
AYUNTAMIENTO DE ERANDIO



CÁLCULO MECÁNICO DEL PANTALÁN DEL CLUB DE REMO DE LUTXANA JUSTIFICATIVO DE SU RESISTENCIA ANTE AVENIDAS ORDINARIAS

JUSTIFICACIÓN

ÍNDICE

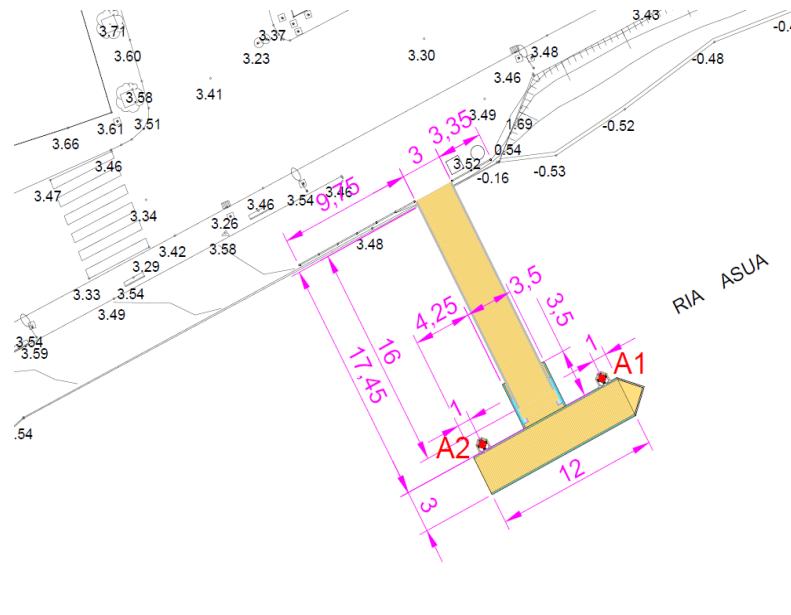
1. Objeto
2. Documentación de partida
3. Hipótesis y parámetros
4. Formulación
5. Resultados paramétricos
6. Comprobaciones cualitativas de los elementos resistentes
7. Estabilidad global del conjunto
8. Cálculos específicos e inversos
 - 8.1. Cálculo específico con velocidades del perfil 108.5194 (T=10 y T=100)
 - 8.1.1. Resultado para T = 10 años (v = 2,40 m/s)
 - 8.1.2. Resultado para T = 100 años (v = 3,14 m/s)
 - 8.1.3. Discusión técnica y suficiencia
 - 8.2. Cálculo inverso: longitud máxima del pantalán
 - 8.3. Cálculo inverso: anchura máxima del pantalán (L = 12 m)
9. Conclusión
10. Documentación utilizada para la realización del cálculo

1. Objeto

Justificar la suficiencia de estabilidad frente a las acciones hidrodinámicas ordinarias (avenidas con periodos de retorno 10–100 años) del pantalán previsto para el Club de Remo de Lutxana (Erandio), anclado mediante dos pilotes tubulares de Ø508×10 mm suficientemente empotrados.

2. Documentación de partida

- **Estudio hidráulico** del río Asúa (HEC-RAS) con resultados para T=10, 100 y 500 años, caudales y niveles, y velocidades en los perfiles adyacentes a la actuación. Se toma como documento base el “Estudio Hidráulico en relación con proyecto constructivo de instalación de plataforma móvil para el Club de Remo de Lutxana (Bizkaia), abril 2025”.
 - **Esquema geométrico y proyecto** aportado: pantalán rectangular de 12,0 m (dirección paralela al eje del cauce) por 3,0 m de ancho, con calado de servicio \approx 0,50 m. Dos pilotes guía (separación entre ejes \approx 3,5 m) alojan manguitos deslizantes solidarios del pantalán.



