida entre el 5 y el 10% de la zona protegida, existiendo además corrosión activa.

Teniendo en cuenta que el ambiente en el que se encuentran las estructuras se ha optado por emplear un acero autopatinable estructural que reduce hasta el mínimo los requerimientos de mantenimiento, más allá de las correspondientes inspecciones periódicas.

Para garantizar la correcta evacuación del agua y evitar el deterioro estético de las pasarelas se ha optado por disponer un sistema de protección preventiva de alta durabilidad (categoría H de la UNE-EN ISO 12.499), sobre el ala superior de las vigas longitudinales consistente en:

- 1) Aplicación en taller de:
 - una capa general de imprimación epoxi rica en zinc, Epocrom RPS Primer Rich Zinc o similar, cumpliendo con la UNE-48.277, con un espesor de película seca de 75 micras,
 - una capa general epoxi intermedia con hierro micáceo Amercoat 385 MIOX o similar, cumpliendo con la Norma SSPC-Paint-22, con un espesor de película seca de 100 micras.
- 2) Operaciones de obra:
 - repaso de soldaduras y limpieza de la superficie para eliminar grasa y cualquier tipo de contaminante.
 - capa de revestimiento de polisiloxano PSX 700 o similar, de altas prestaciones, resistencia a la intemperie y retención de brillo y color, con un espesor de película seca de 80 micras (40+40).

Superficie interior de tablero de acero

De acuerdo con el apartado 8.2.2 del proyecto de Instrucción EAE, puede considerarse en una primera aproximación que las superficies interiores de los cajones de los puentes tienen una agresividad C3 de las definidas en la UNE-EN ISO 12.499-2. Sin embargo, en el Anejo B de esta última, se establece que:

- Los componentes huecos que se encuentran herméticamente sellados y que son por lo tanto inaccesibles, no se encuentran sometidos a ningún tipo de corrosión interna, y
- que los elementos cerrados que puedan abrirse o abren ocasionalmente, se encuentran sometidos a pequeñas cantidades de agentes corrosivos.

Al objeto de garantizar la hermeticidad de la parte interior del tablero se diseñado un cajón totalmente cerrado y con soldadura continua, por lo que podría considerarse incluido en la categoría de hermético al que se refiere el primero de los casos.

No obstante, al objeto de evitar el efecto de alguna condensación accidental en el interior del cajón, se ha optado por disponer un sistema de protección preventiva de alta durabilidad (categoría H de la UNE-EN ISO 12.499), consistente en:

- 1) Aplicación en taller de:
 - una capa general de imprimación epoxi fosfato de zinc, Amercoat 71 o similar, cumpliendo con la norma SSPC-Paint 22, con un espesor de película seca de 50 micras.
- 2) Operaciones de obra:
 - repaso de soldaduras y limpieza de la superficie para eliminar grasa y cualquier tipo de contaminante,
 - dos capas de epoxi aluminio laminar Epomastic RPS-E Aluminio o similar, cumpliendo con la Norma UNE-48261, con un espesor de película seca por capa de 125 micras.

12.5.3. Estrategia de durabilidad

Selección de las formas estructurales:

A la vista de las especiales condiciones climatológicas y de agresividad de la zona donde están ubicadas las pasarelas, se ha prestado especial atención a la evacuación del agua.

Para ello el proyecto contempla:

- una definición geométrica de las formas estructurales optimizadas para combinar la eficiencia estructural con la evacuación rápida del agua desde sus paramentos. En ese sentido cabe destacar la inclinación hacia el exterior de las alas superiores así como los voladizos de las chapas más exteriores. Ello permite minimizar el tiempo de contacto del agua con los paramentos, disminuyendo así el riesgo de agresión y posterior deterioro,
- un sistema de drenaje transversal continuo a lo largo de todas las pasarelas mediante bombeo y posterior eliminación del agua, a través canaletas con rejillas galvanizada al objeto de evitar su corrosión,
- un sistema de drenaje longitudinal, con pendiente igual a la de la propia rasante de la vía.

12.5.4. Prescripciones respecto a la calidad de los materiales

A continuación, se recoge los aspectos más importantes que deben cumplir los materiales en relación con la durabilidad del puente

Hormigón en losa de tablero

Tipo de cemento: CEM III/A 42,5N/SR

Contenido mínimo de cemento: 300 kg/m³

Máxima relación agua/cemento: 0,50

Hormigón en alzados de muros y cargaderos

Tipo de cemento: CEM III/A 42,5N/SR

Contenido mínimo de cemento: 300 kg/m³

Máxima relación agua/cemento: 0,50

Hormigón en zapatas/encepados

Tipo de cemento: CEM III/A 42,5N/SR

Contenido mínimo de cemento: 300 kg/m³

Máxima relación agua/cemento: 0,50

Sistemas de protección de la superficie exterior tablero y elementos metálicos:

Como se ha indicado, se ha empleado para el tablero un acero autopatinable estructural para evitar la corrosión del acero. Sin embargo, en la platabanda superior:

- 1) Aplicación en taller de:
 - una capa general de imprimación epoxi rica en zinc, Epocrom RPS Primer Rich Zinc o similar, cumpliendo con la UNE-48.277, con un espesor de película seca de 75 micras,
 - una capa general epoxi intermedia con hierro micáceo Amercoat 385 MIOX o similar, cumpliendo con la Norma SSPC-Paint-22, con un espesor de película seca de 100 micras.
- 2) Operaciones de obra:
 - repaso de soldaduras y limpieza de la superficie para eliminar grasa y cualquier tipo de contaminante.
 - capa de revestimiento de polisiloxano PSX 700 o similar, de altas prestaciones, resistencia a la intemperie y retención de brillo y color, con un espesor de película seca de 80 micras (40+40).

Sistemas de protección de la superficie interior del tablero:

- 1) Aplicación en taller de:
 - una capa general de imprimación epoxi fosfato de zinc, Amercoat 71 o similar, cumpliendo con la norma SSPC-Paint 22, con un espesor de película seca de 50 micras.
- 2) Operaciones de obra:
 - repaso de soldaduras y limpieza de la superficie para eliminar grasa y cualquier tipo de contaminante,
 - dos capas de epoxi aluminio laminar Epomastic RPS-E Aluminio o similar, cumpliendo con la Norma UNE-48261, con un espesor de película seca por capa de 125 micras.

12.5.5. Prescripciones adicionales relativas a la ejecución

Elementos de hormigón. Recubrimientos de las armaduras

La siguiente tabla resume el espesor mínimo de los recubrimientos para cada uno de los tipos de armadura identificados como representativos desde el punto de vista de la durabilidad de los elementos de hormigón.

Elemento	Armadura	Recubrimiento mínimo (mm)	Recubrimiento nominal (mm)
Losa de tablero	Horizontal	30	35
Alzados de muros y cargaderos	Vertical	30	35
Encepados/zapatatas	Horizontal	35	40

Los recubrimientos mínimos se garantizarán mediante la disposición de separadores, con las dimensiones del recubrimiento nominal indicados la tabla anterior y distanciados de acuerdo con lo indicado en el apartado 43.4.1 del R.D.470/2021 de 29 de junio Consideraciones adicionales sobre la durabilidad. Se ha adoptado un margen de recubrimiento de 5 mm, ya que el nivel de control de ejecución es intenso.

Elementos de hormigón. Montaje de la armadura en obra

En las operaciones de montaje de las armaduras pasivas mediante atado, se cuidará que los hilos sobrantes de alambre no queden situados en la zona de recubrimiento de las armaduras, sino orientados hacia el interior de la masa de hormigón.

Elementos de hormigón. Curado

En el caso de emplearse medios convencionales de curado, mediante aporte de agua, por riego, inundación u otros métodos similares, su duración no será inferior a la recomendada en el artículo 52 del R.D.470/2021 de 29 de junio.

En el caso de empleo de productos filmógenos para el curado del tablero, deberá cumplirse que:

- Su índice de protección, entendido como la cantidad de agua que se evita que pierda el hormigón, debe ser mayor de 2 kg/m², y
- Su coeficiente de eficacia, entendido como el cociente entre el índice de protección y la cantidad de agua de evaporación que se perdería si no se aplicara el producto, debe ser superior al 80%.

Elementos de acero. Operaciones de preparación e imprimación de superficies acero en taller y limpieza elementos en obra.

a) En taller:

Se deberá proceder con la limpieza de todos los posibles contaminantes, procediendo como sigue:

Frotar la superficie con trapos o brochas limpios con abundante disolvente, para evitar que se extienda la suciedad.

Otros tipos de suciedad como sales, salpicaduras de cemento, barro, etc... se eliminarán con un cepillo de alambre o fibra y se continuará con un lavado con agua dulce hasta dejar la superficie limpia y seca.

Se deben limpiar todas las proyecciones y escoria de soldadura, los restos de humos, líquidos de radiografías, etc, y se eliminarán con los métodos más adecuados, hasta dejar el acero limpio de toda contaminación. Los cordones de soldadura y los cantos vivos deben ser redondeados a un diámetro mínimo de 2 mm.

Si existen fallos en las soldaduras como cortes o huecos, debe volver a soldarse antes del chorrear.

b) En obra:

En cualquier caso, una vez recibidos los elementos desde el taller, se procederá a repasar las soldaduras, y limpiar la superficie para eliminar grasa y cualquier tipo de contaminante.

En el momento de realizar la soldadura de unión, se retirará la cinta adhesiva descrita en el apartado de preparación de superficie, si hubiera restos de adhesivo u óxido, se eliminarán para que no haya elementos extraños que puedan afectar a la soldadura.

12.6. Plan de mantenimiento

El Plan de Mantenimiento describe las pautas que deben seguirse para el mantenimiento y la inspección periódicos de las estructuras, en orden a asegurar la vida útil adicional de las estructuras, a partir de la fecha de recepción de la obra original o de reparación.

Esta forma de proceder está en sintonía con las exigencias que plantea R.D.470/2021 de 29 de junio, pionera en este ámbito, al definir las estrategias de durabilidad, vida útil y mantenimiento. En particular, el Art. 24.3 Plan de Mantenimiento prescribe la redacción de un Plan de Inspección y Mantenimiento para todas las estructuras de nueva planta que se proyecten y construyan con arreglo a dicha normativa.

Así, el R.D.470/2021 de 29 de junio requiere que, a partir de la entrada en servicio de la estructura, la Propiedad programe y lleve a efecto las actividades que se recogen en el Plan de Mantenimiento, de forma coherente con los criterios adoptados en el proyecto.

En el contexto, ya inevitable, de los planteamientos de sostenibilidad y economía global, debe entenderse que el mantenimiento es una actividad de carácter preventivo, que detecta, evita o retrasa la aparición de problemas que, de lo contrario, tendrían una resolución más complicada y una cuantía económica muy superior. En este sentido, todos los agentes implicados en el proyecto, la construcción y la explotación de una infraestructura deben tener presente las distintas etapas del ciclo de vida de la estructura, que incluyen el conjunto de su vida útil. Además, las diferentes fases de la estructura (proyecto, ejecución y control, vida de servicio) no pueden considerarse totalmente independientes, sino interrelacionadas, por lo que determinadas decisiones típicas de la fase de proyecto, tales como la selección de los materiales, la geometría de los elementos y, en su caso, los aparatos de apoyo, las juntas, etc., deben tomarse teniendo muy presentes las previsiones de mantenimiento que se adopten.

12.6.1. Principios rectores del mantenimiento

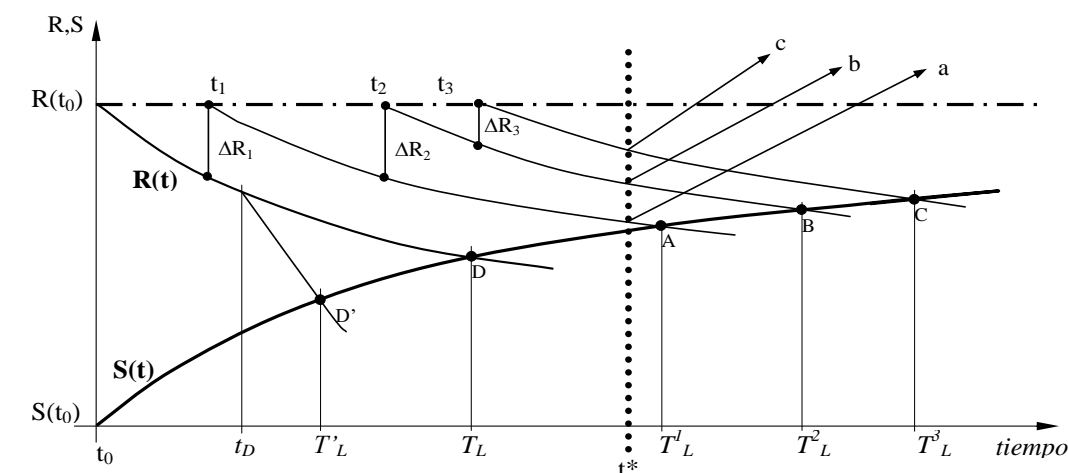
Generalidades

Se entiende por mantenimiento de una estructura el conjunto de actividades necesarias para que el nivel de prestaciones, para el que ha sido proyectada con arreglo a los criterios indicados en el proyecto o en la normativa de referencia, no disminuya durante su vida útil de proyecto por debajo de un cierto umbral, vinculado a las características de resistencia mecánica, durabilidad, funcionalidad y, en su caso, estéticas.

El mantenimiento es una actividad de carácter preventivo, que evita o retrasa la aparición de problemas que, de lo contrario, tendrían una resolución más complicada y una cuantía económica muy superior.

La figura 6.1.1, muestra, en abscisas, el tiempo transcurrido desde el final de la construcción (instante t_0) y, en ordenadas, un índice de la prestación R (en sentido amplio: capacidad mecánica, durabilidad, seguridad del usuario, etc.) y de las solicitaciones S existentes desde la construcción. A partir del instante t_0 comienza un inexorable proceso por el cual la capacidad prestacional se va degradando (curva $R(t)$) y la solicitación, en general, crece (curva $S(t)$). El punto D representa la situación en la que la vida de la estructura sería T_L . Con el fin de que la vida útil pueda ser prolongada, es decir, la distancia entre R y S se mantenga “razonablemente”, como mínimo, hasta alcanzar la vida útil de proyecto, habrá sido preciso que, en sucesivos instantes t_1 , t_2 , t_3 se hayan realizado intervenciones de reparación que permitan mantener la diferencia $R - S$ en valores satisfactorios. En estos casos, la vida útil de la estructura alcanzaría los valores T_{1L} , T_{2L} , T_{3L} , en los puntos A , B y C respectivamente, siempre mayores que T_L , o que T'_L , consecuencia, por ejemplo, de una acción no prevista o de una ausencia de política adecuada de mantenimiento.

A título de comentario, debe tenerse presente que la actividad de mantenimiento ocupa la práctica totalidad del ciclo vital, puesto que la fase inicial de proyecto y construcción comprende un intervalo de tiempo equivalente a una pequeña fracción de la vida útil. La fase de demolición comporta una fracción de tiempo aún menor. En términos económicos, una rehabilitación estructural (devolverle al menos una parte de las prestaciones perdidas) al cabo del período de amortización puede requerir de desembolsos equivalentes a varias veces el de construcción si no se practica una adecuada política de mantenimiento.



Evolución en el tiempo de solicitaciones y capacidad resistente.

Estrategia de mantenimiento

Las actividades relacionadas con el mantenimiento se sitúan en un contexto general más amplio que puede denominarse gestión de la infraestructura. En dicha gestión se contemplan los siguientes conceptos:

- Inventario, que se refiere a los datos identificativos y descriptivos disponibles;
- Inspecciones, planteadas para controlar con cierta periodicidad el estado real de la infraestructura; y mantenimiento propiamente dicho, que comprende tanto las operaciones corrientes y pautadas de mantenimiento ordinario, de carácter esencialmente preventivo, como las actuaciones especiales o de carácter terapéutico, bien entendido que para situaciones accidentales.

La figura 6.2.2. muestra un esquema típico de las fases por las que atraviesa el proceso de gestión de estructuras en fase de uso o explotación. En principio, el esquema de actuación en el sistema de gestión es aplicable a cualquier construcción, con los matices correspondientes en cada caso.

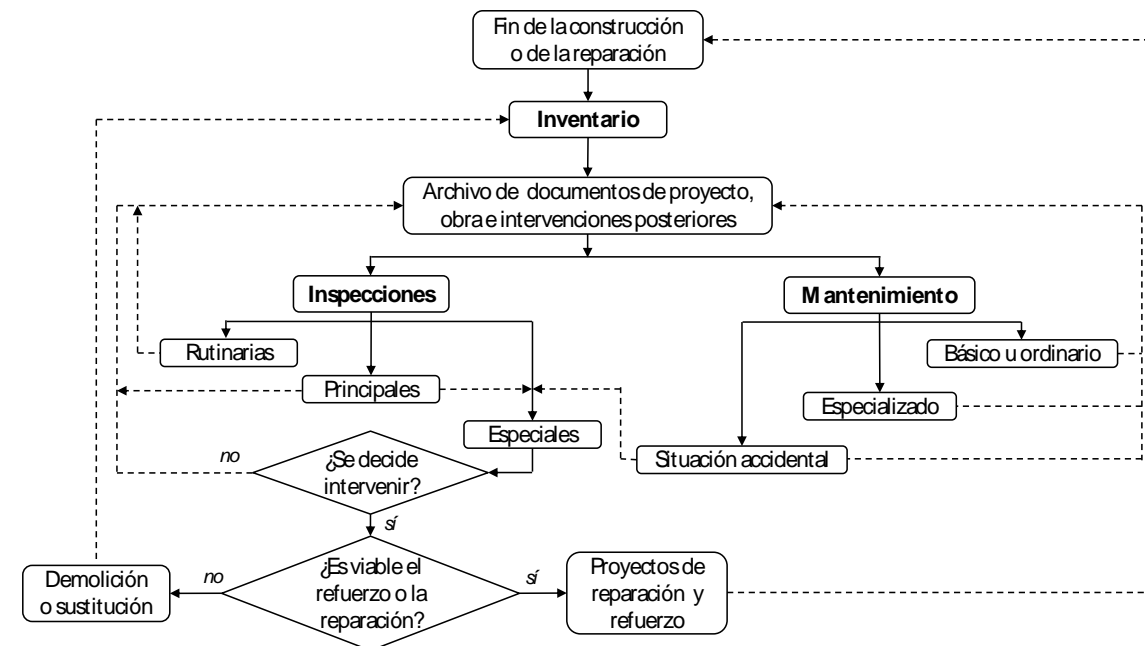


Diagrama de flujo típico de la gestión de estructuras.

Inventario

Consiste en el archivo documental completo de la obra, que incluye el Proyecto de Construcción, así como los proyectos que, eventualmente, le sucedan en virtud de reparaciones, refuerzos, ampliaciones, etc., y las memorias o informes vinculados a la historia de la estructura.

Inspecciones

Se gradúan en función de la intensidad, especialización y frecuencia:

- Inspecciones básicas o rutinarias, que permitan asegurar el correcto funcionamiento de los elementos vinculados a la operación y durabilidad de la obra. La frecuencia de estas inspecciones está definida por la Propiedad y no será menor a una vez al año.
- Inspecciones principales son las realizadas por técnicos cualificados y con experiencia en este tipo de trabajos. A esos técnicos ha de resultarles también de utilidad el presente Plan de Mantenimiento, en la medida en que se puedan detectar, en su caso y a ojos de inspectores expertos, discrepancias entre la previsión de comportamiento explicada en este Manual y la realidad observada. En ese caso, cabe la posibilidad de efectuar modificaciones en el Manual de Conservación si las indicaciones dadas se hubiesen mostrado ineficaces. La frecuencia de estas inspecciones será de 60 meses, salvo que, tras una inspección principal, se adviertan síntomas de un incremento de la velocidad de los deterioros.

