

The LKS logo consists of the letters 'LKS' in white, bold, sans-serif font, centered within a solid orange square.

LKS INGENIERÍA, S.COOP.



Anejo 02. Geología y Geotecnia

Proyecto • Proiektua

DEFENSA CONTRA INUNDACIONES Y RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LAS REGATAS OLAA E IÑURRITZA EN ZARAUTZ

Promotor • Sustatzailea

URA AGENTZIA

Fecha • Data

Abril 2018 Apirila

Autor • Eqilea

Juan Carlos Ovalle Cortissoz

Ingeniero de Caminos, C. y P.

Índice

1.	INTROUCCIÓN	3
2.	GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DEL SUBSUELO (LURTEK ENERO 2018)	3
3.	RECOMENDACIONES (LURTEK, ENERO 2018).....	6
3.1.	MOVIMIENTO DE TIERRAS	6
3.2.	CIMENTACIONES	8
3.3.	OTRAS RECOMENDACIONES.....	9
4.	SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS, PROYECTO DE LKS INGENIERIA.....	10
4.1.	SECCIONES DE DISEÑO TIPO	10
4.2.	RELLENOS ESTRUCTURALES.....	15
5.	DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	16
5.1.	PILOTES IN SITU	16
5.2.	MICROPILOTES.....	17
5.3.	ESCOLLERAS.....	17
5.4.	ANCLAJES.....	18
6.	ANEXO 01. INFORME GEOLOGICO GEOTECNICO LURTEK (2018)	21

1. INTRODUCCIÓN

Este Anejo recoge las soluciones geotécnicas propuestas en el proyecto de encauzamiento de la regata Olaa-Iñurritza basadas en la revisión del estudio geotécnico realizado a tal efecto por Lurtek Consultores Geotécnicos S.L.U.

En enero de 2018, Lurtek redactó a petición de la Agencia Vasca del Agua-Uraren Euskal Agentzia el documento *EG-171591 Encauzamiento de la regata Olaa en el Sector Errotaberri de Zarautz (Gipuzkoa)*. Este documento se adjunta como apéndice de este Anejo geotécnico.

Con la revisión de este estudio geotécnico se ha dado validez general a la caracterización propuesta de los materiales que conforman el subsuelo a lo largo del trazado previsto para el encauzamiento de la regata. De forma general se asumen las características geotécnicas descritas por LURTEK. De todas formas, las recomendaciones para el movimiento de tierras y cimentación definidas en dicho estudio se dirigen a unas soluciones estructurales que han sido modificadas en este proyecto buscando una mayor eficiencia y viabilidad en la ejecución de la obra. En algunos tramos las secciones originales se han mantenido sin apenas modificaciones.

El presente documento recoge una primera parte en la que se sintetizan las referencias geológicas y geotécnicas del marco geológico, caracterización de los materiales del estudio geotécnico de Lurtek y parámetros geotécnicos propuestos. En la segunda parte del documento se tratan las recomendaciones geotécnicas para las soluciones estructurales del encauzamiento que como se ha señalado presenta algunas nuevas secciones.

2. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DEL SUBSUELO (LURTEK ENERO 2018)

El estudio geotécnico de Lurtek aporta la información geológica y geotécnica aplicada a los cálculos que definirán las recomendaciones.

El entorno de Zarautz corresponde a materiales mesozoicos, concretamente Triásicos y Cretácicos que en algunas zonas están recubiertos por suelos cuaternarios y rellenos antrópicos.

La regata a encauzar atraviesa un valle en el que el macizo rocoso corresponde a litologías de edad Cretácica recubiertas de suelos aluviales con posibles influencias marinas.

Los dos conjuntos litológicos entran en contacto a favor de un plano de falla inversa con sección de cabalgamiento. En el labio inferior afloran margas y margocalizas gris oscuras (Cretácico superior (Campaniense-Turonense)) y en el labio superior una alternancia de areniscas y lutitas (Cretácico inferior (Albiense)). En el contacto mecánico la roca aparece meteorizada y rellenos arcillosos y mineralizaciones de calcita.

Margas y margocalizas gris oscuras (Cretácico superior (Campaniense-Turonense))

Aflora en estado meteorizado, con meteorización diferencial, un espesor inferior a 1,00 metro con un comportamiento de limo gris con algo de arena e indicios de grava, firme, y grava negra con algo de arcilla/limo de densidad media.

En estado sano presenta un Índice de fracturación $IF = 1-4$ con esporádicas pasadas 4-16 y >64 , y un RQD de entre 31-88%. La resistencia a compresión simple es variable entre 260 y 1000 kg/cm², recomendándose un valor medio de 350 kg/cm².

Alternancia de areniscas y lutitas (Cretácico inferior (Albiense))

Esta litología meteorizada corresponde a arcilla marrón anaranjada con arena y grava firme a muy firme, y grava marrón arcillosa con arena densa.

En estado sano presenta un IF= 1-4 con esporádicas pasadas 4-16 y >64, y un RQD de entre 0-100%. Tramos fracturados no superan un RQD de 33% y en tramos más sanos no desciende de RQD= 60%. La resistencia a compresión simple varía entre 290 y 820 kg/cm² con valores medios de 400 kg/cm².

La estructura del macizo rocoso presenta variaciones diferenciándose tres agrupaciones:

- Agrupación A: E: 215/62; J: 096/83, 030/45 y 015/85.
- Agrupación B: E: 010/55; J: 055/65, 340/40, 060/85 y 275/45.
- Agrupación C: E: 225/50; J: 270/50, 140/60 y 350/07.

Suelos (Cuaternario)

Se han diferenciado hasta cuatro unidades de suelos cuaternarios de naturaleza aluvial y un suelo coluvial.

Los suelos aluviales en este tramo son de naturaleza cohesiva arcillosos y limosos con contenidos variables en arena. Afloran de arriba hacia abajo según se describen a continuación:

- Aluvial CL: arcilla gris-verdosa con algo a bastante arena e indicios a bastante grava medianamente firme a firme. (Sondeos S-3 a S-6)
- Aluvial ML: limo marrón a marrón verdosos con algo a bastante arena e indicios a algo de grava moderadamente firme. Es rica en materia orgánica. Presenta un espesor de entre 1,00 y 2,00 metros. (Sondeos S-1 y S-2)
- Aluvial CL: arcilla gris, marrón o marrón anaranjado con vetado gris con indicios a algo de arena blanda a firme. En torno a tres metros de espesor. (S-1 y S-2)
- Aluvial SM: arena gris con indicios de limo a limosa con pasadas limo-arenosas floja a medianamente densa. Espesor variable, incluso superiores a cinco metros que se acuña hacia la ladera. (S-1 y S-2)

El suelo coluvial (Sondeo S-13) se describe como arcilla marrón con bastante grava y arena moderadamente firme. Presenta espesores variables a lo largo de las laderas, incluso superiores a 5,00 metros.