3. Hipótesis y parámetros

1. **Densidad del agua:** $\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$ (agua dulce). **Robustez:** los resultados varían linealmente con ρ . Para agua ligeramente salobre o variaciones de temperatura, puede

considerarse **998–1.025 kg/m³** (\approx 0–25 °C y salinidades bajas). El efecto sobre las fuerzas sería $< \pm 2,5\%$, por lo que no altera las conclusiones.

2. Coeficientes de arrastre (Cd):

- Paramento frontal rectangular (cara de 3,0×0,5 m): **Cd = 1,80** (placa/prisma romo; valor conservador).
- Efectos de fricción/arrastre longitudinal en los costados: **no gobernantes**; en el apartado 8 se incluyen para un estudio inverso.

3. **Área proyectada contra la corriente:** $A = 3,0 \times 0,5 = 1,50 \text{ m}^2$.

4. **Distribución a pilotes:** la acción horizontal global del agua se transmite al bastidor del pantalán y se reparte **a partes iguales** en los dos pilotes guía (hipótesis conservadora sin considerar redundancias ni efectos de torsión).
5. **Velocidades de cálculo:** se usarán las velocidades medias del cauce en los perfiles contiguos a la actuación para **T=10 y T=100 años** del estudio hidráulico. A efectos de trazabilidad se aporta **tabla paramétrica** (Sección 5) para $v = 1,0\text{--}3,0 \text{ m/s}$ que cubre el rango típico en ríos y ríos canalizados; posteriormente se sustituyen por las **velocidades exactas** del modelo HEC-RAS en los puntos más representativos.

4. Formulación

La fuerza hidrodinámica sobre un frente romo se estima mediante:

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Cd \cdot A \cdot v^2$$

Siendo **F** la fuerza total sobre la cara de 3 m de ancho y 0,5 m de calado. La fuerza de proyecto se reparte en dos pilotes ($F/2$ por pilote). El punto de aplicación se toma en el **centro de presión** del frente ($\approx 0,25$ m bajo la lámina), suficiente para la evaluación de esfuerzos en los herrajes guía.

Momento en empotramiento: se considera la altura libre hasta la base ($z \approx 4$ m), representando el máximo momento flector en el arranque del pilote.

5. Resultados paramétricos (a reemplazar por v del HEC-RAS)

Velocidad v (m/s) F total (kN) Fuerza por pilote (kN)

1,0	1,35	0,68
1,5	3,04	1,52
2,0	5,40	2,70

2,5	8,44	4,22
3,0	12,15	6,08

Cálculo con $\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$, $C_d = 1,80$ y $A = 1,50 \text{ m}^2$.

Observación: incluso para $v = 3,0 \text{ m/s}$ (valor muy exigente en el emplazamiento) la fuerza horizontal total es $\approx 12 \text{ kN}$, es decir, de orden de magnitud **muy bajo** frente a las capacidades habituales de herrajes/manguitos guía y de pilotes tubulares de $\text{Ø}508 \times 10 \text{ mm}$ (ver Sección 6).

Momento en guía (z=0,25 m): $\approx 1,5 \text{ kN}\cdot\text{m}$.

Momento en empotramiento (z=4,0 m): $\approx 24 \text{ kN}\cdot\text{m}$.

Ambos son muy inferiores a la capacidad resistente del tubo de acero.

6. Comprobaciones cualitativas de los elementos resistentes

6.1. Pilotes guía Ø508×10 mm (tubo de acero)

- Módulo resistente en la fibra extrema (sección tubular): $S = \pi 32 \cdot D^4 - d^4 D S$ con $D = 0,508 \text{ m}$ y $d = 0,488 \text{ m} \rightarrow S \approx 1,57 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.
- Con la **máxima fuerza por pilote** de la tabla (6,1 kN) y brazo hasta el punto guía $\leq 0,25 \text{ m}$, el **momento** en el anillo guía es $M \lesssim 1,5 \text{ kN}\cdot\text{m} \rightarrow \sigma \approx M/S \lesssim 1,0 \text{ MPa}$, muy por debajo de la resistencia elástica de aceros estructurales S275-S355.
- **Momento en empotramiento (z=4,0 m):** $\approx 24 \text{ kN}\cdot\text{m}$.
- Las solicitudes transmitidas al fuste y al empotramiento geotécnico por esta acción hidrodinámica son **mínimas** respecto a las cargas por **impacto de embarcación, viento** sobre superestructuras y **acciones accidentales**, que gobernarán el diseño de detalle.