- Inspecciones especiales y pruebas de carga, que requieren de la auscultación específica de la estructura y de su valoración analítica posterior para la formulación de diagnósticos. Por razones equivalentes a las expuestas para el caso de las inspecciones principales, este Plan de Mantenimiento servirá de ayuda para la correcta interpretación de los deterioros eventualmente observables. En el contexto del aludido “ciclo vital”, cabe indicar que la inspección especial volverá a ser necesaria si, al final de la vida útil prevista, se valora la viabilidad de una nueva rehabilitación, objeto de proyecto específico. Como se ha indicado ya en otro lugar, este puente ha sido objeto ya de una inspección especial en este contexto.

Operaciones de mantenimiento

Las operaciones de mantenimiento han de servir para asegurar que, durante la vida útil definida, el nivel de prestaciones de la estructura se mantiene por encima de los límites o umbrales de aceptación definidos.

En el contexto del presente documento, el “nivel de prestaciones” ha de entenderse en términos de seguridad estructural, comportamiento en servicio, seguridad del usuario y durabilidad.

Se diferencian los siguientes niveles de actuación:

- Mantenimiento básico u ordinario, pautado y regular.
- Mantenimiento especializado pautado y de alcance pequeño o moderado. Su frecuencia no siempre es fija, sino el resultado de las inspecciones rutinarias y principales. A título de ejemplo, operaciones como reparación de rasponazos, pequeños impactos por accidentes menores, reparaciones de elementos de drenaje afectados por fuertes lluvias o vientos, etc. caben dentro de este tipo de mantenimiento.
- Intervenciones especializadas para el caso en que se den situaciones accidentales de alcance. Es importante destacar que no se incluyen aquí las reparaciones que se corresponden con el deterioro y degradación previsible de los materiales o elementos constructivos, puesto que precisamente la vida útil se habrá definido en función del final previsible de las prestaciones de dichos elementos y que caen en el ámbito del mantenimiento especializado. Estas operaciones serán el resultado dictaminado por inspecciones especiales, según 6.1.2.2.

En todo caso (figura 6.2.2), se llevará registro documental de las labores de mantenimiento, haciendo especial hincapié en las incidencias registradas. Su análisis constituye una fuente muy valiosa de interpretación del funcionamiento de la estructura y sus instalaciones (la más importante desde el punto de vista de la durabilidad de la estructura suele ser el sistema de drenaje, por ejemplo).

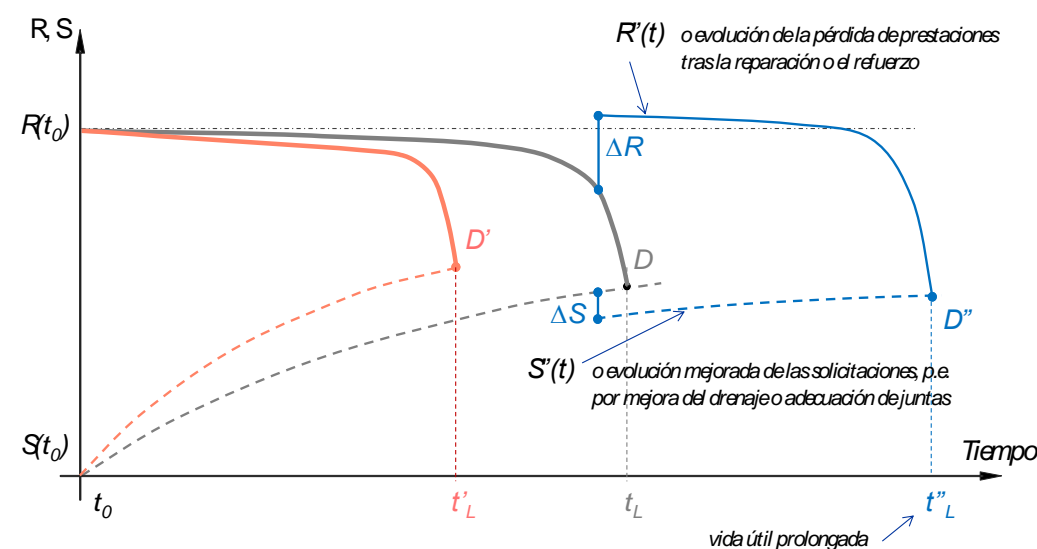
12.6.2 Vida útil considerada

Siguiendo el R.D.470/2021 de 29 de junio, se entiende por vida útil (también se conoce como “período de servicio”) de la estructura el período de tiempo, a partir de la fecha en la que finaliza su ejecución, durante el que debe mantenerse el cumplimiento de las exigencias. Como ya se ha comentado en apartados anteriores, la vida útil nominal considerada para la estructura es de 100 años. Durante ese período requerirá una conservación normal, que no implique operaciones de rehabilitación.

En la figura 6.2.1. conceptualmente equivalente a la figura 6.1.1, se muestra un diagrama que, en abscisas, presenta el eje temporal desde el final de la construcción y, en ordenadas, de forma genérica, las

prestaciones que ofrece la estructura (R) y las solicitaciones (S) que actúan sobre ella, en forma de cargas, agresión ambiental, etc.

Las curvas de trazo blanco se corresponden con una situación “normal”. La capacidad resistente R (de trazo continuo) decae como consecuencia del inexorable deterioro de los materiales. Tal degradación es lenta al principio pero se acelera más adelante. Así por ejemplo, la corrosión de las armaduras y la pérdida de recubrimiento se manifiesta bastante tiempo después de concluida la construcción, y los deterioros y la pérdida de capacidad resistente se aceleran a partir de entonces. Las solicitaciones (curva S(t), de trazo discontinuo) crecen, porque los tráficos, cargas muertas, etc. han ido aumentando y la agresión ambiental también (carbonatación del hormigón, ingreso de cloruros, etc.). Cuando ambas curvas se cortan es que se ha llegado al umbral de aceptación (se ha omitido, por claridad, el margen de seguridad) y, por consiguiente, se habrá alcanzado la vida útil t_L .



Vista de la estación durante la visita del 10 de noviembre de 2010.

Las curvas de color rojo muestran el mismo esquema de funcionamiento, pero con una vida útil t'_L menor porque las solicitaciones aumentaron, quizás, más rápidamente y las degradaciones progresaron también más deprisa. Además, sin duda, no se ejerció actividad alguna de mantenimiento que habría permitido, como muestran las curvas de trazo azul, recuperar una parte (o la totalidad o incluso más) de la capacidad prestacional inicial y, al mismo tiempo, reducir parte de la solicitación, como, por ejemplo, mejorar o mantener adecuadamente el sistema de drenaje para eludir la agresión que conlleva siempre el agua. El final de la vida útil se habrá prorrogado hasta $t''L$. Un sistema de gestión de estructuras sirve precisamente para determinar en qué estado se encuentran R y S en un instante t y, por tanto, decidir si hay que emprender alguna medida correctora o ésta puede esperar.

Al concluir la vida útil nominal de la estructura cabe aún la posibilidad de realizar sobre ella una inspección especial que dicte su seguridad estructural residual (el margen $R - S$ en la figura 6.2.1) y la vida útil residual, correspondiendo a la Propiedad decidir, tras este trabajo de ingeniería, si se puede prolongar aún su uso o se debe proceder a su demolición o reutilización.

12.6.3. Descripción de los daños previsibles

Elementos de hormigón

En el caso de elementos aéreos, se pueden producir fenómenos de carbonatación, que tiene su origen en la reacción del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ del hormigón con el anhídrido carbónico del aire que penetra en el hormigón a través de los poros y redes internas del hormigón, y tiene por resultado la pérdida de protección de las armaduras por reducción del pH de la masa del hormigón.

Este proceso puede acelerarse en zonas en las que la porosidad sea elevada. En el caso de que se detecte un proceso de carbonatación puede detenerse mediante tratamientos de protección superficial del hormigón, mediante aplicación de pintura anticarbonatación, combinados con parcheos localizados.

La corrosión de las armaduras se detecta por manchas de óxido en la superficie del hormigón. Los estados avanzados de corrosión, debido al incremento de volumen del acero al oxidarse, pueden originar desprendimiento del recubrimiento del hormigón, lo que se traduce en armaduras a la vista y en desportillamientos exteriores, fácilmente identificables. En otras ocasiones la falta de recubrimiento por una mala ejecución es la responsable del inicio de los procesos de corrosión.

Por lo que respecta a la fisuración, todos los elementos de hormigón constituyentes de la estructura se han definido para cumplir con la abertura de fisura máxima que impone el vigente R.D.470/2021 de 29 de junio para los diferentes tipos de ambiente, elementos estructurales y materiales, con lo que no son esperables fisuras debidas a esfuerzos que superen estos valores umbrales. En cualquier caso, se pueden producir fisuras por otros fenómenos, tales como la retracción, o por esfuerzos imprevistos o parásitos.

Las fisuras debidas a la retracción sólo revisten trascendencia cuanto llevan asociados otros deterioros concomitantes, tales como la aparición de corrosiones por ser vías de entrada preferente de agentes agresivos que, como se ha comentado, no es un aspecto preocupante en este caso.

Para minimizar la aparición de fisuras de retracción plástica en los elementos de hormigón es necesario realizar un cuidadoso curado del hormigón. Un mal curado de la losa se traduciría en fisuras en piel de cocodrilo o fisuras en mapa, con fisuración en ambas direcciones.

Relacionado también con el proceso de fraguado, se puede producir un ahogamiento en la superficie del hormigón, que consiste en fisuras en mapa de trazado aleatorio de gran densidad y de muy pequeño tamaño y abertura. Es un daño sin ningún tipo de relevancia que suele estar asociado a una mala ejecución del hormigón, mala dosificación o mal curado.

En caso de detectarse alguna fisura patológica, se registrará en el parte de inspección, marcando con pintura su anchura y situación de los extremos. En inspecciones posteriores se controlará su crecimiento. En el caso de que la fisura progrese y se considere que puede tener afecciones estructurales serias, se procederá a una revisión especial del elemento, estudiándose sus posibles causas y procediéndose a la reparación o refuerzo de la estructura en el caso de que la fisuración refleje una falta de capacidad resistente de la misma. Cuando la fisura permita el paso del agua se procederá a su sellado con el fin de impedir la degradación del hormigón, en caso que se considere necesario.

Otro tipo de daño que puede aparecer en los elementos de hormigón es la existencia de humedades, manchas y pátinas biológicas por un mal funcionamiento de sistema de drenaje o falta de mantenimiento del mismo, combinado con aportes de agua por escorrentía directa. Este tipo de daño puede tener consecuencias importantes al favorecer enormemente la aparición de corrosiones por carbonatación por las variaciones de humedad debidas al mal funcionamiento del drenaje.

En todos los elementos de hormigón pueden aparecer daños derivados de una mala ejecución, tales como nidos de grava, coqueras, deterioros superficiales, impactos o desconchones durante el desencofrado, que en general no revestirán importancia práctica.

Un daño grave aunque nada previsible a priori sería la aparición de asientos en las cimentaciones, lo que se manifestaría en fisuras de trazado oblicuo o verticales en el propio elemento y en un giro de torsión en el tablero. Este tipo de daño es de gran importancia, por lo que sería necesario tomar medidas de urgencia.

Elementos metálicos

Uno de los daños más previsibles en los elementos metálicos es la aparición de defectos en soldaduras, sobre las que se deberá prestar especial atención en las inspecciones.

En casos extremos, se pueden producir fisuras e, incluso, roturas de soldaduras durante la vida útil del puente, aunque no se considera probable si durante la ejecución de las obras se han realizado los controles y ensayos que certifican la calidad de la ejecución.

La aparición de fisuras en los elementos estructurales metálicos debe de ser reparada con la mayor urgencia, debido a los problemas de rotura por fatiga que dichas fisuras pueden inducir.

Para la realización de cualquier reparación o refuerzo de la estructura metálica es necesaria la realización de un proyecto en el que se analice la situación tensional de los elementos a reparar, debiéndose tener en cuenta la pérdida de resistencia que tiene el acero en el momento de realizarse la soldadura. A ser posible la reparación se realizará con el tráfico cortado.

Se pueden detectar además, deformaciones en almas, platabandas y chapas de la estructura metálica, debidas a esfuerzos o, sobre todo, producidas durante las soldaduras, aunque no son previsibles deformaciones en las chapas una vez que la estructura esté en servicio.

Los elementos metálicos son especialmente sensibles a las acumulaciones de agua, con lo que se debe evitar la formación de charcos y mantener en todo momento en óptimas condiciones el sistema de drenaje.

En algunos casos la pátina del acero no se estabiliza, llevando a pérdidas de espesor que suponen un grave riesgo para la seguridad estructural. Es por tanto de suma importancia medir el espesor de la pátina y comprobar su progresiva estabilización, especialmente en los primeros años de vidas de la estructura.

Aparatos de apoyo

Los aparatos de apoyo de la estructura son de tipo neopreno elastomérico anclados, para asumir las reacciones horizontales.

El área próxima a los aparatos de apoyo debe mantenerse limpia, sin suciedad acumulada ni restos abandonados de construcción, de manera que se garantice el movimiento libre de los apoyos. Si el apoyo tiene deformaciones excesivas, se puede fisurar el neopreno o romperse, con el consiguiente peligro de corrosión de las chapas metálicas internas. Así, durante las inspecciones es importante evaluar el estado de conservación los aparatos de apoyo, vigilando la ausencia de fisuras y grietas.

Los daños más frecuentes se resumen a continuación:

- Rotura del neopreno que deja a la vista las chapas de acero, que pueden estar corroídas, o aplastamiento del neopreno propiamente dicho, lo que se manifiesta en forma de “panzas” entre las chapas de acero que arriostan el neopreno.
- Deformación muy diferenciada entre unas zonas y otras, con despegues o pérdidas de contacto, en las zonas menos cargadas, con la cama de apoyo o con la cara inferior del tablero, lo que favorece el reptado del neopreno
- Despegue de las placas interiores unidas al neopreno.
- Distorsiones excesivas, lo que puede acabar produciendo roturas en el neopreno.

Generalmente, la vida útil de los apoyos es menor que la de la estructura, por lo que su reemplazo es una actuación previsible.

Sistema de drenaje

No son de esperar comportamientos anómalos, diferentes de los ya conocidos, en el conjunto de desagües, en el supuesto de que se efectúan sobre éstos las labores rutinarias adecuadas de limpieza (mantenimiento ordinario). La experiencia demuestra que las causas más frecuentes de deterioro son el atasco de las conducciones por pérdida de sección debido al atasco de sedimentos o residuos.

Los daños asociados son bien conocidos: manchas de agua, goteras, etc. Por todo ello se hace especialmente recomendable que, además del mantenimiento ordinario, se preste especial atención a la limpieza y, en su caso, reparación del sistema de drenaje después de tormentas o lluvias importantes.

En todo caso, se prestará atención a todo tipo de mancha de humedad que pudiera estar evidenciando un mal funcionamiento del sistema de drenaje.

12.6.4. Criterios de inspección

Se plantean tres niveles de inspección: básicas o rutinarias, principales y especiales.

Inspecciones básicas o rutinarias

Son las efectuadas por el personal encargado del mantenimiento de la obra, es decir, de la propia empresa concesionaria o de la empresa que ésta contrate con este propósito. Su objetivo es hacer un seguimiento

del estado de la obra de manera simultánea a las operaciones rutinarias de mantenimiento, para detectar así lo antes posible fallos aparentes que podrían originar gastos importantes de conservación o reparación si no son corregidos a tiempo. La realización de esta inspección supone completar una ficha tipo de inspección básica, en la que se han de destacar, de todos los daños posibles, los de mayor trascendencia. La cadencia de estas inspecciones será semestral, coincidiendo con el verano y con el invierno.

Como consecuencia de cada inspección rutinaria se derivarían, en su caso, las siguientes acciones:

Operaciones de mantenimiento ordinario, que se describirán en los apartados siguientes, y otras adicionales, si no hay daños significativos de mayor importancia.

Inspecciones de nivel superior (principales o especiales) si se detectan problemas de tipo evolutivo que deben ser analizados por técnicos especializados. Estas inspecciones, así como las solicitudes de órdenes de estudio para la elaboración de proyectos, se propondrán por la propiedad.

Inspecciones principales

Son las efectuadas por personal especializado para la determinación minuciosa, de forma visual, del estado de los deterioros de los elementos, rellenando finalmente una ficha sistematizada. A diferencia de las anteriores, se requiere de la participación de ingenieros especializados, que saben qué mirar, dónde hacerlo y cómo interpretar lo que ven. El resultado de la inspección permitirá evaluar los deterioros de los distintos elementos de la obra, para finalmente obtener un “índice de daño”.

La cadencia propuesta para estas inspecciones es de 60 meses a partir de una inspección principal inicial o de estado cero, que debería ser coincidente con la recepción de la obra.

La inspección principal sólo requiere de medios visuales y es indispensable que los inspectores vayan equipados con:

- cámara fotográfica digital;
- prismáticos;
- medidor de abertura de fisuras;
- espejo;
- cinta de medir y distanciómetro; y
- martillo para detectar la eventual existencia de exfoliaciones.

De manera complementaria, se recuerda la necesidad de que los inspectores, debidamente acreditados ante la autoridad competente, vayan dotados de los elementos de seguridad correspondientes (botas, chalecos reflectantes, etc.).

Inspecciones especiales

Son las realizadas con todo tipo de equipos especiales y personal especializado para poder estudiar en detalle las patologías estructurales, y poder elaborar consecuentemente informes de estado o proyectos de reparación de la obra. Se decide acometer una inspección especial sólo si como resultado de una inspección básica o de una principal se ha detectado un vicio oculto o una evolución rápida de algún deterioro (fisuras de abertura creciente no justificadas en la campaña previa) que pueda dar lugar a pérdida del nivel de seguridad, de funcionalidad o de seguridad de los usuarios. Sería el caso también de una circunstancia

accidental como un impacto de un vehículo, tras cuya ocurrencia resultase necesario evaluar el estado de la estructura y dictaminar la necesidad de reparar o reforzar.

Los inspectores además deberán llevar los instrumentos enumerados en el caso anterior, así como la acreditación correspondiente.

12.6.5. Definición de los medios de acceso

En principio, para las inspecciones básicas, no serán necesarios medios de acceso, salvo que se quieran inspeccionar los apoyos, en cuyo caso será necesaria una plataforma para acceder a los mismos.

12.6.6. Criterios de evaluación (umbrales de rechazo)

A continuación, se describen ciertos daños que servirán para alertar al inspector de fallos en algún elemento del puente y que desencadenarían automáticamente la necesidad de realizar una inspección principal e incluso especial, y en su caso, un proyecto de reparación:

Manchas de humedad en elementos de hormigón.

- Fisuras o roturas en soldaduras de elementos metálicos.
- Abolladuras o deformaciones excesivas en los elementos metálicos.
- Espesores de patina en las chapas de los elementos metálicos superiores a 1mm,.
- Fisuras oblicuas o diagonales en estribos, de cualquier tipo de abertura.
- Indicios de corrosión de la armadura pasiva.
- Deformaciones excesivas en los apoyos, roturas del neopreno y bloqueos.

