



MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

## ADENDA NÚMERO 01

“PROYECTO DE DEMOLICIÓN DEL MIRADOR DE LA  
PEÑONA Y ADECUACIÓN DEL ENTORNO DEL MUSEO  
DE LAS ANCLAS EN SALINAS,

T.M. DE CASTRILLÓN (ASTURIAS).”

Ref: 33-0612



## ÍNDICE

1.	ANTECEDENTES	3
2.	INCLUSIÓN DE LA PRESCRIPCIÓN "8.9.bis- TÉCNICO SUPERIOR PARA SEGUIMIENTO Y CONTROL DE LAS OBRAS" DEL PPT	3
3.	ANEXOS	5





## 1. ANTECEDENTES

Como resultado de la Información Pública y Oficial del “PROYECTO DE DEMOLICIÓN DEL MIRADOR DE LA PEÑONA Y ADECUACIÓN DEL ENTORNO DEL MUSEO DE LAS ANCLAS EN SALINAS, T.M. DE CASTRILLÓN (ASTURIAS)”, se incluyen nuevos aspectos al proyecto a través de esta adenda.

Estos aspectos son:

- Inclusión de la cláusula o prescripción del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares “8.9.bis- TÉCNICO SUPERIOR PARA SEGUIMIENTO Y CONTROL DE LAS OBRAS”, con el objeto de describir los trabajos realizados por la partida 6.5 Técnico superior para seguimiento y control de las obras. Se desarrolla en el apartado 2.
  - Incorporación de los aspectos señalados por los distintos órganos ambientales del Principado de Asturias, incluyendo en el **Anexo 01** los informes ambientales de:
    - o Consejería de Transición Ecológica, Industria y Desarrollo Económico.
    - o Consejería de Fomento, Cooperación Local y Prevención de Incendios.
    - o Consejería de Medio Rural y Política Agraria.
- Cuyas cláusulas deberán ser observadas y cumplidas por el Contratista.
- Anexo de los siguientes informes:
    - o **Anexo 02:** “INSPECCIÓN Y SUPERVISIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA PEÑONA EN SALINAS, T.M. DE CASTRILLÓN (ASTURIAS)”, firmado en noviembre de 2023.
    - o **Anexo 03:** “INFORME DE MODELIZACIÓN MORFO-HIDRODINÁMICA EN LA PEÑONA, T.M. CASTRILLÓN, ASTURIAS”, firmado en enero de 2024.

## 2. INCLUSIÓN DE LA PRESCRIPCIÓN “8.9.bis- TÉCNICO SUPERIOR PARA SEGUIMIENTO Y CONTROL DE LAS OBRAS” DEL PPT

El contenido de dicha prescripción es el siguiente:

### **“8.9.bis- TÉCNICO SUPERIOR PARA SEGUIMIENTO Y CONTROL DE LAS OBRAS**

El Contratista queda obligado a poner a disposición de la Administración las labores de un/a Técnico/a Superior especializado/a para el seguimiento y control de las obras, según se recoge en la partida 6.5 de los presupuestos.

Entre las labores a desempeñar se incluyen los aspectos señalados por los distintos órganos ambientales del Principado de Asturias, tales como el establecimiento y vigilancia de un plan de seguimiento ambiental, que incluirá la instauración de un protocolo o plan preventivo de especies exóticas invasoras, así como la inspección previa en busca de potenciales refugios para quirópteros en la estructura objeto de la actuación, entre otros.”





MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

EL JEFE DE SERVICIO  
DE PROYECTOS Y OBRAS

Miguel Ángel Reyes Merlo

*Documento firmado electrónicamente*

Código seguro de Verificación : GEN-8859-ab4d-ca1e-df49-e550-f458-badd-cffb | Puede verificar la integridad de este documento en la siguiente dirección : <https://sede.administracion.gob.es/pagSedeFront/servicios/consulta...>





MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

## **ANEXO 01**

# **INFORMES AMBIENTALES**

DEMARCACION DE COSTAS DE ASTURIAS  
PZ DE ESPAÑA, 3  
33005 OVIEDO ASTURIAS



PA000000040016000071061

**Referencia** DECO/2023/27733 // IA-VA-0147/2023  
**Procedimiento** Actuaciones no sujetas a procedimiento administrativo reglado  
**Asunto** CONSULTA TRÁMITE AMBIENTAL DEL PROYECTO DE DEMOLICIÓN DEL  
MIRADOR DE LA PEÑONA Y DE ADECUACIÓN DEL ENTORNO DEL  
MUSEO DE LAS ANCLAS EN SALINAS, T.M. CASTRILLÓN  
**Interesado** DEMARCACION DE COSTAS DE ASTURIAS  
**Unidad Responsable** Sección de Evaluación Ambiental  
**Referencia Externa** 33-0612

### NOTIFICACIÓN

En relación a su oficio, de fecha 20 de septiembre de 2023, en el que realizan consulta relativa a la tramitación ambiental del PROYECTO DE DEMOLICIÓN DEL MIRADOR DE LA PEÑONA Y DE ADECUACIÓN DEL ENTORNO DEL MUSEO DE LAS ANCLAS EN SALINAS (CASTRILLÓN), y vistos la documentación adjunta a dicho escrito de consulta y el informe técnico elaborado por personal del Servicio de Evaluaciones Ambientales, cabe comunicarles que:

En lo que se refiere a la tramitación ambiental, las actuaciones del proyecto descritas en el encargo no aparecen recogidas en el anexo I ni en el anexo II de la Ley 21/2013, como sujetas a ser sometidas a evaluación de impacto ambiental ordinaria ni simplificada, respectivamente.

A dichas actuaciones no le son de aplicación ninguno de los supuestos del artículo 7.1. de la citada Ley 21/2013, no resultando por tanto objeto de evaluación de impacto ambiental ordinaria.

No obstante, al proyecto sí podría serle de aplicación el apartado 7.2.b) de la Ley 21/2013, referido a aquellos proyectos que, no estando incluidos en los anexos I y II,  *puedan afectar de forma apreciable, directa o indirectamente, a Espacios Protegidos Red Natura 2000.*

A este respecto, cabe destacar que la zona costera donde se ubica el ámbito del proyecto forma parte de la ZEC "Cabo Busto - Luanco" de la Red Natura 2000.

Conforme a la Disposición Adicional 7ª de la Ley 21/2013, en el caso de que cualquiera de las actuaciones que forman parte del proyecto pueda afectar a un espacio de la Red Natura 2000, corresponde al promotor acreditar que el proyecto tiene relación directa con la gestión o bien que no es susceptible de causar efectos adversos apreciables sobre dicho espacio. Para ello, **corresponde igualmente al promotor, según la citada disposición, solicitar informe a tal efecto al órgano competente**, esto es, el Servicio de Gestión del Medio Natural de la Dirección



Estado del documento

Original

Página 1 de 2

Dirección electrónica de validación CSV

<https://consultaCVS.asturias.es>

Código Seguro de Verificación (CSV)

14612416073216056541



General de Custodia del Territorio e Interior.

En el caso de que el informe del órgano competente considerase que las actuaciones no afectan negativamente de forma apreciable a los espacios Red Natura, no sería en consecuencia preceptiva la evaluación de impacto ambiental.

La emisión del presente informe no prejuzga ni exime de la obtención de cualesquiera otros permisos y autorizaciones que sean necesarios con arreglo a otra normativa distinta de la relacionada con la evaluación de impacto ambiental.

Lo que se informa a los efectos oportunos.

	Estado del documento	Original	Página 2 de 2
	Dirección electrónica de validación CSV	<a href="https://consultaCVS.asturias.es">https://consultaCVS.asturias.es</a>	
	Código Seguro de Verificación (CSV)	14612416073216056541	
			

DEMARCACION DE COSTAS DE ASTURIAS  
PZ DE ESPAÑA, 3  
33005 OVIEDO ASTURIAS



PA000000040016000068997

**Referencia** 1132/2023 (CONV/2023/1919)  
**Asunto** Informe relativo a proyecto de demolición del mirador de La Peñona y adecuación del entorno del Museo de Las Anclas en Salinas. T.m. Castrillón

En contestación a su escrito con fecha de entrada en el Servicio de Gestión del Medio Natural de 19 de septiembre de 2023, en el que se solicita informe relativo al proyecto "Demolición del mirador de la Peñona y acondicionamiento del entorno del Museo de Las Anclas en Salinas (Castrillón)", conforme dispone el artículo 98 del Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas, y visto el informe elaborado por técnicos del Servicio, se informa lo siguiente:

### DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En noviembre de 2022 con motivo del seguimiento que realiza Demarcación de Costas en Asturias del estado del islote rocoso que soporta el mirador existente en las inmediaciones de la península de La Peñona, en Salinas (Castrillón), se realizó un nuevo informe de inspección geotécnica, concluyendo que existe riesgo de roturas del macizo rocoso y por tanto riesgo de desplome del mirador. En ese momento, y por seguridad, se solicitó al Ayuntamiento de Castrillón el cierre al público de la estructura.

La Demarcación de Costas de Asturias comenzó entonces la valoración de la situación y tras el análisis de varias alternativas se establece como opción escogida la demolición del mirador y renaturalización del entorno.

Las actuaciones que se plantean son las siguientes:

– Demolición del mirador y pasarela de La Peñona

Se retirarán mediante grúa autopropulsada el mirador circular ubicado en la isla, la pasarela de acceso a la isla y la zona pavimentada que comunica el mirador con la pasarela. Previamente se precortará el mirador con hilo diamantado, procediendo posteriormente a su demolición manual.

Se procederá asimismo a la demolición y rasanteo de la rampa de acceso a la pasarela y se retirará la rosa de los vientos ubicada en la parte alta de la península de La Peñona.

– Acondicionamiento del entorno de La Peñona

En el entorno de la explanada superior de la península, tras la retirada de la rosa de los vientos y los movimientos de tierras necesarios, se creará un espacio para el uso público, con la reposición de pavimentos preexistentes.



Estado del documento

Original

Página 1 de 5

Dirección electrónica de validación CSV

<https://consultaCVS.asturias.es>

Código Seguro de Verificación (CSV)

14612415223627234477



La parte más elevada de la península, que se encuentra degradada por el tránsito indiscriminado y pisoteo, se revegetará con especies autóctonas, destacando el tojo (*Ulex europaeus*), a la vez que se instalarán elementos delimitadores de los tránsitos y advertencias de riesgo.

En la zona inferior se adecuará el entorno homogeneizando el pavimentado, reacondicionando el muro que sirve de protección frente al oleaje e instalando varios bancos de hormigón con iluminación LED incorporada y una iluminación con balizas, diseñadas para evitar la contaminación lumínica.

El paseo resultante ocupará la misma superficie que anteriormente a la adecuación y estará delimitado por una empalizada de madera, con triple cable. En la zona revegetada, con doble cuerda.

En la parte de la península más próxima a la isla se reacondicionará la protección existente, colocando un muro de mampostería de 70 cm de altura.

Se dispondrá nueva cartelería para información al público, así como una barrera abatible a la entrada de La Peñona, destinada al manejo municipal para cortar el acceso si se considerase oportuno.

El plazo de ejecución será de doce meses.

#### CONSIDERACIONES AMBIENTALES

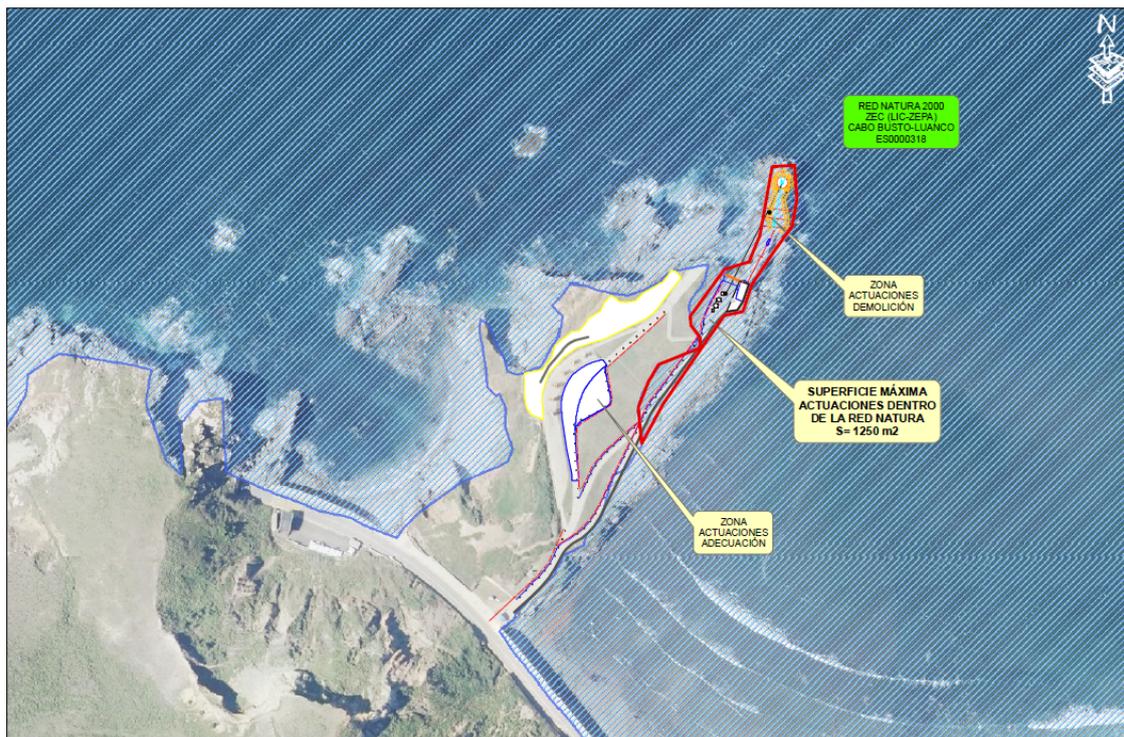
Parte de la zona de actuación se sitúa dentro de los límites de la Zona Especial de Conservación (ZEC) y de la Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) Cabo Busto – Luanco, ambos espacios pertenecientes a la Red Natura 2000.

Estos espacios protegidos cuentan con un instrumento de gestión integrado aprobado por el Decreto 154/2014, de 29 de diciembre, por el que se declara la Zona Especial de Conservación Cabo Busto-Luanco (ES1200055) y se aprueba el I Instrumento de Gestión Integrado de diversos espacios protegidos en el tramo costero entre Cabo Busto y Luanco.

La finalidad del instrumento de gestión es garantizar el mantenimiento o el restablecimiento en un estado de conservación favorable de los hábitats y de las especies silvestres de la fauna y de la flora de interés comunitario, establecidos en la Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitat naturales y de la fauna y flora silvestres. Asimismo tienen por objeto asegurar la supervivencia y reproducción en su área de distribución de las especies de aves, en particular las incluidas en el anexo I de la Directiva 2009/147/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de noviembre de 2009 relativa a la conservación de las aves silvestres, y de las especies migratorias no contempladas en dicho anexo cuya llegada sea regular, todo ello con el objeto último de contribuir a garantizar la conservación de la biodiversidad en el territorio europeo.

La memoria presentada incluye en su “Anejo 5 – Trámite ambiental” la valoración de las posibles afecciones ambientales del proyecto. Según este documento, la zona de actuación coincide con la ZEC/ZEPA Cabo Busto-Luanco en una superficie de 1.250 m<sup>2</sup> que comprende la zona de los elementos que se demuelen y retiran y la parte final del paseo que se adecúa, en la que se situará la grúa y la zona de acopio de residuos:

	Estado del documento	Original	Página 2 de 5
	Dirección electrónica de validación CSV	<a href="https://consultaCVS.asturias.es">https://consultaCVS.asturias.es</a>	
	Código Seguro de Verificación (CSV)		
	14612415223627234477		
			



En rojo, superficie de la zona de actuación en la ZEC/ZEPA Cabo Busto – Luanco. Imagen extraída de la memoria presentada por el promotor.

La cartografía de la ZEC Cabo Busto-Luanco muestra que en la zona de actuación no hay hábitats de interés comunitario cartografiados. No obstante, el Anejo 5 señala que en dicha zona son hábitats potenciales los de acantilados y que, según la descripción de los mismos, en la zona habría una presencia muy escasa del hábitat 1230, representado por *Crithmum maritimum*. El documento concluye que el área potencial de distribución de este hábitat se verá someramente incrementada tras la retirada de la infraestructura y que la actuación se entendería beneficiosa para su conservación, considerando los objetivos generales de conservación del hábitat, en particular el punto tercero del apartado 2.1.1.4 del instrumento de gestión de la ZEC: *Recuperar la naturalidad de la ribera del mar*.

En cuanto a las especies Red Natura, el anejo 5 de la memoria señala que resulta de interés la eventual nidificación del paíño europeo o del halcón peregrino en los acantilados y que no se ha detectado la presencia de estas especies en la zona objeto de las actuaciones. En la cartografía que obra en este Servicio tampoco consta la presencia de nidos o colonias de estas especies en la zona de actuación.

La memoria señala además que para el resto de taxones que pudieran verse amenazados por una degradación del medio marino, la retirada de los elementos de la demolición por medios controlados evitará afecciones a la calidad de las aguas.

El apartado 6 del anejo 5 de la memoria incluye medidas ambientales a implementar sobre la vegetación, la fauna, la calidad del aire y calidad sonora, la población y la hidrología o hidrogeología. Entre estas últimas se incluye que se evitará la caída de elementos de la demolición al mar, colocando a tales efectos redes anticaídas; y que se mantendrá un estricto control en el aspecto de afección al medio hídrico.



Estado del documento

Original

Página 3 de 5

Dirección electrónica de validación CSV

<https://consultaCVS.asturias.es>

Código Seguro de Verificación (CSV)

14612415223627234477



El documento concluye que “la ejecución de esta actuación es un claro beneficio ambiental, ya que se naturaliza toda la zona de La Peñona y se eliminan elementos antrópicos dentro de espacios de la Red Natura 2000”.

## VALORACIÓN

De acuerdo con lo anterior, en lo que se refiere exclusivamente al ámbito de competencias del Servicio de Gestión del Medio Natural, se informa que no es previsible que el proyecto pueda tener efectos apreciables sobre la ZEC/ZEPA Cabo Busto-Luanco o sobre sus hábitats de interés comunitario o especies Red Natura, siempre que se ejecute en los términos recogidos en la memoria “Demolición del mirador de la Peñona y acondicionamiento del entorno del Museo de Las Anclas en Salinas (Castrillón)”, elaborada por el Jefe de Servicio de Proyectos y Obras, D. Miguel Ángel Reyes Merlo, en junio de 2023; y siempre y cuando se apliquen las medidas recogidas en los apartados “6. Medidas ambientales a implementar” y “7. Restauración ambiental” del Anejo 5 de dicho documento, a las que deberán añadirse las siguientes:

- Durante las obras se deberá evitar el vertido de sustancias contaminantes (ej. aceite, gasoil, hormigón, cemento,...) en el entorno de las actuaciones y en el mar. Si se detectasen situaciones de turbidez o vertidos provocados por las obras, éstas deberán detenerse, procediendo a la inmediata resolución de las circunstancias causantes de estos incidentes.
- Para evitar la caída de materiales al mar como consecuencia de la demolición y retirada de cada elemento se implementarán las medidas necesarias, como puede ser, tal y como se recoge en la documentación remitida, la instalación de redes anticaídas.
- Se delimitará la zona de acopio de residuos y se tomarán medidas adecuadas de contención de posibles vertidos accidentales. Esta zona de acopio, así como zonas de estacionamiento de maquinaria, casetas de obra, etc deberán situarse fuera de los límites de la ZEC/ZEPA Cabo Busto-Luanco.
- Todos los residuos generados deberán ser retirados de la zona en el menor tiempo posible y deberán ser convenientemente gestionados en vertederos autorizados.
- Ante la presencia de ejemplares de especies de flora invasora, con potencial invasor y/o de ejemplares asilvestrados de especies de plantas exóticas cultivadas, y de acuerdo con el Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras, se procederá a su correcta eliminación, evitando su dispersión y retirando los restos de las mismas a vertedero autorizado.
- Asimismo, para prevenir la expansión de estas especies, la maquinaria y herramientas utilizadas deberán ser convenientemente limpiadas antes de su traslado al entorno de las zonas de actuación y cuando abandonen definitivamente dichas zonas.
- Una vez concluidas las obras se procederá a la restauración de las zonas ocupadas restituyendo las condiciones originales del terreno afectado, en su caso. Esta restauración deberá realizarse en el menor plazo posible al objeto de evitar la ocupación de la zona por especies invasoras.
- La restauración vegetal se efectuará exclusivamente con especies autóctonas y se emplearán ecotipos de la propia provincia fitogeográfica y de origen preferentemente local.

	Estado del documento	Original	Página 4 de 5	
	Dirección electrónica de validación CSV	<a href="https://consultaCVS.asturias.es">https://consultaCVS.asturias.es</a>		
	Código Seguro de Verificación (CSV)			
	14612415223627234477			

- Se ejecutará un plan de seguimiento de todas las medidas ambientales que garantice su adecuada aplicación y permita la corrección de las mismas en caso de ser necesario.
- Se implementará un plan de seguimiento y control de flora alóctona invasora durante al menos tres años en el área de actuación, incluyendo la zona de la isla.

La emisión del presente informe no exime de cualesquiera otros informes, permisos y autorizaciones que fueran precisos en virtud de la normativa sectorial correspondiente, especialmente el correspondiente a la Dirección General de Planificación Agraria en lo relativo a las especies protegidas.

Lo cual se informa a los efectos oportunos.

En Oviedo, a la fecha de la firma digital

LA JEFA DEL SERVICIO



Estado del documento	Original	Página 5 de 5
Dirección electrónica de validación CSV	<a href="https://consultaCVS.asturias.es">https://consultaCVS.asturias.es</a>	
Código Seguro de Verificación (CSV)	14612415223627234477	



<b>Referencia</b>	DECO/2023/28825
<b>Procedimiento</b>	Actuaciones no sujetas a procedimiento administrativo reglado
<b>Asunto</b>	33-0612. SOLICITUD DE INFORME REFERENTE A PROYECTO DE ACTUACIÓN Demolición del mirador de la Peñona y adecuación del entorno del Museo de Las Anclas en Salinas (t.m. de Castrillón)
<b>Interesado</b>	DEMARCAION DE COSTAS DE ASTURIAS
<b>Unidad Responsable</b>	Servicio de Vida Silvestre
<b>Referencia Externa</b>	

### INFORME TÉCNICO

Visto el expediente de referencia, los técnicos que suscriben y en relación al mismo, tiene a bien emitir el siguiente **INFORME**:

**Nº Expediente:** DECO/2023/28825

**Nº de encargo:** 353027.

**Asunto:** DEMOLICIÓN DEL MIRADOR DE LA PEÑONA Y ACONDICIONAMIENTO DEL ENTORNO DEL MUSEO DE LAS ANCLAS EN SALINAS (CASTRILLÓN)

#### ANTECEDENTES:

- Con fecha 06 de octubre de 2023, el Servicio de Vida Silvestre recibe solicitud de informe referente a proyecto de actuación Demolición del mirador de la Peñona y adecuación del entorno del Museo de Las Anclas en Salinas (Castrillón) para su valoración.
- Con fecha 30 de octubre de 2023, firmada por los directores generales de Planificación Agraria y Custodia del Territorio e Interior y enviada por Jefe de Servicio de Vida Silvestre, se recibe una instrucción de trabajo con vigencia indefinida hasta la modificación o anulación de la misma que dice: *"En la emisión de informes, autorizaciones o cualquier otro acto administrativo sobre biodiversidad y especies silvestres, que afecte total o parcialmente a un Espacio de la Red Natura 2000 o cualquier otra figura contemplada en la Ley 5/91 del Principado de Asturias, se resolverá y se evacuarán los documentos que proceda, en exclusiva por el Servicio de Gestión del Medio Natural. - En la emisión de informes, autorizaciones o cualquier otro acto administrativo que no se encuentre en la situación anterior, se resolverá y se evacuarán los documentos que proceda en exclusiva por el Servicio de Vida Silvestre."*. Según dicha instrucción: *"La entrada en vigor de la presente Instrucción de Trabajo será inmediata con la firma de los titulares de las Direcciones Generales implicadas y tendrá efecto sobre los expedientes actualmente en proceso de tramitación por parte de las mismas. El Servicio de Vida Silvestre informara al Servicio de Gestión del Medio Natural de los Expedientes que archiva por este motivo para evitar posibles errores"*.

	Estado del documento	Original	Página 1 de 4	
	Dirección electrónica de validación CSV	<a href="https://consultaCVS.asturias.es">https://consultaCVS.asturias.es</a>		
	Código Seguro de Verificación (CSV)	14614147451271237052		
				

- Con fecha 31 de octubre, siguiendo la instrucción, se envía el listado solicitado en ella (vía correo electrónico) en el que se encuentra el encargo nº 326381.
- Con fecha 17 de noviembre de 2023, se recibe aclaración de la instrucción vía correo electrónico en la que consta que la misma: "tendrá efecto sobre los expedientes actualmente en proceso de tramitación por parte de las mismas. El Servicio de Vida Silvestre informara al Servicio de Gestión del Medio Natural de los Expedientes que archiva por este motivo para evitar posibles errores".

#### **VALORACIÓN:**

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto se **propone** que se informe al organismo de Demarcación de Costas en Asturias, de la Dirección General de la Costa y el Mar, que se ha recibido una instrucción firmada por los directores generales de Planificación Agraria y de Custodia del Territorio e Interior, en la que se recoge que la acción planteada en este encargo, al afectar total o parcialmente a un espacio de la Red Natura 2000, se debería resolver y evacuar en exclusiva por el servicio de Gestión del Medio Natural.

No obstante y viendo que dicho servicio ya ha emitido informe al respecto, se propone que se añadan, a las ya emitidas por aquel, las siguientes consideraciones y conclusiones:

#### **CONSIDERACIONES AMBIENTALES:**

1. Según el "Plan de acción sobre las vías de introducción y propagación de las especies exóticas invasoras en España", editado por el MITECO, el transporte por personas o maquinaria constituye una de las vías de introducción o dispersión de estas especies. Dicho plan incluye entre sus acciones a desarrollar que se tengan en cuenta a las EEI en los procesos que implican movimiento de tierras, limpieza, transporte, reprocesamiento y movimiento de tierra y escombros dentro de aquellas obras que incluyan vectores de introducción o de propagación de EEI (maquinaria, transporte de material vegetal, tierra y material que constituyen hábitats para ciertas especies).
2. La construcción sobre la que se va a actuar es un refugio potencial para especies de quirópteros, ya que puede contener huecos, grietas o fisuras que son refugios potenciales para este taxón, que podrían verse directamente afectadas por la ejecución de las obras en estas infraestructura. Por ello se han de adoptar las medidas necesarias para evitar tanto la muerte de ejemplares como las interferencias negativas con la reproducción de las especies que pudieran utilizarla como refugio o lugar de cría. En este sentido, la ley 42/2007, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad dice en su artículo 54.5 establece que "queda prohibido dar muerte, dañar, molestar o inquietar intencionadamente a los animales silvestres, sea cual fuere el método empleado o la fase de su ciclo biológico. Esta prohibición incluye su retención y captura en vivo, la

	Estado del documento	Original	Página 2 de 4	
	Dirección electrónica de validación CSV	<a href="https://consultaCVS.asturias.es">https://consultaCVS.asturias.es</a>		
	Código Seguro de Verificación (CSV)			
	14614147451271237052			

destrucción, daño, recolección y retención de sus nidos, de sus crías o de sus huevos, estos últimos aun estando vacíos, así como la posesión, transporte, tráfico y comercio de ejemplares vivos o muertos o de sus restos, incluyendo el comercio exterior.”

3. El acondicionamiento del entorno contempla la revegetación de la zona de actuación. Según el documento “Guidelines on Biodiversity-Friendly Afforestation, Reforestation and tree Planting ”: *la introducción y manejo de la vegetación en ambientes urbanizados puede ayudar a aumentar su complejidad estructural. En lo que respecta a la biodiversidad deberían emplearse especies nativas adaptadas a las condiciones locales. Dicho documento también recoge la recomendación de favorecer la recolonización natural de las especies pioneras de las series de vegetación de las zonas a restaurar.*

### CONCLUSIONES:

- Se deberá instaurar un protocolo o plan de actuación preventivo de propagación de especies exóticas invasoras, acorde con el Real Decreto 630/2013, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras, y aplicarlo al tratamiento de estas especies y a la gestión del movimiento de tierras hasta su restauración completa que incluirá, al menos:
  - Instrucciones orientadas a evitar la dispersión (entrada o salida) de especies invasoras a través del movimiento de tierras, los materiales utilizados en la obra, los vehículos de transporte, maquinaria y personal.
  - Medidas para evitar la instauración de especies invasoras en la zona de actuación una vez finalizada ésta.
- En las labores de revegetación se priorizará la toma de medidas que favorezcan la recolonización natural de las especies pioneras de las series de vegetación de la zona a restaurar y su evolución natural hacia la vegetación potencial complementaria a la instauración de especímenes correspondientes con la serie de vegetación propia de la zona.
- Se realizará una inspección previa por técnico/a cualificado/a en busca de potenciales refugios para quirópteros en la estructura objeto de la actuación. En caso de que se detectase la ocupación y utilización por parte de alguna de estas especies, se deberá comunicar esta circunstancia al Servicio de Vida Silvestre de la Dirección General de Planificación Agraria, que determinará las medidas que será necesario adoptar.
- En ningún caso se actuará sobre ninguna especie recogida bajo algún régimen de protección (catálogos internacionales, nacionales y regionales de fauna y flora). Si en el área de afección de la actuación, se tuviera constancia de la presencia de alguna de estas especies, se pondrá en

	Estado del documento	Original	Página 3 de 4	
	Dirección electrónica de validación CSV	<a href="https://consultaCVS.asturias.es">https://consultaCVS.asturias.es</a>		
	Código Seguro de Verificación (CSV)			
	14614147451271237052			

conocimiento del Servicio de vida silvestre de la Consejería de Medio Rural y Política Agraria para que emita las instrucciones pertinentes.

Lo que se informa a los efectos oportunos,

En Oviedo a la fecha de la firma digital.

	Estado del documento	Original	Página 4 de 4	
	Dirección electrónica de validación CSV	<a href="https://consultaCVS.asturias.es">https://consultaCVS.asturias.es</a>		
	Código Seguro de Verificación (CSV)	14614147451271237052		
				



MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

## **ANEXO 02**

# **INSPECCIÓN Y SUPERVISIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA PEÑONA EN SALINAS, T.M. DE CASTRILLÓN (ASTURIAS)**

# INSPECCIÓN Y SUPERVISIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA PEÑONA EN SALINAS, T.M. DE CASTRILLÓN (ASTURIAS)



## Promotor:



MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL  
RETO DEMOGRÁFICO

DIRECCIÓN GENERAL  
DE LA COSTA Y EL MAR

Demarcación de Costas en Asturias



Documento

**23-135**

Fecha

**Noviembre de 2023**

# INFORME



ingeniería



## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA	5
3. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES DETECTADOS	14
4. TOPOGRAFÍA	22
5. ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE LA ZONA DE ESTUDIO	30
6. ANALISIS CUANTITATIVO DE LA ESTABILIDAD	36
7. ANALISIS CUANTITATIVO DE LA ESTABILIDAD CON MEDIDAS IMPLEMENTADAS	50
8. CONCLUSIONES	61
9. APÉNDICE 1 RECOMIENDOS REALIZADOS	66
10. APÉNDICE 2 ENSAYOS	67
11. APÉNDICE 3 FOTOGRÁFICO	68
12. APÉNDICE 4 PLANO Y PERFIL TOPOGRAFICO	69
13. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SECCIÓN ESTE	70
14. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SECCIÓN OESTE 1	71
15. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SECCIÓN OESTE 2	72
16. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SECCIÓN NOROESTE	73



## 1. INTRODUCCIÓN

El presente Informe se realiza por encargo de la **Demarcación de Costas de Asturias**, y tiene por objeto el análisis y cuantificación en una fase posterior de las condiciones de estabilidad actuales en las que se encuentran los taludes donde se emplaza el Mirador de La Peñona, situado en el margen Oeste de la Playa de Salinas, en el Término Municipal de Castrillón, en la Provincia de Asturias.

Para ello se establecerá una caracterización geotécnica de los terrenos existentes en el citado emplazamiento, estableciendo las propiedades geotécnicas características de los mismos, y en base a esta evaluación, se realizará el análisis de estabilidad de los taludes citados, determinado el grado de estabilidad de los mismos.

Posteriormente, si procede, en función del resultado obtenido en los análisis previos, se analizarán las posibles medidas encaminadas a garantizar la seguridad de esta estructura de acuerdo con los factores de seguridad habitualmente considerados a este respecto.

### Equipo Técnico

En la elaboración de este informe han participado los siguientes técnicos:

- **Fermín González Díaz**, Ingeniero Geólogo e Ingeniero Técnico de Minas
- **Ignacio Mallada Menéndez**, Ingeniero Geólogo e Ingeniero de Minas
- **Gonzalo Galán Seijo**, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
- **Marcos Corte García**, Geólogo especialista en geotecnia.
- **Saúl Blasón González**, Ingeniero Técnico en Topografía

### Datos de partida

Para la elaboración del presente Informe se ha contado con la información suministrada por el Peticionario del mismo, la cual se muestra a continuación.

- Planos de emplazamiento y situación de la zona objeto de estudio.
- Plano Topográfico de la zona objeto de estudio con secciones representativas de los taludes a analizar.
- "Informe de seguimiento sobre la estabilidad de los acantilados de la Peñona donde se ubica el Museo de Anclas Philippe Cousteau en Salinas, (T.M. de

Castrillón - Asturias)”, donde se describen los diferentes Estudios de estabilidad realizados hasta la fecha y la evolución del estado de los taludes sobre los que se asienta el Mirador de La Peñona, desde el año 2002 hasta Diciembre de 2019.

- “Informe relativo al análisis del macizo rocoso del Mirador de La Peñona”, realizado de Noviembre de 2022, en el cual se realiza una caracterización geotécnica del macizo rocoso donde de los taludes existentes en el entorno que nos ocupa y se analizan la formación de inestabilidades puntuales, bien por roturas de tipo planares, roturas por cuñas o roturas por vuelcos, sin determinar el Factor de Seguridad de las mismas.
- Nota Técnica para análisis y valoración del Informe “Inspección Geotécnica del Macizo Rocosó de La Peñona”, en Salinas (Castrillón – Asturias), donde se analiza el Documento citado anteriormente y se establece, según criterio del Autor, el Factor de Seguridad de los tipos de rotura identificados en el talud, obteniéndose de forma general valores muy elevados respecto a los habitualmente considerados como valores de referencia para este tipo de situaciones, según sus apreciaciones y criterios.

### **Localización de la zona objeto de estudio**

La zona objeto de estudio se sitúa en el margen Oeste de la Playa de Salinas, al final del paseo marítimo existente, perteneciente al Término Municipal de Castrillón, en la Provincia de Asturias.



Situación zona de estudio



Foto aérea zona de estudio

La zona objeto de estudio se corresponde con un promontorio que se introduce en el mar, comunicado con tierra por medio de una pasarela peatonal, formado por un saliente rocoso formado principalmente por materiales margo-calcáreos, en cuyo extremo se levanta un mirador.

En la actualidad, esta infraestructura se encuentra cerrada al público debido a diversos fenómenos de inestabilidad producidos en su entorno en fechas relativamente recientes, consistentes principalmente en el desprendimiento de cuñas rocosas de la superficie de los taludes existentes en ambos márgenes del saliente rocoso, especialmente en el margen Oeste, donde son visibles socavaciones y hendiduras de importantes tamaños.

En la generación de estos fenómenos de inestabilidad influye, en primer lugar, en la naturaleza, características, orientación del sistema de juntas, y grado de alteración, del macizo rocoso que conforman los taludes existentes, hecho que se ve agravado por la acción de erosión marina continua que experimenta la zona.

El talud se encuentra constituido por alternancias de calizas grises y rosadas con margas de color rojizo, de Edad Devónico Inferior, integradas dentro de la Formación conocida como Grupo Rañeces.

Aunque se trata de terrenos sumamente consolidados y resistentes, se ha de tener en cuenta el importante grado de fracturación que presenta este macizo y la juventud del relieve en el que se emplaza, así como la evidente tectonización a la que se ha visto sometido. Este hecho queda patente en la importante apertura del diaclasado, y en las

condiciones que este presenta de cara a evaluar su resistencia, así como la existencia de numerosos pliegues y micropliegues, claramente visibles en algunas zonas.

La zona objeto de estudio presentaría alturas máximas en torno a 16,0m, de acuerdo con la información topográfica facilitada para la redacción del presente Documento.



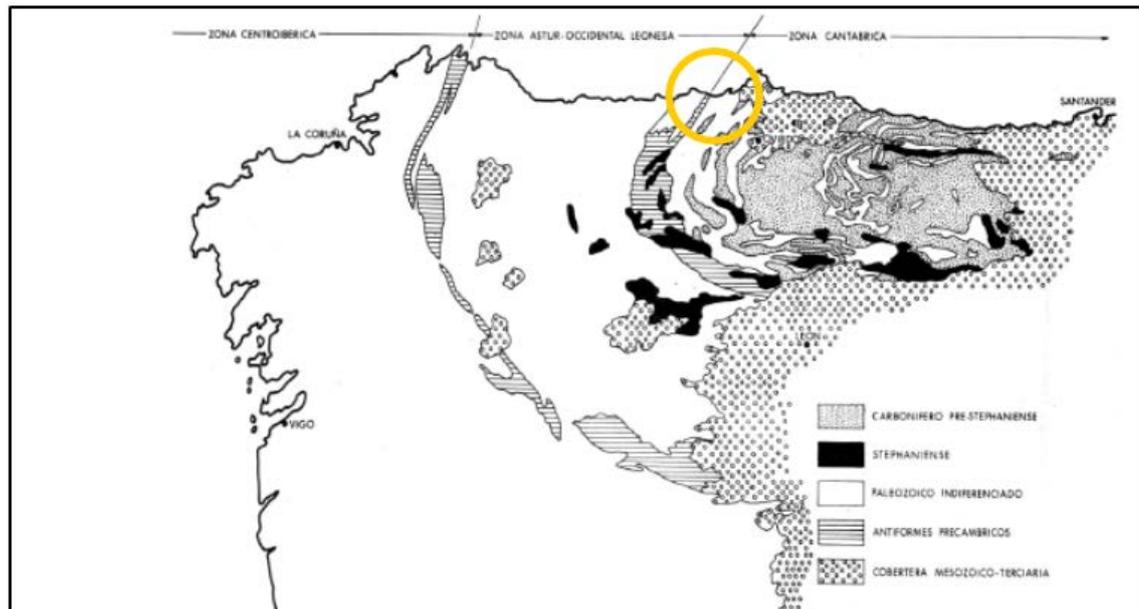
Plano topográfico de la zona de estudio

## 2. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

### Antecedentes geológicos

Basándonos en la clasificación realizada por LOTZE (1945) y JULIVERT (1972), la zona a estudiar se encuadra en el denominado Macizo Ibérico, concretamente en la zona de transición entre la Zona Astur-Occidental-Leonesa y la Zona Cantábrica.

De este modo se puede concretar que los materiales existentes en esta área se corresponden con rocas de Edad Precámbrica y Paleozoica, las cuales se caracterizan por presentarse intensamente plegadas y fracturadas.



Mapa geológico de la zona de estudio

### **Lito-estratigrafía**

Geológicamente, de acuerdo con la nomenclatura utilizada por el IGME, en la Hoja nº 13 (13-3) de Avilés del Mapa Geológico Nacional MAGNA a escala 1/50.000, la zona objeto de estudio se sitúa sobre un substrato de Edad Devónico Inferior conformado por niveles de calizas y margas, integradas dentro de la Formación conocida Grupo Rañeces.

A continuación, se describe detalladamente el encuadre geológico de la zona de estudio.

### **Devónico inferior: Calizas, dolomías y margas del grupo Rañeces**

En concreto, la zona que nos ocupa, el Grupo Rañeces se encuentra representado por la existencia de capas de calizas de color gris-rosado, con abundante fauna fosilífera, y con una estratificación muy marcada, presentando niveles de margas rojizas intercalados e incluso niveles de limolitas gris-verdoso.

Esta sucesión puede llegar a alcanzar espesores de 500m, encontrándose fuertemente plegada

### **Tectónica**



En el área de estudio se caracteriza por pertenecer a la Región de Pliegues y Mantos, dentro de los procesos tectónicos definidos durante de la Orogenia Hercínica, dando lugar al modelo estructural existente.

En concreto, la zona que nos ocupa, se sitúa sobre el Manto de Somiedo. Esta zona, aunque se sitúa discordante con el nivel anterior, se caracteriza por una disminución en el número de cabalgamientos existentes y su sustitución por la formación de un elevado número de plegamientos, en algunos casos muy intenso, en general con clara vergencia hacia el Este

Asociado a este proceso general de plegamiento se puede observar una marcada foliación de los materiales y una segunda fase de deformación incluso sobre la anterior, provocando microrroturas de las estructuras rocosas.

### **Geomorfología**

El modelado predominante en el área de estudio se corresponde con una zona costera, formada por acumulaciones de arenas y playas en las zonas menos resistentes y erosionables, entre los cuales destacan los relieves que producen los afloramientos rocosos más resistentes.

Esta característica general se ve interrumpida por la acción de los valles y cauces fluviales que atraviesan en sentido Sur-Norte la línea de costa hasta desembocar en el mar. En la zona que nos ocupa destaca en el margen Este de la Playa de Salinas la Ría de Avilés, así como la desembocadura del Río Raíces.

En las partes altas de los acantilados se detectan depósitos de rasa.

Por otra parte, es de destacar la acción erosiva que por lo general produce el Mar Cantábrico sobre la línea de costa, afectando a todo tipo de ambientes, produciendo modificaciones del relieve y paisajes tanto en zonas bajas (playas, rías, etc,...), como en las zonas de afloramientos rocosos (desprendimientos, erosión, etc,...); todos estos efectos se ven acrecentados en épocas de precipitaciones intensas y épocas de temporales costeros, siendo aún más notorio cuando están asociados a episodios de fuertes carreras de marea.

Está caracterizado por una morfología acusada con pendientes topográficas elevadas, en las que destacan los relieves cuarcíticos, y en las que, a los pies de las



laderas existentes, se localizan los depósitos de origen aluvial, procedentes de la acción geológica del Río Nalón.

### **Hidrogeología**

La hidrogeología del área está íntimamente asociada a la hidrología superficial de la zona objeto de estudio, y en concreto a la acción marítima sobre la costa donde se sitúa la línea de costa.

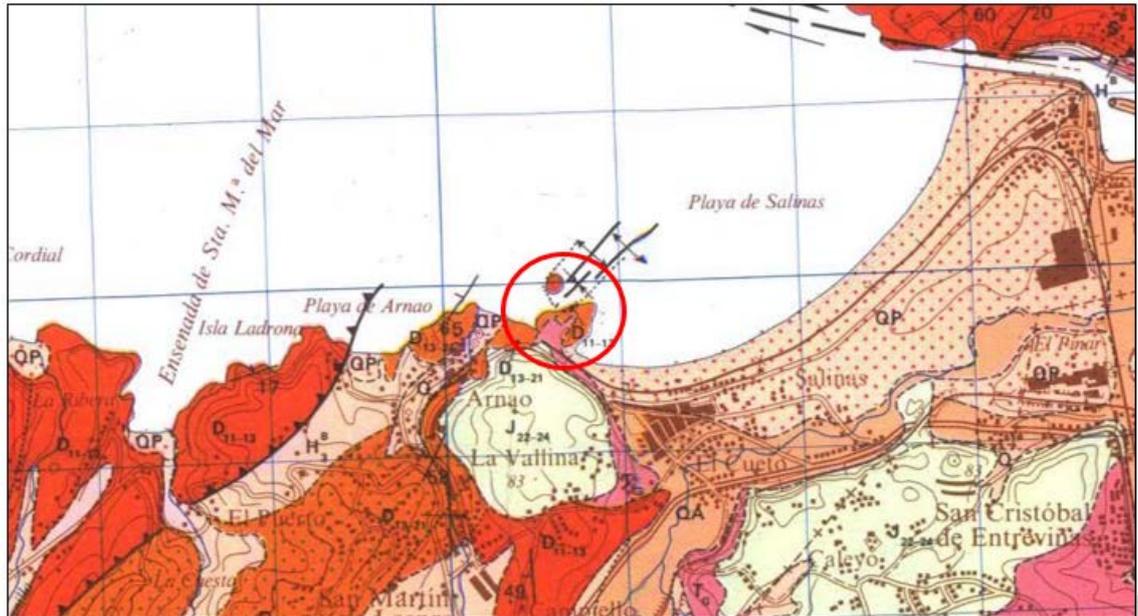
Así pues, el ITGE, no contempla la existencia de ningún acuífero o sub-sistema acuífero de interés en la zona de estudio.

Así, las aguas subterráneas detectadas corresponden generalmente a aguas subálveas, asociadas a la escorrentía superficial, actuando fundamentalmente el sustrato rocoso como nivel de base impermeable de éstos.