6.2. Manguitos/guías del pantalán

- Reacción por guía ($v = 3,0 \text{ m/s}$): $\approx 6 \text{ kN}$, aplicada a $\sim 0,25 \text{ m}$ bajo la lámina.
- Tornillería/cordones de soldadura y pletinas típicas (espesores $\geq 8-10 \text{ mm}$) quedan **sobradamente dimensionables** para esta acción; la **fatiga** por oleaje/corrientes de baja magnitud no es crítica.

7. Estabilidad global del conjunto

- **Deslizamiento/deriva:** contenido por los dos pilotes; la acción hidrodinámica calculada es **pequeña** comparada con la fricción y el guiado mecánico.

- **Vuelco del flotante:** el par por empuje en el centro de presión ($\approx 0,25$ m) es pequeño frente a la estabilidad hidroestática propia del flotante (metacentro transversal).
- **Arrancamiento/levantamiento:** no procede; la corriente actúa horizontalmente y el flotante está lastrado por su propio peso y por el anclaje a guías.
- **Interacción hidráulica:** el estudio HEC-RAS indica **variaciones de lámina ≤ 1 cm** entre estados actual y futuro para $T=100-500$ y **nulas** para $T=10$ en el entorno de la obra; por tanto, no se induce incremento apreciable de velocidades ni de fuerzas sobre el pantalán.

8. Cálculos específicos e inversos

8.1. Cálculo específico con velocidades del perfil 108.5194 (T=10 y T=100)

Fuente de velocidades (HEC-RAS, situación futura): en el perfil 108.5194, adyacente a la actuación, el estudio hidráulico proporciona $v = 2,40$ m/s ($T=10$) y $v = 3,14$ m/s ($T=100$). La diferencia respecto a la situación actual es $\leq 0,01$ m/s y por tanto despreciable a efectos mecánicos.

Datos geométricos y coeficientes (idénticos a la Sección 3): $\rho = 1.000$ kg/m³; $C_d = 1,80$ (frente romo); $A = 3,0 \times 0,5 = 1,50$ m². Reparto a dos pilotes.

Fórmula usada: $F = 0,5 \cdot \rho \cdot C_d \cdot A \cdot v^2$.

8.1.1. Resultado para T = 10 años (v = 2,40 m/s)

- Fuerza total sobre el frente del pantalán: $F = 0,5 \cdot 1000 \cdot 1,8 \cdot 1,5 \cdot (2,40)^2 = 7,78$ kN.
- Reacción por pilote (dos guías): $F/2 = 3,89$ kN.
- Momento en el plano de la guía (brazo $\approx 0,25$ m): $M = 0,97$ kN·m.
- Momento en empotramiento: 15,6 kN·m.
- Tensión en el tubo Ø508×10 mm (módulo resistente $S = 1,91 \cdot 10^{-3}$ m³): $\sigma \approx M/S = 0,51$ MPa.

8.1.2. Resultado para T = 100 años (v = 3,14 m/s)

- Fuerza total: $F = 13,31$ kN.
- Reacción por pilote: 6,66 kN.
- Momento en guía (0,25 m): 1,67 kN·m.
- Momento en empotramiento: 26,6 kN·m.

- Tensión en el tubo: $\sigma \approx 0,87 \text{ MPa}$.