12.6.7. Mantenimiento

Definición

Las operaciones de mantenimiento han de servir para asegurar, durante la vida útil definida por la Propiedad, el nivel de prestaciones de la estructura (en términos de seguridad estructural, comportamiento en servicio, seguridad del usuario y durabilidad) por encima de los límites o umbrales de aceptación definidos. Su clasificación y vinculación con el resto de operaciones propias de la gestión de la infraestructura ya han sido enunciadas en este Plan de Mantenimiento.

Mantenimiento básico u ordinario

Es el que se lleva a cabo de manera regular y pautada y tiene un carácter esencialmente preventivo. Es de gran importancia. Descuidar el mantenimiento ordinario trae consigo un incremento de la velocidad de los deterioros y, consiguientemente, unas peores prestaciones de la infraestructura y un coste de puesta al día mucho más que proporcionalmente mayor que el coste derivado de las labores de mantenimiento ordinario.

Dentro de las operaciones de mantenimiento básico u ordinario, que en general no exigirán la presencia de personal y medios especializados, se encuentran, entre otras, las siguientes:

- Limpieza y mantenimiento en buen estado de funcionamiento del sistema de drenaje y desagües. Se realizará cada tres meses y siempre después de fuertes lluvias o tormentas que puedan producir arrastres, prestando especial atención a la eliminación de sólidos, sedimentos, etc. que tienden a obturar los sumideros.
- Supresión de humedades y pátinas superficiales. Esta operación se llevará a efecto cada 12 meses, coincidiendo con el final de la primavera o el otoño.
- Reparación de pequeños desconchones no estructurales que revistan poca importancia.
- Limpieza periódica de los aparatos de apoyo para evitar bloqueos.
- Con carácter general, limpieza de todos los paramentos exteriores de la estructura.

Mantenimiento especializado

Se refiere al conjunto de actuaciones pautadas, con frecuencia no definida, que requieren del concurso de especialistas para la sustitución programada de elementos o piezas cuya vida útil ha llegado a término. Se acomete este tipo de mantenimiento tras inspecciones rutinarias o principales cuyo dictamen concluya la necesidad de intervenir. También en este grupo de actuaciones se incluyen las de reparación ordinaria de corto alcance, con lo que quedan fuera las actuaciones urgentes o que traten de resolver daños graves para el conjunto de la estructura.

- Reposición de elementos drenaje y desagüe del tablero y ejecución de nuevos drenajes si los existentes evidencian no ser eficaces por ubicación o por variaciones en la red de drenaje superior, y si se observa que hay filtraciones que puedan propiciar el deterioro de los elementos de hormigón.
- Arreglos localizados en paramentos, como parcheos en zonas de hormigón como impactos o desconchones, siempre que se trate de incidencias menores durante cualquier maniobra habitual en la vida operativa de la infraestructura. En ese sentido, el caso del hormigón, incidente “menor” será aquel que no dé lugar a pérdida de sección mayor que el recubrimiento de las armaduras (unos 4 cm). En el caso del acero inoxidable, tanto estructural como pasivo, será cualquier indicio de corrosión en el mismo que avise de la pérdida de protección frente a la corrosión.
- Todos los elementos dañados por accidentes, vandalismo o cualquier otra causa puntual deben ser repuestos o reparados en función de la gravedad del daño.
- Reparación o sustitución de apoyos dañados.

12.6.8. Programa resumen de inspecciones y de mantenimiento periódicos

Inspecciones periódicas

- Inspecciones anuales
- Control visual de los aparatos de apoyo de neopreno.
- Control y limpieza de los desagües del tablero.
- Examen visual del estado de las soldaduras accesibles.
- Medición de los espesores de la pátina del acero.

Inspecciones especializadas cada 5 años

- Nivelación detallada del tablero en ausencia de tráfico. Se realizará siempre en condiciones similares de temperatura y soleamiento, preferentemente a primera hora de la mañana.
- Inspección detallada de los aparatos de apoyo.
- Inspección detallada del sistema de drenaje de la plataforma.
- Levantamiento de perfiles longitudinales de la estructura por el eje y por ambos extremos.

- Inspección de las soldaduras de la estructura.
- Inspección detallada de los espesores de la pátina del acero.

Mantenimiento especializado

Mantenimiento cada 20 años

- Inspección detallada de los aparatos de apoyo para evaluar la necesidad o no de su sustitución.

12.6.9 Valoración de las operaciones de mantenimiento

La valoración de los costes de mantenimiento resulta muy complicada de determinar, por no ser posible conocer de antemano con precisión los daños o desórdenes que se van a producir en el futuro.

En cualquier caso, como valor aproximado de los costes de las operaciones de mantenimiento, se puede estimar una cantidad anual aproximada de entre el 0,3 % - 0,5% del valor de construcción del puente en su emplazamiento.

12.7. Referencias normativas y bibliográficas

AENOR UNE-EN 1990. “Eurocódigos. Bases de cálculo de estructuras”. 2003

AENOR UNE-EN 12.390-8. “Ensayos de hormigón endurecido, parte 8: profundidad de penetración de aguaEurocódigos.” 2000

AENOR UNE-EN ISO 1.461 “Recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos acabados de hierro y acero – Especificaciones y métodos de ensayo”. 1999.

AENOR UNE-EN ISO 12.944-2 “Pinturas y barnices. Protección de estructuras frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 2: Clasificación de ambientes”. Mayo. 1998.

AENOR UNE-EN ISO 12.944-5 “Pinturas y barnices. Protección de estructuras frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 5: Sistemas de pintura protectores”. Septiembre. 2007.

ALAEJOS, P. “Recomendaciones para mejorar la calidad de los cajones de muelles portuarios: fase de proyecto y ejecución.”. Jornada de la Asociación Técnica de Puertos y Costas. Madrid. 7 de julio de 2009.

ISO ISO 8501. “Preparation of steel substrates before application of paints and related products -- Visual assessment of surface cleanliness -- Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings”. 2007.

LANKARD, D.R. “Procedures for evaluating corrosión-inhibiting admixtures for structural concrete”. National Cooperative Highway Research Program (Project D10-45). June 2000.

MINISTERIO DE FOMENTO Orden de 12 de febrero de 1.998, del Ministro de Fomento, por la que se aprueba la Instrucción de acciones en puentes de carretera (IAP).

NATIONAL ASSOCIATION
FOR CORROSION ENGINEERS Estimated service life of protective coatings.

SIEMES, A. et al "Durability of buildings a reliability analysis" Heron 30(3). 1985.

SOCIETY FOR PROTECTIVE COATINGS SSPC-Paint 22, Epoxy-Polyamide Paints (Primer, Intermediate, and Topcoat) Standard. Noviembre 2004.

Donostia-San Sebastián, junio de 2022

EL INGENIERO AUTOR DEL PROYECTO

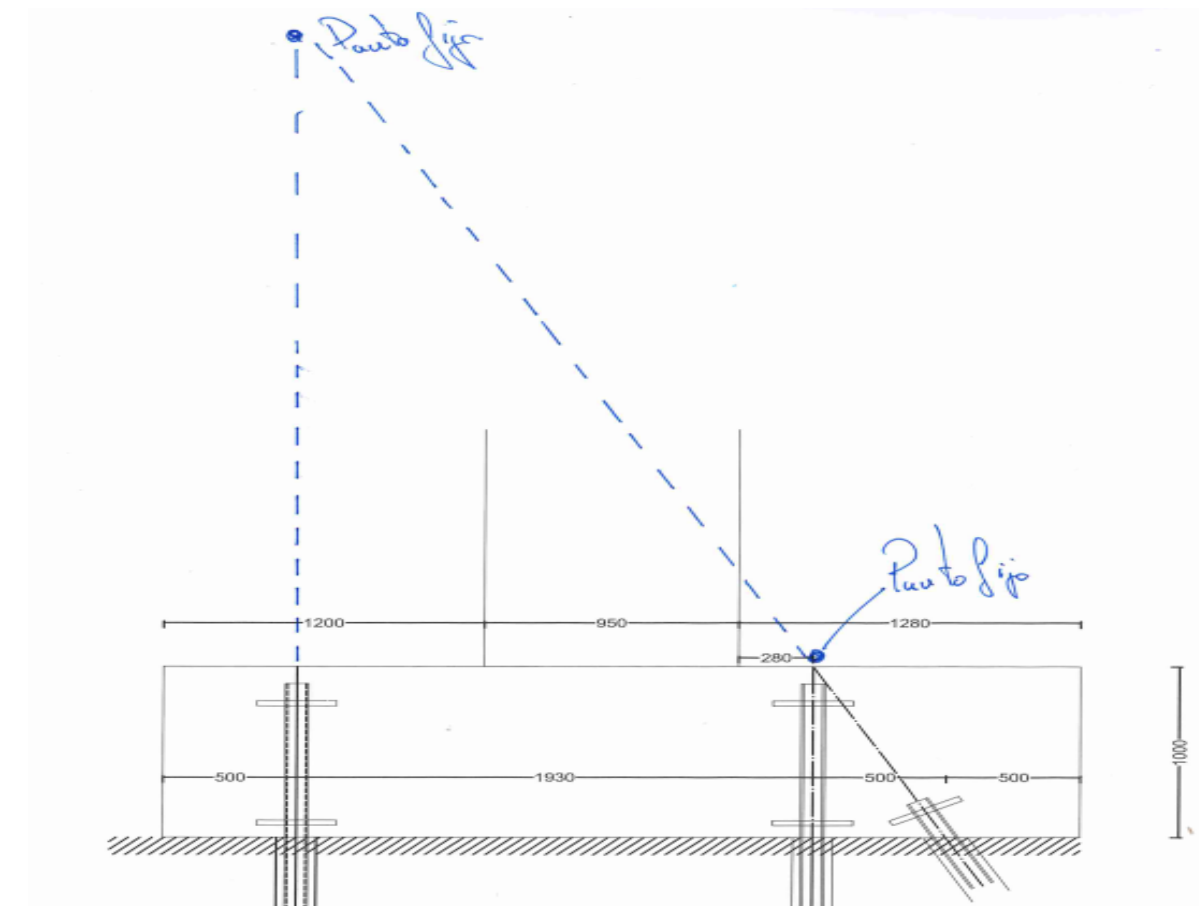


Fdo.: D. Álvaro Arrieta Bakaikoa

13. Estribos y cimentaciones

13.1 Criterios de diseño

Debido a las pobres características del terreno, los estribos se han cimentado mediante zapatas corridas micropilotadas. De esta manera, y mediante tres alineaciones de micropilotes formando “dos puntos fijos”, se consigue el equilibrio del conjunto zapata-alzado del estribo.



Anexo.- Cálculo del tablero de la Pasarela

La longitud de los micropilotes viene dada por la adherencia del terreno al rozamiento por fuste de los micropilotes, tomándose una adherencia del terreno de 0,07 Mpa. El empotramiento de los micropilotes se considera en la capa UG-3 correspondiente a roca alterada grado V-VI, asimilable a arcilla compacta. Esta capa se encuentra a unos 10 metros de profundidad. Con lo que teniendo en cuenta las cargas que pueden soportar los micropilotes, los diámetros de los micros y la adherencia del terreno por fuste, el empotramiento necesario es de un mínimo de 15 metros, siendo la longitud total aproximada de los micropilotes de 25 metros.

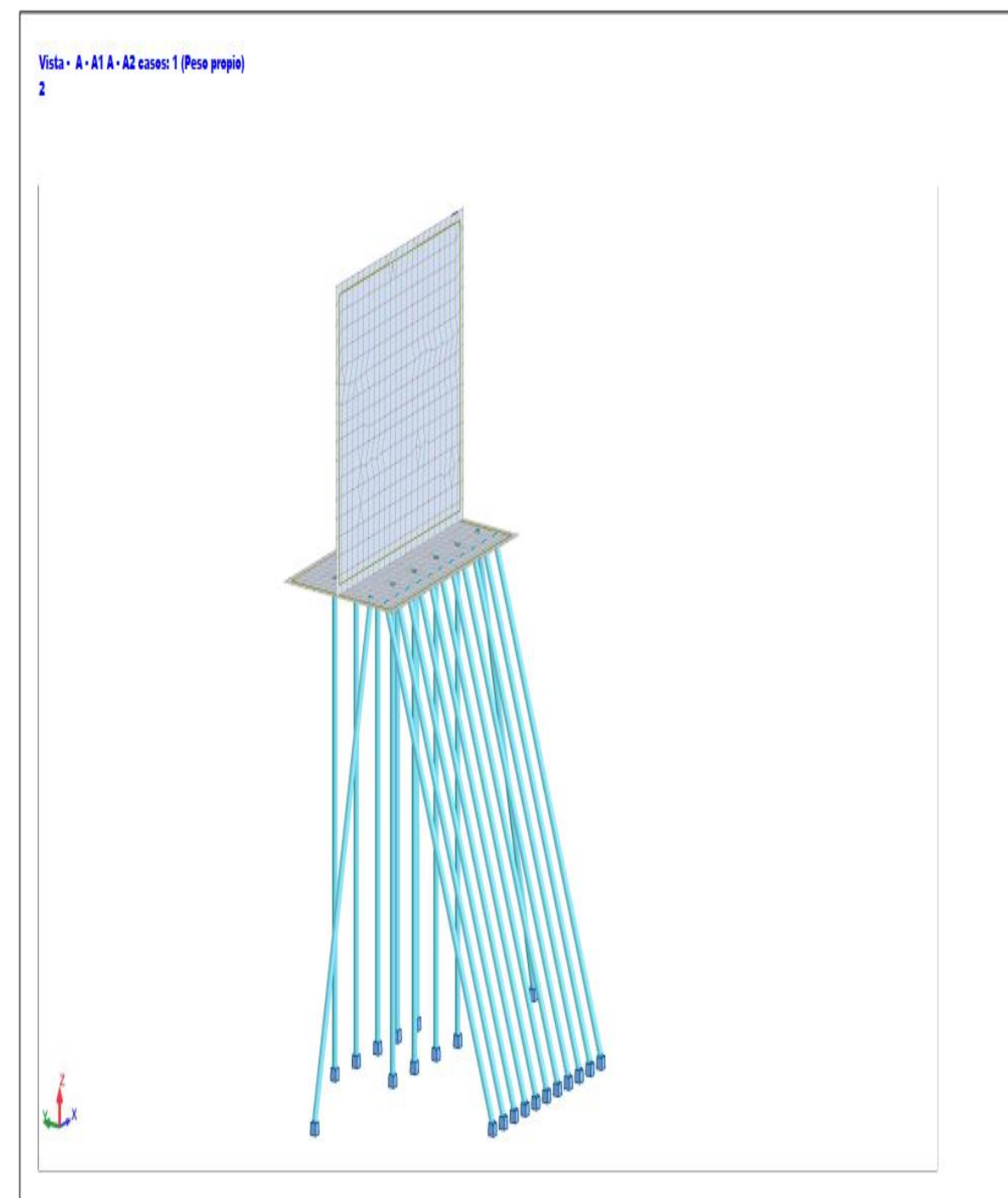
Debido al espacio necesario para albergar los apoyos de los neoprenos, la sección del muro es lo suficientemente importante para que el armado del alzado se dimensione a C.G.M y retracción.

El armado de la zapata viene condicionado por la existencia de micropilotes, situándose la armadura principal en fajas sobre las chapas. La armadura secundaria horizontal de C.G.M y retracción se coloca entre las fajas, y la armadura vertical de cercos de suspensión atando la armadura de fajas. También se ha

dispuesto armadura secundaria vertical con el fin de resistir las tracciones debidas a la dispersión del campo de compresiones.

13.2 Modelo de cálculo y cargas

Modelo



Cargas

Peso Propio

$$\gamma_{concreto} = 25 \text{ kN/m}^3$$

Empuje traslós dando agua

Se tiene en cuenta el empuje de tierras con una densidad de $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ y un ángulo de roz de 20° .

Además de ello se tiene en cuenta una sobrecarga de tráfico de 10 kN/m^2 .

$$E = 16.7 \text{ kN/m}^2$$

Tierras sobre la zapata

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$h = 4.12 \text{ m}$$

$$\text{Peso} = 4.12 \text{ m} \times 20 \text{ kN/m}^3 = 82.4 \text{ kN/m}^2$$

Posición hidrográfica

Se tiene en cuenta el nivel de agua en el traslós del estrido, siendo conservador ya que según estudio geotécnico, el N.F. se encuentra a la altura de la zapata.

$$E = \gamma \cdot h = 10 \text{ kN/m}^3 \cdot 1 \text{ m} = 10 \text{ kN/m}^2$$

REF.	
HOJA	DE
FECHA	

Cargas actuantes en los estribos.

Zuatzu Kalea, 2. Edif. Igeldo, local 10. 20018 Donostia-San Sebastián, Gipuzkoa. Tel. 943 316 655. Fax 943 316 273. www.sestra.es

Cargas que transmite la pasarela.

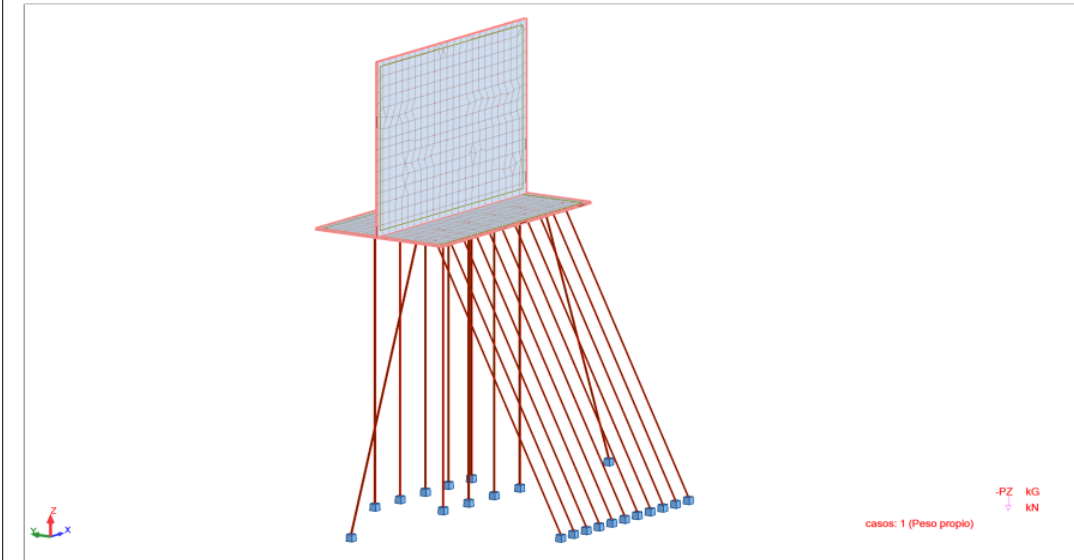
Se introducen los cargos q. lo pasarela transmite a los apoyos.

Se introducen en ELS ya que posteriormente se alargaron y cambiaron.

