

Anejo nº 9. Modelización numérica de corrientes y transporte.

ANEJO Nº 9. MODELACIÓN NUMÉRICA DE CORRIENTES Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

En la redacción del presente Proyecto se han asumido gran parte de los datos, bases y especificaciones contenidas en los proyectos, “PROYECTO DE REHABILITACIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LA FACHADA COSTERA DEL CASCO URBANO DE ALTEA (ALICANTE)”, redactado por KV consultores y “*PROYECTO DE REHABILITACIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LA FACHADA COSTERA DEL CASCO URBANO DE ALTEA (PARTE MARITMIA). T.M. DE ALTEA (ALICANTE)*”, redactado por IBERPORT CONSULTING por encargo de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

El presente anejo es copia del proyecto original ya que sus contenidos y conclusiones son válidos en esta nueva redacción

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....

2. MODELOS EMPLEADOS

3. APLICACIÓN DE LOS MODELOS NUMÉRICOS

3.1 DATOS DE PARTIDA.....

3.2 MODELIZACIÓN CON LITDRIFT

3.3 MODELIZACIÓN CON MIKE21

4. RESULTADOS.....

1

1

2

2

5

5

7

ANEXO Nº 1: CORRIENTES Y TRANSPORTE EN SITUACIÓN ACTUAL.

ANEXO Nº 2: CORRIENTES Y TRANSPORTE EN SITUACIÓN FUTURA.

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de modelización matemática de la dinámica litoral se realizará con la siguiente secuencia:

1. Preparación de batimetrías digitales georreferenciadas (Anejo N°3 *"Batimetría y Potencia de Sedimentos"*)
2. Aproximación a la costa del oleaje obtenido en el punto WANA (Anejo N°8 *"Clima Marítimo y Propagación de Oleaje"*)
3. Confección del régimen medio local de oleaje (Anejo N°8 *"Clima Marítimo y Propagación de Oleaje"*)
4. Análisis de la propagación de oleaje (Anejo N°8 *"Clima Marítimo y Propagación de Oleaje"*)
5. Evaluación de las corrientes producidas por el gradiente del tensor de radiación (Anejo N°9 *"Corrientes y Transporte de Sedimentos"*)
6. Cálculo del potencial de transporte sólido sólido longitudinal neto considerando la hipótesis de playa de guijarros (Anejo N°9 *"Corrientes y Transporte de Sedimentos"*)
7. Caracterización de la dinámica litoral del frente costero (Anejo N°10 *"Estudio de Dinámica Litoral"*)

Para ello se han empleado los modelos siguientes:

- Para la tarea 1: MIKE C-MAP y MIKE ZERO
- Para las tareas 2, 3 y 4: MIKE ZERO, MIKE21 NSW y MIKE21 PMS
- Para la tarea 5: MIKE21 HD
- Para la tarea 6: LITSTP
- Para la tarea 7: LITDRIFT y MIKE21 ST

Adicionalmente se ha analizado el comportamiento de la playa frente a temporales mediante el modelo LITPROF, el cual calcula el perfil erosionado resultante de la acción de un temporal sobre la playa. Los cálculos realizados con el programa LITPROF se detallan en el Anejo N° 11 "Diseño de la playa".

Los apartados siguientes muestran el proceso de cálculo y los resultados obtenidos.

2. MODELOS EMPLEADOS

- **LITPACK**, desarrollado por DHI, Water & Environment, es un paquete de software para simular transporte incoherente del sedimento en ondas y corrientes, deriva litoral, desarrollo de la evolución de la línea de costa y del perfil transversal en playas cuasi-uniformes.

Todos los módulos de LITPACK presentan una aproximación completamente determinista. Esto permite la consideración de muchos factores dominantes que no están disponibles para las formulaciones semi-empíricas. Por ejemplo, en el caso de la simulación de un perfil multi-barrado con una distribución de tamaño de grano variable es propensa a errores sensibles al emplear la formulación del flujo de la energía, mientras que LITPACK la resuelve fácilmente.

El módulo LITDRIFT combina el modelo STP con un modelo hidrodinámico costero para dar una descripción determinista de la deriva litoral.

El módulo LITDRIFT simula la distribución transversal de la altura de ola, el setup y la corriente longitudinal para un perfil costero arbitrario. Proporciona una detallada descripción determinista de la distribución transversal del transporte sólido longitudinal para una batimetría arbitraria y estados de mar irregulares.

La ecuación de balance del momentum en ambas direcciones se soluciona para dar la distribución transversal de la corriente longitudinal. El decay de la ola debido a la rotura es modelado, tanto a través de formulación empírica como por un modelo de Battjes y Janssen.

LITDRIFT calcula el potencial de transporte litoral neto y bruto sobre un período específico de diseño.

- **MIKE 21** es un paquete de software profesional que modela flujos bidimensionales. MIKE 21 es aplicable a la simulación de fenómenos hidráulicos y otros relacionados con ellos en lagos, estuarios, bahías, áreas costeras y mares en donde la estratificación puede ser despreciable.

MIKE 21 es resultado de más de 20 años de continuo desarrollo y se configura con la experiencia ganada de millares de usuarios por todo el mundo. DHI continúa utilizando MIKE 21 en sus propios estudios, así dando una simbiosis valiosa entre el desarrollo y el uso.

MIKE 21 se construye de una manera modular en torno de estas cuatro áreas de aplicación principal:

- Hidráulica costera y oceanografía.
- Ambiental hidráulica.
- Procesos sedimentarios.
- Oleaje.

MIKE 21 se puede utilizar para estudiar una amplia gama de fenómenos relacionados con la hidráulica, como por ejemplo:

- Corrientes de marea y corrientes generales.
- Oleaje.
- Calor y recirculación de sal.
- Calidad del agua.
- Puertos - agitación, seiche, alineación de diques de abrigo, movimiento de naves.
- Erosión, transporte y deposición del sedimento.

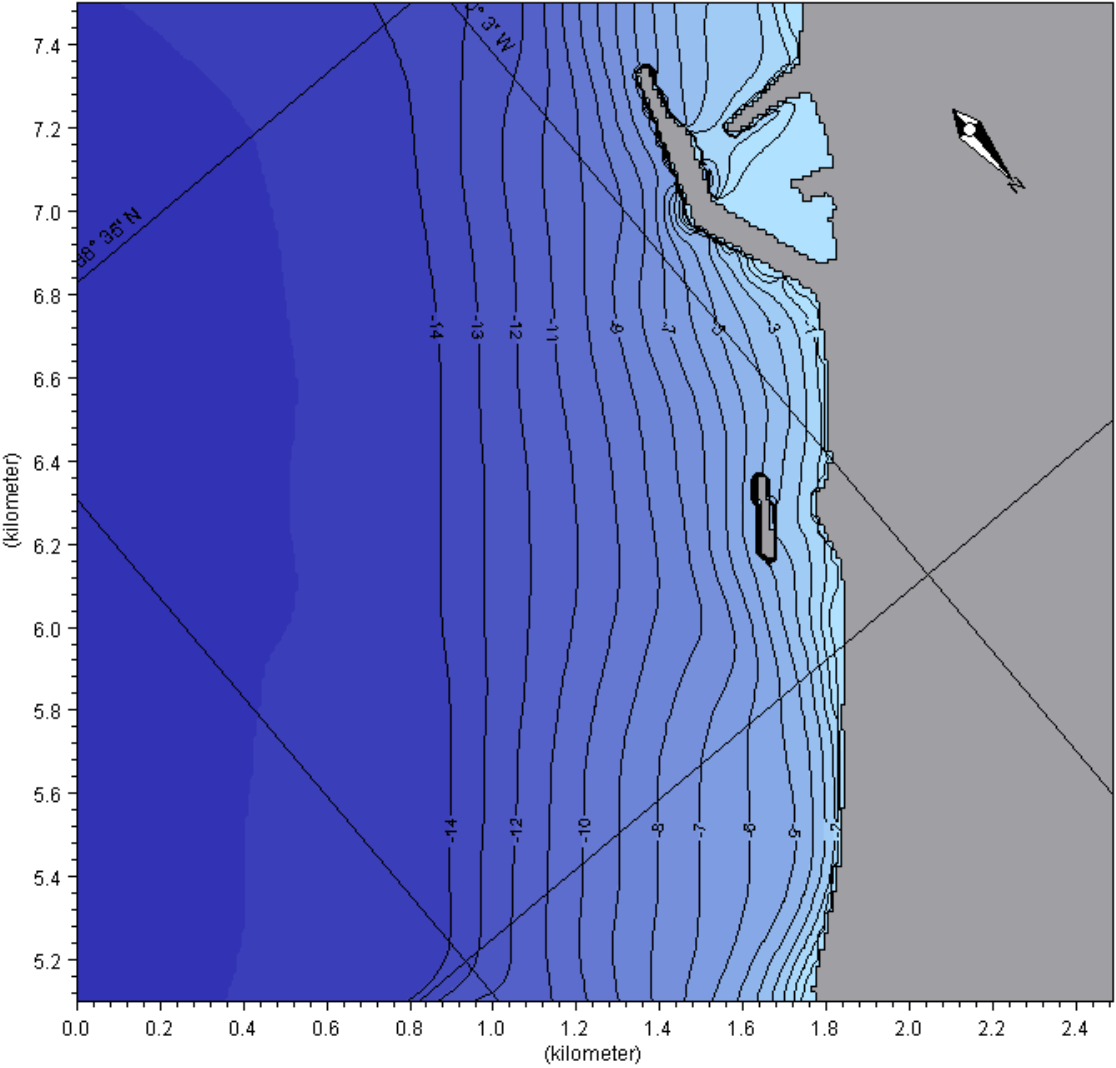
Puede conseguirse más información con la lectura, entre otras, de las referencias siguientes: Deigaard, R., Fredsoe, J., Broker, I. (1.986 a), Deigaard, R., Fredsoe, J., Broker, I. (1.986 b), DHI (2.005c), DHI (2.005d), DHI (2.005e), Engelund, F., Fredsoe, J. (1.976), Fredsoe, J. (1.984), Fredsoe, J., Andersen, O.H., Silberg, S. (1.985) y Zyserman, J.A.; Fredsoe, J (1.994).

3. APLICACIÓN DE LOS MODELOS NUMÉRICOS

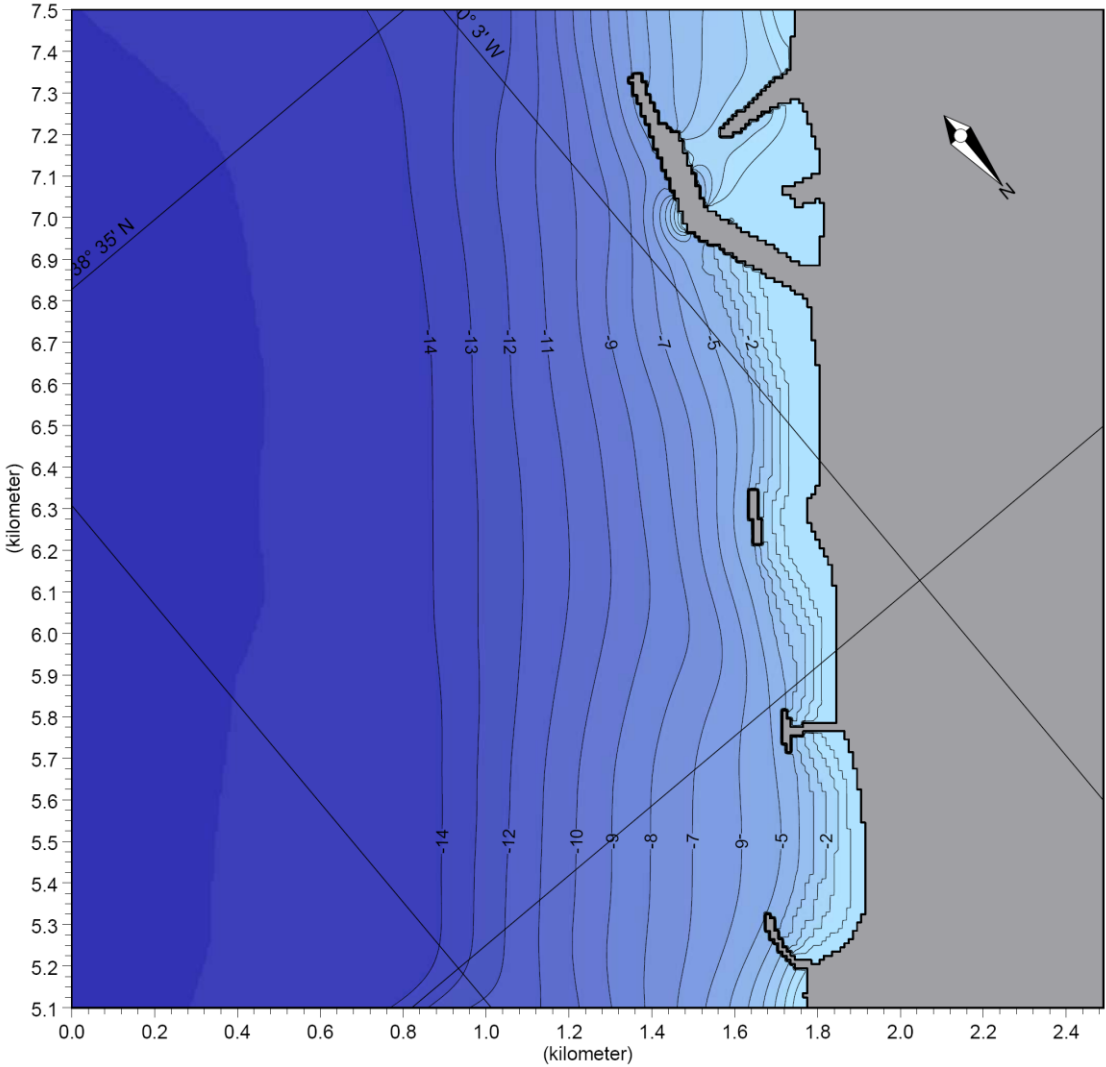
3.1 DATOS DE PARTIDA

La batimetría y el oleaje de partida son los empleados para la propagación del oleaje y han sido descritos en el Anejo N° 8 “*Clima marítimo y propagación del oleaje*” del presente Proyecto.

El perfil transversal puede considerarse uniforme a efectos de morfología (como muestra la figura siguiente); la existencia del dique exento hace que los modelos de evolución morfodinámica no sean de aplicación, debido a la hipótesis de uniformidad longitudinal ($\frac{\partial(E \cdot C_g)}{\partial x} = 0$, donde x es la coordenada longitudinal).

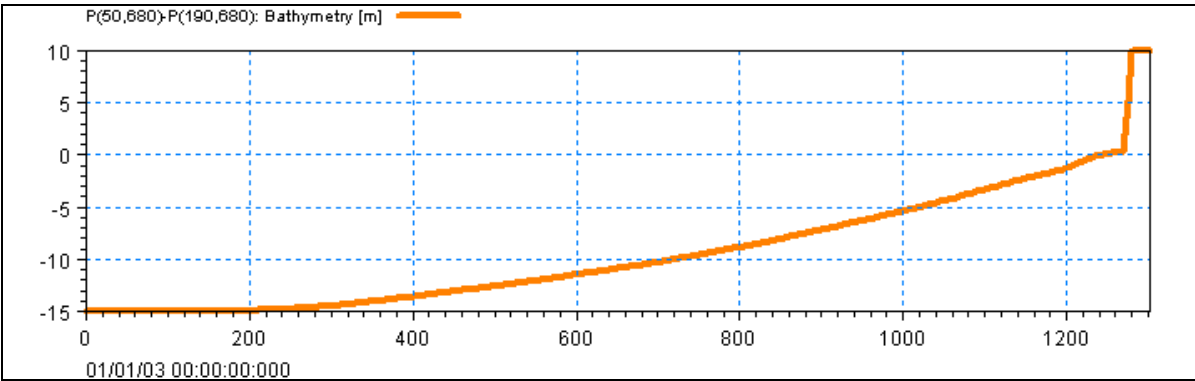


Zona objeto de análisis en situación actual



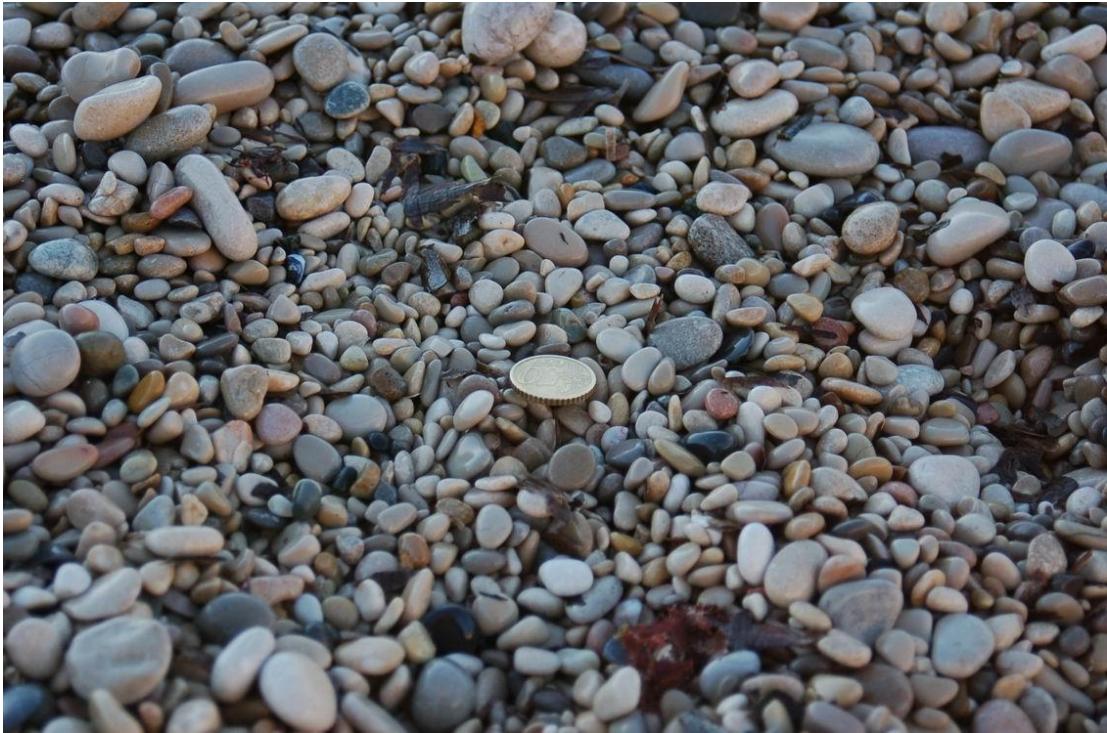
Zona objeto de análisis en situación futura

En cualquier caso, a efectos de considerar el transporte sólido longitudinal y su gradiente, se considera suficientemente representativo el perfil medio indicado (ver figura siguiente).



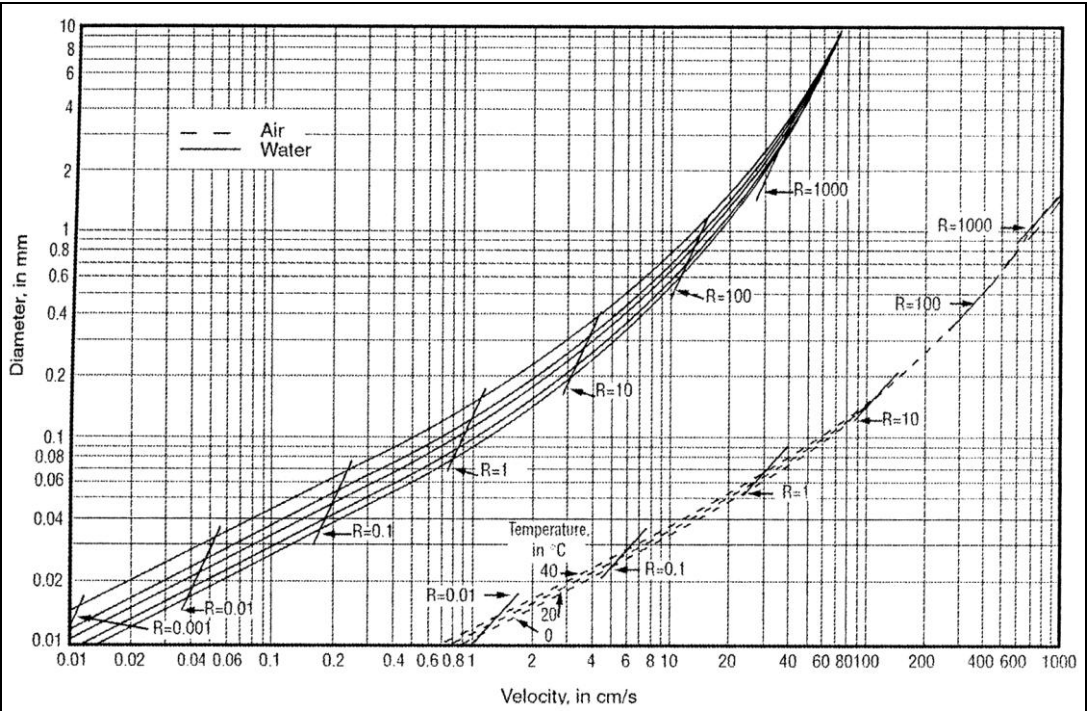
Perfil transversal tipo

Con base en las observaciones visuales de campo (ver fotografías a continuación) se ha adoptado de forma preliminar un tamaño medio del material $D_{50} = 3 \text{ mm}$.



Aspecto del material presente en la zona

La velocidad de caída se ha obtenido a partir del ábaco mostrado en la siguiente figura.



Velocidad de caída en aire y agua

Con base en experiencias similares, se ha escogido una granulometría ligeramente más fina a partir de la batimétrica -2. Así, la tabla siguiente recoge los datos granulométricos que se han utilizado.

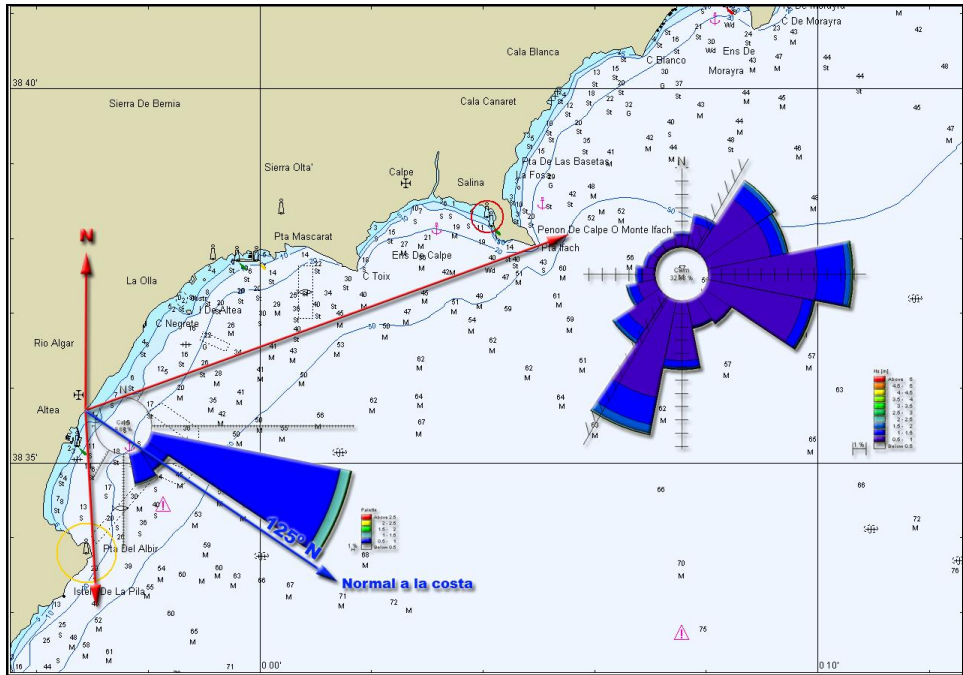
Tramo del perfil	D_{50} [mm]	Dispersión ¹	w [cm/s]
Aéreo hasta -2	3.0	1	35
-2 a -4	transición		
Resto	1	1	15

Datos granulométricos provisionales

Es de destacar que no se disponía de datos granulométricos definitivos a la hora de realizar estos cálculos, por estar en curso de realización la campaña correspondiente. Por ello, se han empleado los anteriores datos provisionales a partir de observaciones visuales in situ.