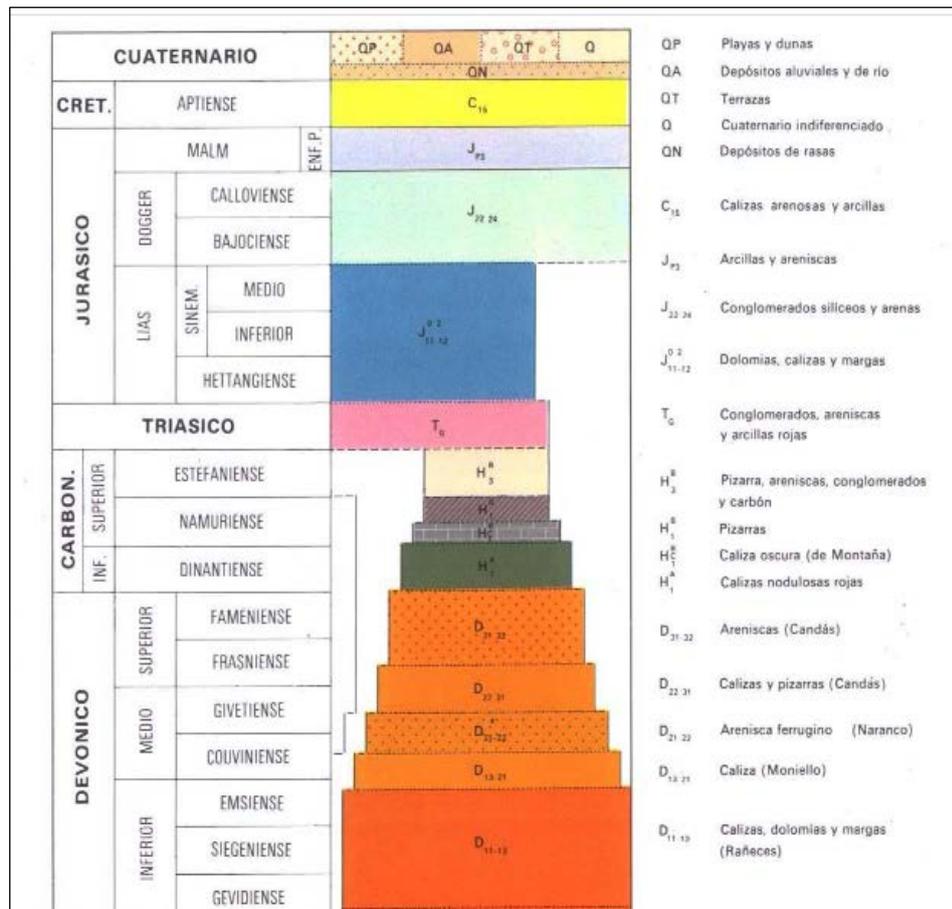
Por este motivo, la hidrología superficial de la zona impone los niveles freáticos en el subsuelo.

Por otro lado, no se descarta la posibilidad de que de forma puntual y aleatoria se presenten surgencias de agua asociadas a zonas especialmente fracturadas, zonas de falla, por ejemplo, o borde de intrusiones, especialmente tectonizadas que generan en el sustrato rocoso un elevado grado de fracturación.

A continuación, se muestra un extracto del mapa geológico del emplazamiento en el que se encuadra la zona de estudio.



Geología en la zona de estudio



Leyenda geológica



## **Reconocimiento del terreno realizado**

Para el reconocimiento se ha realizado una visita durante los días 8 y 10 de Octubre de 2023.

Durante el desarrollo de la inspección realizada, se han realizado una serie de reconocimientos consistentes en el levantamiento de diversas estaciones geomecánicas (las cuales se han englobado en dos únicas representativas de ambos márgenes de la zona objeto de estudio, Este y Oeste)

## **Estaciones geomecánicas**

Se ha llevado a cabo una inspección del substrato rocoso existente en determinadas zonas representativos del mismo, mediante la ejecución de Estaciones Geomecánicas. En concreto, se han establecido, de forma general, dos (2) estaciones geomecánicas, cada una de las cuales representativas de los taludes existentes a ambos márgenes (Este y Oeste), del promontorio sobre el que se sitúa el Mirador de La Peñona.

Para la caracterización del substrato rocoso se han empleado las clasificaciones ISRM (basadas en el grado de alteración y meteorización que presenta el macizo rocoso), y la clasificación geomecánica de Bieniawski, que establece la calidad del macizo en función del índice RMR (Rock Mass Rating).

En concreto, el grado de alteración de la roca matriz se ha valorado de acuerdo con los criterios del ISRM, indicados en la siguiente tabla:

TÉRMINO	GRADO	DESCRIPCIÓN
Sana	IA	Sin signos visibles de meteorización
Muy ligeramente meteorizada	IB	Meteorización de las superficies de las principales discontinuidades
Ligeramente meteorizada	II	La meteorización indica el grado de alteración de la roca y de las superficies de discontinuidad. Toda la roca puede estar meteorizada, resultando más débil que la roca sana
Moderadamente meteorizada	III	Menos de la mitad de la roca está meteorizada o alterada hasta convertirse en suelo. La roca moderadamente alterada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados
Muy meteorizada	IV	Más de la mitad de la roca está meteorizada o alterada hasta convertirse en suelo. La roca moderadamente alterada aparece como una estructura discontinua o como núcleos aislados
Completamente meteorizada	V	Toda la roca está meteorizada o alterada hasta convertirse en suelo. La estructura original de la masa todavía se conserva intacta
Suelo residual	VI	Toda la roca está convertida en suelo. La estructura y fábrica del material ha sido destruida. Existe un gran cambio de volumen, pero el suelo residual no ha sufrido un transporte significativo

### Meteorización y grados de alteración (ISRM 1981)

Por otra parte, para obtener este valor índice RMR, se analizan los siguientes parámetros de la roca.



Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)									
1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (Mpa)		
		Compresión simple	>250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25-5	5-1	<1
		Puntuación	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	<25%		
		Puntuación	20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		>2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.06 m		
		Puntuación	20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Alteración ligera	Alteración moderada	Muy alterada	Descompuesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10 - 25 litros/min	25 - 125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		
Corrección por la orientación de las discontinuidades									
6	Dirección y buzamiento		Muy favorable	Favorable	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables		
	Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12		
		Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25		
Taludes		0	-5	-25	-50	-60			
Clasificación									
7	Clase		I	II	III	IV	V		
	Calidad		Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala		
	Puntuación		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20		

### Clasificación de Bieniawski

En base a estos parámetros se ha establecido el Criterio de Rotura característico del macizo rocoso existente en la zona objeto de estudio, a partir del cual se han determinado los parámetros geotécnicos del mismo.

Por otra parte, se han analizado las discontinuidades que presenta el macizo rocoso, con el fin de obtener el criterio de rotura igualmente característico de las mismas.



Parámetros característicos para definir el criterio de rotura de las discontinuidades del macizo  
(los no obtenidos en laboratorio se han establecido en base a correlaciones contrastadas)

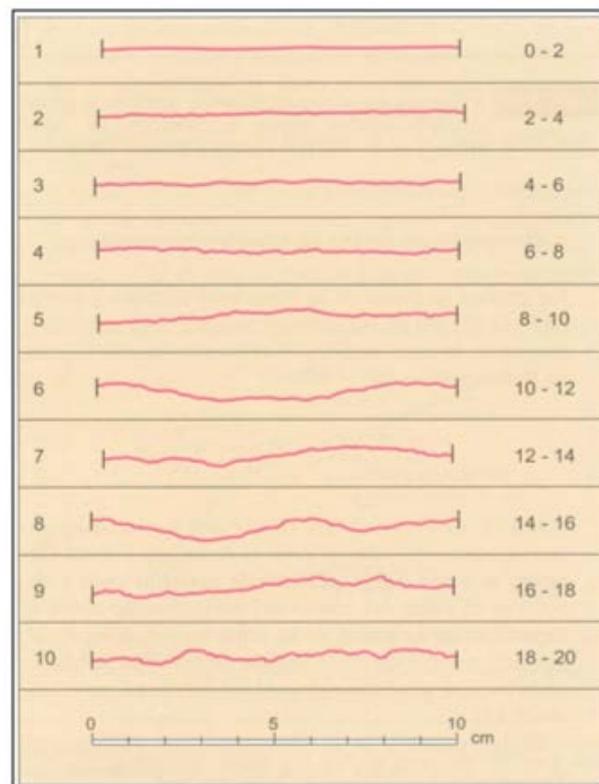
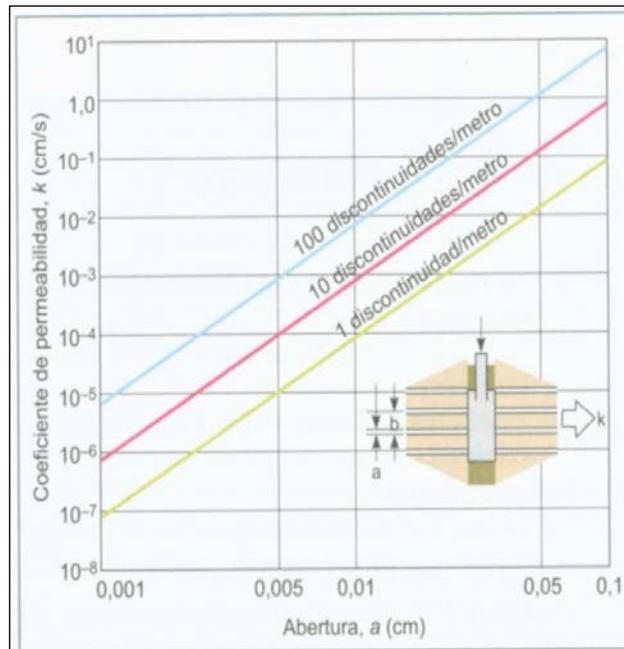


Tabla para obtener el parámetro JRC (rugosidad de las juntas)

Se debe tener en cuenta que en un sustrato rocoso tan fracturado como el que se detecta en esta zona, las condiciones en las que se encuentre el sistema de diaclasas de este definirán su comportamiento.

Por otra parte, en base a las características que presenta el diaclasado del macizo, se puede obtener su permeabilidad.



Permeabilidad del macizo rocoso

### Ensayos de laboratorio

Para la determinación de la resistencia de la matriz rocosa (clave en la determinación del criterio de rotura del macizo rocoso existente en la zona de estudio), se han utilizado los resultados de los ensayos realizados en el Informe de referencia relativo a la "Inspección Geotécnica" llevada a cabo por la Empresa LACOTEC S.L., en Noviembre de 2022.

En concreto, en el citado Documento se documenta la ejecución de tres (3) ensayos de resistencia a la carga puntual, obteniéndose los siguientes resultados.

Reconocimiento	Índice de Resistencia Puntual	Resistencia a Compresión Simple (correlacionada)
M-1	3,88MPa	77,6MPa
M-2	3,75MPa	74,9MPa
M-3	1,32MPa	26,4MPa

Aparte de estos valores de resistencia, durante la realización de las estaciones geomecánicas se determinó, de forma aleatoria, la resistencia a compresión del substrato rocoso mediante el empleo de esclerómetro.



### 3. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES DETECTADOS

Para el reconocimiento se ha realizado una visita durante los días 8 y 10 de Octubre de 2023.

En ésta, se ha realizado una inspección visual de los materiales existentes en el talud objeto de estudio, tanto de los suelos superficiales (prácticamente inexistentes, restringiéndose únicamente a zonas determinadas donde se ha detectado una cobertera vegetal y unos suelos eluviales, de espesor no superior a 0,50m en cualquier caso), y el substrato rocoso, el cual se corresponde por calizas de color gris-rosado y margas rojizas.

Por otra parte, se observa que los taludes objeto de análisis presenta una geometría muy irregular, con presencia de salientes y entrantes con diferentes pendientes, e incluso hendiduras y oquedades en la base del mismo en algunos casos.

De este modo, dentro de una misma sección transversal, pueden coexistir pendientes de casi 40º en la zona superior del talud, y de 75º en las zonas intermedias.

Esta situación no favorece especialmente la seguridad del talud; ya que, en este caso, las pendientes más elevadas se encuentran en la zona más alterada y afectada por los agentes atmosféricos externos (especialmente en el margen Oeste, donde estas pendientes coinciden además con los planos de deslizamiento más desfavorables).

En base a la caracterización geotécnica llevada a cabo durante la visita realizada, se establecen los siguientes Niveles Geotécnicos.

En la zona objeto de estudio, al margen de los depósitos más superficiales (cobertera vegetal y suelos eluviales más someros y alterados, los cuales carecen de interés a la vista del reducido espesor de los mismos y su nula importancia en el comportamiento deformacional y resistente de la zona que nos ocupa), únicamente se ha distinguido un Nivel Geotécnico, conformado por el substrato rocoso de la zona, el cual se describe a continuación.

#### **NIVEL GEOTÉCNICO 1 “SUBSTRATO ROCOSO DE EDAD DEVÓNICO INFERIOR”**



El substrato rocoso identificado en la zona se corresponde con un substrato de Edad Devónico Inferior conformado por la existencia de capas de calizas de color gris-rosado, con abundante fauna fosilífera, y con una estratificación muy marcada, presentando niveles de margas rojizas intercalados e incluso niveles de limolitas gris-verdoso.

Este substrato se encuentra en general intensamente alterado y fracturado, con una importante influencia tectónica, con numerosos pliegues y micropliegues afectando su estructura, especialmente en el margen Oeste.

Además, este substrato presenta, dentro de la misma zona, grados de fracturación y alteración muy variables dependiendo de las zonas del talud que se trate.

En este caso, se puede decir que el sistema de juntas que presenta el macizo rocoso existente en este entorno condiciona de forma decisiva el comportamiento deformacional y dinámico del mismo, clave a la hora de valorar la estabilidad del conjunto.

En cuanto a su **textura, estructura y composición mineralógica**, estos materiales presentan un aspecto bien estratificado, si bien llevan asociadas un importante grado de fracturación. Así mismo, el **estado de meteorización de la matriz rocosa**, de acuerdo con la información extraída de las apreciaciones visuales realizadas, el sustrato rocoso existente presenta un grado de alteración III-IV según escala ISRM.

Este macizo rocoso, de acuerdo con la clasificación basada en el **índice RMR**, se clasifica como de calidad "Mala" a "Muy Mala". Si tomáramos como referencia el **índice SMR** (más enfocado a tratamiento de taludes), y aplicáramos la corrección debida por ser taludes naturales, obtendríamos un macizo de calidad ligeramente superior a la indicada (de "Media" a "Mala"), claramente influenciado en cualquier caso por el estado y orientación del sistema de juntas que compone el macizo rocoso.

Los distintos aspectos y parámetros analizados en campo para llegar a esta clasificación se recogen en el correspondiente Anejo al final del presente Documento, relativo a las Estaciones Geomecánicas realizadas.

### **Descripción de las discontinuidades**

Dado que las discontinuidades condicionan de una forma importante las propiedades y el comportamiento resistente, deformacional e hidráulico de los macizos rocosos, se



ha procedido al estudio de estas, definiendo sus características y propiedades, con el objeto de establecer su resistencia al corte (a falta de ensayos de laboratorio que permitan conocer este y otros parámetros, tales como el ángulo de rozamiento de las juntas del macizo).

En este caso, las discontinuidades corresponden a superficies de diaclasado, las cuales se disponen en familias con orientación y características más o menos homogéneas.

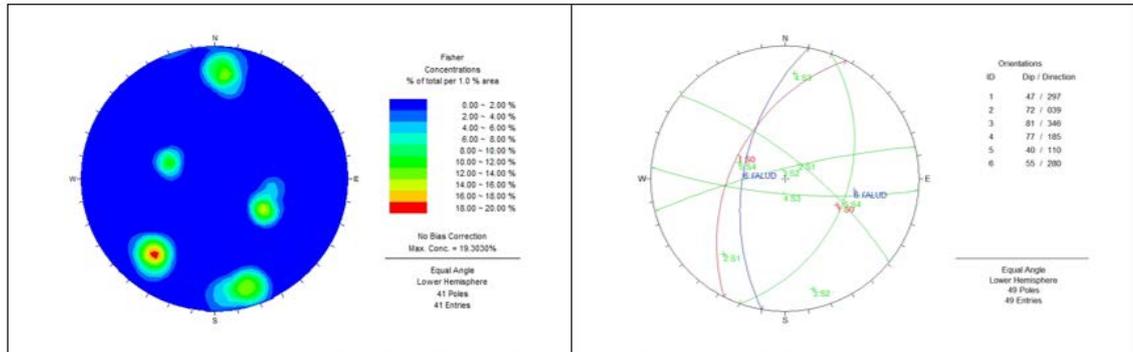
El **espaciado** entre los planos de discontinuidad, condiciona el tamaño de los bloques de matriz rocosa. En las rocas que nos ocupan, la **separación entre las diferentes discontinuidades** es centimétrica a decimétrica (generalmente entre 0,05-0,50m), por lo que las características de las citadas discontinuidades juegan un importante papel en el comportamiento geo-mecánico del macizo rocoso.

Por otra parte, la **persistencia** de los planos de discontinuidad oscila entre 5,0 y 20,0m (en el caso de la estratificación S0), y entre 3,0 y 15,0m con carácter general en el resto de las familias de juntas identificadas en los taludes analizados.

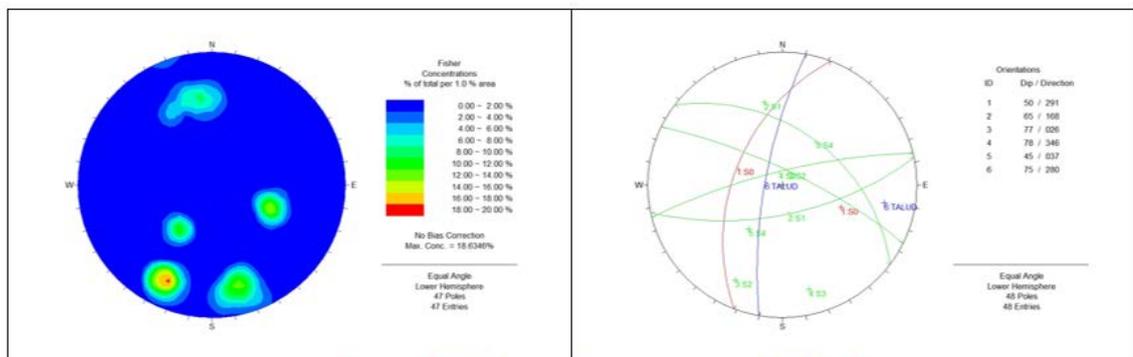
En cuanto a la **rugosidad** de las discontinuidades (ver Figura 10), en la zona que nos ocupa, las juntas se presentan muy erosionadas y suavizadas por la acción de diferentes factores (incremento de abertura, presencia de rellenos de espesores relevantes, y en el caso concreto que nos ocupa la acción erosiva de los agentes atmosféricos y marinos sobre un sustrato relativamente fácilmente erosionable). Este hecho provoca un decrecimiento en la resistencia al corte de las rocas.

En este caso, para el sustrato rocoso de naturaleza calcárea y margosa se ha considerado un **JRC** de entre 8 y 10 en el caso del margen Este, e incluso inferior (6 a 8), en el caso de margen Oeste. Debe tenerse en cuenta que, en función del grado de alteración del macizo rocoso, este valor JRC puede variar de forma importante.

Por otro lado, en base a la información recabada en los reconocimientos efectuados en esta zona (Estaciones Geo-mecánicas), se han determinado las siguientes proyecciones estereográficas para las diferentes familias de discontinuidades diferenciadas.



Disposición de las diaclasas en el macizo rocoso existente (Talud Este)



Disposición de las diaclasas en el macizo rocoso existente (Talud Oeste)

De acuerdo con lo reflejado en la figura anterior, se han diferenciado las siguientes familias de discontinuidades en los taludes inspeccionados.

Familia	Dirección (°)	Buzamiento (°)
S0	297	47
S1	39	72
S2	346	81
S3	185	77
S4	110	40
Talud	280	55

Familias de juntas diferenciadas en el talud analizado (Talud Este)

Familia	Dirección (°)	Buzamiento (°)
S0	291	50
S1	168	65
S2	26	77
S3	346	78
S4	37	45
Talud	280	75

Familias de juntas diferenciadas en el talud analizado (Talud Oeste)



Por otra parte, en base a los resultados de laboratorio facilitados para la realización del presente Informe, se ha considerado una resistencia a compresión simple variable entre 26,4MPa y 77,6Mpa.

### **Criterio de rotura de las discontinuidades**

En base a todo lo anteriormente referido, se ha procedido a la caracterización del sistema de juntas del sustrato rocoso de la zona objeto de estudio mediante el criterio de rotura de Barton-Brandis, para discontinuidades rocosas.

Este método, en cualquier caso, representa un método eficaz y demostrado para caracterizar geotécnicamente el sustrato rocoso cuando se carecen de ensayos de laboratorio de corte directo de las juntas del macizo rocoso.

Mediante este Criterio de Barton-Brandis, se puede determinar la resistencia al corte de las discontinuidades de roca, partiendo de la siguiente expresión.

$$\tau = \sigma'_n \cdot \tan \left( \varphi_b + JRC \cdot \log_{10} \left( \frac{JCS}{\sigma'_n} \right) \right) \text{ donde,}$$

$\sigma'_n$  es la tensión normal efectiva.

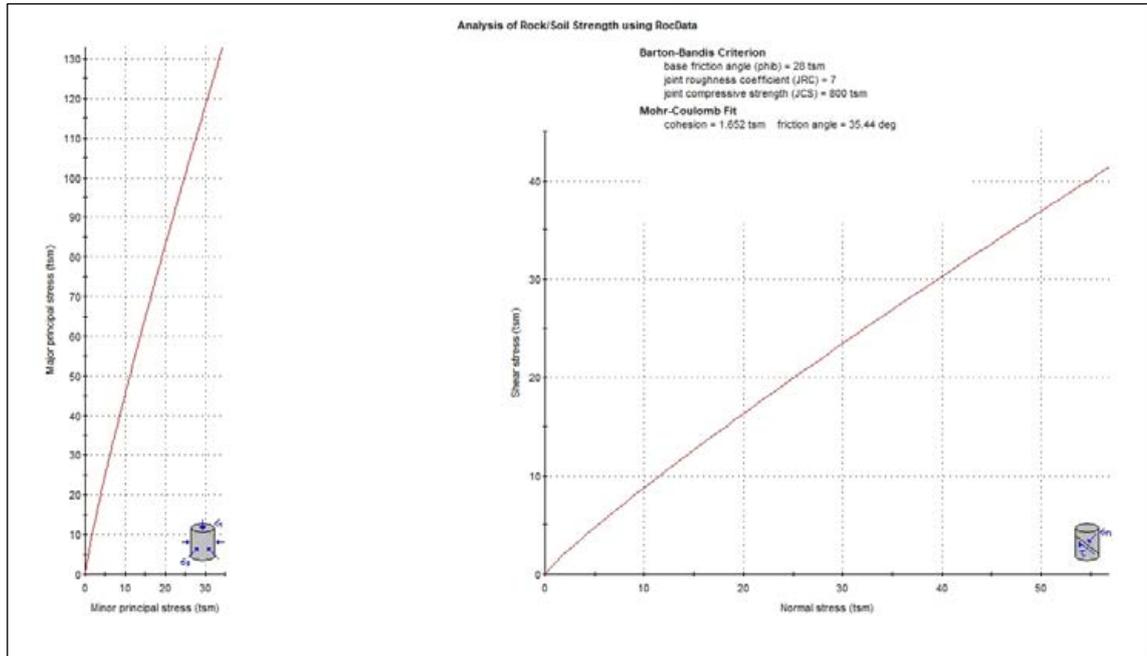
*JRC*: hace referencia a la rugosidad de las discontinuidades, siendo una medida de la resistencia al corte de las rocas, que decrece con el incremento de la abertura y, por lo general, con el espesor de relleno. En este caso, y tal y como se ha mencionado con anterioridad, para el sustrato rocoso existente se ha considerado un JRC variable desde 6 a 10 (junta intensamente alterada a junta moderadamente alterada, dependiendo del tipo de discontinuidad, su grado de meteorización, su posible afección por el ambiente marino, y la orientación del talud donde se sitúe (Este u Oeste).

*JCS*: es la resistencia a la compresión del material que constituye los labios de la junta. En este caso, basándonos en las medidas realizadas en campo con el esclerómetro y en los resultados de campo obtenidos en el laboratorio, se ha considerado una resistencia a compresión simple variable entre 150kp/cm<sup>2</sup> (niveles margosos) y 800Kp/cm<sup>2</sup> (macizo calcáreo).

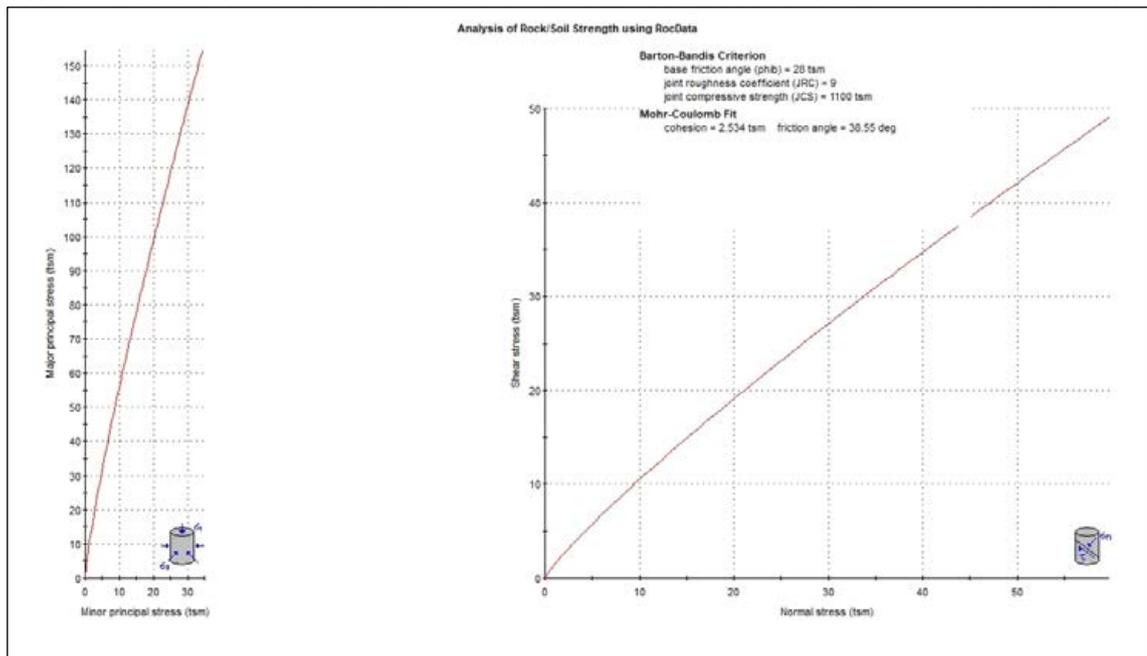
En este caso se han diferenciado dos tipos fundamentales de juntas atendiendo al grado de alteración de estas, diferenciando entre juntas moderadamente alteradas y juntas intensamente alteradas.

$\phi_b$  es el ángulo de rozamiento básico del sustrato rocoso diferenciado en la zona (28° en el caso que nos ocupa).

De este modo, a continuación, se muestran los resultados obtenidos en el Criterio de Rotura correspondiente al sistema de juntas del sustrato rocoso existente en la zona de estudio.



Resistencia al corte de discontinuidades rocosas intensamente alteradas del sustrato rocoso.



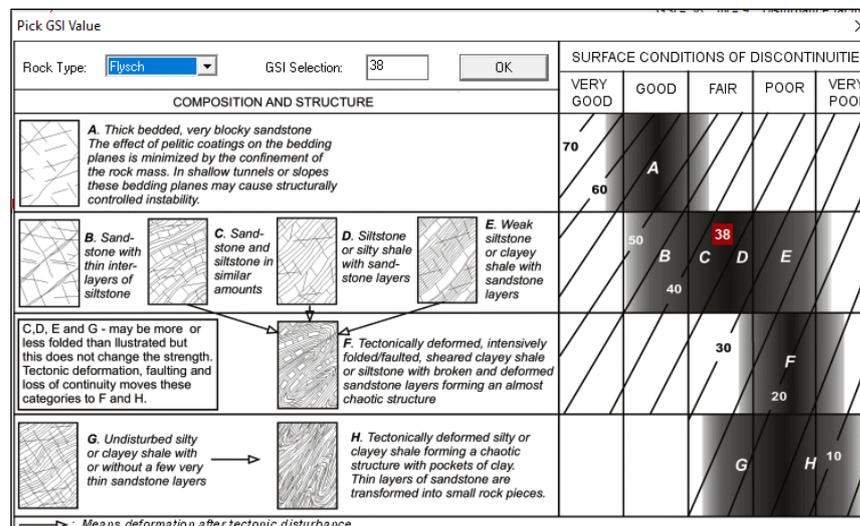
Resistencia al corte de las discontinuidades rocosas moderadamente alteradas del sustrato rocoso.

En función de estos resultados, para las discontinuidades del sustrato rocoso calcáreo-margoso inspeccionado en la zona, se han considerado unos valores de cohesión entre  $1,65\text{tm/m}^2$  y  $2,53\text{tm/m}^2$  (dependiendo del tipo de roca y el grado de fracturación), y ángulo de rozamiento entre  $35,45^\circ$  y  $38,5^\circ$  dependiendo del grado de alteración.

### Clasificación GSI y Parámetros resistentes

De acuerdo con los resultados obtenidos en los reconocimientos llevados a cabo sobre el sustrato rocoso de la zona, se ha establecido una clasificación geomecánica del macizo con el objeto de estimar el valor GSI del mismo.

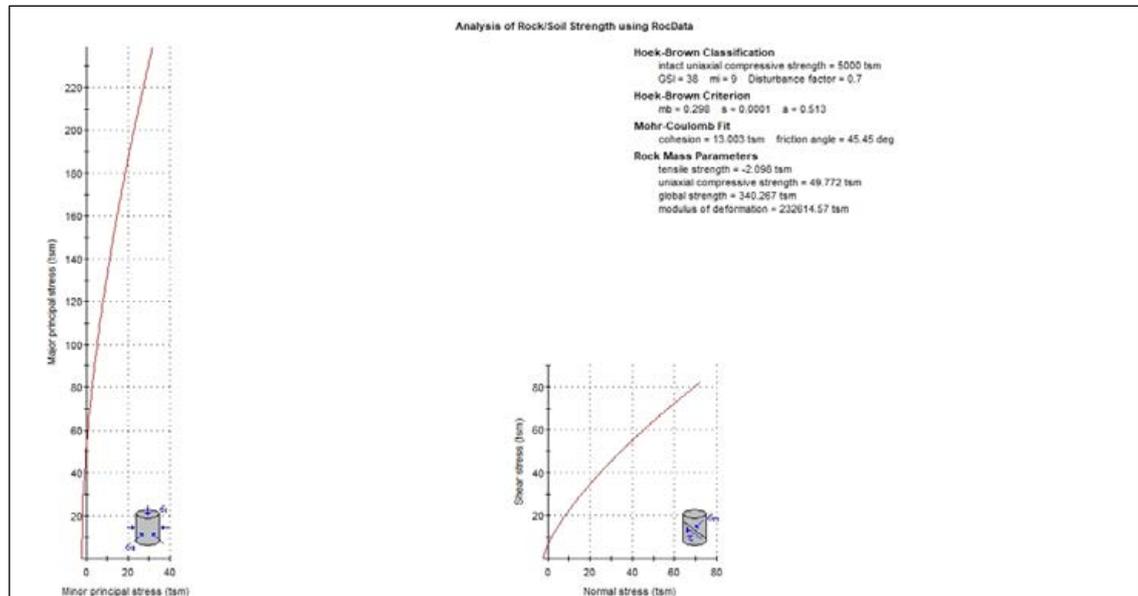
Se debe tener en cuenta que para este macizo rocoso se ha considerado un grado de alteración general variable entre III y IV según clasificación ISRM.



Valoración de la calidad del sustrato rocoso alterado y fracturado de acuerdo con la clasificación GSI

De acuerdo con lo anterior, el macizo rocoso estaría representado por unas rocas con un grado de alteración y fracturación moderado-elevado, habiéndose considerado un GSI de 38 para el mismo.

Para el cálculo de los parámetros geotécnicos del macizo rocoso, se han considerado los criterios de rotura de Mohr-Coulomb y Hoek-Brown, teniéndose en cuenta los valores de GSI establecidos.



Criterios de rotura considerados para el macizo rocoso existente en el talud objeto de estudio. Teniendo en cuenta los resultados de las apreciaciones visuales realizadas en el entorno de la zona de actuación, a los diferentes materiales detectados en la zona objeto de estudio se le han atribuido los siguientes Parámetros Geotécnicos.

Nivel geotécnico		Sustrato rocoso	
Macizo	Densidad aparente	Tm/m <sup>3</sup>	2,40
	Densidad saturación	Tm/m <sup>3</sup>	2,60
	Angulo de rozamiento interno	°	45,45
	Cohesión	Tm/m <sup>2</sup>	13,0
	Módulo de deformación estático	Tm/m <sup>2</sup>	232614,5
	mb	---	0,298
	s	---	0,0001
	a	---	0,513
Juntas	Angulo de rozamiento interno	°	35,44   38,55
	Cohesión	Tm/m <sup>2</sup>	1,65   2,53

Parámetros geotécnicos asociados al sustrato rocoso analizado.

### Presencia de agua en el Talud

A la vista de las inspecciones realizadas en la zona objeto de estudio durante las visitas realizadas, y teniendo en cuenta el contexto costero en el cual se sitúa el Mirador de La Peñona, se puede concluir que los taludes objeto de estudio en el presente Informe se encuentran íntimamente con la acción marina existente.

Por un lado, se debe tener en cuenta que la zona permanece en permanente humedad, como consecuencia de la acción marina y la evaporización y efecto difusor de las gotas de agua provenientes del mar.

Además, el efecto de las mareas produce que aunque el nivel freático de la zona varíe según la carrera de mareas existente, gran parte del saliente rocoso donde se sitúa el Mirador de La Peñona se encuentre totalmente o en parte sumergido, con la consecuente acción erosiva y agresiva por parte de las sales que presenta el nivel del mar.

Además, se debe considerar el efecto de disolución que produce el ambiente marino sobre las rocas de naturaleza calcárea que conforman la zona objeto de estudio.

Por último, también es destacable la acción erosiva que la fuerza del mar (especialmente en épocas de fuertes precipitaciones y/o episodios de temporales), produce sobre los taludes objeto de estudio.



#### 4. TOPOGRAFÍA

Se definen una serie de secciones que deben ser tomadas a detalle para la generación y valoración posterior de factores de seguridad en las zonas más alteradas resultantes de la inspección geotécnica.



Sección este

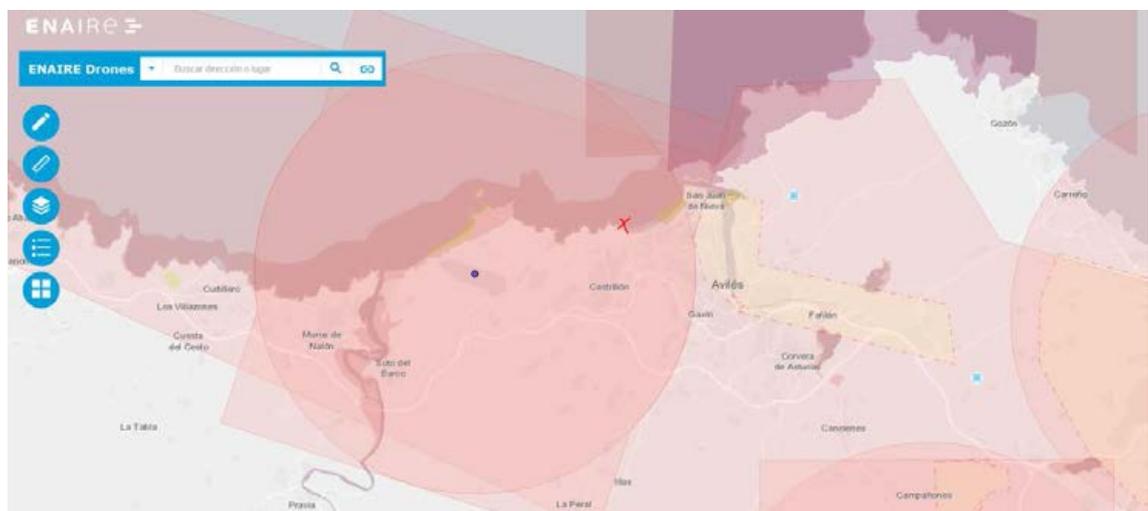


Sección Oeste



Sección noroeste

Dada la imposibilidad de acceso a la zona del talud por motivos de seguridad, además siendo una zona de influencia del aeropuerto de Asturias donde no pueden volarse drones para obtención de topografía, se opta por realizar el barrido de esos perfiles del talud con estación total a distancia, estacionada desde zona segura.





Zona de restricción de vuelos con dron en zona del aeropuerto

## LISTADO DE COORDENADAS DE ANTENAS

El conjunto del levantamiento se realizó recibiendo correcciones vía GPRS/NTRIP de la RED del IGN y tomando como referencia las estaciones permanentes GPS/GNSS que se distribuyen por todo el territorio nacional. Las coordenadas de estas estaciones están calculadas mediante software científico de precisión ([Coordenadas de estaciones ERGNSS](#)).



La estación más próxima a la zona de trabajo y por lo tanto que da cobertura al levantamiento realizado es la situada en Gijón, más concretamente en el Parque Arqueológico Natural de la Campa Torres, en la Carretera Campa de Torres. Sus coordenadas UTM en ETRS-89 son:

X= 281815.044 m

Y= 4827675.243 m

## SISTEMA DE REFERENCIA DE COORDENADAS

Los puntos vienen dados en coordenadas absolutas, en el Sistema de Referencia UTM 30N ETRS89.

## EQUIPO TOPOGRÁFICO

Se utilizaron los siguientes equipos

- El equipo utilizado para el trabajo ha sido un GPS PREXISO G4.
- Estación total Leica TCRM 1203 R300

## ESTACIONAMIENTOS REALIZADOS

Se obtuvieron las coordenadas UTM ETRS89 H30 con GPS en los puntos de estacionamiento para estación total, realizándose dos estacionamientos desde la zona segura para el posterior barrido de puntos necesario del macizo rocoso de La Peñona.



Posicionamiento para la toma de puntos del talud oeste y nor-oeste

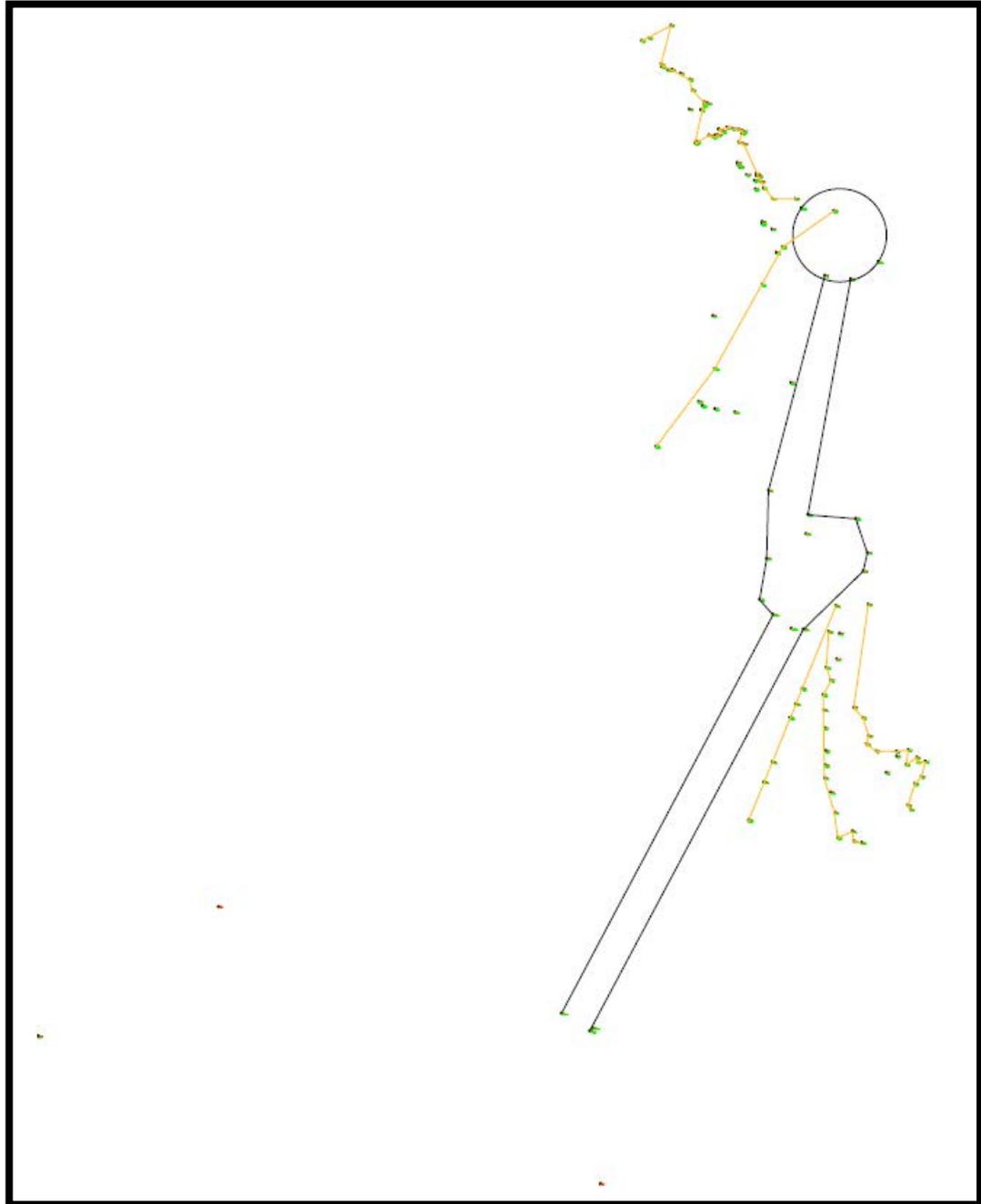


Posicionamiento para la toma de puntos del talud este

## PUNTOS DEL TALUD OBTENIDOS

Se obtuvieron las coordenadas UTM ETRS89 H30 con GPS en los puntos de estacionamiento, así como otra base más para

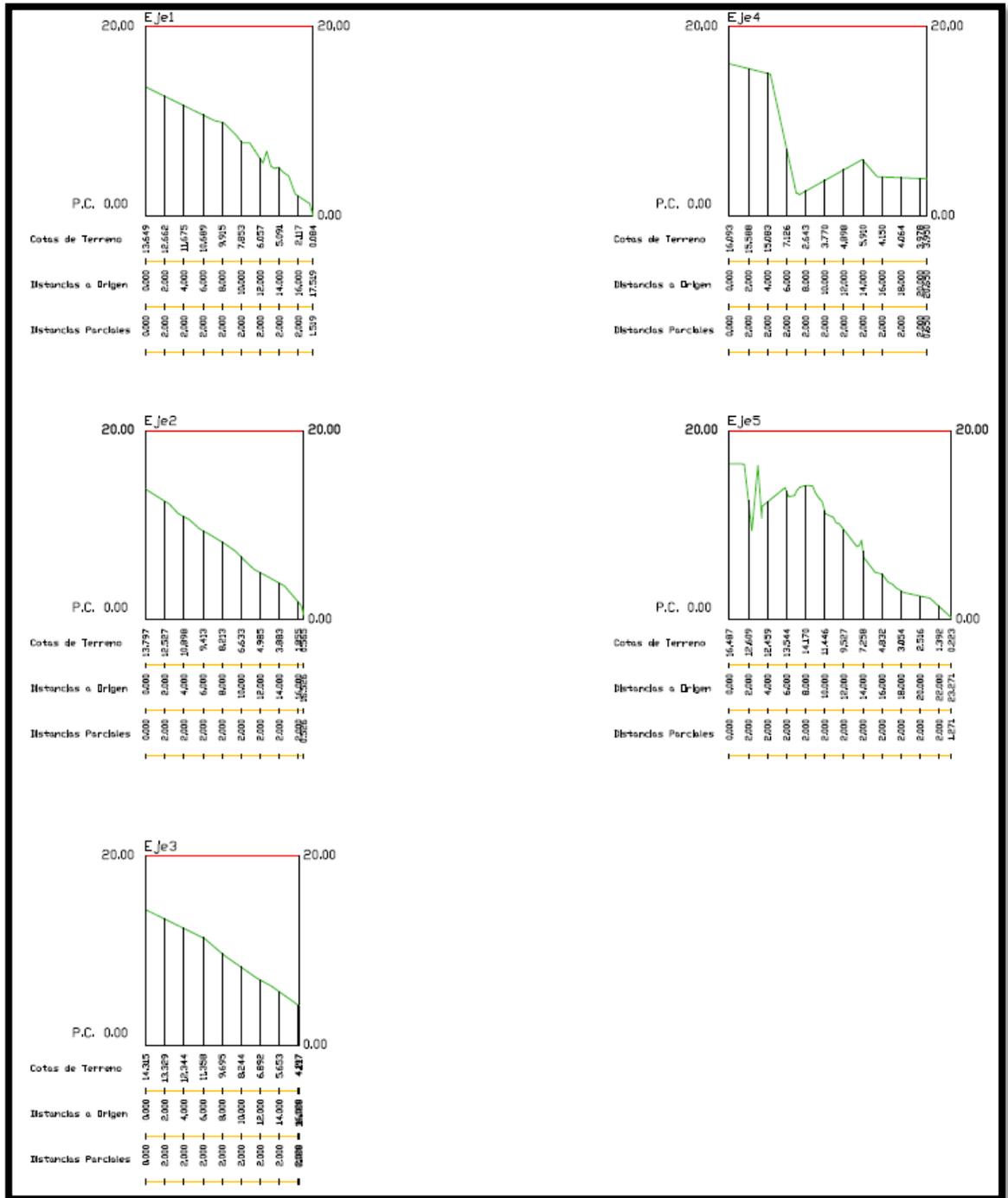
Posteriormente desde estas bases se obtuvieron los puntos del talud para la obtención de los perfiles.