$F_x = 14'25 \text{ ton}$
 $F_y = 18'177 \text{ ton}$
 $F_z = 262'80 \text{ ton}$

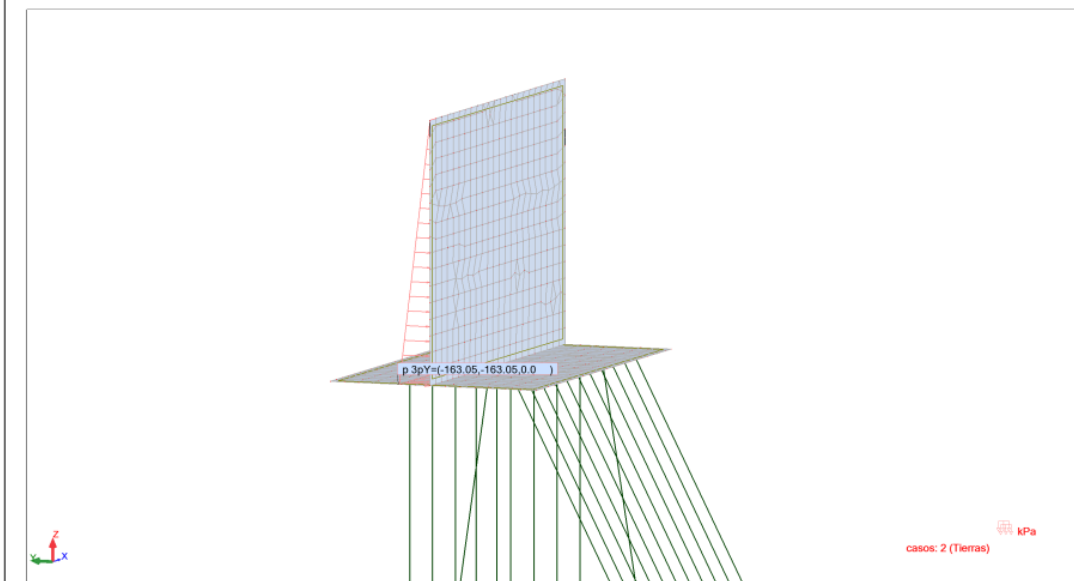
Peso propio

Vista - A - A1 A - A2 casos: 1 (Peso propio)
3

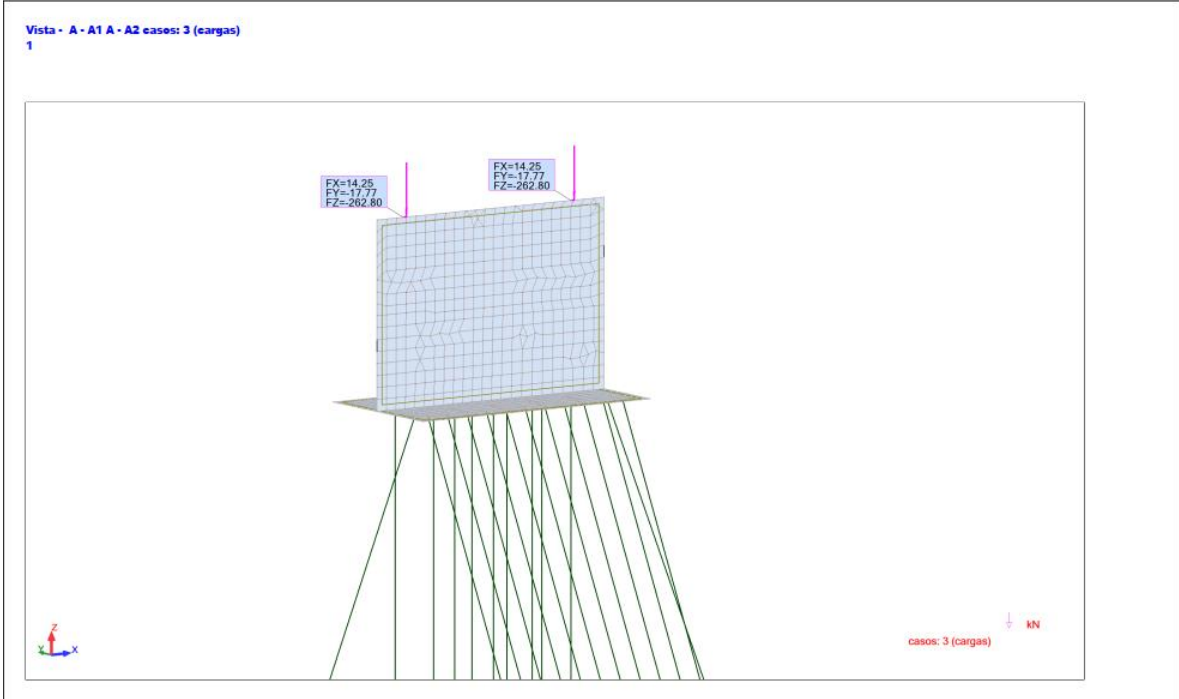


Tierras

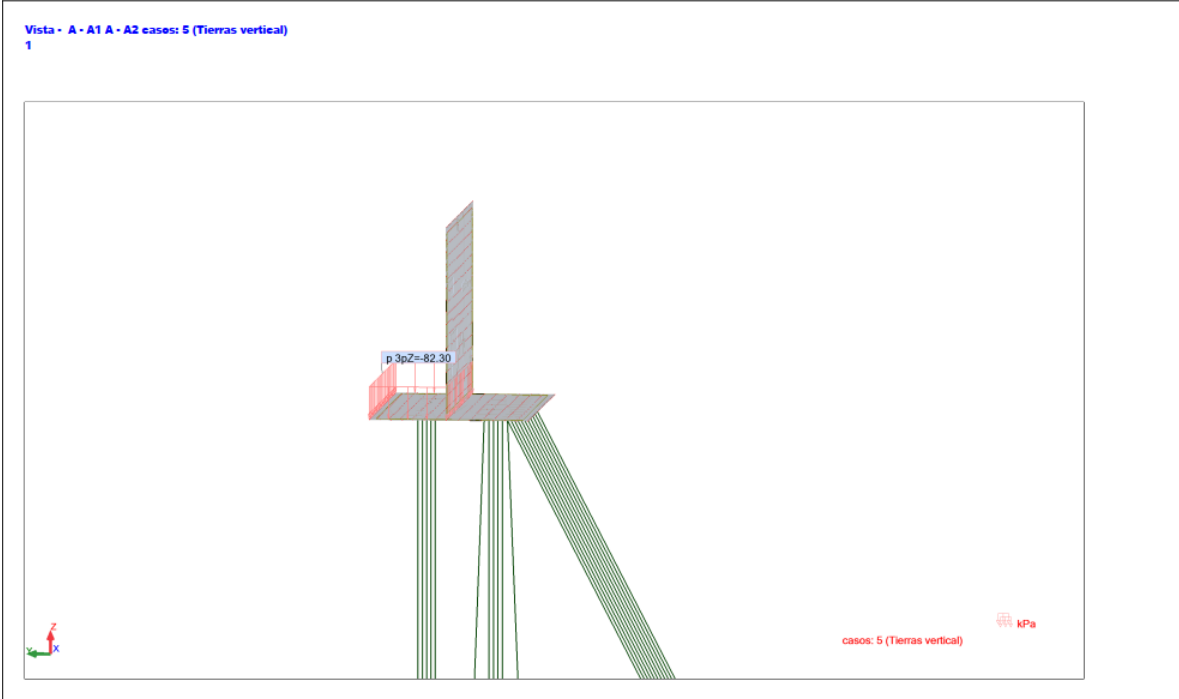
Vista - A - A1 A - A2 casos: 2 (Tierras)
3



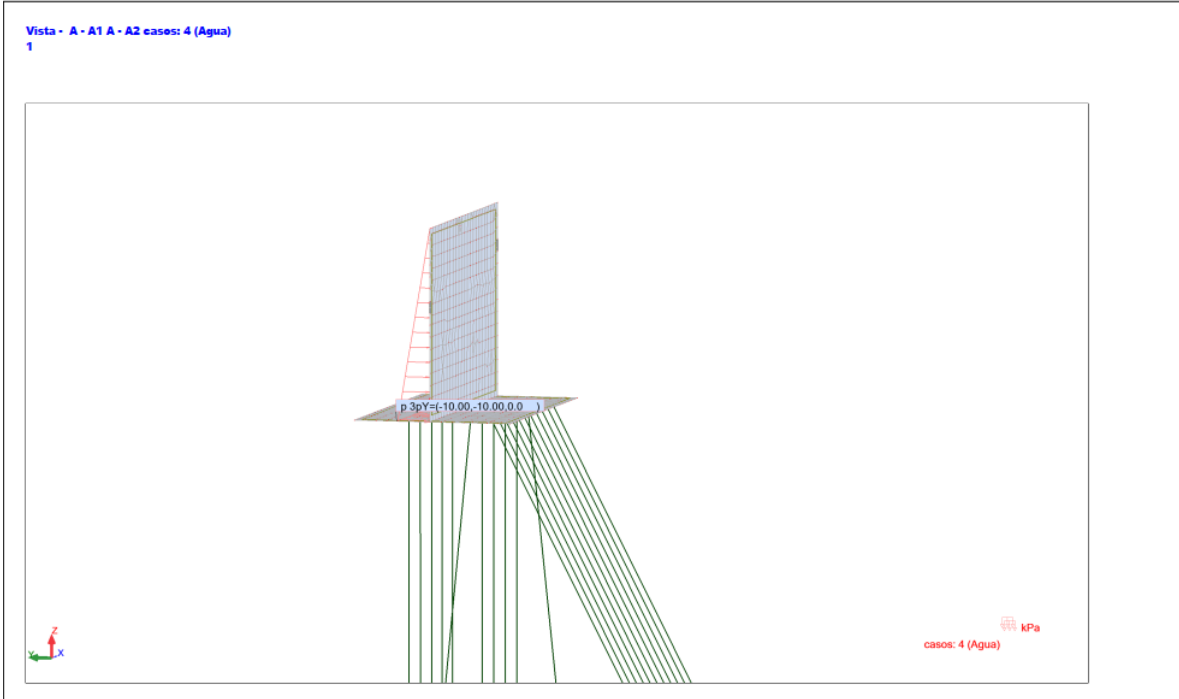
Cargas pasarela



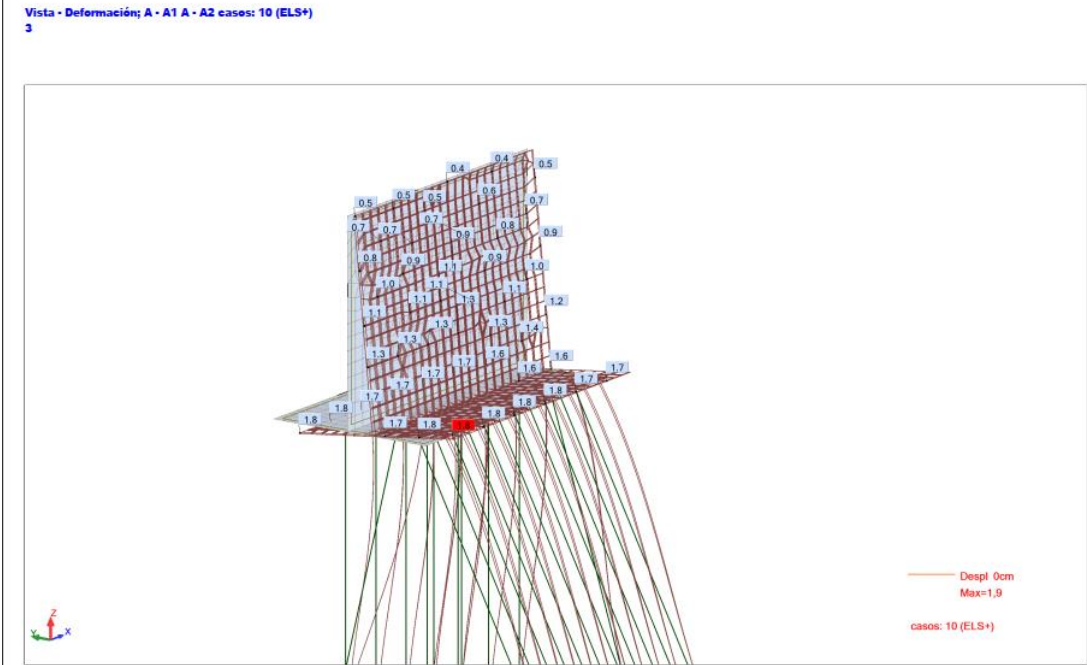
Tierras sobre zapata



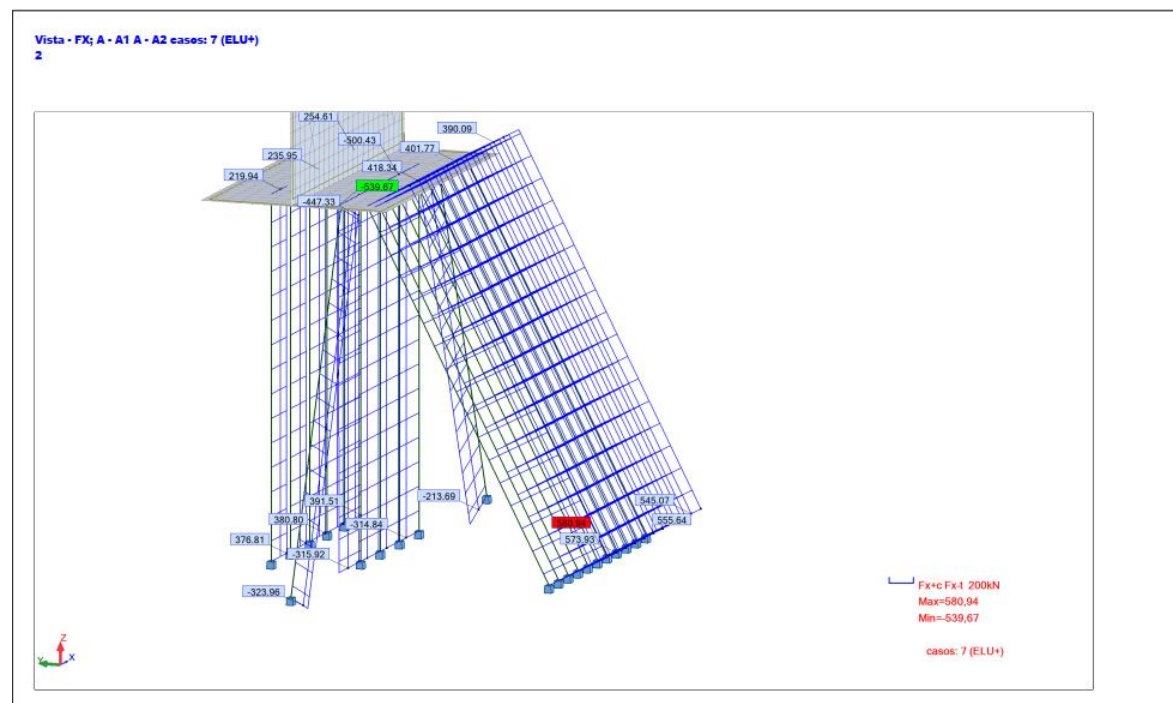
Agua



Equilibrio encepado



Esfuerzo axil en micropilotes



13.3 Comprobación micropilotes

DIMENSIONAMIENTO DE MICROPILOTAJES

(Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera)

PROYECTO : PASARELA ARTIA
ESTRUCTURA : MICROPILOTE D200 139,7 t=6

TOPE ESTRUCTURAL DEL MICROPILOTE A COMPRESIÓN

$$Te,c,adm = 1/\gamma_f * (0,85*Ac*fcd + As*fsd + Aa*fyd) * R / (1,20*Fe)$$

$$fcd = fck / \gamma_c \quad fsd = fsk / \gamma_s \quad fsd \leq 400 \text{ MPa}$$

$$fyd = fyk / \gamma_a \quad fyd \leq 400 \text{ MPa}$$

COEFICIENTES DE SEGURIDAD

HORMIGÓN O MORTERO	$\gamma_c =$	1,50
ACERO CORRUGADO	$\gamma_s =$	1,15
ACERO DEL TUBO	$\gamma_a =$	1,10
ACCIONES	$\gamma_f =$	1,435
FACTOR DE PANDEO	$R =$	1,00
COEFICIENTE DEL TIPO DE EJECUCIÓN	$Fe =$	1,05
- Perforación con revestimiento recuperable		

CARACTERÍSTICAS DEL PILOTE

DIÁMETRO	$D =$	200	mm
ÁREA DEL PILOTE	$Ap =$	314	cm ²
ÁREA DE MORTERO INTERIOR	$Ac,int =$	128,08	cm ²
ÁREA DE MORTERO EXTERIOR	$Ac,ext =$	160,88	cm ²
Colaborante:	si		
ÁREA DE MORTERO RESISTENTE	$Ac =$	288,96	cm ²
RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL MORTERO	$fck =$	25,0	MPa
SECCIÓN DE ARMADURA	$As =$	0,00	cm ²
RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL ACERO DE ARMAR	$fyk,s =$	500,0	MPa
	$fyd,s =$	400,0	MPa
DIÁMETRO EXTERIOR DEL TUBO	$\Phi_e =$	139,7	mm
ESPESOR DEL TUBO	$t =$	6	mm
REDUCCIÓN DEL ESPESOR POR CORROSIÓN	$re =$	0,60	mm
TIPO DE UNIÓN	$Fu,c =$	1,0	1,0
- Unión diseñada para no sufrir pérdida de resistencia			
SECCIÓN DE ACERO DEL TUBO	$At =$	22,58	cm ²
RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL ACERO DEL TUBO	$fyk,t =$	560,0	MPa
	$fyd,t =$	400,0	MPa

TOPE ESTRUCTURAL

SECCIÓN DE HORMIGÓN O MORTERO	$Te,c,m =$	325	kN
SECCIÓN DE ACERO	$Te,c,s =$	717	kN
SECCIÓN TOTAL	$Te,c,d =$	1042	kN
CARGA ADMISIBLE	$Te,c,adm =$	726	kN

TOPE ESTRUCTURAL DEL MICROPILOTE A TRACCIÓN

$$Te,t,adm = 1/\gamma_f * (As*fsd + Aa*fyd) / 1,10$$

$$fcd = fck / \gamma_c \quad fsd = fsk / \gamma_s \quad fyd = fyk / \gamma_a$$

SECCIÓN DE ACERO	$Te,t,d =$	1045	kN
CARGA ADMISIBLE	$Te,t,adm =$	728	kN

MICROPILOTES - CARGAS MAXIMAS

CARGA NOMINAL :

- Equilibrio Límite Último Global y Local con sus Coef. de Seguridad (Fs)
- Estado Límite de Servicio con los Valores Característicos de las Acciones y de los Parámetros Geotécnicos.