¹ D_{84}/D_{16} . A falta de datos, se considera la granulometría muy bien graduada en todos los casos.

La orientación del perfil transversal tipo es de 125° N. A estos efectos, la rosa de oleaje en la costa proporciona datos muy esclarecedores sobre el carácter de estabilidad respecto del régimen medio de oleaje, y que más adelante se comentarán; véanse las figuras siguientes.



Relación entre la orientación de la costa y el oleaje

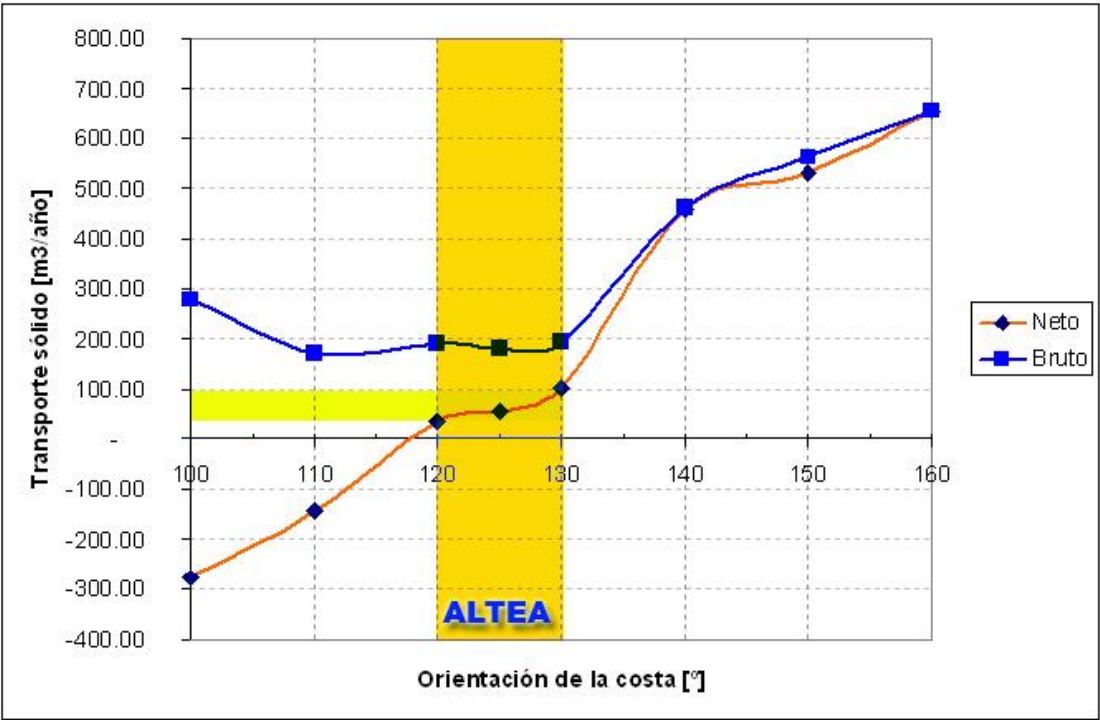
3.2 MODELIZACIÓN CON LITDRIFT

Adicionalmente a las condiciones de contorno del modelo, las hipótesis de cálculo consideradas en la modelización con Litdrift del potencial de transporte sólido longitudinal neto medio anual han sido las siguientes:

Distribución de oleaje:	Irregular, Rayleigh
Teoría de oleaje:	Stokes orden 2
Términos convectivos:	Incluidos
Temperatura del agua:	15° C
Descripción del sedimento:	Graduado
Descripción de la concentración:	Determinista
Ripples:	Incluidos
Densidad del sedimento:	2.65 t/m³

Hipótesis de cálculo

El primer resultado obtenido se muestra en la siguiente figura, que recoge la variación del potencial de transporte sólido longitudinal neto y bruto medio anual con la orientación del perfil transversal de la playa.

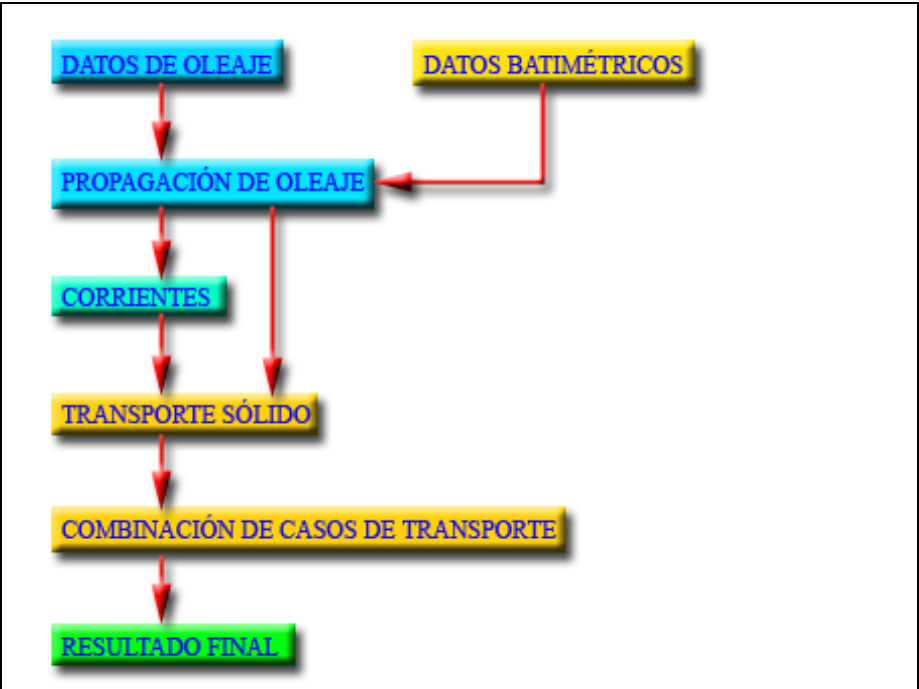


Potencial de transporte sólido en función de la orientación de la normal a la costa

En ella se observa que en la zona de Altea, que se encuentra entre 120° y 130°, el potencial de transporte es muy bajo, en torno a los 60 m³/año. La playa, pues, se encuentra próxima al equilibrio en términos de acción del oleaje. Por otra parte, la granulometría de la playa coadyuva a este efecto, minimizando el potencial de transporte sólido.

3.3 MODELIZACIÓN CON MIKE21

El proceso de modelización se esquematiza en la siguiente figura. A partir de los datos de oleaje y los datos batimétricos, se ha procedido propagar el oleaje. En principio, y como ya se ha indicado en el Anejo Nº 8 “Clima marítimo y propagación del oleaje”, se ha empleado el modelo espectral de propagación de oleaje del sistema de modelación MIKE21 para acercar los datos del punto WANA a la zona de interés.



Proceso de modelización

Tras ello se repitió, ya en la malla de detalle, la propagación de oleaje desde la isobata -15 hasta la línea de orilla, esta vez con el modelo parabólico, dado que existen obras que producen difracción en el oleaje y el dique de abrigo del puerto de Altea.

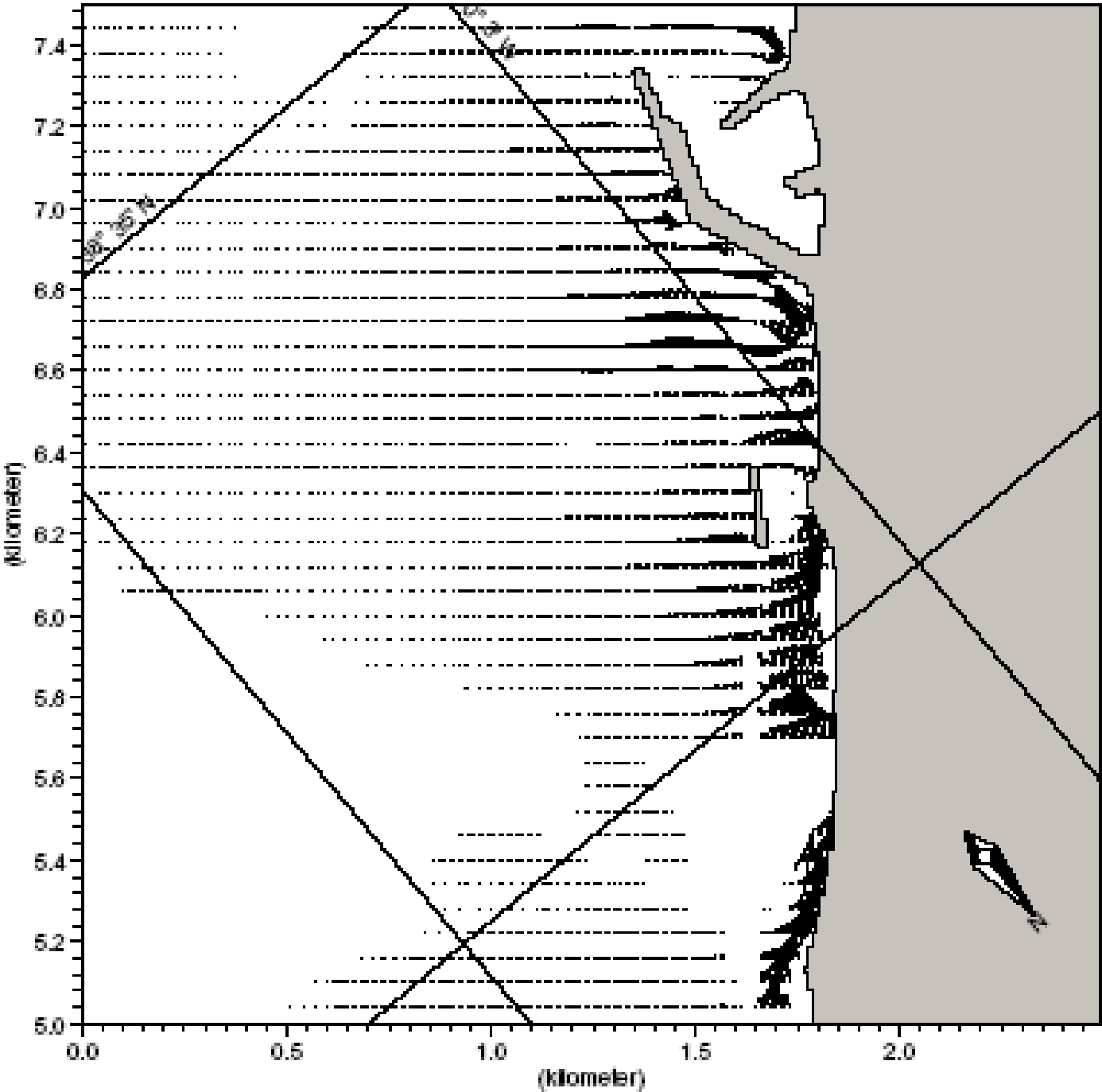
Se obtiene así el campo vectorial de tensores de radiación para cada situación estudiada (actual y futura), a partir del cual se halla el campo de corrientes producido por cada uno de los oleajes considerados. Se emplea para ello el modelo hidrodinámico de MIKE21.

A partir del campo de corrientes y del campo de alturas de ola significativa, se halla el transporte sólido con la ayuda del modelo de transporte sólido no cohesivo integrado en MIKE21.

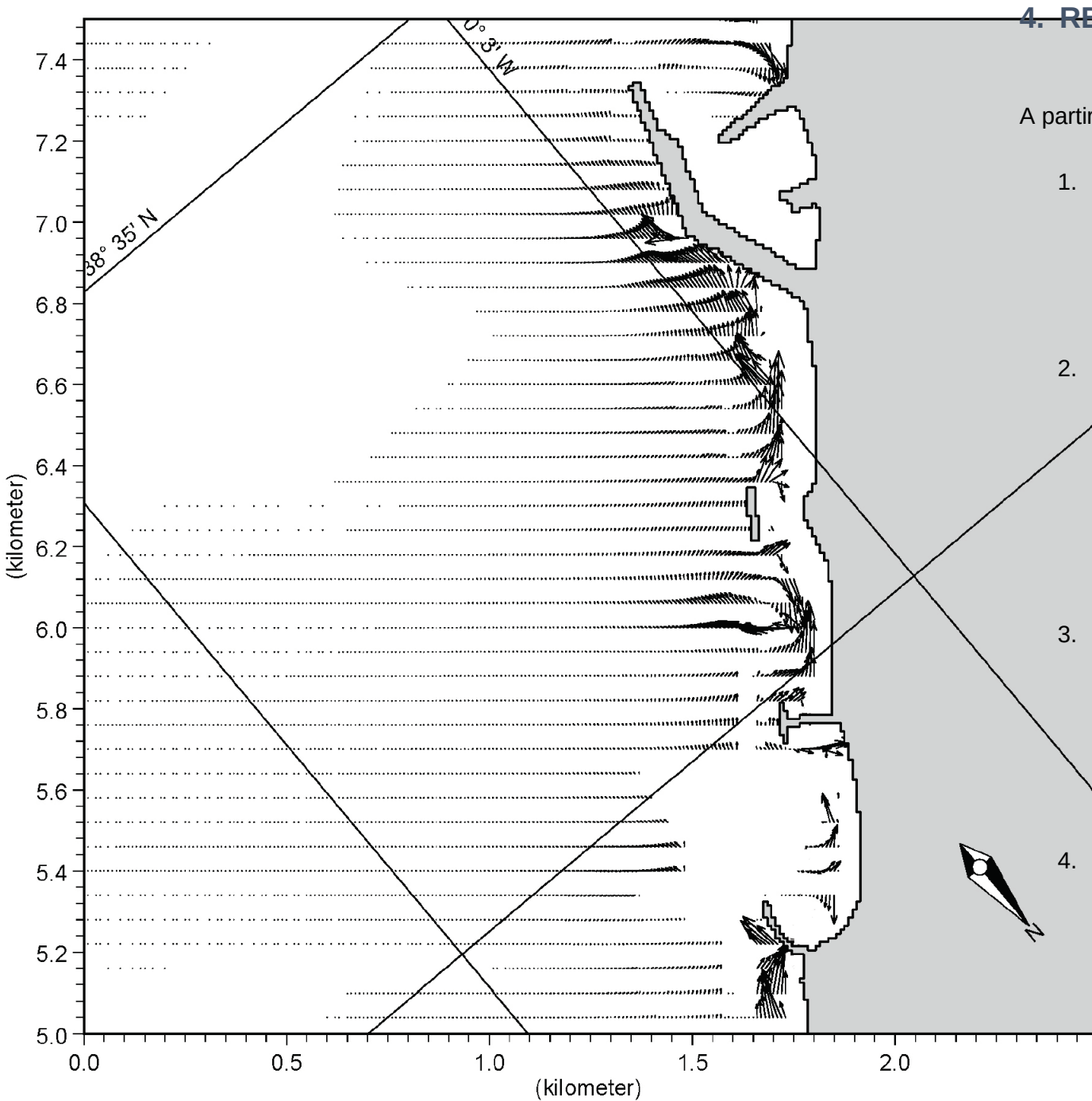
Finalmente, se combinan todos los casos de transporte sólido hallados, a partir de sus frecuencias de presentación y las de las calmas, para obtener el resultado final.

El resultado final de la modelización se resume en las figuras siguientes. Estas figuras son el resultado de la combinación de los transportes producidos por los diferentes oleajes considerados, afectándoles de su frecuencia de presentación, tanto para la situación actual como para la futura.

El resultado ha sido calibrado con el obtenido a partir de la modelización del potencial de transporte sólido longitudinal neto medio anual con LITPACK. Ello se ha realizado así por contener este sistema una formulación específica de transporte sólido para playas de guijarros.



Resultados del cálculo del potencial de transporte sólido longitudinal neto medio anual en la situación actual



Resultados del cálculo del potencial de transporte sólido longitudinal neto medio anual en la situación futura

4. RESULTADOS

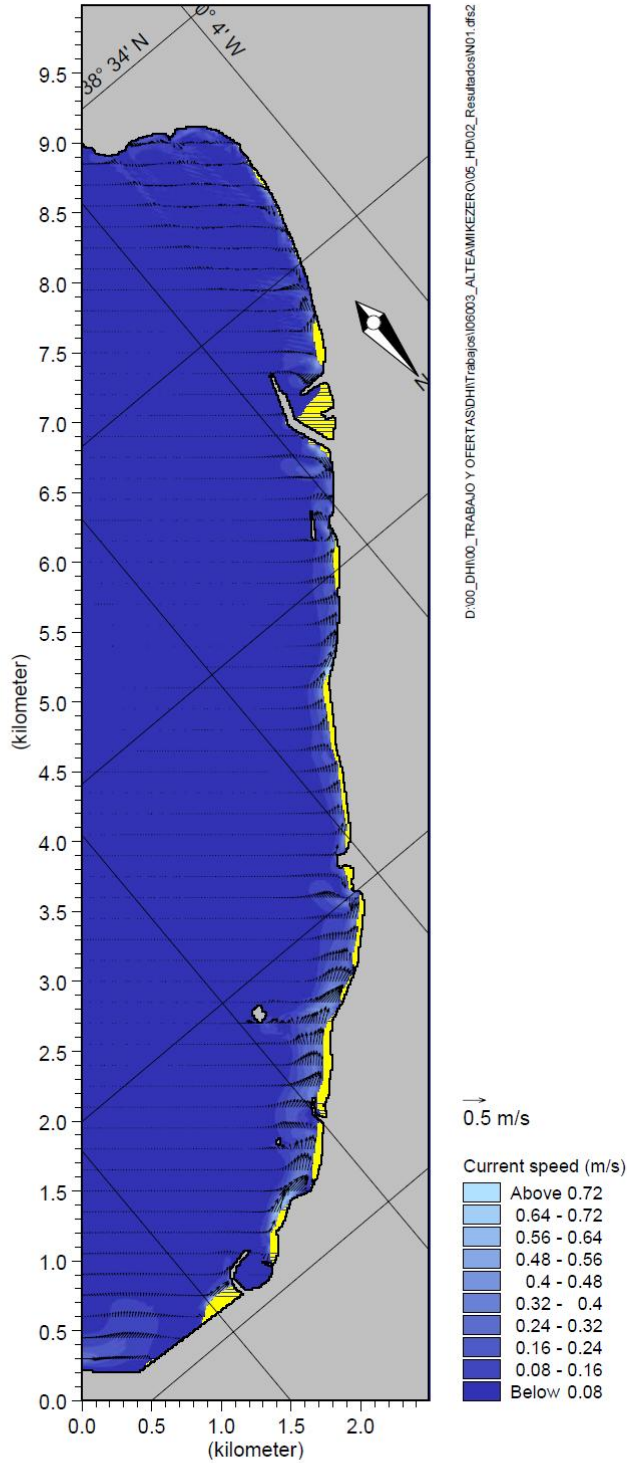
A partir de los estudios realizados y los resultados obtenidos, se puede indicar lo siguiente:

1. No se disponían, a la hora de efectuar el estudio, de datos granulométricos definitivos, por estar en curso de realización la campaña correspondiente. Por ello, se han empleado datos provisionales a partir de observaciones in situ. En cualquier caso, los resultados proporcionan datos cualitativos que concuerdan con lo observado.
2. Una vez analizados los resultados de las campañas de caracterización granulométrica del sedimento, hay que señalar la gran dispersión existente en los tamaños de los sedimentos presentes en este frente costero. Existe una disparidad notable entre los sedimentos encontrados en el perfil sumergido y los del perfil aéreo. En el primer caso, la mayor parte es arena fina o muy fina mientras que en el perfil aéreo se hallan los tamaños más gruesos con mezcla de gravas, zahorras y arena, ésta última en pequeña proporción.
3. En el mapa granulométrico se observa la existencia de una zona en la parte sumergida de material muy grueso difícil de mover que condiciona el campo de corrientes en las inmediaciones debido a la existencia de material mucho más fino a su alrededor. Con ello, se observan corrientes de transporte encauzadas dentro del perfil de playa en la zona de los sedimentos finos.
4. El potencial de transporte sólido longitudinal neto es muy reducido, encontrándose el frente litoral en un estado próximo al de equilibrio tanto en la situación actual como en la futura, debido a dos razones principales:
 - El oleaje arriba a la costa con una oblicuidad muy reducida.
 - La granulometría del árido que conforma la playa es muy gruesa.
5. La dirección y sentido medios de la corriente de transporte sólido longitudinal neto es de NE a SW, tendiendo a producir acumulaciones junto al dique de abrigo del puerto
6. En la situación futura se divide la fachada costera en dos celdas separadas por espigones. Las estructuras de contención y de defensa de costa planteadas modifican el campo de corrientes existente en la actualidad formando áreas de aguas más tranquilas en sus entornos, pero sin perjudicar la necesaria renovación del agua para una buena calidad de baño de la zona.

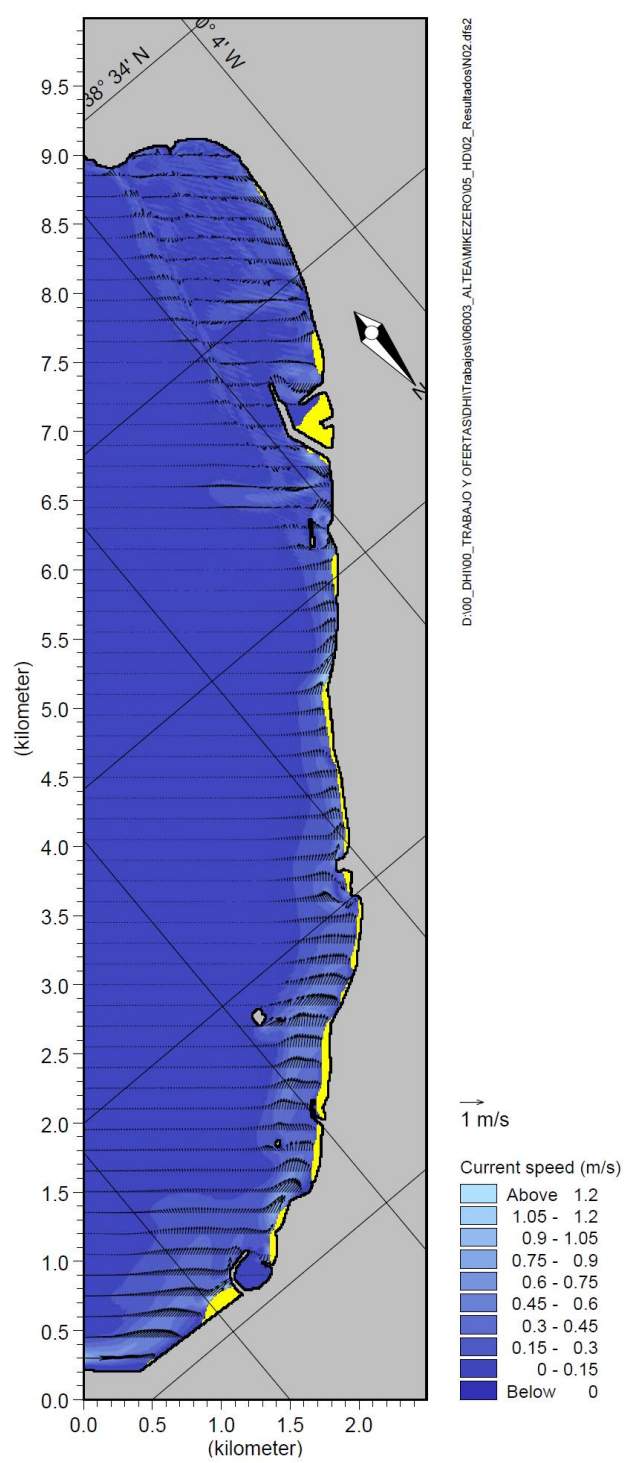
7. En relación con el dique exento existente, se puede observar que al reducir su longitud se consigue una menor zona de influencia y por tanto, una zona más reducida de agua abrigada.

ANEXO Nº 1 AL ANEJO Nº 9.