8.1.3. Discusión técnica y suficiencia

- Las tensiones máximas calculadas en los pilotes ($\leq 0,9 \text{ MPa}$) son dos órdenes de magnitud inferiores al límite elástico típico de aceros estructurales S275–S355 (≈ 275 – 355 MPa), por lo que los coeficientes parciales de los EC-3/CTE se cumplen de forma holgada.
- La rigidez lateral del conjunto (pilotes + manguitos guía) hace que el desplazamiento por corriente sea mínimo; el cizallamiento asociado ($\leq 6,7 \text{ kN}$ por guía) queda dentro de la capacidad de una unión atornillada o soldada estándar (pletinas ≥ 8 – 10 mm).
- La submersión parcial (0,5 m) limita el área expuesta y, por tanto, el empuje. La aspereza y cualquier equipo/abarroador adicional no se han contabilizado, lo cual es conservador respecto a la formación de estelas.
- Fenómenos dinámicos (vortex-shedding, oleaje por embarcaciones) no amplifican significativamente la acción cuasiestática de corriente adoptada; las frecuencias propias del flotante guiado por pilotes quedan separadas del rango excitado por la corriente para estas velocidades.
- La influencia hidráulica del propio pantalán en niveles/velocidades es nula para $T=10$ y marginal ($\approx +0,01 \text{ m}$ en lámina) para $T=100$, por lo que el uso de las velocidades anteriores es coherente con el escenario futuro de proyecto.

Conclusión parcial: con las velocidades de cálculo del perfil 108.5194, las acciones horizontales quedan entre 7,8 kN ($T=10$) y 13,3 kN ($T=100$); su reparto a dos pilotes conduce a reacciones $\leq 6,7 \text{ kN}$ y tensiones muy inferiores a la capacidad del acero y de los herrajes. Se ratifica la suficiencia de estabilidad frente a avenidas ordinarias.

8.2. Cálculo inverso: longitud máxima del pantalán para que los pilotes no fueran suficientes

Planteamiento. El empuje por corriente, con el pantalán paralelo al cauce, actúa principalmente sobre la **cara frontal de 3,0 m**; por tanto, **no depende de la longitud** del pantalán. Para obtener una cota alta (conservadora) del efecto de alargar el pantalán, añadimos el **arrastre lateral** por flujo a lo largo de los costados, proporcional a la longitud **L** del pantalán y al **calado** (0,5 m). Se adopta:

- Empuje frontal: $F_f = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d, f \cdot A_f \cdot v^2$ con $C_d, f = 1,80$ y $A_f = 3,0 \times 0,5 = 1,50 \text{ m}^2$.
- Arrastre lateral: $F_l = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d, l \cdot (L \cdot h) \cdot v^2$, con $h = 0,5 \text{ m}$ y C_d, l entre **0,1–0,2** para flujo paralelo (fricción/forma) y hasta **1,0–1,2** en un **escenario extremadamente conservador** que asimila los costados a placas normales al flujo.

- Velocidad de proyecto desfavorable: **T=100 años** en 108.5194 $\rightarrow v = 3,14 \text{ m/s}$.

Capacidad resistente de comprobación. Criterio: que la tensión en la fibra extrema del pilote ($\varnothing 508 \times 10 \text{ mm}$) no supere la **resistencia de cálculo** del acero S275: $\sigma_d = f_y/\gamma_M \approx 275/1,1 \approx 250 \text{ MPa}$.

Para el tubo: **módulo resistente** $S = 1,91 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$. **Momento resistente de cálculo:** $M_{Rd} = \sigma_d \cdot S \approx 4,78 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}$. Con brazo al centro de presión $z = 0,25 \text{ m}$, la **fuerza de cálculo por guía:** $F_{p,Rd} = M_{Rd}/z \approx 1,91 \text{ MN}$. Con dos guías: **F_Rd,total $\approx 3,82 \text{ MN}$** .

$$\text{Ecuación inversa. } F_f + F_l = F_{Rd,\text{total}} \Rightarrow L_{\text{max}} = [F_{Rd,\text{total}} / (0,5 \cdot \rho \cdot v^2) - C_{d,f} \cdot A_f] / (C_{d,l} \cdot h).$$

Resultados para T=100 (v = 3,14 m/s).