P_N = 726 kN

CARGA DE HUNDIMIENTO

Qh = $\pi \cdot D \cdot L_r \cdot a_{lim}$		Qadm = Qh / F >= P_N	
Adherencia límite :	a_{lim} =	0,20	MPa
Coeficiente de seguridad frente al hundimiento : F			
	Comb casi permanente	Comb característica	Comb accidental
Pilotes permanentes	3,0	2,6	2,2
Pilotes provisionales	2,6	2,3	2,0
	F =	2,6	
Adherencia admisible :	a_{adm} =	0,08	MPa
Diámetro del micropilote en el empotr.:	Demp =	200	mm
Longitud de empotramiento :	Lr,min =	15,02	m
	Lr =	15,00	m
Carga de hundimiento :	Qh =	1885	kN
Carga admisible :	Qadm =	725	kN
Carga mayorada máxima :	γ_f =	1,435	
	Qd =	1040	kN

UNIÓN DE MICROPILOTE A COMPRESIÓN EN ENCEPADO CON CHAPA DE ANCLAJE

PROYECTO : PASARELA ARTIA
ESTRUCTURA : MICROPILOTE D200 139,7 t=6

ENCEPADO:	- Resistencia característica del hormigón	fck =	25	MPa
	- Coeficiente de minoración de la resistencia	γ_c =	1,50	
	- Resistencia de cálculo a compresión	f_{1,cd} =	14,17	MPa
MICROPILOTE:	- Carga de diseño a compresión en el micropilote:	Nsd =	726	kN
	- Diámetro nominal del micropilote	D =	200	mm
	- Factor de pandeo	R =	1,00	
	- Coeficiente del tipo de ejecución	Fe =	1,05	
	- Diámetro exterior del tubo	Φ_e =	139,7	mm
	- Espesor del tubo	t =	6,0	mm
	- Diámetro interior del tubo	Φ_i =	127,7	mm
	- Área de armadura pasiva	As =	0,00	cm2
	- Resistencia característica del acero de armadura	f_{yk,s} =	500	MPa
		f_{yd,s} =	400	MPa
	- Resistencia última de la armadura pasiva	f_{yd,s,ult} =	317,5	MPa
		F_{int,arm,ult} =	0,0	kN
	- Área interior de mortero:	A_{int,m} =	128,1	cm2
	- Resistencia característica del mortero	f_{ck,m} =	25	MPa
		f_{cd,m} =	16,67	MPa
	- Resistencia última del mortero interior	f_{cd,m,ult} =	11,24	MPa
		F_{int,mor,ult} =	144,0	kN
	- Área de la sección del tubo	A_{tubo} =	25,2	cm2
	- Carga última directa al tubo	F_{dir,tubo} =	35,7	kN
	- Capacidad interior total	F_{int,ult} =	179,7	kN
	- Capacidad exterior necesaria	F_{ext,rd,min} =	546,3	kN
CHAPA:	- Área de chapa necesaria	A_{nec} =	385,6	cm2
	- Diámetro exterior mínimo	Dchapa,ext,min =	262	mm
	- Diámetro exterior	Dchapa,ext =	300	mm
	- Área exterior de mortero	A_{ext,m} =	160,9	cm2
	- Resistencia última del mortero exterior	Colaborante: F_{ext,mor,ult} =	180,9	kN
	- Fuerza exterior en media chapa	F_{ext/2} =	273,1	kN
	- Centro de gravedad de media chapa	ycg,chapa =	65,9	mm
	- Fuerza en medio mortero exterior	F_{mor/2} =	90,4	kN
	- Centro de gravedad de medio mortero exterior	ycg,mor =	54,6	mm
	- Fuerza en medio tubo	F_{tubo/2} =	182,7	kN
	- Centro de gravedad de medio tubo	ycg,tubo =	42,6	mm
	- Momento de diseño	Md =	5,3	m*kN
	- Anchura de la sección	b =	160,3	mm
	- Resistencia característica del acero de la chapa	f_y =	355	MPa
	- Resistencia de diseño del acero de la chapa	f_{yd} =	322,7	MPa
	- Espesor de chapa mínimo necesario	tchapa,min =	20,2	mm
	- Espesor de chapa	tchapa =	30	mm
	- Fueba transmitida por la soldadura	F_{d,sold} =	365,4	kN
	- Resistencia de cálculo de la soldadura	f_{yw,d} =	321	MPa
	- Longitud de soldadura	Lsol =	438,9	mm
	- Garganta mín de soldadura en ángulo simple	amin =	2,6	mm
	- Garganta de soldadura en ángulo simple	a =	5,0	mm

13.4 Armado de estribo y equilibrio a vuelco

UNIÓN DE MICROPILOTE A TRACCIÓN EN ENCEPADO CON CHAPA DE ANCLAJE

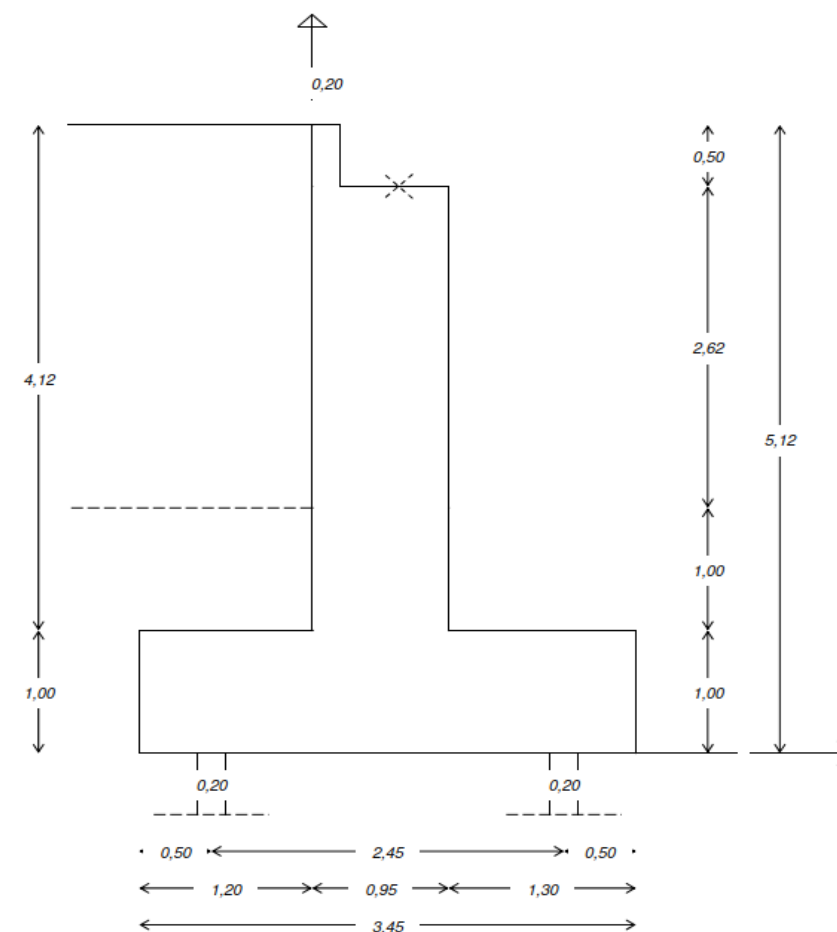
PROYECTO : PASARELA ARTIA
ESTRUCTURA : MICROPILOTE D200 139,7 t=6

ENCEPADO:	- Resistencia característica del hormigón	fck =	25	MPa
	- Coeficiente de minoración de la resistencia	γ_c =	1,50	
	- Resistencia de cálculo a compresión	f _{1,cd} =	14,17	MPa
MICROPILOTE:	- Carga de diseño a tracción en el micropilote:	N _{sd} =	500	kN
	- Diámetro nominal del micropilote	D =	200	mm
	- Diámetro exterior del tubo	Φ_e =	139,7	mm
	- Espesor del tubo	t =	6,0	mm
	- Diámetro interior del tubo	Φ_i =	127,7	mm
	- Capacidad exterior necesaria	F _{ext,rd,min} =	500,4	kN
CHAPA:	- Área de chapa necesaria	A _{nec} =	353,2	cm ²
	- Diámetro exterior mínimo	D _{chapa,ext,min} =	254	mm
	- Diámetro exterior dispuesto	D _{chapa,ext} =	300	mm
	- Fuerza exterior en media chapa	F _{ext/2} =	250,2	kN
	- Centro de gravedad de media chapa	y _{cg,chapa} =	64,4	mm
	- Fuerza en medio tubo	F _{tubo/2} =	250,2	kN
	- Centro de gravedad de medio tubo	y _{cg,tubo} =	42,6	mm
	- Momento de diseño	M _d =	5,5	m*kN
	- Anchura de la sección	b =	160,3	mm
	- Resistencia característica del acero de la chapa	f _y =	355	MPa
	- Resistencia de diseño del acero de la chapa	f _{yd} =	322,7	MPa
	- Espesor de chapa mínimo necesario	t _{chapa,min} =	20,5	mm
	- Espesor de chapa dispuesto	t _{chapa} =	30	mm
	- Fuerza transmitida por la soldadura	F _{d,sold} =	500,4	kN
	- Resistencia de cálculo de la soldadura	f _{yw,d} =	321	MPa
	- Longitud de soldadura	L _{sol} =	438,9	mm
	- Garganta min de soldadura en ángulo simple	a _{min} =	3,6	mm
	- Garganta soldadura en ángulo simple dispuesta	a =	5,0	mm

Esquema

ESQUEMA DEL MURO

PROYECTO : PASARELA ARTIA
ESTRUCTURA: ESTRIBO
HIPOTESIS : EMPUJE TRASDÓS



Entorno

HIPOTESIS : EMPUJE TRASDÓS

CARACTERISTICAS DE RELLENO:

DENSIDAD DE TIERRAS		DENSIDAD DEL AGUA	
APARENTE	$\gamma_{ap}= 20 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_w= 10 \text{ kN/m}^3$	
SUMERGIDA	$\gamma_{sum}= 10 \text{ kN/m}^3$		

ANGULO DE ROZAMIENTO (°)	ANGULO CON LA HORIZONTAL (°)
INTERNO TIERRAS/MURO	TALUD DE TIERRAS TRASDOS DE MURO
$\phi= 20$ $\delta= 0$	$\beta= 0$ $\alpha= 90$

COEFICIENTES DE EMPUJE TEORICOS

	HORIZONTAL	VERTICAL
ACTIVO	$\lambda_{ah}= 0,490$	$\lambda_{av}= 0,000$
REPOSO	$\lambda_{rh}= 0,658$	$\lambda_{rv}= 0,000$
PASIVO	$\lambda_{ph}= 2,040$	$\lambda_{pv}= 0$

COEFICIENTES DE EMPUJE ADOPTADOS EN EL CALCULO

	HORIZONTAL	VERTICAL
TRASDOS	$\lambda_{h,t}= 0,490$	$\lambda_{v,t}= 0,000$
INTRADOS	$\lambda_{h,i}= 0,000$	$\lambda_{v,i}= 0,000$

COEFICIENTES REDUCTORES DE LA SUBPRESION

TRASDOS	$k_w,t= 1,000$
INTRADOS	$k_w,i= 1,000$

CARACTERISTICAS DE LA CIMENTACION:

CARGA ADMISIBLE DE LOS PILOTES	ROZAMIENTO PILOTE/ENCEPADO
VERTICAL HORIZONTAL	ANGULO (°) COEF. ROZ.
$N_{adm}= 754,00 \text{ kN}$ $H_{adm}= 350,00 \text{ kN}$	$\phi= 0$ $\mu= 0,000$

EMPUJES Y SOBRECARGAS

	NIVEL N°:(0 a 5)	TIERRAS	AGUA	SOBRECARGA
TRASDOS	5	3		$St= 10,00 \text{ kN/m}^2$
INTRADOS	0	0		$Si= 0,00 \text{ kN/m}^2$

CARGAS CONCENTRADAS

TRAMO	NIVEL	ALTURA RELATIVA	DIST. AL EJE Z	CARGA VERTICAL	CARGA HORIZON.	MOMENTO
	i	H _{Ri}	X _{Ci}	N _{Ci}	H _{Ci}	M _{Ci}
5.ALZADO-S	5	5,12				
4.ALZADO-MS	4	4,62	0,60	262,00	17,77	
3.ALZADO-MI	3	2,00				
2.ALZADO-I	2	1,00				
1.ENCEPADO	1	1,00				
		(m)	(m)	(kN/ml)	(kN/ml)	(m*kN/ml)

Página 4

Empujes

HIPOTESIS: EMPUJE TRASDÓS

EMPUJES Y CARGAS C. HORIZONTALES

TRAMO	NIVEL	TIERRAS Y SC. TRASDOS			C.CONCENTRADAS (H)	
		E.VERTIC. NTSi/NTli	E.HORIZ. ETSi/ETli	M.CDG. MTSi/MTli	C.HORIZ. HSi/Hli	M.CDG. CHSi/CHli
5.ALZ-S	5l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	4S	0,00	3,68	0,82	0,00	0,00
4.ALZ-MS	4l	0,00	3,68	0,82	17,77	0,00
	3S	0,00	62,99	73,46	17,77	46,56
3.ALZ-MI	3l	0,00	62,99	73,46	17,77	46,56
	2S	0,00	105,91	156,66	17,77	64,33
2.ALZ-I	2l	0,00	105,91	156,66	17,77	64,33
	1S	0,00	105,91	156,66	17,77	64,33
1.ENCEPADO	1l	0,00	105,91	156,66	17,77	64,33
0.CIMEN	0	0,00	163,74	290,25	17,77	82,10
		(kN/ml)	(kN/ml)	(m*kN/ml)	(kN/ml)	(m*kN/ml)

TRAMO	NIVEL	TIERRAS Y SC. INTRADOS		
		E.VERTIC. NISi/Nili	E.HORIZ. EISi/Eili	M.CDG. MISi/Mili
5.ALZ-S	5l	0,00	0,00	0,00
	4S	0,00	0,00	0,00
4.ALZ-MS	4l	0,00	0,00	0,00
	3S	0,00	0,00	0,00
3.ALZ-MI	3l	0,00	0,00	0,00
	2S	0,00	0,00	0,00
2.ALZ-I	2l	0,00	0,00	0,00
	1S	0,00	0,00	0,00
1.ENCEPADO	1l	0,00	0,00	0,00
0.CIMEN	0	0,00	0,00	0,00
		(kN/ml)	(kN/ml)	(m*kN/ml)

COMP.VERTICAL DE EMPUJES E
EVT= 0,00 kN/ml

MOMENTO DE EMPUJES E
MET= 372,34 m*kN/ml

FUERZA DESLIZANTE E
FDES= 181,51 kN/ml

MOMENTO VOLCADOR E
MVOL= 372,34 m*kN/ml

FUERZA ANTIDESLIZANTE E
EPAS= 0,00 kN/ml

MOMENTO ESTABILIZADOR E
MPAS= 0,00 m*kN/ml

Página 5

Estabilidad

HIPOTESIS: EMPUJE TRASDÓS

SEGURIDAD GLOBAL

FUERZA DESLIZANTE Fdes= 181,51 kN

FUERZA ANTIDESLIZANTE Fant= 0,00 kN

SEGURIDAD AL DESLIZ. (PILOTE/ENCEPADO) $\gamma_d = 0,00 < *** 2,00$

MOMENTO VOLCADOR Mvol= 372,34 m*kN

MOMENTO ESTABILIZADOR Mest= -719,17 m*kN

SEGURIDAD AL VUELCO (S/PILOTE INTRADOS) $\gamma_v = 1,93 > 1,50$

SEGURIDAD DE LA CIMENTACION

CARGA VERTICAL TOTAL Nt= 513,11 kN

CARGA HORIZONTAL TOTAL Ht= 181,51 kN

MOMENTO EN EL EJE DEL PILOTAJE Mo= 281,73 m*kN

EXCENTRICIDAD e= 0,549 m

CARGA VERTICAL SOBRE LOS PILOTES

INTRADOS	Ni =	371,54 kN	<	Nadm =	754,00 kN
TRASDOS	Nt =	141,56 kN	<	Nadm =	754,00 kN

CARGA HORIZONTAL SOBRE LOS PILOTES

INTRADOS	Hi =	90,75 kN	<	Hadm =	350,00 kN
TRASDOS	Ht =	90,75 kN	<	Hadm =	350,00 kN

Arm.Alzado

HIPOTESIS: EMPUJE TRASDÓS

ARMADO DEL ALZADO

ESFUERZOS EN EL ALZADO

NIVEL	CANTO	ESFUERZOS		CORTAN.	R.HORM.	ARMADURAS		C.G.M.
		AXIL	FLECTOR			TRASDOS	INTRADOS	
i	h	Nd	Md	Vd	Vu2	Ast	Asi	A2=0.3xAs
5I	0,20	0,0	0,0	0,0	125,5	0,00	0,00	0,00
4S	0,20	3,8	1,2	5,5	125,9	0,19	0,00	0,06
4I	0,95	396,8	48,9	32,2	531,5	0,00	0,00	0,00
3S	0,95	490,1	227,7	121,1	544,8	0,04	0,00	0,01
3I	0,95	490,1	227,7	121,1	544,8	0,04	0,00	0,01
2S	0,95	525,7	379,2	185,5	549,9	4,97	0,00	1,49
2I	0,95	525,7	379,2	185,5	549,9	4,97	0,00	1,49
1S	0,95	525,7	379,2	185,5	549,9	4,97	0,00	1,49
1I	3,45	692,0	165,8	185,5	1495,3	0,00	0,00	0,00
0	3,45	821,4	392,8	272,3	1514,4	0,00	0,00	0,00
	(m)	(kN/ml)	(m*kN/ml)	(kN/ml)	(kN/ml)	(cm2/ml)	(cm2/ml)	(cm2)

CUANTIAS GEOMETRICAS MINIMAS

C.G.M.

ESP.MED.

ARMADURA

S.junt.>7.50 S.junt.<=7.50

HORIZONTAL	0,16	0,50	8,00	4,00
VERTICAL	0,09	0,86	7,73	7,73
%		(m)	(cm2/m)	(cm2/m)

Arm.Encepado

13.5 Armado retracción alzado

Eurocódigo 2 - Parte 3

ARMADO DEL ENCEPADO

HIPOTESIS: EMPUJE TRASDÓS

COMPROBACION A CORTANTE

ESFUERZOS DIS.				CORT. RESIS. HORM.			
PUNTERA	SEC. S2	(Vd,i)=	14,30 kN	<	Vcu,i=	475,17 kN	
	SEC. S2'	(Vd,i,p)=	0,00 kN	<	Vcu,i,p=	475,17 kN	
	SEC. S2''	(Vd,i,p)=	0,00 kN	<	Vcu,i,p=	475,17 kN	
TALON	SEC. S2	(Vd,t)=	44,22 kN	<	Vcu,t=	475,17 kN	
	SEC. S2'	(Vd,t,p)=	0 kN	<	Vcu,t,p=	475,17 kN	
	SEC. S2''	(Vd,t,p)=	0,00 kN	<	Vcu,t,p=	475,17 kN	

DIMENSIONAMIENTO A FLEXION

AREA TOTAL DE HORMIGON	fct,m,fl =	3,210 MPa
COEF. DE CUANTIA MINIMA	Ac =	1,000 m2
	ωc =	0,014

ZONA	ESFUERZO DE DISEÑO Md	MOM.RES. SECC.HORM vc	COEFICIENTES μ	ω	ARM. FLEX. CARA TRAC. As	C. COMP. A's	TIRANTES C. INF. As,t	C. SUP. As,t
PUNTERA								
SEC. S1	490,61	8032,50	0,031	0,031	12,74	0,00	18,90	0,00
SEC. S1'	-3,35	8032,50	0,000	0,000	0,09	0,00	0,00	0,00
TALON								
SEC. S1	43,73	8032,50	0,003	0,003	1,12	0,00	6,51	0,00
SEC. S1'	-13,62	8032,50	0,001	0,001	0,35	0,00	0,00	0,00

ARMADURA PRINCIPAL

PUNTERA	CARA INF.	As,f,inf =	18,90 cm2 (EN FAJA)			
	CARA SUP.	As,f,sup =	0,13 cm2 (UNIFORME)	=	0,13	cm2/m
TALON	CARA INF.	As,d,inf =	6,51 cm2 (EN FAJA)			
	CARA SUP.	As,d,sup =	0,52 cm2 (UNIFORME)	=	0,52	cm2/m

ARMADURA SECUNDARIA

LONGITUDINAL(MINIMA)	CARA SUP.	Alon,sup =	9,00 cm2/m			
	CARA INF.	Alon,inf =	9,00 cm2/m			
TRANSVERSAL(MINIMA)	CARA SUP.	Atr,sup =	9,00 cm2/m			
	CARA INF.	Atr,inf =	9,00 cm2/m			
ENTRE FAJAS	CARA INF.	Asec,inf =	5,90 cm2/m			
DE SUSPENSION	CERCOS	Aa,sus =	1,49 cm2 / ml de faja			

ARMADURA LONGITUDINAL (VIGA DE GRAN CANTO)

INFERIOR : (ALTURA DE REPARTO :	0,00	< h <	0,10)
VANOS EXTREMOS	Alon,inf,ext =	3,08	cm2
VANOS INTERIORES	Alon,inf,int =	1,73	cm2
SUPERIOR : (ALTURA DE REPARTO :	0,100	< h <	0,75)
SOBRE APOYOS	Alon,sup =	3,85	cm2