Rellenos

Se esperan espesores variables de rellenos. Estos se han ejecutado para lograr la nivelación del fondo de valle original. Existe un relleno de urbanización formado por arcilla marrón con grava y arena, en general bastante, moderadamente firme; y grava gris y marrón con arena y arcilla, en general bastante, medianamente denso.

En áreas de viales u otras formas de urbanización, los rellenos más superficiales corresponden a asfaltos y zahorras.

Hidrogeología

Sin entrar a una descripción detallada del funcionamiento hidrogeológico del terreno en el valle, en el informe se señala que en la ladera existirá circulación estacional a favor de los contactos entre diferentes tipos de materiales de ladera; y que, en la llanura aluvial, el nivel freático de carácter permanente estará condicionado por la lámina de agua en la regata.

Parámetros geotécnicos

Finalmente, tras la descripción geológica de los materiales que afloran en el área de proyecto, el estudio de Lurtek recoge los siguientes parámetros geotécnicos:

TIPO DE TERRENO	DENSIDAD (T/m ³)	COHESION (T/m ²)	ANGULO DE FRICCION (°)	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (cm/sg)
Relleno	1.90-2.10	0.00-0.50	27-30°	1 x 10 ⁻⁴
Aluviales ML	1.80-2.00	0.75-1.50	24-27°	1 x 10 ⁻⁵ - 1 x 10 ⁻⁶
Aluviales CL	1.80-2.00	1.00-2.00	24-27°	1 x 10 ⁻⁵ - 1 x 10 ⁻⁶
Aluvial SM	1.90-2.00	0.25-0.75	28°-32°	1 x 10 ⁻⁴ - 1 x 10 ⁻⁵
Aluvial GM-GC	1.90-2.10	0.00-0.25	30°-35°	1 x 10 ⁻⁴
Coluviales	1.80-2.10	0.25-1.00	24-30°	1 x 10 ⁻⁵ - 1 x 10 ⁻⁶
Roca Grado IV	2.10-2.30	1.00-4.00	20-25°	1 x 10 ⁻⁵
Roca Grado II	2.60	100-150	30-35°	1 x 10 ⁻⁶

Cuadro de parámetros geotécnicos estimados en el estudio EG-171591 de Lurtek, enero 218.

3. RECOMENDACIONES (LURTEK, ENERO 2018)

En base a estas premisas, en el estudio aporta dos apartados dedicados al movimiento de tierras y cimentación de estructuras respectivamente. Las recomendaciones que se definen están orientadas a las soluciones de diseño facilitadas por el Cliente para la realización del estudio.

3.1. MOVIMIENTO DE TIERRAS

Para el movimiento de tierras se definen las recomendaciones para las excavaciones previstas. Estas se basan en una serie de cálculos de estabilidad frente a roturas estructurales del macizo rocoso sano y roturas circulares que podrían afectar a roca meteorizada, suelos y/o rellenos.

El estudio de diseño de las excavaciones se divide en cuatro apartados: **Metodología para los cálculos de estabilidad de las excavaciones, Taludes estables, Empujes y Proceso constructivo.**

De estos apartados la **metodología de cálculo** contempla los parámetros aplicados al cálculo y el propio método:

- Para el macizo rocoso sano se aplican las agrupaciones estructurales descritas en el apartado anterior, considerándose una fricción de 15° para la estratificación y 30° en juntas.
 Nota: *En este punto, el parámetro de fricción del plano de estratificación en los nuevos cálculos realizados para las soluciones de este anteproyecto se ha considerado de 20°.*
- Para las roturas circulares se han empleado los parámetros que siguen:

Material	Densidad (T/m ³)	Cohesión (T/m ²)	Fricción (°)
Rellenos	2.00	0.25	27°
Suelo coluvial	2.00	0.50	25°
Suelo aluvial	1.90	1.00	26°
Roca meteorizada	2.20	2.00	25°
Roca sana	2.50	30.0	30°

Parámetros de cálculo de estabilidad en rellenos, suelos y roca meteorizada

Con estas premisas se han calculado los **taludes estables**:

- Para roca sana y en función de las agrupaciones estructurales:

Orientación de talud	Agrupación estructural	Inclinación de talud estable
T-1	C	37°
T-2	C	41°
T-3	A	45°
T-4	B	45°
T-5	A	61°

Taludes de excavación estables en roca sana en función de la orientación

- Para roturas circulares en rellenos, suelos y/o roca meteorizada:

Rellenos	3(H):2(V)
Suelos coluviales	3(H):2(V)
Suelos aluviales	1(H):1(V)
Roca meteorizada	1(H):1(V)

Taludes de excavación estables en rellenos, suelos y roca meteorizada

Los **empujes** se han calculado para aquellos taludes en los que la geometría no permite ejecutar taludes estables de inclinación superior (más vertical) que la de proyecto (1H:1V). Además de excavación vertical en la orientación T-5.

- Para excavaciones en macizo rocoso sano:

Orientación de talud	Intersecciones	Empuje horizontal para F.S.=1.0	Tensión de anclaje para F.S.=1.5 y 26.5°	Tensión de anclaje para F.S.=1.5 y 15°
T-1	14 metros de altura de talud, excavado con 1(H):1(V)			
	J1J2	-	0.08 T/m ²	0.07 T/m ²
T-2	27 metros altura de talud, excavado con 1(H):1(V)			
	EJ2	0.68 T/m ²	1.40 T/m ²	1.14 T/m ²
	J1J3	-	0.21 T/m ²	0.20 T/m ²
T-5	10 metros de excavación			
	EJ1	4.20 T/m ²	17.20 T/m ²	8.30 T/m ²
	E (bloque)	6.50 T/m ²	18.60 T/m ²	12.00 T/m ²
	7 metros de excavación			
	EJ1	2.70 T/m ²	11.20 T/m ²	5.40 T/m ²
	E (Bloque)	3.20 T/m ²	9.10 T/m ²	5.90 T/m ²

Cuadro resumen de empujes para taludes 1H:1V en orientaciones T-1 y T-2 y taludes verticales en orientaciones T-5.

- Para excavaciones en rellenos, suelos o roca meteorizada, se ha considerado los empujes sobre la excavación prevista en coluviales de ladera de la ladera Noreste:

Sección de cálculo	Empuje horizontal para F.S.=1.0	Empuje para F.S.=1.5 y anclajes a 26.5°	Empuje para F.S.=1.5 y anclajes a 15°
Sección VII-VII'	3.00 T/m ²	5.80 T/m ²	5.20 T/m ²

Cuadro resumen de empujes en excavaciones verticales del talud estudiado

Respecto al apartado dedicado al **proceso constructivo**, teniendo en cuenta las modificaciones de diseño realizadas en el presente anteproyecto únicamente señalar los siguientes puntos del estudio geotécnico:

- Parámetros a tener en cuenta para el cálculo de anclajes y micropilotes o pilotes:

Tipo de terreno	Densidad (T/m ³)	Cohesión (T/m ²)	Ángulo de fricción (°)	Coefficiente de balasto horizontal (Kg/cm ³)	Módulo de Deformación (Kp/cm ²)	Tensión de adherencia límite / Resistencia por fuste límite (MPa)
Suelo coluvial	2.00	0.50	25	2.50	50	IU- 0.05 IR-0.08 IRS-0.13
Suelo aluvial	1.90	1.00	26	2.50	50	IU- 0.05 IR-0.08 IRS-0.13
Roca meteorizada	2.20	2.00	25	3.00	60	IU- 0.07 IR-0.16 IRS-0.25
Roca sana	2.60	300	30	100	5000	IU- 0.60 IR-0.70 IRS-0.80

Nota: I.U.= Inyección única. I.R.= Inyección repetitiva. I.R.S.= Inyección repetitiva sistemática.