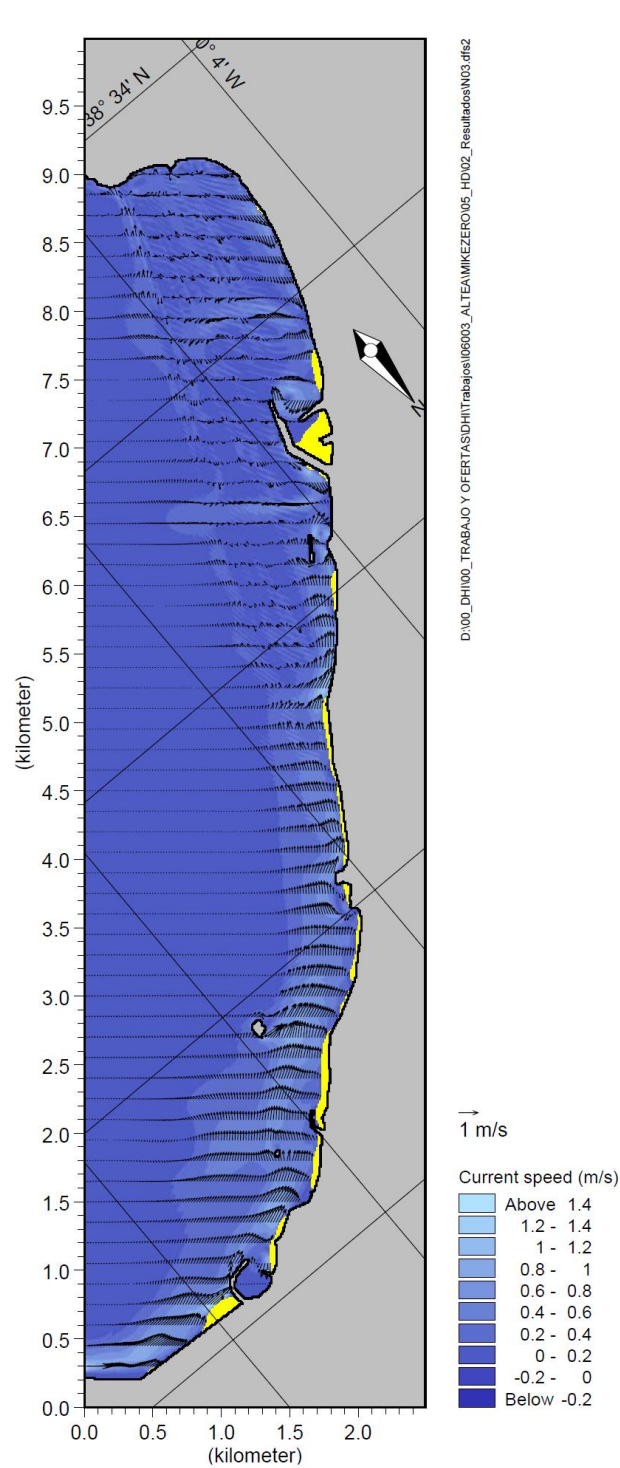
CORRIENTES Y TRANSPORTE EN SITUACIÓN ACTUAL



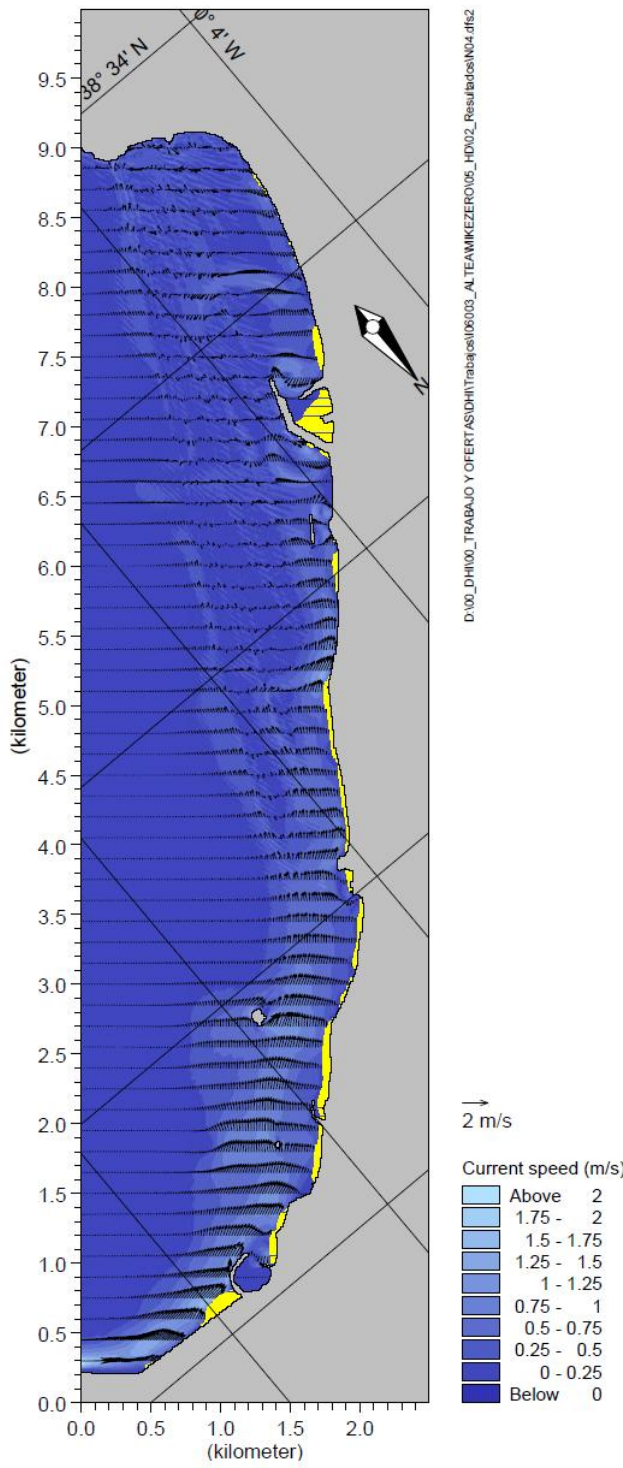
		Client: KV CONSULTORES		MIKEZero	
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA			
DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANÁLISIS HIDRODINÁMICO			Drawing no. HD.01
Isabel de Valois, 20	Init: jmv	Corrientes producidas por oleaje			
BOADILLA		Oleaje Ref. 01			



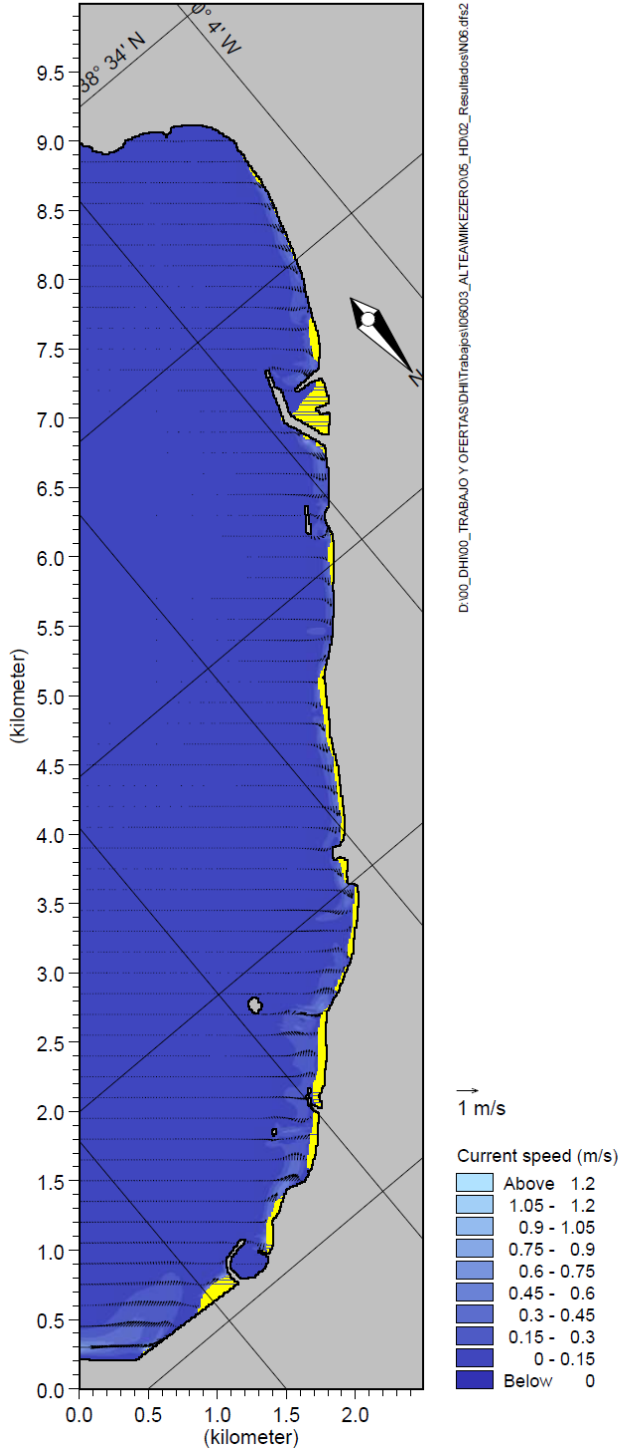
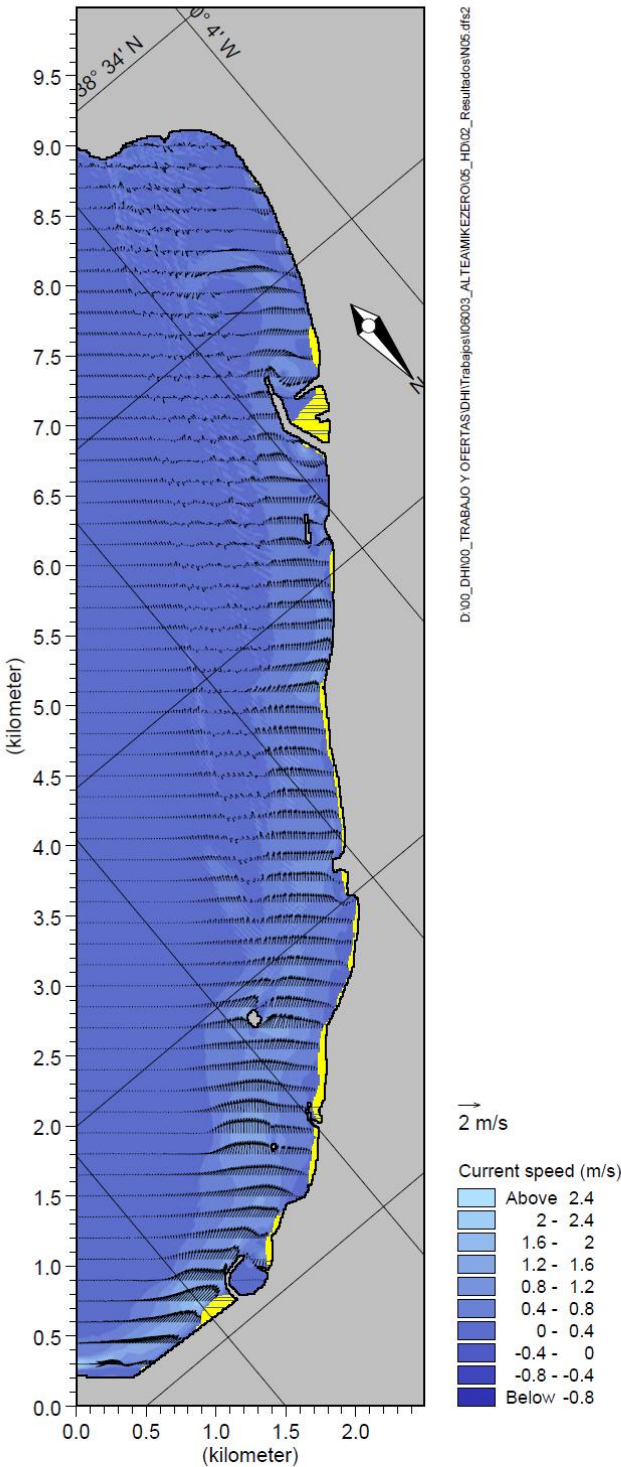
		Client: KV CONSULTORES		MIKEZero	
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA			
DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANÁLISIS HIDRODINÁMICO			Drawing no. HD.02
Isabel de Valois, 20	Init: jmv	Corrientes producidas por oleaje			
BOADILLA		Oleaje Ref. 02			



DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANÁLISIS HIDRODINÁMICO Corrientes producidas por oleaje Oleaje Ref. 03	Drawing no. HD.03
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv		

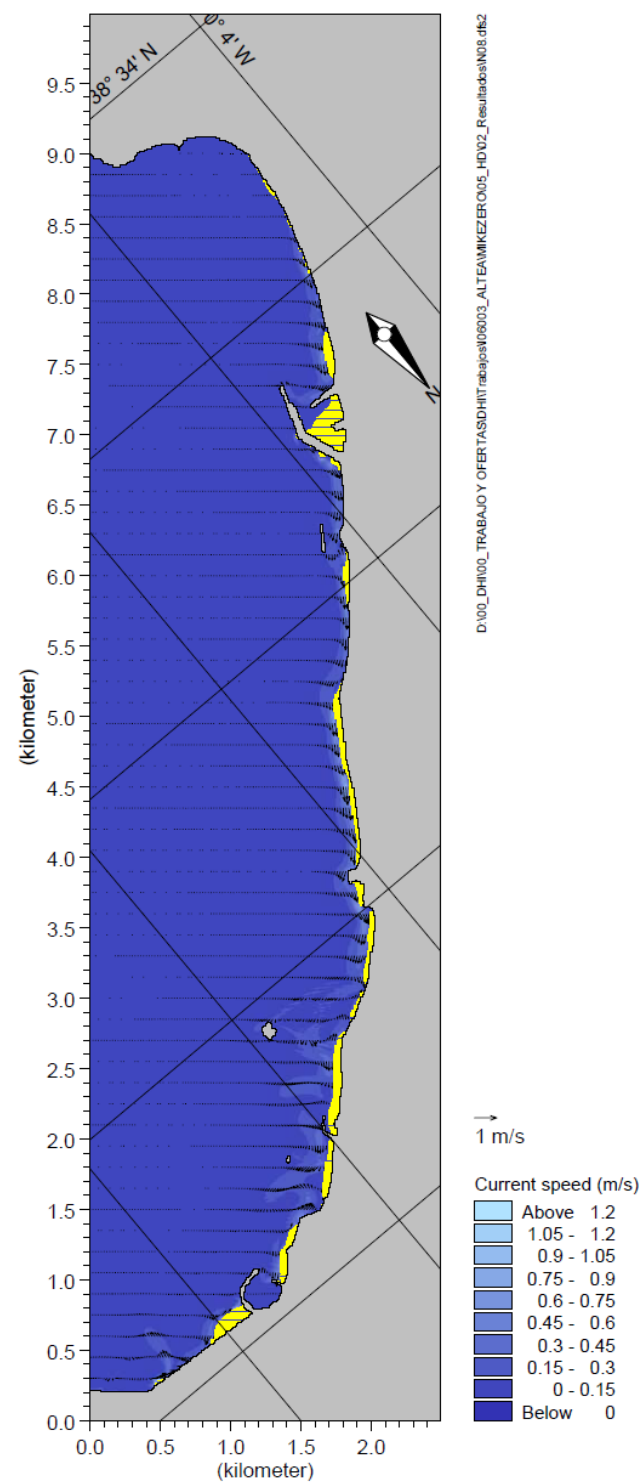
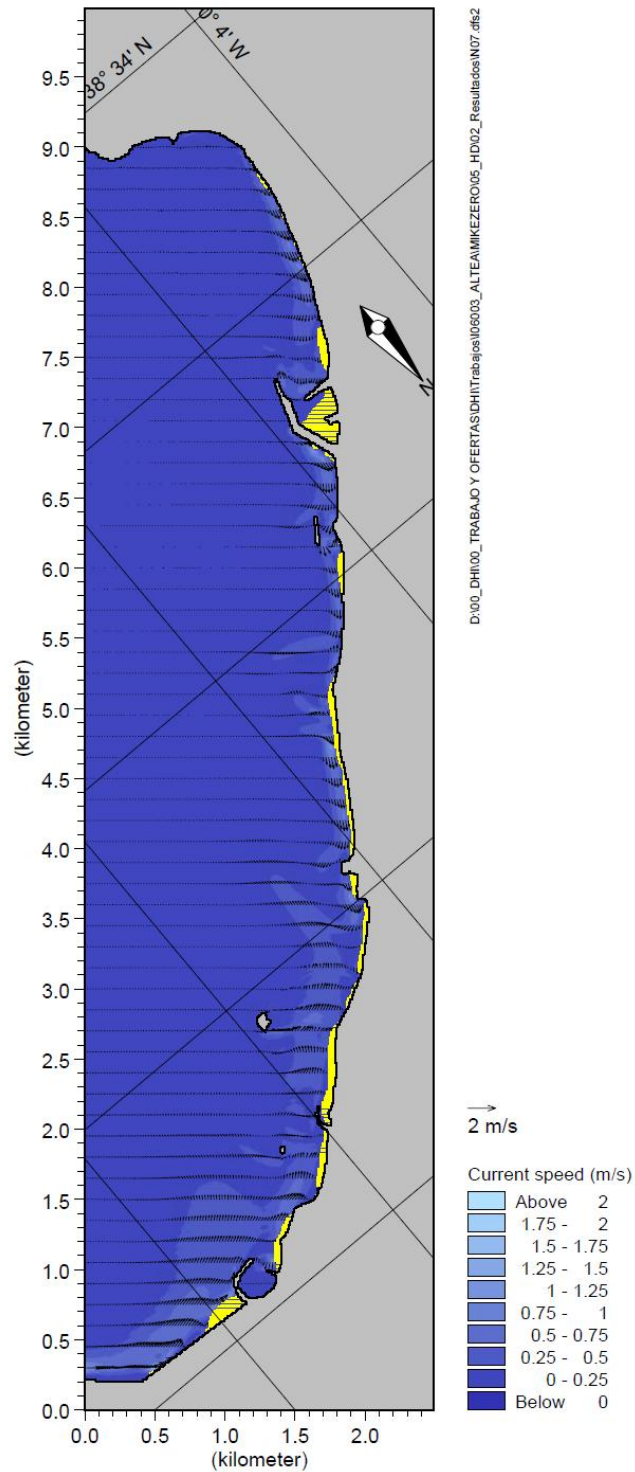


DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANÁLISIS HIDRODINÁMICO Corrientes producidas por oleaje Oleaje Ref. 04	Drawing no. HD.04
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv		



		Client: KV CONSULTORES		
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA		
DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANÁLISIS HIDRODINÁMICO Corrientes producidas por oleaje Oleaje Ref. 05	Drawing no. HD.05	
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv			

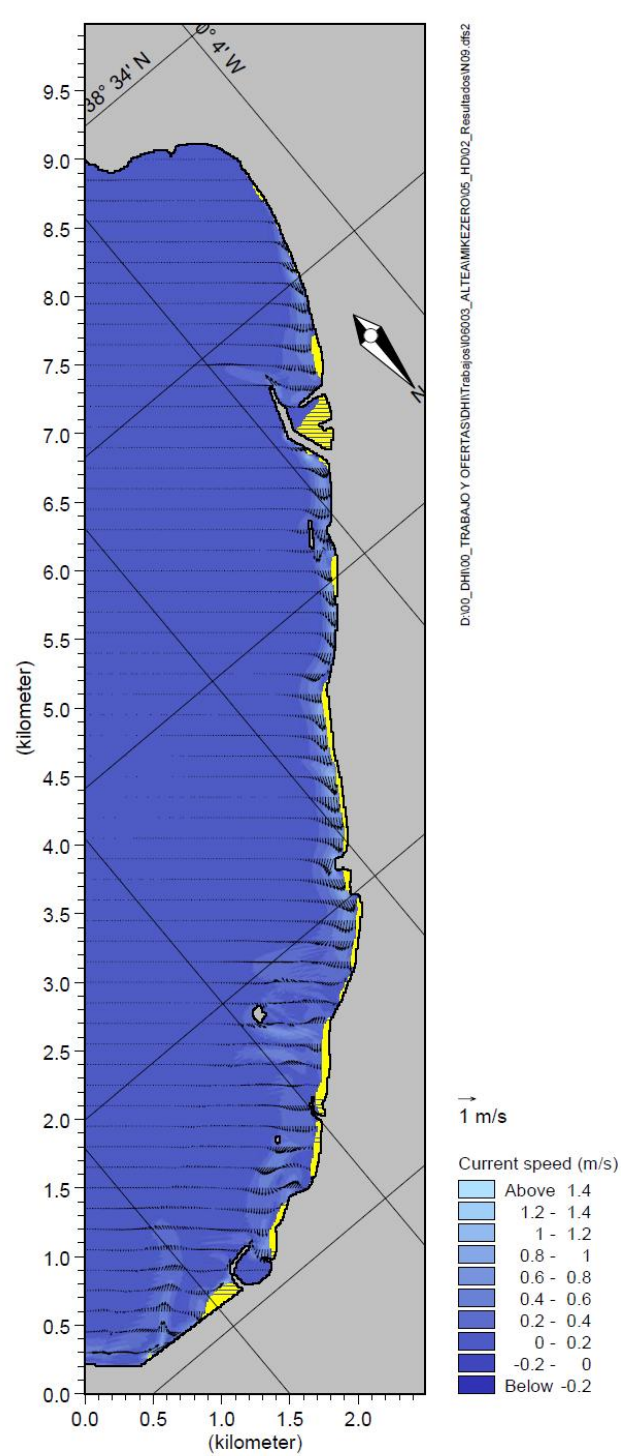
		Client: KV CONSULTORES		
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA		
DIV. MARINA		ANÁLISIS HIDRODINÁMICO Corrientes producidas por oleaje Oleaje Ref. 06		
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Date: 01/30/06 Init: jmv	Drawing no. HD.06		



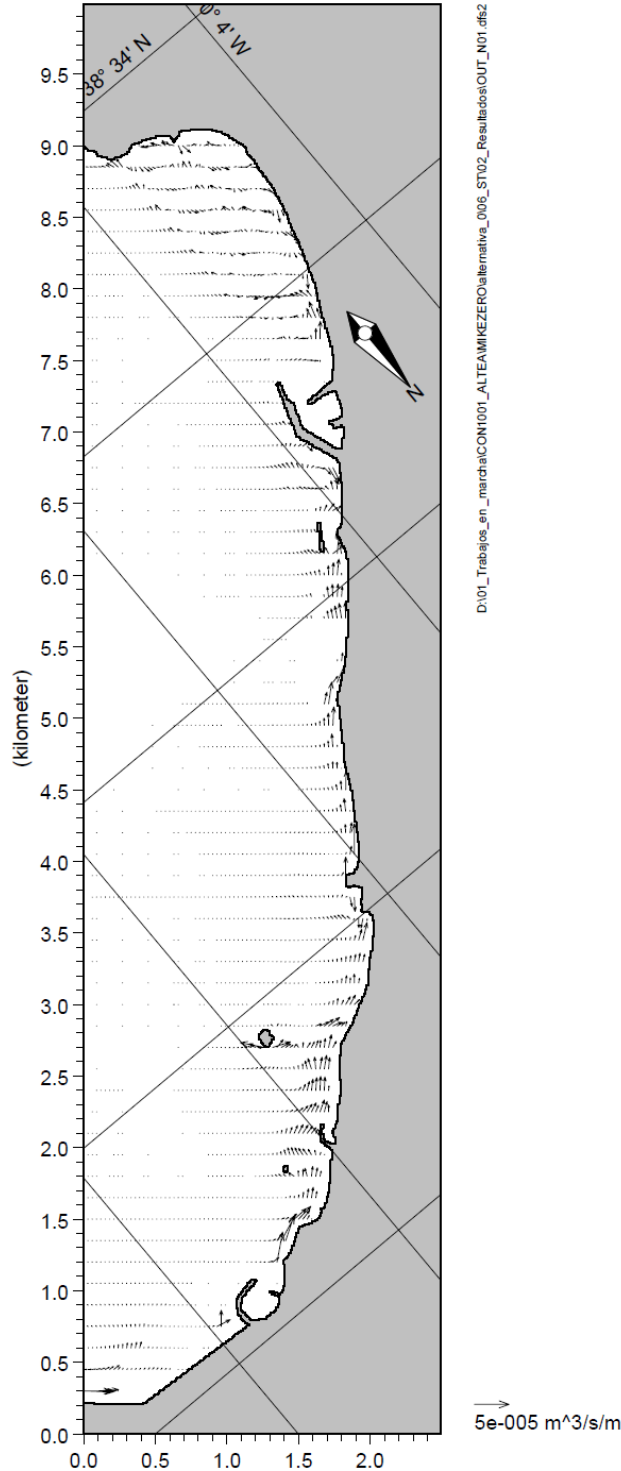
DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANÁLISIS HIDRODINÁMICO Corrientes producidas por oleaje Oleaje Ref. 07	Drawing no. HD.07
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv		