Detalle de puntos y bases



Detalle de puntos, bases y ejes, sobre ortofoto



Perfiles, geometría de los taludes



## 5. ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE LA ZONA DE ESTUDIO

A continuación se analizan, desde un punto descriptivo, todas las consideraciones relativas a las condiciones de estabilidad de la zona objeto de estudio, a la vista de las inspecciones llevadas a cabo en la zona objeto de estudio durante las visitas realizadas durante los días 11 y 13 de Octubre de 2020.

Así mismo, para el análisis descriptivo de las condiciones de estabilidad, se ha utilizado igualmente la información relativa a los reconocimientos geomecánicos realizados durante el desarrollo de dichas visitas, la caracterización del substrato rocoso recogida en el presente Informe, y la información de anteriores estudios e informes de partida facilitada por el promotor del presente Documento.

De este modo, a continuación se analizan las condiciones de estabilidad de las diferentes zonas identificadas en el ámbito que no ocupa.

### **Condiciones de estabilidad de la pasarela de acceso al mirador de La Peñona**

En general, se puede concluir que la cimentación de los dos estribos donde se apoya la pasarela de acceso al Mirador (Norte y Sur), no evidencian fenómenos relevantes que alerten de una posible inestabilidad global de los mismos.

En general, la cimentación de estos estribos se encuentra en buen estado, habían sido reparados no hacía muchos años, existiendo tan solo evidencias de algo de socavación en la base de la cimentación del estribo Sur como consecuencia de la acción erosiva por parte del mar. En cualquier caso, esta socavación es incipiente y no afecta a priori en profundidad a los elementos de cimentación propiamente dichos (suponiendo además un apoyo del mismo sobre el substrato rocoso), por lo que se puede considerar ambos estribos perfectamente estables en las condiciones actuales en las que éstos se encuentran.



Detalle de la cimentación del estribo Norte de la pasarela de acceso al Mirador de La Peñona, donde se observa algo de socavación en la base como consecuencia de la acción del mar.

De este modo, únicamente se recomienda un seguimiento periódico del estado general de la cimentación del Estribo Norte de la futura pasarela, con el fin de alertar con la suficiente antelación un aumento considerable de la socavación existente en el mismo, evitando de esta forma un posible descalce.

Se desconoce la profundidad de empotramiento de la cimentación del estribo (ni el material donde se apoya realmente el mismo, se supone substrato rocoso), por lo que no se puede valorar el grado de afección al mismo de la socavación detectada, si bien de las observaciones llevadas a cabo en campo se podría intuir que la profundidad de empotramiento no resultaría muy elevada.

### **Condiciones de estabilidad del talud este del mirador de La Peñona**

El talud situado al Este del Mirador de La Peñona, presenta una altura máxima en torno a 15,50 m. Se encuentra representado por una alternancia de calizas de color gris y rosado, fosilíferas, con intercalaciones de niveles de margas rojizas y lutitas de color gris, en estratos por lo general no superiores a 1,0m de espesor.

En superficie, este substrato se encuentra muy meteorizado, con evidencias de fenómenos de erosión alveolar y disolución como consecuencia de la acción continuada del mar, el cual, independientemente de sus condiciones de oleaje, hace que la zona esté permanente húmeda.

En general, **los taludes situados en este margen Este, no evidencian problemas generales de estabilidad global que puedan afectar a los bienes situados aguas arriba de los mismos** (pasarela de acceso, zona de acceso a la estructura del Mirador).

Las características que presenta la estratificación principal (S0, buzando en sentido contrario a la orientación general del talud), hace muy difícil la formación de bloques de roca potencialmente inestables de la suficiente entidad como para provocar un desprendimiento que pudiera afectar a las infraestructuras citadas.

Tan sólo se podrían formar (a la vista de las orientaciones del sistema de juntas y la propia orientación del talud), pequeñas roturas tipo cuñas de roca (hecho favorecido por el estado que presentan las discontinuidades del macizo, muy erosionadas, como consecuencia de la acción externa de los agentes atmosféricos), las cuales en todo caso serían de reducida importancia, no afectando a la estabilidad global de la zona.



Detalle del estado general del talud Este del Mirador de La Peñona y orientación de los sistemas de juntas más representativas detectados (en rojo la S0, en verde la S1 y en anaranjado la S2, la cual sólo es visible en superficies alteradas y erosionadas).



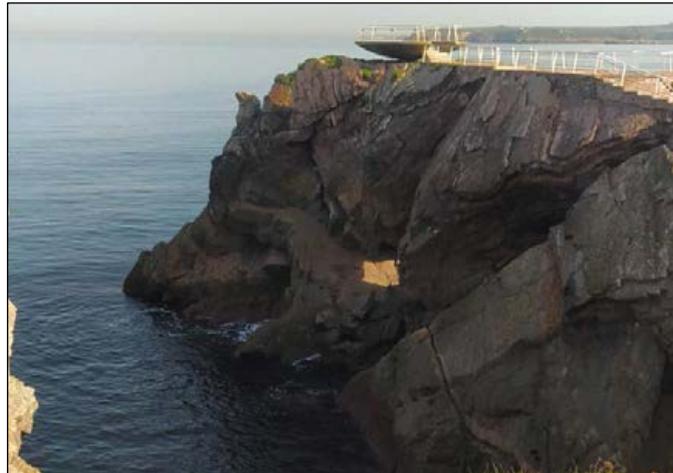
Detalle del grado de meteorización y abertura de juntas que presenta el macizo rocoso existente en el talud Este.

En cualquier caso, se recomienda realizar un análisis de estabilidad de una sección representativa de este talud Este, en el caso más desfavorable posible (según línea de máxima pendiente), con el fin de determinar el Factor de Seguridad frente a la estabilidad global del mismo y su posible afección a los bienes situados aguas arriba de los mismos (Acceso a mirador y Estribo Sur de la pasarela principalmente).

### **Condiciones de estabilidad del talud oeste y nor-oeste del Mirador de La Peñona**

El Talud Oeste y nor-oeste del Mirador de La Peñona presenta unas características generales claramente más inestables que el resto de elementos analizados hasta el momento.

Así lo evidencia la existencia de oquedades, hendiduras, huecos y varios bloques caídos y semi-sumergidos presentes en este margen, originados como consecuencia de fenómenos de inestabilidad producidos en la superficie del mismo en períodos de tiempo más o menos recientes (el último en Diciembre de 2022, lo que provocó el cierre de la infraestructura al público en general).



Huecos, oquedades y cicatrices en la superficie del Talud Oeste como consecuencia de la caída de bloques rocosos de la superficie del mismo.

En esta zona se detecta la presencia de estructuras fuertemente plegadas, destacando un pliegue sinclinal cuyo eje coincidiría con la posición de la cimentación del Mirador. Este fuerte plegamiento provoca la formación de numerosas familias de juntas en la superficie del talud, con diferentes orientaciones. Todas ellas podrían jugar un papel importante a la hora de desencadenar futuros episodios de inestabilidad, independientemente de la mayor o menor representatividad de las mismas en la superficie del talud.



Eje y charnelas del pliegue sinclinal situado en la parte alta del Talud Oeste del Mirador de La Peñona.

De este modo, la intersección de las diferentes familias de juntas y su relación con la orientación general del talud provoca la aparición de numerosos bloques de roca potencialmente inestables en la superficie del talud.

En este sentido, los estratos situados en la parte superior del talud (en algunos casos en voladizo sobre la superficie erosionada de la base del mismo), podrían deslizarse como consecuencia de su orientación sobre la cara del talud, dando lugar a **mecanismos de rotura tipo planares**.



Detalle de los planos de discontinuidad susceptibles de sufrir deslizamientos de tipo planar.

Por otra parte, en diferentes zonas de este talud se han detectado intersecciones de planos susceptibles de sufrir inestabilidades generadas por la formación de **cuñas rocosas**. En la superficie del talud son visibles algunas de estas cuñas rocosas las cuales en la actualidad se encuentran en equilibrio límite, no pudiéndose prever cuando se producirá el desprendimiento de las mismas, aunque sí por hecho que éste se producirá tarde o temprano.



Ejemplo de cuñas de roca en equilibrio límite en la superficie del talud (se observa la acumulación de fragmentos rocosos desprendidos en la base)

El grado de meteorización intenso que presentan los sistemas de juntas (sometidas a la alteración físico-química de los agentes externos, especialmente agresivos en un medio marino como éste), favorece el desarrollo de estas inestabilidades a lo largo del tiempo.

Conforme a estas consideraciones, se recomienda llevar a cabo un análisis de estabilidad pormenorizado de las secciones más representativas que se consideren dentro de este Talud Oeste, mediante un estudio de elementos finitos (MEF, tipo software PHASE-RS2, por ejemplo), con el fin de determinar el Factor de Seguridad global del mismo y la influencia sobre los elementos estructurales existentes ante un posible colapso del substrato existente, especialmente en la zona inmediatamente anterior al Mirador, donde el macizo rocoso ya presenta una estructura muy debilitada.

## 6. ANALISIS CUANTITATIVO DE LA ESTABILIDAD

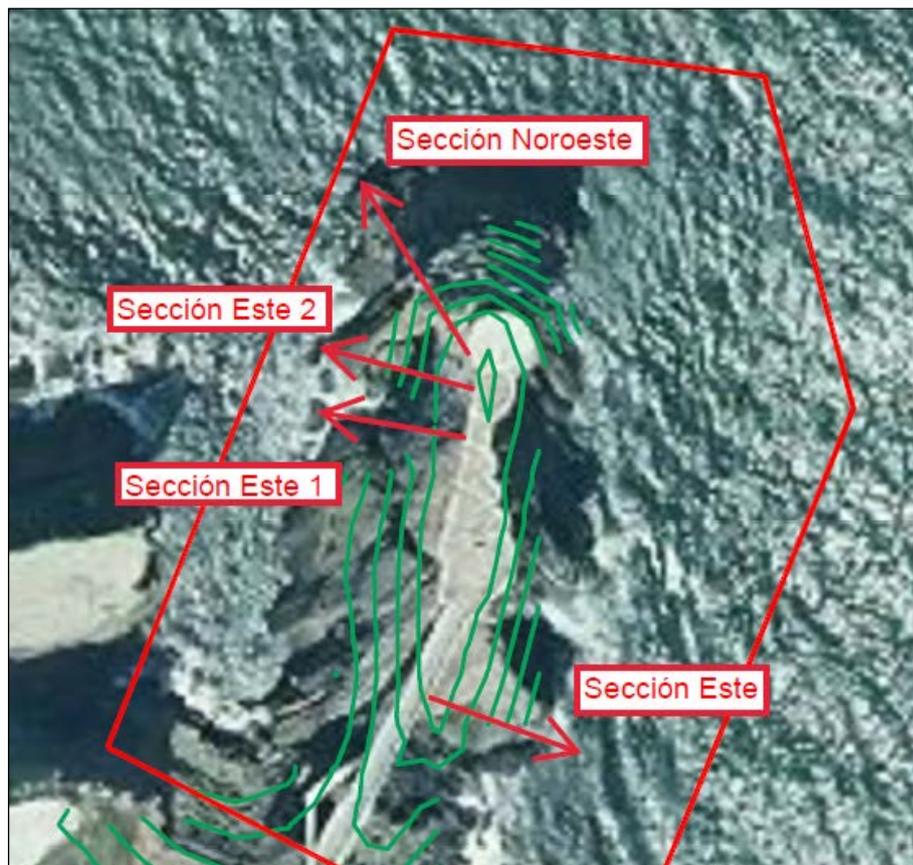
Conforme a la descripción del estado de los taludes Este y Oeste (incluye el noroeste) del Mirador de La Peñona, y a la vista de las patologías y evidencias de fenómenos

de inestabilidad detectados en el mismo, se ha llevado a cabo un análisis de estabilidad mediante elementos finitos (MEF, mediante el empleo del software PHASE-RS2), de ambos taludes, con el fin determinar el Factor de Seguridad global de los mismos y la posible afección de un hipotético colapso del macizo rocoso sobre los bienes situados a cotas superiores.

Para la realización de dichos análisis se ha partido de las siguientes premisas.

### Secciones analizadas

En el siguiente plano se muestran de manera aproximada las diferentes secciones analizadas.



Situación secciones analizadas.

Para la determinación de las secciones analizadas en el presente Informe se ha utilizado como base la topografía realizada para la redacción del presente Informe, adaptando las mismas conforme a las observaciones llevadas a cabo durante las visitas realizadas con el fin de analizar las secciones más desfavorables posibles dentro del

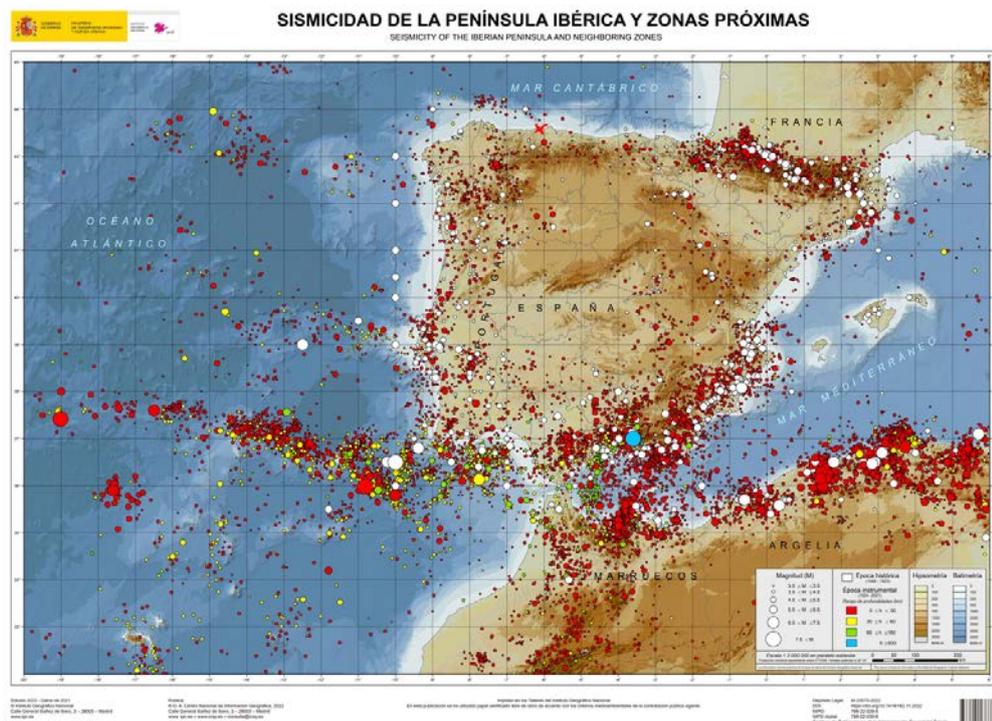
ámbito que nos ocupa (según línea de máxima pendiente, según existencia de zonas desaplomadas difícilmente representadas en la topografía base, según la interpolación de la estructura de la cimentación del estribo Sur de la pasarela y/o el propio Mirador, etc...).

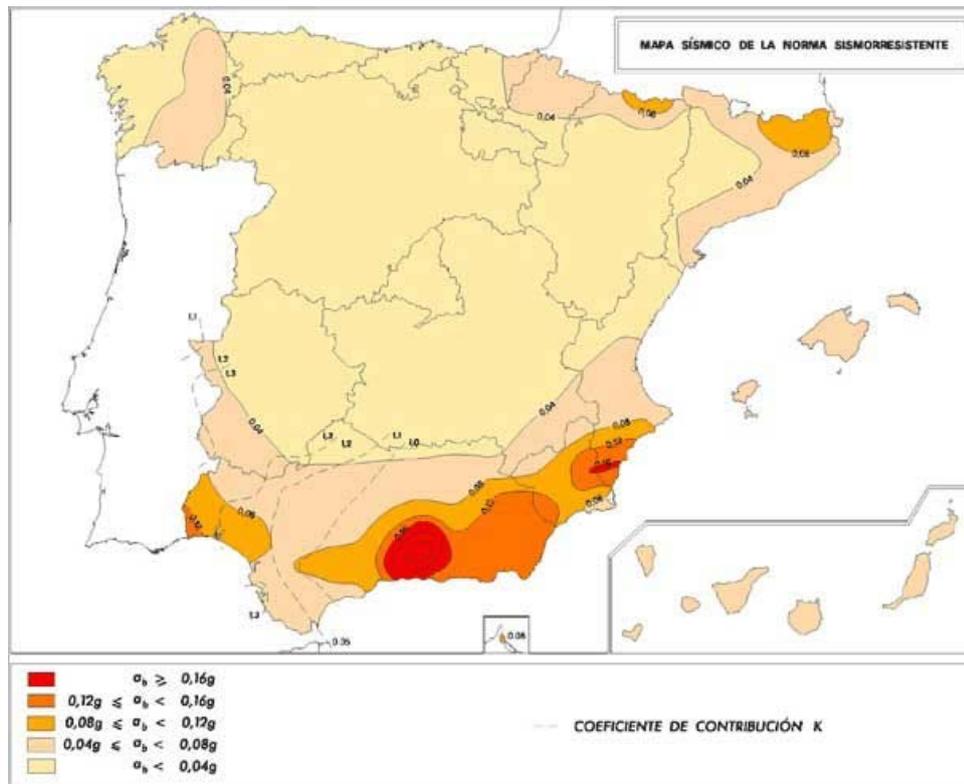
### Sobrecargas consideradas

Se ha considerado una sobrecarga puntual sobre la superficie de los taludes existentes, derivados de las cimentaciones tanto del Mirador como del Estribo Norte de la Pasarela, considerando para las mismas (a falta de datos que confirmen este hecho), una cimentación superficial apoyada directamente sobre el substrato rocoso existente, calculada de acuerdo con una tensión admisible de cálculo de 3,00 kp/cm<sup>2</sup> (valores normales para este tipo de actuaciones).

### Acciones sísmicas

No se han considerado sobrecargas sísmica, no estando la zona sometida a sismicidad relevante se desecha el cálculo, como observamos en planos de sismicidad a continuación.





### Nivel freático

Aunque se considera que la superficie objeto de estudio se encuentra permanentemente bajo los efectos de la acción marina, y permanentemente húmeda, no se ha tenido en cuenta la presencia de aguas freáticas en los análisis efectuados.

### Coefficientes de seguridad admisibles

Se consideran los siguientes Factores de Seguridad admisibles conforme a los criterios habitualmente considerados para este tipo de análisis, recordando que se trata de una infraestructura de uso turístico (por personas).

Hipótesis	F <sub>s</sub>
Condiciones normales de servicio taludes exentos de estructuras en coronación	1,5
Condiciones normales de servicio en taludes con estructuras afectadas aguas arriba en coronación o aguas abajo	1,8
Condiciones extremas y accidentales (sismo) considerando las aceleraciones pseudo-estáticas del sismo correspondiente	1,1
Condiciones transitorias (en obra) excavaciones no permanentes - transitorias	1,1/1,2

Coefficientes de seguridad considerados como admisibles según acciones (según Guía de cimentaciones en Obras de Carreteras y CTE).



## Parámetros geotécnicos de cálculo

Se ha considerado un único material como constituyente de los taludes objeto de análisis (Substrato Rocoso conformado por calizas con alternancias de margas), para el cual se han establecido los siguientes Parámetros Geotécnicos de cálculo.

Nivel geotécnico		Sustrato rocoso	
Macizo	Densidad aparente	Tm/m <sup>3</sup>	2,40
	Densidad saturación	Tm/m <sup>3</sup>	2,60
	Angulo de rozamiento interno	°	45,45
	Cohesión	Tm/m <sup>2</sup>	13,0
	Módulo de deformación estático	Tm/m <sup>2</sup>	232614,5
	$\frac{mb}{s}$	---	0,298
	$\frac{s}{a}$	---	0,0001
Juntas	Angulo de rozamiento interno	°	35,44
	Cohesión	Tm/m <sup>2</sup>	1,65

Parámetros geotécnicos empleados en los análisis efectuados.

En la tabla anterior los valores de cohesión y ángulo de rozamiento del sistema de juntas se ha establecido en base a datos representativos de este tipo de materiales y el establecimiento del criterio de rotura según Barton-Brandis, no siendo descartable, en caso de que se considere necesario o se pretenda analizar con mayor detalle esta variable, llevar a cabo ensayos de laboratorio para determinar estos parámetros (ensayos de resistencia al corte directo sobre diaclasas por ejemplo).

## Resultados obtenidos

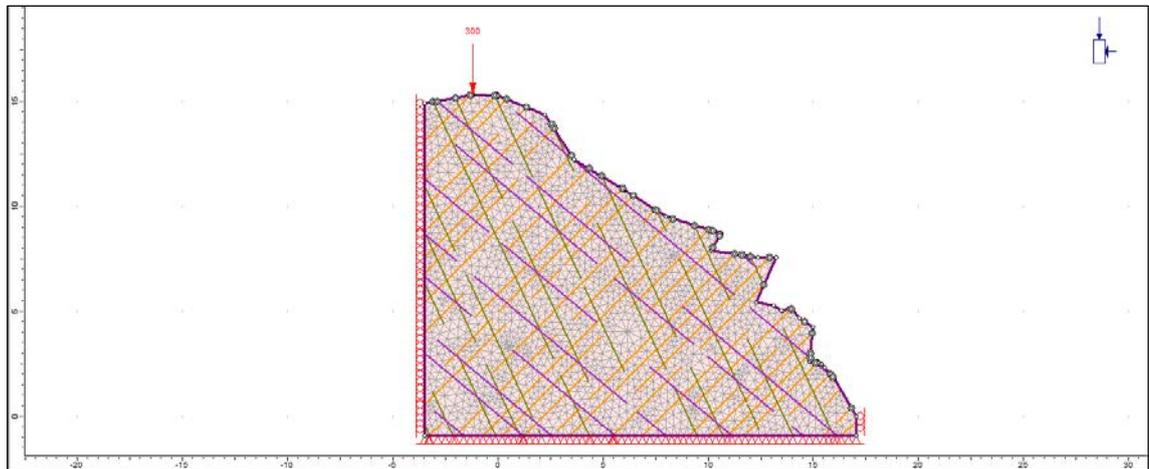
Conforme a la descripción de las hipótesis expuestas se han analizado las secciones indicadas con anterioridad, obteniéndose los siguientes resultados.

### Análisis Sección Talud Este.

En el presente Apartado se analizan las condiciones de estabilidad del Talud Este, en el cual, los materiales existentes se corresponden con un substrato rocoso conformado por calizas con alternancias de margas y niveles intercalados de lutitas, con un grado de alteración y fracturación de moderado (III según ISRM).

Este talud presentaría una altura máxima en torno a 15,0m.

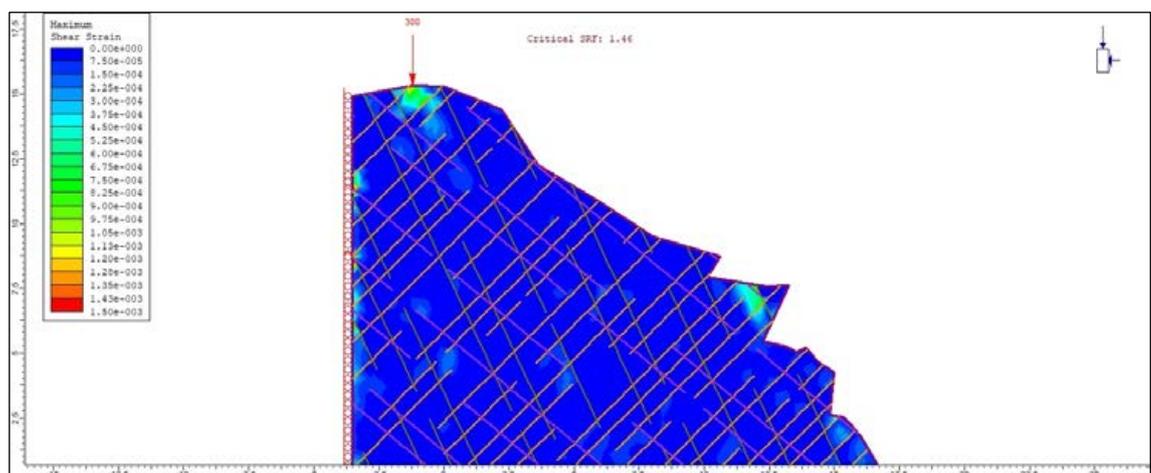
De acuerdo con las premisas citadas, se ha procedido al análisis mediante MEF de las condiciones de estabilidad actuales que presenta el talud existente, con el fin de obtener su Coeficiente de Seguridad, conforme al siguiente modelo de cálculo.



Modelo de cálculo Sección Talud Este.

En la figura anterior se considera una sobrecarga puntual de 300 kN/m derivada de la cimentación del estribo Norte de la Pasarela de acceso al Mirador.

En las siguientes figuras, se muestran los resultados obtenidos tras el análisis de estabilidad de la situación actual, indicándose, en primer lugar, la máxima distorsión por cortante producida en Estado Límite Último, con el fin de detectar las zonas más solicitadas frente al deslizamiento.



Distorsión máxima por cortante ELU Sección Margen Este.

Tal y como se puede apreciar en la figura anterior, de acuerdo con el resultado obtenido en el análisis de estabilidad efectuado (Factor de Seguridad de 1,46), el talud analizado puede, aunque de forma ajustada, ser considerado estable en las condiciones actuales en las que se encuentra de acuerdo con los criterios habitualmente considerados para este tipo de situaciones, aunque no llega al valor de 1,8 mínimo que se debería tener para una infraestructura de uso turístico para personas.

De este modo, asumiendo un comportamiento estable del talud en la situación actual, los hipotéticos fenómenos de deslizamiento que caben producirse se generarían a través del sistema de juntas del macizo rocoso, dando lugar a una rotura tipo estructurada a través del sistema de juntas más desfavorable, especialmente en aquellas zonas bajo la influencia de oleaje y agentes externos.

En cualquier caso, es de esperar que estos episodios de inestabilidad se restrinjan a cuñas rocosas de reducidos tamaños (a la vista de las características del sistema de juntas en este margen), no previéndose la aparición de fenómenos de inestabilidad global que pudieran afectar a las estructuras existentes aguas arriba.

Por otro lado, en la siguiente figura, se muestran las deformaciones producidas en condiciones de Estado Límite Último, esto es, inmediatamente previo a la rotura.

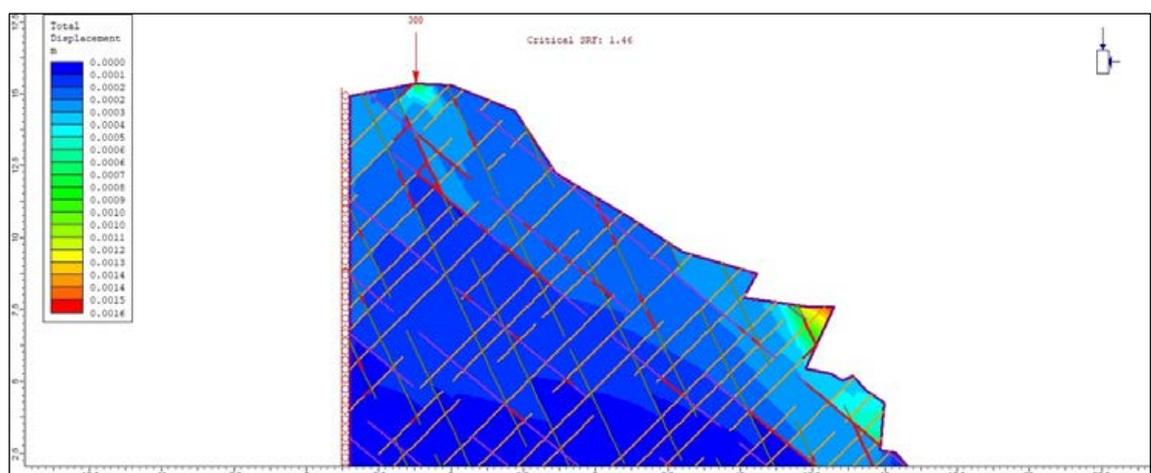


Figura 19: Deformaciones en ELU Sección Margen Este. En rojo las juntas plastificadas.

Tal y como se puede observar en la figura anterior, las deformaciones que se prevén resultan muy reducidas, despreciables a efectos de cálculo.

Este hecho indica un comportamiento frágil del macizo rocoso, de tal forma que la rotura del talud ante un hipotético fenómeno de inestabilidad se producirá de forma instantánea, sin deformaciones previas que puedan advertir de una rotura a mayor escala (tal y como podría esperarse en un talud conformado por suelos por ejemplo).

Este hecho hace difícil, si no imposible, predecir con antelación cuando podrá tener lugar una hipotética rotura en el talud, o plantear la posibilidad de realizar un seguimiento topográfico continuado de las deformaciones existentes en la superficie del talud para predecir este hecho con antelación.

#### Análisis secciones taludes oeste

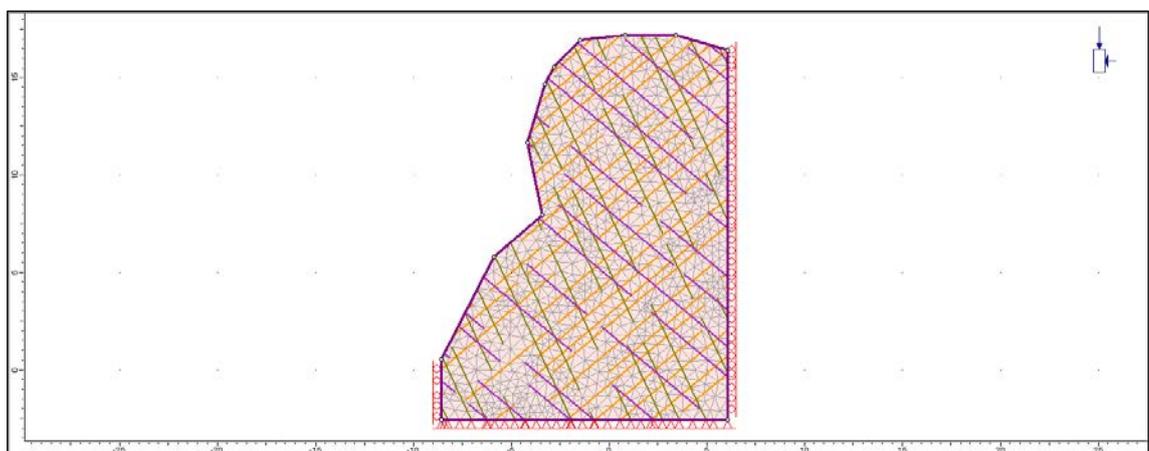
#### ***Análisis sección talud oeste 1***

La primera de las secciones analizadas representativas de este margen Oeste se ha establecido en el área donde el promontorio en el cual se sitúa el Mirador presenta una menor anchura, coincidiendo con la zona que se encuentra muy erosionada, con presencia de oquedades y huecos en la parte baja del talud.

En esta zona es especialmente visible la presencia de superficies susceptibles de sufrir desplazamientos a través de los planos de discontinuidad del macizo.

La altura máxima de la sección analizada en este caso se situaría en torno a 16,6m presentando un perfil extraplomado en la parte inferior.

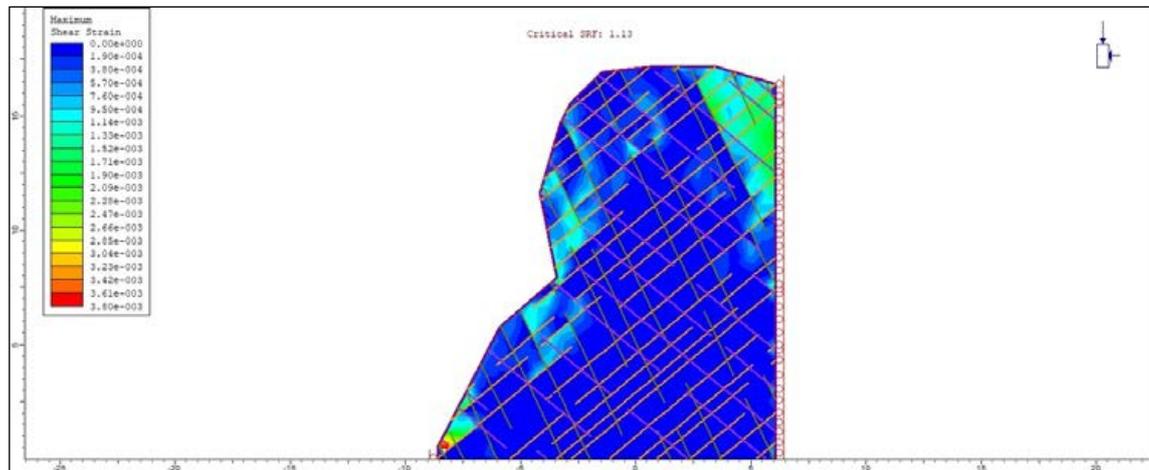
El modelo de cálculo analizado correspondería al siguiente esquema.



Modelo de cálculo Sección Talud Oeste 1.

De acuerdo con las premisas citadas, se ha procedido al análisis mediante MEF del modelo representado, obteniéndose los siguientes resultados.

En primer lugar se muestra el máximo esfuerzo cortante producido en la superficie del talud en Estado Límite Último, esto es, inmediatamente previo a la rotura del mismo.

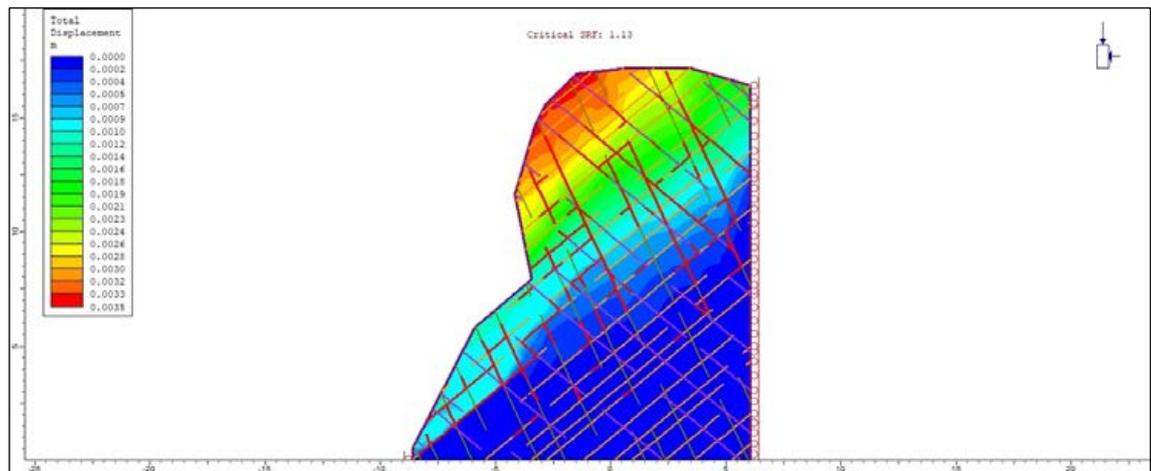


Distorsión máxima por cortante ELU, Sección Margen Oeste 1.

En la figura anterior se indican las zonas más solicitadas frente al esfuerzo cortante. Estas zonas se identifican en la parte inferior del talud y en la zona parcialmente extraplomada, aguas arriba de la misma, coincidiendo con la zona donde se prevén deslizamientos a través de los planos de discontinuidad.

**El Factor de Seguridad obtenido en el análisis efectuado (F.S=1,13),** resulta claramente inferior a los mínimos habitualmente considerados para este tipo de situaciones. De acuerdo con este hecho se considera que este talud se encuentra en situación de equilibrio límite, pudiendo producirse el colapso del mismo en un tiempo indeterminado, imposible de predecir.

Por otro lado, en la siguiente figura, se muestran las deformaciones producidas en condiciones de Estado Límite Último.



Deformaciones en ELU Sección Margen Oeste 1. En rojo las juntas plastificadas.

De forma similar al caso anterior, las deformaciones que se prevén resultas muy reducidas, despreciables a efectos de cálculo, lo que indica claramente el carácter frágil del macizo y que la rotura del mismo se produciría de forma prácticamente instantánea, sin deformaciones previas que alerten de la misma.

En este caso, la rotura que experimentaría el talud tendría un carácter más global, afectando a la parte superior del mismo, por donde discurre el camino o plataforma de acceso al Mirador.

Por otra parte, con el fin de incrementar el Factor de Seguridad de este tramo de talud, se analizará una solución de sostenimiento, si bien se debe tener en cuenta la dificultad que entraña el hecho de actuar sobre esta zona, ya que se plantea una limitación muy importante dada la anchura en concreto de la zona analizada en el presente Apartado (no superior en ningún caso a 5,0 m en la parte superior), y el estado tan alterado del macizo rocoso existente que impediría ir a bulones de altas capacidades, ya que podrían provocar descompresión del macizo, tampoco se garantizarían las inyecciones ni la adherencia necesaria.

### ***Análisis sección talud oeste 2***

A continuación se analizan las condiciones de estabilidad de la Sección identificada como Talud Oeste 2, situada un poco más hacia el Norte de la anteriormente analizada, con una altura máxima en torno a los casi 17 m.

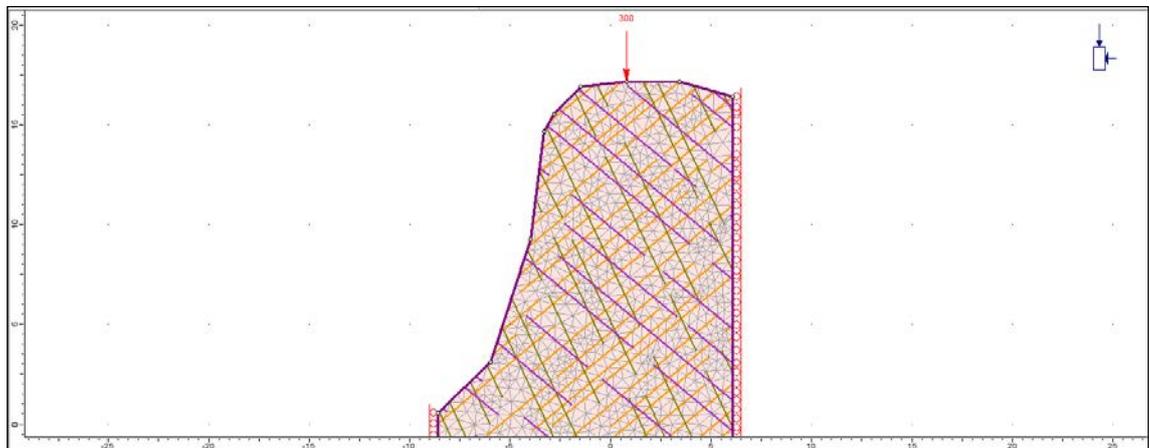
El material existente en los taludes de esta forma se encontrarían constituidos igualmente por un substrato rocoso conformado por calizas con alternancias de margas y niveles intercalados de lutitas, con un grado de alteración y fracturación de moderado a elevado (III-IV según ISRM).

Estos terrenos se encontrarían en el flanco Sur del pliegue detectado en este margen Oeste.

Este talud presentaría una altura máxima en torno a 16,6m.

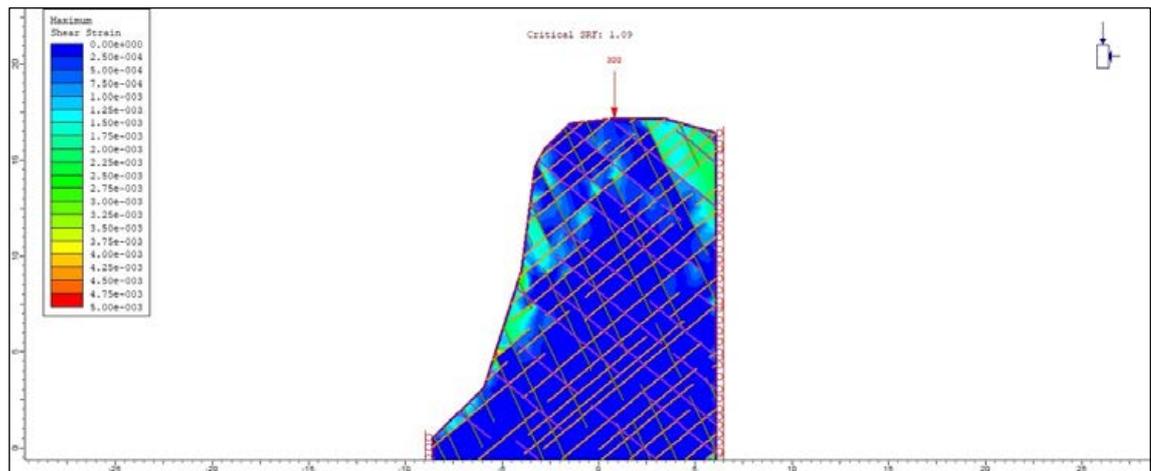
En este caso, se ha considerado el análisis de esta sección para evaluar la estabilidad del macizo rocoso en este margen Oeste y la influencia de la misma sobre la cimentación del Mirador, para el cual se ha considerado una sobrecarga puntual de 300kN/m derivada de su cimentación.

De acuerdo con las premisas citadas, se ha procedido al análisis mediante MEF de las condiciones de estabilidad que presenta el talud existente. El modelo de cálculo analizado corresponde al siguiente croquis.



Modelo de cálculo Sección Talud Oeste 2

A continuación se muestran los resultados obtenidos tras el análisis de estabilidad de la situación actual, indicándose, en primer lugar, la máxima distorsión por cortante producida en Estado Límite Último.

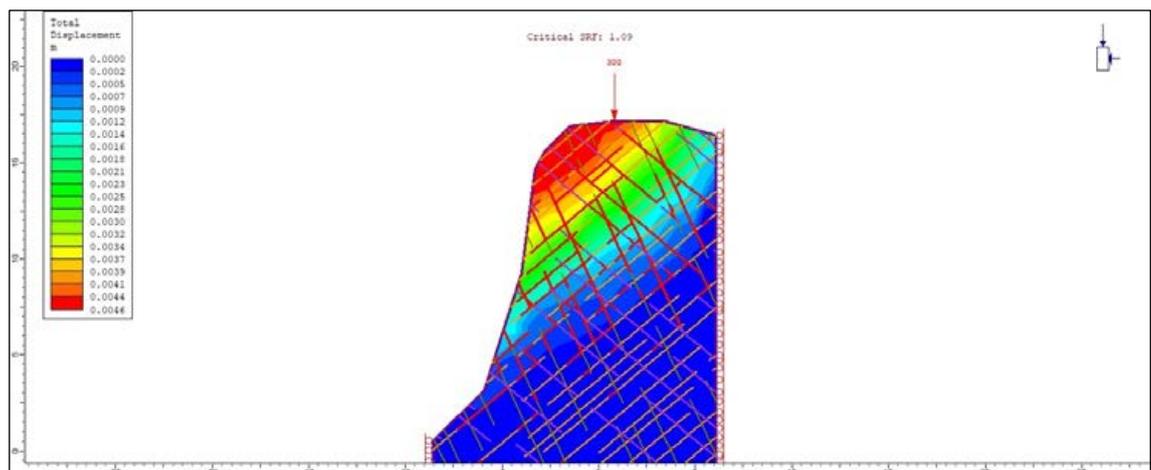


Distorsión máxima por cortante ELU (situación actual), Sección Margen Este.

Tal y como se puede apreciar en la figura anterior, el **Factor de Seguridad obtenido en el análisis efectuado ( $F.S=1,09$ )**, resulta claramente inferior a los mínimos habitualmente considerados para este tipo de situaciones, que debería ser como mínimo de 1,5, debiéndose incrementar incluso a 1,8 por seguridad de los usuarios.

Por tanto, el talud analizado en este caso, se encontraría en una situación de equilibrio muy precario, claramente inestable.

Por otro lado, en la siguiente figura, se muestran las deformaciones producidas en condiciones de Estado Límite Último.



Deformaciones en ELU Sección Margen Oeste 2. En rojo las juntas plastificadas.

Al igual que en los casos anteriores, las deformaciones previstas en Estado Límite último (inmediatamente antes de la rotura del talud), resultan muy reducidas, por lo

que, aunque no se puede predecir cuándo podría tener un hipotético fenómeno de inestabilidad en el talud, si se puede afirmar que éste se producirá de forma instantánea, previsiblemente sin la generación de deformaciones previas que puedan alertar de algún proceso de deslizamiento.

Por otra parte, se observa que la cimentación del propio Mirador podría encontrarse dentro del área de influencia de un posible episodio de inestabilidad.

Por otra parte, al igual que en la sección anterior, con el fin de incrementar el Factor de Seguridad de este tramo de talud, se analizará una solución de sostenimiento, si bien se debe tener en cuenta la dificultad que entraña el hecho de actuar sobre esta zona, ya que se plantea una limitación muy importante dada la anchura en concreto de la zona analizada en el presente Apartado (no superior en ningún caso a 5,0 m en la parte superior), y el estado tan alterado del macizo rocoso existente que impediría ir a bulones de altas capacidades, ya que podrían provocar descompresión del macizo, tampoco se garantizarían las inyecciones ni la adherencia necesaria.