Página 9

PROYECTO: PASARELA ARTIA
ESTRUCTURA: ESTRIBO
ELEMENTO: ESTRIBO

CARACTERÍSTICAS DEL ELEMENTO DEL DEPÓSITO

Canto:	h =	0,950 m	Elemento:	Muro
	h _{int,eficaz} =	0,475 m	Encofrado:	Madera
	h _{ext,eficaz} =	0,475 m	Aislamiento equiv.:	e = 1,50 m
			Columna de agua:	hw = 5,00 m

CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN Y DEL ACERO

Acero:	fyk =	500	MPa		
Hormigón:	fck =	35	MPa	fct,m =	3,21 MPa
Tipo de cemento :	Endurecimiento rápido	s =	0,20	βcc(j) =	0,819
Edad de fisuración:	j =	7,0	días	fct,j =	2,63 MPa
Contenido de cemento:	Mínimo:	300	kg / m3	(a / c) _{max} =	0,50
	Máximo especificado:	325	kg / m3	r _{nom} =	40 mm

CONTRACCIÓN DEL HORMIGÓN

Dimensiones:	Máximas (15)	L (m) =	15,00	5,00	3,00
Distancia entre juntas de Completas (15)	Jc (m) =	15,00	5,00	3,00	
contracción:	Comp y Parc (11,25)	Jcp (m) =	15,00	5,00	3,00
	Parciales (7,5)	Jp (m) =	15,00	5,00	3,00

Continuidad estructural:		Semicontinua	Semicontinua	Semicontinua
Restricción de movimientos:		Parcial	Parcial	Parcial
Salto térmico:	Hidratación - Ambiente	T1 (°) = 43	43	43
	Estacional	T2 (°) = 0	0	0
Retracción:	Autógena	$\epsilon_{ca} (10^{-5}) = 6$	6	6

CUANTÍAS MÍNIMAS

kc =	1,00	Cara interior:	As,min,int =	7,93	12,48	cm2/m
k =	0,50	Cara exterior:	As,min,ext =	7,93	12,48	cm2/m

REQUISITOS DE ESTANQUEIDAD

Clase 0	(Sin restricciones)
hw / h =	5,26
W _{k1} =	0,30 mm

ARMADURA DE CONTROL DE LA FISURACIÓN


CARA INTERIOR	Durabilidad.- Ambiente:	IV	W _{k2} =	0,20 mm
	Aspecto estético crítico:	No	W _{k3} =	0,30 mm
	Máximo espesor de fisura admisible:	W _{adm} =	0,20 mm	
	Armadura mínima control de fisuración:	As,crit =	12,48 cm2/m	

Disposición:	Diámetro:	Φ (mm) =	20	20	20
	Separación:	s (cm) =	20,00	20,00	20,00
	Número de barras:	n =	5,0	5,0	5,0
	Cuantía:	As (cm2/m) =	15,71	15,71	15,71
Fisuración:	Separacion max.	s _{r,max} (mm) =	785	785	785
	Deform. relativa arm/horm	ε _{arm,r} (10 ⁻⁵) =	25	25	25
	Anchura max.	Wmax (mm) =	0,19	0,19	0,19

CARA EXTERIOR	Durabilidad.- Ambiente:	IV	W _{k2} =	0,20 mm
	Aspecto estético crítico:	No	W _{k3} =	0,30 mm
	Máximo espesor de fisura admisible:	W _{adm} =	0,20 mm	
	Armadura mínima control de fisuración:	As,crit =	12,48 cm2/m	

Disposición:	Diámetro:	Φ (mm) =	20	20	20
	Separación:	s (cm) =	20,00	20,00	20,00
	Número de barras:	n =	5,0	5,0	5,0
	Cuantía:	As (cm2/m) =	15,71	15,71	15,71
Fisuración:	Separacion max.	s _{r,max} (mm) =	785	785	785
	Deform. relativa arm/horm	ε _{arm,r} (10 ⁻⁵) =	25	25	25
	Anchura max.	Wmax (mm) =	0,19	0,19	0,19

13.6 Comprobación cargas concentradas en macizos de hormigón



Dimensionamiento estribos
bajo apoyos.

REF. _____

HOJA _____ DE _____

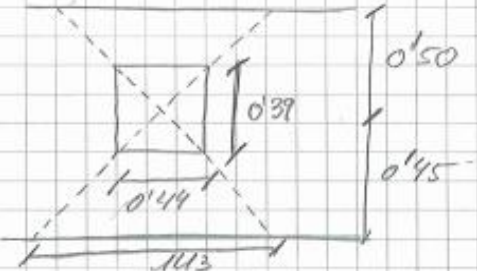
FECHA _____

Zuatzu Kalea, 2. Edif. Igeldo, local 10. 20018 Donostia-San Sebastián, Gipuzkoa. Tel. 943 316 655. Fax 943 316 273. www.sestra.es

Dimensionamiento estribos

Reacción vertical máxima

$R_{v,max} = 354'78 \text{ kn/apoyo}$



Apoyo $0'13 \times 0'45 \text{ m}$

$A_{c3} = 0'13 \text{ m} \times 0'44 \text{ m} = 0'0572 \text{ m}^2$

$A_c = 0'13 \text{ m} \times 1'13 \text{ m} = 1'069 \text{ m}^2$

$f_{t,cd} = \sqrt{\frac{A_c}{A_{c3}}} \cdot f_{ct} \leq 2'3 \cdot f_{ct} \rightarrow \sqrt{\frac{1'069}{0'0572}} \cdot \frac{25}{1'5} \leq 2'3 \cdot \frac{25}{1'5}$

$41'83 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

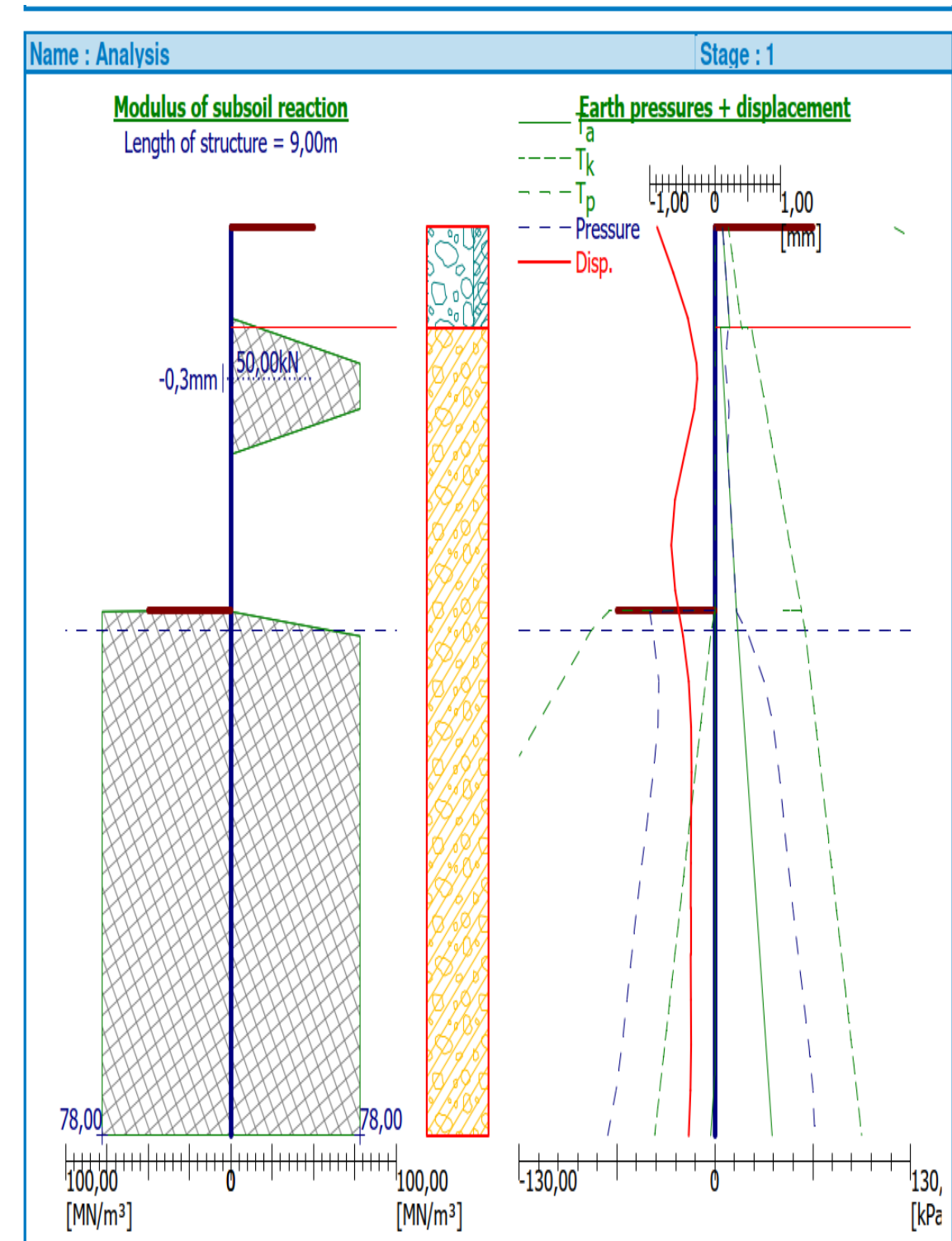
$N_d \leq 0'17 \cdot 55 \cdot 10^3 = 9350 \text{ N} > N_d$

$A_{sa} = A_{sb} = 0'25 \cdot N_d \left(\frac{a - a_s}{a} \right) = A_s \cdot f_{yd}$

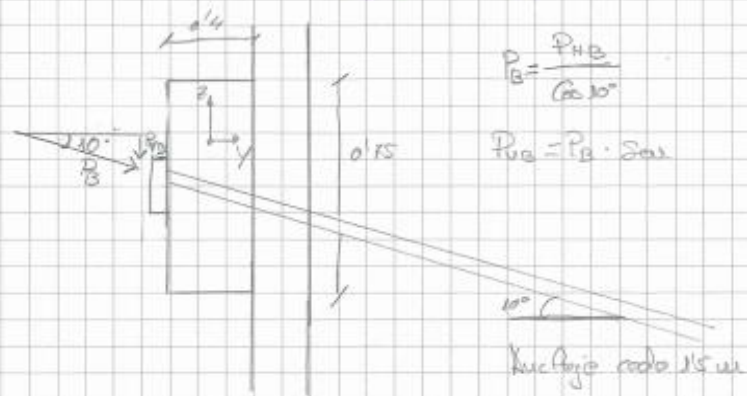
$A_{sa} = A_{sb} = 0'45 \cdot 354'78 \cdot \left(\frac{0'45 - 0'39}{0'45} \right) \cdot \frac{50}{1'423} = 52'88 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 1'26 \text{ cm}^2$

El dimensionamiento de la viga de anclaje se realiza con los datos de tensión por anclaje dados por Ingek. Según el gráfico siguiente se toma una fuerza por anclaje de 50 Kn.

B.- PANTALLA CARRIL HINCADOS



Dimensionamiento de la viga de soporte



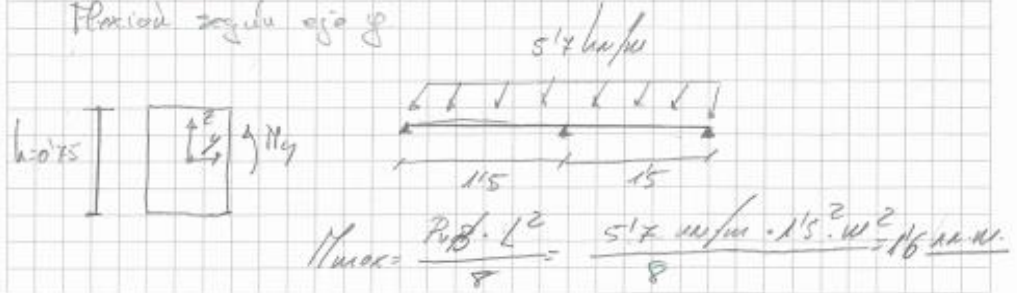
Valor de fuerza del anclaje

Carga horizontal + solera con anclaje cada 2m. (Sección transversal)

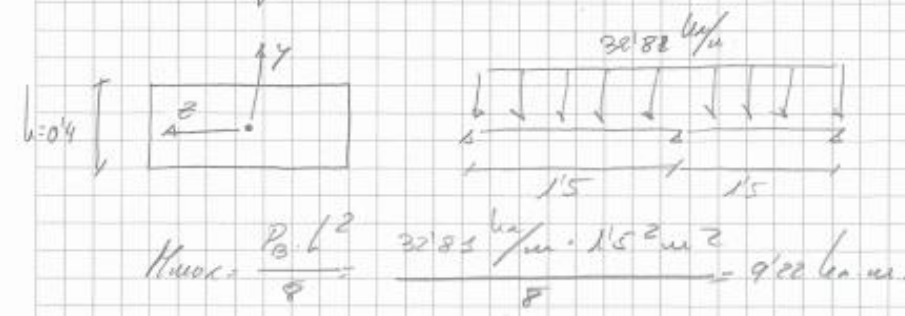
$$P_B = \text{solera/anclaje} \cdot \frac{\cos 10^\circ}{1.5 \text{ m/anclaje}} = 32.82 \text{ kN/m}$$

$$P_{HB} = 32.82 \text{ kN/m} \cdot \sin 10^\circ = 5.7 \text{ kN/m}$$

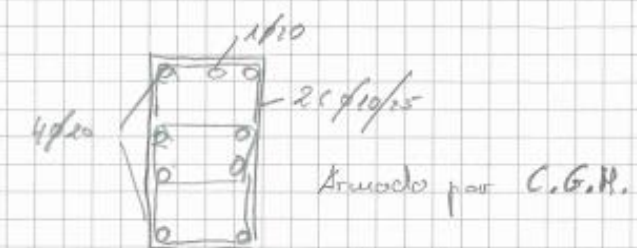
Flexión según eje y



Flexión en eje z

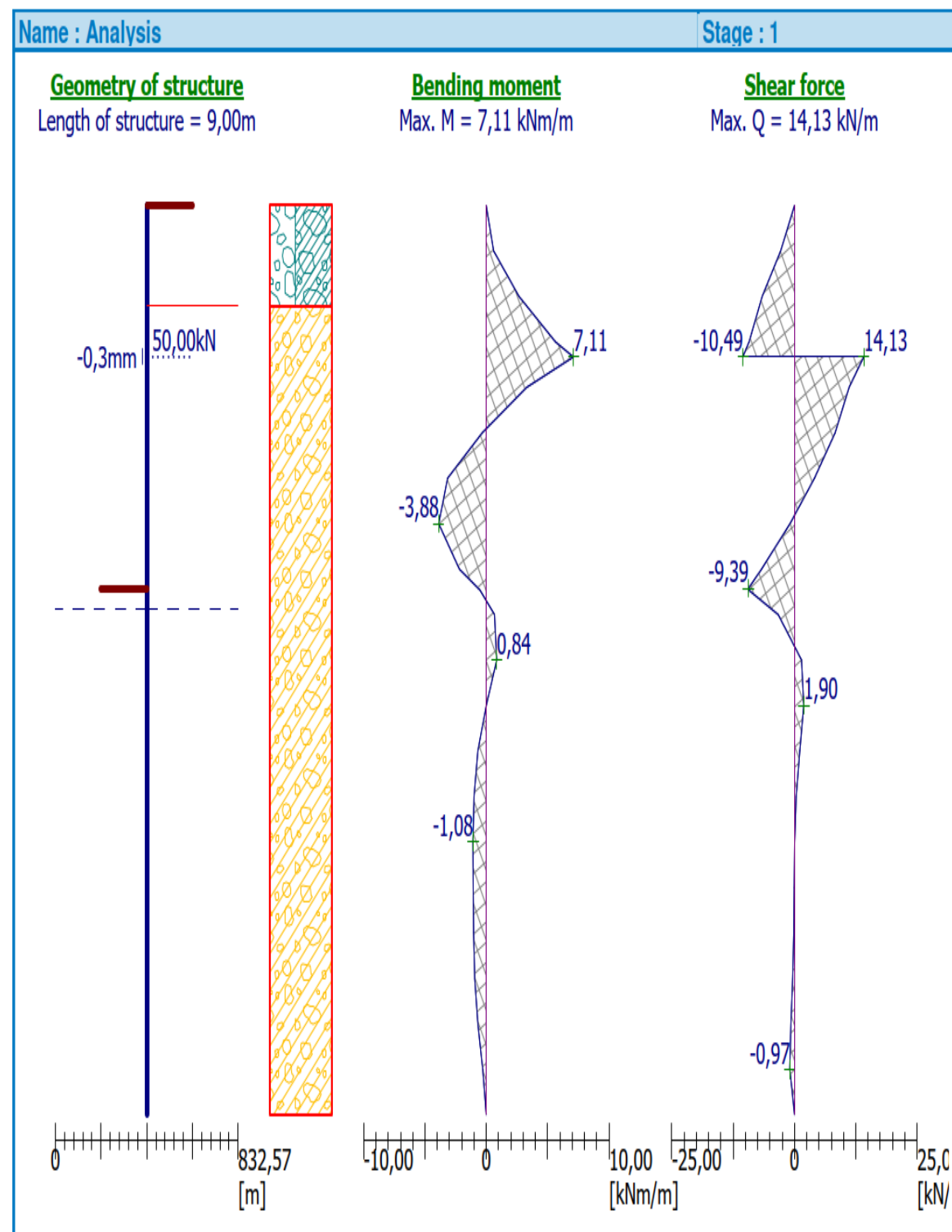


Distribución de armadura en Viga de Corrucción



INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Diagramas de esfuerzos en cada carril.