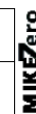
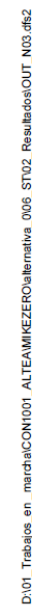
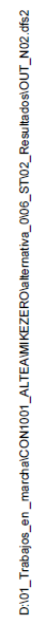
DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANÁLISIS HIDRODINÁMICO Corrientes producidas por oleaje Oleaje Ref. 08	Drawing no. HD.08
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv		

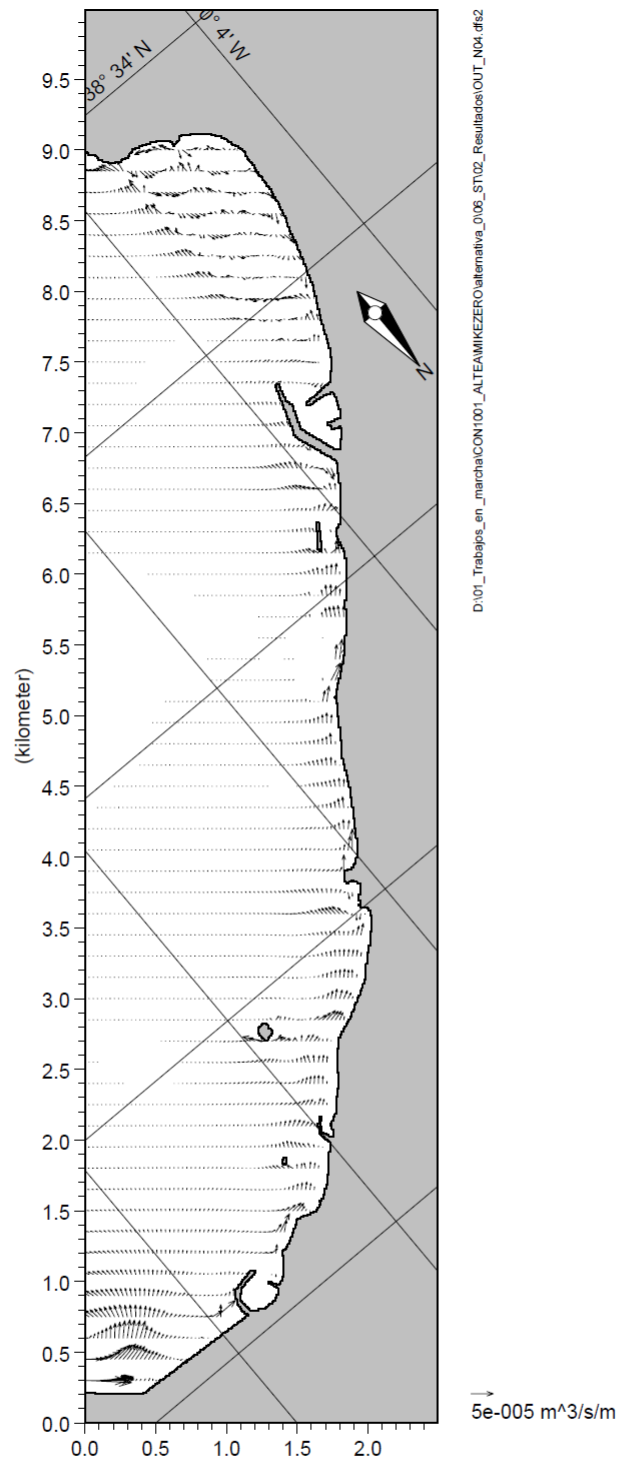


		Client: KV CONSULTORES	
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA	
DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANÁLISIS HIDRODINÁMICO Corrientes producidas por oleaje Oleaje Ref. 09	Drawing no. HD.09
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv		

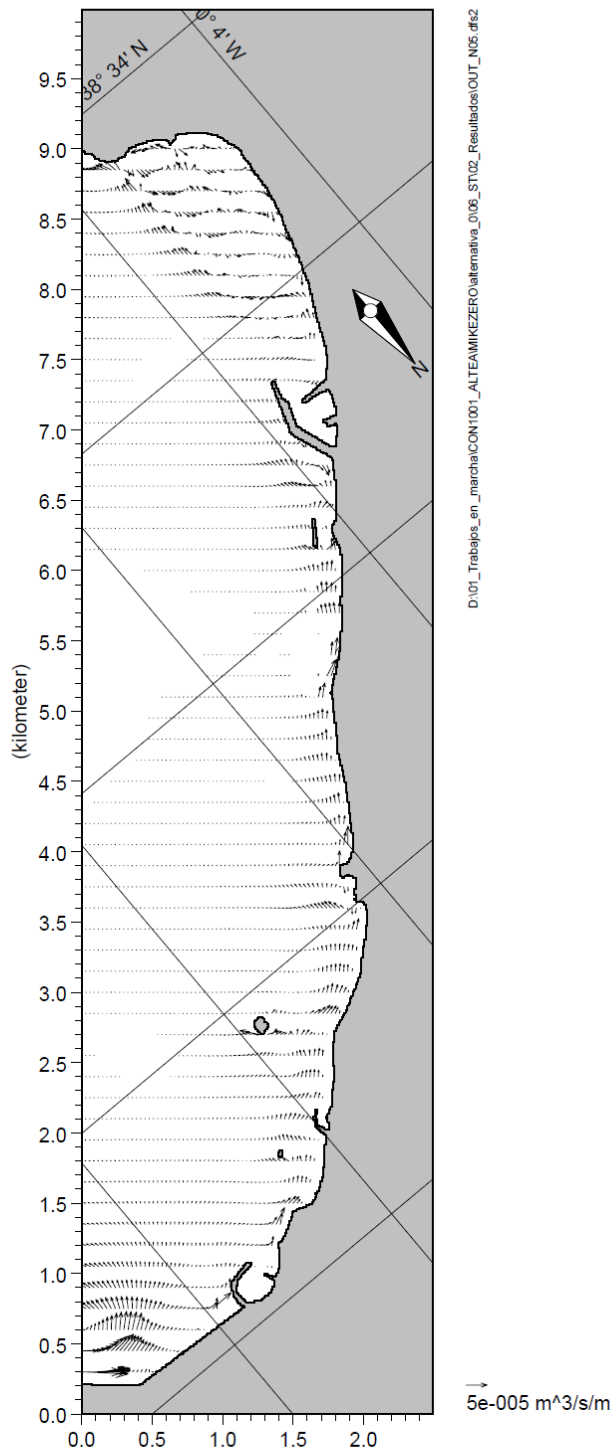


		Client: KV CONSULTORES	
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA	
DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 01	Drawing no. ST.01
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv		

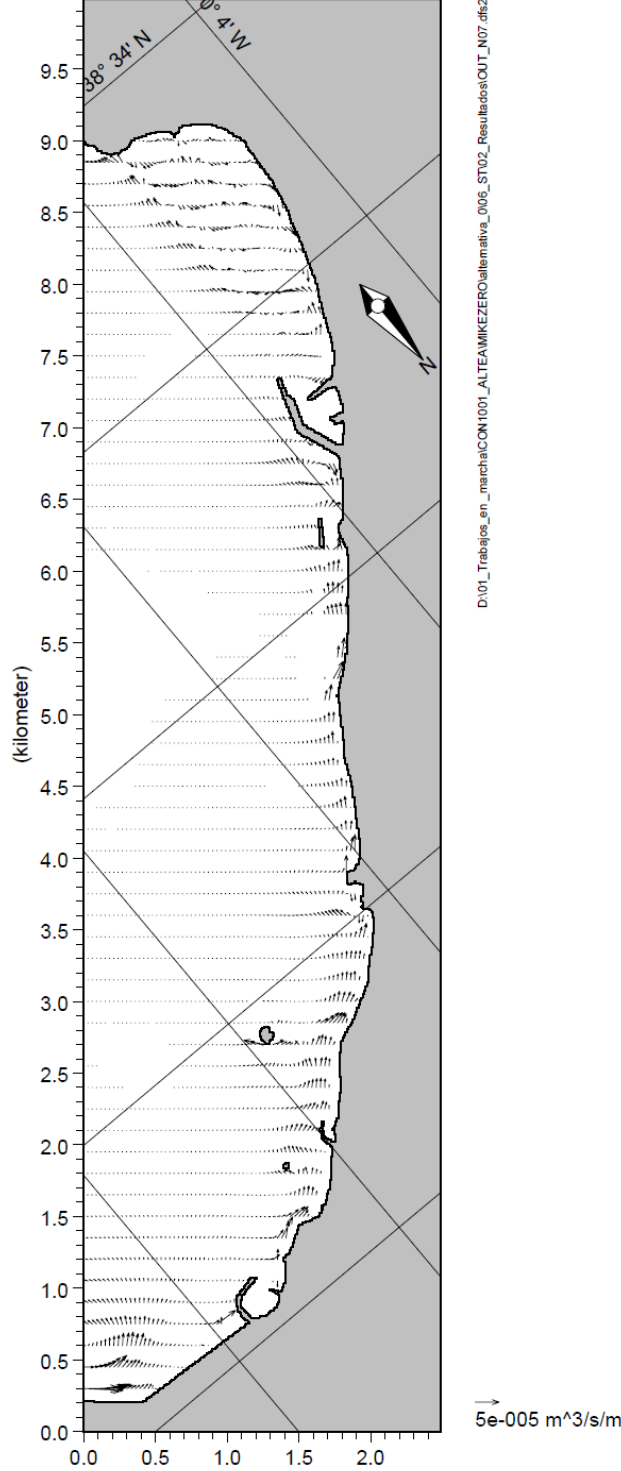
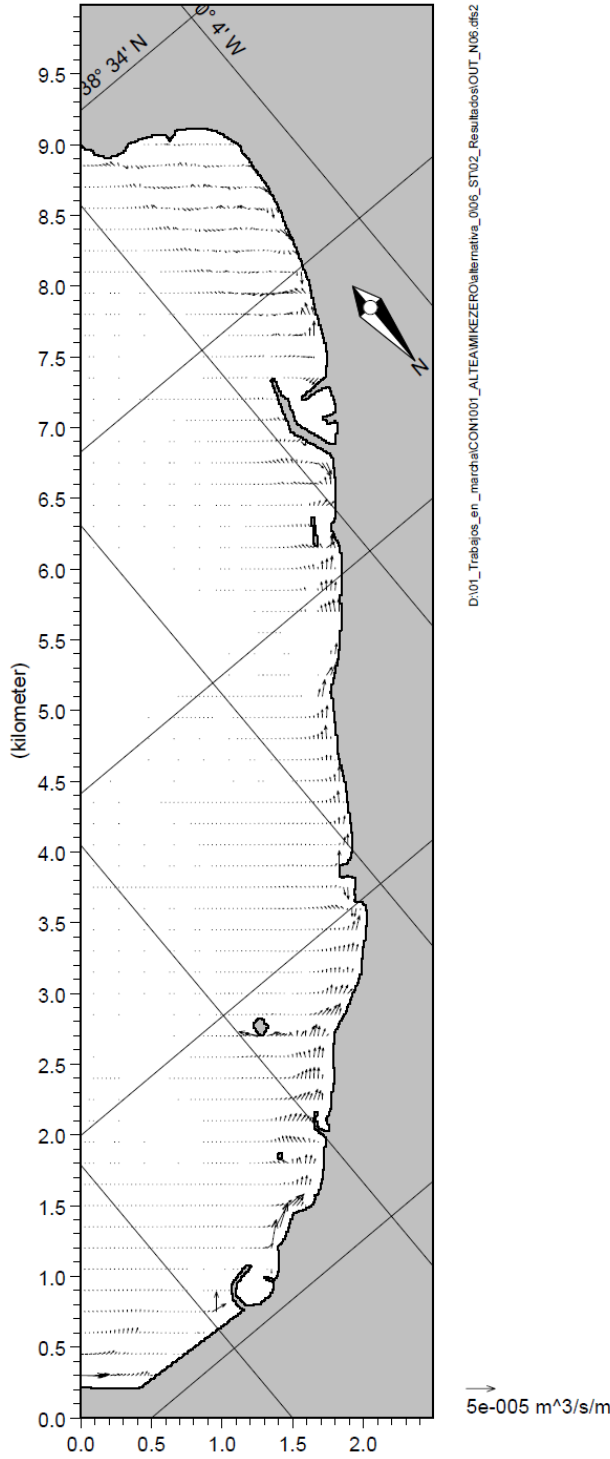




		Client: KV CONSULTORES		
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA		
DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 04	Drawing no. ST.04	
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv			



		Client: KV CONSULTORES		
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA		
DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 05	Drawing no. ST.05	
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv			



DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 06	Drawing no. ST.06
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv		

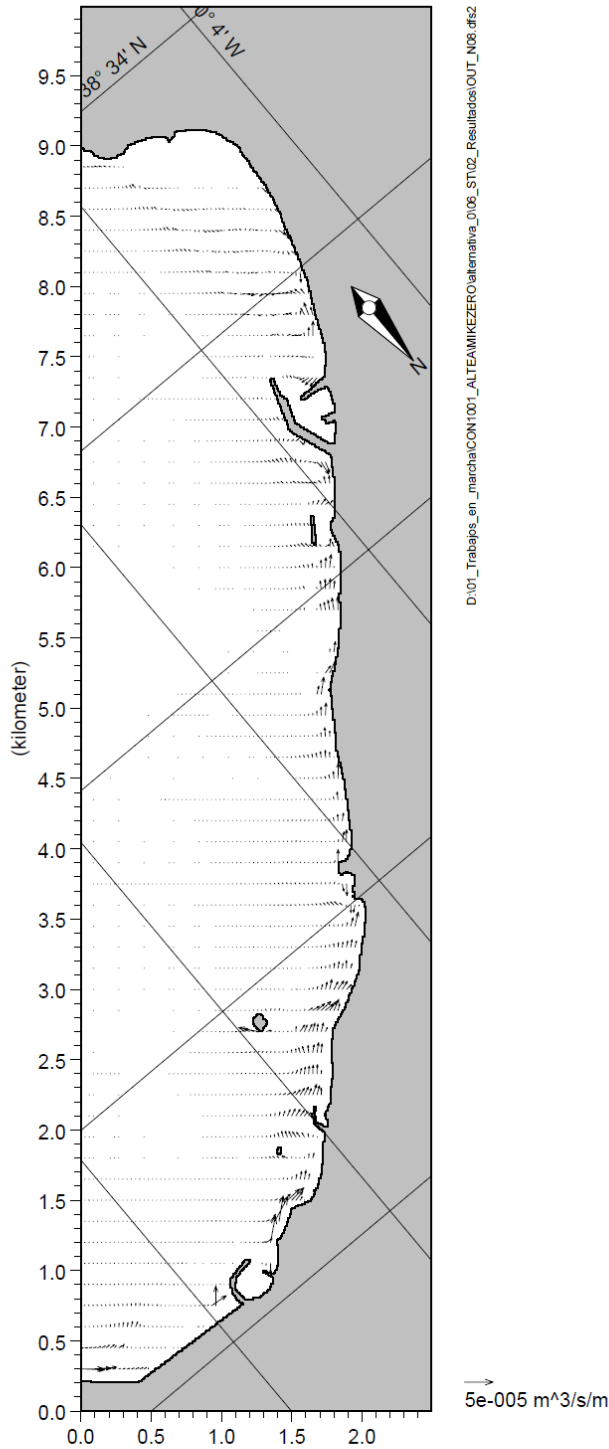
Client: KV CONSULTORES
Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA



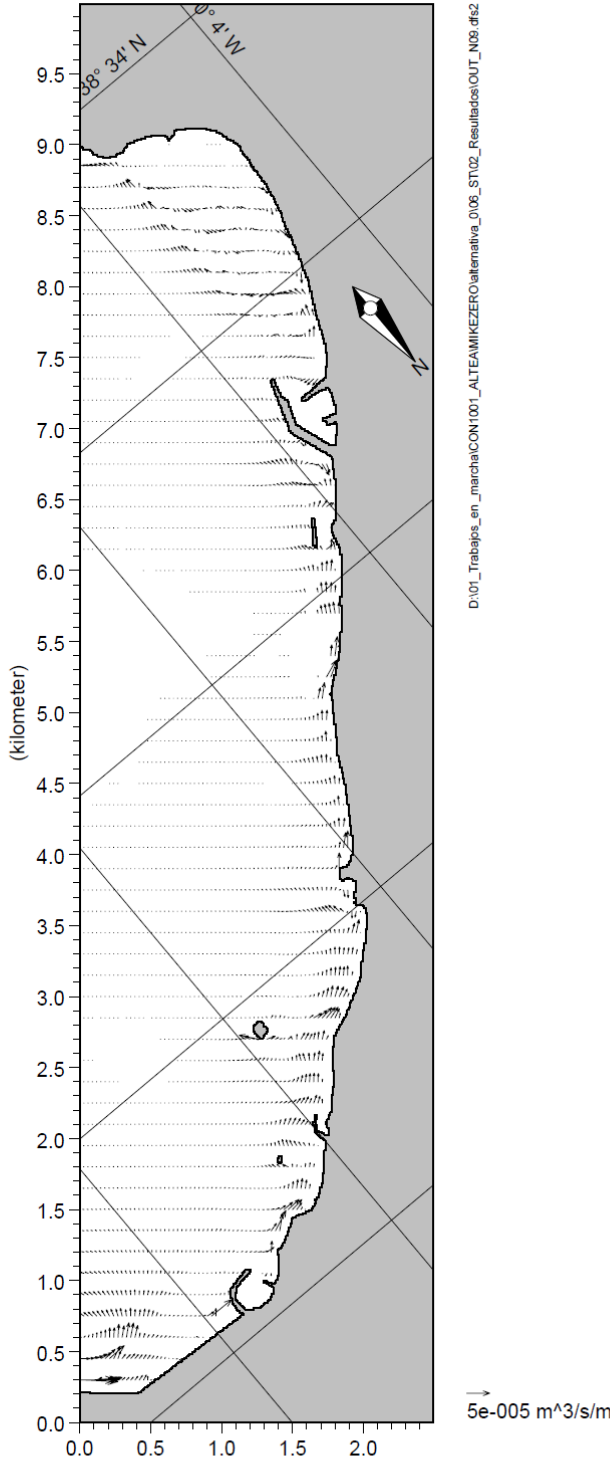
DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 07	Drawing no. ST.07
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv		

Client: KV CONSULTORES
Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA

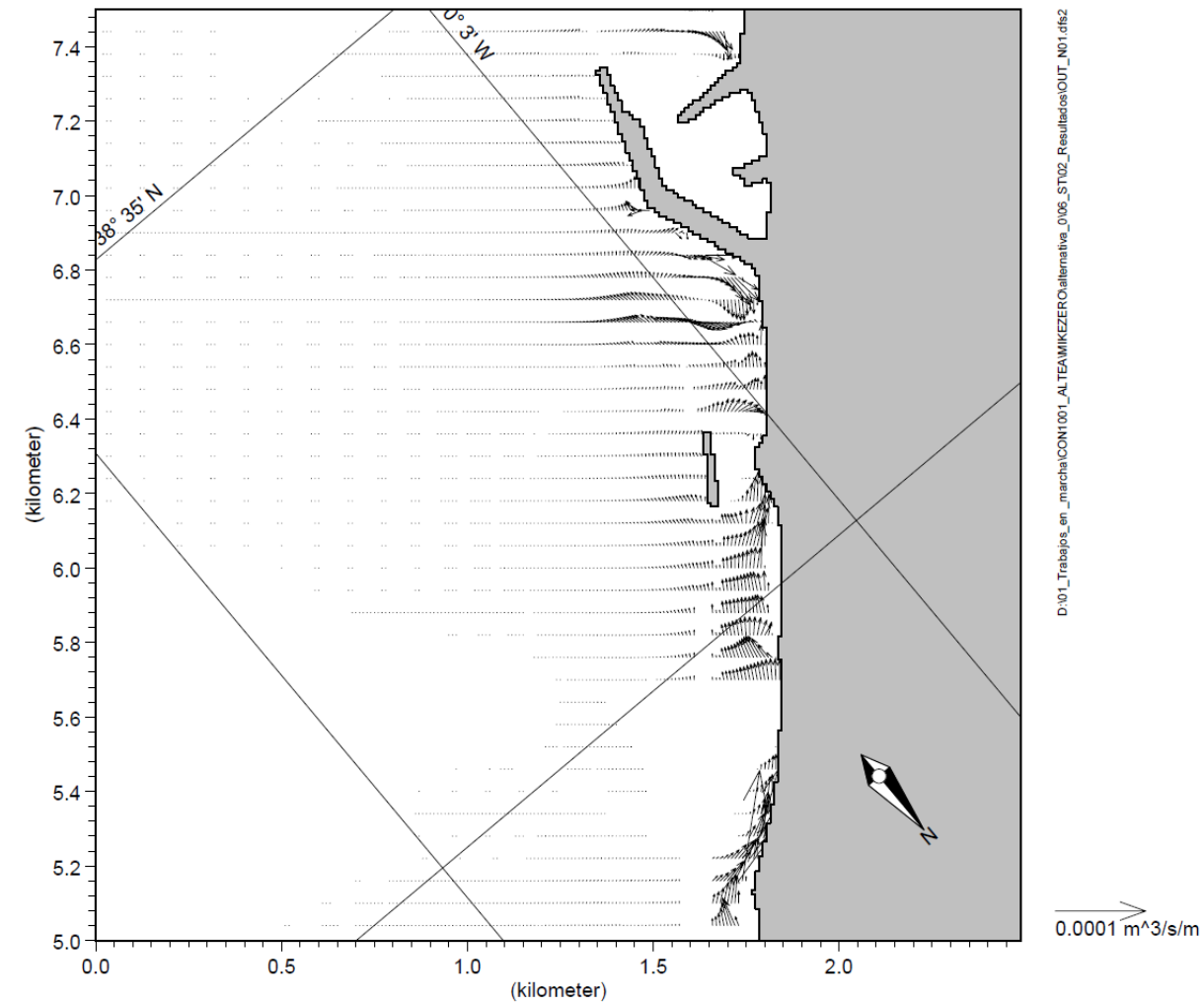
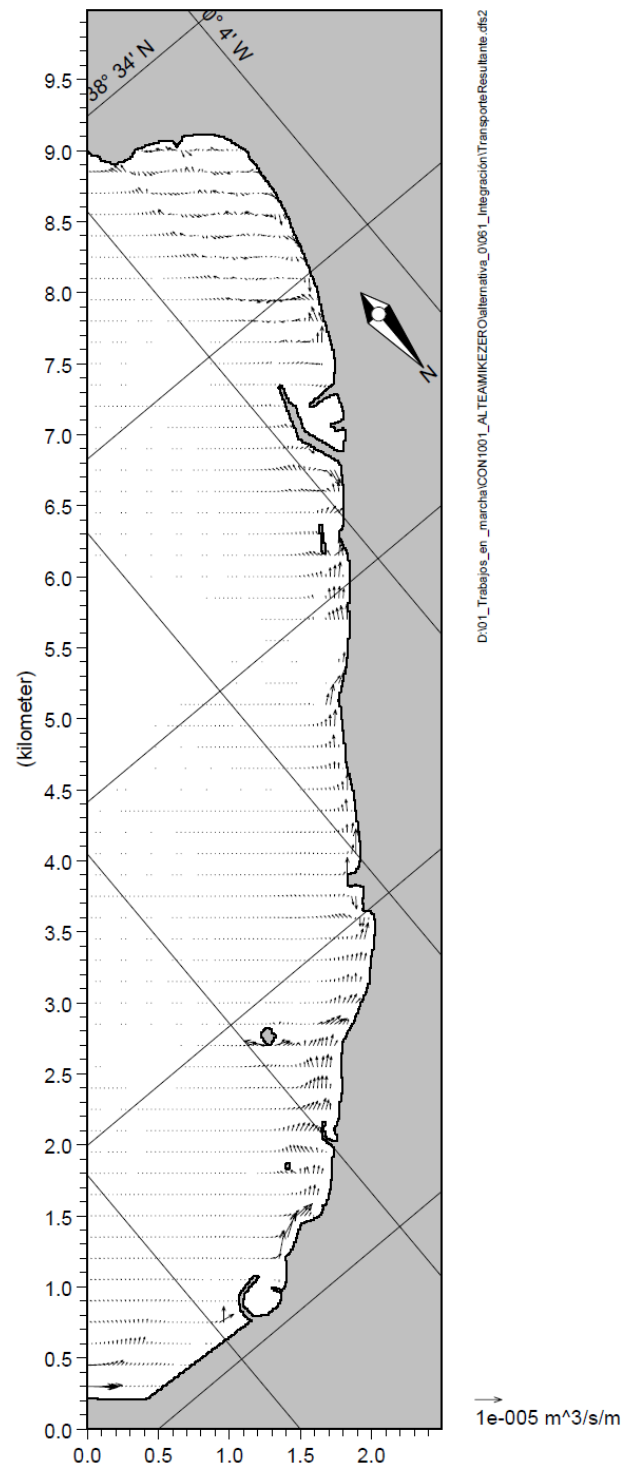