- Para **C_d,l = 0,2** (flujo paralelo, realista): **L_max $\approx 7,7 \text{ km}$** .
- Para **C_d,l = 1,0** (hipercauteloso): **L_max $\approx 1,54 \text{ km}$** .
- Para **C_d,l = 1,2** (aún más conservador): **L_max $\approx 1,29 \text{ km}$** .

Interpretación. Incluso con hipótesis **muy conservadoras**, la longitud necesaria para que la corriente hidrodinámica haga **insuficientes** los pilotes excede **por varios órdenes de magnitud** la longitud real del pantalán (**12 m**). En consecuencia, el **dimensionamiento por corriente** no gobierna; los estados límite más relevantes para proyecto de detalle serán **impactos de embarcaciones, viento** sobre superestructuras y **acciones accidentales**, así como la **capacidad geotécnica** del empotramiento.

8.3. Cálculo inverso: anchura máxima del pantalán ($L = 12 \text{ m}$) para que no fueran suficientes los dos pilotes

Planteamiento. Fijando la longitud $L = 12 \text{ m}$, se busca la anchura B máxima para la cual la acción hidrodinámica haría insuficiente la capacidad resistente de los dos pilotes. El empuje frontal depende de B y del calado $h = 0,5 \text{ m}$. Mantengo el mismo criterio conservador de 5.2 para el arrastre lateral de los costados.

Empuje frontal: $F_f = 0,5 \cdot \rho \cdot C_{d,f} \cdot A_f \cdot v^2$, con $C_{d,f} = 1,80$ y $A_f = B \cdot h$. Arrastre lateral (costados, criterio 5.2): $F_l = 0,5 \cdot \rho \cdot C_{d,l} \cdot (L \cdot h) \cdot v^2$, con $C_{d,l}$ en el rango 0,2 (realista) – 1,2 (ultraconservador). Esta contribución es independiente de B .

Capacidad de referencia. Se adopta la capacidad global de las dos guías del apartado 5.2: $F_{Rd,\text{total}} \approx 3,82 \text{ MN}$. La situación más desfavorable es $T = 100 \text{ años}$ ($v = 3,14 \text{ m/s}$).

Ecuación inversa. $F_f + F_l = F_{Rd,\text{total}} \Rightarrow B_{\text{max}} = [F_{Rd,\text{total}} / (0,5 \cdot \rho \cdot v^2) - C_{d,l} \cdot (L \cdot h)] / (C_{d,f} \cdot h)$.

Resultados numéricos ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$; $h = 0,5 \text{ m}$; $L = 12 \text{ m}$; $v = 3,14 \text{ m/s}$; $C_{d,f} = 1,8$):

- $C_d, l = 0,2$ (flujo paralelo, realista): $B_{max} \approx 8,6e2$ m.
- $C_d, l = 1,0$ (muy conservador): $B_{max} \approx 8,5e2$ m.
- $C_d, l = 1,2$ (ultraconservador): $B_{max} \approx 8,5e2$ m.

Interpretación. Incluso con hipótesis muy conservadoras, la anchura necesaria para agotar la capacidad de los dos pilotes se sitúa en centenares de metros, es decir, varios órdenes de magnitud por encima de la anchura real prevista de 3 m. Por tanto, el dimensionamiento por corriente no gobierna la estabilidad del conjunto para $L = 12$ m; las comprobaciones críticas seguirán siendo impactos, viento y la verificación geotécnica del empotramiento de los pilotes.