### ***Análisis sección talud noroeste***

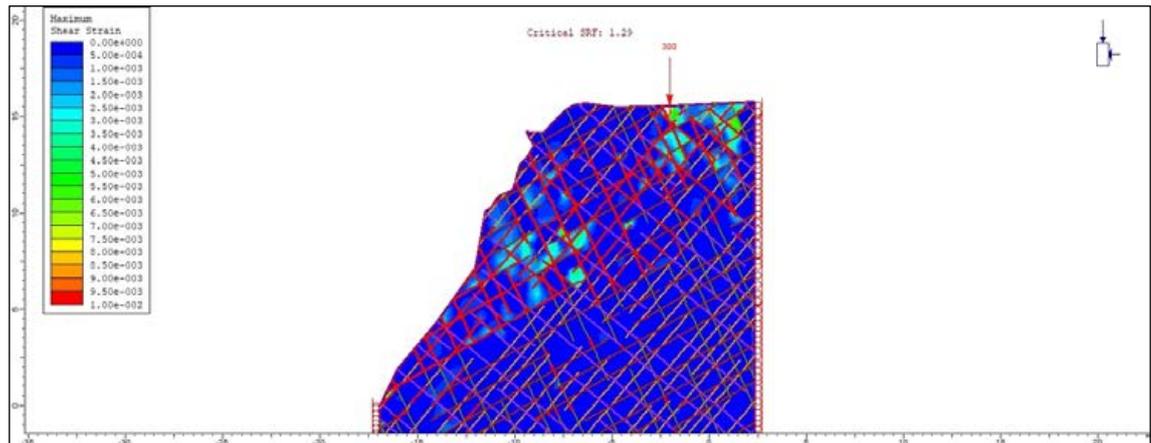
Finalmente, se han analizado las condiciones de estabilidad del talud situado en el extremo Noroeste del promontorio donde se sitúa el Mirador de La Peñona, con el fin de evaluar la estabilidad del macizo rocoso existente en este margen (de similar naturaleza al del resto de la zona analizada), considerando las orientaciones de las familias de juntas determinadas en el flanco Norte del pliegue existente en este margen.

El talud representativo de esta zona tendría una altura máxima en torno a 15,7 m, tal y como se observa en la siguiente figura.



### Modelo de cálculo Sección Talud Noroeste.

De acuerdo con las premisas citadas, se ha procedido al análisis mediante MEF del modelo representado, mostrándose, en primer lugar, el máximo esfuerzo cortante frente al deslizamiento producido en la superficie del talud en Estado Límite Último, esto es, inmediatamente previo a la rotura del mismo.

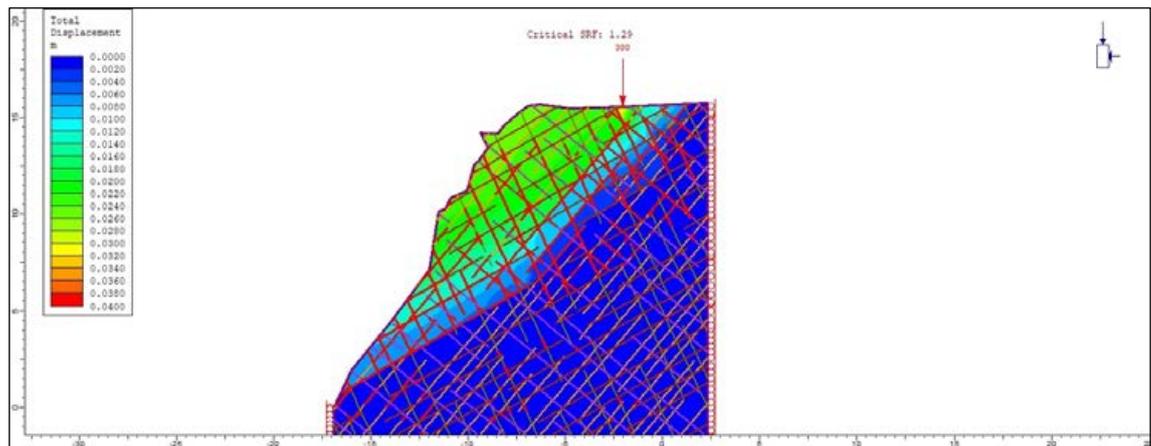


Distorsión máxima por cortante ELU, Sección Margen Noroeste.

En la figura anterior se indican las zonas más solicitadas frente al esfuerzo cortante. Estas zonas se sitúan en la parte meda-superior del talud y en la zona de influencia de la cimentación del Mirador.

El **Factor de Seguridad obtenido en el análisis efectuado (F.S=1,29)**, resulta inferior al mínimo habitualmente considerados para este tipo de situaciones. De acuerdo con este hecho se considera que este talud se encuentra en situación de equilibrio límite.

Por otro lado, en la siguiente figura, se muestran las deformaciones producidas en condiciones de Estado Límite Último.



Deformaciones en ELU Sección Margen Oeste 1. En rojo las juntas plastificadas.

De forma similar al caso anterior, las deformaciones que se prevén resultan reducidas, restringiéndose a la parte superior del talud y al propio ámbito de la cimentación de la estructura.

En este caso, la posible generación de cuñas potencialmente inestables podrían llegar a afectar a la cimentación del propio Mirador, si bien este hecho se considera poco probable, por encontrarse ésta en la zona más distal de la hipotética área de rotura.

En cualquier caso, el Factor de Seguridad obtenido en el análisis efectuado alerta claramente de un problema de generación de inestabilidades de tipo formación cuñas de roca en esta zona, tal y como se observa en la actualidad en la propia superficie del talud existente.

## 7. ANALISIS CUANTITATIVO DE LA ESTABILIDAD CON MEDIDAS IMPLEMENTADAS

En el presente Apartado se analizan las posibilidades de dotar a las secciones anteriormente analizadas de un sistema de sostenimiento con el fin de incrementar el Factor de Seguridad del talud analizado hasta mínimos que se puedan considerar como perfectamente estables conforme a los estándares de seguridad habitualmente considerados en este tipo de situaciones.

En este sentido, se han analizado las dos secciones correspondientes al Talud Oeste (Sección Talud Oeste 1 y 2, y Sección Noroeste), por presentar éstas unas condiciones más desfavorables, obteniéndose los Factores de Seguridad más reducidos (1,13, 1,09 y 1,29 respectivamente en el análisis efectuado).

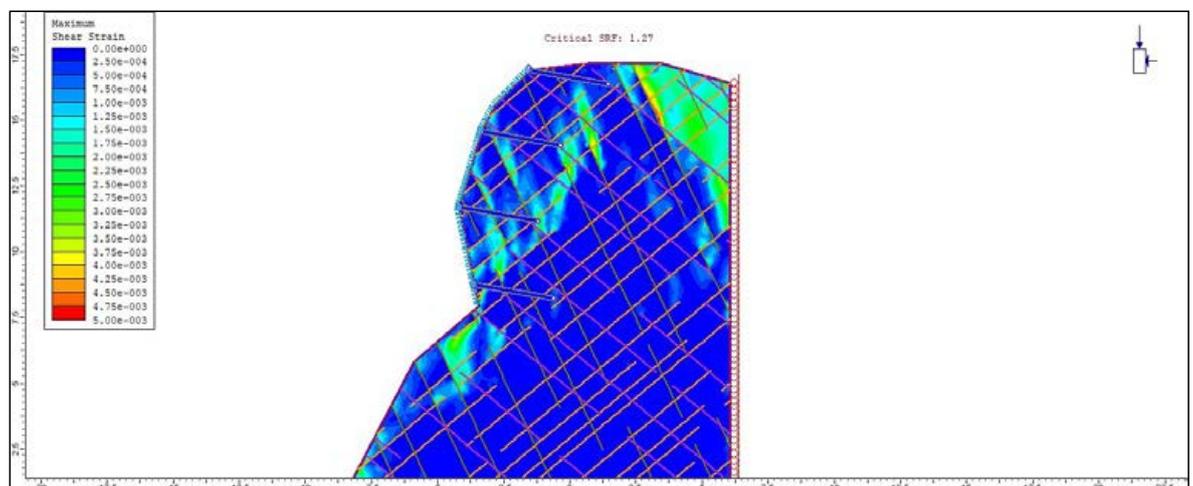
## Sección talud oeste 1

Conforme a las características de esta sección analizada con anterioridad, se ha analizado la posibilidad de dotar a la misma de un sistema de sostenimiento consistente en una malla de simple torsión (Sistema TECCO® o similar), de 160kN/m de resistencia a la tracción, anclada al macizo rocoso, mediante la disposición de anclajes/bulones de 110kN de capacidad, inyectados en toda su longitud, de 3,0m de longitud, dispuestos con una inclinación de 10° respecto a la horizontal, de acuerdo con una malla de 3,0m(H)X3,0m(V).

Este sistema se dispondría en la parte superior del talud (sobre la masa de roca situada sobre el hueco existente, ocupando aproximadamente la mitad superior del mismo, en torno a cuatro filas de anclajes).

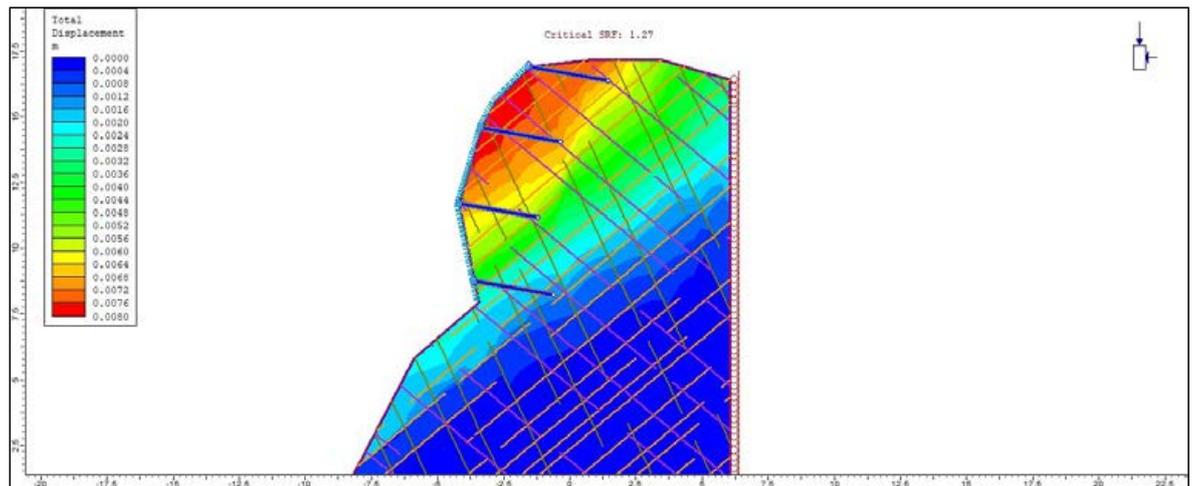
Este sistema de sostenimiento se trataría de una solución perfectamente habitual para un tipo de talud como el que nos ocupa. Debe tenerse en cuenta que, en el caso concreto de la sección analizada, el ancho del promontorio es tan reducido (en algunos casos inferior a 6,0m), que difícilmente se podrían recurrir a anclajes de mayores longitudes (si bien se ha analizado la posibilidad incluso de llegar a longitudes de 5,0m como se podrá consultar más adelante).

Los resultados del análisis del sostenimiento propuesto se muestran en las siguientes figuras, indicándose, en primer lugar, la máxima demanda al esfuerzo cortante producida frente al deslizamiento en Estado Límite Último.



Distorsión máxima por cortante ELU, Sección Oeste 1 (bulones de 3,0m de longitud y 110kN de capacidad)

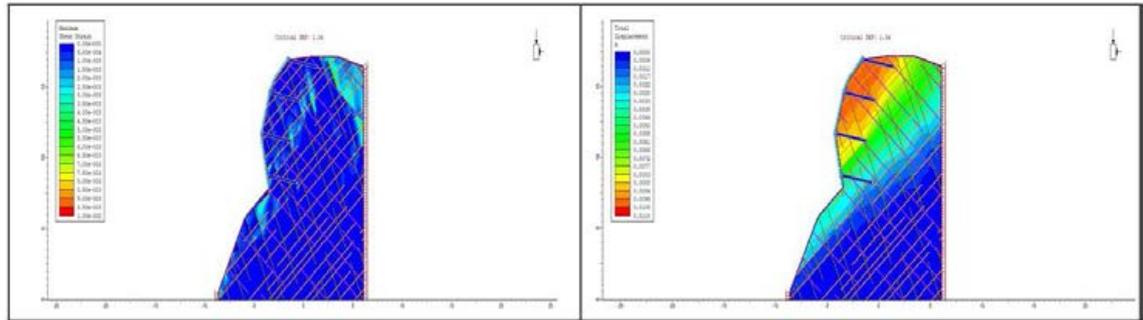
Por otra parte, en la siguiente figura se muestran las deformaciones obtenidas en ELU.



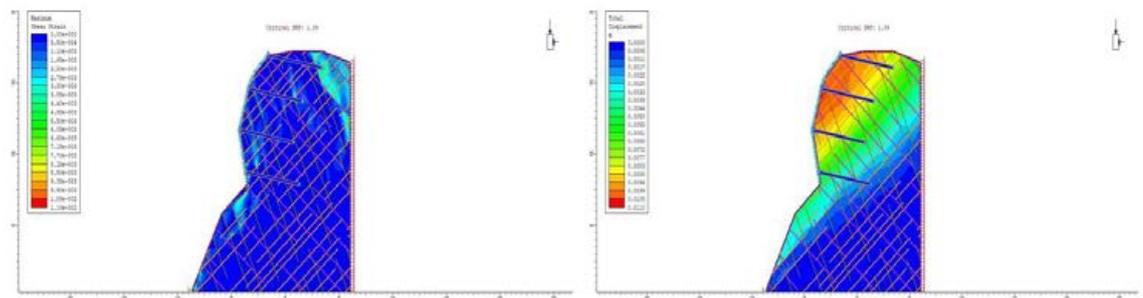
Deformaciones en ELU, Sección Oeste 1 (bulones de 3,0m de longitud y 110kN de capacidad)

Tal y como se puede observar en la figura anterior, el Factor de Seguridad obtenido ( $F.S=1,27$ ), si bien se incrementa respecto a la sección actual analizada, sigue resultando claramente inferior a los mínimos habitualmente considerados para este tipo de situaciones (cuando hay bienes susceptibles de ser conservados aguas arriba del talud analizado y máxime de seguridad de las personas, fijando un mínimo de 1,8), por lo que el sistema de sostenimiento analizado se considera claramente insuficiente para los objetivos previstos.

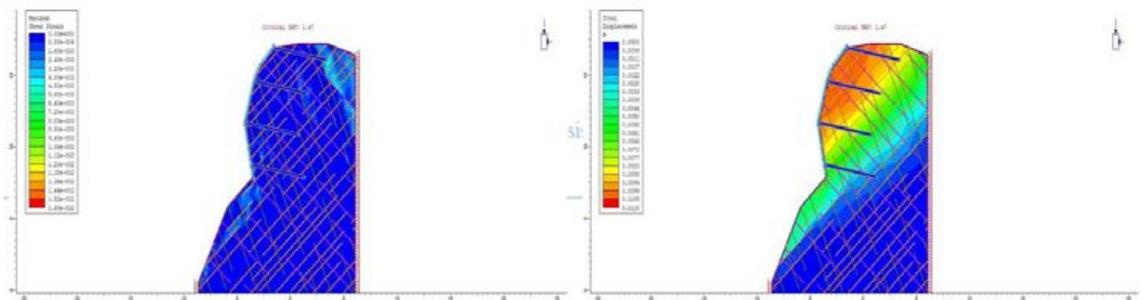
Se ha analizado la posibilidad de recurrir a anclajes de mayor capacidad a los considerados inicialmente (250kN), y/o a la colocación de anclajes de longitudes superiores a las indicadas (hasta 5,0m, a pesar de las limitaciones de longitud de anclajes ya reseñadas que presenta esta área en concreto).



Sostenimiento de bulones de 3,0 m de longitud y capacidad 250 kN/m (Sección Oeste 1)



Sostenimiento de bulones de 5,0 m de longitud y capacidad 110 kN/m (Sección Oeste 1)



Sostenimiento de bulones de 5,0 m de longitud y capacidad 250 kN/m (Sección Oeste 1)

De este modo, e la siguiente tabla se muestra, a modo de resumen, los diferentes Factores de Seguridad obtenidos para los diferentes análisis realizados para diferentes capacidades y longitudes de anclajes consideradas.

Longitud Anclaje (m)	Capacidad Anclaje (kN)	Factor de Seguridad
3,00	110	1,27
3,00	250	1,34
5,00	110	1,39
5,00	250	1,47

Parámetros geotécnicos asociados al sustrato rocoso analizado (Sección Oeste 1).



Como se puede observar, en todos los casos, los Factores de Seguridad que se obtienen resultan inferiores a los mínimos habitualmente considerados para el tipo de situación analizada, insistiendo que debieran llegar a valores mínimo de 1,8.

Se debe tener en cuenta que, en los análisis efectuados, se ha considerado una inyección en el 100% de la longitud del anclaje, hecho que se considera bastante difícil de conseguir a la vista del grado de alteración y meteorización que presenta el macizo rocoso en el cual se han de ejecutar.

Además, se debe valorar el hecho de que, recurrir a capacidades de anclajes superiores a 250kN, implica la necesidad de realizar perforaciones de importantes diámetros en un macizo rocoso ya de por sí muy meteorizado, pudiendo contribuir a un debilitamiento aún mayor del mismo y al colapso del propio macizo durante la ejecución de los trabajos, con el consiguiente riesgo para la seguridad de los trabajadores.

Por último, se debe considerar el efecto corrosivo que sobre estos elementos de anclaje supone una exposición continuada al ambiente marino.

Otra dificultad radica en el hecho de garantizar la adherencia de los bulbos de anclaje en toda la longitud del mismo. En macizos tan meteorizados como el que nos ocupa, tan expuestos a la erosión, y con alternancia de capas más blandas intercaladas, resulta muy difícil garantizar la adherencia de la lechada en toda la longitud del anclaje, especialmente a medida que aumenta su longitud.

En este sentido, el hecho de recurrir a presiones de inyección superiores a las normalmente utilizadas para garantizar esta adherencia podría resultar incluso perjudicial para el propio macizo donde se habrían de embeber los propios anclajes, pudiendo provocar la disgregación parcial de los mismos en profundidad.

Todos estos factores hacen que, cualquier tipo de solución de sostenimiento que se pueda aplicar al talud analizado, resulte no recomendable, tanto desde el punto de la seguridad y garantías de funcionamiento a largo plazo, como desde un punto de vista técnico y económico.

## **Sección talud oeste 2**

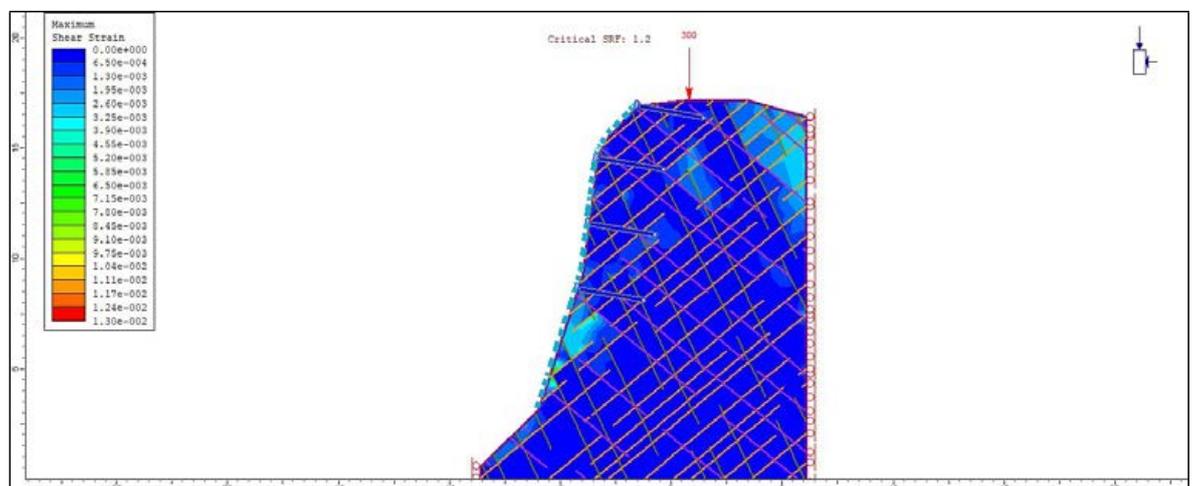
De forma similar al análisis realizado con anterior, para esta sección Talud Oeste 2, se ha estudiado la posible ejecución de un sistema de sostenimiento consistente en

una malla de simple torsión (Sistema TECCO® o similar), de 160kN/m de resistencia a la tracción, anclada al macizo rocoso, mediante la disposición de anclajes/bulones de 110kN de capacidad, inyectados en toda su longitud, de 3,0m de longitud, dispuestos con una inclinación de 10° respecto a la horizontal, de acuerdo con una malla de 3,0m(H)X3,0m(V).

Al igual que en la sección analizada, se dispondrían cuatro filas de anclajes en la parte superior, en la zona más demandada, cubriendo aproximadamente la mitad de la altura total del talud existente.

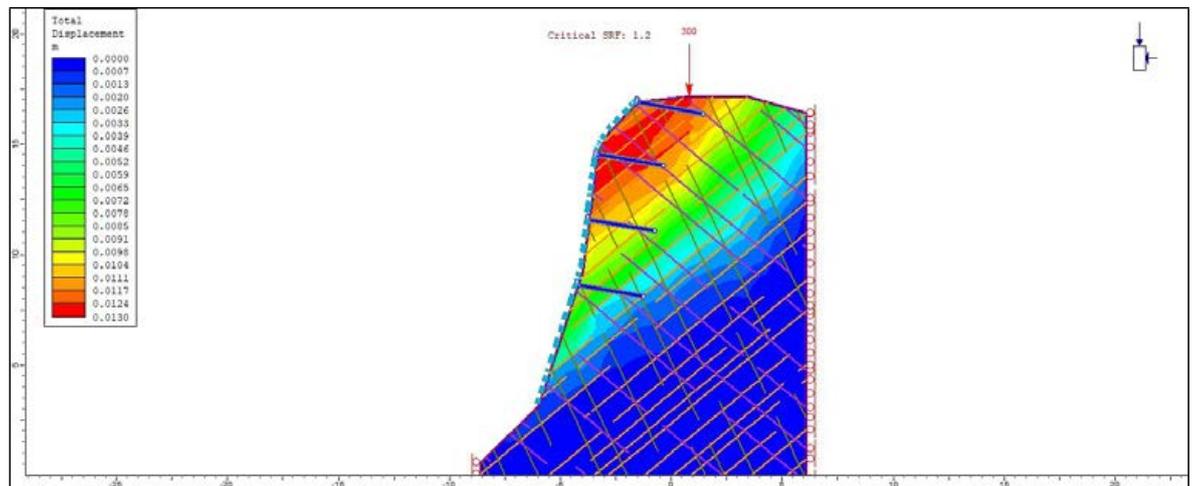
La ejecución de anclaje a cotas inferiores haría que éstos estuvieran expuestos al oleaje de forma permanente, e incluso frecuentemente sumergidos, por lo que no resulta especialmente viable su ejecución ni tampoco se presume una durabilidad significativa de los mismos en esas condiciones.

En la siguiente figura se muestran los resultados del análisis mediante MEF realizado del citado sostenimiento.



Distorsión máxima por cortante ELU, Sección Oeste 2 (bulones de 3,0m de longitud y 110kN de capacidad)

Por otra parte, en la siguiente figura se muestran las deformaciones obtenidas en ELU.

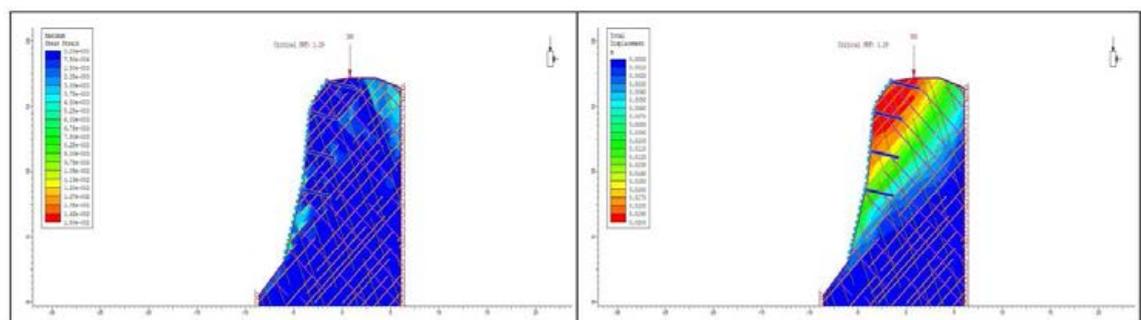


Deformaciones en ELU, Sección Oeste 2 (bulones de 3,0m de longitud y 110kN de capacidad)

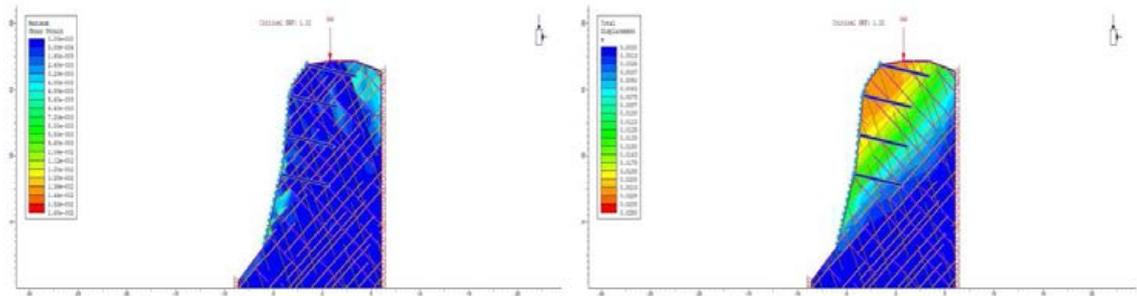
En este caso, el Factor de Seguridad obtenido ( $F.S=1,2$ ), resulta muy inferior a los mínimos habitualmente considerados para este tipo de situaciones, por lo que el sistema de sostenimiento analizado se considera claramente insuficiente para los objetivos previstos.

Se ha llevado a cabo diversos análisis con anclajes de mayor capacidad a los considerados inicialmente (250kN), y/o anclajes de longitudes superiores a las indicadas (hasta 5,0m).

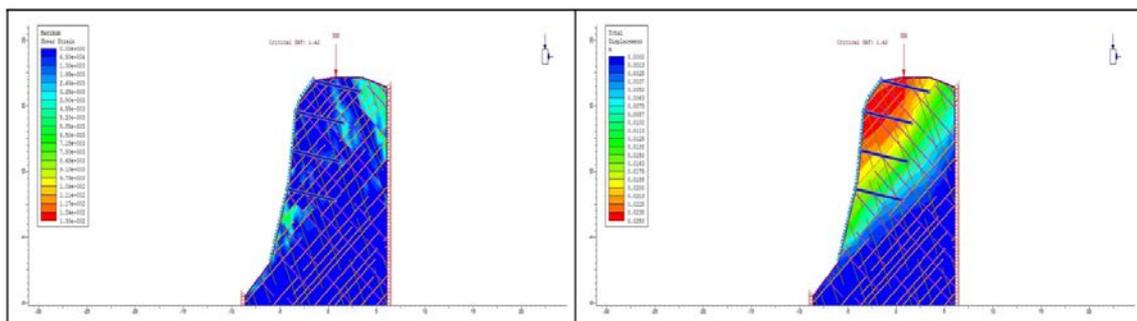
En las siguientes imágenes se muestran los resultados obtenidos en los diferentes cálculos realizados.



Sostenimiento de bulones de 3,0m de longitud y capacidad 250kN/m (Sección Oeste 2)



Sostenimiento de bulones de 5,0m de longitud y capacidad 110kN/m (Sección Oeste 2)



Sostenimiento de bulones de 5,0m de longitud y capacidad 250kN/m (Sección Oeste 2)

De este modo, en la siguiente tabla se muestra, a modo de resumen, los diferentes Factores de Seguridad obtenidos para los diferentes análisis realizados para diferentes capacidades y longitudes de anclajes consideradas.

Longitud Anclaje (m)	Capacidad Anclaje (kN)	Factor de Seguridad
3,00	110	1,20
3,00	250	1,29
5,00	110	1,32
5,00	250	1,42

Parámetros geotécnicos asociados al sustrato rocoso analizado (Sección Oeste 2)

En todos los casos, los Factores de Seguridad que se obtienen resultan inferiores a los mínimos habitualmente considerados para el tipo de situación analizada, máxime para el uso por personas, donde se fija un mínimo de 1,8.

Además, se ha de considerar los mismos aspectos generales que se ha reseñado en Apartados anteriores relativos a los condicionantes que presenta la zona objeto de estudio a la hora de plantear la ejecución de anclajes (limitaciones en la longitud de anclaje a disponer, problemas garantizar el 100% de inyección y la adherencia del anclaje, necesidad de perforaciones de importantes diámetros en caso de recurrir a

anclajes de mayores capacidades, efecto corrosivo sobre los anclajes del ambiente marino, etc,...).

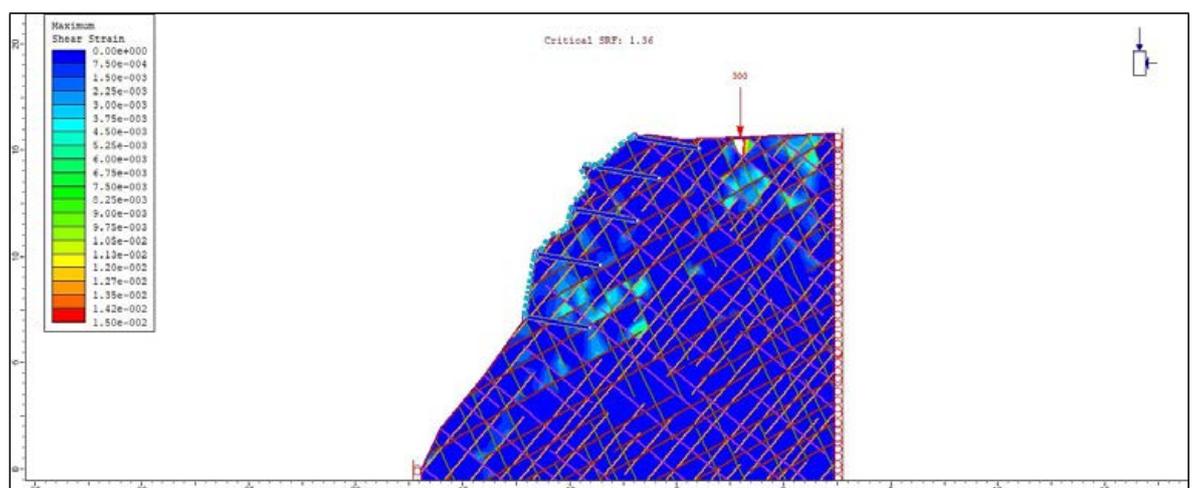
Por todos estos aspectos se concluye que no resulta viable, ni del lado de garantizar la estabilidad de la zona a largo plazo, ni técnicamente, ni económicamente, recurrir a una solución de este tipo para la estabilización del talud objeto de estudio conforme a los estándares considerados de forma general para este tipo de actuaciones.

### **Sección talud noroeste**

Por último, se ha analizado la posibilidad de dotar al talud analizado en la Sección Noroeste de un sistema de sostenimiento consistente en una malla de simple torsión (Sistema TECCO® o similar), de 160kN/m de resistencia a la tracción, anclada al macizo rocoso, mediante la disposición de anclajes/bulones de 110kN de capacidad, inyectados en toda su longitud, de 3,0m de longitud, dispuestos con una inclinación de 10° respecto a la horizontal, de acuerdo con una malla de 3,0m(H)X3,0m(V).

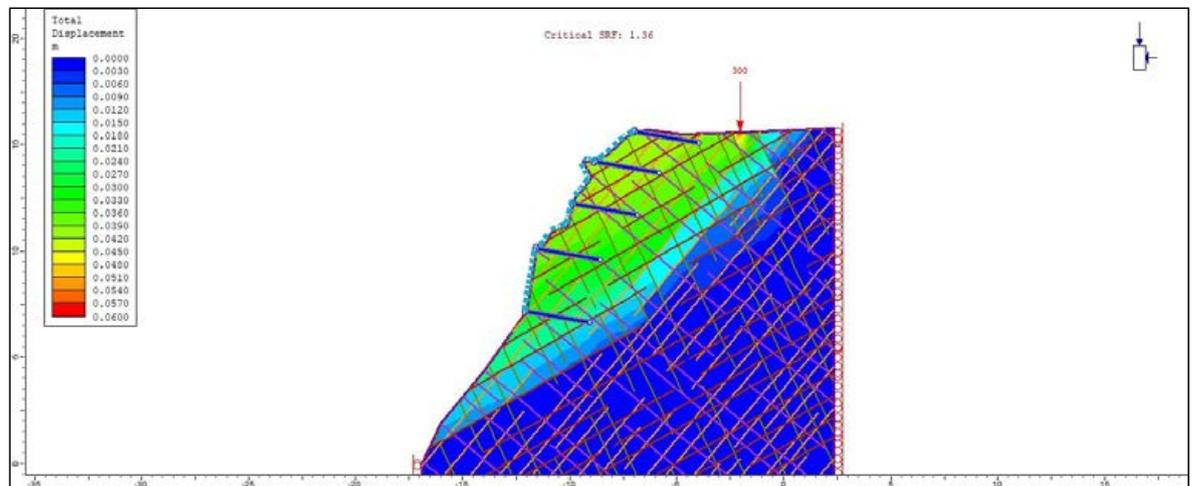
En este caso, se dispondrían cinco filas de anclajes en la parte superior, en la zona más demandada, cubriendo aproximadamente la mitad de la altura total del talud existente.

En las siguientes figuras se muestran los resultados obtenidos en el análisis efectuado.



Distorsión máxima por cortante ELU, Sección Noroeste (bulones de 3,0m de longitud y 110kN de capacidad)

Por otra parte, en la siguiente figura se muestran las deformaciones obtenidas en ELU.

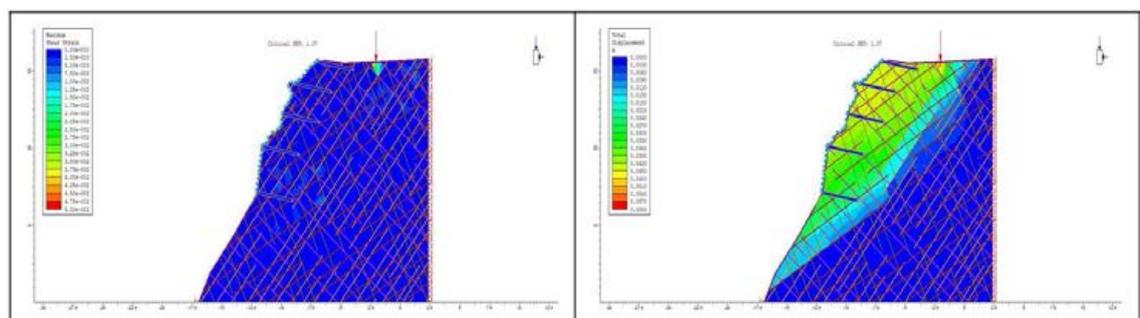


Deformaciones en ELU, Sección Noroeste (bulones de 3,0m de longitud y 110kN de capacidad)

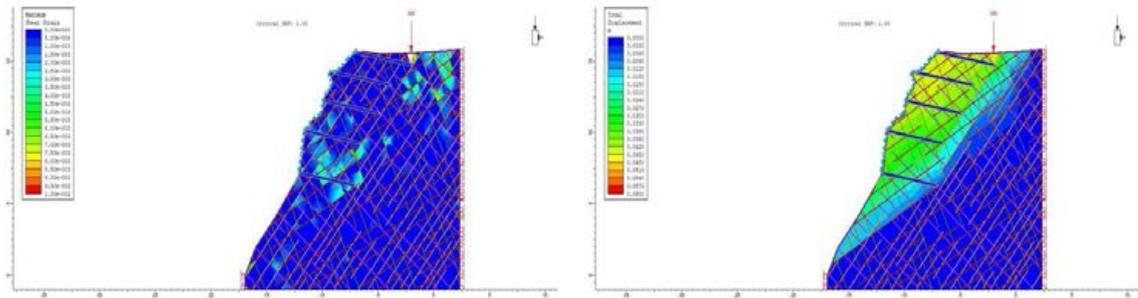
En este caso, el Factor de Seguridad obtenido ( $F.S=1,36$ ), resulta inferior a los mínimos habitualmente considerados para este tipo de situaciones, por lo que el sistema de sostenimiento analizado se resulta suficiente para garantizar la estabilidad del talud existente a largo plazo.

Se ha llevado a cabo diversos análisis con anclajes de mayor capacidad a los considerados inicialmente (250kN), y/o anclajes de longitudes superiores a las indicadas (hasta 5,0m).

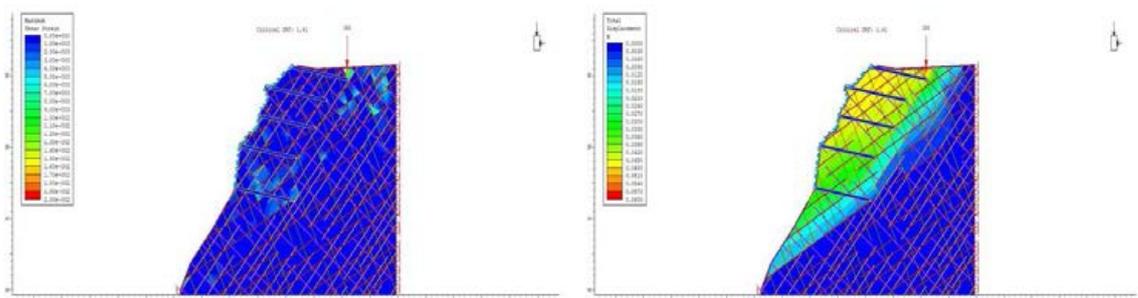
En las siguientes imágenes se muestran los resultados obtenidos en los diferentes cálculos realizados.



Sostenimiento de bulones de 3,0m de longitud y capacidad 250kN/m (Sección Noroeste)



Sostenimiento de bulones de 5,0m de longitud y capacidad 110kN/m (Sección Noroeste)



Sostenimiento de bulones de 5,0m de longitud y capacidad 250kN/m (Sección Noroeste)

De este modo, e la siguiente tabla se muestra, a modo de resumen, los diferentes Factores de Seguridad obtenidos para los diferentes análisis realizados para diferentes capacidades y longitudes de anclajes consideradas.

Longitud Anclaje (m)	Capacidad Anclaje (kN)	Factor de Seguridad
3,00	110	1,36
3,00	250	1,37
5,00	110	1,39
5,00	250	1,41

Parámetros geotécnicos asociados al sustrato rocoso analizado (Sección Noroeste)

En todos los casos, los Factores de Seguridad que se obtienen resultan inferiores a los mínimos habitualmente considerados para el tipo de situación analizada.

Al igual que en los análisis anteriormente realizados, además del resultado obtenido, se deben considerar los diferentes condicionantes que se han considerado a la hora de plantear la ejecución de una solución de estabilización de estas características.

De acuerdo con estas consideraciones no se recomienda recurrir a una solución de sostenimiento para los taludes existentes en el margen Oeste ni noroeste de la zona objeto de estudio mediante la ejecución de bulones activos en la situación actual del talud.



## 8. CONCLUSIONES

En el presente documento se analizan las condiciones de estabilidad que presentan en la actualidad los taludes de los márgenes Este y Oeste del promontorio donde se sitúa el mirador de La Peñona, en el margen Oeste de la playa de Salinas, en el municipio de Castrillón, en la provincia de Asturias.

Para llevar a cabo este informe se han llevado a cabo visitas de inspección geológica-geotécnica y de medición topográfica de detalle, siempre dentro de las posibilidades legales permisibles por la normativa de prevención de riesgos laborales, durante las cuales se inspeccionó el substrato rocoso existente y se levantaron sendas estaciones geomecánicas representativas de ambos márgenes analizados.

Como consecuencia de los resultados obtenidos en las inspecciones realizadas, y teniendo en cuenta tanto la documentación de partida facilitada para la redacción del presente informe como los resultados obtenidos en el análisis realizado, se pueden extraer las siguientes conclusiones.

- El material existente en la superficie de ambos taludes se corresponde con una alternancia de calizas y margas, de Edad Devónico Inferior, integradas dentro del Grupo Rañeces, las cuales presentarían por lo general un grado de alteración y fracturación de moderado a elevado (III a IV según ISRM). Para este substrato se establece un índice **RMR de "Malo" a "Muy Malo"** (aplicando el índice SMR mejoría ligeramente a "Medio" a "Malo").
- En función de esta clasificación se ha establecido el criterio de rotura tanto del macizo rocoso como del sistema de juntas y se han interpretado los parámetros geotécnicos de cálculo necesarios para el análisis de estabilidad efectuado.
- La zona objeto de estudio se encuentra bajo influencia marina, hecho que provoca que la zona se encuentre permanentemente húmeda, con la consecuente acción erosiva y agresiva por parte de las sales sobre el substrato calcáreo, especialmente en épocas de fuerte oleaje.
- Este hecho hace que el sistema de juntas que presenta el macizo se encuentre muy meteorizado, favoreciendo y acelerando la acción de los procesos de meteorización.



- De las inspecciones y análisis efectuados se deduce que los estribos de la pasarela de acceso al Mirador no evidencian fenómenos relevantes que alerten de una posible inestabilidad global de los mismos. Solamente se detecta una ligera socavación en la base de la cimentación del estribo Sur como consecuencia de la acción erosiva por parte del mar.
- Los taludes situados en este margen Este no evidencian problemas generales de estabilidad global que puedan afectar a las estructuras situadas aguas arriba de los mismos (pasarela de acceso, caminos y la propia estructura del Mirador). Los fenómenos de inestabilidad detectados consistirían en pequeñas roturas tipo cuñas de roca, las cuales en todo caso serían de reducida importancia, no afectando a la estabilidad global de esta zona del macizo.
  - El Factor de Seguridad obtenido en el análisis realizado ( $F.S=1,46$ ), permite considerar este talud del margen Este como estable, aunque muy escaso para el uso por usuarios. En este caso se recomendarían factores de seguridad mínimos de 1,8.
- En el caso del talud situado en el margen Oeste-Noroeste, en las inspecciones realizadas se ha detectado la presencia de zonas claramente erosionadas, con oquedades, hendiduras, huecos y varios bloques caídos y semi-sumergidos, originados como consecuencia de fenómenos de inestabilidad producidos en la superficie del mismo en períodos de tiempo más o menos recientes (el último en Diciembre de 2022, lo que provocó el cierre de la infraestructura al público). Destaca en este margen la existencia de zonas fuertemente plegadas, en concreto un pliegue sinclinal cuyo eje coincidiría con la posición de la cimentación del mirador. Este fuerte plegamiento provoca la formación de numerosas familias de juntas en la superficie del talud, con diferentes orientaciones. Los estratos situados en la parte superior del talud (en algunos casos en voladizo sobre la superficie erosionada de la base del mismo) podrían deslizarse como consecuencia de su orientación sobre la cara del talud, dando lugar a mecanismos de rotura tipo planares. Por otra parte, en diferentes zonas de este talud se han detectado intersecciones de planos susceptibles de sufrir inestabilidades generadas por la formación de cuñas rocosas. En la superficie del talud son visibles algunas de estas cuñas rocosas las cuales en la actualidad se encuentran en equilibrio límite, no



pudiéndose prever cuando se producirá el desprendimiento de las mismas, aunque resulta cierto que éste se producirá tarde o temprano.

- En el análisis de estabilidad de secciones de este margen Oeste se han obtenido factores de seguridad de entre 1,09 y 1,29, los cuales se encuentran claramente por debajo de los mínimos habitualmente considerados para este tipo de situaciones que sería de mínimo de 1,8, dando lugar a unas condiciones de equilibrio límite muy precario, no resultando posible prever en qué momento puede tener lugar la rotura del mismo ni de qué entidad puede llegar a ser (desde la caída de cuñas rocosas de reducido tamaño hasta el colapso del macizo en la zona ya erosionada).

Se ha analizado la posibilidad de recurrir a un sistema de sostenimiento (en el caso de las secciones más desfavorables, esto es, las correspondientes al margen Oeste), con el fin de incrementar el Factor de Seguridad de las mismas hasta llegar a estándares que permitan considerar los mismos como estables a todos los efectos a largo plazo conforme a los mínimos habitualmente considerados para este tipo de situaciones. En concreto, se ha considerado la ejecución de un sistema compuesto por una malla de simple torsión (Sistema TECCO® o similar), de 160kN/m de resistencia a la tracción, anclada al macizo rocoso, mediante la disposición de anclajes/bulones de 110kN de capacidad (analizado hasta 250kN), inyectados en toda su longitud, de 3,0m de longitud (analizado hasta 5,0m), dispuestos con una inclinación de 10º respecto a la horizontal, de acuerdo con una malla de 3,0m(H)X3,0m(V).

Los resultados obtenidos en ambas secciones se muestran a continuación en las siguientes tablas.

Longitud Anclaje (m)	Capacidad Anclaje (kN)	Factor de Seguridad
3,00	110	1,27
3,00	250	1,34
5,00	110	1,39
5,00	250	1,47

Parámetros geotécnicos asociados al sustrato rocoso analizado (Sección Oeste 1)



Longitud Anclaje (m)	Capacidad Anclaje (kN)	Factor de Seguridad
3,00	110	1,20
3,00	250	1,29
5,00	110	1,32
5,00	250	1,42

Parámetros geotécnicos asociados al sustrato rocoso analizado (Sección Oeste 2)

Longitud Anclaje (m)	Capacidad Anclaje (kN)	Factor de Seguridad
3,00	110	1,36
3,00	250	1,37
5,00	110	1,39
5,00	250	1,41

Parámetros geotécnicos asociados al sustrato rocoso analizado (Sección Noroeste)

En todos los casos, los factores de seguridad que se obtienen resultan inferiores a los mínimos necesarios para el uso por las personas.