3.2. CIMENTACIONES

En el apartado dedicado a las recomendaciones para las cimentaciones y dado que se cambian las soluciones constructivas únicamente indicar las tensiones admisibles indicadas para los materiales identificados.

3.2.1. Cimentación superficial:

- La tensión admisible en suelos varia a lo largo del área investigada, siendo únicamente considerada como opción de cimentación en el área del cajón prefabricado. En este caso, se aporta una tensión admisible de 1,50 kg/cm² teniendo en cuenta un empotramiento adecuado.

$$q_{adm} = 1,50 \text{ kg/cm}^2$$

- Tensión admisible en roca meteorizada con un metro de empotramiento:

$$q_{adm} = 3,00 \text{ kg/cm}^2$$

- Tensión en roca sana (alternancia de areniscas y limolitas) con un empotramiento de medio metro:

$$q_{adm} = 6,00 \text{ kg/cm}^2$$

Nota: en todos los casos los asentos máximos serán a inferiores a 2,50 cm.

3.2.2. Cimentación profunda:

- Micropilotes:

Tipo de terreno	Densidad (T/m ³)	Cohesión (T/m ²)	Ángulo de fricción (°)	Módulo de Deformación (Kp/cm ²)	Resistencia por fuste límite (MPa)
Suelo aluvial	1.90	1.00	26	50	IU- 0.05
					IR-0.08
					IRS-0.13
Roca meteorizada	2.20	2.00	25	60	IU- 0.07
					IR-0.16
					IRS-0.25
Roca sana	2.60	300	30	5000	IU- 0.60
					IR-0.70
					IRS-0.80

- Pilotes en roca sana:
 Resistencia por punta en roca sana: $q_p = 30 \text{ kg/cm}^2$.

3.2.3. Coeficiente de balasto

En el estudio geotécnico se aportan los coeficientes de balasto siguientes:

Material	Coeficiente de Balasto (Kg/cm ²)
Zahorra bien compactada	10
Suelo aluvial	4
Roca meteorizada	6
Roca sana	200

Coeficientes de balasto asignados a los materiales reconocidos

3.3. OTRAS RECOMENDACIONES

Se tratan otra serie de recomendaciones geotécnicas que han sido consideradas en el anteproyecto:

3.3.1. Condiciones sísmicas:

Las estructuras apoyadas en roca sana el coeficiente sísmico a considerar será $C = 1,00$. En suelos aluviales se recomienda considerar en coeficiente $C = 1,40$.

Nota: Las condiciones sísmicas deberán ser calculadas de manera individual.

3.3.2. Agresividad:

El terreno, suelo y agua, no presenta agresividad al hormigón.

Nota: Se deberán tener en cuenta el resto de condicionantes ambientales recogidos en la EHE (Estructuras sumergidas, cercanía a la costa, ...)

4. SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS, PROYECTO DE LKS INGENIERIA

Sobre las soluciones constructivas para el encauzamiento se han realizado diversas modificaciones que se consideran más favorables desde el punto de vista de ejecución y durabilidad. Los detalles constructivos se presentan en el anejo correspondiente.

4.1. SECCIONES DE DISEÑO TIPO

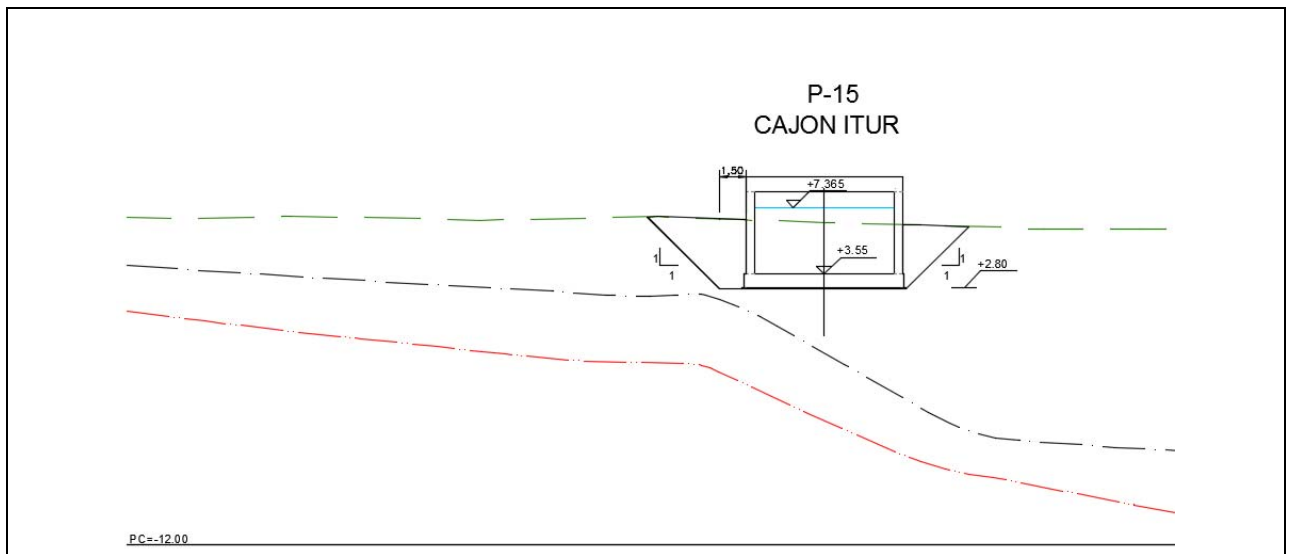
A continuación, se describen las soluciones de diseño y los procesos constructivos correspondientes:

SECCIONES P-13→P-16 (CAJÓN ITUR)

Se trata de un cajón de hormigón prefabricado que se apoyará directamente en suelos aluviales, que a cota de apoyo se trata de arcilla con arena y grava moderadamente firme.

El movimiento de tierras se propone ejecutarlo con taludes estables temporales en rellenos y suelos siguiendo las recomendaciones del estudio geotécnico.