		Client: KV CONSULTORES		
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA		
DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 08	Drawing no. ST.08	
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv			



		Client: KV CONSULTORES		
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA		
DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 09	Drawing no. ST.09	
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv			

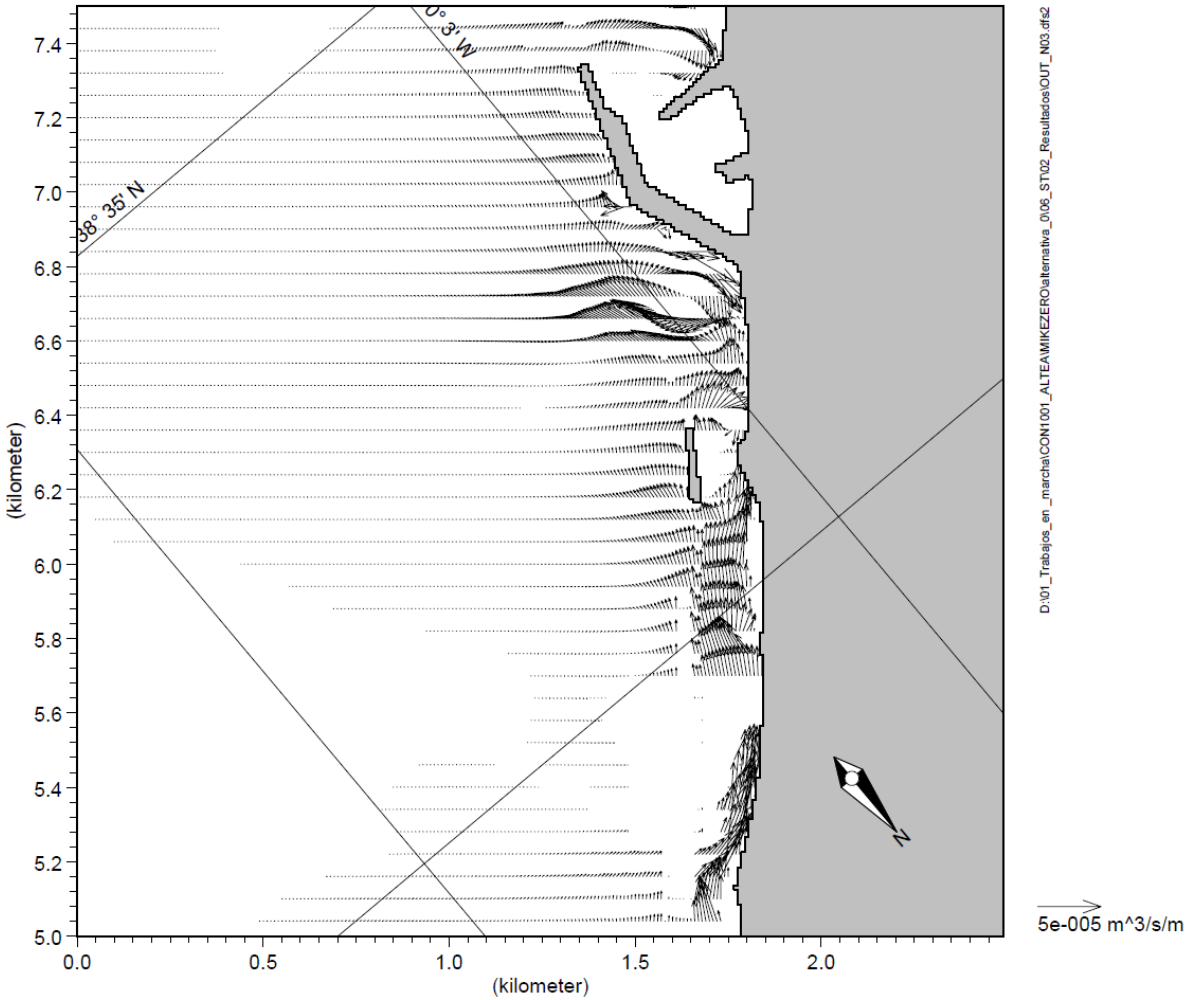
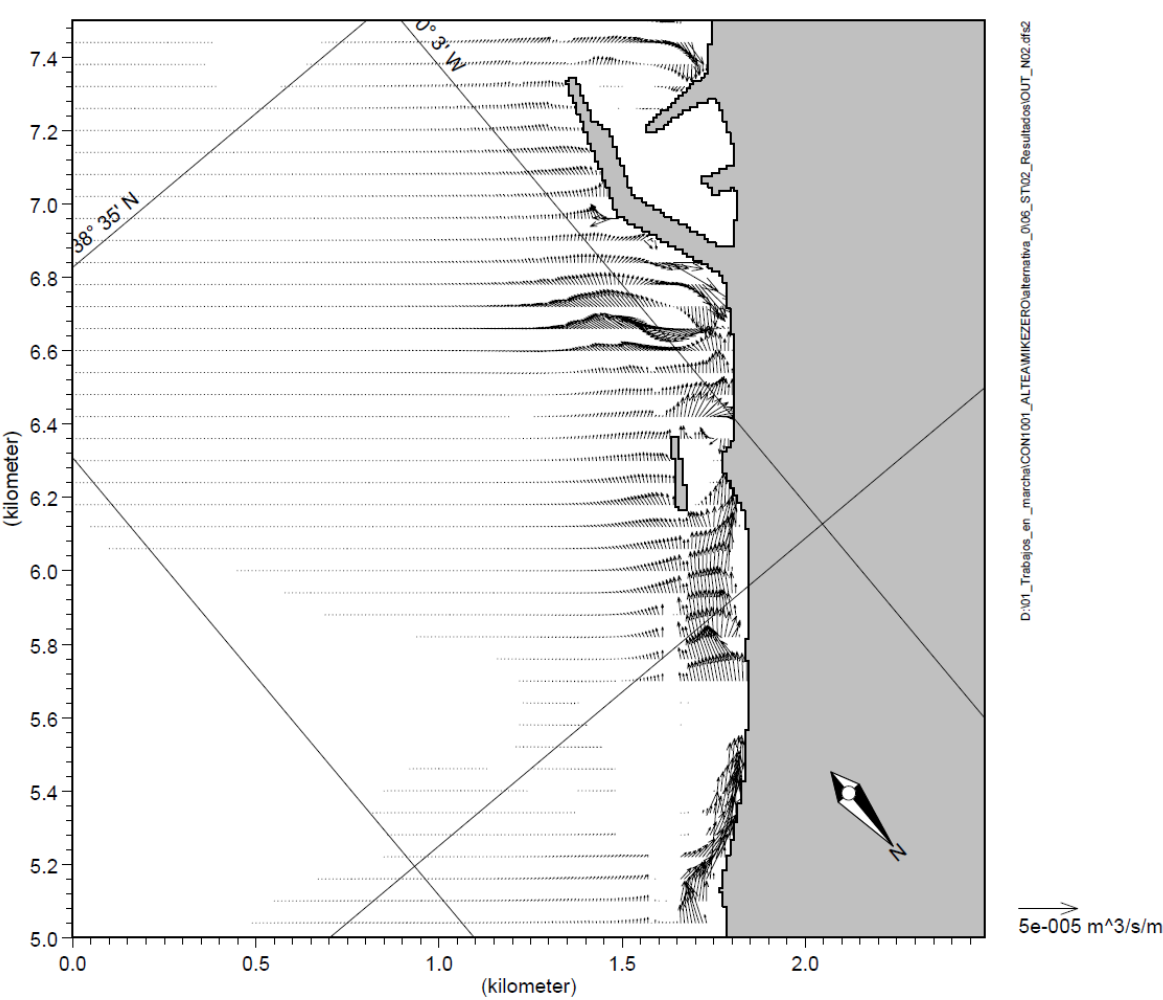


DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal medio anual	Drawing no. ST.10
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv		



DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 01	Drawing no. ST.01 D
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv		





DIV. MARINA
Isabel de Valois, 20
BOADILLA

Date:
01/30/06
Init:
jmv

Client: KV CONSULTORES	
Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA	
ANALISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 02	Drawing no. ST.02 D

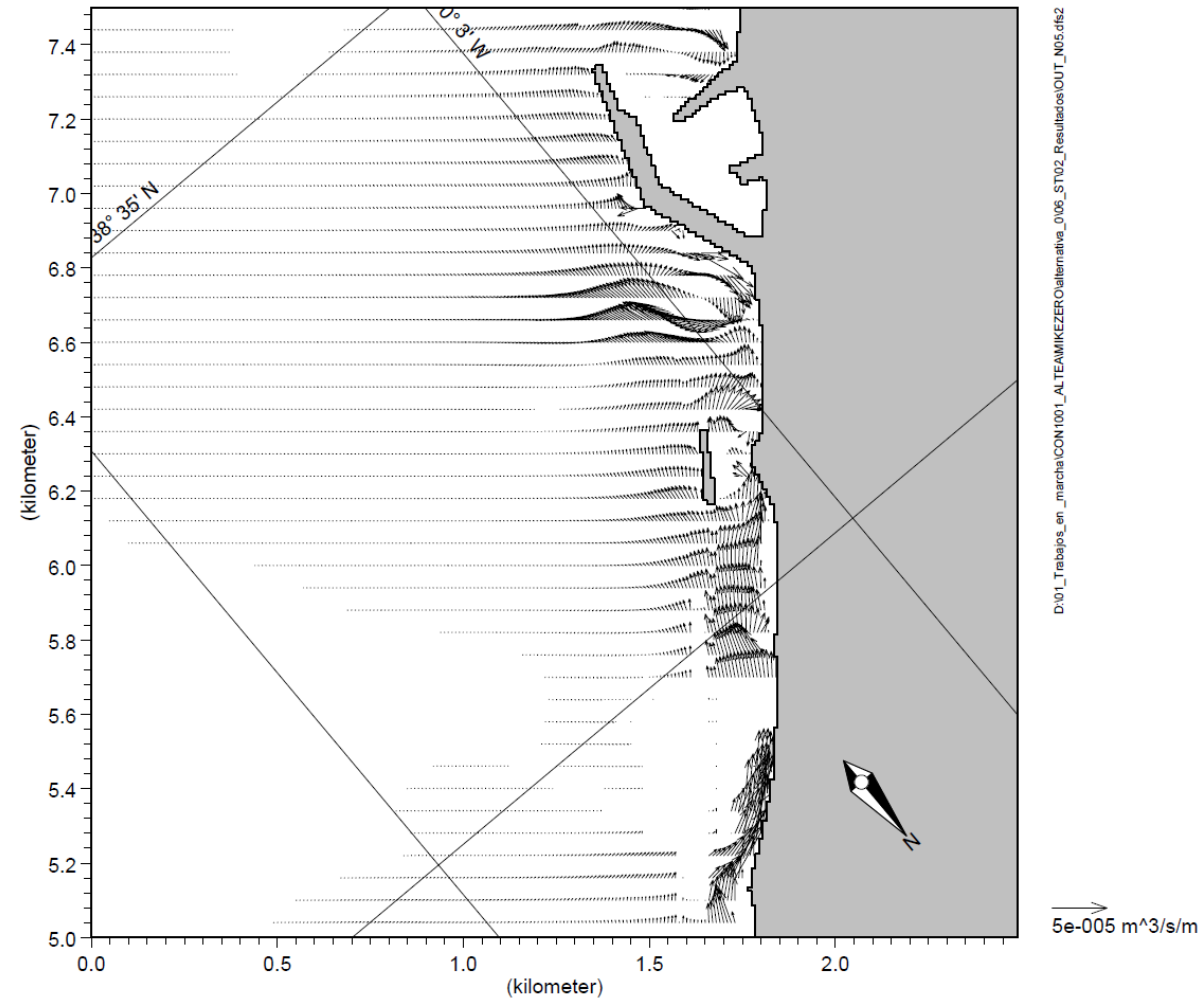
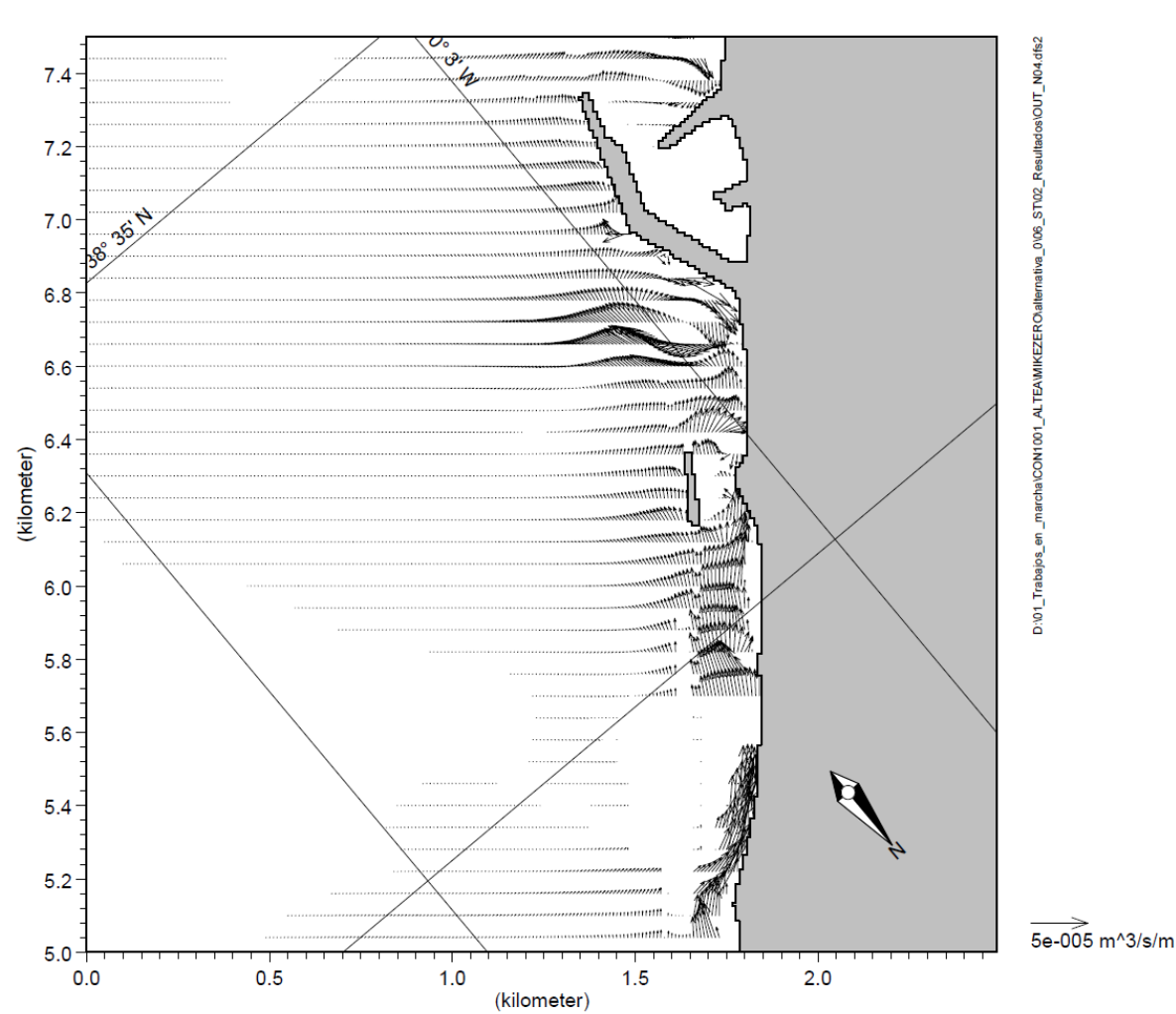


DIV. MARINA
Isabel de Valois, 20
BOADILLA

Date:
01/30/06
Init:
jmv

Client: KV CONSULTORES	
Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA	
ANALISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 03	Drawing no. ST.03 D

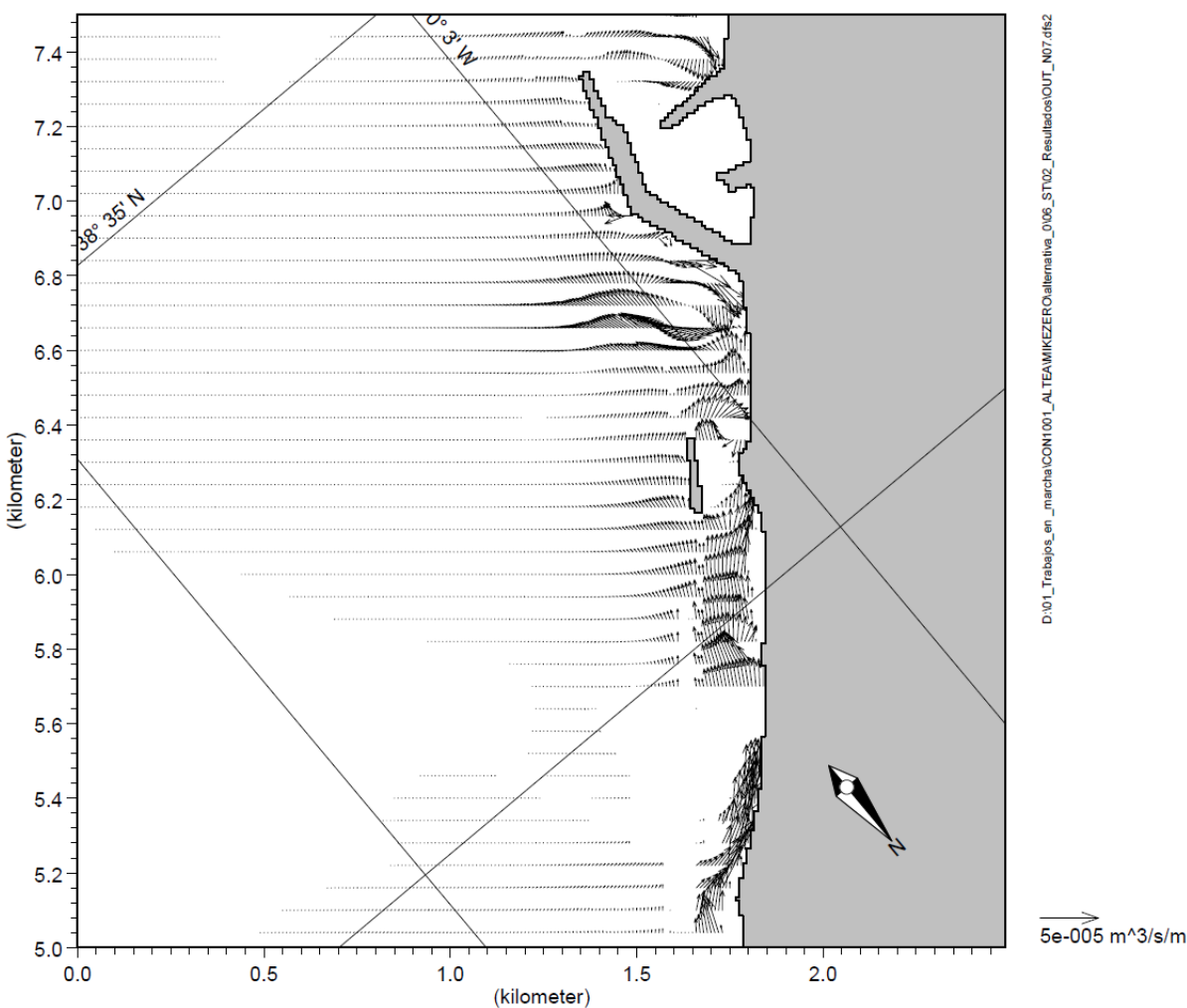
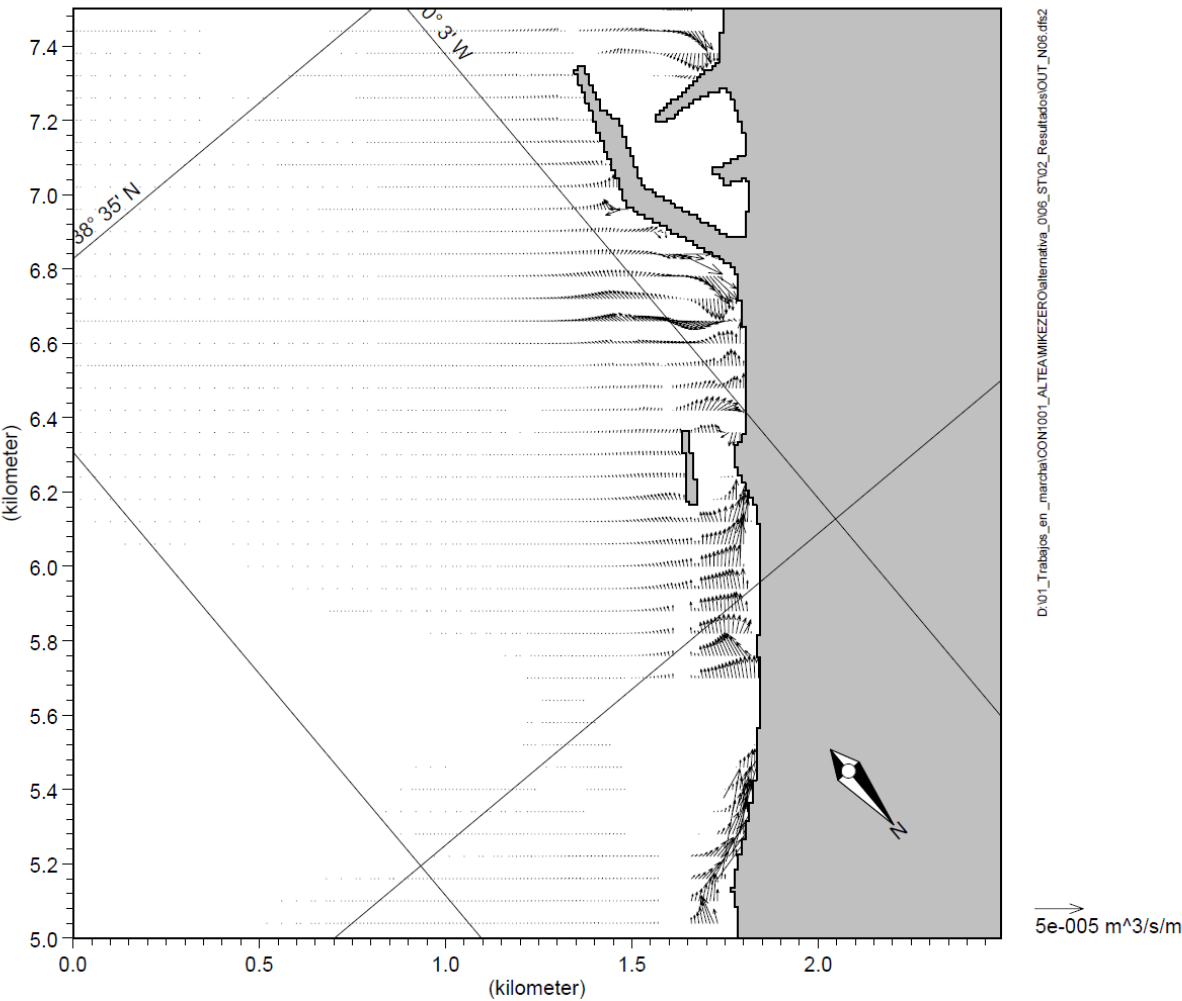




DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 04	Drawing no. ST.04 D
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv		

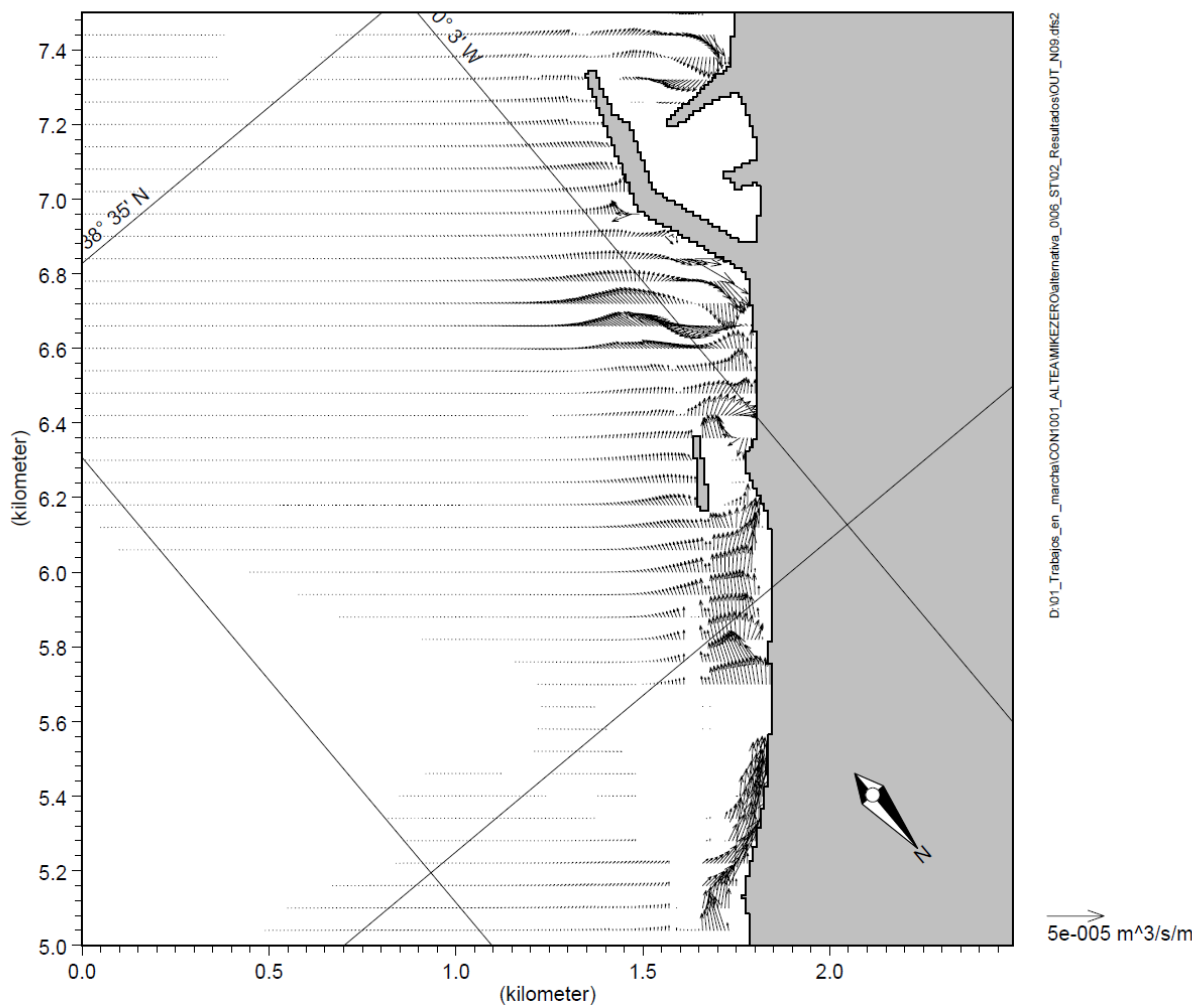
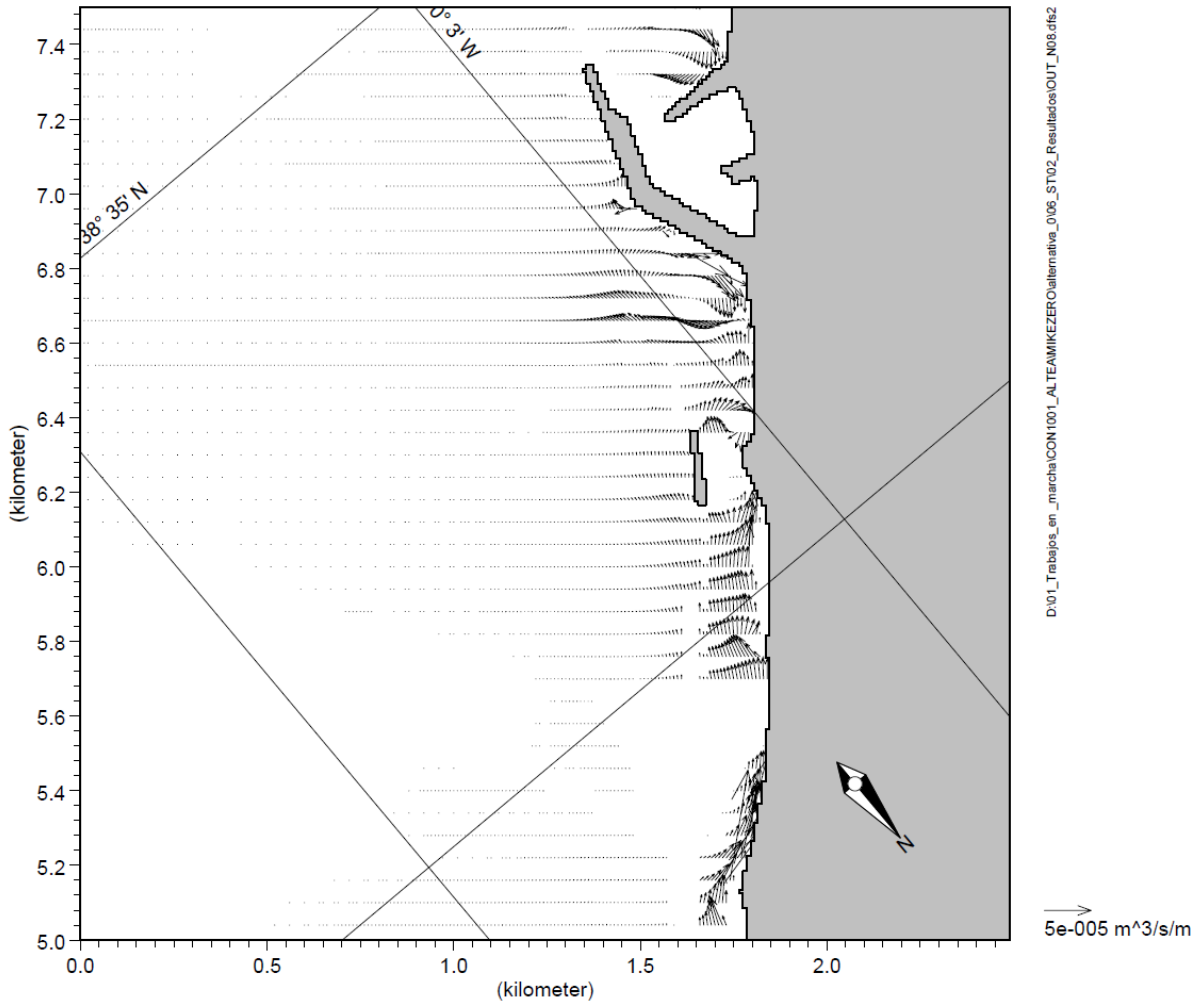


DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 05	Drawing no. ST.05 D
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv		



		Client: KV CONSULTORES		
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA		
DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 06	Drawing no. ST.06 D	
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv			

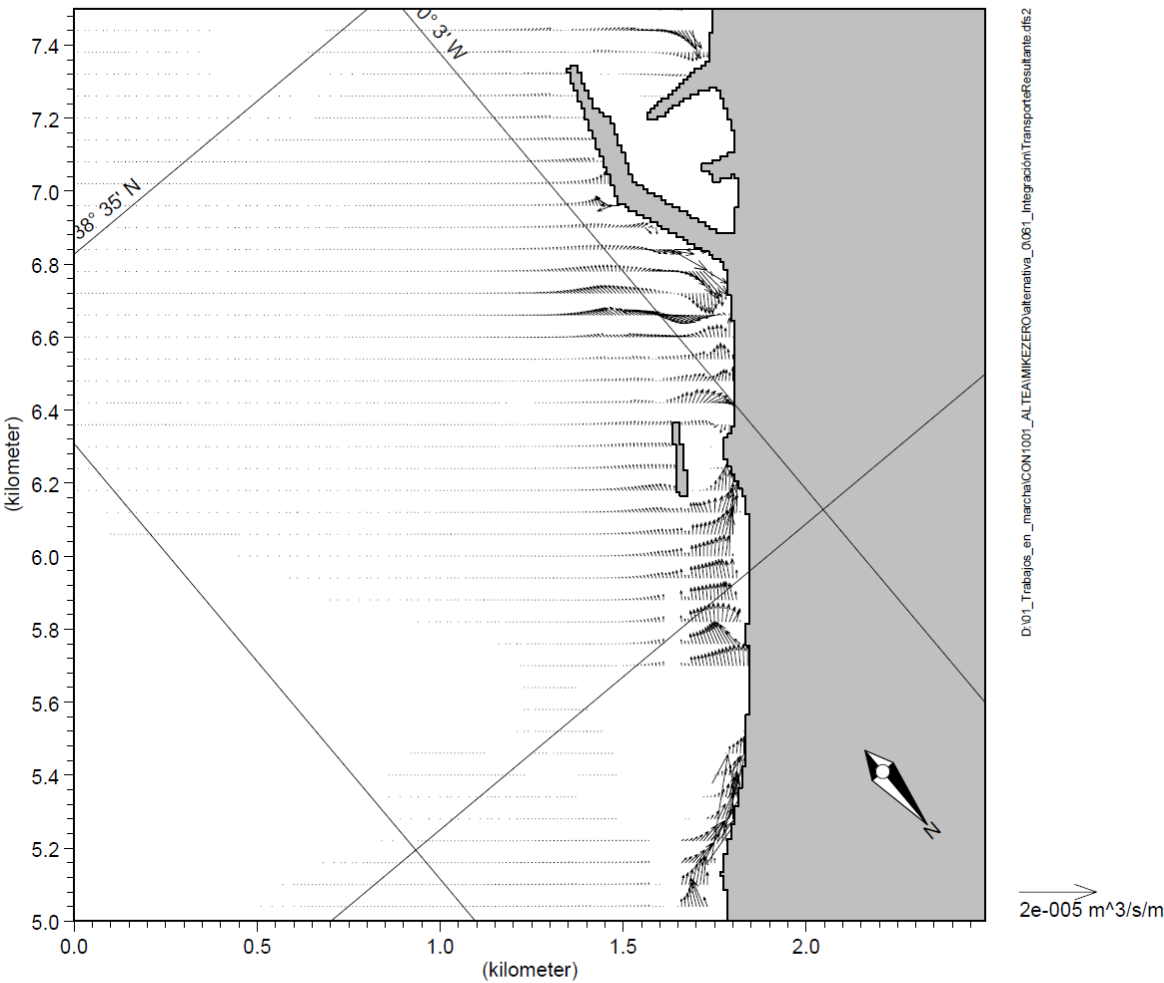
		Client: KV CONSULTORES		
DIV. MARINA		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA		
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Date: 01/30/06 Init: jmv	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 07		
		Drawing no. ST.07 D		



DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANALISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 08	Drawing no.
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv		ST.08 D



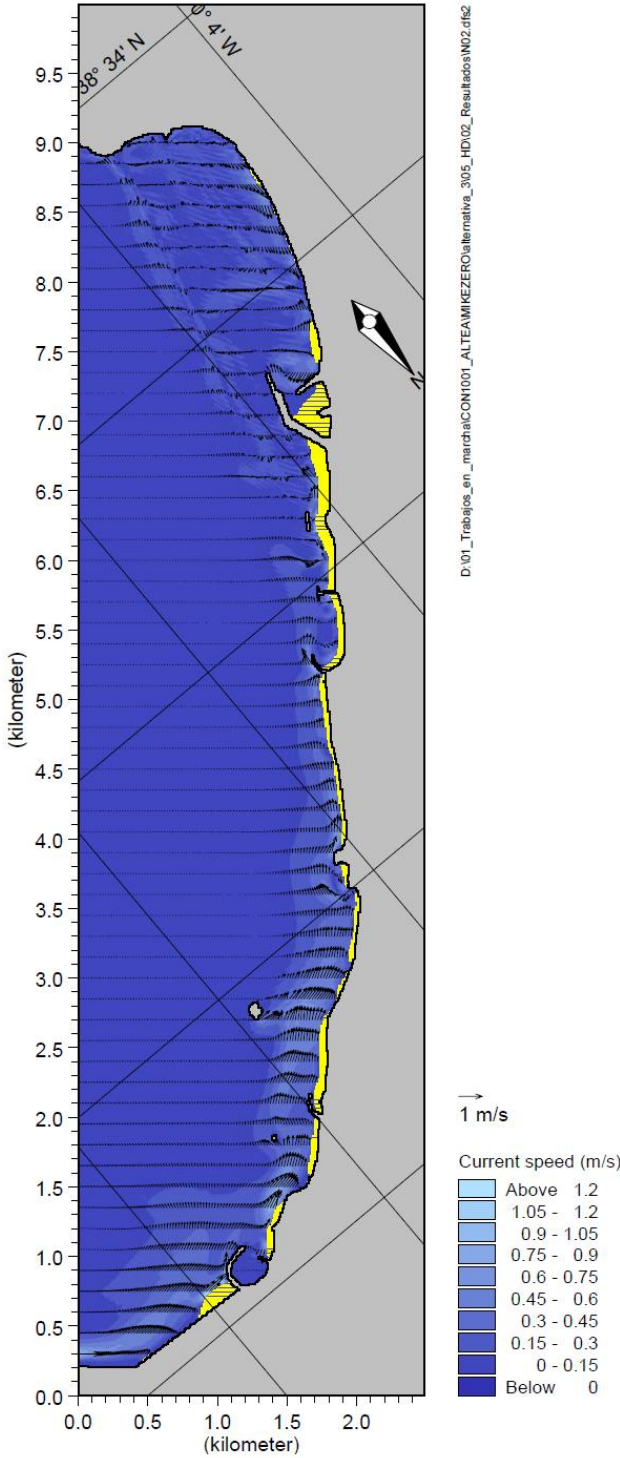
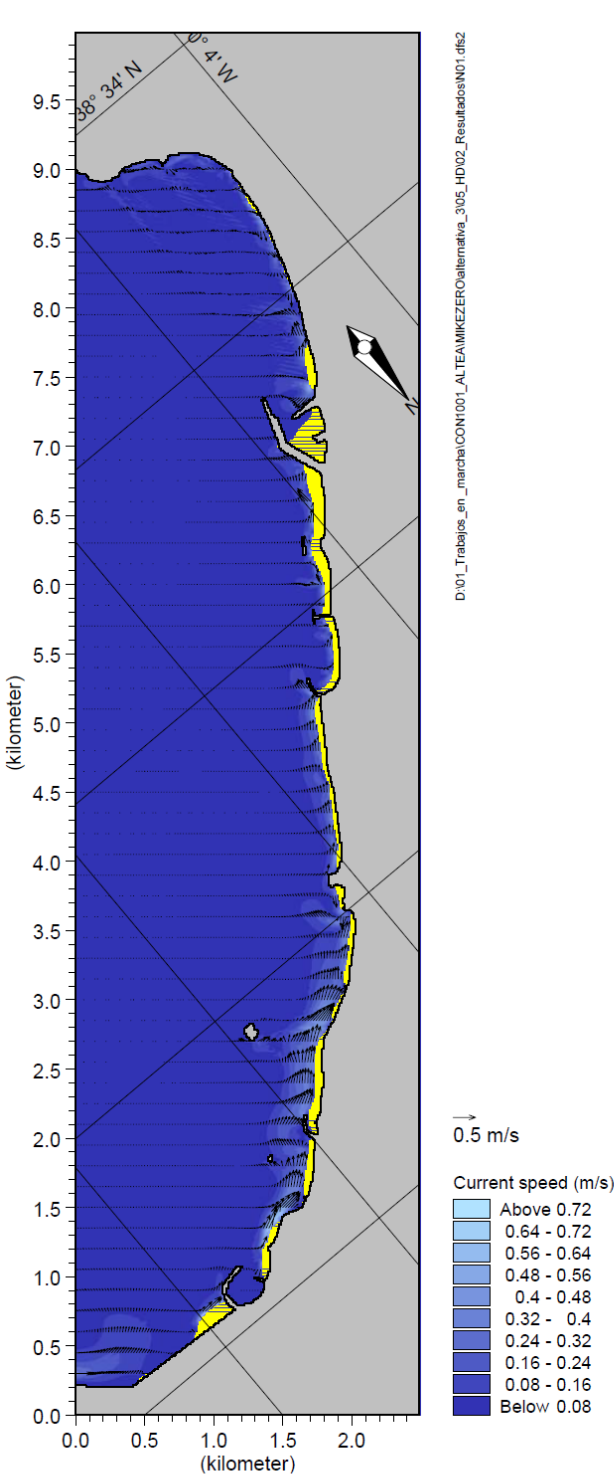
DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANALISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 09	Drawing no. ST.09 D
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv		



		Client: KV CONSULTORES		MIKEZero
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA		
DIV. MARINA	Date: 01/30/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal medio anual	Drawing no. ST.10	
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv			

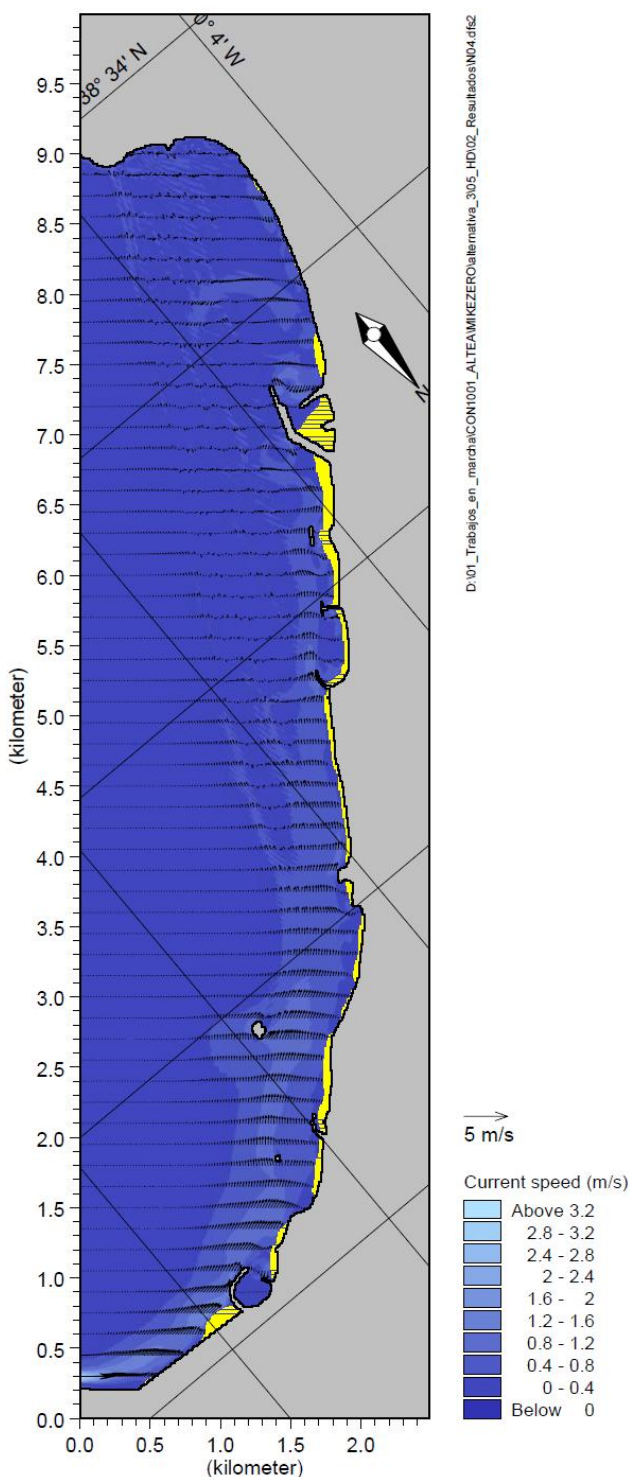
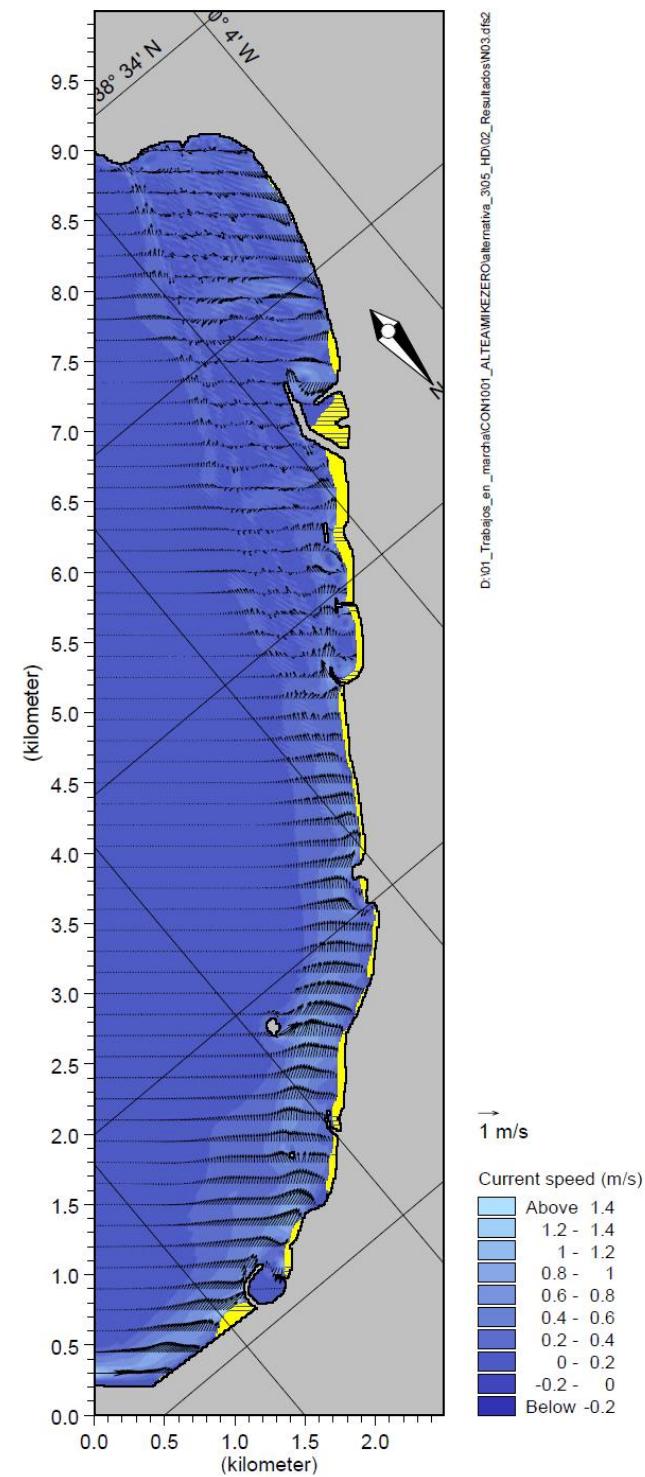
ANEXO Nº 2 AL ANEJO Nº 9.