MICROPILOTOS - CARACTERÍSTICAS MECANICAS																
ARMADURA : CARRIL DE FERROCARRIL																
CALIDAD DEL ACERO :		fu = 700 MPa	LIMITE ELASTICO DE CALCULO :		fy,cal = 260 MPa	MODULO DE ELASTICIDAD :		Es = 210000 MPa	γm = 1.50		Desgaste = 0.951		ε = 20,00		%	
		fy = 560 MPa							Es/Es = 21							
DIAMETRO D (mm)	CARRIL Tipo	h (mm)	e (mm)	AREA		INERCIA		RIG. AXIL. RED.		RIG. FLEX. RED.		MOD. ELAS. Wel (cm3)	AXIL RED. NRD (kN)		CORT. RED. VRd (kN)	MOM. RED. MRd (m'kN)
				As (cm2)	Ac (cm2)	Is (cm4)	Ic (cm4)	EAs (kN)	EAc (kN)	EIs (kN'm2)	EIc (kN'm2)					
220	RN - 45	142.00	15.00	57.05	323.08	1456.25	10042.8	958440.0	1281522.7	2446.5	3450.8	197.9	791.09	170.53	27.45	
250	<div>UIC - 54</div>	159.00	16.00	69.34	421.53	2346.00	16828.8	1164912.0	1586445.9	3941.3	5824.2	279.2	961.51	<div>203.67</div>	<div>36.71</div>	
250	UIC - 60	172.00	16.50	76.96	414.01	3055.00	16119.8	1291248.0	1705261.9	5132.4	6744.4	335.5	1065.79	227.21	46.52	
250	115 - RE	168.27	15.87	72.53	418.34	2742.96	16431.8	1218504.0	1636847.9	4608.2	6251.4	296.6	1005.75	213.79	41.13	
250	136 - RE	185.74	17.46	85.90	404.97	-	-	1443120.0	1848093.9	-	-	-	1191.15	259.63	-	
220	VIGNOLE - 46	145.00	15.00	59.06	321.07	1587.90	9911.1	992208.0	1313280.7	2667.7	3658.8	204.1	818.97	174.13	28.30	
220	100 - A	152.40	15.08	63.32	316.21	1961.00	9538.0	1073856.0	1390068.7	3294.5	4248.3	252.5	886.36	183.99	35.01	

Comprobación esfuerzo resistente por carril



Hilti PROFIS Engineering 3.0.78

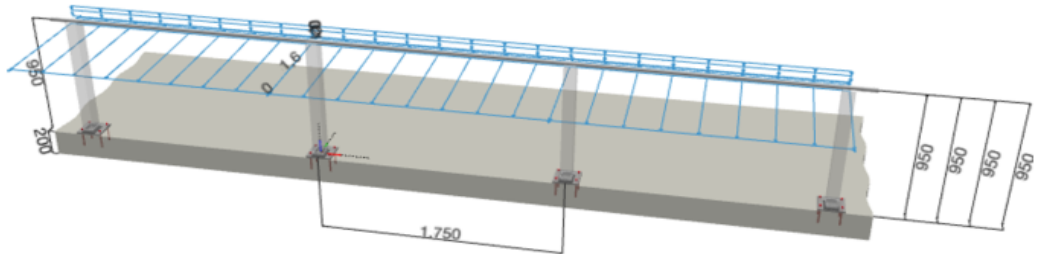
www.hilti.es	
Empresa:	Página: 1
Dirección:	Proyectista:
Teléfono I Fax:	Correo electrónico:
Diseño:	Fecha: 1/6/2022
Sub Proyecto I Pos. No.:	

Comentarios del especificador:

1 Geometría y aplicación

Construcción de barandilla	
Aplicación de barandilla	placa de hormigón con placa de anclaje en la parte superior
Categoría de cargas	personalizar cargas de barandilla.
Sistema	sistema estático con múltiples vanos
Ambiente	Interior
Distancia entre postes	1.750,0 [mm]
Altura de barandilla	950,0 [mm] Precaución: Debe comprobar este valor en función de sus reglamentos.
Perfil del poste	Perfil Rectangular, RRO 100x80x6.3 (EN 10219-2)
Perfil del carril	Perfil Tubular, RO 33.7x2 (EN 10219-2)

C.- ANCLAJE BARANDILLAS



¡La introducción de datos y resultados deben verificarse, asegurando su correspondencia con las condiciones existentes y asegurando su verosimilitud!
PROFIS Engineering (c) 2003-2022, Hilti AG, FL-9494 Schaan. Hilti es una marca registrada de Hilti AG, Schaan

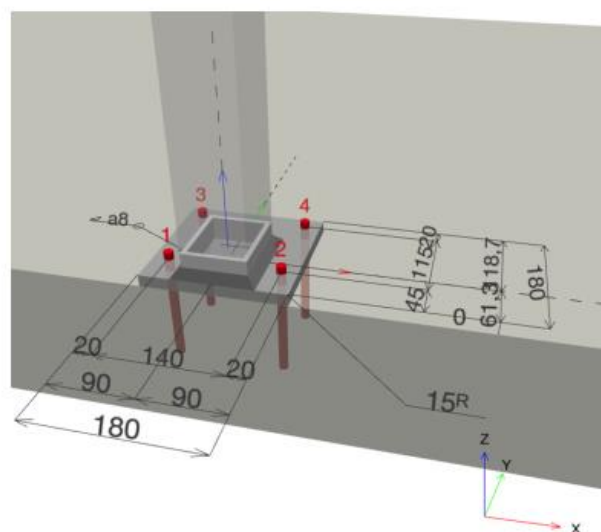


Hilti PROFIS Engineering 3.0.78

www.hilti.es

Empresa:	Página:	2
Dirección:	Proyectista:	
Teléfono I Fax:	Correo electrónico:	
Diseño:	Fecha:	1/6/2022
Sub Proyecto I Pos. No.:		

2 Detalles de fijación de la barandilla



En el diseño abajo, se refieren los siguientes documentos:

- EN 1990 - Bases de proyecto y acciones en estructuras
- Guía alemana para compañías de acero, Bundesverband Metall
- Guía ETB - Construcciones seguras para protección de caídas

Además, se debe tener en cuenta lo siguiente

- La verificación de la construcción metálica no está contemplada en este cálculo y debe hacerse por separado.
- EL usuario es responsable de comprobar el resultado del diseño incluyendo las combinaciones de carga.

¡La introducción de datos y resultados deben verificarse, asegurando su correspondencia con las condiciones existentes y asegurando su verosimilitud!
PROFIS Engineering (c) 2003-2022, Hilti AG, FL-9494 Schaan. Hilti es una marca registrada de Hilti AG, Schaan



Hilti PROFIS Engineering 3.0.78

www.hilti.es

Empresa:	Página:	3
Dirección:	Proyectista:	
Teléfono I Fax:	Correo electrónico:	
Diseño:	Fecha:	1/6/2022
Sub Proyecto I Pos. No.:		

3 Cargas

3.1 carga permanente

Carga permanente vertical $g = 0,10$ [kN/m]

3.2 Cargas en barandilla Datos de usuario - pueden no corresponder con la regulación

Altura de la carga lineal horizontal, interior	$h_{h,i} = 950,0$ [mm]
Carga lineal horizontal, exterior	$q_{h,e} = 1,60$ [kN/m]
Altura de la carga lineal horizontal, exterior	$h_{h,e} = 950,0$ [mm]
Altura de la carga puntual horizontal, interior	$h_i = 950,0$ [mm]
Altura de la carga puntual horizontal, exterior	$h_o = 950,0$ [mm]

¡La introducción de datos y resultados deben verificarse, asegurando su correspondencia con las condiciones existentes y asegurando su verosimilitud!
PROFIS Engineering (c) 2003-2022, Hilti AG, FL-9494 Schaan. Hilti es una marca registrada de Hilti AG, Schaan



Hilti PROFIS Engineering 3.0.78

www.hilti.es

Empresa: Dirección: Teléfono I Fax: Diseño: Sub Proyecto I Pos. No.:
Página: 6
Proyectista: Correo electrónico: Fecha: 1/6/2022

6 Resultados de cálculo

6.1 Vista previa

	LC principal	max. utilización	Estado
Diseño de anclajes	2.2-o	100	OK

6.2 Verificaciones dle anclaje

Combinaciones de carga (cargas actuando en la placa de anclaje en el centro de gravedad del perfil)

Combinaciones de carga	Fuerzas [kN] / Momentos [kNm]	Max. Útil. Anclaje [%]
1.1-i	$V_x = 0,000; V_y = 0,000; N = -0,284; M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000$ $N_{sust} = 0,000; M_{x,sust} = 0,000; M_{y,sust} = 0,000;$	-
1.2-i	$V_x = 0,000; V_y = 0,000; N = -0,210; M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000$ $N_{sust} = 0,000; M_{x,sust} = 0,000; M_{y,sust} = 0,000;$	-
2.1-i	$V_x = 0,000; V_y = 0,000; N = -0,284; M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000$ $N_{sust} = 0,000; M_{x,sust} = 0,000; M_{y,sust} = 0,000;$	-
2.2-i	$V_x = 0,000; V_y = 0,000; N = -0,210; M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000$ $N_{sust} = 0,000; M_{x,sust} = 0,000; M_{y,sust} = 0,000;$	-
5.3.1-i	$V_x = 0,000; V_y = 0,000; N = -0,284; M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000$ $N_{sust} = 0,000; M_{x,sust} = 0,000; M_{y,sust} = 0,000;$	-
1.1-o	$V_x = 0,000; V_y = -4,735; N = -0,284; M_x = 4,427; M_y = 0,000; M_z = 0,000$ $N_{sust} = 0,000; M_{x,sust} = 0,000; M_{y,sust} = 0,000;$	100
1.2-o	$V_x = 0,000; V_y = -4,735; N = -0,210; M_x = 4,427; M_y = 0,000; M_z = 0,000$ $N_{sust} = 0,000; M_{x,sust} = 0,000; M_{y,sust} = 0,000;$	100
2.1-o	$V_x = 0,000; V_y = -4,735; N = -0,284; M_x = 4,427; M_y = 0,000; M_z = 0,000$ $N_{sust} = 0,000; M_{x,sust} = 0,000; M_{y,sust} = 0,000;$	100
2.2-o	$V_x = 0,000; V_y = -4,735; N = -0,210; M_x = 4,427; M_y = 0,000; M_z = 0,000$ $N_{sust} = 0,000; M_{x,sust} = 0,000; M_{y,sust} = 0,000;$	100
5.3.1-o	$V_x = 0,000; V_y = 0,000; N = -0,284; M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000$ $N_{sust} = 0,000; M_{x,sust} = 0,000; M_{y,sust} = 0,000;$	-
6.1	$V_x = 0,000; V_y = 0,000; N = -0,284; M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000$ $N_{sust} = 0,000; M_{x,sust} = 0,000; M_{y,sust} = 0,000;$	-
6.2	$V_x = 0,000; V_y = 0,000; N = -0,210; M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000$ $N_{sust} = 0,000; M_{x,sust} = 0,000; M_{y,sust} = 0,000;$	-

¡La introducción de datos y resultados deben verificarse, asegurando su correspondencia con las condiciones existentes y asegurando su verosimilitud!
PROFIS Engineering (c) 2003-2022, Hilti AG, FL-9494 Schaan. Hilti es una marca registrada de Hilti AG, Schaan



Hilti PROFIS Engineering 3.0.78

www.hilti.es

Empresa: Dirección: Teléfono I Fax: Diseño: Sub Proyecto I Pos. No.:
Página: 7
Proyectista: Correo electrónico: Fecha: 1/6/2022

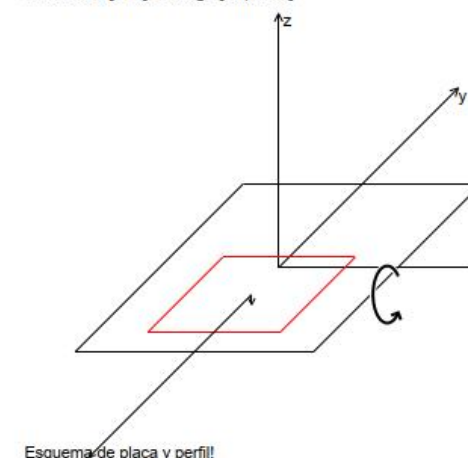
6.2.1 Insertar datos

Tipo y tamaño de anclaje:	HIT-HY 200-A + HIT-V (5.8) M12
Periodo de retorno (años de servicio):	50
Número de artículo:	No disponible (Insertar) / 2022696 HIT-HY 200-A (Resina)
Profundidad efectiva de anclaje:	$h_{ef, opt} = 126,0 \text{ mm}$ ($h_{ef, lim} = 170,0 \text{ mm}$)
Material:	5.8
Informe de Evaluación:	ETA 11/0493
Establecidos I Válidos:	10/12/2021 -
Prueba:	método de cálculo EN 1992-4, químico
Fijación a distancia:	$e_b = 0,0 \text{ mm}$ (enrasado); $t = 15,0 \text{ mm}$
Placa de anclaje ^R :	$l_x \times l_y \times t = 180,0 \text{ mm} \times 180,0 \text{ mm} \times 15,0 \text{ mm}$; (Espesor de placa recomendado: no calculado)
Perfil:	Perfil Rectangular, RRO 100x80x6.3 (EN 10219-2); (L x W x T) = 100,0 mm x 80,0 mm x 6,3 mm
Material Base:	no fisurado hormigón, C25/30, $f_{c, obj} = 25,00 \text{ N/mm}^2$; $h = 200,0 \text{ mm}$, Temp. corto/largo: 40/24 °C, Factor de seguridad parcial del material $\gamma_c = 1,500$
Instalación:	taladro con martillo, Condición de instalación: seco
Armadura:	sin armadura o con armadura separada $\geq 150 \text{ mm}$ (cualquier \emptyset) o $\geq 100 \text{ mm}$ (para $\emptyset \leq 10 \text{ mm}$) sin armadura de borde longitudinal



^R - El cálculo del anclaje se basa en una hipótesis de la placa de anclaje rígida.

Geometría [mm] & Carga [kN, kNm]



Cargas de diseño (Combinación de cargas 2.2-o)

Carga	
N	0,210
V_x	0,000
V_y	4,735
M_z	0,000
M_x	4,427
M_y	0,000

Excentricidad (sección estructural) [mm]
 $e_x = 0,0$; $e_y = -28,7$

¡La introducción de datos y resultados deben verificarse, asegurando su correspondencia con las condiciones existentes y asegurando su verosimilitud!
PROFIS Engineering (c) 2003-2022, Hilti AG, FL-9494 Schaan. Hilti es una marca registrada de Hilti AG, Schaan



Hilti PROFIS Engineering 3.0.78

www.hilti.es

Empresa:
Dirección:
Teléfono I Fax:
Diseño:
Sub Proyecto I Pos. No.:

Página: 8
Proyectista:
Correo electrónico:
Fecha: 1/6/2022

6.2.2 Caso de carga/Resultante de cargas en los anclajes

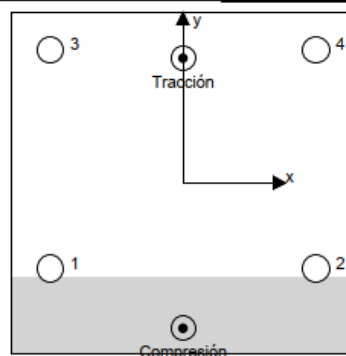
Reacciones en el anclaje [kN]

Carga a tracción: (+Tracción, -Compresión)

Anclaje	Carga a tracción	Fuerza de cortante	Cortante en x	Cortante en y
1	0,567	1,184	0,000	-1,184
2	0,567	1,184	0,000	-1,184
3	14,953	1,184	0,000	-1,184
4	14,953	1,184	0,000	-1,184

Máxima extensión del hormigón a compresión: 0,29 [‰]
Máxima tensión del hormigón a compresión: 8,58 [N/mm²]
Tracción resultante en (x/y)=(0,0/65,8): 31,040 [kN]
Compresión resultante en (x/y)=(0,0/-76,5): 31,250 [kN]

Las fuerzas del anclaje se calculan suponiendo que la placa base ofrece la rigidez correcta.



¡La introducción de datos y resultados deben verificarse, asegurando su correspondencia con las condiciones existentes y asegurando su verosimilitud!
PROFIS Engineering (c) 2003-2022, Hilti AG, FL-9494 Schaan. Hilti es una marca registrada de Hilti AG, Schaan



Hilti PROFIS Engineering 3.0.78

www.hilti.es

Empresa:
Dirección:
Teléfono I Fax:
Diseño:
Sub Proyecto I Pos. No.:

Página: 9
Proyectista:
Correo electrónico:
Fecha: 1/6/2022

6.2.3 Carga a tracción ((EN 1992-4, sección 7.2.1))

	Carga [kN]	Capacidad [kN]	Utilización β_N [%]	Estado
Fallo por Acero*	14,953	28,133	54	OK
Rotura combinada por (extracción) pull-out - cono de hormigón**	31,040	44,832	70	OK
Rotura por cono de hormigón**	31,040	39,482	79	OK
Fallo por fisuración (Splitting)**	31,040	41,813	75	OK

* anclaje más solicitado **grupo de anclajes (anclajes en tracción)

6.2.3.1 Fallo por Acero

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{M,s}} \quad \text{EN 1992-4, Tabla 7.1}$$

$N_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$N_{Rd,s}$ [kN]	N_{Ed} [kN]
42,200	1,500	28,133	14,953

¡La introducción de datos y resultados deben verificarse, asegurando su correspondencia con las condiciones existentes y asegurando su verosimilitud!
PROFIS Engineering (c) 2003-2022, Hilti AG, FL-9494 Schaan. Hilti es una marca registrada de Hilti AG, Schaan



Hilti PROFIS Engineering 3.0.78

www.hilti.es

Empresa: Página: 10
 Dirección: Proyectorista:
 Teléfono I Fax: Correo electrónico:
 Diseño: Fecha: 1/6/2022
 Sub Proyecto I Pos. No.:

6.2.3.2 Rotura combinada por (extracción) pull-out - cono de hormigón

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{M,p}} \quad \text{EN 1992-4, Tabla 7.1}$$

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \cdot \frac{A_{p,N}}{A_{p,N}^0} \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,Np} \cdot \psi_{ec2,Np} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.13)}$$

$$N_{Rk,p}^0 = \psi_{sus} \cdot \tau_{Rk} \cdot \pi \cdot d \cdot h_{ef} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.14)}$$

$$\psi_{sus} = 1 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.14a)}$$

$$s_{cr,Np} = 7,3 \cdot d \cdot \sqrt{\psi_{sus} \cdot \tau_{Rk}} \leq 3 \cdot h_{ef} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.15)}$$

$$\psi_{s,Np} = \psi_{s,Np}^0 \cdot \left(\frac{s}{s_{cr,Np}} \right)^{0,5} \cdot (\psi_{g,Np}^0 - 1) \geq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.17)}$$

$$\psi_{g,Np}^0 = \sqrt{n} - (\sqrt{n} - 1) \cdot \left(\frac{\tau_{Rk}}{\tau_{Rk,c}} \right)^{1,5} \geq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.18)}$$

$$\tau_{Rk,c} = \frac{k_3}{\pi \cdot d} \cdot \sqrt{h_{ef}} \cdot f_{ck} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.19)}$$

$$\psi_{s,Np} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,Np}} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.20)}$$

$$\psi_{ec1,Np} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{c1,N}}{s_{cr,Np}} \right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.21)}$$

$$\psi_{ec2,Np} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{c2,N}}{s_{cr,Np}} \right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.21)}$$

$A_{p,N} [\text{mm}^2]$	$A_{p,N}^0 [\text{mm}^2]$	$\tau_{Rk,ucr,20} [\text{N/mm}^2]$	$s_{cr,Np} [\text{mm}]$	$c_{cr,Np} [\text{mm}]$	$c_{min} [\text{mm}]$	$f_{c,cr} [\text{N/mm}^2]$
176.945	138.128	18,00	371,7	185,8	45,0	25,00
ψ_c	$\tau_{Rk,ucr} [\text{N/mm}^2]$	k_3	$\tau_{Rk,c} [\text{N/mm}^2]$	$\psi_{g,Np}^0$	$\psi_{s,Np}$	
1,023	18,41	11,000	16,38	1,000	1,000	
$e_{c1,N} [\text{mm}]$	$\psi_{ec1,Np}$	$e_{c2,N} [\text{mm}]$	$\psi_{ec2,Np}$	$\psi_{s,Np}$	$\psi_{re,Np}$	
0,0	1,000	53,3	0,777	0,773	1,000	
ψ_{sus}^0	α_{sus}	ψ_{sus}				
0,740	0,000	1,000				
$N_{Rk,p}^0 [\text{kN}]$	$N_{Rk,p} [\text{kN}]$	$\gamma_{M,p}$	$N_{Rd,p} [\text{kN}]$	$N_{Ed} [\text{kN}]$		
87,431	67,248	1,500	44,832	31,040		

¡La introducción de datos y resultados deben verificarse, asegurando su correspondencia con las condiciones existentes y asegurando su verosimilitud!
 PROFIS Engineering (c) 2003-2022, Hilti AG, FL-9494 Schaan. Hilti es una marca registrada de Hilti AG, Schaan