En estas condiciones la estructura transmitirá una tensión media de $1,50 \text{ kg/cm}^2$ y una tensión punta de $1,80 \text{ kg/cm}^2$. Este último valor, si bien supera el recomendado en el estudio ($1,50 \text{ kg/cm}^2$), se considera asumible para el proyecto.



SECCIONES P-16→P18 (ENCAUZAMIENTO)

Se trata de un tramo de encauzamiento en la que se proyectó una solución con cimentación superficial en suelos aluviales. Se ha desestimado esta solución por las elevadas cargas que transmitirían al terreno y los posibles asentos, además de la dificultad de realizar las excavaciones necesarias para el cajeo de la cimentación.

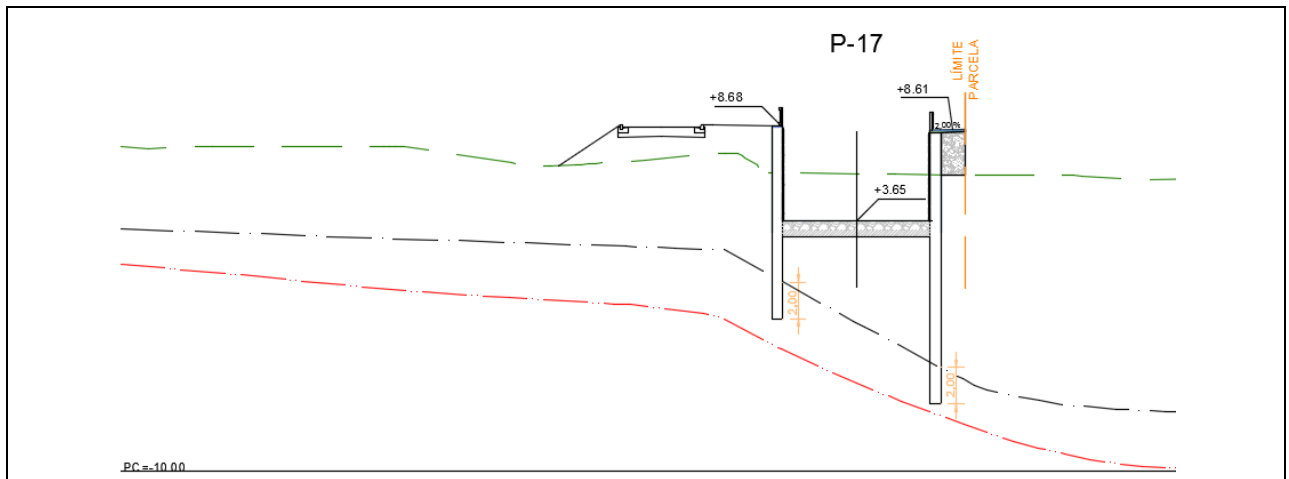
En el presente documento de anteproyecto se propone una solución mediante pantalla de pilotes empotrada en roca sana que aporta facilidad a la hora de realizar la excavación y fiabilidad de cimentación.

El proceso constructivo sería el siguiente:

- Realizar los rellenos hasta cota de explanada.

Dadas las limitaciones geométricas será necesario finalizar los rellenos con una escollera hormigonada cuyas dimensiones irán ajustadas a lo largo del encauzamiento.

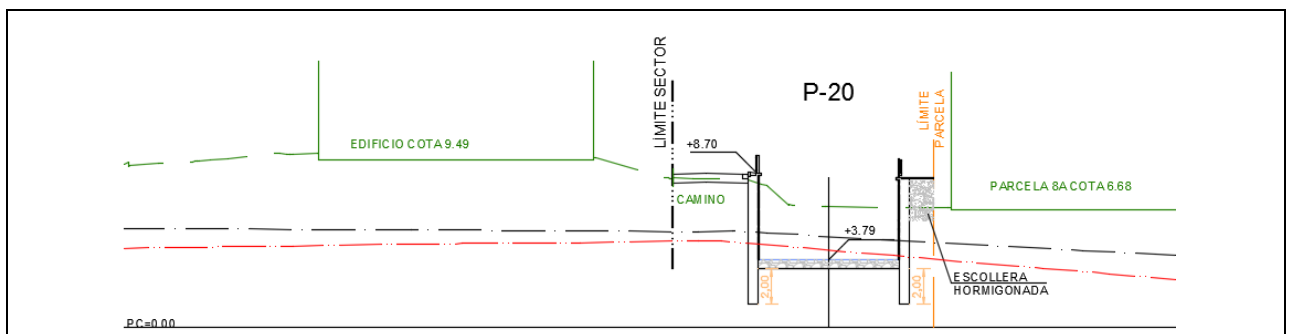
- Ejecución de la pantalla de pilotes.
 Se trata de una pantalla de pilotes *in situ* de 65 cm de diámetro con ejes separados 75cm. Se empotrarán en roca meteorizada y/o sana al menos 2,00 metros. Se estiman longitudes de entre 10 y 13 metros.
- Excavación del terreno entre las pantallas.
 Se achicará el agua del terreno entre pantallas y se excavará hasta alcanzar la cota precisa para implantar la losa de fondo del encauzamiento.



SECCIONES P-18→P-21 (ENCAUZAMIENTO)

La solución es similar a la anterior, si bien, la presencia del macizo rocoso a profundidades más someras modifica el empotramiento de los pilotes. Se estima que la excavación para el encauzamiento alcanzará el macizo rocoso meteorizado y sano.

La solución estudiada en este anteproyecto contempla la continuación de la pantalla de pilotes de 65 centímetros separados por eje 75 centímetros. En este caso se empotrarán al menos 2,00 metros bajo la losa de fondo proyectada en roca meteorizada/sana.



El proceso constructivo sería el siguiente:

- Realizar los rellenos hasta cota de explanada.
 Dadas las limitaciones geométricas será necesario finalizar los rellenos con una escollera hormigonada cuyas dimensiones irán ajustándose a lo largo del encauzamiento.
- Ejecución de la pantalla de pilotes.
 Se trata de una pantalla de pilotes *in situ* de 65 cm de diámetro, separados por eje 75 centímetros. Se empotrarán al menos 2,00 metros bajo la cota final de excavación, que corresponderá a roca meteorizada y/o sana. Se estiman longitudes de entre 7 y 9 metros.
- Excavación del terreno entre las pantallas.

Se achicará el agua del terreno entre pantallas y se excavará hasta alcanzar la cota precisa para implantar la losa de fondo del encauzamiento.