CORRIENTES Y TRANSPORTE EN SITUACIÓN FUTURA



		Client: KV CONSULTORES		MIKEZero
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA		
DIV. MARINA	Date: 03/03/06	ANÁLISIS HIDRODINÁMICO Corrientes producidas por oleaje. Oleaje Ref. 01 Alternativa 3	Drawing no.	
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv/jlg		HD.01/3	

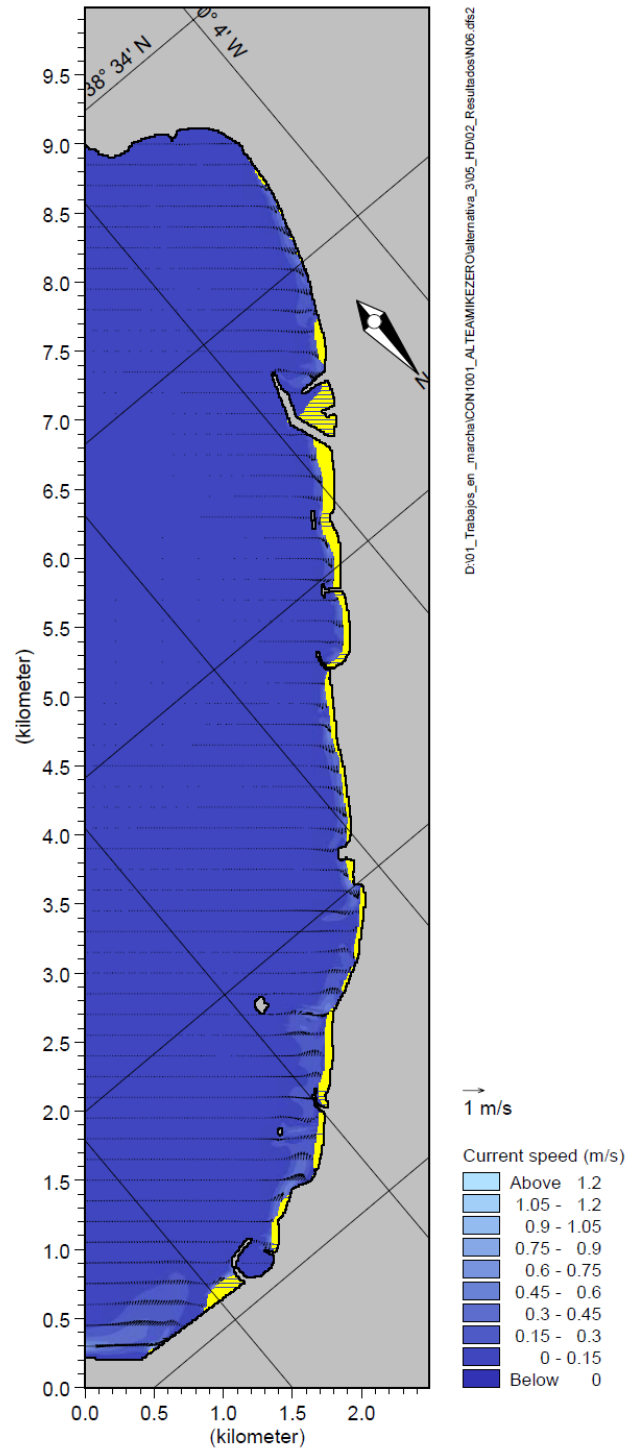
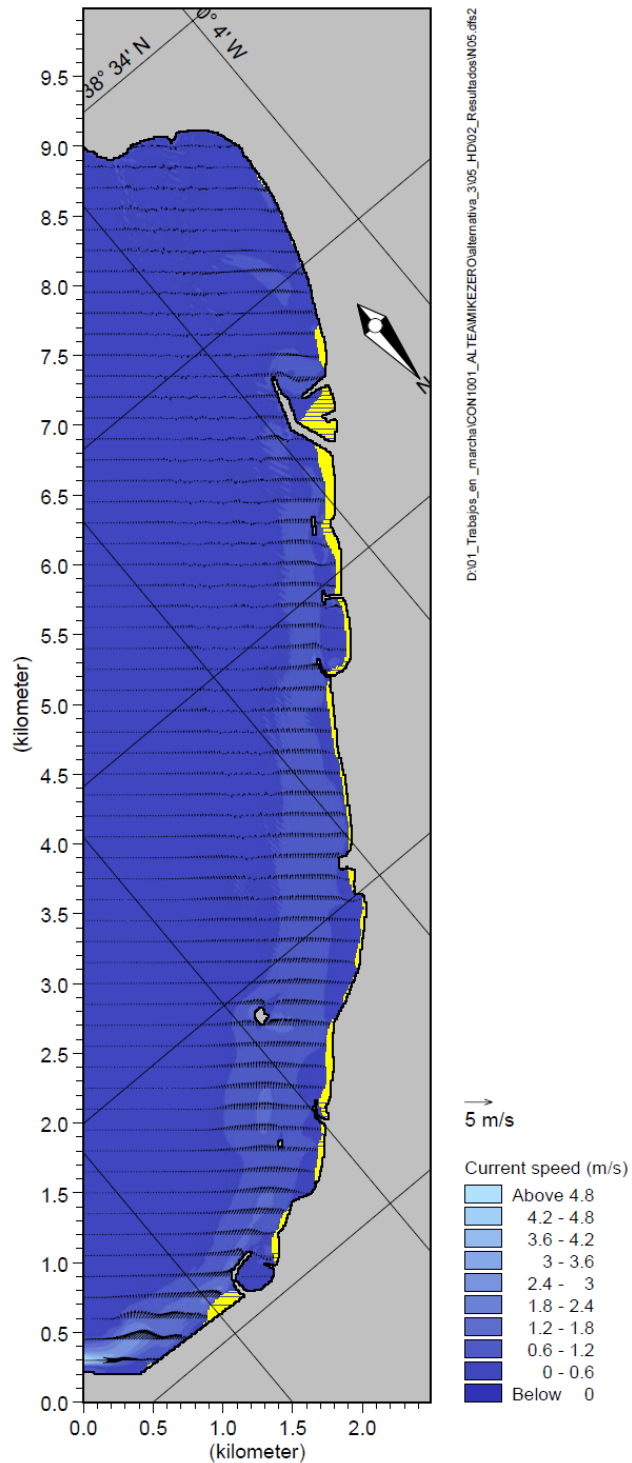
		Client: KV CONSULTORES		MIKEZero
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA		
DIV. MARINA	Date: 03/03/06	ANÁLISIS HIDRODINÁMICO Corrientes producidas por oleaje. Oleaje Ref. 02 Alternativa 3	Drawing no.	
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv/jlg		HD.02/3	



DIV. MARINA	Date: 03/03/06	ANÁLISIS HIDRODINÁMICO Corrientes producidas por oleaje. Oleaje Ref. 03 Alternativa 3	Drawing no. HD.03/3
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv/jlg		



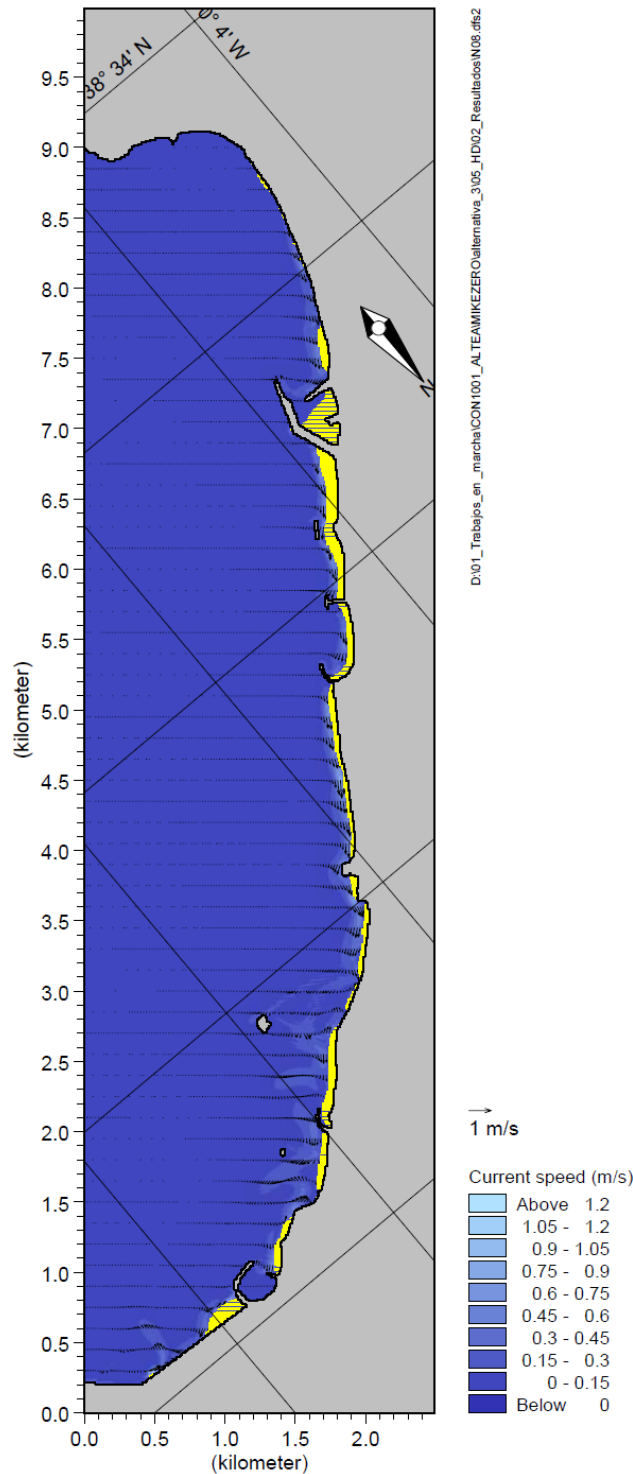
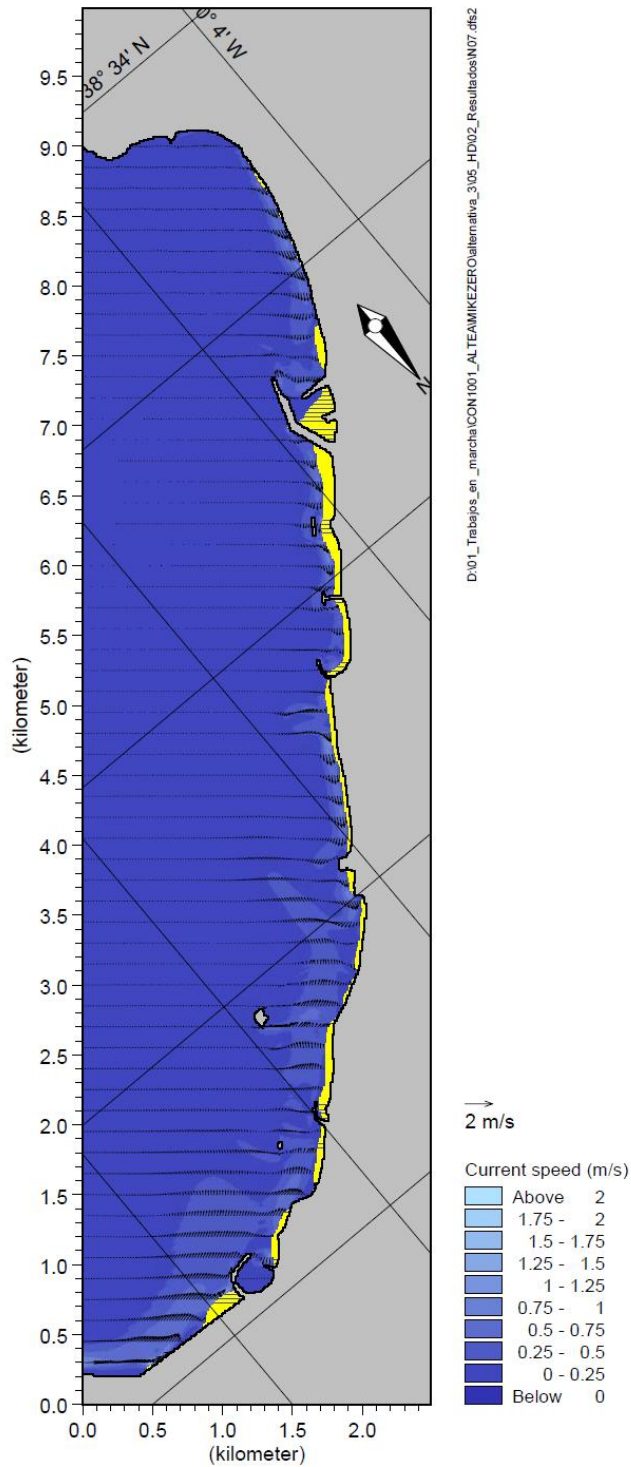
DIV. MARINA	Date: 03/03/06	ANÁLISIS HIDRODINÁMICO Corrientes producidas por oleaje. Oleaje Ref. 04 Alternativa 3	Drawing no. HD.04/3
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv/jlg		



DIV. MARINA	Date: 03/03/06	ANÁLISIS HIDRODINÁMICO Corrientes producidas por oleaje. Oleaje Ref. 05 Alternativa 3	Drawing no.
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv/jlg		HD.05/3



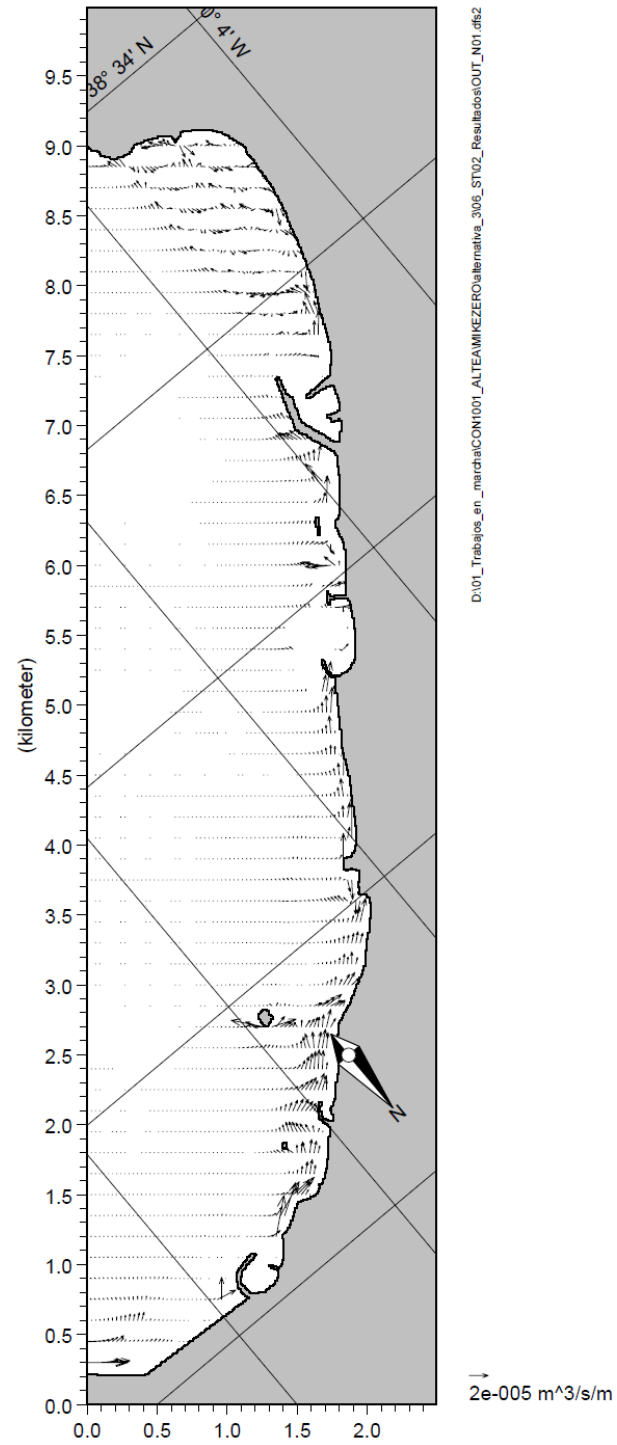
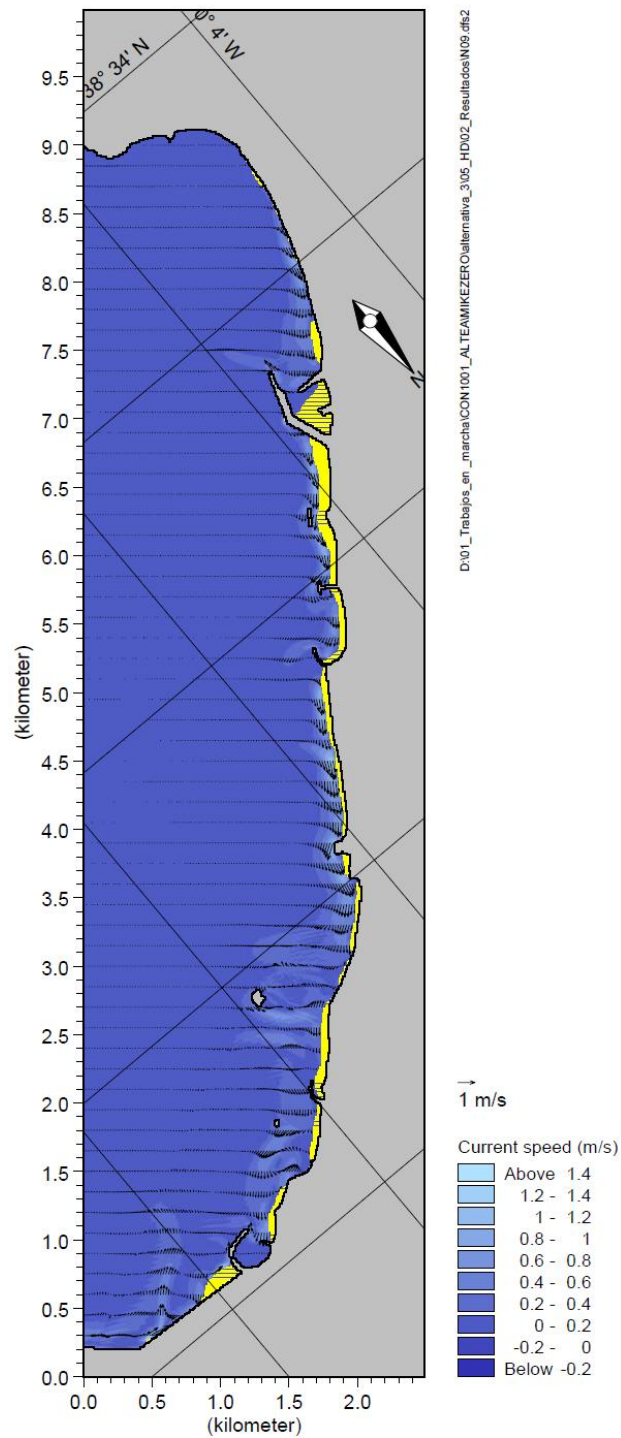
DIV. MARINA	Date: 03/03/06	ANÁLISIS HIDRODINÁMICO Corrientes producidas por oleaje. Oleaje Ref. 06 Alternativa 3	Drawing no.
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv/jlg		HD.06/3



DIV. MARINA	Date:	KV CONSULTORES	
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	03/03/06	REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA	
	Init:	ANÁLISIS HIDRODINÁMICO Corrientes producidas por oleaje. Oleaje Ref. 07 Alternativa 3	Drawing no. HD.07/3
	jmv/jlg		



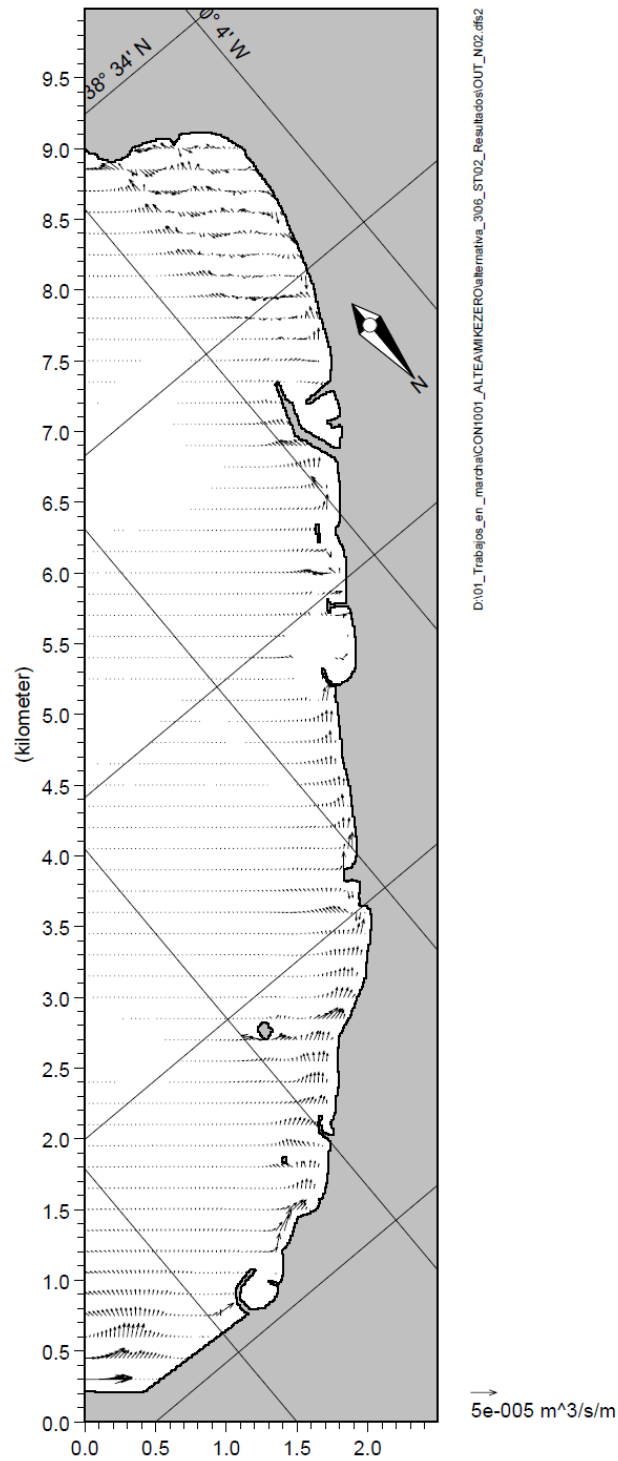
DIV. MARINA	Date:	KV CONSULTORES	
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	03/03/06	REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA	
	Init:	ANÁLISIS HIDRODINÁMICO Corrientes producidas por oleaje. Oleaje Ref. 08 Alternativa 3	Drawing no. HD.08/3
	jmv/jlg		