Existen otros impedimentos relativos a otros aspectos claves en la ejecución de anclajes:

- Limitaciones en la longitud de anclaje a disponer, motivado en que como ya se comentó el macizo rocoso tiene escasa anchura.
- Problemas para garantizar el 100% de inyección y la adherencia del anclaje, lo alterado y fragmentado que está el macizo nos conduce a esta afirmación.
- Necesidad de perforaciones de importantes diámetros en caso de recurrir a anclajes de mayores capacidades, lo cual provocaría casi con total certeza que se afectase negativamente a la calidad del propio macizo rocoso.
- Efecto corrosivo sobre los anclajes, ya que éstos están expuestos continuamente al efecto del ambiente marino directo.
- La seguridad de los operarios durante la ejecución de las perforaciones y colocación de anclajes no estaría garantizada trabajando directamente en el talud.

Todos estos factores, hacen que se concluya que no se considera técnicamente posible recurrir a una solución de sostenimiento para los taludes existentes en el margen Oeste de la zona objeto de estudio mediante la ejecución de bulones activos en la situación actual del talud.



En vista de las inspecciones y valoraciones realizadas, además de la documentación existente histórica del macizo de La Peñona, se puede confirmar que **está en estado precario y que puede colapsar en cualquier momento.**

Oviedo, 28 de noviembre de 2023

por Ideas y Futuro Ingeniería, S.L.

El Ingeniero Geólogo e Ingeniero de  
Minas



IDEAS Y FUTURO INGENIERÍA, S.L.  
CIF: B-74329996

D. Ignacio Mallada Menéndez  
Colegiado nº 3014

El Ingeniero Geólogo  
e Ingeniero Técnico de Minas



D. Fermín González Díaz  
Colegiado nº 3586



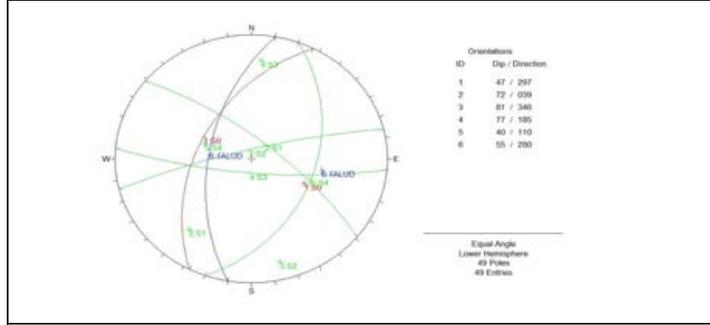
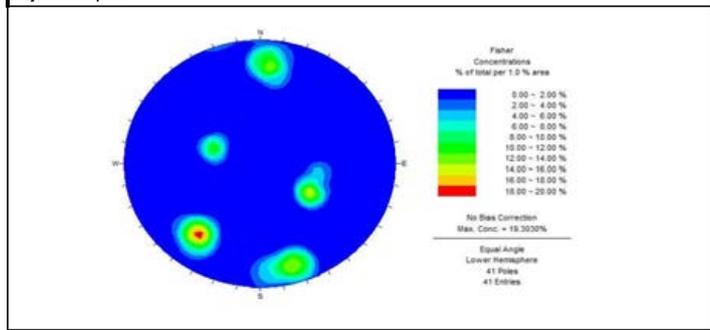
---

## 9. APÉNDICE 1 RECONOMIENTOS REALIZADOS

Junta	J0	J1	J2	J3	J4	ESTACIÓN DE RECONOCIMIENTO: EG-MARGEN ESTE					
Orientaciones	280	44	35	78	340	84	188	70	104	35	<b>Características del emplazamiento:</b> Talud de 15m de altura máxima y pendiente variable entre 35° en la parte superior y hasta 70° en su parte más baja. Se aprecia claramente la estratificación de las capas y dos familias principales de juntas más alguna secundaria. Alternancia de calizas de color gris, en capas de espesor desde decimétricos hasta 0,50m, alternando con capas de limolitas grises y margas marrón rojizo, de espesor no superior a 0,20m por lo general.
	295	42	40	72	358	82	190	72	100	38	
	304	45	38	65	340	80	182	78	108	42	
	300	40	36	68	342	78	180	76	110	45	
	278	50	32	72	345	84	184	80	116	40	
	295	52	42	70	354	82	190	82	120	38	
	307	52	48	74	342	80	182	80			
	305	48	40	76	348	78					
	308	45	42	70							
	302	50	35	75							
<b>Reconocimientos efectuados</b>											
Secc. del terreno: 15 m. de altura máxima											
Desviación Standart	11	4	5	4	7	2	4	4	7	4	Substrato rocoso constituido por calizas de color gris y rosado con alternancias de niveles de margas marrón rojizo y niveles puntuales de limolitas de color gris (Grado III-IV según ISRM). Rellenos de juntas de arcillas y/o caliza. Presencia de agua mayoritariamente en las superficies de discontinuidad, se pueden considerar permanentemente húmedas como consecuencia de la acción marina y la humedad existente.
Orientación media	297	47	39	72	346	81	185	77	110	40	
Resistencia (Kp/cm2)	250,0	800,0	250,0	800,0	250,0	800,0	250,0	800,0	250,0	800,0	
Valoración	3	7	3	7	3	7	3	7	3	7	
Densidad de diaclasado (frc/m)	20	7	10	2	20	4	10	2	20	4	
Espaciado entre juntas (cm)	5,0	15,0	10,0	50,0	5,0	25,0	10,0	50,0	5,0	25,0	
Valoración	14	27	23	35	14	31	23	35	14	31	
Persistencia (m)	5,0	20,0	3,0	15,0	3,0	15,0	1,0	10,0	3,0	15,0	
Valoración	2	0	3	1	3	1	4	1	3	1	
Rugosidad (JRC)	8	10	8	10	8	10	8	10	8	10	
Valoración	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	
Rellenos espesor (mm)	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	
Valoración	3	0	3	0	3	0	3	0	3	0	
Rellenos naturaleza (Casagrande)	CL	ML	CL	ML	CL	ML	CL	ML	CL	ML	
Valoración	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
Alteración (ism)	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	
Valoración	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	
Abertura (mm)	1	3	2	5	2	5	2	5	2	5	
Valoración	4	1	2	0	2	0	2	0	2	0	
Presencia de agua l/min	10,0	60,0	10,0	60,0	10,0	60,0	10,0	60,0	10,0	60,0	
Valoración	11	5	11	5	11	5	11	5	11	5	
Corrección por orientación	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
Valoración	-5	-25	-5	-25	-5	-25	-5	-25	-5	-25	
Valoración de macizo	37	21	45	28	36	24	46	28	36	24	
Valoración del macizo (RMR)	29	36	30	37	30	37	30	37	30	37	

Valoración general:  
Valoración del macizo rocoso aplicando la corrección por orientación por discontinuidades de "MALA"

El Técnico responsable:  
Marcos Corte García



El Técnico responsable:  
Marcos Corte García

Junta	J0	J1	J2	J3	J4	ESTACIÓN DE RECONOCIMIENTO: EG-2 MARGEN OESTE						
Orientaciones	278	54	174	56	28	75	345	75	35	40	<p><b>Características del emplazamiento:</b></p> <p>Talud de 17m de altura máxima y pendiente variable entre 35° en la parte superior y hasta 80° en su parte intermedia, presentándose incluso extraplomado, con hendiduras y oquedades en algunas zonas. Se aprecian cuñas potencialmente inestables de importantes dimensiones en algún caso. La estratificación y familias de juntas principales presentan una orientación por lo general desfavorable. El talud en este margen se encuentra claramente plegado, siendo claramente perceptible la formación de pliegues, uno de ellos coincidiendo su plano axial con la cimentación del propio Mirador. Se aprecian, a ambos lados de la zona plegada numerosas familias de juntas. El talud está conformado por alternancia de calizas de color gris, en capas de espesor desde decimétricos hasta 0,50m, alternando con capas de limolitas grises y margas marrón rojizo, de espesor no superior a 0,20m</p>	
	288	48	184	62	26	78	348	78	48	42		
	290	54	180	68	25	82	340	72	32	45		
	285	42	166	64	28	78	350	74	28	45		
	298	54	177	70	20	72	352	82	35	52		
	292	58	160	72	24	74	340	88	42	48		
	288	50	150	64	30	76	344	70	36	42		
	290	44	150	62	18	80	338	82				
	300	52	168	66	28	78	342	76				
	296	48	168	70	30	76	356	80				
Desviación Standart	6	5	12	5	4	3	6	5	7	4	<p>Secc. del terreno: 17 m. de altura máxima</p> <p>Substrato rocoso constituido por calizas de color gris y rosado con alternancias de niveles de margas marrón rojizo y niveles puntuales de limolitas de color gris (Grado III-IV según ISRM). Rellenos de juntas de arcillas y/o caliza. Presencia de agua mayoritariamente en las superficies de discontinuidad, se pueden considerar permanentemente húmedas como consecuencia de la acción marina y la humedad existente. Estructura del macizo claramente plegada en algunos tramos.</p>	
Orientación media	291	50	168	65	26	77	346	78	37	45		
Resistencia (Kp/cm2)	250,0	800,0	250,0	800,0	250,0	800,0	250,0	800,0	250,0	800,0		
Valoración	3	7	3	7	3	7	3	7	3	7		
Densidad de diaclasado (frc/m)	50	13	33	10	33	10	33	7	33	7		
Espaciado entre juntas (cm)	2,0	8,0	3,0	10,0	3,0	10,0	3,0	15,0	3,0	15,0		
Valoración	3	20	7	23	7	23	7	27	7	27		
Persistencia (m)	3,0	20,0	5,0	20,0	5,0	20,0	5,0	20,0	5,0	20,0		
Valoración	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0		
Rugosidad (JRC)	6	8	6	8	6	8	6	8	6	8		
Valoración	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3		
Rellenos espesor (mm)	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5		
Valoración	3	0	3	0	3	0	3	0	3	0		
Rellenos naturaleza (Casagrande)	CL	ML	CL	ML	CL	ML	CL	ML	CL	ML		
Valoración	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1		
Alteración (isrm)	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4		
Valoración	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1		
Abertura (mm)	1	3	1	5	1	5	1	5	1	5		
Valoración	4	1	3	0	3	0	3	0	3	0		
Presencia de agua l/min	10,0	80,0	10,0	80,0	10,0	80,0	10,0	80,0	10,0	80,0		
Valoración	11	3	11	3	11	3	11	3	11	3		
Corrección por orientación	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
Valoración	-5	-25	-10	-25	-10	-25	-10	-25	-10	-25		
Valoración de macizo	26	12	24	13	24	13	24	18	24	18		
Valoración del macizo (RMR)	19	19	19	19	19	19	21	21	21	21		
Proyección de polos						<p>El Técnico responsable:</p> <p><b>Marcos Corte García</b></p>						
						<p>El Técnico responsable:</p> <p><b>Marcos Corte García</b></p>						



## 10. APÉNDICE 2 ENSAYOS



LABORATORIO AST. DE CONTROL TECNICO, S.A.L.

CL "A" .Parcela 3, Nave 1  
33428.Llanera(Asturias)

laboratorio@lacotec.es

T.985,26,63,75 / F. 985,73,35,35



Nº ACTA	ACTA DE OBRA Nº	Nº ALBARAN	Nº REGISTRO	FECHA DE ACTA
2022/18120	1	82395	GE.2022/83	19/11/2022

## ACTA DE RESULTADOS

CLIENTE / OBRA / EXP.: 1908 / 12641/ 119444

1908: IDEAS Y FUTURO INGENIERIA, S.L., Centro Cívico Comercial - c/  
Comandante Caballero, s/n - 2ª Planta - Oficina 20, 33005-OVIEDO,  
Asturias  
ESB74329996

**Inspección geotécnica del macizo rocoso de la Peñona  
Salinas  
Castrillón**

DESTINATARIO

R-08-8

IDEAS Y FUTURO INGENIERIA, S.L.  
Centro Cívico Comercial - c/ Comandante Caballero, s/n - 2ª  
Planta - Oficina 20  
33005-OVIEDO  
Asturias

## DATOS DE LA MUESTRA

TIPO DE MUESTRA: **Calizas gris - verdosas.**

PROCEDENCIA: **Macizo rocoso de la Peñona (Salinas). M-1**

FECHA DE MUESTREO: **31/10/2022**

## ENSAYOS REALIZADOS

Determinación de la resistencia a la carga puntual (ensayo Franklin) de una probeta de roca. Ensayo con diez (10) roturas o más, según UNE 22950-5:1996

Los ensayos comprendidos en este informe se han realizado según la normativa correspondiente y a nuestro leal saber y entender, directamente sobre los materiales ensayados y/o sobre las muestras tomadas 'in situ' o remitidas al laboratorio, sin más responsabilidad que la derivada de la correcta utilización de las técnicas y la aplicación de los procedimientos apropiados. Los resultados del presente informe se refieren exclusivamente a la muestra, producto o material indicado en el apartado correspondiente.

Laboratorio Asturiano de Control Técnico, S.A.L no se hace responsable, en ningún caso, de la interpretación o uso indebido que pueda hacerse de este documento, cuya reproducción parcial o total está totalmente prohibida. No se autoriza su publicación o reproducción sin el consentimiento previo de Laboratorio Asturiano de Control Técnico, S.A.L.

De conformidad con la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales, se informa que los datos personales facilitados por usted en el presente formulario, serán incorporados a un fichero titularidad de LABORATORIO ASTURIANO DE CONTROL TECNICO S.A.L. (LACOTEC) cuya finalidad es el mantenimiento, gestión y prestación de los servicios solicitados a LABORATORIO ASTURIANO DE CONTROL TECNICO S.A.L. (LACOTEC), así como el mantenimiento de comunicaciones de carácter informativo. Por último, se le informa de que le asisten los derechos de acceso, modificación, oposición y cancelación, que podrá ejercitar mediante petición escrita gratuita dirigida a LABORATORIO ASTURIANO DE CONTROL TECNICO S.A.L. (LACOTEC) POLIGONO DE ASIPO, PARCELA Nº 3, NAVE 1 CAYES - LLANERA - 33428 (ASTURIAS), a la atención del Responsable del Tratamiento.



**LABORATORIO AST. DE CONTROL TECNICO, S.A.L.**

CL "A" .Parcela 3, Nave 1  
33428.Llanera(Asturias)

laboratorio@lacotec.es

T.985,26,63,75 / F. 985,73,35,35



Nº ACTA	ACTA DE OBRA Nº	Nº ALBARAN	Nº REGISTRO	FECHA DE ACTA
2022/18120	1	82395	GE.2022/83	19/11/2022

R-08-8

RESISTENCIA A LA CARGA PUNTUAL, Según UNE 22950-5:1996.								
MUESTRA Nº		1	2	3	4	5	6	
TIPO ENSAYO		Fra. Irreg.	Fra. Irreg.	Fra. Irreg.	Fra. Irreg.	Fra. Irreg.	Fra. Irreg.	
Distancia entre punzones	cm	6,3	3,8	3,9	4,2	4,5	4,3	
Dimensión mínima	cm	8,0	5,6	5,9	6,0	5,8	6,2	
Área mínima	cm <sup>2</sup>	50,40	21,28	23,01	25,20	26,10	26,66	
Diámetro equivalente	cm	8,01	5,21	5,41	5,66	5,76	5,83	
Carga aplicada	kg	1496	1292	1395	1002	1269	1159	
Resistencia puntual no corregida	kg/cm <sup>2</sup>	23,32	47,60	47,66	31,28	38,25	34,10	
Factor de corrección		1,24	1,02	1,04	1,06	1,07	1,07	
Índice de resistencia puntual	kg/cm <sup>2</sup>	28,92	48,55	49,57	33,16	40,93	36,49	
Índice de resistencia puntual, medio	kg/cm <sup>2</sup>	<b>39,60</b>						
Correlación compresión simple		20						
Compresión simple	kg/cm <sup>2</sup>	<b>792</b>						
Compresión simple	MPa	<b>77,6</b>						

**Observaciones:** Se han descartado los dos valores más altos y los dos más bajos obtenidos.

**OBSERVACIONES:**

RESP. TÉCNICO DE ÀREA

Raúl Alonso Fernández  
Geólogo

Vº Bº DTOR DEL LABORATORIO

Laudelino Orviz González  
Ingeniero T. Industrial



LABORATORIO AST. DE CONTROL TECNICO, S.A.L.

CL "A" .Parcela 3, Nave 1  
33428.Llanera(Asturias)

laboratorio@lacotec.es

T.985,26,63,75 / F. 985,73,35,35



Nº ACTA	ACTA DE OBRA Nº	Nº ALBARAN	Nº REGISTRO	FECHA DE ACTA
2022/18121	2	82395	GE.2022/83	19/11/2022

## ACTA DE RESULTADOS

CLIENTE / OBRA / EXP.: 1908 / 12641/ 119444

1908: IDEAS Y FUTURO INGENIERIA, S.L., Centro Cívico Comercial - c/  
Comandante Caballero, s/n - 2ª Planta - Oficina 20, 33005-OVIEDO,  
Asturias  
ESB74329996

**Inspección geotécnica del macizo rocoso de la Peñona  
Salinas  
Castrillón**

DESTINATARIO

R-08-8

IDEAS Y FUTURO INGENIERIA, S.L.  
Centro Cívico Comercial - c/ Comandante Caballero, s/n - 2ª  
Planta - Oficina 20  
33005-OVIEDO  
Asturias

## DATOS DE LA MUESTRA

TIPO DE MUESTRA: **Calizas gris - verdosas.**

PROCEDENCIA: **Macizo rocoso de la Peñona (Salinas). M-2**

FECHA DE MUESTREO: **31/10/2022**

## ENSAYOS REALIZADOS

Determinación de la resistencia a la carga puntual (ensayo Franklin) de una probeta de roca. Ensayo con diez (10) roturas o más, según UNE 22950-5:1996

Los ensayos comprendidos en este informe se han realizado según la normativa correspondiente y a nuestro leal saber y entender, directamente sobre los materiales ensayados y/o sobre las muestras tomadas 'in situ' o remitidas al laboratorio, sin más responsabilidad que la derivada de la correcta utilización de las técnicas y la aplicación de los procedimientos apropiados. Los resultados del presente informe se refieren exclusivamente a la muestra, producto o material indicado en el apartado correspondiente.

Laboratorio Asturiano de Control Técnico, S.A.L no se hace responsable, en ningún caso, de la interpretación o uso indebido que pueda hacerse de este documento, cuya reproducción parcial o total está totalmente prohibida. No se autoriza su publicación o reproducción sin el consentimiento previo de Laboratorio Asturiano de Control Técnico, S.A.L.

De conformidad con la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales, se informa que los datos personales facilitados por usted en el presente formulario, serán incorporados a un fichero titularidad de LABORATORIO ASTURIANO DE CONTROL TECNICO S.A.L. (LACOTEC) cuya finalidad es el mantenimiento, gestión y prestación de los servicios solicitados a LABORATORIO ASTURIANO DE CONTROL TECNICO S.A.L. (LACOTEC), así como el mantenimiento de comunicaciones de carácter informativo. Por último, se le informa de que le asisten los derechos de acceso, modificación, oposición y cancelación, que podrá ejercitar mediante petición escrita gratuita dirigida a LABORATORIO ASTURIANO DE CONTROL TECNICO S.A.L. (LACOTEC) POLIGONO DE ASIPO, PARCELA Nº 3, NAVE 1 CAYES - LLANERA - 33428 (ASTURIAS), a la atención del Responsable del Tratamiento.



LABORATORIO AST. DE CONTROL TECNICO, S.A.L.

CL "A" .Parcela 3, Nave 1  
33428.Llanera(Asturias)

laboratorio@lacotec.es

T.985,26,63,75 / F. 985,73,35,35



Nº ACTA	ACTA DE OBRA Nº	Nº ALBARAN	Nº REGISTRO	FECHA DE ACTA
2022/18121	2	82395	GE.2022/83	19/11/2022

R-08-8

RESISTENCIA A LA CARGA PUNTUAL, Según UNE 22950-5:1996.								
MUESTRA Nº		3	4	5	6	7	8	
TIPO ENSAYO		Fra. Irreg.	Fra. Irreg.	Fra. Irreg.	Fra. Irreg.	Fra. Irreg.	Fra. Irreg.	
Distancia entre punzones	cm	3,6	4,2	5,2	5,2	6,0	4,2	
Dimensión mínima	cm	4,8	4,9	5,5	5,3	6,3	5,9	
Área mínima	cm <sup>2</sup>	17,28	20,58	28,60	27,56	37,80	24,78	
Diámetro equivalente	cm	4,69	5,12	6,03	5,92	6,94	5,62	
Carga aplicada	kg	1025	1230	1136	1082	1236	1185	
Resistencia puntual no corregida	kg/cm <sup>2</sup>	46,60	46,92	31,24	30,87	25,66	37,52	
Factor de corrección		0,97	1,01	1,09	1,08	1,16	1,05	
Índice de resistencia puntual	kg/cm <sup>2</sup>	45,20	47,39	34,05	33,34	29,77	39,40	
Índice de resistencia puntual, medio	kg/cm <sup>2</sup>	<b>38,19</b>						
Correlación compresión simple		20						
Compresión simple	kg/cm <sup>2</sup>	<b>764</b>						
Compresión simple	MPa	<b>74,9</b>						

**Observaciones:** Se han descartado los dos valores más altos y los dos más bajos obtenidos.

**OBSERVACIONES:**

RESP. TÉCNICO DE ÀREA

Raúl Alonso Fernández  
Geólogo

Vº Bº DTOR DEL LABORATORIO

Laudelino Orviz González  
Ingeniero T. Industrial



LABORATORIO AST. DE CONTROL TECNICO, S.A.L.

CL "A" .Parcela 3, Nave 1  
33428.Llanera(Asturias)

laboratorio@lacotec.es

T.985,26,63,75 / F. 985,73,35,35



Nº ACTA	ACTA DE OBRA Nº	Nº ALBARAN	Nº REGISTRO	FECHA DE ACTA
2022/18122	3	82395	GE.2022/83	19/11/2022

## ACTA DE RESULTADOS

CLIENTE / OBRA / EXP.: 1908 / 12641/ 119444

1908: IDEAS Y FUTURO INGENIERIA, S.L., Centro Cívico Comercial - c/  
Comandante Caballero, s/n - 2ª Planta - Oficina 20, 33005-OVIEDO,  
Asturias  
ESB74329996

**Inspección geotécnica del macizo rocoso de la Peñona  
Salinas  
Castrillón**

DESTINATARIO

R-08-8

IDEAS Y FUTURO INGENIERIA, S.L.  
Centro Cívico Comercial - c/ Comandante Caballero, s/n - 2ª  
Planta - Oficina 20  
33005-OVIEDO  
Asturias

## DATOS DE LA MUESTRA

TIPO DE MUESTRA: **Margas rosadas y rojizas.**

PROCEDENCIA: **Macizo rocoso de la Peñona (Salinas). M-3**

FECHA DE MUESTREO: **31/10/2022**

## ENSAYOS REALIZADOS

Determinación de la resistencia a la carga puntual (ensayo Franklin) de una probeta de roca. Ensayo con diez (10) roturas o más, según UNE 22950-5:1996

Los ensayos comprendidos en este informe se han realizado según la normativa correspondiente y a nuestro leal saber y entender, directamente sobre los materiales ensayados y/o sobre las muestras tomadas 'in situ' o remitidas al laboratorio, sin más responsabilidad que la derivada de la correcta utilización de las técnicas y la aplicación de los procedimientos apropiados. Los resultados del presente informe se refieren exclusivamente a la muestra, producto o material indicado en el apartado correspondiente.

Laboratorio Asturiano de Control Técnico, S.A.L no se hace responsable, en ningún caso, de la interpretación o uso indebido que pueda hacerse de este documento, cuya reproducción parcial o total está totalmente prohibida. No se autoriza su publicación o reproducción sin el consentimiento previo de Laboratorio Asturiano de Control Técnico, S.A.L.

De conformidad con la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales, se informa que los datos personales facilitados por usted en el presente formulario, serán incorporados a un fichero titularidad de LABORATORIO ASTURIANO DE CONTROL TECNICO S.A.L. (LACOTEC) cuya finalidad es el mantenimiento, gestión y prestación de los servicios solicitados a LABORATORIO ASTURIANO DE CONTROL TECNICO S.A.L. (LACOTEC), así como el mantenimiento de comunicaciones de carácter informativo. Por último, se le informa de que le asisten los derechos de acceso, modificación, oposición y cancelación, que podrá ejercitar mediante petición escrita gratuita dirigida a LABORATORIO ASTURIANO DE CONTROL TECNICO S.A.L. (LACOTEC) POLIGONO DE ASIPO, PARCELA Nº 3, NAVE 1 CAYES - LLANERA - 33428 (ASTURIAS), a la atención del Responsable del Tratamiento.



**LABORATORIO AST. DE CONTROL TECNICO, S.A.L.**

CL "A" .Parcela 3, Nave 1  
33428.Llanera(Asturias)

laboratorio@lacotec.es

T.985,26,63,75 / F. 985,73,35,35



Nº ACTA	ACTA DE OBRA Nº	Nº ALBARAN	Nº REGISTRO	FECHA DE ACTA
2022/18122	3	82395	GE.2022/83	19/11/2022

R-08-8

RESISTENCIA A LA CARGA PUNTUAL, Según UNE 22950-5:1996.								
MUESTRA Nº		3	4	5	6	7	8	
TIPO ENSAYO		Fra. Irreg.	Fra. Irreg.	Fra. Irreg.	Fra. Irreg.	Fra. Irreg.	Fra. Irreg.	
Distancia entre punzones	cm	3,9	4,9	5,2	5,2	5,0	4,1	
Dimensión mínima	cm	4,3	5,2	5,5	5,3	5,5	5,9	
Área mínima	cm <sup>2</sup>	16,77	25,48	28,60	27,56	27,50	24,19	
Diámetro equivalente	cm	4,62	5,70	6,03	5,92	5,92	5,55	
Carga aplicada	kg	420	382	425	228	335	555	
Resistencia puntual no corregida	kg/cm <sup>2</sup>	19,68	11,76	11,69	6,51	9,56	18,02	
Factor de corrección		0,97	1,06	1,09	1,08	1,08	1,05	
Índice de resistencia puntual	kg/cm <sup>2</sup>	19,09	12,47	12,74	7,03	10,32	18,92	
Índice de resistencia puntual, medio	kg/cm <sup>2</sup>	<b>13,43</b>						
Correlación compresión simple		20						
Compresión simple	kg/cm <sup>2</sup>	<b>269</b>						
Compresión simple	MPa	<b>26,4</b>						

**Observaciones:** Se han descartado los dos valores más altos y los dos más bajos obtenidos.

**OBSERVACIONES:**

RESP. TÉCNICO DE ÀREA

Raúl Alonso Fernández  
Geólogo

Vº Bº DTOR DEL LABORATORIO

Laudelino Orviz González  
Ingeniero T. Industrial



## 11. APÉNDICE 3 FOTOGRAFICO



Fotografías del área objeto de estudio (Margen Este)



Fotografías del área objeto de estudio (Estribos Pasarela)



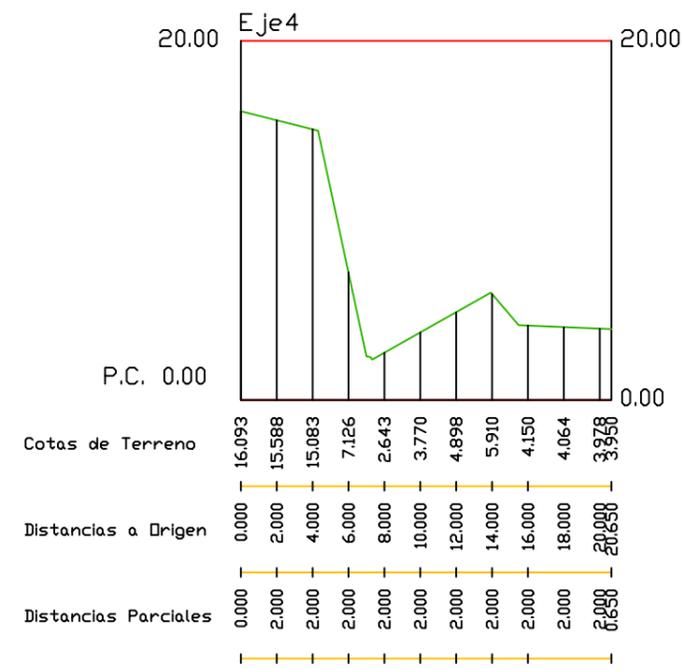
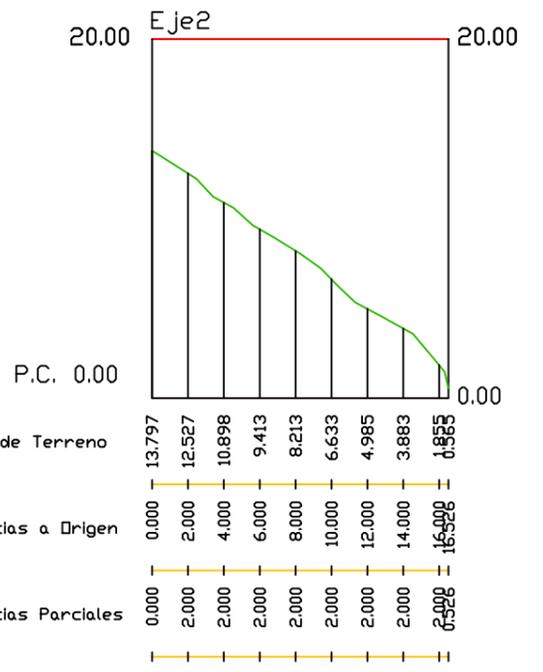
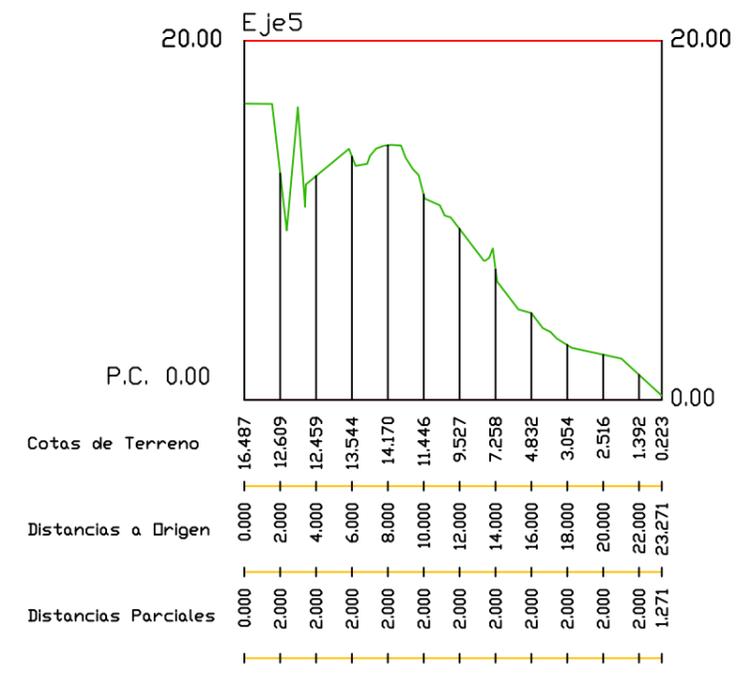
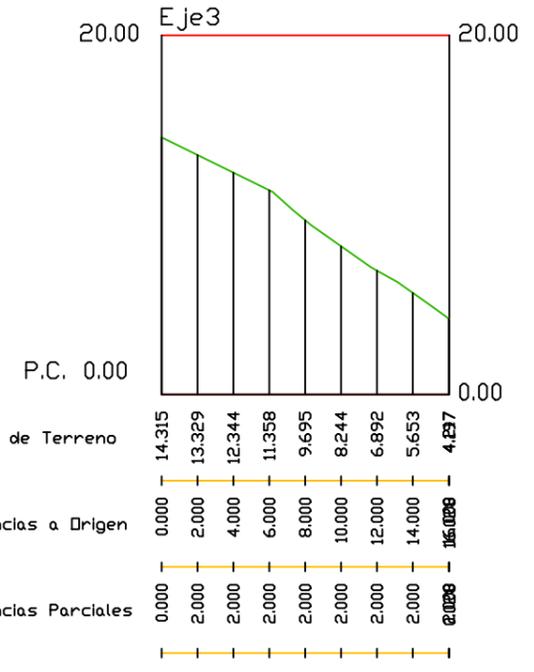
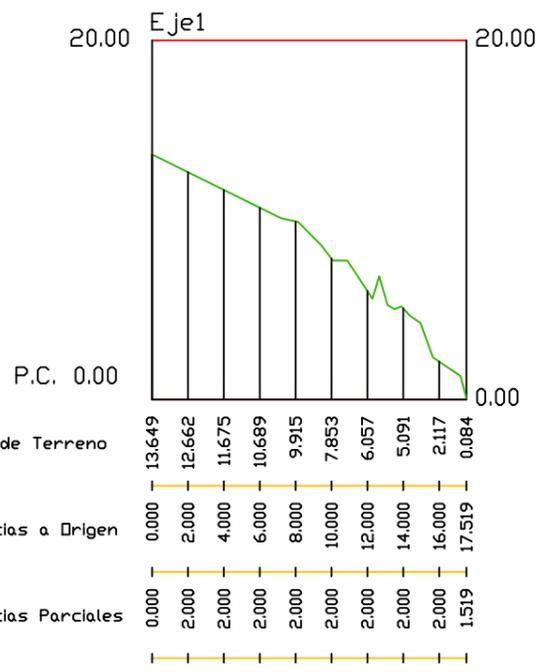


Fotografías del área objeto de estudio (Margen Oeste – Noroeste)



## 12. APÉNDICE 4 PLANO Y PERFIL TOPOGRAFICO







### 13. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SECCIÓN ESTE

# **Phase2 Analysis Information**

## **Project1**

### **Project Summary**

---

File Name: seccion Este Last saved with  
Phase2 version: 8.005 Project Title:  
Project1

### **General Settings**

---

Single stage model  
Analysis Type: Plane Strain  
Solver Type: Gaussian Elimination  
Units: Metric, stress as kPa

### **Analysis Options**

---

Maximum Number of Iterations: 500  
Tolerance: 0.001  
Number of Load Steps: Automatic  
Convergence Type: Absolute Energy  
Tensile Failure: Reduces Shear Strength  
Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01

### **Strength Reduction Settings**

---

Initial Estimate of SRF: 1  
Step Size: Automatic  
Tolerance (SRF): 0.01  
Limit SSR Search Area: No  
Apply SSR to Mohr-Coulomb Tensile Strength: Yes  
Convergence Parameters: Automatic

### **Groundwater Analysis**

---

Method: Piezometric Lines  
Pore Fluid Unit Weight: 0.00981 kN/m<sup>3</sup>  
Probability: None

### **Field Stress**

---

Field stress: gravity  
Using actual ground surface  
Effective stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 0.5  
Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.5  
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0

Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

## Mesh

---

Mesh type: graded  
 Element type: 3 noded triangles  
 Number of elements: 6475  
 Number of nodes: 4293

## Mesh Quality

---

10 of 4977 Elements ( 0.2 % of elements) are poor quality elements  
 9 of 4977 Elements ( 0.2 % of elements) are poor quality elements because of the side length ratio  
 10 of 4977 Elements ( 0.2 % of elements) are poor quality elements because of the minimum interior angle  
 0 of 4977 Elements ( 0.0 % of elements) are poor quality elements because of the maximum interior angle  
 0 of 4977 Elements ( 0.0 % of elements) are poor quality elements because they are inverted  
**Note:** Elements can be of poor quality for more than one reason

### Poor quality elements defined as:

- Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00
- Minimum interior angle < 2.0 degrees
- Maximum interior angle > 175.0 degrees

## Excavation Areas

---

### Original Un-deformed Areas

External Boundary Area: 225.806 m<sup>2</sup>  
 External Boundary Perimeter: 68.504 m

### Stage 1

External Boundary Area: 225.757 m<sup>2</sup> (-0.0488445 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 68.497 m (-0.00681337 m change from original perimeter)

## Material Properties

---

### Material: Substrato rocoso Devónico



Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	24 kN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	2.2e+006 kPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	10 kPa
Residual tensile strength	0 kPa
Peak friction angle	45.45 degrees
Peak cohesion	130 kPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	8 degrees
Residual Friction Angle	45.45 degrees
Residual Cohesion	130 kPa
Piezo to use	None
Ru value	0

### Shear Strength Reduction - Material Properties

Strength Reduction Factor: 1  
 Maximum Total Displacement: 0.00707511 m  
 Converged: yes

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	45.45 degrees
Peak cohesion	130 kPa
Residual Friction Angle	45.45 degrees
Residual Cohesion	130 kPa

Strength Reduction Factor: 1.2  
 Maximum Total Displacement: 0.00734055 m  
 Converged: yes

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	40.2488 degrees
Peak cohesion	108.333 kPa
Residual Friction Angle	40.2488 degrees
Residual Cohesion	108.333 kPa

Strength Reduction Factor: 1.35  
 Maximum Total Displacement: 0.0076052 m  
 Converged: yes

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	36.9603 degrees
Peak cohesion	96.2963 kPa
Residual Friction Angle	36.9603 degrees
Residual Cohesion	96.2963 kPa

Strength Reduction Factor: 1.42  
 Maximum Total Displacement: 0.00775943 m  
 Converged: yes

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	35.579 degrees
Peak cohesion	91.5493 kPa
Residual Friction Angle	35.579 degrees
Residual Cohesion	91.5493 kPa

Critical Strength Reduction Factor: 1.46  
 Maximum Total Displacement: 0.00785438 m  
 Converged: yes

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	34.8293 degrees
Peak cohesion	89.0411 kPa
Residual Friction Angle	34.8293 degrees
Residual Cohesion	89.0411 kPa

Strength Reduction Factor: 1.47  
 Maximum Total Displacement: 0.00791056 m  
 Converged: no

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	34.6461 degrees
Peak cohesion	88.4354 kPa
Residual Friction Angle	34.6461 degrees
Residual Cohesion	88.4354 kPa

Strength Reduction Factor: 1.48  
 Maximum Total Displacement: 0.00794226 m  
 Converged: no

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	34.4647 degrees
Peak cohesion	87.8378 kPa
Residual Friction Angle	34.4647 degrees
Residual Cohesion	87.8378 kPa

Strength Reduction Factor: 1.5  
 Maximum Total Displacement: 0.00869918 m  
 Converged: no

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	34.1067 degrees
Peak cohesion	86.6667 kPa
Residual Friction Angle	34.1067 degrees
Residual Cohesion	86.6667 kPa

Strength Reduction Factor: 1.85  
 Maximum Total Displacement: 0.0209105 m  
 Converged: no

--	--

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	28.7711 degrees
Peak cohesion	70.2703 kPa
Residual Friction Angle	28.7711 degrees
Residual Cohesion	70.2703 kPa

## Joint Properties

### Joint: Joint 1

Color	
Normal stiffness	1e+006 kPa/m
Shear stiffness	100000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	Mohr-Coulomb
Tensile strength	0 kPa (tension positive)
Cohesion	22.5 kPa
Friction angle	36.5 degrees
Apply SSR?	Yes

### Joint: Joint 2

Color	
Normal stiffness	1e+006 kPa/m
Shear stiffness	100000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	Mohr-Coulomb
Tensile strength	0 kPa (tension positive)
Cohesion	16.5 kPa
Friction angle	35.4 degrees
Apply SSR?	Yes

### Joint: Joint 3

Color	
Normal stiffness	1e+006 kPa/m
Shear stiffness	100000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	Mohr-Coulomb
Tensile strength	0 kPa (tension positive)
Cohesion	16.5 kPa
Friction angle	35.4 degrees
Apply SSR?	Yes

## Displacements

Maximum total displacement: 0.0070831 m

## ***Yielded Elements***

---

### **Yielded Mesh Elements**

Number of yielded mesh elements: 662

### **Yielded Joint Elements**

Number of yielded joint elements: 48

## ***List of All Coordinates***

---

### **External boundary**

<b>X</b>	<b>Y</b>
0	15.2869
-1.19569	15.3414
-3.5	14.919
-3.5	-0.93
17.0312	-0.93
17.0312	0
16	1.78605
15.521	2.345
15.3789	2.51084
14.8389	2.60431
14.977	4.249
14.353	4.689
13.977	5.117
13.887	5.18
13.542	5.038
13.49	5.055
13.131	5.261
12.2668	5.44452
13.2366	7.59712
12.3741	7.57581
10.1306	7.9167
10.5963	8.73955
8	9.51102
6	10.8109
3.63925	12.2282
2.22626	14.3936



## 14. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SECCIÓN OESTE 1

# ***Phase2 Analysis Information***

## ***Project2***

### ***Project Summary***

---

File Name: seccion Oeste extraplomado  
Last saved with Phase2 version: 8.005  
Project Title: Project2

### ***General Settings***

---

Single stage model  
Analysis Type: Plane Strain  
Solver Type: Gaussian Elimination  
Units: Metric, stress as kPa

### ***Analysis Options***

---

Maximum Number of Iterations: 500  
Tolerance: 0.001  
Number of Load Steps: Automatic  
Convergence Type: Absolute Energy  
Tensile Failure: Reduces Shear Strength  
Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01

### ***Strength Reduction Settings***

---

Initial Estimate of SRF: 1  
Step Size: Automatic  
Tolerance (SRF): 0.01  
Limit SSR Search Area: No  
Apply SSR to Mohr-Coulomb Tensile Strength: Yes  
Convergence Parameters: User-Defined  
Tolerance (Stress Analysis): 0.001  
Maximum Number of Iterations: 500  
Convergence Type: Absolute Energy

### ***Groundwater Analysis***

---

Method: Piezometric Lines  
Pore Fluid Unit Weight: 0.00981 kN/m<sup>3</sup>  
Probability: None

### ***Field Stress***

---

Field stress: gravity  
Using actual ground surface

Effective stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 0.5  
 Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.5  
 Locked-in horizontal stress (in-plane): 0  
 Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

## Mesh

---

Mesh type: graded  
 Element type: 3 noded triangles  
 Number of elements: 3242  
 Number of nodes: 2369

## Mesh Quality

---

14 of 2234 Elements ( 0.6 % of elements) are poor quality elements  
 11 of 2234 Elements ( 0.5 % of elements) are poor quality elements because of the side length ratio  
 14 of 2234 Elements ( 0.6 % of elements) are poor quality elements because of the minimum interior angle  
 1 of 2234 Elements ( 0.0 % of elements) are poor quality elements because of the maximum interior angle  
 0 of 2234 Elements ( 0.0 % of elements) are poor quality elements because they are inverted  
 Note: Elements can be of poor quality for more than one reason

### Poor quality elements defined as:

- Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00
- Minimum interior angle < 2.0 degrees
- Maximum interior angle > 175.0 degrees

## Excavation Areas

---

### Original Un-deformed Areas

External Boundary Area: 224.557 m<sup>2</sup>  
 External Boundary Perimeter: 63.434 m

### Stage 1

External Boundary Area: 224.546 m<sup>2</sup> (-0.0119471 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 63.421 m (-0.012576 m change from original perimeter)

## Material Properties

---

### Material: Substrato rocoso Devónico



Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	24 kN/m <sup>3</sup>
Elastic type	isotropic
Young's modulus	2.2e+006 kPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	10 kPa
Residual tensile strength	0 kPa
Peak friction angle	45.45 degrees
Peak cohesion	130 kPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	8 degrees
Residual Friction Angle	45.45 degrees
Residual Cohesion	130 kPa
Piezo to use	None
Ru value	0

### **Shear Strength Reduction - Material Properties**

Strength Reduction Factor: 1  
 Maximum Total Displacement: 0.0132458 m  
 Converged: yes

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	45.45 degrees
Peak cohesion	130 kPa
Residual Friction Angle	45.45 degrees
Residual Cohesion	130 kPa

Strength Reduction Factor: 1.1  
 Maximum Total Displacement: 0.0146443 m  
 Converged: yes

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	42.722 degrees
Peak cohesion	118.182 kPa
Residual Friction Angle	42.722 degrees
Residual Cohesion	118.182 kPa

Strength Reduction Factor: 1.11  
 Maximum Total Displacement: 0.0152913 m  
 Converged: yes

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	42.4636 degrees
Peak cohesion	117.117 kPa
Residual Friction Angle	42.4636 degrees
Residual Cohesion	117.117 kPa

Strength Reduction Factor: 1.12  
 Maximum Total Displacement: 0.01566 m  
 Converged: yes

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	42.2078 degrees
Peak cohesion	116.071 kPa
Residual Friction Angle	42.2078 degrees
Residual Cohesion	116.071 kPa

Critical Strength Reduction Factor: 1.13  
 Maximum Total Displacement: 0.0160759 m  
 Converged: yes

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	41.9545 degrees
Peak cohesion	115.044 kPa
Residual Friction Angle	41.9545 degrees
Residual Cohesion	115.044 kPa

Strength Reduction Factor: 1.14  
 Maximum Total Displacement: 0.0177075 m  
 Converged: no

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	41.7036 degrees
Peak cohesion	114.035 kPa
Residual Friction Angle	41.7036 degrees
Residual Cohesion	114.035 kPa