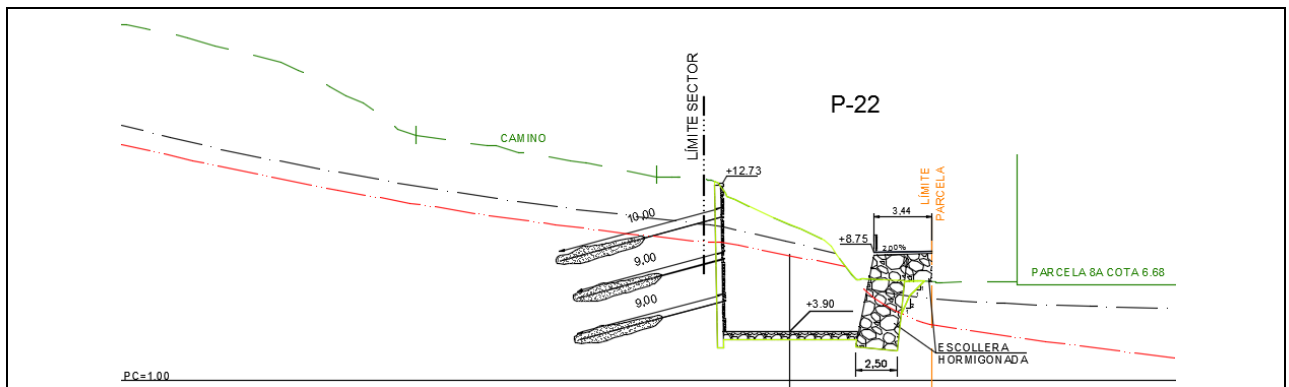
SECCIONES P-21→P-23 (ENCAUZAMIENTO)

Se trata de un tramo en el que existe una importante limitación geométrica al situarse la regata encauzada entre un camino a conservar y el límite de parcela con el área industrial. Geológicamente se da la situación favorable de aflorar el macizo rocoso en superficie o bajo un recubrimiento de suelos y/o rellenos de espesor inferior a 2,00 metros.

La solución original idea un muro anclado en la margen derecha y una pantalla de pilotes en la izquierda, con un remate de rellenos en su trasdós ganando espacio para el paseo peatonal.

La propuesta de este anteproyecto modifica las soluciones tal y como se describe a continuación:

En la margen derecha es necesaria una solución de talud vertical; se propone una solución de sostenimiento mediante muro anclado. Se prevé su excavación por bataches (2,50x2,50) y anclajes Diwidag de 40 mm. que de arriba hacia abajo serán de 10, 9 y 7 metros de longitud (5 metros de bulbo).

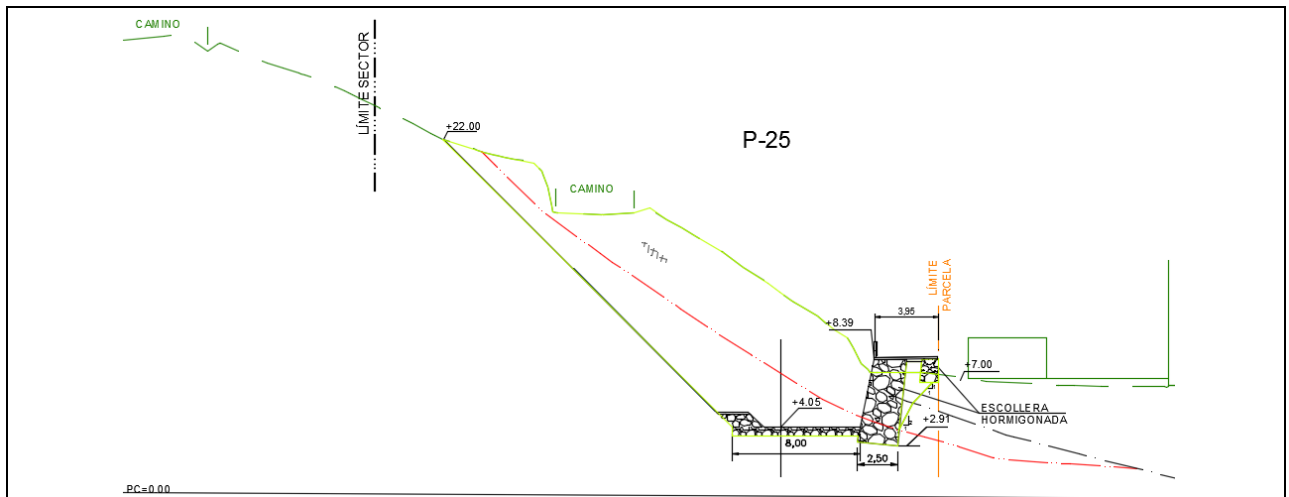


En la margen izquierda, la solución será una escollera hormigonada apoyada en roca sana. Sus dimensiones están condicionadas por la geometría de la sección, si bien, se mantendrá una anchura en base de 2,50 metros y en cabeza de 2,00 metros. Para la ejecución de la escollera hormigonada será necesaria realizar una excavación de taludes temporales que respetarán las recomendaciones del estudio de Lurtek.

SECCIONES P-24→P-27 (ENCAUZAMIENTO)

En este ámbito la regata entra en ámbito de pie de la ladera rocosa de la margen derecha.

La solución es similar a la del proyecto origen.



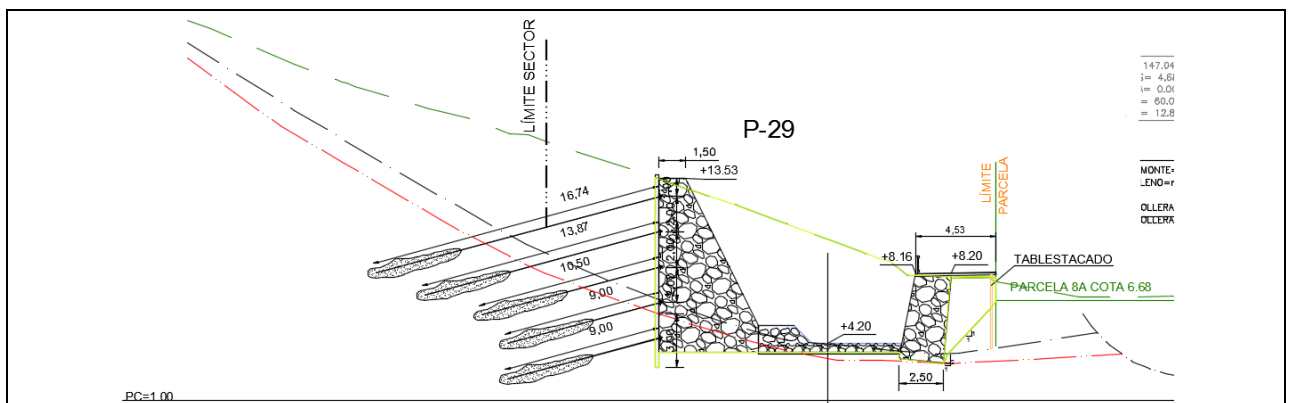
En la margen derecha se proyecta una excavación con inclinación estructuralmente estable en el macizo rocoso sano para esta orientación de excavación, 1H:1V. Esta inclinación respeta las recomendaciones del estudio geotécnico. Al pie del talud se ejecutará una escollera hormigonada de protección erosiva del margen de cauce.

En la margen izquierda se continuará la solución mediante escollera hormigonada descrita en las secciones anteriores.