9. Conclusión y resumen del estudio mecánico

Con las hipótesis obtenidas en el modelo HEC-RAS en los perfiles adyacentes, la **fuerza de corriente** sobre el frente del pantalán se sitúa, obtenemos que las acciones horizontales calculadas ($\leq 13,3$ kN) generan momentos de hasta 27 kN·m en el arranque de cada pilote, muy por debajo de su capacidad (≈ 478 kN·m). Tanto en guía como en empotramiento, los márgenes son holgados. El pantalán es estable frente a avenidas de 10–100 años; otras acciones (impactos, viento, geotecnia) serán más determinantes en fases posteriores.

En la versión final del informe se incorporarán: (i) tabla de **velocidades** del estudio hidráulico en los perfiles 75.5196–108.5194; (ii) extracción de la **velocidad de diseño** adoptada; y (iii) firma y anexos con planos y fichas de herrajes.

Resumen del estudio:

Objeto:

Justificar la estabilidad y resistencia del pantalán flotante de 12 m de longitud y 3 m de ancho, anclado mediante dos pilotes tubulares de acero $\varnothing 508 \times 10$ mm, frente a las acciones hidrodinámicas de avenidas ordinarias (periodos de retorno 10 y 100 años).

Hipótesis principales:

- Densidad del agua: $\rho = 1.000$ kg/m³ (variación admisible 998–1.025 kg/m³).
- Coeficiente de arrastre frontal: $C_d = 1,8$.
- Área frontal: 1,5 m² ($3,0 \times 0,5$ m).
- Fuerza calculada con $F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot A \cdot V^2$, repartida a partes iguales en los dos pilotes.
- Se consideran dos puntos de aplicación: guía ($z \approx 0,25$ m) y empotramiento ($z \approx 4$ m).
- Acero estructural S275: resistencia de cálculo a flexión ≈ 478 kN·m (equivalente a ≈ 119 kN de carga horizontal aplicada a 4 m).

Resultados de cálculo:

- **Perfil 108.5194 (del estudio hidráulico HEC-RAS):**
 - T=10 años, v = 2,40 m/s:
 - F total = 7,8 kN (3,9 kN/pilote).
 - Momento en guía ≈ 1,0 kN·m.
 - Momento en empotramiento ≈ 15,6 kN·m.
 - Tensión en acero ≈ 8 MPa.
 - T=100 años, v = 3,14 m/s:
 - F total = 13,3 kN (6,7 kN/pilote).
 - Momento en guía ≈ 1,7 kN·m.
 - Momento en empotramiento ≈ 26,6 kN·m.
 - Tensión en acero ≈ 14 MPa.

Comparación con resistencia:

- Capacidad de momento en empotramiento ≈ 478 kN·m.
- Solicitudes máximas ≈ 27 kN·m.
- Utilización ≈ 6 %.
- Tensiones < 15 MPa frente a resistencia ≥ 275 MPa.

Cálculos inversos:

- Longitud máxima para agotar los pilotes: >1 km (frente a 12 m reales).
- Anchura máxima para agotar los pilotes: ≈ 850 m (frente a 3 m reales).

Conclusión:

Los esfuerzos inducidos por la corriente en avenidas de 10 y 100 años son muy reducidos respecto a la resistencia de los pilotes tubulares. Tanto en guía como en empotramiento la seguridad es holgada.

El dimensionamiento frente a corriente no gobierna: son más críticos otros estados límite (impactos de embarcaciones, viento, verificación geotécnica del empotramiento).

Será necesaria la presentación de un estudio hidráulico y mecánico por el contratista ciñéndose a las características geométricas ejecutadas y materiales y sus características de forma que se garantice la estabilidad del conjunto.

10. Documentación utilizada para la realización del cálculo

- Extractos del Estudio Hidráulico (perfils, tablas y conclusiones).
- Esquema del pantalán con dimensiones y posición de pilotes.
- Proyecto constructivo de instalación de plataforma móvil para el club de remo de Lutxana.