Strength Reduction Factor: 1.2  
 Maximum Total Displacement: 0.0194282 m  
 Converged: no

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	40.2488 degrees
Peak cohesion	108.333 kPa
Residual Friction Angle	40.2488 degrees
Residual Cohesion	108.333 kPa

Strength Reduction Factor: 1.6  
 Maximum Total Displacement: 0.0533128 m  
 Converged: no

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	32.4113 degrees
Peak cohesion	81.25 kPa
Residual Friction Angle	32.4113 degrees
Residual Cohesion	81.25 kPa

## Joint Properties

### Joint: Joint 1

Color	
Normal stiffness	1e+006 kPa/m
Shear stiffness	100000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	Mohr-Coulomb
Tensile strength	0 kPa (tension positive)
Cohesion	25.3 kPa
Friction angle	38.5 degrees
Apply SSR?	Yes

### Joint: Joint 2

Color	
Normal stiffness	1e+006 kPa/m
Shear stiffness	100000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	Mohr-Coulomb
Tensile strength	0 kPa (tension positive)
Cohesion	18.5 kPa
Friction angle	35.44 degrees
Apply SSR?	Yes

### Joint: Joint 3

Color	
Normal stiffness	1e+006 kPa/m
Shear stiffness	100000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	Mohr-Coulomb
Tensile strength	0 kPa (tension positive)
Cohesion	16.5 kPa
Friction angle	35.44 degrees
Apply SSR?	Yes

## Displacements

---

Maximum total displacement: 0.0132749 m

## Yielded Elements

---

### Yielded Mesh Elements

Number of yielded mesh elements: 731

### Yielded Joint Elements

Number of yielded joint elements: 126

## List of All Coordinates

---

### External boundary

X	Y
-2.83349	15.5335
-3.3	14.652
-4.176	11.648
-3.428	7.945
-5.897	5.813
-8.597	0.566
-8.597	-2.565
6.061	-2.565
6.061	16.416
3.428	17.1633
0.800412	17.1633
-1.506	16.909



## 15. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SECCIÓN OESTE 2

# **Phase2 Analysis Information**

## **Project2**

### **Project Summary**

---

File Name: seccion Oeste 2  
Last saved with Phase2 version: 8.005  
Project Title: Project2

### **General Settings**

---

Single stage model  
Analysis Type: Plane Strain  
Solver Type: Gaussian Elimination  
Units: Metric, stress as kPa

### **Analysis Options**

---

Maximum Number of Iterations: 500  
Tolerance: 0.001  
Number of Load Steps: Automatic  
Convergence Type: Absolute Energy  
Tensile Failure: Reduces Shear Strength  
Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01

### **Strength Reduction Settings**

---

Initial Estimate of SRF: 1  
Step Size: Automatic  
Tolerance (SRF): 0.01  
Limit SSR Search Area: No  
Apply SSR to Mohr-Coulomb Tensile Strength: Yes  
Convergence Parameters: User-Defined  
Tolerance (Stress Analysis): 0.001  
Maximum Number of Iterations: 500  
Convergence Type: Absolute Energy

### **Groundwater Analysis**

---

Method: Piezometric Lines  
Pore Fluid Unit Weight: 0.00981 kN/m<sup>3</sup>  
Probability: None

### **Field Stress**

---

Field stress: gravity  
Using actual ground surface

Effective stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 0.5  
 Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.5  
 Locked-in horizontal stress (in-plane): 0  
 Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

## Mesh

---

Mesh type: graded  
 Element type: 3 noded triangles  
 Number of elements: 3230  
 Number of nodes: 2354

## Mesh Quality

---

13 of 2235 Elements ( 0.6 % of elements) are poor quality elements  
 10 of 2235 Elements ( 0.4 % of elements) are poor quality elements because of the side length ratio  
 13 of 2235 Elements ( 0.6 % of elements) are poor quality elements because of the minimum interior angle  
 1 of 2235 Elements ( 0.0 % of elements) are poor quality elements because of the maximum interior angle  
 0 of 2235 Elements ( 0.0 % of elements) are poor quality elements because they are inverted  
**Note:** Elements can be of poor quality for more than one reason

### Poor quality elements defined as:

- Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00
- Minimum interior angle < 2.0 degrees
- Maximum interior angle > 175.0 degrees

## Excavation Areas

---

### Original Un-deformed Areas

External Boundary Area: 220.127 m<sup>2</sup>  
 External Boundary Perimeter: 62.916 m

### Stage 1

Values not available until this stage is viewed in a window

## Material Properties

---

### Material: Substrato rocoso Devónico



Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	24 kN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	2.2e+006 kPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	10 kPa
Residual tensile strength	0 kPa
Peak friction angle	45.45 degrees
Peak cohesion	130 kPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	8 degrees
Residual Friction Angle	45.45 degrees
Residual Cohesion	130 kPa
Piezo to use	None
Ru value	0

### Shear Strength Reduction - Material Properties

Strength Reduction Factor: 1  
 Maximum Total Displacement: 0.0171917 m  
 Converged: yes

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	45.45 degrees
Peak cohesion	130 kPa
Residual Friction Angle	45.45 degrees
Residual Cohesion	130 kPa

Strength Reduction Factor: 1.05  
 Maximum Total Displacement: 0.018975 m  
 Converged: yes

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	44.0525 degrees
Peak cohesion	123.81 kPa
Residual Friction Angle	44.0525 degrees
Residual Cohesion	123.81 kPa

Strength Reduction Factor: 1.07  
 Maximum Total Displacement: 0.0203807 m  
 Converged: yes

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	43.5124 degrees
Peak cohesion	121.495 kPa
Residual Friction Angle	43.5124 degrees
Residual Cohesion	121.495 kPa

Strength Reduction Factor: 1.08  
 Maximum Total Displacement: 0.0205563 m  
 Converged: yes

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	43.2463 degrees
Peak cohesion	120.37 kPa
Residual Friction Angle	43.2463 degrees
Residual Cohesion	120.37 kPa

Critical Strength Reduction Factor: 1.09  
 Maximum Total Displacement: 0.0212707 m  
 Converged: yes

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	42.9829 degrees
Peak cohesion	119.266 kPa
Residual Friction Angle	42.9829 degrees
Residual Cohesion	119.266 kPa

Strength Reduction Factor: 1.1  
 Maximum Total Displacement: 0.0218627 m  
 Converged: no

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	42.722 degrees
Peak cohesion	118.182 kPa
Residual Friction Angle	42.722 degrees
Residual Cohesion	118.182 kPa

Strength Reduction Factor: 1.2  
 Maximum Total Displacement: 0.0281683 m  
 Converged: no

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	40.2488 degrees
Peak cohesion	108.333 kPa
Residual Friction Angle	40.2488 degrees
Residual Cohesion	108.333 kPa

## Joint Properties

### Joint: Joint 1

Color	
Normal stiffness	1e+006 kPa/m
Shear stiffness	100000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	Mohr-Coulomb
Tensile strength	0 kPa (tension positive)
Cohesion	25.3 kPa
Friction angle	38.5 degrees
Apply SSR?	Yes

**Joint: Joint 2**

Color	
Normal stiffness	1e+006 kPa/m
Shear stiffness	100000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	Mohr-Coulomb
Tensile strength	0 kPa (tension positive)
Cohesion	18.5 kPa
Friction angle	35.44 degrees
Apply SSR?	Yes

**Joint: Joint 3**

Color	
Normal stiffness	1e+006 kPa/m
Shear stiffness	100000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	Mohr-Coulomb
Tensile strength	0 kPa (tension positive)
Cohesion	16.5 kPa
Friction angle	35.44 degrees
Apply SSR?	Yes

***Displacements***

Displacement data is not available until total displacement is viewed in a window

***Yielded Elements***

**Yielded Mesh Elements**

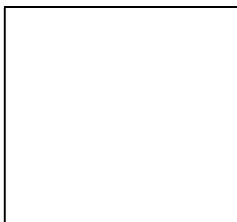
Number of yielded mesh elements is not available for Stage 1 until the stage is viewed in a window

**Yielded Joint Elements**

Number of yielded joint elements: 180

***List of All Coordinates***

**External boundary**



X	Y
-2.83349	15.5335
-3.3	14.652
-4	9.24267
-5.961	3.126
-8.597	0.566
-8.597	-2.565
6.061	-2.565
6.061	16.416
3.428	17.1633
0.800412	17.1633
-1.506	16.909



## 16. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SECCIÓN NOROESTE

# **Phase2 Analysis Information**

## **Project1**

### **Project Summary**

---

File Name: Sección Nor-oeste  
Last saved with Phase2 version: 8.005  
Project Title: Project1

### **General Settings**

---

Single stage model  
Analysis Type: Plane Strain  
Solver Type: Gaussian Elimination  
Units: Metric, stress as kPa

### **Analysis Options**

---

Maximum Number of Iterations: 500  
Tolerance: 0.001  
Number of Load Steps: Automatic  
Convergence Type: Absolute Energy  
Tensile Failure: Reduces Shear Strength  
Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01

### **Strength Reduction Settings**

---

Initial Estimate of SRF: 1  
Step Size: Automatic  
Tolerance (SRF): 0.01  
Limit SSR Search Area: Yes  
Apply SSR to Mohr-Coulomb Tensile Strength: Yes  
Convergence Parameters: Automatic

### **Groundwater Analysis**

---

Method: Piezometric Lines  
Pore Fluid Unit Weight: 0.00981 kN/m<sup>3</sup>  
Probability: None

### **Field Stress**

---

Field stress: gravity  
Using actual ground surface  
Effective stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 0.5  
Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.5  
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0

Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

## Mesh

---

Mesh type: graded  
 Element type: 3 noded triangles  
 Number of elements: 10690  
 Number of nodes: 7893

## Mesh Quality

---

52 of 7413 Elements ( 0.7 % of elements) are poor quality elements  
 41 of 7413 Elements ( 0.6 % of elements) are poor quality elements because of the side length ratio  
 52 of 7413 Elements ( 0.7 % of elements) are poor quality elements because of the minimum interior angle  
 3 of 7413 Elements ( 0.0 % of elements) are poor quality elements because of the maximum interior angle  
 0 of 7413 Elements ( 0.0 % of elements) are poor quality elements because they are inverted  
**Note:** Elements can be of poor quality for more than one reason

### Poor quality elements defined as:

- Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00
- Minimum interior angle < 2.0 degrees
- Maximum interior angle > 175.0 degrees

## Excavation Areas

---

### Original Un-deformed Areas

External Boundary Area: 284.779 m<sup>2</sup>  
 External Boundary Perimeter: 70.430 m

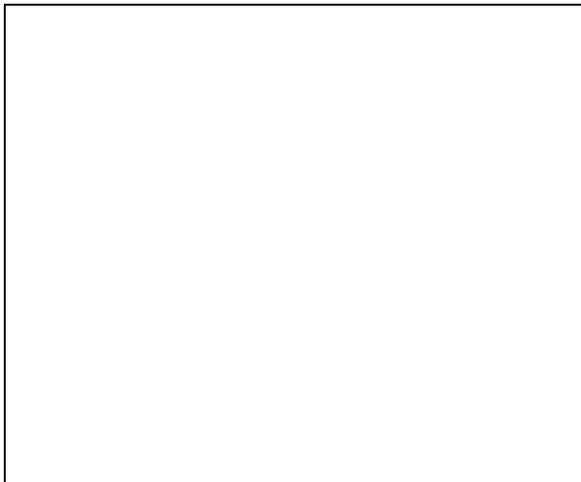
### Stage 1

Values not available until this stage is viewed in a window

## Material Properties

---

### Material: Substrato rocoso Devónico



Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	24 kN/m <sup>3</sup>
Elastic type	isotropic
Young's modulus	2.2e+006 kPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	10 kPa
Residual tensile strength	0 kPa
Peak friction angle	45.45 degrees
Peak cohesion	130 kPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	8 degrees
Residual Friction Angle	45.45 degrees
Residual Cohesion	130 kPa
Piezo to use	None
Ru value	0

### Shear Strength Reduction - Material Properties

Strength Reduction Factor: 1  
 Maximum Total Displacement: 0.050009 m  
 Converged: yes

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	45.45 degrees
Peak cohesion	130 kPa
Residual Friction Angle	45.45 degrees
Residual Cohesion	130 kPa

Strength Reduction Factor: 1.2  
 Maximum Total Displacement: 0.0645379 m  
 Converged: yes

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	40.2488 degrees
Peak cohesion	108.333 kPa
Residual Friction Angle	40.2488 degrees
Residual Cohesion	108.333 kPa

Strength Reduction Factor: 1.25  
 Maximum Total Displacement: 0.0728476 m  
 Converged: yes

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	39.0996 degrees
Peak cohesion	104 kPa
Residual Friction Angle	39.0996 degrees
Residual Cohesion	104 kPa

Strength Reduction Factor: 1.27  
 Maximum Total Displacement: 0.0763614 m  
 Converged: yes

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	38.6552 degrees
Peak cohesion	102.362 kPa
Residual Friction Angle	38.6552 degrees
Residual Cohesion	102.362 kPa

Strength Reduction Factor: 1.28  
 Maximum Total Displacement: 0.0779475 m  
 Converged: yes

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	38.4362 degrees
Peak cohesion	101.563 kPa
Residual Friction Angle	38.4362 degrees
Residual Cohesion	101.563 kPa

Critical Strength Reduction Factor: 1.29  
 Maximum Total Displacement: 0.0812302 m  
 Converged: yes

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	38.2193 degrees
Peak cohesion	100.775 kPa
Residual Friction Angle	38.2193 degrees
Residual Cohesion	100.775 kPa

Strength Reduction Factor: 1.3  
 Maximum Total Displacement: 0.0823476 m  
 Converged: no

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	38.0044 degrees
Peak cohesion	100 kPa
Residual Friction Angle	38.0044 degrees
Residual Cohesion	100 kPa

Strength Reduction Factor: 1.4  
 Maximum Total Displacement: 0.103941 m  
 Converged: no

Material	Substrato rocoso Devónico
Peak friction angle	35.9644 degrees
Peak cohesion	92.8571 kPa
Residual Friction Angle	35.9644 degrees
Residual Cohesion	92.8571 kPa

## Joint Properties

### Joint: Joint 1



Color	
Normal stiffness	1e+006 kPa/m
Shear stiffness	100000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	Mohr-Coulomb
Tensile strength	0 kPa (tension positive)
Cohesion	25.3 kPa
Friction angle	38.5 degrees
Apply SSR?	Yes

**Joint: Joint 2**

Color	
Normal stiffness	1e+006 kPa/m
Shear stiffness	100000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	Mohr-Coulomb
Tensile strength	0 kPa (tension positive)
Cohesion	18.5 kPa
Friction angle	35.44 degrees
Apply SSR?	Yes

**Joint: Joint 3**

Color	
Normal stiffness	1e+006 kPa/m
Shear stiffness	100000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	Mohr-Coulomb
Tensile strength	0 kPa (tension positive)
Cohesion	16.5 kPa
Friction angle	35.44 degrees
Apply SSR?	Yes

**Joint: Joint 4**

Color	
Normal stiffness	100000 kPa/m
Shear stiffness	10000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Not Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	Mohr-Coulomb
Tensile strength	0 kPa (tension positive)
Cohesion	16.5 kPa
Friction angle	35.44 degrees
Apply SSR?	No

## ***Displacements***

Displacement data is not available until total displacement is viewed in a window

## ***Yielded Elements***

### **Yielded Mesh Elements**

Number of yielded mesh elements is not available for Stage 1 until the stage is viewed in a window

### **Yielded Joint Elements**

Number of yielded joint elements: 475

## ***List of All Coordinates***

### **External boundary**

<b>X</b>	<b>Y</b>
2.328	-2.98889
2.328	15.777
-2.027	15.578
-4.769	15.4851
-6.347	15.687
-6.912	15.611
-7.35423	15.3365
-7.932	14.823
-8.233	14.511
-8.477	14.181
-9.15273	14.181
-9.379	14.241
-8.984	13.485
-9.388	12.855
-9.727	12.512
-10.061	11.208
-10.897	10.833
-11.175	10.258
-11.511	10.161
-12	7.14899
-14	4.35881
-16	1.90562
-16.923	0
-16.923	-3



# ingeniería

IDEAS Y FUTURO INGENIERIA, S.L.  
Centro Cívico Comercial  
c/ Carlos López Otín 3 – Planta 2ª - Oficina 20  
33005 – Oviedo  
Asturias

Tfo: 984 183 404  
Fax: 984 183 468

[info@ifingenieria.com](mailto:info@ifingenieria.com)  
[www.ifingenieria.com](http://www.ifingenieria.com)





MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

## **ANEXO 03**

# **INFORME DE MODELIZACIÓN MORFO-HIDRODINÁMICA EN LA PEÑONA, T.M. CASTRILLÓN, ASTURIAS**

# INFORME DE MODELIZACIÓN MORFO-HIDRODINÁMICA EN LA PEÑONA, T.M. CASTRILLÓN, ASTURIAS

ENERO DE 2024

**Firmado:**

Firmado por REYES MERLO MIGUEL  
ANGEL - \*\*\*5473\*\* el día  
24/01/2024 con un certificado  
emitido por AC FNMT Usuarios

Miguel Ángel Reyes Merlo.  
**Jefe de Servicio de Proyectos y Obras.**  
Demarcación de Costas en Asturias.

**Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos del Estado.**  
**Colegiado núm. 35.568**

**Máster en Hidráulica Ambiental** por las Universidades de  
Granada, Córdoba y Málaga.

**Doctor en Dinámica de los Flujos Biogeoquímicos y sus  
Aplicaciones** por las Universidades de Granada, Córdoba  
y Málaga.

## Contenido

Índice de ilustraciones.....	2
Antecedentes .....	4
Datos de partida.....	5
Topobatemetría.....	5
Oleaje y clima marítimo .....	6
Niveles Mareales .....	8
Descripción y proceso del modelado.....	9
Descripción del modelo.....	9
Calibración y validación .....	9
Predimensionamiento y modelización de medidas de protección. ....	12
Descripción de soluciones. ....	12
Premisas de diseño .....	14
Dique sumergido (Escenario 1).....	17
Dique emergido (Escenario 2).....	19
Modelado numérico.....	20
Selección de estados de mar .....	22
Análisis de resultados .....	23
Conclusión.....	31
Referencias.....	32

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1: MDT y curvado de la zona de estudio global (panel sup.) y para una de las mallas empleadas en el modelo numérico, referida al N.M.M.L., en donde los valores positivos se corresponden con las sondas batimétricas (panel inf.).....	6
Ilustración 2: Puntos SIMAR empleados en el informe. ....	7
Ilustración 3: información de los nodos SIMAR exterior (panel izq.) e interior (panel drcho.), facilitada por Puertos del Estado. ....	7
Ilustración 4: Rosa del oleaje anual para SIMAR EXTERIOR (panel izq.) e INTERIOR (panel drcho.). Fuente: Puertos del Estado. ....	8
Ilustración 5: Esquema datum y referencias del REDMAR GIJÓN 2.....	8
Ilustración 6: Mallas empleadas para la propagación del oleaje con el modelo numérico Delft3D-WAVE.....	9
Ilustración 7: Panel superior: Altura de ola para el periodo de calibración y validación analizado en el SIMAR EXTERIOR (línea negra), SIMAR INTERIOR (línea azul) y MODELO (línea roja). Panel inferior: Relación y ajuste entre los valores de altura de ola en el SIMAR INTERIOR y MODELO.....	10
Ilustración 8: Tipos de diques de abrigo, extraída de la ROM 1.1-18. ....	12
Ilustración 9: Profundidades en el área de estudio. Los valores positivos indican niveles bajo el N.M.M.L.....	13
Ilustración 10: Dique en talud tradicional o dique Iribarren con superestructura (panel superior) y sin ella (panel inferior), extraído de la ROM 1.1-18. ....	13
Ilustración 11: Dique sumergido, extraído de la ROM 1.1-18.....	14
Ilustración 12: Datos de régimen medio anual del nodo SIMAR 3084039 procedentes de Puertos del Estado.....	15
Ilustración 13: Ábacos para analizar la respuesta a largo plazo de estructuras en la costa.....	16
Ilustración 14: Ubicación en planta de estructuras de protección.....	16
Ilustración 15: Esquema de dique sumergido tomado de Van der Meer y Daemen (1994).....	17
Ilustración 16: Máximos anuales representados en <i>papel GEV</i> (panel superior) y función de distribución empírica y ajustada (panel inferior), con altura de ola y probabilidad anual de no excedencia.....	18
Ilustración 17: Histograma bidimensional para altura de ola significativa $H_s$ y periodo pico $T_s$ (panel superior), detallado en torno al valor $H_s=9,5$ (panel inferior) .....	19
Ilustración 18: Parámetros necesarios para modelizar las estructuras, es decir, obstáculos a la propagación del oleaje.....	20

Ilustración 19: Panel superior: localización en planta del eje de las estructuras, en función de la distancia a La Peñona, sondas batimétricas y dirección de procedencia del oleaje, en color rojo, trazado para representación de las secciones. Paneles inferiores: Sección para el dique sumergido (E1, izq.) y emergido (E2, dcha.).....	21
Ilustración 20: Altura de ola representativa para régimen medio en el escenario inicial (panel izq.), dique sumergido (panel cen.) y dique emergido (panel dcho.).....	24
Ilustración 21: Altura de ola representativa para régimen extremal en el escenario inicial (panel izq.), dique sumergido (panel cen.) y dique emergido (panel dcho.).....	24
Ilustración 22: Flujo de oleaje representativo para régimen medio en el escenario inicial (panel sup.), dique sumergido (panel cen.) y dique emergido (panel inf.).....	25
Ilustración 23: Flujo de oleaje representativo para régimen extremal en el escenario inicial (panel sup.), dique sumergido (panel cen.) y dique emergido (panel inf.).....	26
Ilustración 24: Diferencias en el flujo del oleaje representativo del régimen medio entre el escenario inicial y con la presencia del dique sumergido (panel sup.) y emergido (panel inf.).....	27
Ilustración 25: Diferencias en el flujo del oleaje representativo del régimen extremal entre el escenario inicial y con la presencia del dique sumergido (panel sup.) y emergido (panel inf.).....	28
Ilustración 26: Divergencia del flujo de oleaje para régimen medio en el escenario inicial (panel izq.), dique sumergido (panel cen.) y dique emergido (panel drcho.).....	29
Ilustración 27: Divergencia del flujo de oleaje para régimen extremal en el escenario inicial (panel izq.), dique sumergido (panel cen.) y dique emergido (panel drcho.).....	29

## Antecedentes

El 13 de julio de 2023, de conformidad con lo establecido en el art. 45 de la vigente Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, se sometió a información pública y oficial del “PROYECTO DE DEMOLICIÓN DEL MIRADOR DE LA PEÑONA Y ADECUACIÓN DEL ENTORNO DEL MUSEO DE LAS ANCLAS EN SALINAS, T.M. DE CASTRILLÓN (ASTURIAS)”.

El 16 de agosto de 2023 tuvo entrada en la Demarcación de Costas en Asturias oficio del Ayuntamiento de Castrillón presentando alegaciones al proyecto acompañándolas, entre otros documentos, por el de “NUEVA ALTERNATIVA PARA LA CONSERVACIÓN DEL ENTORNO DE LA PEÑONA DE SALINAS, CASTRILLÓN (ASTURIAS)” realizado por ESTUDIOS MAREJADA. En éste se recoge lo siguiente:

“

*Hemos valorado la propuesta de una **nueva alternativa** que no ha sido propuesta por Demarcación de Costas en Asturias. Esta propuesta que proponemos se compromete a solucionar al fin el problema de la erosión en la península de La Peñona y en parte con la del sistema playa Salinas - Espartal.*

[...]

*La posibilidad técnica de proceder al desmantelamiento y demolición de los elementos que componen el mirador, y la renaturalización del entorno por parte de Demarcación de Costas de Asturias no comprometen a solucionar el problema real que hay en la zona, la gran erosión en la península de La Peñona, así como la del sistema de la playa en su conjunto.*

[...]

*La erosión del oleaje bajo el saliente de la Peñona ha provocado la aparición de un arco que compromete la estabilidad del mirador, cerrado definitivamente al público actualmente. La acción abrasiva e hidráulica del oleaje, sobre todo en épocas de temporales en invierno y primavera.*

[...]

*El sistema morfodinámico de la playa de Salinas - Espartal se ha visto alterado en las últimas décadas por las ampliaciones y modificaciones en el dique de la entrada de la Ria de Avilés, situado al otro extremo, y a los grandes dragados efectuados.*

[...]

*Nuestra alternativa propuesta sería la combinación de un **dique sumergido** en las cercanías de la península de La Peñona y la colocación de **bulones** en el macizo rocoso sano o sólido.*

[...]

*El **dique sumergido** se realizaría en las cercanías de la península.*

[...]

*- **Dique sumergido o arrecife:** Obra marítima construida con la cota de coronación por debajo de la bajamar, generalmente paralelos a la costa. El objetivo primordial es reducir la acción del oleaje sobre la costa forzando la rotura de la ola sobre el arrecife.*

*- **Dique sumergido en talud:** La geometría de la sección de estos diques es muy similar a la del dique emergido sin espaldón, pero su cota de coronación se encuentra por debajo del nivel del mar*

[...]

*Respeto a los posibles **impactos físicos y geológicos** por el dique sumergido, se tienen que realizar a cabo modelos con los datos de batimetría, configuración del fondo, oleaje, corrientes, transporte de sedimentos y balances sedimentarios, para ver su efecto tanto a la Peñona como al sistema playa Salinas-Espartal en conjunto y comprobar la efectividad de esta propuesta, así como las propuestas por Demarcación de Costas en Asturias.*

*El impacto del oleaje disminuirá, al reducir el tamaño de altura y rotura del olaje provocada por el dique sumergido. Todo esto dependerá de la distancia a la que se ubique el dique por la distancia recorrida de ola.*

”

El presente informe evalúa la eficacia de un dique sumergido en las cercanías de La Peñona ante la acción del oleaje. El bulonado en el macizo rocoso es analizado en documento aparte.

Así pues, este trabajo evalúa el impacto sobre el sistema que producen distintas estructuras de protección (dique sumergido/emergido) a través del análisis de los resultados proporcionados con el modelo numérico Delft3D-WAVE. A partir de datos topo-batimétricos, se simulan estados de mar representativos tanto del régimen medio como extremal, obteniendo los patrones de erosión/sedimentación en función de las variaciones del flujo de energía del oleaje.

## Datos de partida

### Topobatimetría

Se emplea una homogeneización, tanto altimétrica como planimétrica, de distintas fuentes de datos cartográficos y batimétricos, al sistema común establecido por las Normas para la elaboración de Cartografía a Escala 1/1.000, de la Dirección General de la Costa y el Mar, al sistema ETRS89, Proyección U.T.M., en el HUSO 30. La referencia altimétrica, para hacer un adecuado encaje con el modelo numérico, está referida al Nivel Medio del Mar Local (N.M.M.L.), obtenido en función del clavo JPRA E-2 del Puerto de Avilés.

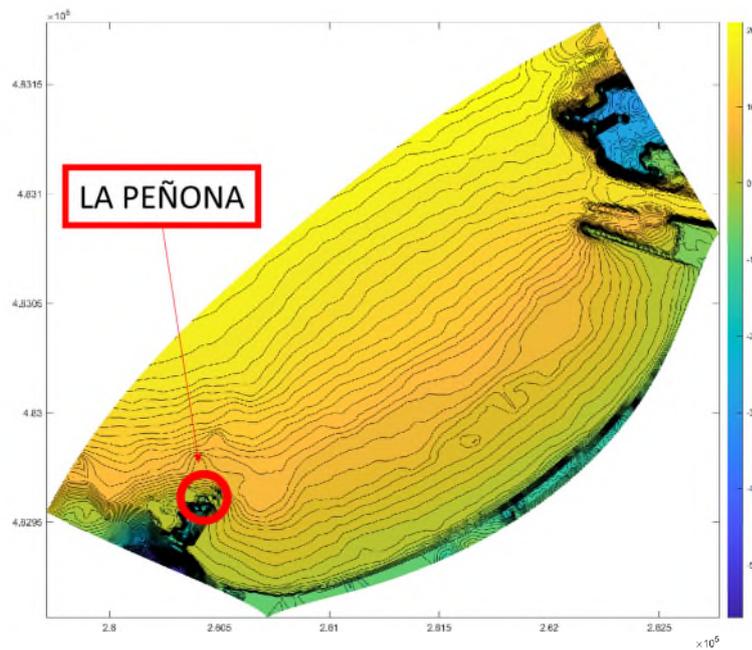
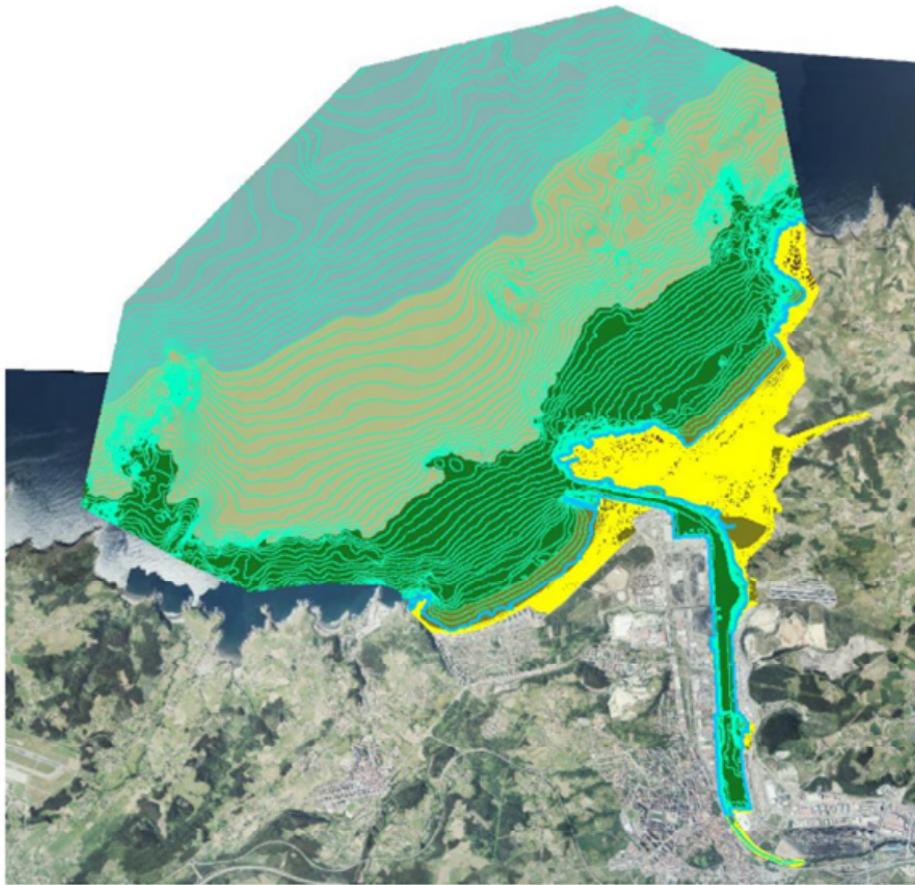
Estos trabajos, confeccionados por la empresa Ingeniería Digital y Medio Ambiente S.L. (IDYMA), en noviembre de 2021, se realizaron con motivo del contrato TRABAJOS DE ELABORACIÓN DE UN MODELO DIGITAL TOPO-BATIMÉTRICO EN EL ENTORNO DEL PUERTO DE AVILÉS.

Los datos empleados son los que se enumeran a continuación:

- Hojas de cartografía a escala 1/1.000 de la Demarcación de Costas en Asturias correspondientes al tramo de Costa del Puerto de Avilés, en coordenadas relativas (los ficheros digitales de las hojas) si bien de elaboración original en el sistema ETRS89, Proyección U.T.M., Huso 30, con referencia altimétrica al N.M.M.A.
- Cartografía a escala 1/1.000 del Ayuntamiento de Avilés, de la zona portuaria, en el sistema ETRS89, Proyección U.T.M., Huso 30, con referencia altimétrica al N.M.M.A.
- Batimetría proporcionada por la Autoridad Portuaria de Avilés en el sistema European ED50, Proyección U.T.M., Huso 30, con referencia altimétrica al cero del Puerto de Avilés, y equidistancia de isobatas de 1 m.
- Levantamiento topográfico LIDAR primera cobertura, en ficheros originales en formato comprimido LAZ, efectuado en el año 2012, con una densidad de puntos 3D de datos (x,y,z) mínima de 0,5 puntos por m<sup>2</sup>, con precisión RMSE<0,20 m. , en el sistema ETRS89, Proyección U.T.M., Huso 30.
- Ortofotografía PNOA MA, con una relación píxel terreno de 0,25 m., en el sistema ETRS89, Proyección U.T.M., Huso 30.
- Batimetría del proveedor *Navionics*, variedad *Sonarchart*, de equidistancia de isobatas de 0,5 m., 1 m. y 2m. (según la proximidad a la línea de orilla), en el sistema ETRS89, Proyección U.T.M., Huso 30, con referencia altimétrica a la BMVE.

Las transformaciones para referenciar en el sistema ETRS89 desde el sistema European ED50, se han realizado en plataforma GIS, aplicando la rejilla oficial del I.G.N. NTV2 de la península oficial del I.G.N., y para las transformaciones a la referencia altimétrica normalizada del N.M.M.A., se han aplicado las referencias altimétricas proporcionadas por la Autoridad Portuaria de Avilés, con las relaciones del CERO del Puerto, del Cero Hidrográfico y de la PMVE con el plano z=0 del I.G.N. (N.M.M.A.)

El MDT, con el curvado final obtenido, se puede apreciar en la Ilustración 1.



**Ilustración 1: MDT y curvado de la zona de estudio global (panel sup.) y para una de las mallas empleadas en el modelo numérico, referida al N.M.M.L., en donde los valores positivos se corresponden con las sondas batimétricas (panel inf.).**

### Oleaje y clima marítimo

Los valores de oleaje y clima marítimo proceden del conjunto de datos SIMAR, que está formado por series temporales de parámetros de viento y oleaje procedentes de modelado numérico. En la costa cantábrica y gallega, la malla tiene una

resolución de 2.5' de latitud x 2,5' de longitud (aproximadamente 4 km x 4 km). Son, por tanto, datos simulados y no proceden de medidas directas de la naturaleza<sup>1</sup>. El conjunto SIMAR ofrece información desde el año 1958 hasta la actualidad.

En este trabajo se emplean dos registros de puntos SIMAR (Ilustración 2):

- SIMAR 3084039- o EXTERIOR-, a suficiente distancia de la costa para estar situado en profundidades indefinidas según Puertos del Estado (Ilustración 3), a unos 55 m. de profundidad según los datos batimétricos empleados (Ilustración 1).
- SIMAR 122012026- o INTERIOR-, situado en profundidades indefinidas según Puertos del Estado (Ilustración 3), a unos 20 m. de profundidad según los datos batimétricos empleados (Ilustración 1).

Puertos del Estado, en <https://portus.puertos.es/#/>, tiene sendos informes climáticos abiertos al público general. Recogemos, a modo ilustrativo y de interés para este trabajo, las rosas de oleaje anual (Ilustración 4).

Para un período característico en el SIMAR EXTERIOR de ~11 segundos, a pesar de que Puertos del Estado los localiza en profundidades indefinidas, un cálculo preliminar establece que nos encontraríamos en profundidades intermedias para ambos nodos (Dean & Dalrymple, 1991). Este aspecto es relevante de cara a la calibración del modelo y su análisis.



Ilustración 2: Puntos SIMAR empleados en el informe.

### NODO SIMAR 3084039

CONJUNTO DE DATOS: SIMAR

CODIGO B.D.	3084039	
LONGITUD	-6.000	E
LATITUD	43.625	N
PROFUNDIDAD	INDEFINIDA	

### NODO SIMAR 122012026

CONJUNTO DE DATOS: SIMAR

CODIGO B.D.	122012026	
LONGITUD	-5.970	E
LATITUD	43.593	N
PROFUNDIDAD	INDEFINIDA	

Ilustración 3: información de los nodos SIMAR exterior (panel izq.) e interior (panel drcho.), facilitada por Puertos del Estado.

<sup>1</sup> [https://bancodatos.puertos.es/BD/informes/INT\\_8.pdf](https://bancodatos.puertos.es/BD/informes/INT_8.pdf)

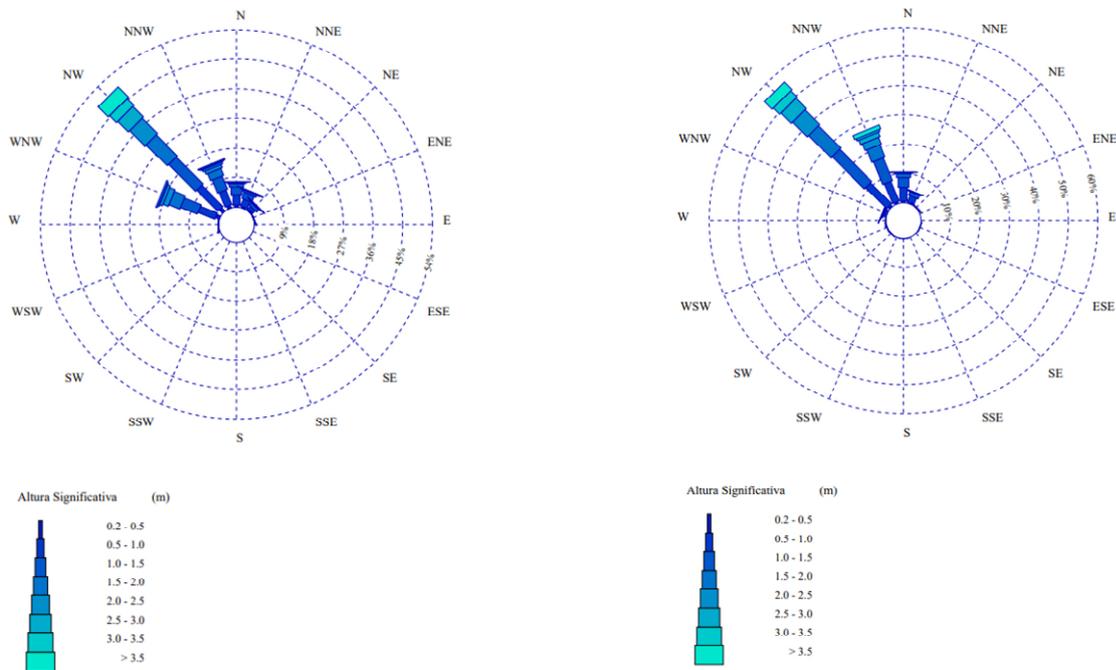


Ilustración 4: Rosa del oleaje anual para SIMAR EXTERIOR (panel izq.) e INTERIOR (panel drcho.). Fuente: Puertos del Estado.

### Niveles Mareales

Para el calibrado y validado del modelo, el nivel astronómico impuesto en el contorno exterior se obtiene con el modelo regional de marea barotrópica de Egbert y Erofeeva (2002).

Como referencia para el apartado de diseño de estructuras, se usan los parámetros relacionados con el nivel del mar y la marea del REDMAR del Puerto de Gijón, en concreto, la del Clavo "NGU-83" (Ilustración 5).

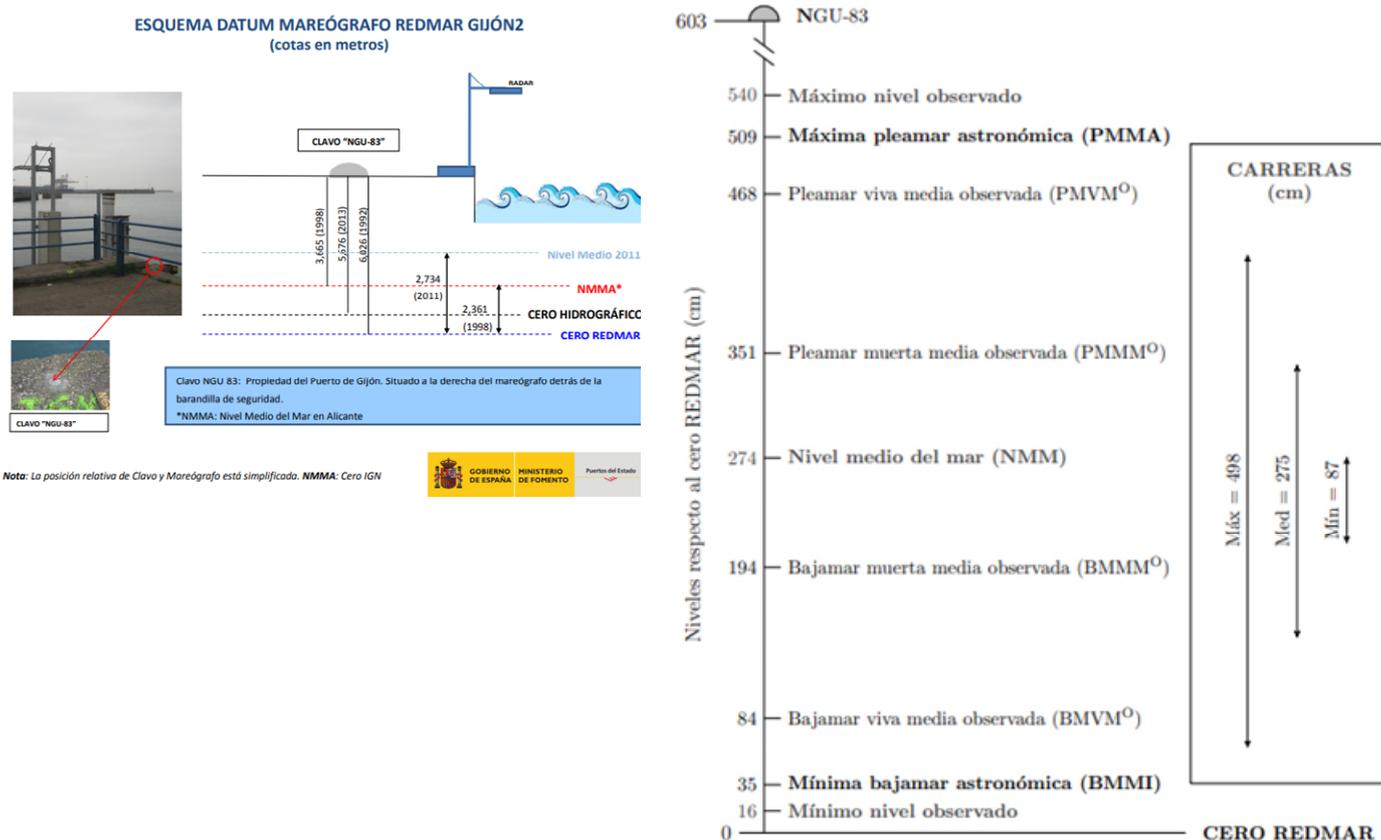


Ilustración 5: Esquema datum y referencias del REDMAR GIJÓN 2.

## Descripción y proceso del modelado

### Descripción del modelo

En este trabajo se emplea el módulo WAVE del modelo numérico Delft3D (Delft3D-WAVE, 2024). Delft3D-WAVE simula la evolución del oleaje generado por viento en aguas costeras pudiendo incluir estuarios, *inlets*, islas barreras con llanuras y canales mareales, entre otros. Dicho módulo calcula la propagación del oleaje inducido por el viento considerando la disipación e interacciones no lineales del oleaje, la batimetría del lecho, el campo del viento, el nivel del agua y el campo de corrientes en aguas profundas, indefinidas y someras.

Para este análisis se usan 4 mallas anidadas (Ilustración 6) con tamaños de celda que varían de 170x260 m en la del contorno exterior a 6x12 m en la interior. Treinta y siete frecuencias de 0,03 a 1 Hz se usan para la resolución espectral.