SECCIONES P-28→P-32 (ENCAUZAMIENTO)

Este ámbito corresponde al tramo de encauzamiento situado bajo una acumulación de suelos coluviales en la margen derecha.

El proyecto original contemplaba el sostenimiento de esta margen derecha mediante una escollera de grandes dimensiones (19 metros de altura) e inclinación final 1H:1V. La ejecución de esta escollera se considera altamente desfavorable al ser necesaria la excavación del frente con taludes temporales de gran altura en un terreno susceptible de ser inestable.



Para este anteproyecto se ha estudiado para esta margen derecha la ejecución de una pantalla de micropilotes anclada y revestida con una escollera hormigonada autoportante. Las fases de ejecución consistirán en:

- Ejecución de pantalla de micropilotes empotrados en roca sana al menos 3,00 metros bajo el fondo de excavación.
- Excavación por bataches. Se realizará el anclado del batache abierto previamente a la excavación del contiguo. Se prevén cuatro a cinco filas de anclajes.

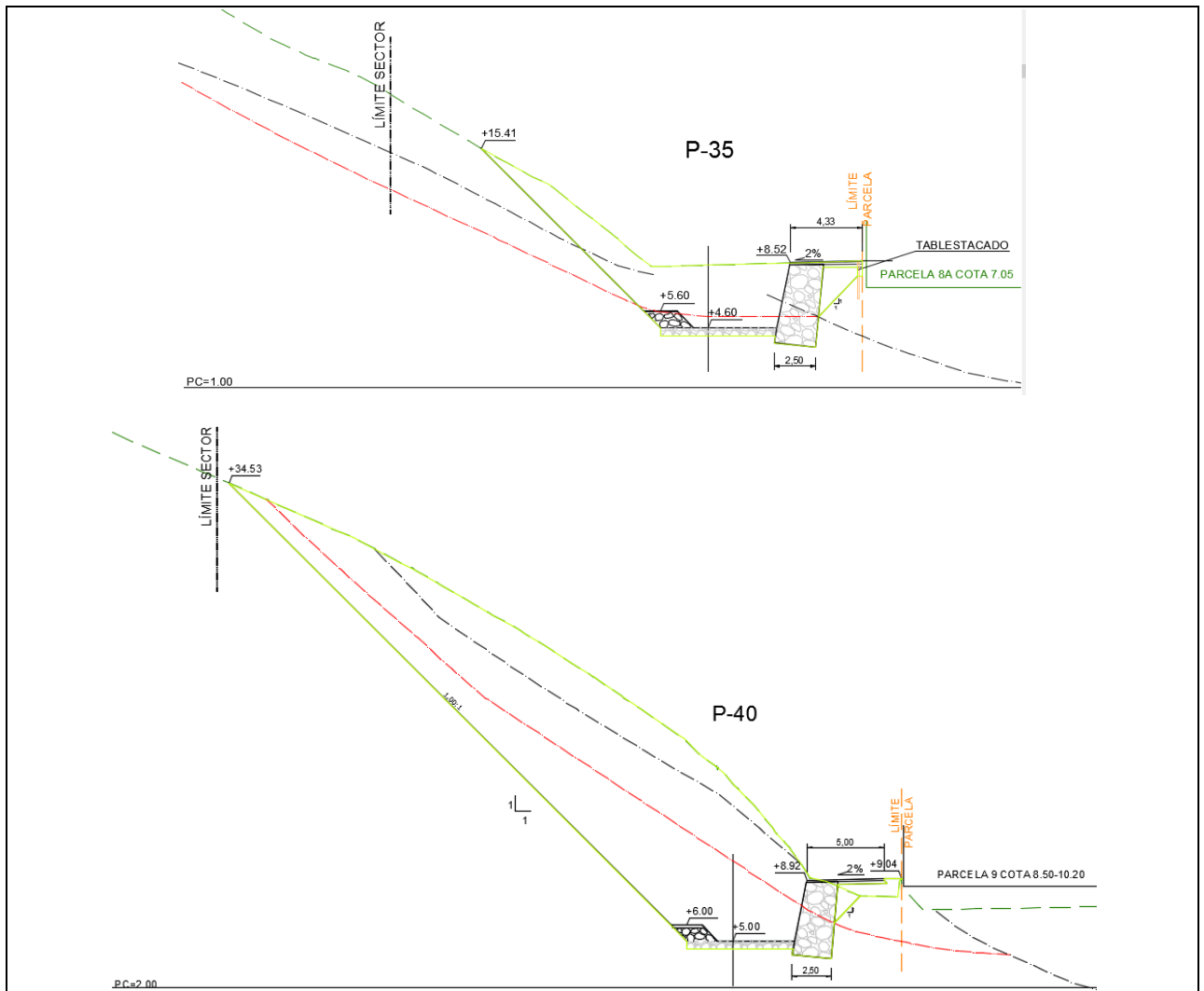
- Alcanzada la cota se levantará la escollera hormigonada con el trasdós vertical y el intradós 2H:1V.

En la margen izquierda se continuará la solución mediante escollera hormigonada descrita en las secciones anteriores.

SECCIONES P-32→P-43 (ENCAUZAMIENTO)

Aguas arriba el suelo coluvial pierde presencia en la ladera del margen derecho permitiendo recuperar la solución con talud estable.

De manera similar a las soluciones originales se estudian las siguientes soluciones:



En la margen derecha excavación de ladera con talud estable según las recomendaciones del estudio geotécnico de Lurtek.

En la margen izquierda se ejecutará una escollera hormigonada que se apoyará en roca sana y respetará las dimensiones de 2,50 metros de base y 2,00 metros en cabeza. El trasdós de la escollera se rellenará para alcanzar la cota prevista para el paseo ribereño.

4.2. RELLENOS ESTRUCTURALES

Los principales rellenos principalmente en la ejecución de los nuevos viales, donde su altura máxima es del orden de 2,00 a 2,50 metros, además de los rellenos necesarios para ejecutar el cajón de Itur y el puente de Urraga.

A la vista de las características del terreno, se observa que el relleno a efectuar, vendrá condicionado por la compresibilidad de la capa de limos. Estos limos, al ser normalmente consolidados, presentan importantes asientos frente a pequeños incrementos de carga

Previamente al inicio del movimiento será preciso el desbroce de toda la superficie del terreno, de forma que quede libre de la vegetación y la tierra vegetal existente, material que no podrá utilizarse en los rellenos, debiendo transportarse a vertedero.

Se han estudiado una hipótesis de carga, a saber: una franja de relleno de dos metros y medio de espesor y 10 metros de anchura.

A partir de los cálculos se deduce que los asientos máximos varían entre 10 y 14 centímetros para el relleno en franja respectivamente, si bien la mayor parte de los mismos se producen en los seis meses siguientes a la terminación del movimiento de tierras.