Hilti PROFIS Engineering 3.0.78

www.hilti.es

Empresa: Página: 11
 Dirección: Proyectorista:
 Teléfono I Fax: Correo electrónico:
 Diseño: Fecha: 1/6/2022
 Sub Proyecto I Pos. No.:

6.2.3.3 Rotura por cono de hormigón

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{M,c}} \quad \text{EN 1992-4, Tabla 7.1}$$

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \cdot \psi_{M,N} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.1)}$$

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1,5} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.2)}$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.3)}$$

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.4)}$$

$$\psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{c1,N}}{s_{cr,N}} \right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{c2,N}}{s_{cr,N}} \right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{M,N} = 1 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.7)}$$

$A_{c,N} [\text{mm}^2]$	$A_{c,N}^0 [\text{mm}^2]$	$c_{cr,N} [\text{mm}]$	$s_{cr,N} [\text{mm}]$	$f_{c,cr} [\text{N/mm}^2]$		
180.782	142.884	189,0	378,0	25,00		
$e_{c1,N} [\text{mm}]$	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N} [\text{mm}]$	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	
0,0	1,000	53,3	0,780	0,771	1,000	
$z [\text{mm}]$	$\psi_{M,N}$	k_1	$N_{Rk,c}^0 [\text{kN}]$	$\gamma_{M,c}$	$N_{Rd,c} [\text{kN}]$	$N_{Ed} [\text{kN}]$
142,3	1,000	11,000	77,789	1,500	39,482	31,040

¡La introducción de datos y resultados deben verificarse, asegurando su correspondencia con las condiciones existentes y asegurando su verosimilitud!
 PROFIS Engineering (c) 2003-2022, Hilti AG, FL-9494 Schaan. Hilti es una marca registrada de Hilti AG, Schaan



Hilti PROFIS Engineering 3.0.78

www.hilti.es

Empresa: Dirección: Teléfono I Fax: Diseño: Sub Proyecto I Pos. No.:
 Página: 12
 Proyecto: Proyecto electrónico: Fecha: 1/6/2022

6.2.3.4 Fallo por fisuración (Splitting)

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{M,sp}} \quad \text{EN 1992-4, Tabla 7.1}$$

$$N_{Rk,sp} = N_{Rk,c} \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \cdot \psi_{h,sp} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.23)}$$

$$N_{Rk,c}^0 = \min(N_{Rk,p}^0, N_{Rk,c}^0) \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.3)}$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,sp} \cdot s_{cr,sp} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.4)}$$

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,sp}} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.4)}$$

$$\psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{N,1}}{s_{cr,sp}} \right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{N,2}}{s_{cr,sp}} \right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{h,sp} = \left(\frac{h}{h_{min}} \right)^{2/3} \leq \max \left\{ 1; \left(\frac{h_{ef} + 1,5 \cdot c_1}{h_{min}} \right)^{2/3} \right\} \leq 2,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.24)}$$

$A_{c,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$c_{cr,sp}$ [mm]	$s_{cr,sp}$ [mm]	$\psi_{h,sp}$	$f_{c,cr}$ [N/mm ²]	
219.864	192.897	219,6	439,2	1,154	25,00	
$e_{ec1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{ec2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	k_1
0,0	1,000	53,3	0,805	0,761	1,000	11,000
$N_{Rk,sp}^0$ [kN]	$\gamma_{M,sp}$	$N_{Rd,sp}$ [kN]	N_{Ed} [kN]			
77.789	1.500	41.813	31.040			

¡La introducción de datos y resultados deben verificarse, asegurando su correspondencia con las condiciones existentes y asegurando su verosimilitud!
 PROFIS Engineering (c) 2003-2022, Hilti AG, FL-9494 Schaan. Hilti es una marca registrada de Hilti AG, Schaan



Hilti PROFIS Engineering 3.0.78

www.hilti.es

Empresa: Dirección: Teléfono I Fax: Diseño: Sub Proyecto I Pos. No.:
 Página: 13
 Proyecto: Proyecto electrónico: Fecha: 1/6/2022

6.2.4 Carga de cortante ((EN 1992-4, Sección 7.2.2))

	Carga [kN]	Capacidad [kN]	Utilización β_v [%]	Estado
Fallo por Acero (sin brazo de palanca)*	1,184	20,256	6	OK
Fallo por Acero (con brazo de palanca)*	N/A	N/A	N/A	N/A
Fallo por desconchamiento**	4,735	101,234	5	OK
Rotura de borde de hormigón en dirección y-*	4,735	10,611	45	OK

* anclaje más solicitado **grupo de anclajes (anclajes relevantes)

6.2.4.1 Fallo por Acero (sin brazo de palanca)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{M,s}} \quad \text{EN 1992-4, Tabla 7.2}$$

$$V_{Rk,s} = k_f \cdot V_{Rk,s}^0 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.35)}$$

$V_{Rk,s}^0$ [kN]	k_f	$V_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
25,320	1,000	25,320	1,250	20,256	1,184

6.2.4.2 Fallo por desconchamiento (control resistencia por cono de hormigón)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{M,c,p}} \quad \text{EN 1992-4, Tabla 7.2}$$

$$V_{Rk,cp} = k_p \cdot \min(N_{Rk,c}; N_{Rk,p}) \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.39c)}$$

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \cdot \psi_{M,N} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.1)}$$

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1,5} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.2)}$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.3)}$$

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.4)}$$

$$\psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{N,1}}{s_{cr,N}} \right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{N,2}}{s_{cr,N}} \right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{M,N} = 1 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.7)}$$

$A_{s,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	k_1	$f_{c,cr}$ [N/mm ²]	
180.782	142.884	189,0	378,0	2,000	25,00	
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	$\psi_{M,N}$
0,0	1,000	0,0	1,000	0,771	1,000	1,000
k_1	$N_{Rk,c}$ [kN]	$\gamma_{M,c,p}$	$V_{Rd,cp}$ [kN]	V_{Ed} [kN]		
11,000	77.789	1,500	101.234	4.735		

¡La introducción de datos y resultados deben verificarse, asegurando su correspondencia con las condiciones existentes y asegurando su verosimilitud!
 PROFIS Engineering (c) 2003-2022, Hilti AG, FL-9494 Schaan. Hilti es una marca registrada de Hilti AG, Schaan



Hilti PROFIS Engineering 3.0.78

www.hilti.es

Empresa:	Página:	14
Dirección:	Proyectista:	
Teléfono I Fax:	Correo electrónico:	
Diseño:	Fecha:	1/6/2022
Sub Proyecto I Pos. No.:		

6.2.4.3 Rotura de borde de hormigón en dirección y-

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{M,c}} \quad \text{EN 1992-4, Tabla 7.2}$$

$$V_{Rk,c} = k_T \cdot V_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{a,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{re,V} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.40)}$$

$$V_{Rk,c}^0 = k_g \cdot d_{nom}^2 \cdot l_f \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot c_1^{1,5} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.41)}$$

$$\alpha = 0,1 \cdot \left(\frac{l_f}{c_1} \right) \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.42)}$$

$$\beta = 0,1 \cdot \left(\frac{d_{nom}}{c_1} \right)^{0,2} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.43)}$$

$$A_{c,V}^0 = 4,5 \cdot c_1^2 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.44)}$$

$$\psi_{s,V} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c_2}{1,5 \cdot c_1} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.45)}$$

$$\psi_{h,V} = \left(\frac{1,5 \cdot c_1}{h} \right)^{0,5} \geq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.46)}$$

$$\psi_{ec,V} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_V}{3 \cdot c_1} \right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.47)}$$

$$\psi_{a,V} = \sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha_V)^2 + (0,5 \cdot \sin \alpha_V)^2}} \geq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.48)}$$

l_f [mm]	d_{nom} [mm]	k_g	α	β	$f_{c,cyl}$ [N/mm ²]
126,0	12,00	2,400	0,167	0,077	25,00
c_1 [mm]	$A_{c,V}$ [mm ²]	$A_{c,V}^0$ [mm ²]			
45,0	18.225	9.112			
$\psi_{s,V}$	$\psi_{h,V}$	$\psi_{a,V}$	$e_{c,V}$ [mm]	$\psi_{ec,V}$	$\psi_{re,V}$
1,000	1,000	1,000	0,0	1,000	1,000
$V_{Rk,c}^0$ [kN]	k_T	$\gamma_{M,c}$	$V_{Rd,c}$ [kN]	V_{Ed} [kN]	
7,958	1,0	1,500	10,611	4,735	

¡La introducción de datos y resultados deben verificarse, asegurando su correspondencia con las condiciones existentes y asegurando su verosimilitud!
PROFIS Engineering (c) 2003-2022, Hilti AG, FL-9494 Schaan. Hilti es una marca registrada de Hilti AG, Schaan



Hilti PROFIS Engineering 3.0.78

www.hilti.es

Empresa:	Página:	15
Dirección:	Proyectista:	
Teléfono I Fax:	Correo electrónico:	
Diseño:	Fecha:	1/6/2022
Sub Proyecto I Pos. No.:		

6.2.5 Cargas combinadas de tracción y cortante (EN 1992-4, Sección 7.2.3)

Fallo del acero

β_N	β_V	α	Utilización $\beta_{N,V}$ [%]	Estado
0,532	0,058	2,000	29	OK

$$\beta_N + \beta_V \leq 1,0$$

Fallo del hormigón

β_N	β_V	α	Utilización $\beta_{N,V}$ [%]	Estado
0,786	0,446	1,500	100	OK

$$\beta_N + \beta_V \leq 1,0$$

6.2.6 Desplazamientos (anclaje más solicitado)

Cargas de corto plazo:

N_{Sk} = 0,420 [kN]	δ_N = 0,0027 [mm]
V_{Sk} = 1,754 [kN]	δ_V = 0,0877 [mm]
	δ_{NV} = 0,0877 [mm]

Carga de largo plazo:

N_{Sk} = 0,420 [kN]	δ_N = 0,0053 [mm]
V_{Sk} = 1,754 [kN]	δ_V = 0,1403 [mm]
	δ_{NV} = 0,1404 [mm]

Comentarios: Desplazamientos a tracción son válidos con la mitad del par de apriete requerido no fisurado ¡Hormigón! Los desplazamientos son válidos sin rozamiento entre el hormigón y la placa de anclaje! La holgura entre el taladro en el hormigón y en la placa no son considerados en este cálculo.

¡Los desplazamientos aceptables en los anclajes dependen del tipo de construcción de la fijación y deben ser definidos por el proyectista!

¡La introducción de datos y resultados deben verificarse, asegurando su correspondencia con las condiciones existentes y asegurando su verosimilitud!
PROFIS Engineering (c) 2003-2022, Hilti AG, FL-9494 Schaan. Hilti es una marca registrada de Hilti AG, Schaan



Hilti PROFIS Engineering 3.0.78

www.hilti.es

Empresa:	Página:	16
Dirección:	Proyectista:	
Teléfono / Fax:	Correo electrónico:	
Diseño:	Fecha:	1/6/2022
Sub Proyecto / Pos. No.:		

6.2.7 Avisos

- No se considera la redistribución de carga entre los acalajes debido a deformaciones elásticas de la placa. ¡Se asume que la placa es suficientemente rígida, para evitar que se deforme cuando se somete a cargas! ¡Los datos de entrada y resultados deben ser comprobados para verificar que se encuentran conformes con las condiciones existentes y que sean admisible!
- ¡Verificación de la transferencia de cargas al material base es necesaria según fiEN 1992-4, Anexo A!
- ¡El diseño solo es válido si la holgura en la instalación no es mayor que los valores dados en la Tabla 6.1 de la EN 1992-4! Para holguras mayores ver sección 6.2.2 de la EN 1992-4!
- La lista de accesorios en este informe es sólo para información del usuario. En cualquier caso, las instrucciones para el uso, mostrados en el producto, deben ser seguidas para asegurar una correcta instalación.
- Para la determinación del $\psi_{s,v}$ (fallo del borde del hormigón) se utiliza el recubrimiento mínimo de hormigón definido en los ajustes de diseño como recubrimiento de hormigón de la armadura de borde.
- El taladro debe limpiarse de acuerdo con la homologación (soplar dos veces con aire comprimido (min. 6 bar), cepillar dos veces y volver a soplar dos veces con aire comprimido (min. 6 bar)).
- La tensión de adherencia característica depende de las temperaturas de corto y largo plazo
- Por favor, contacte con Hilti para comprobar el suministro de varilla HIT-V
- No se requiere armadura de borde para evitar rotura por splitting
- Las resistencias de adherencia características dependen del período de retorno (vida útil en años): 50

¡La fijación cumple los criterios de diseño!

¡La introducción de datos y resultados deben verificarse, asegurando su correspondencia con las condiciones existentes y asegurando su verosimilitud!
PROFIS Engineering (c) 2003-2022, Hilti AG, FL-9494 Schaan. Hilti es una marca registrada de Hilti AG, Schaan



Hilti PROFIS Engineering 3.0.78

www.hilti.es

Empresa:	Página:	17
Dirección:	Proyectista:	
Teléfono / Fax:	Correo electrónico:	
Diseño:	Fecha:	1/6/2022
Sub Proyecto / Pos. No.:		

6.2.8 Diseño de la soldadura simplificado

6.2.8.1 Hipótesis / método

Diseño de la soldadura simplificado de acuerdo a la EN 1993-1-8: 2010-12 sección 4.5.3.3:

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} \quad (4.2)$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a \quad (4.3)$$

$$f_{vw,d} = \frac{\left(\frac{f_{u,min}(Plate,Profile)}{\sqrt{3}} \right)}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad (4.4)$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{F_{wI,Ed}^2 + F_{wII,Ed}^2}$$

Diseño estándar de acero de acuerdo a EN 1993-1-1- esfuerzo simplificado de von Mises:

$$\sigma_{v,Ed} = \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{xy,Ed}^2}$$

$$\frac{\sigma_{v,Ed}}{f_{y,Rd,Profile}} = \eta \leq 1 \quad \rightarrow \sigma_{v,Ed} = \eta \cdot f_{y,Rd}$$

Hipótesis: $F_{w,Ed} = \sigma_{v,Ed} \cdot t$ (La carga de la soldadura es la máxima tensión de Von Mises que puede soportar el perfil; puesto que el esfuerzo cortante de von Mises es tres veces mayor que en el diseño simplificado de la soldadura, éste método está del lado de la seguridad)

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} \quad (4.2)$$

$$\sigma_{v,Ed} \cdot t \leq f_{vw,d} \cdot a$$

$$\eta \cdot f_{y,Rd,Profile} \cdot t \leq f_{vw,d} \cdot a$$

$$\eta \cdot f_{y,Rd,Profile} \cdot t \leq \frac{f_{u,min}(Plate,Profile) \cdot a}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$a \geq \frac{\eta \cdot f_{y,Rd,Profile} \cdot t \cdot \sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}{f_{u,min}(Plate,Profile)}$$

$$a_{min} \geq \sqrt{\max t - 0,5} \quad \geq 3 \text{ mm (EC 3-1-8, 4.5.2 (2))}$$

t máxima es considerada como el máximo entre (t_{web} : espesor de placa) para alma, (t_{flange} : espesor de placa) para alas.

Si el perfil es cerrado, sólo un lado de la soldadura en ángulo es utilizada. Si el perfil es abierto, el tamaño de la soldadura puede reducirse a la mitad (pues existe soldadura a ambos lados)

6.2.8.2 Datos de partida y resultados

η	$f_{y,Rd,Profile}$ [N/mm ²]	$f_{u,min}(Plate,Profile)$ [N/mm ²]	β_w	γ_{M2}	t_{web} [mm]	t_{flange} [mm]
1,00	223,81	360,00	0,90	1,25	6,3	-
a_{web} [mm]	a_{flange} [mm]	$a_{min,flange}$ [mm]	$a_{min,web}$ [mm]			
8,0	-	-	4,0			

El espesor de soldadura no tiene en cuenta las normas para la soldadura de perfiles conformados en frío.

¡La introducción de datos y resultados deben verificarse, asegurando su correspondencia con las condiciones existentes y asegurando su verosimilitud!
PROFIS Engineering (c) 2003-2022, Hilti AG, FL-9494 Schaan. Hilti es una marca registrada de Hilti AG, Schaan



Hilti PROFIS Engineering 3.0.78

www.hilti.es

Empresa:	Página:	18
Dirección:	Proyectista:	
Teléfono I Fax:	Correo electrónico:	
Diseño:	Fecha:	1/6/2022
Sub Proyecto I Pos. No.:		

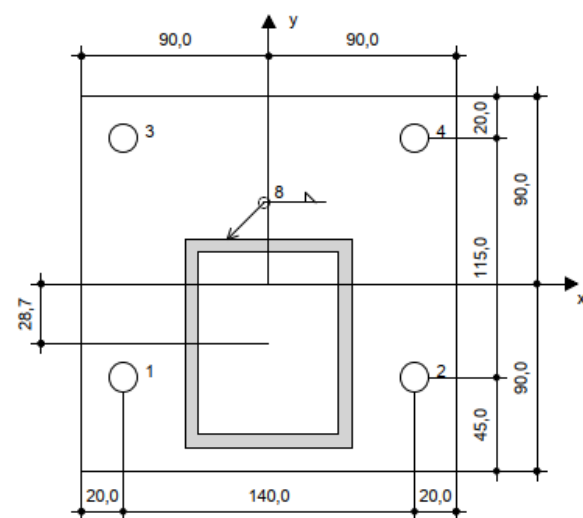
6.2.9 Datos de instalación

Placa de anclaje, acero: S 355; E = 210.000,00 N/mm ² ; f _{yk} = 355,00 N/mm ²	Tipo y tamaño de anclaje: HIT-HY 200-A + HIT-V (5.8) M12
Perfil: Perfil Rectangular, RRO 100x80x6.3 (EN 10219-2); (L x W x T) = 100,0 mm x 80,0 mm x 6,3 mm	Número de artículo: No disponible (Insertar) / 2022696 HIT-HY 200-A (Resina)
Diámetro de taladro en chapa: d _t = 14,0 mm	Par de apriete máximo: 40 Nm
Espesor de placa (introducir): 15,0 mm	Diámetro de taladro en material base: 14,0 mm
Espesor de placa recomendado: no calculado	Profundidad de taladro (min/max): 126,0 mm
Método de perforación: Taladro a rotoperusión	Mínimo espesor del material base: 156,0 mm
Limpieza: Se requiere limpieza del taladro con aire comprimido.	

Hilti HIT-V varilla roscada con HIT-HY 200 resina de inyección con 126 mm embedment h_{ef}, M12, Acero Galvanizado, Taladro a percusión instalación según ETA 11/0493

6.2.9.1 Accesorios recomendados

Taladro	Limpieza	Instalación
<ul style="list-style-type: none"> Taladro a rotoperusión adecuado Tamaño adecuado de broca 	<ul style="list-style-type: none"> Aire comprimido con los accesorios requeridos para soplar desde el fondo del taladro. Diámetro adecuado de cepillo de alambre 	<ul style="list-style-type: none"> El sistema de inyección incluye el mezclador y porta-cartuchos Llave dinamométrica



Coordenadas del anclaje mm

Anclaje	x	y	c _x	c _{yx}	c _y	c _{xy}
1	-70,0	-45,0	-	-	45,0	-
2	70,0	-45,0	-	-	45,0	-
3	-70,0	70,0	-	-	160,0	-
4	70,0	70,0	-	-	160,0	-

¡La introducción de datos y resultados deben verificarse, asegurando su correspondencia con las condiciones existentes y asegurando su verosimilitud!
PROFIS Engineering (c) 2003-2022, Hilti AG, FL-9494 Schaan. Hilti es una marca registrada de Hilti AG, Schaan