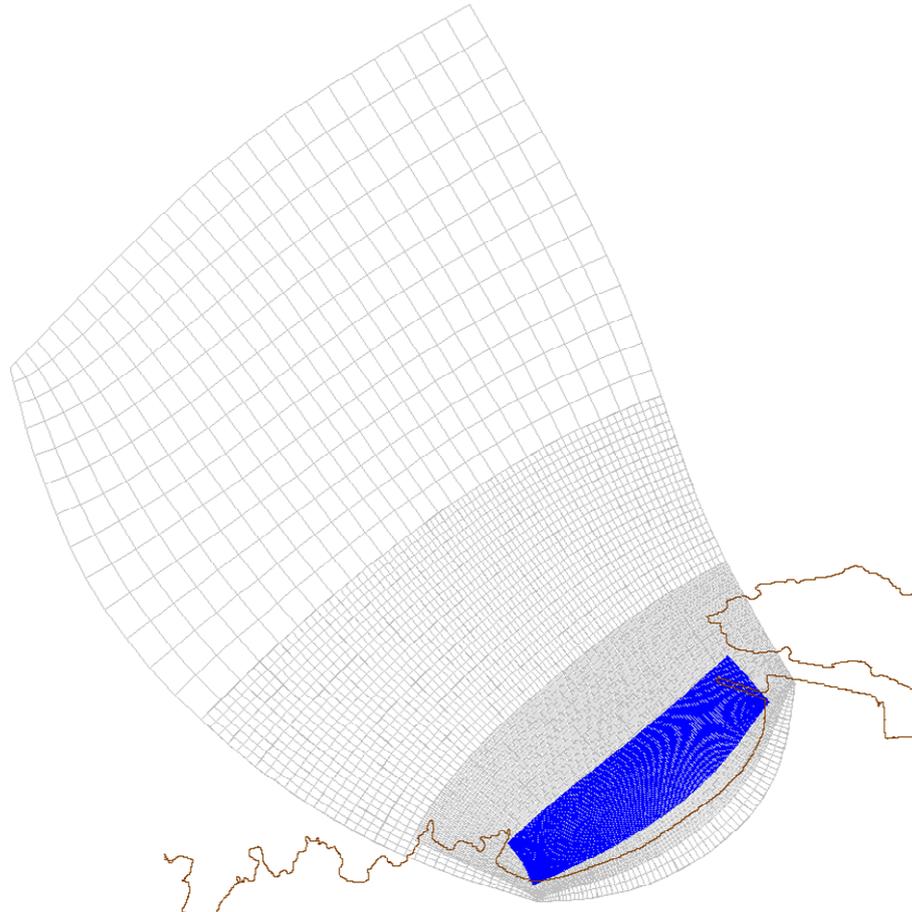


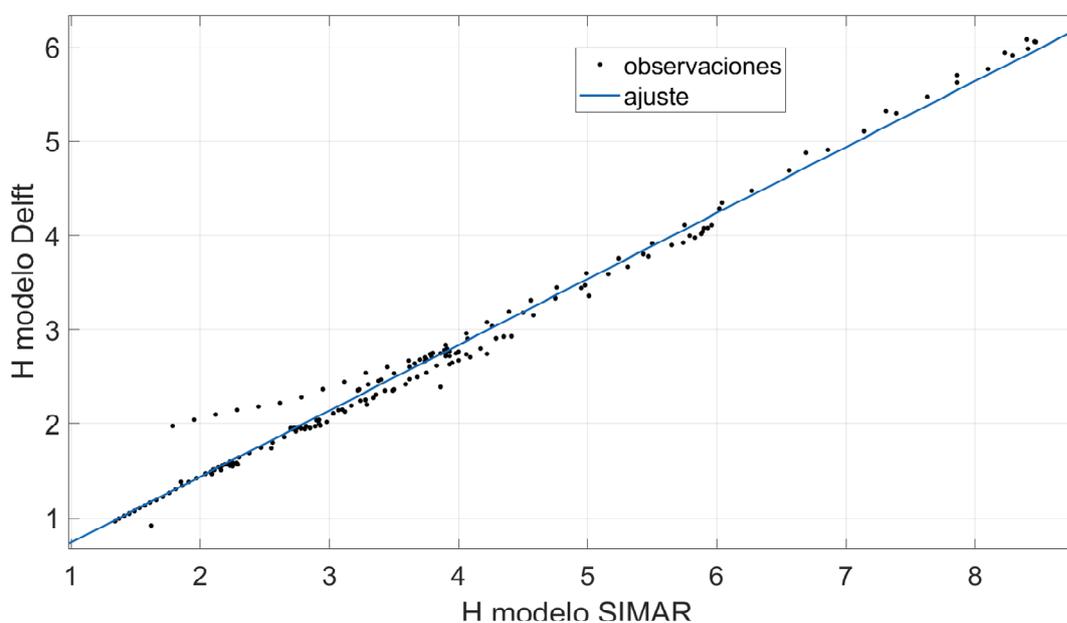
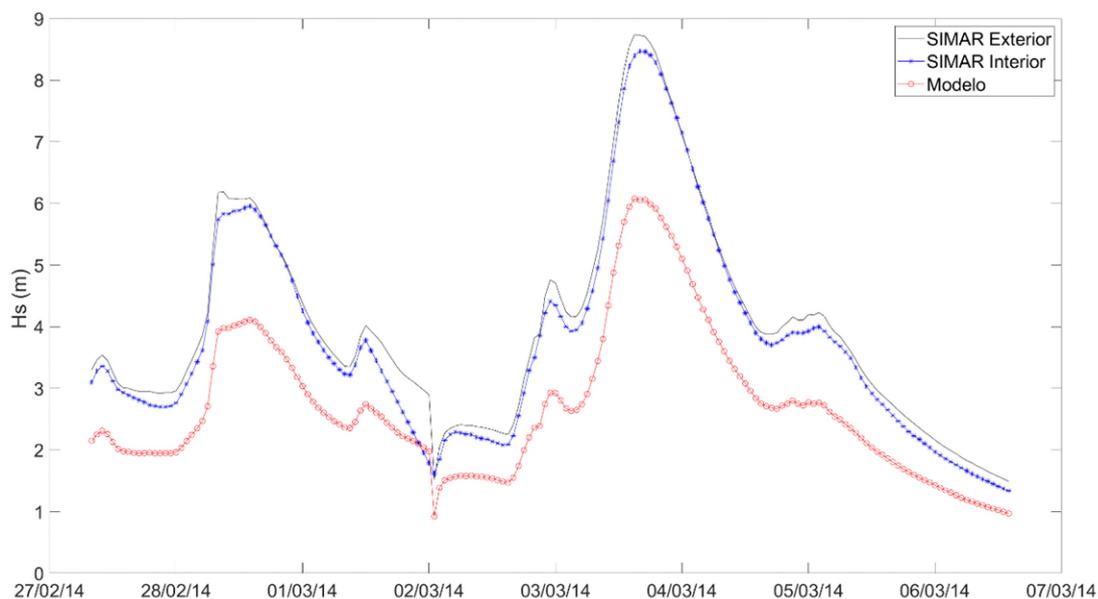
Ilustración 6: Mallas empleadas para la propagación del oleaje con el modelo numérico Delft3D-WAVE.

### Calibración y validación

Se escogen para este apartado los estados y niveles de mar comprendidos entre finales de febrero y principios de marzo del año 2014, incluyendo así, en las simulaciones, el temporal de dicho año. Respecto a los principales parámetros que representan los procesos físicos de propagación del oleaje, y tras el análisis de múltiples simulaciones, se tiene:

- *B&J model*: con los parámetros por defecto  $\alpha=1$  y  $\gamma=0,73$ .
- *Non-linear triad interactions*: con los parámetros por defecto  $\alpha=0,1$  y  $\beta=2,2$ .
- *Bottom friction*: con los parámetros por defecto de Collins 0,015.
- *Diffraction*: activada, con coeficiente y pasos de suavizado 0,9 y 999, respectivamente.

En la Ilustración 7 y Tabla 1 se analiza el ajuste obtenido para la altura de ola significativa  $H_s$ . La situación ideal consistiría en disponer de registros con mediciones reales en la frontera y en varios puntos interiores hasta llegar a tierra. Como esta situación no es posible para este estudio, la siguiente mejor aproximación disponible consiste en emplear como condición de frontera y datos de partida los estados del SIMAR EXTERIOR, y como punto para la calibración/validación la comparativa entre el nodo SIMAR INTERIOR, a modo de “medida real”, y su nodo equivalente en el modelo Delft3D-WAVE, que denominaremos MODELO.



**Ilustración 7:** Panel superior: Altura de ola para el periodo de calibración y validación analizado en el SIMAR EXTERIOR (línea negra), SIMAR INTERIOR (línea azul) y MODELO (línea roja). Panel inferior: Relación y ajuste entre los valores de altura de ola en el SIMAR INTERIOR y MODELO.

**Tabla 1:** Ajuste y parámetros de bondad.

Ajuste	R <sup>2</sup> ajustado	RMSE
$y=0,6995 \cdot x+0,04146$	0,987	0,1387

Se observa lo siguiente (Ilustración 7 y Tabla 1):

- Los datos del SIMAR EXTERIOR e INTERIOR son muy similares.
- Los datos del SIMAR INTERIOR y MODELO tienen muy buena correlación estando, no obstante, desplazados respecto a la vertical.

Distintos ensayos en los parámetros del oleaje arrojan la misma conclusión: todo da a entender que el tamaño de celda empleado por el modelo de Puertos del Estado en este entorno (SIMAR INTERIOR) no es capaz de recoger fenómenos locales de menor escala que sí se pueden capturar con nuestro modelado con mallado más detallado, confeccionado con Delft3D-WAVE. Entre algunos fenómenos que pueden explicar esta discrepancia destacamos los efectos del fondo en la propagación del oleaje ya que este nodo se encontraría, en teoría y según nuestra información de partida (Sección Oleaje y clima marítimo), en profundidades intermedias, no en indefinidas.

A falta de campañas de campo para la toma real de datos, damos por válido el empleo del modelo Delft3D-WAVE con los parámetros anteriormente expuestos, puesto que se comprueba que es capaz de reproducir el comportamiento global del oleaje en nuestro dominio, dadas las condiciones de frontera impuestas por el nodo SIMAR EXTERIOR.

## Predimensionamiento y modelización de medidas de protección.

### Descripción de soluciones.

Para el predimensionamiento se siguen las Recomendaciones de Obras Marítimas (ROM), concretamente, la **ROM 1.0-09 Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo** y la **ROM 1.1-18 Recomendaciones para el Proyecto de Construcción de Diques de Abrigo** (manual y articulado). Aunque no dejen de ser propuestas de diseño pensadas para el abrigo de áreas portuarias, se estiman válidas para el supuesto que estamos analizando.

A la hora de evaluar la idoneidad de las distintas tipologías de estructura frente a los agentes, condicionantes y requerimientos de proyecto, seguimos la nomenclatura y descripción empleada en la ROM 1.1-18 (Ilustración 8 y Tabla 2).

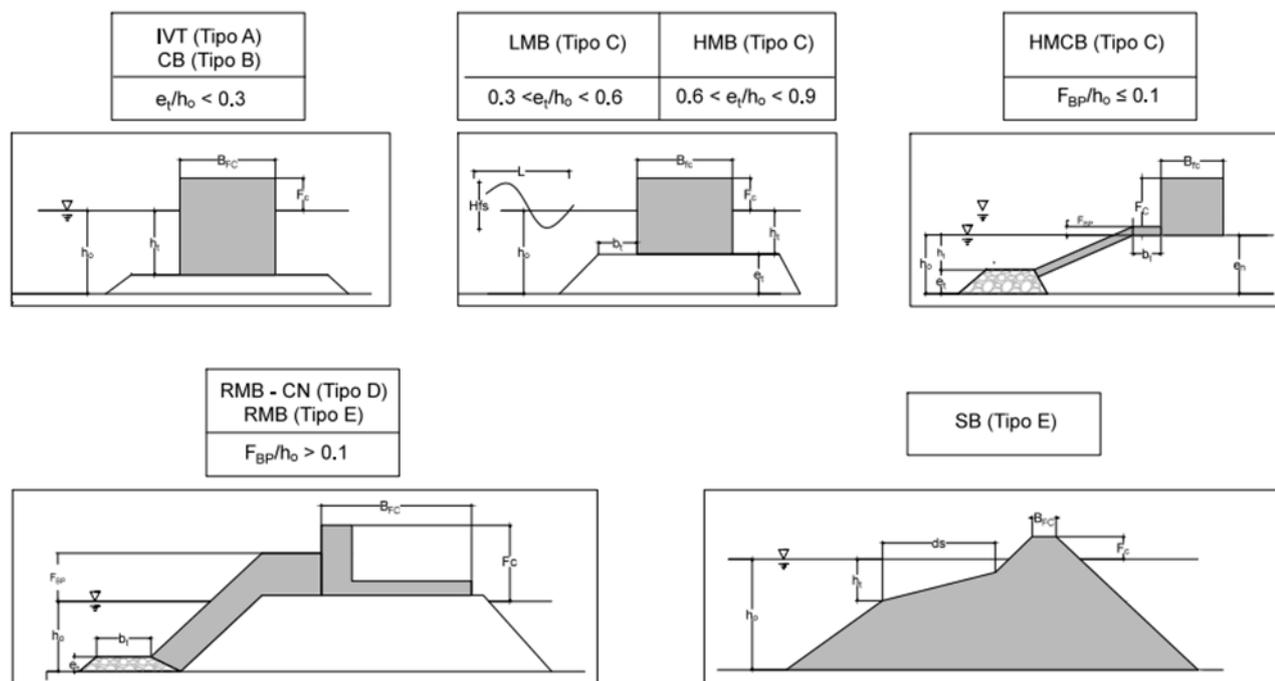
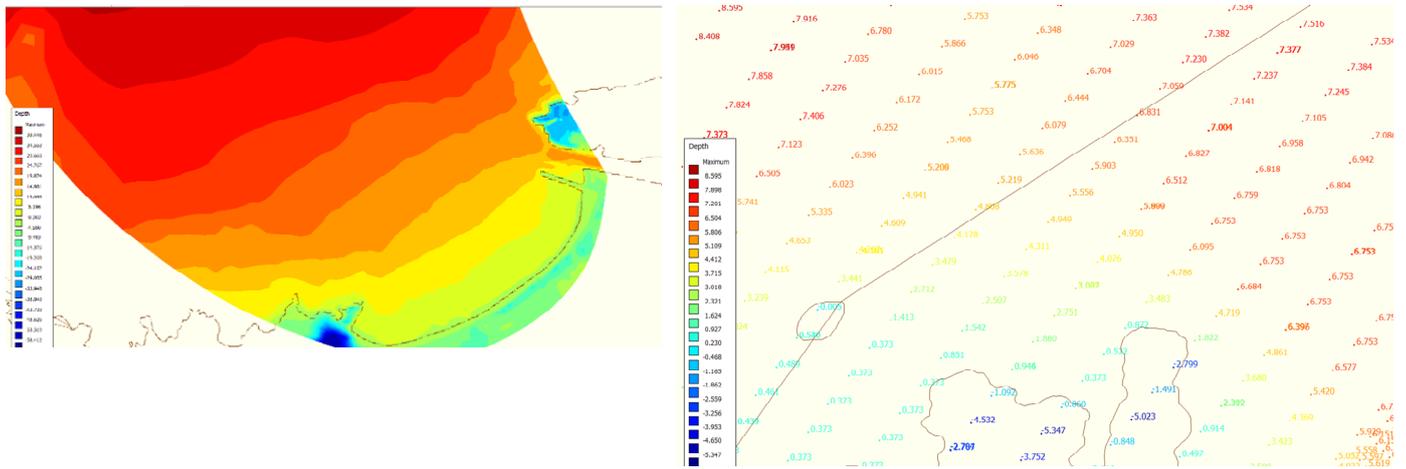


Ilustración 8: Tipos de diques de abrigo, extraída de la ROM 1.1-18.

Tabla 2: Tipología más adecuada en función de los agentes climáticos.  $h^*$  es una profundidad representativa del emplazamiento, extraída de la ROM 1.1-18.

Tipología de dique	Oleaje en presencia del dique	Profundidad (m)
(RMB & RMB-CW)	Todos	$0 \leq h_* < 35 - 45$
(VB)	No rotura	$15 \leq h_* < 40 - 50$
(CB, LMB, HMB & HMCB)	No rotura	$20 \leq h_* < 60 - 80$
(SB)	Todos	$0 \leq h_* < 35 - 40$

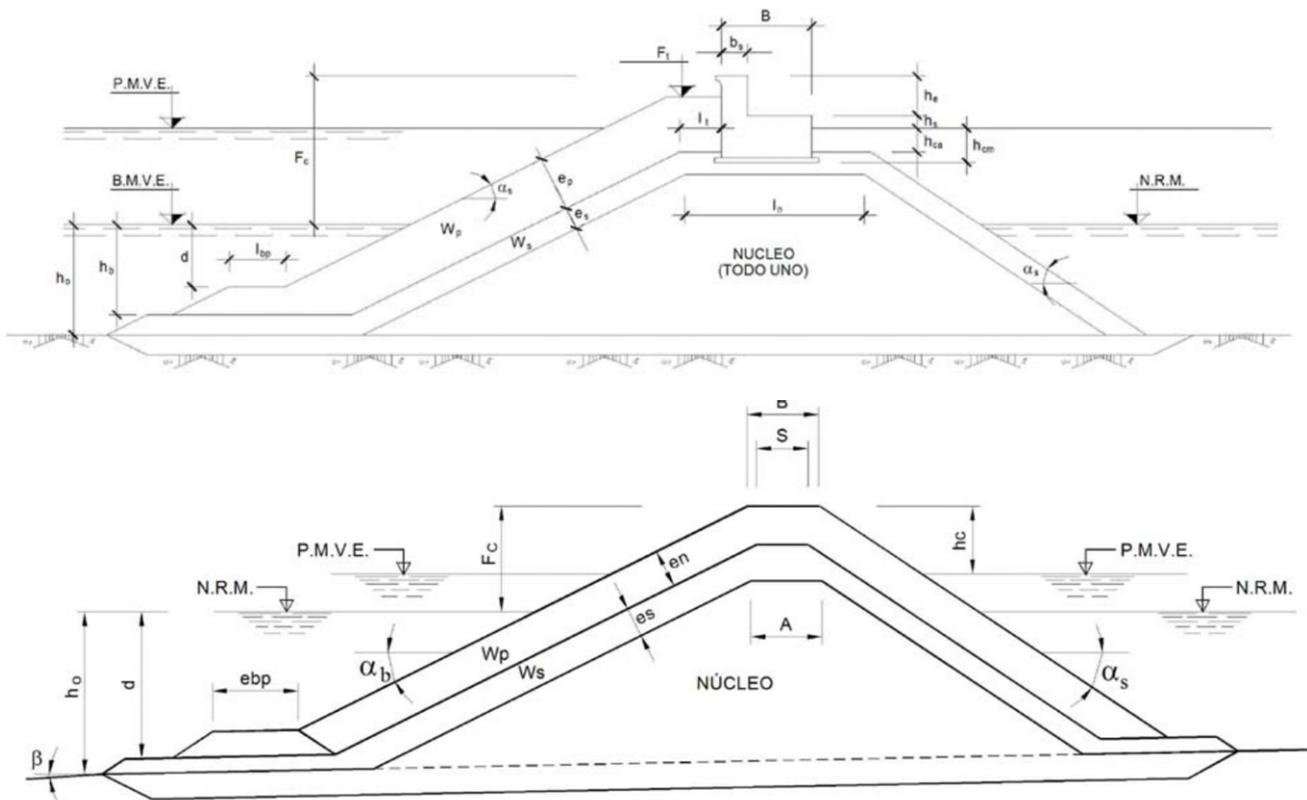
Según los datos batimétricos (Ilustración 1 e Ilustración 9), en el entorno de La Peñona, la profundidad representativa  $h^*$  de una hipotética estructura de protección es de 6-9 metros.



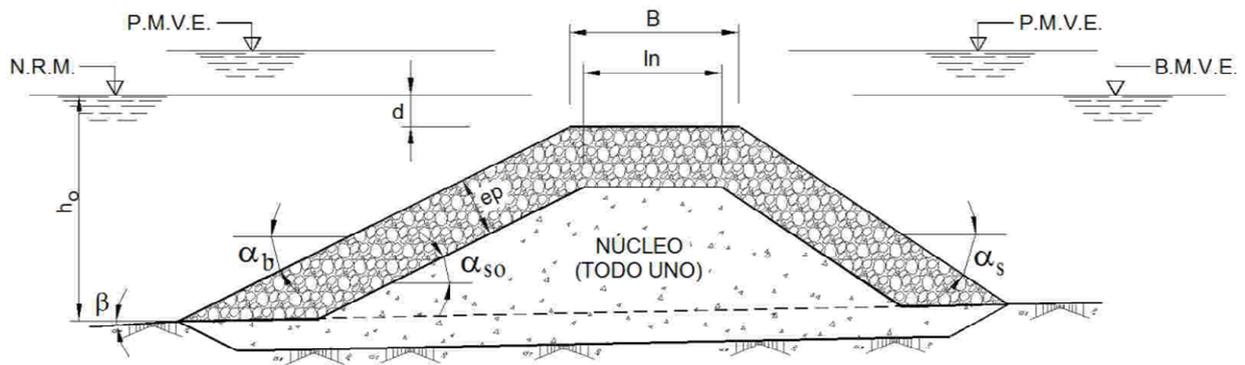
**Ilustración 9: Profundidades en el área de estudio. Los valores positivos indican niveles bajo el N.M.M.L.**

Suponiendo cualquier tipo de oleaje en presencia del dique, las soluciones idóneas a emplear son dique en talud (RMB, tipo E, Ilustración 10), dique en talud con espaldón (RMB-CW, tipo D, Ilustración 10) y dique sumergido (SRMB, Ilustración 11) o en talud con baja cota de coronación (LRMB).

En los diques en talud con baja cota de coronación, la coronación está emergida pero próxima al nivel del mar de referencia, en donde el comportamiento hidrodinámico cambia en función de los niveles de marea astronómica o meteorológica. En los sumergidos, la coronación se encuentra siempre sumergida por debajo del nivel del mar de referencia y el parámetro de sumergencia relativa es inferior a la unidad. La sumergencia y la anchura relativa de la coronación determinan, principalmente, el comportamiento de las olas (o estados de mar). Según la altura de ola relativa ( $H/h$ , donde  $H$  es la altura de ola y  $h$  la profundidad), puede romper antes de alcanzar el dique por la contribución de la energía reflejada, durante la propagación sobre el dique y su coronación, o a sotamar del dique.



**Ilustración 10: Dique en talud tradicional o dique Iribarren con superestructura (panel superior) y sin ella (panel inferior), extraído de la ROM 1.1-18.**



**Ilustración 11: Dique sumergido, extraído de la ROM 1.1-18.**

En este informe se van a analizar dos tipos de soluciones:

- Dique en talud sin superestructura (emergido).
- Dique sumergido.

Los elementos del manto van a ser similares a los empleados por las instalaciones de Asturiana de Zinc, próximas a La Peñona, es decir, cubos de hormigón, ya que su funcionamiento ha sido probado a lo largo del tiempo. Algunos de los parámetros de diseño asociados son los de la Tabla 3.

**Tabla 3: Pendiente del talud en función del tipo y forma  $K_p$  de la pieza, y de la forma de colocación. Se incluye un intervalo de valores de la porosidad,  $n_s$ , esperable del manto. Extraída de la ROM 1.1-18.**

Tipo de pieza	Pendiente $V : H$	Forma colocación	$K_p$	$n_s$
Escollera lisa redondeada	1 : 3, 1 : 4, 1 : 5	Aleatoria	1.02	0.37, 0.38
Escollera rugosa angular	1 : 2, 1 : 3	Aleatoria	1	0.40
Cubos	1 : 1,5, 1 : 2	Aleatoria	1.1	0.37, 0.47
Cubípodos	1 : 1,5	Aleatoria	1.05	0.40, 0.42, 0.43
Tribar <sup>1</sup>	1 : 2	Aleatoria	1.02	0.54
Tribar <sup>2</sup>	1 : 2	Uniforme	1.13	0.47
Dolos	1 : 1,5	Aleatorio	0.94	0.49, 0.56
Acrópodos	1 : 1,33, 1 : 1,5	Aleatorio	1.51	0.50, 0.57, 0.62
Tetrápodos	1 : 1,5	Aleatorio	1.04	0.50

A barlomar la pendiente será 1:2, mientras que a sotamar de 1:1,5. La porosidad será de 0,42.

### Premisas de diseño

En primer lugar, para interrumpir al mínimo el transporte longitudinal de sedimentos, se hallará la profundidad activa o litoral<sup>2</sup>  $dl$ . Idealmente, la estructura deberá situarse a una profundidad igual o superior a la misma. En segundo lugar, respecto a su localización en planta, el perfil en equilibrio que se alcance con la estructura deberá afectar lo menos posible a la playa

<sup>2</sup> Consultar la sección 2.3.3 de: Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria (2000): "Documento de referencia: Procesos litorales" Ministerio de Medio Ambiente, vol. II.

Egbert, G. D. and Erofeeva, S. Y. (2002). "Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides". In: Journal of Atmospheric and Oceanic Technology 19.2, pp. 183–204.

aledaña. Aparte, están los aspectos ambientales y de ejecución, entre otros, que no se consideran en este informe, tal y como se justifica en la Sección Conclusión.

Las premisas de diseño se ajustan al siguiente proceso. Para régimen medio, se utiliza el informe facilitado por Puertos del Estado del nodo SIMAR 3084039. Los parámetros A, B y C de la función de distribución Weibull son los de la Ilustración 12.

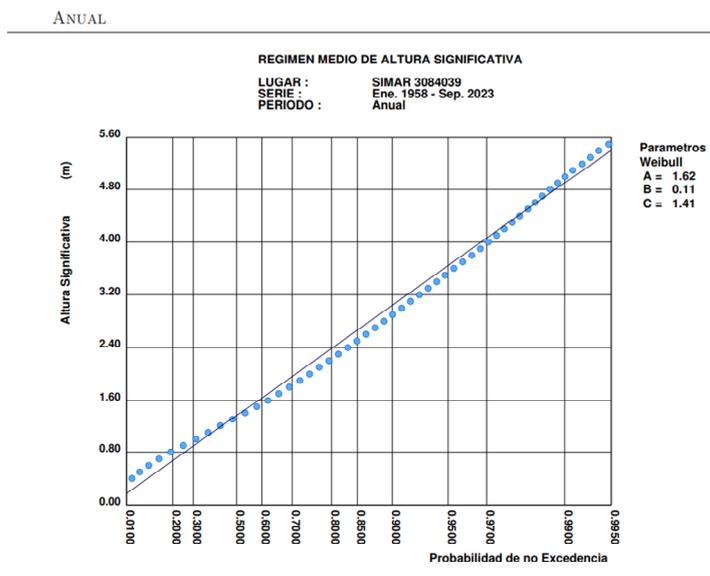


Tabla Periodo de Pico ( $T_p$ ) - Altura Significativa ( $H_s$ ) en %

Hs (m)	$T_p$ (s)										Total	
	≤ 2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0		> 20.0
≤ 0.5	-	0.085	1.024	1.431	1.503	0.805	0.292	0.050	0.017	0.003	-	5.210
1.0	-	0.045	4.231	6.429	8.736	4.587	1.756	0.243	0.059	0.005	0.002	26.092
1.5	-	0.001	1.426	4.806	8.588	7.839	3.437	0.547	0.105	0.014	0.002	26.765
2.0	-	-	0.056	2.000	4.002	6.013	3.839	0.687	0.166	0.011	0.001	16.776
2.5	-	-	0.003	0.546	1.742	3.608	3.218	0.767	0.143	0.008	0.001	10.036
3.0	-	-	-	0.085	0.777	2.091	2.415	0.637	0.157	0.011	0.001	6.174
3.5	-	-	-	0.014	0.285	1.015	1.719	0.546	0.162	0.009	0.001	3.751
4.0	-	-	-	0.001	0.104	0.516	1.066	0.435	0.120	0.016	0.002	2.260
4.5	-	-	-	-	0.019	0.223	0.603	0.292	0.090	0.011	0.002	1.240
5.0	-	-	-	-	0.003	0.112	0.317	0.189	0.069	0.009	0.001	0.700
> 5.0	-	-	-	-	0.001	0.078	0.411	0.357	0.130	0.019	0.001	0.997
Total	-	0.131	6.740	15.312	25.760	26.888	19.073	4.750	1.217	0.117	0.013	100 %

**Ilustración 12: Datos de régimen medio anual del nodo SIMAR 3084039 procedentes de Puertos del Estado.**

La altura de ola significativa que es superada 12 horas al año  $H_{s,12}$  es 6,28 metros. El período pico asociado  $T_p$  es de 14 segundos. La profundidad de activa o litoral  $d_l$  se sitúa en torno a los 9,8 metros.

En cuanto a la formación o no de un arenal tras la colocación de la estructura, es difícil escoger una aproximación que encaje con el objeto de este estudio: se busca proteger el saliente del oleaje pero evitando, a su vez, que se altere la configuración morfodinámica del entorno. De forma aproximada y preliminar, se utiliza el trabajo de González y Medina (2001), cuyos ábacos de diseño se recogen en la Ilustración 13.

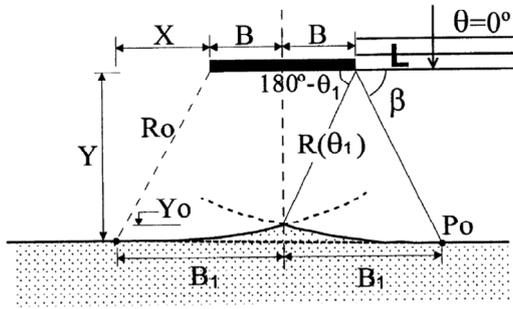


Fig. 13. Definition sketch of a theoretical salient. The typical unknown variables, when designing a salient are the salient apex,  $Y_0$ , and the shoreline length affected by the breakwater,  $2B_1$ . These variables are given in Fig. 14.

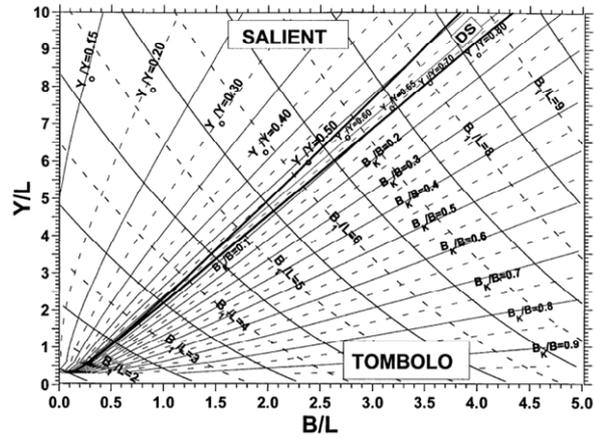


Fig. 14. Variation of the non-dimensional equilibrium plan form parameters: for Tombolo ( $B_1/B$ ,  $B_1/L$ ) and Salient ( $Y_0/Y$ ,  $B_1/L$ ) for different values of the length of the breakwater,  $2B$ , the distance from the breakwater to the shoreline,  $Y$ , and the wavelength,  $L$  (see Figs. 12 and 13 for a definition sketch of the different variables).

### Ilustración 13: Ábacos para analizar la respuesta a largo plazo de estructuras en la costa.

Para las premisas de este estudio y según este ábaco se busca, en principio, que la respuesta de la estructura sobre la costa sea limitada, por lo que  $2B/Y < 0,5$  (respuesta limitada). De forma preliminar, para la protección de La Peñona, se estima una longitud de dique  $2B \sim 250$  m. Según datos batimétricos, la isobata de 9,8 metros se sitúa a unos  $\sim 250$  m del elemento a proteger (Ilustración 14).

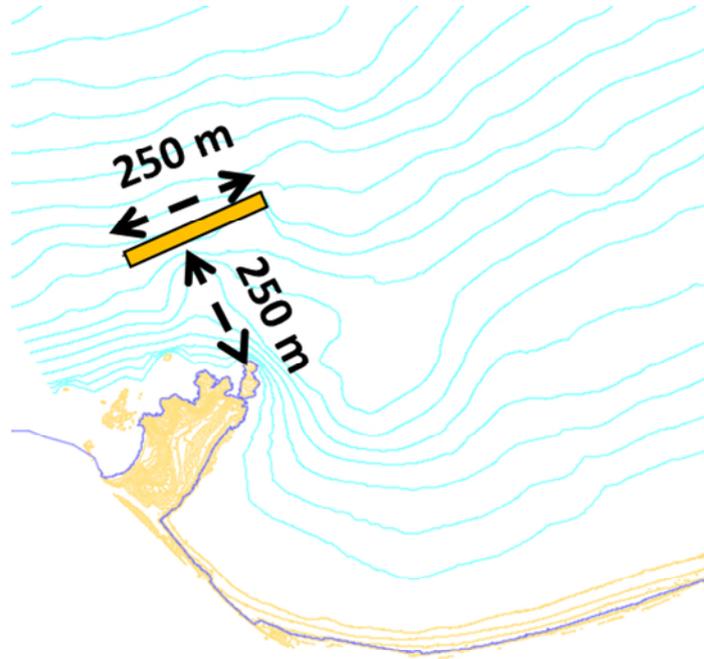


Ilustración 14: Ubicación en planta de estructuras de protección.

Con esta propuesta ( $2B/Y \sim 1$ ) y conocida la longitud de onda en el emplazamiento ( $L \sim 130$  m), la respuesta esperable será de saliente. A forma de resumen, para distintas configuraciones, se tendría lo detallado en la Tabla 4.

Tabla 4: Afecciones a la dinámica litoral y respuesta esperable a largo plazo para distintas configuraciones estructurales.

Distancia de la estructura a la Peñona	Afecta al transporte litoral dl	Longitud de la estructura	Respuesta esperable en planta a largo plazo
<250 m (dentro de la profundidad de cierre)	Notablemente	> 250 m	Saliente, tómbolo
		< 250 m	Saliente, limitada
>250 m (fuera de la profundidad de cierre)	En menor medida	>250 m	Saliente, tómbolo
		<250 m	Saliente, limitada

En función de las premisas anteriores, a la hora de conciliar una adecuada protección de La Peñona, con una menor afección a la dinámica litoral y una respuesta limitada en planta a largo plazo, se establece:

- Profundidad de la estructura de 9,8 m., situándose a ~250 m. de la Peñona.
- Elemento perpendicular al flujo del oleaje, considerando las sondas batimétricas.
- Longitud de ~250 m.

Con estas premisas de diseño, se establecen los siguientes **Escenarios**:

0. Situación actual.
1. Estructura sumergida (fuera de la profundidad de cierre).
2. Estructura emergida (fuera de la profundidad de cierre).

El prediseño de los Escenarios 1 y 2 se expone en los siguientes apartados.

### Dique sumergido (Escenario 1)

La estabilidad de la estructura sumergida (Ilustración 15) se acomete con Van der Meer y Daemen (1994).

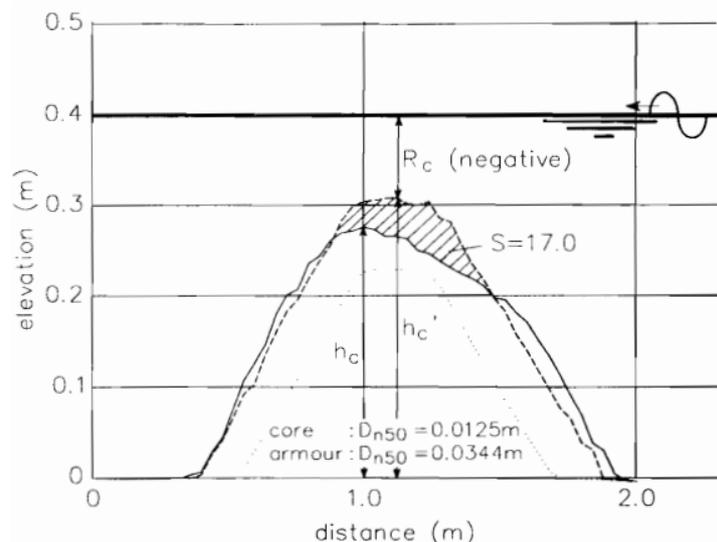


Ilustración 15: Esquema de dique sumergido tomado de Van der Meer y Daemen (1994).

$$\frac{h'_c}{h} = (2,1 + 0,1 \cdot S) \exp(-0,14 \cdot N_s)$$

En donde  $h$  es la profundidad,  $h'_c$  es la altura de la estructura sobre el lecho marino,  $S$  el coeficiente de avería para el criterio adoptado,  $N_s$  el número de estabilidad espectral. Además:

$$N_S = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} s_p^{-1/3}$$

En donde  $s_p$  es el peralte de la ola calculada,  $H_s$  es la altura de ola significativa,  $D_{n50}$  el diámetro medio de la escollera y  $\Delta$  la densidad de masa relativa. En este punto, se trabaja con los valores obtenidos en el punto SIMAR EXTERIOR.

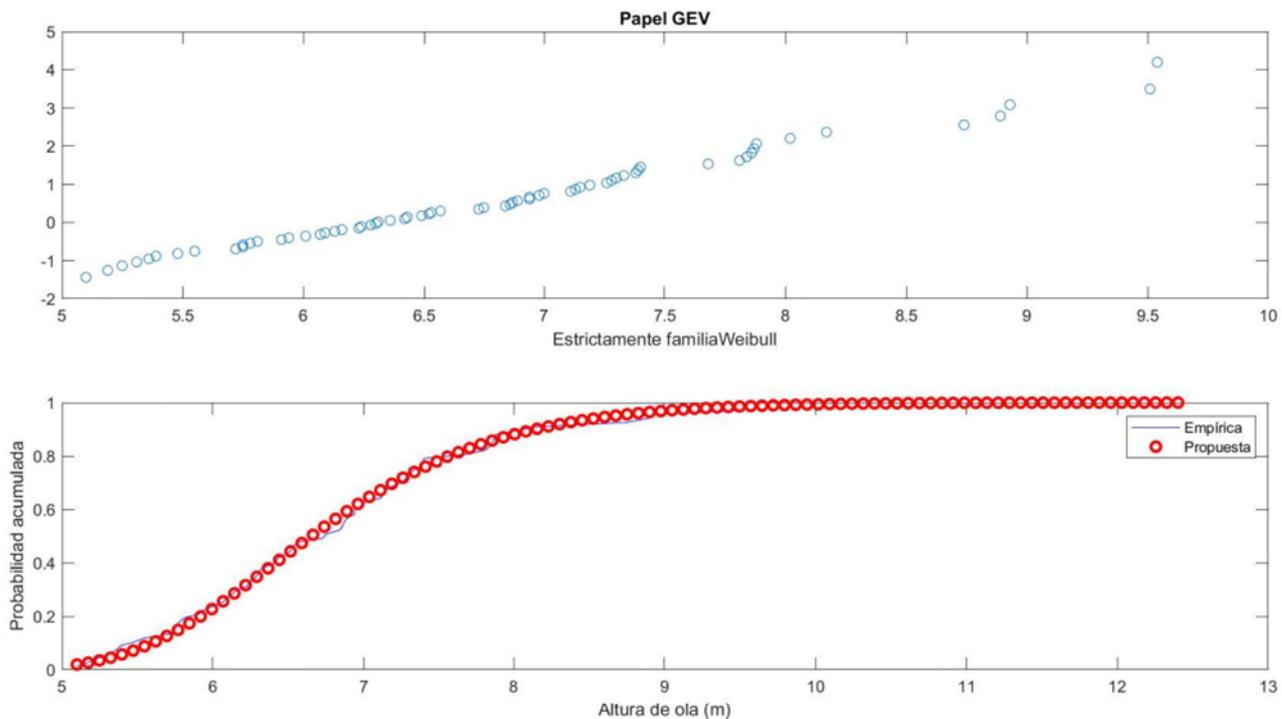
El coeficiente de avería  $S$ , para material rocoso, se reproduce en la Tabla 5<sup>3</sup>. Se escoge un valor de 4,5.

**Tabla 5: Valores del parámetro  $S$  para diferentes niveles de daño (unidad, roca).**

Pendiente	Daño Inicial	Daño Intermedio	Falla
1:1,5	2	3-5	8
1:2	2	4-6	8
1:3	2	6-9	12
1:4 – 1:6	3	8-12	17

La ola significativa de cálculo  $H_s$  se obtiene en función del período de retorno  $T_r$ , que se relaciona con la vida útil  $V_u$  de la estructura y su probabilidad de fallo  $pf$ . Según la ROM 1.0-09, para estructuras destinadas a la regeneración y defensa de playa (podemos asimilar nuestro estudio a defensa de playa),  $V_u$  es de 15 años y  $pf$  de 0,2, lo que da un  $T_r$  de 68 años.

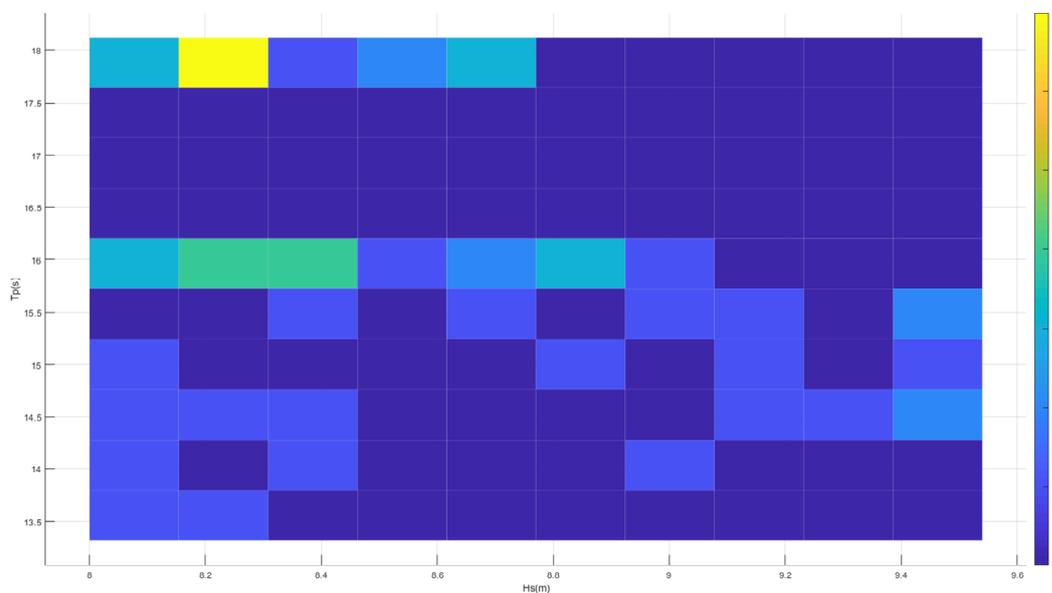
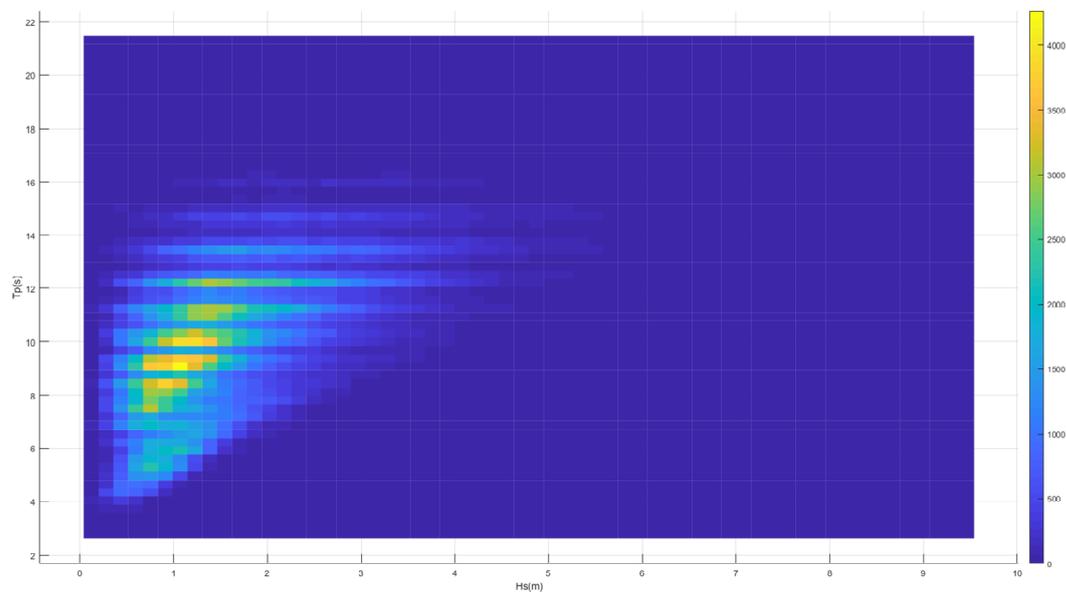
Para el diseño es necesario analizar el régimen extremal (funciones de distribución GEV, *Generalized Extreme Value*). Para el punto SIMAR exterior, el ajuste es el siguiente (Ilustración 16):



**Ilustración 16: Máximos anuales representados en *papel GEV* (panel superior) y función de distribución empírica y ajustada (panel inferior), con altura de ola y probabilidad anual de no excedencia.**

Conocida la relación entre la probabilidad anual de excedencia y el período de retorno, la altura de ola significativa es de  $H_s=9,5$  m. Para dicha altura significativa, el valor del período pico asociado más recurrente se sitúa en torno a los 14-15,5 segundos (Ilustración 17), escogiendo un valor de  $T_s=15,5$  s.

<sup>3</sup> Gysseis, P., Pagot, M., Hillman, G., Muratore, H., & Rodríguez, A. (2013). Estabilidad de un dique exento semisumergido mediante un modelo físico. *Tecnología y ciencias del agua*, 4(4), 5-18.



**Ilustración 17: Histograma bidimensional para altura de ola significativa  $H_s$  y período pico  $T_s$  (panel superior), detallado en torno al valor  $H_s=9,5$  (panel inferior)**

La longitud de onda en profundidades indefinidas  $L_0$  es de 375 metros. El peralte de ola de pico en aguas profundas  $sp=0,02$ . El diámetro nominal de las piezas  $D_{n50}$  es de 2 metros.

De esta forma, la relación  $h'_c/h=0,55$ . La altura del dique sobre el lecho marino es de 5,46 m.

Según los niveles de marea en la zona (Ilustración 5), para la mínima bajamar astronómica, existiría un resguardo sobre la cabeza del dique de 2,22 m; aspecto que podría ser relevante dada la proximidad del Puerto de Avilés y su posible afección a la navegación, así como para las actividades náutico-deportivas que se desarrollan en la playa aledaña.

### Dique emergido (Escenario 2)

Para hacer un análisis comparativo, se cumplen las prescripciones del apartado Premisas de diseño, es decir:

- Profundidad de implantación del dique de 9,8 m.
- Pendiente 1:2 a barlomar, a sotamar de 1:1,5.
- Porosidad 0,42.
- Longitud de 250 m.