En los casos donde los rellenos se vayan a efectuar entorno al cajón de Itur y el puente de Urraga estos asientos pueden ejercer tensiones significativas en la estructura del cajón así como en las cimentaciones profundas del puente.

En el caso del cajón Itur, los esfuerzos han sido calculados y la estructura de hormigón armado se ha dimensionado en consecuencia. La sobrecarga sobre la estructura del cajón como en ambos lados del vial generarán asientos diferenciales entre el terreno y el cajón. Una vez consumidos el 90% de los asientos, se procederá a regularizar la sub base y a la pavimentación del vial.

En el caso del puente de Urraga. Los asientos sobre los materiales aluviales generarán unos esfuerzos horizontales así como verticales sobre las cimentaciones mediante pilotes in situ. Los esfuerzos horizontales pueden pandear los pilotes. Los asientos verticales generarán tensiones negativas sobre los pilotes, sobrecargados estructuralmente. Finalmente se generarán asientos diferenciales entre los rellenos del vial y la propia estructura. En este caso recomienda colocar el relleno previo a la ejecución de la cimentación del puente. Una vez se hayan conseguido el 90% de los asientos estimados se procederá a la ejecución de las cimentaciones y posteriormente los estribos.

Para acelerar la velocidad de disipación de los asientos, se recomienda realizar una precarga en las zonas donde, por razones, de planificación de la obra se consideran que poder llegar significar un "cuello de botella". A priori, el puente de Urraga es claramente uno. Una precarga de una altura de 5,0 metros en la zona del puente de Urraga podría acelerar los asientos hasta llegar al 90% de los asientos en 3 meses.

En cualquier caso, con la urbanización prevista, estos asientos no llegarían a afectar a los edificios actuales, pues en sus proximidades los rellenos apenas tienen espesor, estando alejados lo suficientemente de los mismos los de mayor potencia.

5. DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

En este apartado se definirán las pautas geotécnicas para el diseño estructural de los principales elementos de contención y encauzamiento descritos en el apartado anterior.

SECCIONES	ELEMENTOS PRINCIPALES	OBSERVACIONES
P-13 A P-16	CAJÓN PREFABRICADO	Cajón apoyado en suelos aluviales ($q_{adm} = 1,50 \text{ kg/cm}^2$)
P-16 A P-18	Ambas márgenes: PANTALLA PILOTES in situ	Pilotes empotrados en roca
P-18 A P-21	Ambas márgenes: PANTALLA PILOTES in situ	Pilotes empotrados en roca sana
P-21 A P-23	Margen derecha: MURO PANTALLA ANCLADO Margen izquierda: ESCOLLERA HORMIGONADA	Muro pantalla sostendrá excavación en roca sana. Escollera cimentada en roca sana ($q_{adm} = 6,00 \text{ kg/cm}^2$)
P-24 A P-27	Margen derecha: TALUD ESTABLE EN ROCA Margen izquierda: ESCOLLERA HORMIGONADA	Talud estable en roca 1H:1V. Escollera cimentada en roca sana ($q_{adm} = 6,00 \text{ kg/cm}^2$)
P-28 A P-32	Margen derecha: PANTALLA MICROPILOTES ANCLADA Margen izquierda: ESCOLLERA HORMIGONADA	Pantalla micropilotes sostendrá talud de suelos coluviales. Micropilotes empotrados en roca 3,00 metros Escollera cimentada en roca sana ($q_{adm} = 6,00 \text{ kg/cm}^2$)
P-32 A P-43	Margen derecha: TALUD ESTABLE EN ROCA Margen izquierdo: ESCOLLERA HORMIGONADA	Talud estable en roca y/o suelos 1H:1V Escollera cimentada en roca sana ($q_{adm} = 6,00 \text{ kg/cm}^2$)
P-53	Puente Urraga. Margen Izq y Dcho cimentación mediante pilotes in situ.	Los pilotes se realizarán una vez estén los asentos de los rellenos ejecutados estabilizados. Los pilotes se empotraran en roca con una resistencia en punta de 57 kg/cm^2 y una resistencia en punta de $3,00 \text{ kg/cm}^2$.

5.1. PILOTES IN SITU

Para la ejecución de los pilotes in situ se han considerado los parámetros geotécnicos definidos en estudio geotécnico de Lurtek.

El cálculo de resistencia por fuste y punta se ha calculado según la norma del Ministerio de Fomento para elementos de cimentación profunda.

PARÁMETROS	VALOR
α_1	0,60

PARÁMETROS	VALOR
α_2	0,80
α_3	0,77
q_u	15 MPa

Para un pilote de 650mm empotrado dos metros en el macizo rocoso sano, en cualquiera de las dos litologías aflorantes, se podrá considerar:

RESISTENCIA	VALOR
UNITARIA POR PUNTA	57,60 kg/cm ²
UNITARIA POR FUSTE	2,88 kg/cm ²

A estos valores de resistencia hay que aplicarles el factor de seguridad correspondiente a la estructura.

Estos parámetros serán de aplicación tanto para la cimentación de puentes como para la pantalla de encauzamiento proyectada.

5.2. MICROPILOTES

La pantalla de micropilotes prevista entre los P-28 y P-31 se ejecutará con micropilotes de 200mm separados entre ejes 0,60mts. Su longitud será la necesaria para lograr un empotramiento de 3,00 metros bajo el fondo de excavación.

Los parámetros geotécnicos del terreno en el que queda empotrado el micropilote corresponde a la roca sana:

TIPO DE INYECCIÓN	UNITARIA POR FUSTE
IU	6,00 kg/cm ²
IR	7,00 kg/cm ²
IRS	8,00 kg/cm ²

No se considerará la resistencia por punta en los micropilotes, que, en cualquier caso, y si entra en trabajo, supondrá una aportación a la resistencia total.

5.3. ESCOLLERAS

Las escolleras hormigonadas proyectadas como elementos de contención de la regata se basan en una geometría básica que a lo largo de la traza se deberán ajustar allí donde las limitaciones espaciales lo requieran.

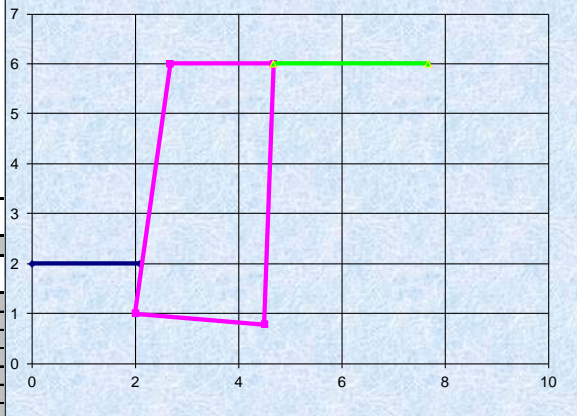
Las escolleras quedarán empotradas en macizo rocoso, en general sano; y en su trasdós aparecerá la propia roca y nuevos rellenos de urbanización (ángulo de rozamiento interno medio 30°)

En estas condiciones se ha realizado el cálculo de diseño de la escollera.

Sus dimensiones parten de una altura de 5,00 metros, con una anchura de base de 2,50 metros y una anchura en cabeza de 2,00 metros, e inclinaciones en cara de intradós de 5° y 2° en trasdós, se obtienen coeficientes de seguridad por encima de los mínimos requeridos para este tipo de estructuras.

ESCOLLERA	
Altura media	5,00 metros
Anchura de la base	2,50 metros
Anchura de la coronación	2,00 metros
Ángulo del trasdós	2°
Ángulos del intradós	5°
Densidad terreno	2,10 Tn/m ³
Ángulo de rozamiento interno	30°
Ángulo de rozamiento tierra-muro	22°
Peso específico muro	2,20 Tn/m ³

CALCULO DE MUROS DE GRAVEDAD			Muro nº: ESCOLLERA (70% Escollera y 30% Hormigon)		
DATOS INICIALES			RESULTADOS		
DATOS DEL TERRENO:					
Peso específico aparente	Gap	2,1	Momento volcador	Mv	14,84
Ángulo de rozamiento interno	Fi (°)	30	Momento estabilizador	Me	46,08
Cohesión del terreno	c	0	Coef.seg. vuelco	Csv	3,10
Coeficiente de empuje activo horizontal	Kvh	0,27	Coef.seg. deslizamiento	Csd*	2,62
Ángulo de rozamiento tierra-muro	d (°)	22,0	Tensión media	Tm (Kg/cm ²)	1,17
Coeficiente de rozamiento tierra/base muro	mu	0,58	Tensión delante	Tpuntera (Kg/cm ²)	1,68
Peso específico del muro	Gm	2,20	Tensión atrás	Ttalón (Kg/cm ²)	0,65
Coeficiente de empuje activo vertical	Kvv	0,10	Longitud comprimida	Lc (m)	2,51
Ángulo del talud del terreno	Beta(°)	0,00			
DATOS GEOMETRICOS DEL MURO:					
Altura delante	H	5			
Altura detrás	Ht	5,22			
Anchura de la base	B	2,50			
Anchura de la coronación	b	2,00			
Talud del trasdós (°-rad)	ti(°)	2			
Talud del intradós (°-rad)	it(°)	5			
DATOS DE SOBRECARGAS:					
Sobrecarga uniforme	q (T/m2)	1			
EMPUJES					
	Valor (T)	Brazo (m)			
Empuje horizontal de tierras	Eht	7,58			
Empuje vertical de tierras	Evt	2,76			
Empuje horizontal de la sobrecarga	Ehs	1,38			
Empuje vertical de la sobrecarga	Evs	0,50			
Peso del muro	Wm	25,29			
Total empujes verticales	Tev	28,56			
Total empujes horizontales	Teh	8,97			



Los coeficientes de seguridad superan los mínimos requeridos ($C_{sv}=3,10$ y $C_{sd}= 2,62$). Las tensiones requeridas al terreno de cimiento son delante y atrás de $T_p= 1,68 \text{ kg/cm}^2$ y $T_t= 0,65 \text{ kg/cm}^2$ con una tensión media $T_m= 1,17 \text{ kg/cm}^2$.

Tanto a la roca meteorizada como a la roca sana se les asignan valores de tensión admisible superiores a los solicitados por la escollera.

5.4. ANCLAJES

Se dan dos situaciones en las que será necesario el empleo de anclajes.

Respecto a los **anclajes previstos en el muro entre los P-21 y P-23**, estos contendrán una excavación con inclinación vertical en roca sana.

La excavación se realizará por bataches y estos deberán ser hormigonados, anclados y tesados previamente a continuar la excavación con los bataches contiguos.

El empuje del terreno sobre la pantalla se ha calculado según los siguientes parámetros:

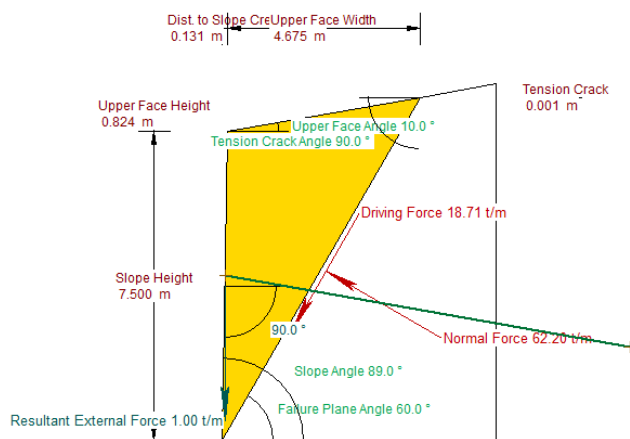
ALTURA DE CÁLCULO	PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO	
7,50 mts	Densidad	2,25 Tn/m ³
	Buzamiento de la estratificación	62°
	Fricción	20°
	Cohesión	0 tn/m ²
	Tensión ultima de arrancamiento	6 kg/cm ²

El empuje resultante considerado para el dimensionamiento del muro es de 45Tn/m por 7,50 metros de altura de talud.

El bulbo se deberá situar detrás tras el plano que define el talud estable en roca con la orientación afectada. Este talud estable corresponde a un plano de 60° que parte de la base de excavación hacia el interior del terreno. De manera esquemática se trata de la siguiente geometría:

La longitud del bulbo se ha estimado a partir de la tensión de arrancamiento última aplicándosele un Factor de Seguridad de FS= 2,00. Con estas condiciones se considera necesario un bulbo de 5,00 metros de longitud, perforado con diámetro de 101mm, que permite alcanzar una tensión de carga de 47,6 Tn. La longitud libre será de al menos 4,00 metros.

El anclado se ha dimensionado en cuadrículas de 2,50x2,50 metros. Situándose la primera línea de anclajes a 1,25 metros de la cabeza del muro. Los anclajes son Diwidag de 40mm con una inclinación de 15° hacia el terreno, y se tesará cada uno hasta 38 Tn.



Entre los **P-28 y P-32 los anclajes** se adosarán a una pantalla de micropilotes para el sostenimiento de los suelos coluviales cartografiados en la ladera. Se ha calculado un empuje del terreno de 7,00 Tn/m².

Tras la ejecución de la pantalla de micropilotes se realizará la excavación por bataches y el correspondiente anclado de la pantalla.

Los anclajes, de barra Diwidag (40mm), deberán distribuirse en filas cada 2,00 metros a partir del primer metro de la cabeza de la pantalla de micropilotes. Con separaciones en la horizontal de 2,40 metros.

En estas condiciones será prevé tesar los anclajes a 35 Tn, tensión que ligeramente superior a la correspondiente al batache.

La longitud de los anclajes deberá ser tal, que el bulbo se sitúe a partir del primer metro de aparición del macizo rocoso en la perforación.

6. ANEXO 01. INFORME GEOLOGICO GEOTECNICO LURTEK (2018)