Se sigue la metodología desarrollada en Clavero-Gilbert y Ortega-Sánchez (2017). El número de Iribarren  $I_r$  es de 2, garantizando que la rotura sea en voluta. El valor del ascenso y descenso de la lámina de agua sobre el talud, conocidos como *run-up* ( $R_u$ ) y *run-down* ( $R_d$ ), es el siguiente:

$$\frac{R_u}{H} = A_u(1 - \exp(B_u I_r))$$

$$\frac{R_d}{H} = A_d(1 - \exp(B_d I_r))$$

Donde  $H$  es la altura de ola de diseño,  $A_u$ ,  $B_u$ ,  $A_d$ ,  $B_d$ , son coeficientes de ajuste que dependen de la porosidad  $\gamma$ , y, por tanto, del tipo de pieza del manto principal (Tabla 6). Las piezas escogidas son cubos de hormigón.

**Tabla 6: Coeficientes de ajuste  $A_u$ ,  $B_u$ ,  $A_d$ ,  $B_d$  en función del tipo de pieza.**

Tipo de pieza	$A_u$	$B_u$	$A_d$	$B_d$
Escollera	1.80	-0.46	-1.10	0.30
Tetrápodos	0.93	-0.75	-0.80	-0.45
Dolos	0.70	-0.82	-0.75	-0.49
Cubos de hormigón	1.05	-0.67	-0.72	-0.42

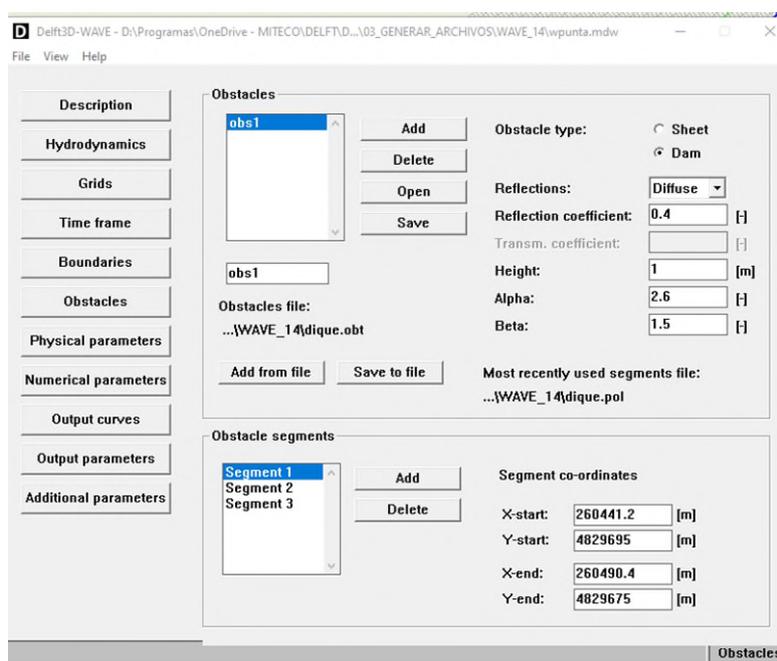
La altura de ola de diseño (Negro, 2009) será la mínima entre la de fondo o  $1,27 H_s$ . Para el caso de estudio, es de 7,62 metros. Por tanto, el valor de  $R_u$  es 6 m. Añadiendo un metro de resguardo, la altura de la estructura sobre el Nivel Medio del Mar Local es de 7 metros.

Según los niveles de marea en la zona (Ilustración 5), para la máxima pleamar astronómica, existiría un resguardo sobre la cabeza del dique de 2,62 m.

### Modelado numérico

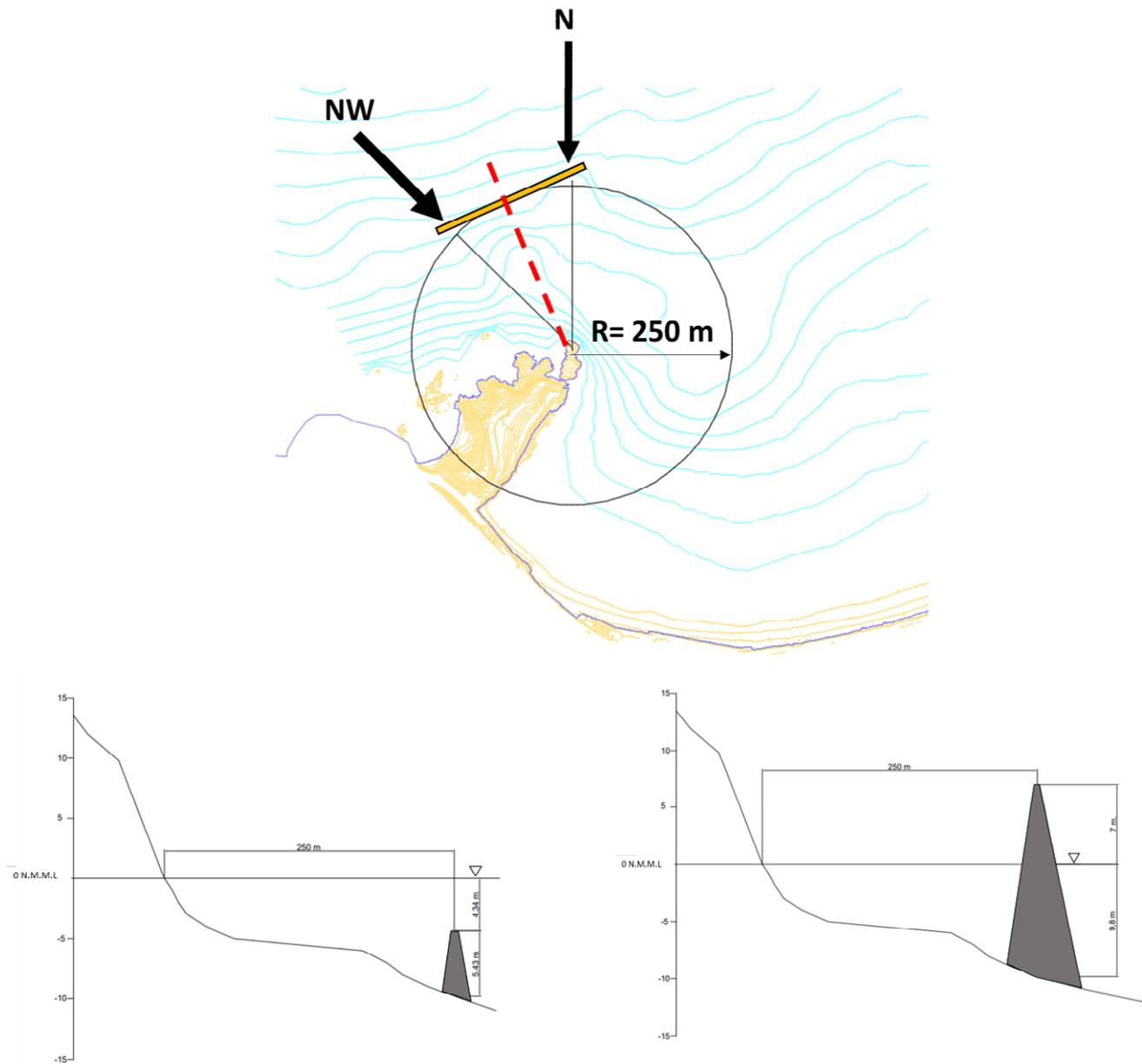
Para el modelado de estas estructuras, se empleará el grupo obstáculo del módulo WAVE de Delft3D (Ilustración 18). Los parámetros de entrada son:

- **Localización en planta y altura de la estructura respecto al N.M.M.L.**
- **Reflexión de la estructura.**
- **Parámetros en función del tipo de estructura.**



**Ilustración 18: Parámetros necesarios para modelizar las estructuras, es decir, obstáculos a la propagación del oleaje.**

El desarrollo completo de la geometría de las soluciones requiere la definición de las pendientes, así como su cota y ancho de coronación, entre otros. Ya que los obstáculos tienen normalmente un área transversal demasiado pequeña para ser resuelto en el módulo WAVE de Delft3D, en el modelado numérico únicamente se plantea la proyección de su eje y su altura respecto al N.M.M.L (Sección 7.3.2 del Manual de Usuario<sup>4</sup>). Para la colocación del eje se tendrá en cuenta tanto la orientación de las batimétricas (Ilustración 1) como las principales direcciones de propagación del oleaje (Ilustración 4). Para cada uno de los escenarios, la localización propuesta es la de la Ilustración 19.



**Ilustración 19:** Panel superior: localización en planta del eje de las estructuras, en función de la distancia a La Peñona, sondas batimétricas y dirección de procedencia del oleaje, en color rojo, trazado para representación de las secciones. Paneles inferiores: Sección para el dique sumergido (E1, izq.) y emergido (E2, dcha.).

En cuanto a la reflexión, tras analizar la relación existente entre ésta, la porosidad y el parámetro de rotura (CIRIA 2007, Valle et al. 2019, Komen 2019), se escoge un valor de 0,4.

El resto de parámetros ( $\alpha$  y  $\beta$ ), son los específicos para un dique con pendiente en su manto 1:3/2 (Tabla 7, tercera fila).

<sup>4</sup> [https://content.oss.deltares.nl/delft3d4/Delft3D-WAVE\\_User\\_Manual.pdf](https://content.oss.deltares.nl/delft3d4/Delft3D-WAVE_User_Manual.pdf)

Tabla 7: Valores para los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  en función del tipo de estructura.

Case	$\alpha$	$\beta$
Vertical thin wall	1.8	0.1
Caisson	2.2	0.4
Dam with slope 1:3/2	2.6	0.15

### Selección de estados de mar

Se escoge un estado de mar representativo del régimen medio y otro del régimen extremal. Para ello, se consideran los valores medios de altura de ola  $H_s$  de todo el registro para régimen medio, y de los máximos anuales para régimen extremal. Con dichos valores, se escogen los períodos  $T_p$  y direcciones  $D$  más frecuentes. Los valores para cada uno de los estados son los recogidos en la

Tabla 8: Valores de estados de mar representativos de régimen medio y extremal, para el período 1958-2023

	$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	$D$ (°)
Régimen medio	1,6	11,2	315
Régimen extremal	6,7	15,2	315

## Análisis de resultados

Se analizan las variaciones, respecto al escenario inicial, en la altura de ola  $H$  y en el flujo de energía del oleaje  $\vec{F}$  ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}$ ) que para aguas someras, que se expresa como (Dean & Dalrymple, 1991):

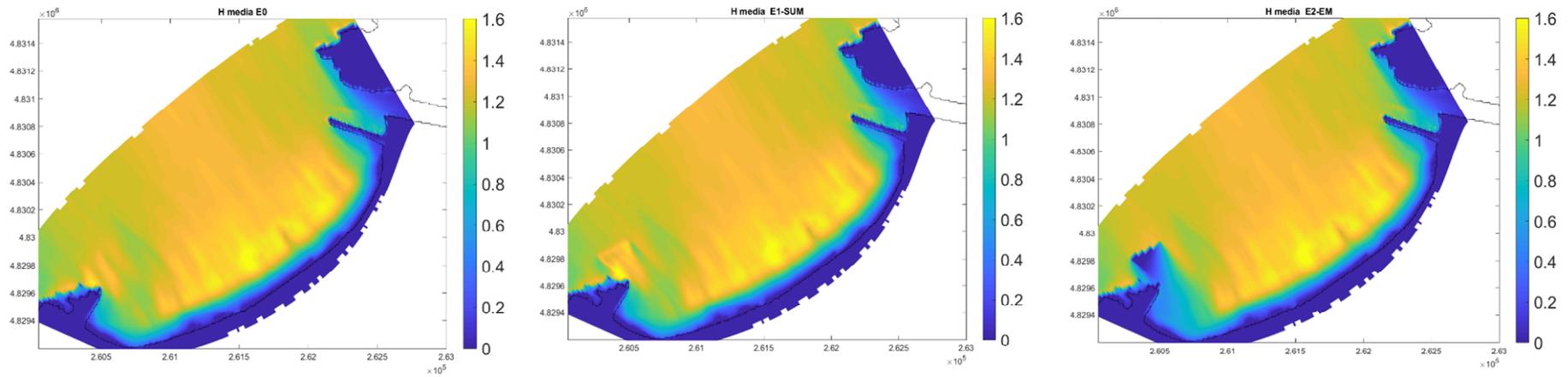
$$\vec{F} = \frac{1}{8} \rho g^{3/2} H^2 h^{1/2}$$

En donde  $\rho$  es la densidad del agua,  $g$  la aceleración de la gravedad y  $h$  el calado.

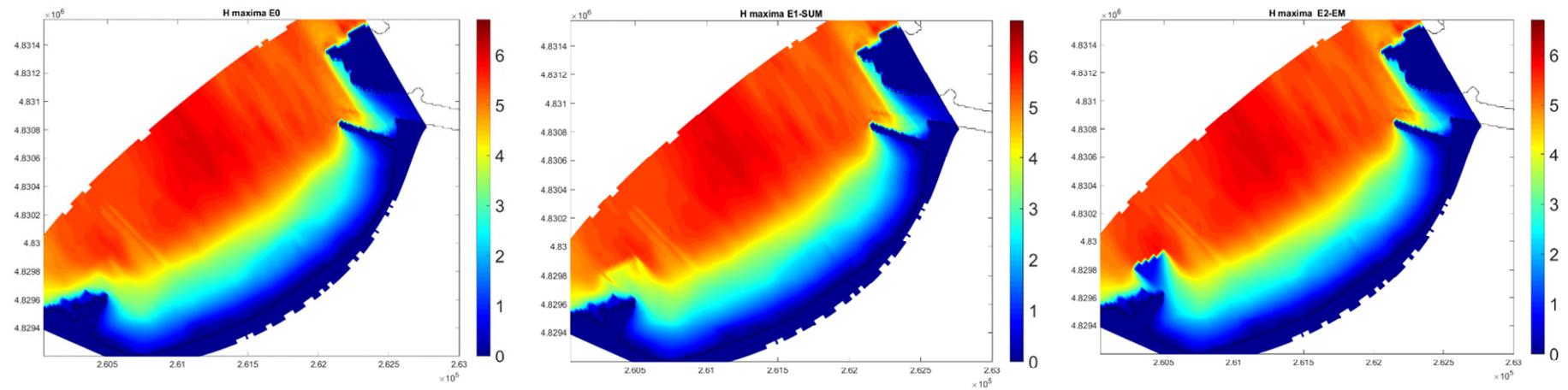
Para determinar los patrones de erosión-sedimentación, se usa comúnmente la divergencia en el transporte de sedimentos (De Swart and Zimmerman, 2009). Estos patrones se relacionan con los gradientes de los flujos mareales y del oleaje (Reyes-Merlo et al., 2017), que están implícitamente relacionados con la formulación de transporte de sedimentos (Bagnold, 1966). Por tanto, la divergencia en el flujo de la energía del oleaje  $\vec{\nabla} \cdot \vec{F}$  ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ) nos indicará esta tendencia, en donde los valores positivos indican patrones erosivos, y los negativos patrones de acreción.

Se representan para los distintos escenarios:

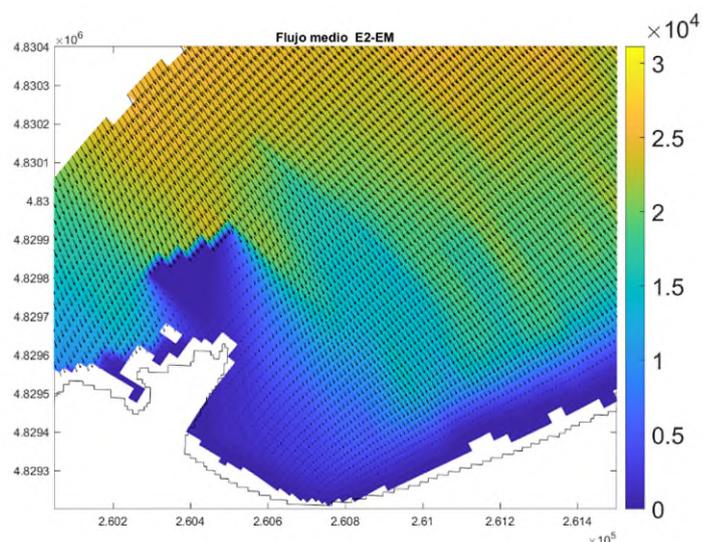
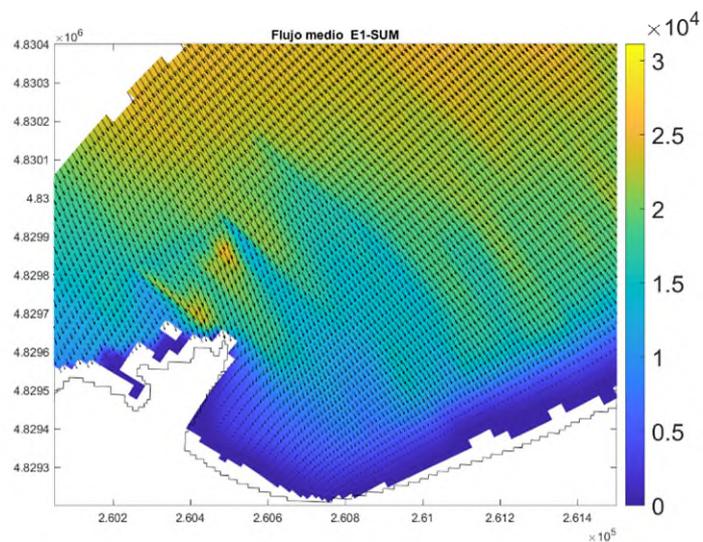
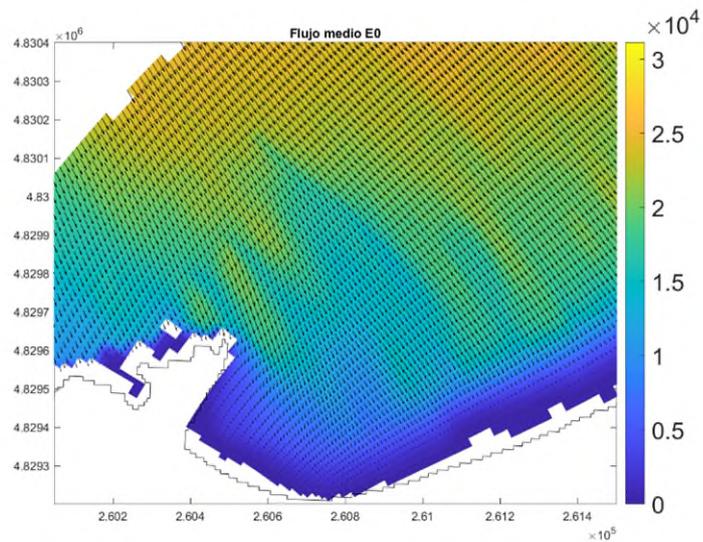
- Altura de olas representativas para régimen medio (Ilustración 20) y extremal (Ilustración 21)
- Flujo de oleaje representativo para régimen medio (Ilustración 22) y extremal (Ilustración 23).
- Diferencias en el flujo del oleaje para régimen medio (Ilustración 24) y extremal (Ilustración 25) respecto al escenario inicial.
- Divergencia del flujo de oleaje representativo para régimen medio (Ilustración 26) y extremal (Ilustración 27).



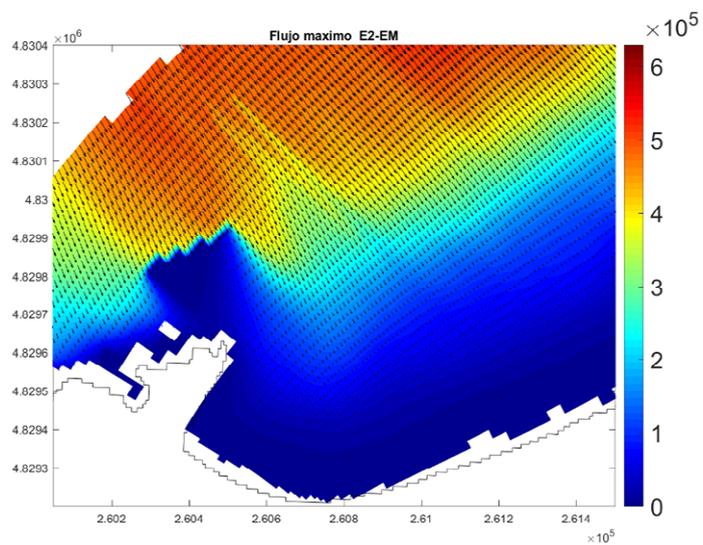
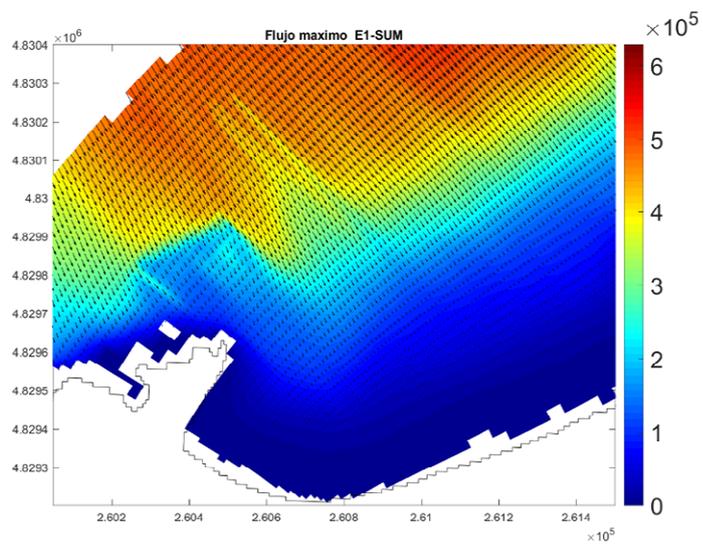
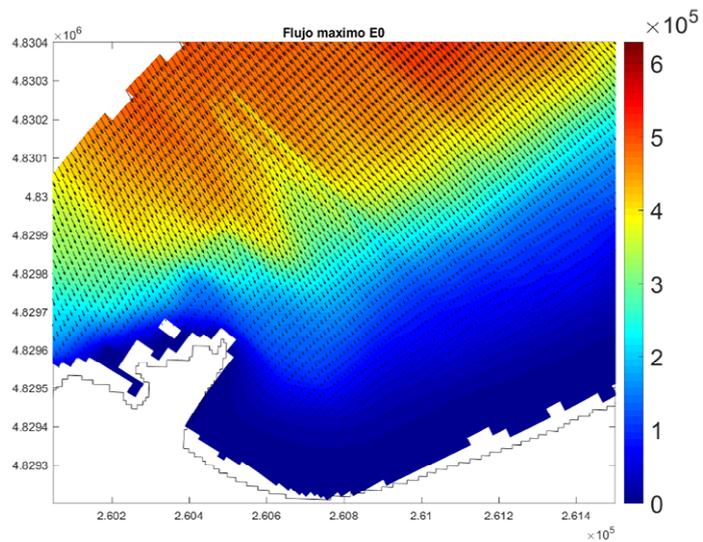
**Ilustración 20:** Altura de ola representativa para régimen medio en el escenario inicial (panel izq.), dique sumergido (panel cen.) y dique emergido (panel dcho.).



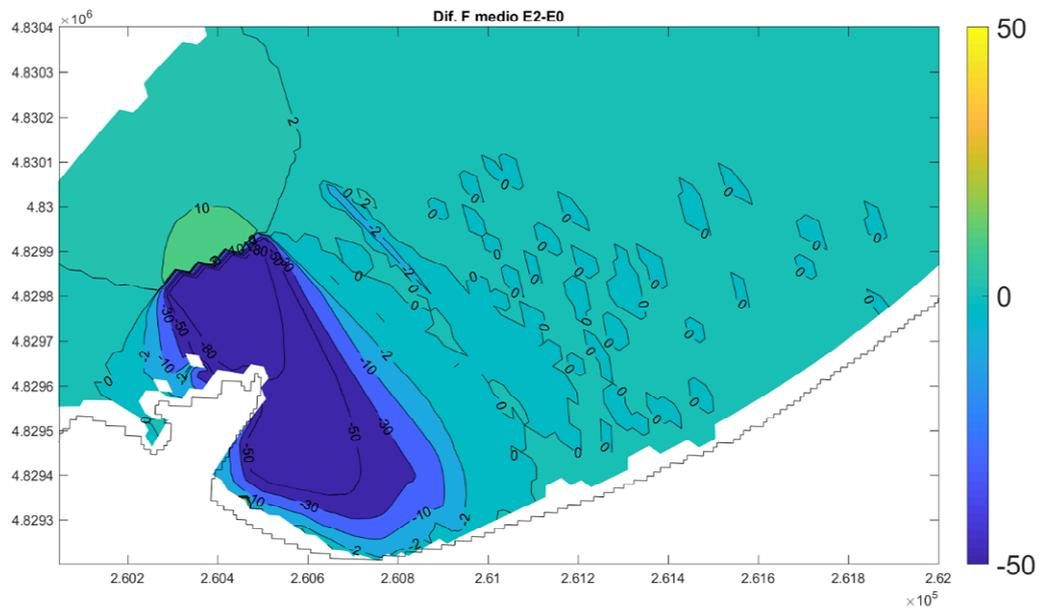
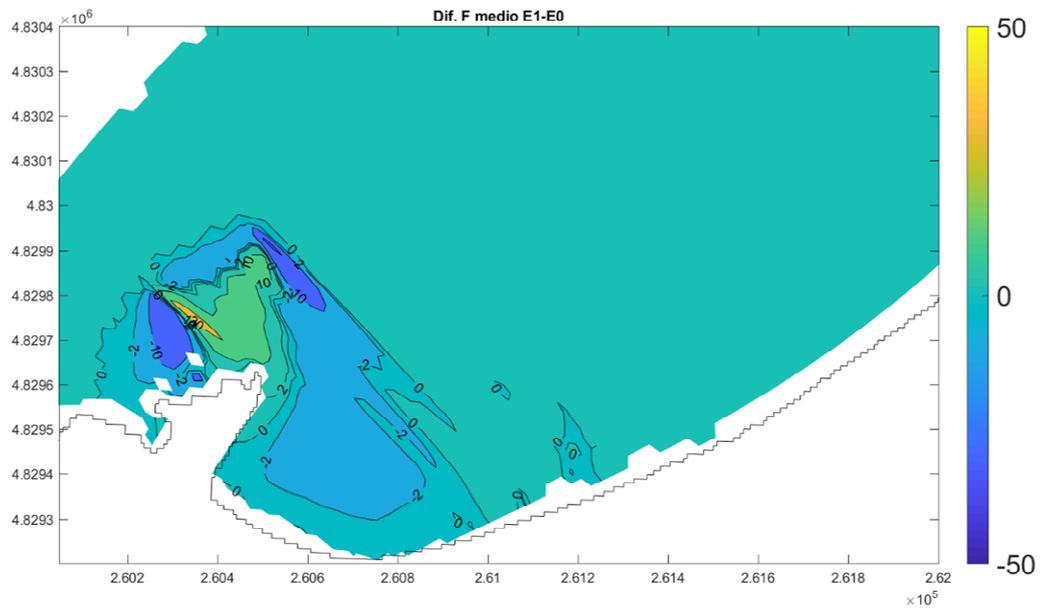
**Ilustración 21:** Altura de ola representativa para régimen extremal en el escenario inicial (panel izq.), dique sumergido (panel cen.) y dique emergido (panel dcho.).



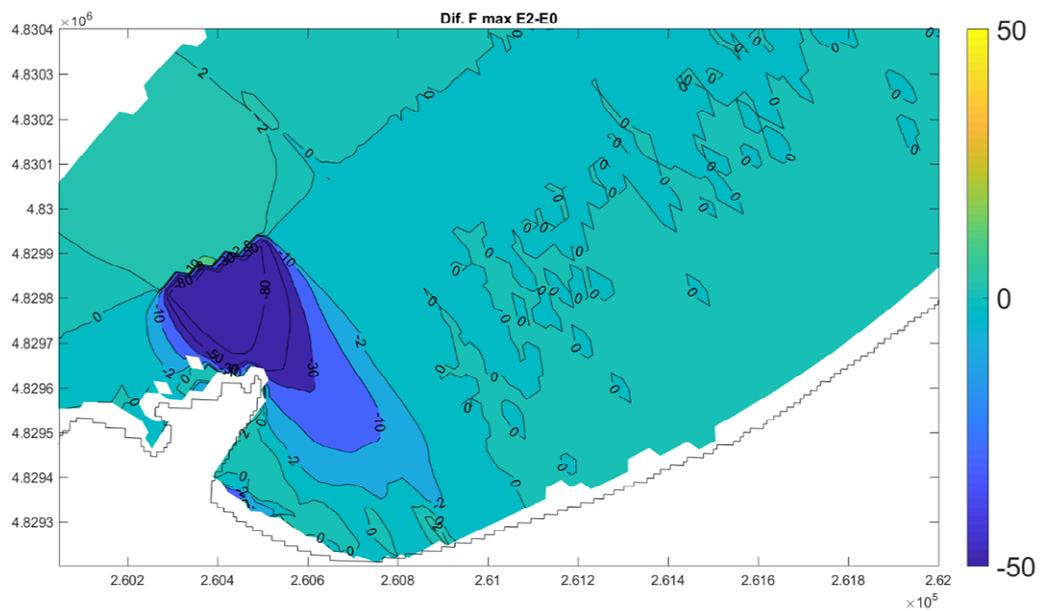
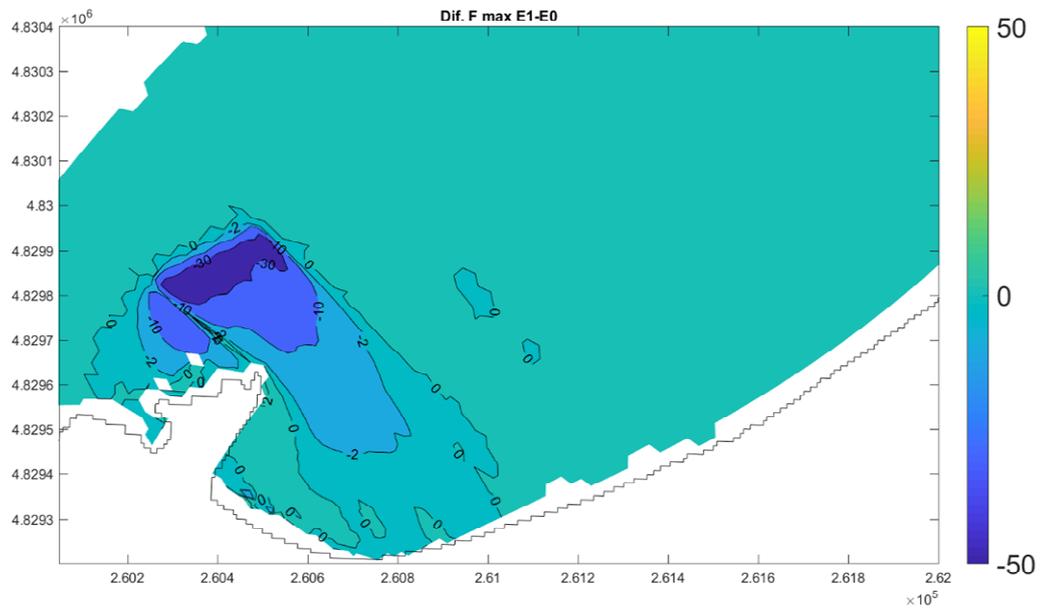
**Ilustración 22:** Flujo de oleaje representativo para régimen medio en el escenario inicial (panel sup.), dique sumergido (panel cen.) y dique emergido (panel inf.).



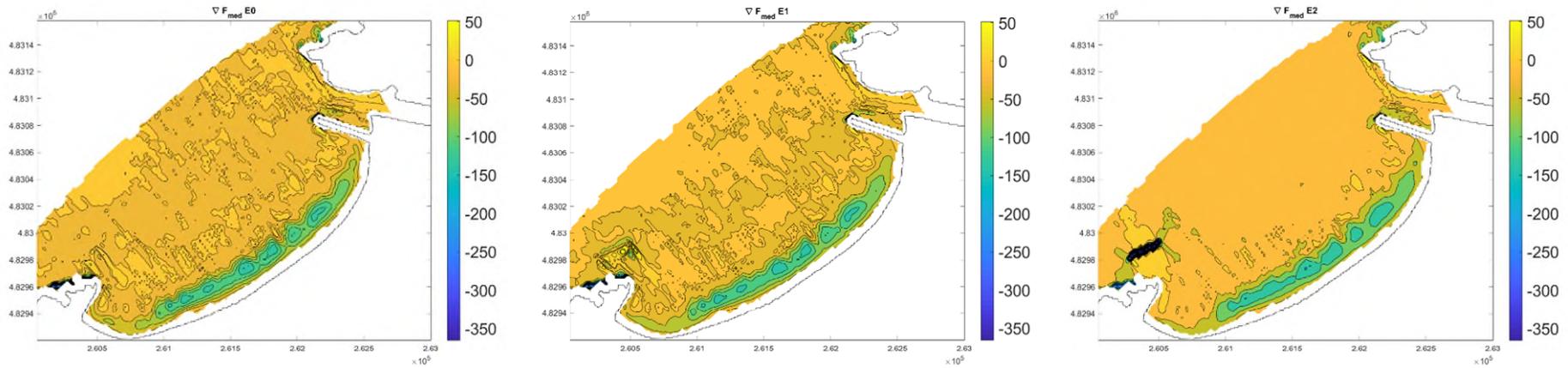
**Ilustración 23: Flujo de oleaje representativo para régimen extremo en el escenario inicial (panel sup.), dique sumergido (panel cen.) y dique emergido (panel inf.).**



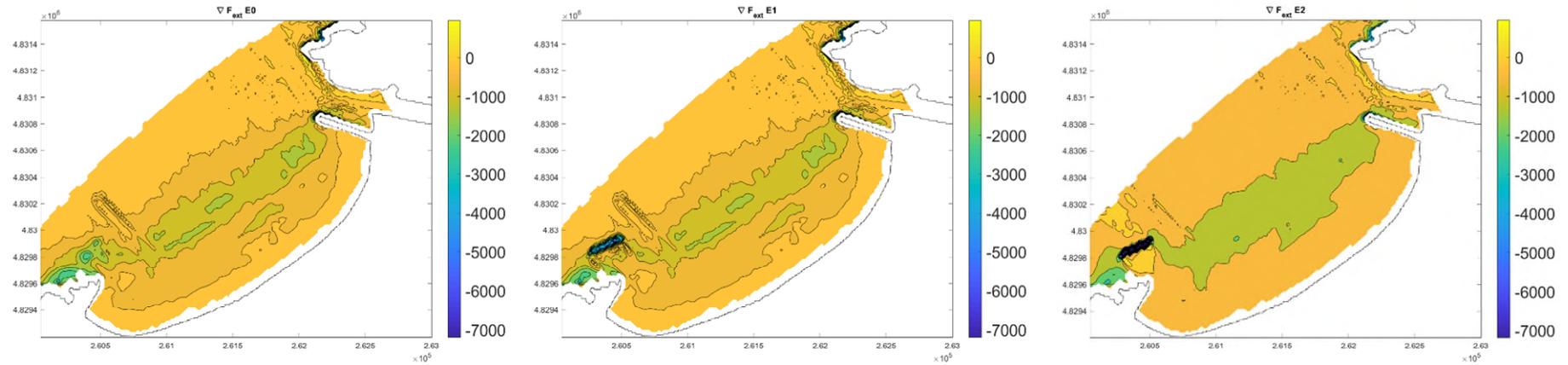
**Ilustración 24: Diferencias en el flujo del oleaje representativo del régimen medio entre el escenario inicial y con la presencia del dique sumergido (panel sup.) y emergido (panel inf.).**



**Ilustración 25: Diferencias en el flujo del oleaje representativo del régimen extremal entre el escenario inicial y con la presencia del dique sumergido (panel sup.) y emergido (panel inf.).**



**Ilustración 26: Divergencia del flujo de oleaje para régimen medio en el escenario inicial (panel izq.), dique sumergido (panel cen.) y dique emergido (panel drcho.).**



**Ilustración 27: Divergencia del flujo de oleaje para régimen extremal en el escenario inicial (panel izq.), dique sumergido (panel cen.) y dique emergido (panel drcho.).**

Del análisis de los resultados se desprende lo siguiente:

- Patrones esperables en el comportamiento de la **altura de ola** en presencia de las estructuras, con una disminución muy notable en el caso de dique emergido. En el caso de dique sumergido y con el diseño escogido, para régimen medio, se produce cierto incremento de la altura a sotamar de la estructura. Este comportamiento observado en el dique sumergido casa con lo recogido en la ROM 1.1-18: *Según la altura de ola relativa ( $H/h$ ) puede romper antes de alcanzar el dique por la contribución de la energía reflejada, durante la propagación sobre el dique y su coronación, o a sotamar del dique. En este último caso, las olas, especialmente las largas, pueden romper hacia atrás, es decir en sentido contrario al de la propagación. Otras olas pueden peraltarse al propagarse sobre el dique pero recuperar sus características cinemáticas y dinámicas a sotamar del dique si la profundidad de agua es suficiente.*
  
- Ante la presencia de estructuras, el **flujo de oleaje** sufre importantes variaciones en valor y dirección respecto a la situación actual, siendo más notables en presencia del dique emergido, con cierto incremento del flujo hacia aguas arriba (Ilustración 24, panel inf.). Como norma general para sendos diques, el cambio en el flujo se percibe hasta 750 m a la sombra de las estructuras (en perpendicular a la línea de costa), siendo más notorio en los primeros ~400 m. de playa (medidos desde la base de La Peñona, paralelo a la línea de costa). La disminución en el flujo respecto a la situación actual es mayor en régimen extremal, y es mayor para el dique emergido. Para ambos diseños, se observa un patrón que logra la disminución de la energía del oleaje que llega a la costa, muy claro para el caso del dique emergido, más variable para el caso del dique sumergido (Ilustración 24 panel sup.). El comportamiento en los laterales del dique sumergido casa con lo recogido en la ROM 1.0-09 (Ilustración 22 e Ilustración 23, panel cen.): *cuando la rotura de las olas está forzada por arrecifes o diques sumergidos, a sotamar de ellos, las olas dejan de romper y el nivel del mar descende. Esta diferencia de nivel genera una circulación de agua por encima del arrecife, que se evacua lateralmente a lo largo de la costa.*
  - Para el dique sumergido, respecto al escenario inicial: para régimen medio, disminución del flujo en el sector inferior de la cara noroeste de La Peñona entre el 2 y 10%, con incremento en el sector superior de la misma cara entre el 2 y 10%. Para régimen extremal, disminución del flujo en La Peñona entre el 0 y 2%.
  - Para el dique emergido, respecto al escenario inicial: disminución del flujo del oleaje entre el 50 y 80% en las proximidades de La Peñona para el régimen medio, del 30 al 50% en régimen extremal.
  
- La divergencia del flujo de oleaje nos sirve para describir los **patrones de erosión- sedimentación**:
  - De forma natural (Escenario 0), para régimen medio, existe una tendencia sedimentaria próxima a la playa emergida (Ilustración 26, panel izq.). Para régimen extremal, esta tendencia sedimentaria es mayor en la línea que se puede trazar entre los puntos de apoyo a la playa encajada (entre La Peñona y el morro del dique de la ría de Avilés), a una profundidad de ~9 m (Ilustración 27, panel izq.).
  - Con el dique sumergido (Escenario 1), en régimen medio, se crea una zona erosiva situada inmediatamente a sotamar de la estructura, observándose patrones de sedimentación conforme el flujo diverge hacia La Peñona. Este patrón sedimentario también se ve reforzado y se propaga a lo largo de toda la playa entre la línea que se puede trazar entre los puntos de apoyo a la playa encajada, a una profundidad de ~9 m. Para régimen extremal, no obstante, los patrones sedimentación/erosión son muy similares al escenario inicial, salvo en la zona inmediata en donde se implanta el dique. Podemos decir que los efectos no son notorios, ni en La Peñona, ni a la playa.
  - Con el dique emergido (Escenario 2), para régimen medio, aparecería una tendencia erosiva inmediata tanto aguas arriba como aguas abajo de la estructura. Fuera de esta zona, se aprecia una tendencia sedimentaria a lo largo de toda la playa. Para régimen extremal, el patrón sedimentario se refuerza entre la línea que une los puntos de apoyo a la playa encajada, para unas profundidades comprendidas entre los 4 y 9 m.

## Conclusión

Las simulaciones numéricas realizadas muestran que un dique sumergido, situado a una distancia tal que no perturbe sensiblemente el transporte longitudinal de sedimentos a lo largo de la costa y con una altura sobre lecho lo suficientemente estable, no es capaz de reducir, sensiblemente, el flujo de energía que incide sobre el elemento que se supone se desea proteger que es, en nuestro caso, La Peñona. No conseguiría esta protección ni para las condiciones climáticas propias del régimen medio, ni para las propias del régimen extremal. Para una mayor defensa, podría bien aproximarse en planta hacia la costa, o bien podría aumentarse la cota de coronación (llegando al caso extremo de un dique emergido). En ambas situaciones, es de esperar una reducción del flujo de energía que incide sobre La Peñona pero, como contraprestación, se alteraría el patrón de erosión-sedimentación en el resto del sistema.

Para el caso de colocación de un dique emergido, las simulaciones numéricas estarían en consonancia con lo recogido en la ROM 1.1-18:

*La construcción de los diques de abrigo modifica sustancialmente el campo de oscilaciones y de corrientes a barlomar y sotamar de ellos y los campos de fuerzas de superficie y de masa, alterándose, en consecuencia, el patrón de erosión-transporte-depósito en las inmediaciones de la obra. [...] Asimismo, se deberá tener en cuenta que las obras también afectan a la circulación en el litoral y zona de rompientes y que pueden alterar, significativamente, la morfología litoral.*

Por lo tanto, el dique sumergido tiene aspectos contrapuestos: cuanto mayor es la protección que se intentase dar a La Peñona, más elevada tendría que ser su cota y/o más próximo a la costa tendría que situarse, alterando notablemente la morfología de la playa aledaña. Y es que un dique sumergido, obra de ingeniería dura, está destinado principalmente a complementar y aumentar la vida útil de las obras de ingeniería blanda, como puede ser la protección de un perfil natural o regenerado de playa (Dean & Dalrymple 2004).

Por último, destacar que en este trabajo no se han considerado aspectos ambientales, paisajísticos, socioeconómicos, de ejecución, de operatividad ni afección portuaria, entre otros que sí deberían contemplarse en la elaboración de un proyecto de obra. Estos son discutidos en el Anejo nº5- Trámite Ambiental del Proyecto de demolición del mirador de la Peñona y adecuación del entorno del museo de anclas en Salinas, t.m. Castrillón. Empleando los métodos propios de la ingeniería costera para resolver la hidro-morfodinámica, este trabajo resuelve el punto de partida fundamental para descartar o no la hipótesis de partida: ¿es la solución propuesta válida para alcanzar el objetivo deseado?

**Como conclusión, un dique sumergido en las cercanías de La Peñona no mejoraría su protección frente al oleaje.** Esta estructura no disminuiría, significativamente, la erosión del oleaje bajo el saliente de La Peñona alcanzándose, como máximo una reducción del 2% en el flujo de energía del oleaje en épocas de temporales. En todo caso, se podría aumentar la protección de La Peñona, ya fuese a través de la implantación de una estructura más próxima a la costa o con una estructura emergida; eso sí, a expensas, indudablemente, de alterar significativamente la morfología litoral de la playa aledaña.

## Referencias

- Bagnold, R. A. (1966). An approach to the sediment transport problem from general physics. In: U. S. Geological Survey Professional Paper 422-I.
- Dean, R. G., & Dalrymple, R. A. (1991). Water wave mechanics for engineers and scientists (Vol. 2). world scientific publishing company.
- Dean, R. G., & Dalrymple, R. A. (2004). Coastal processes with engineering applications. Cambridge University Press.
- De Swart, H. E. and Zimmerman, J. T. F. (2009). Morphodynamics of Tidal Inlet Systems. In: Annual Review of Fluid Mechanics 41.1, pp. 203–229.
- Egbert, G. D. and Erofeeva, S. Y. (2002). Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. In: Journal of Atmospheric and Oceanic Technology 19.2, pp. 183–204.
- Clavero-Gilabert, M., & Ortega-Sánchez, M. (2017). Diques en talud. Universidad de Granada.
- CIRIA- Construction Industry Research and Information Association- (2007). The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (second edition) (C683).
- Delft3D-WAVE (2024). Delft3D-WAVE Simulation of short-crested waves with SWAN. User Manual. Version 4.05. Delft, the Netherlands.
- González, M., & Medina, R. (2001). On the application of static equilibrium bay formulations to natural and man-made beaches. Coastal Engineering, 43(3-4), 209-225.
- Komen, R. (2019). Simulating wave penetration in an inlet using the numerical models SWAN and SWASH: Dimensioning of an inlet and the comparison of two numerical models.
- Negro, V. (2009). Problemas de diques rompeolas. Curso académico 2.008-2.009. Universidad politécnica de Madrid.
- ROM 1.0-09 (2009). Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo. Puertos del Estado. Ministerio de Fomento.
- ROM 1.1-18 (2018). Recomendaciones para el Proyecto de Construcción de Diques de Abrigo. Puertos del Estado, Ministerio de Fomento.
- Reyes-Merlo, M. Á., Ortega-Sánchez, M., Díez-Minguito, M., & Losada, M. A. (2017). Efficient dredging strategy in a tidal inlet based on an energetic approach. Ocean & Coastal Management, 146, 157-169.
- Valle, J. D., Mendoza, E., Alcérreca-Huerta, J. C., & Silva, R. (2019). Numerical and experimental assessment of the reflection coefficient of rubble mound breakwaters with an “S” shaped profile. Tecnología y ciencias del agua, 10(2), 128-152.
- Van der Meer, J. W., & Daemen, I. F. (1994). Stability and wave transmission at low-crested rubble-mound structures. Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering, 120(1), 1-19.