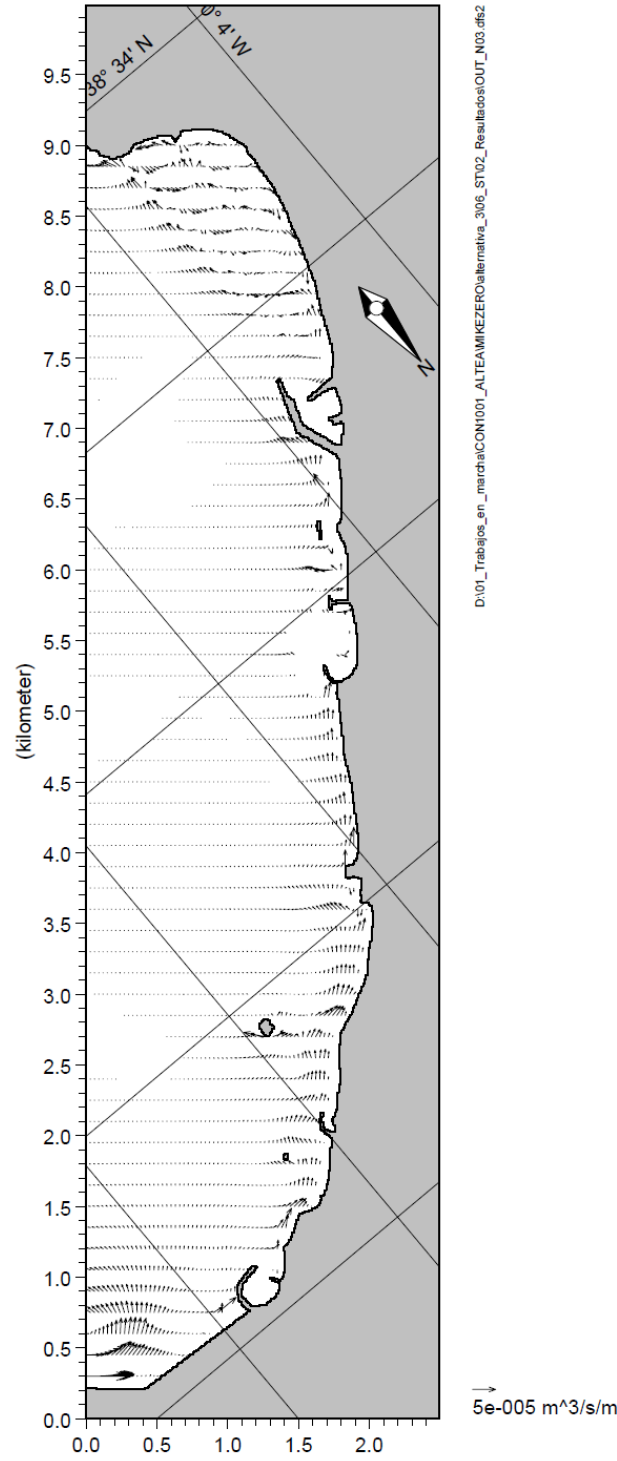
DIV. MARINA		Client: KV CONSULTORES	
Isabel de Valois, 20 BOADILLA		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA	
Date: 03/03/06	Init: jmv/jlg	ANALISIS HIDRODINÁMICO Corrientes producidas por oleaje. Oleaje Ref. 09 Alternativa 3	Drawing no. HD.09/3



DIV. MARINA		Client: KV CONSULTORES	
Isabel de Valois, 20 BOADILLA		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA	
Date: 03/03/06	Init: jmv/jlg	ANALISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 01. Alternativa 3	Drawing no. ST.01/3

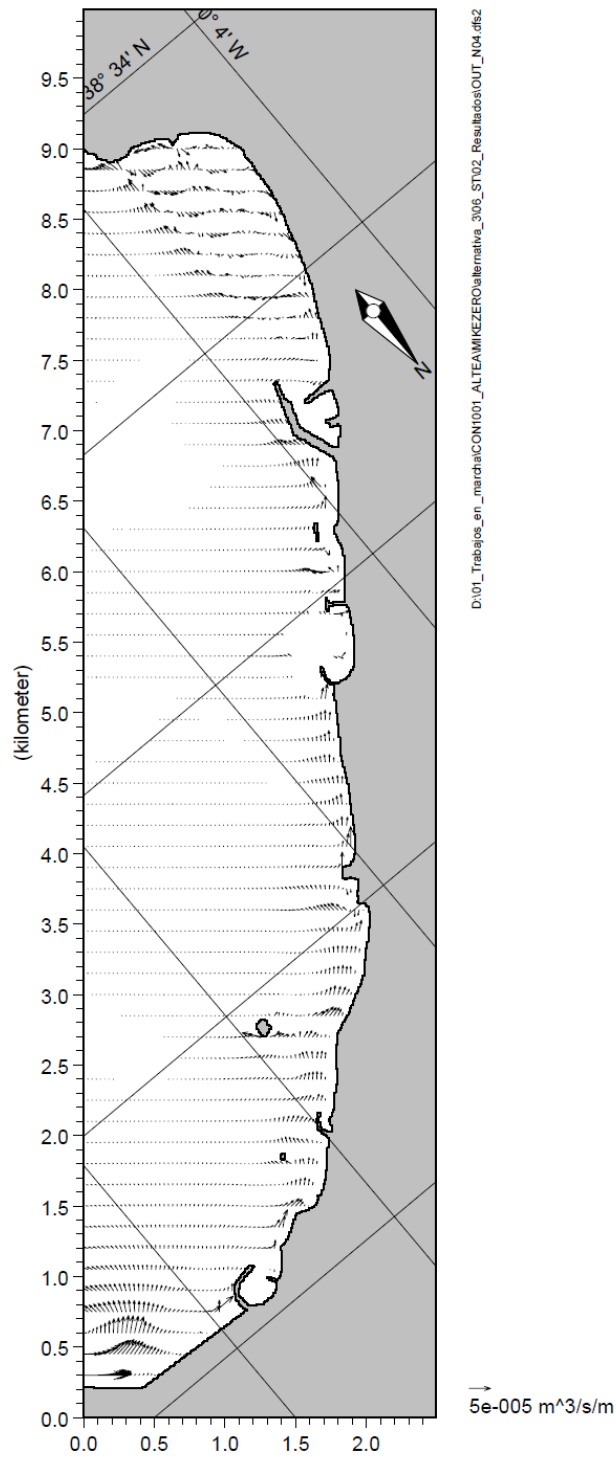


DIV. MARINA	Date: 03/03/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 02. Alternativa 3	Drawing no. ST.02/3
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv/jlg		

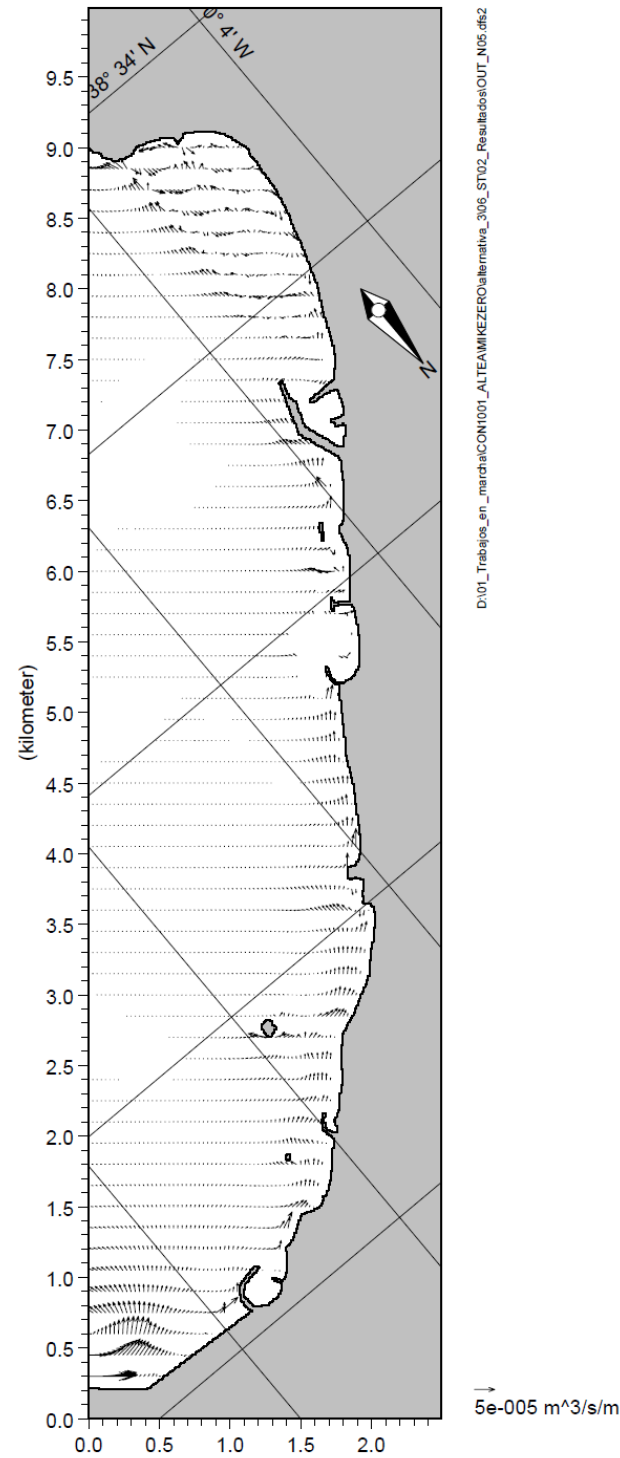


DIV. MARINA	Date: 03/03/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 03. Alternativa 3	Drawing no. ST.03/3
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv/jlg		



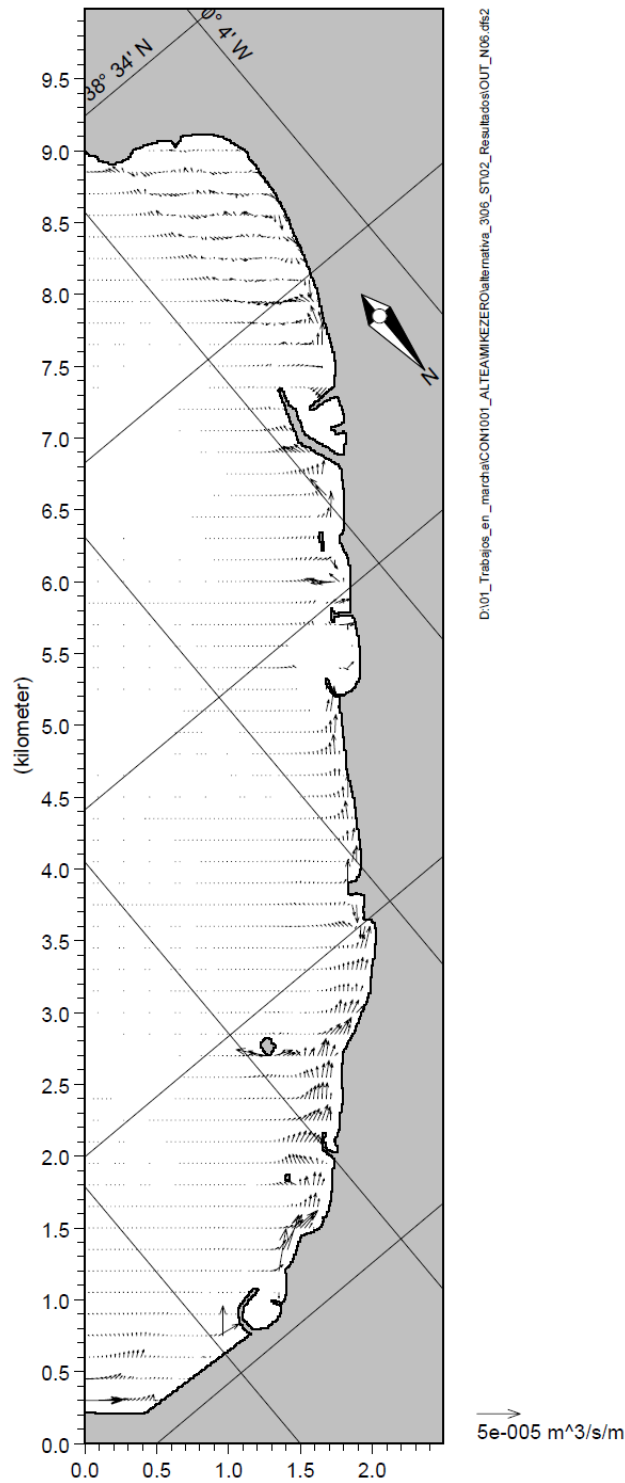


DIV. MARINA	Date: 03/03/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 04. Alternativa 3	Drawing no. ST.04/3
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv/jlg		

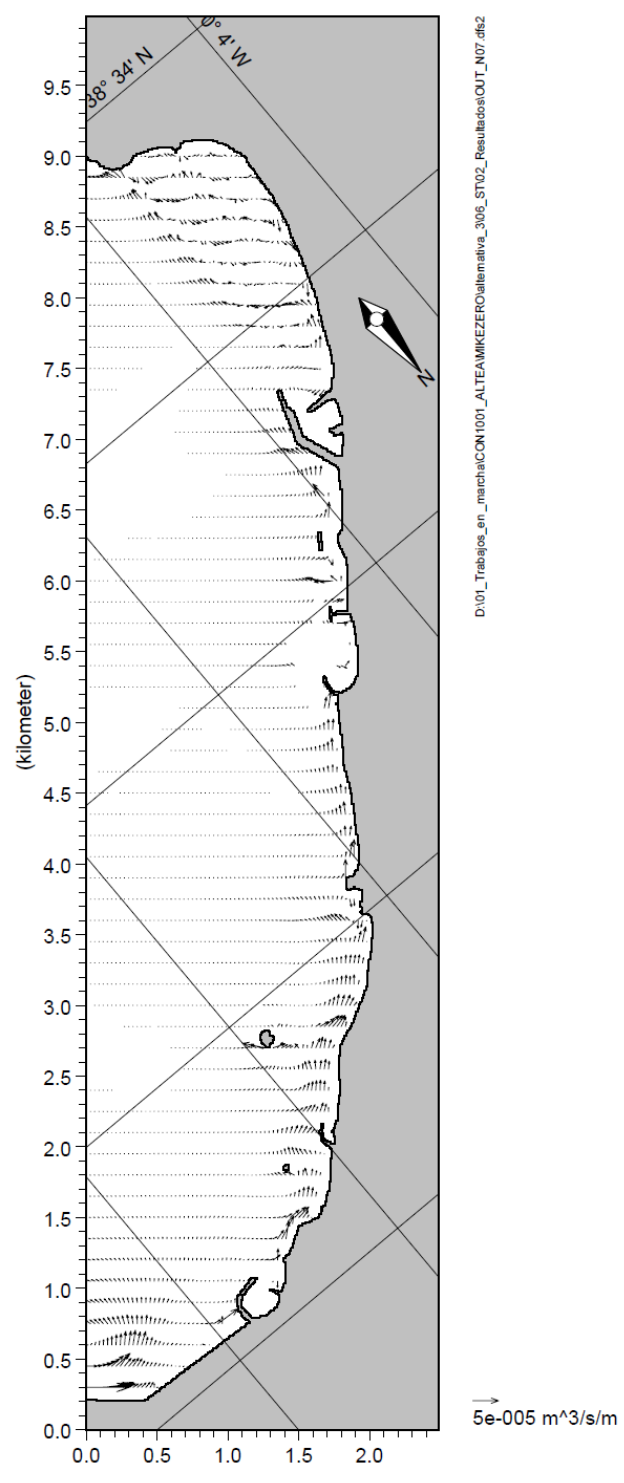


DIV. MARINA	Date: 03/03/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 05. Alternativa 3	Drawing no. ST.05/3
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv/jlg		

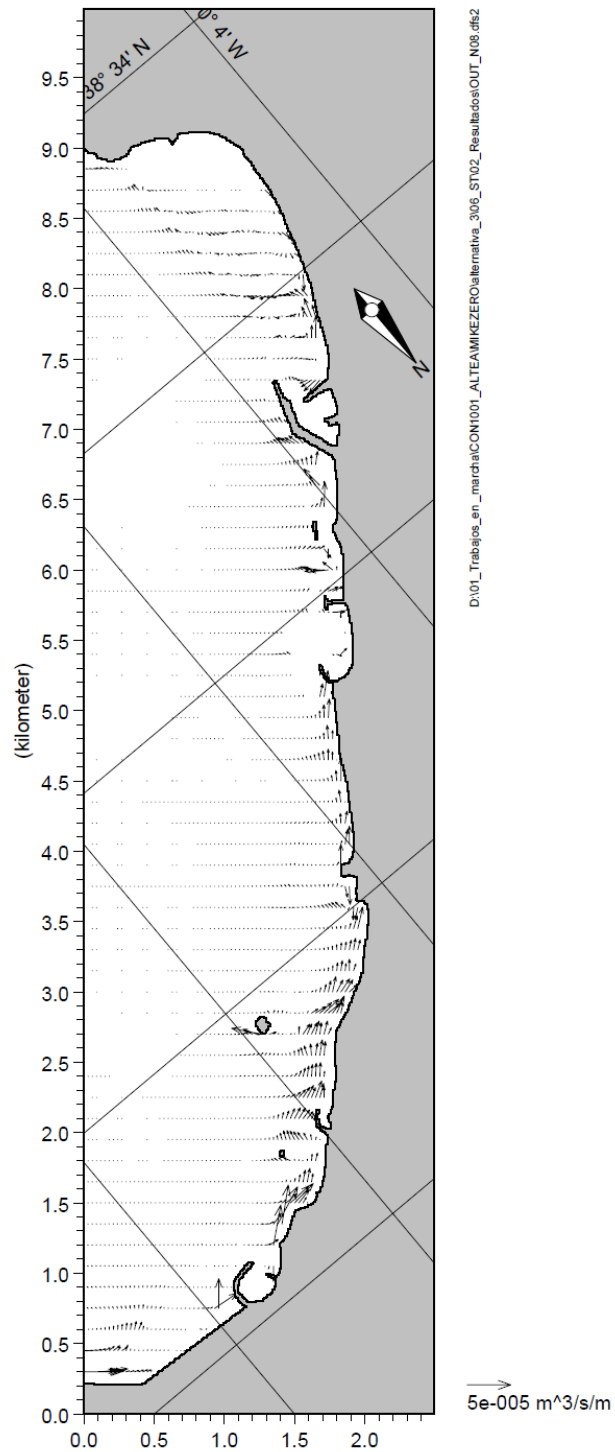




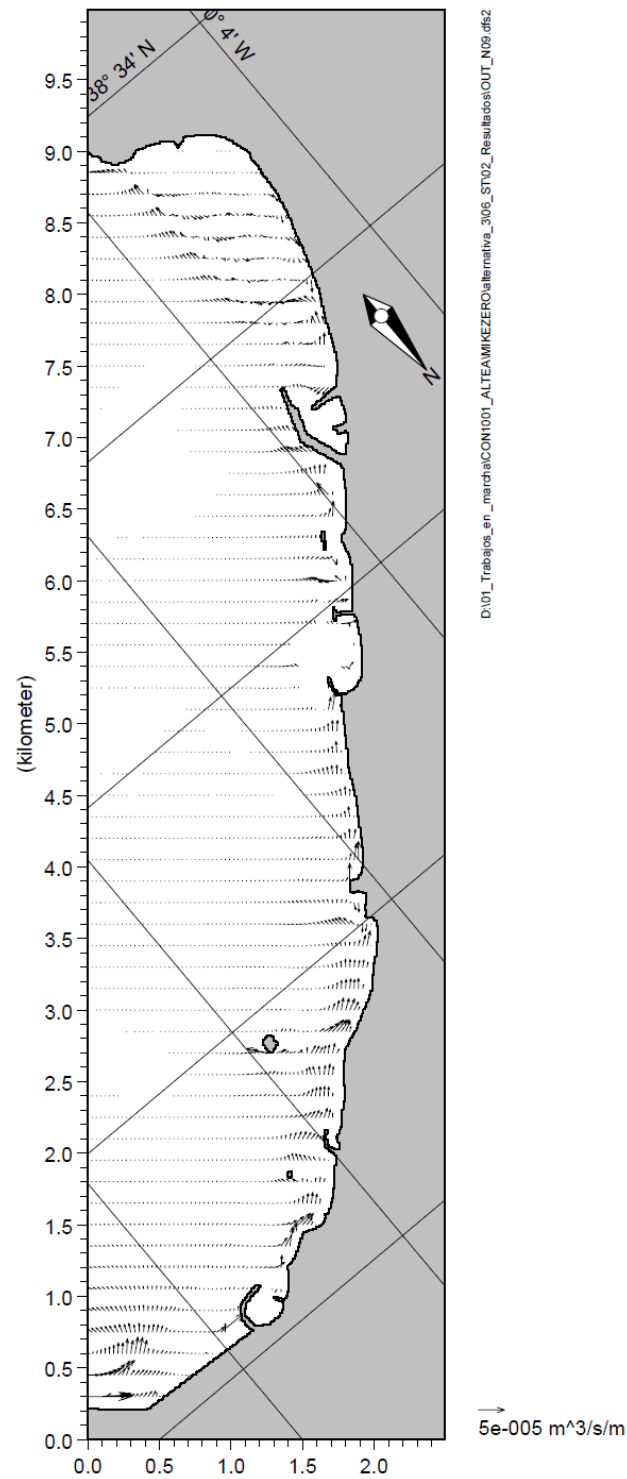
DIV. MARINA		Date:	03/03/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 06. Alternativa 3	Drawing no. ST.06/3
Isabel de Valois, 20 BOADILLA		Init:	jmv/jlg		



DIV. MARINA		Date:	03/03/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 07. Alternativa 3	Drawing no. ST.07/3
Isabel de Valois, 20 BOADILLA		Init:	jmv/jlg		

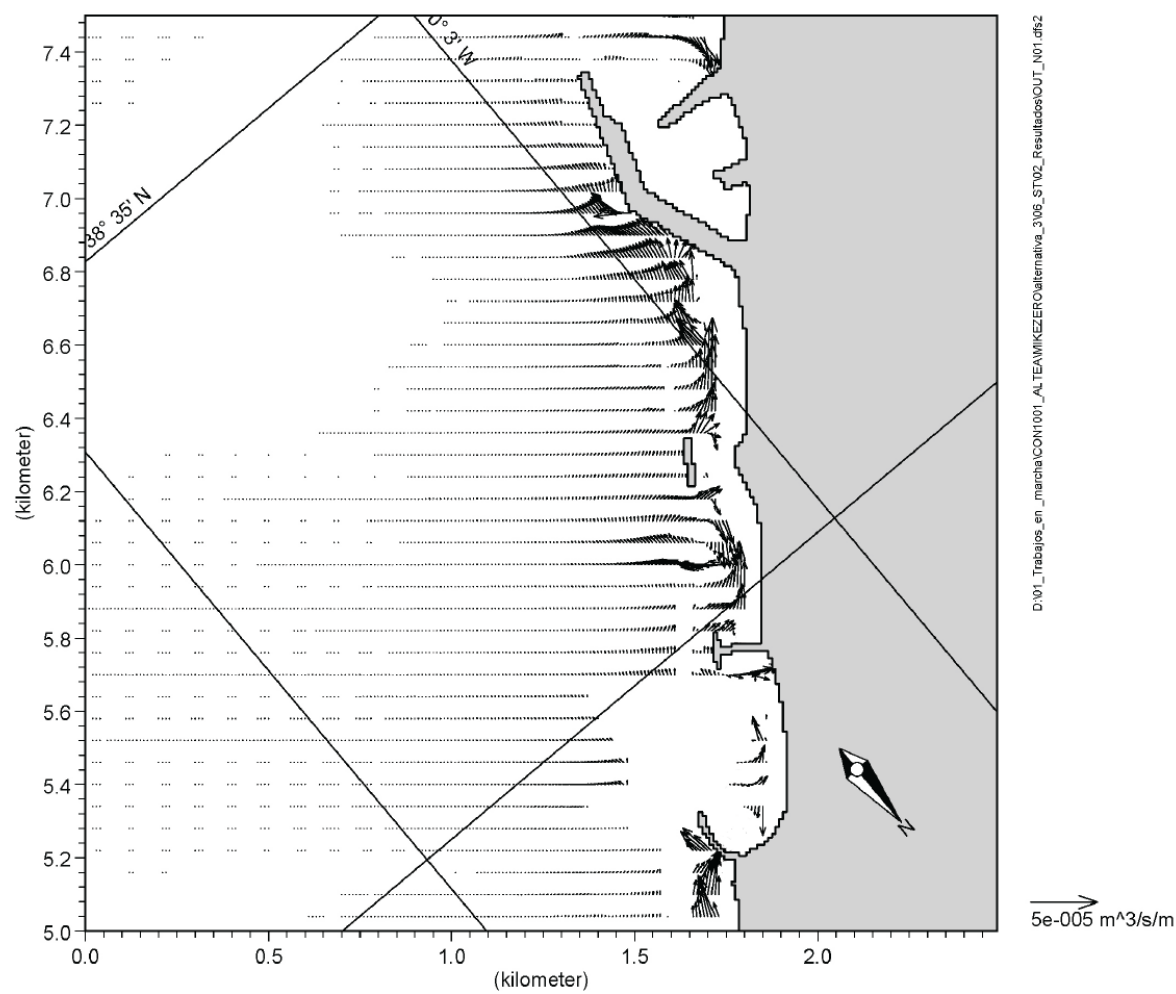
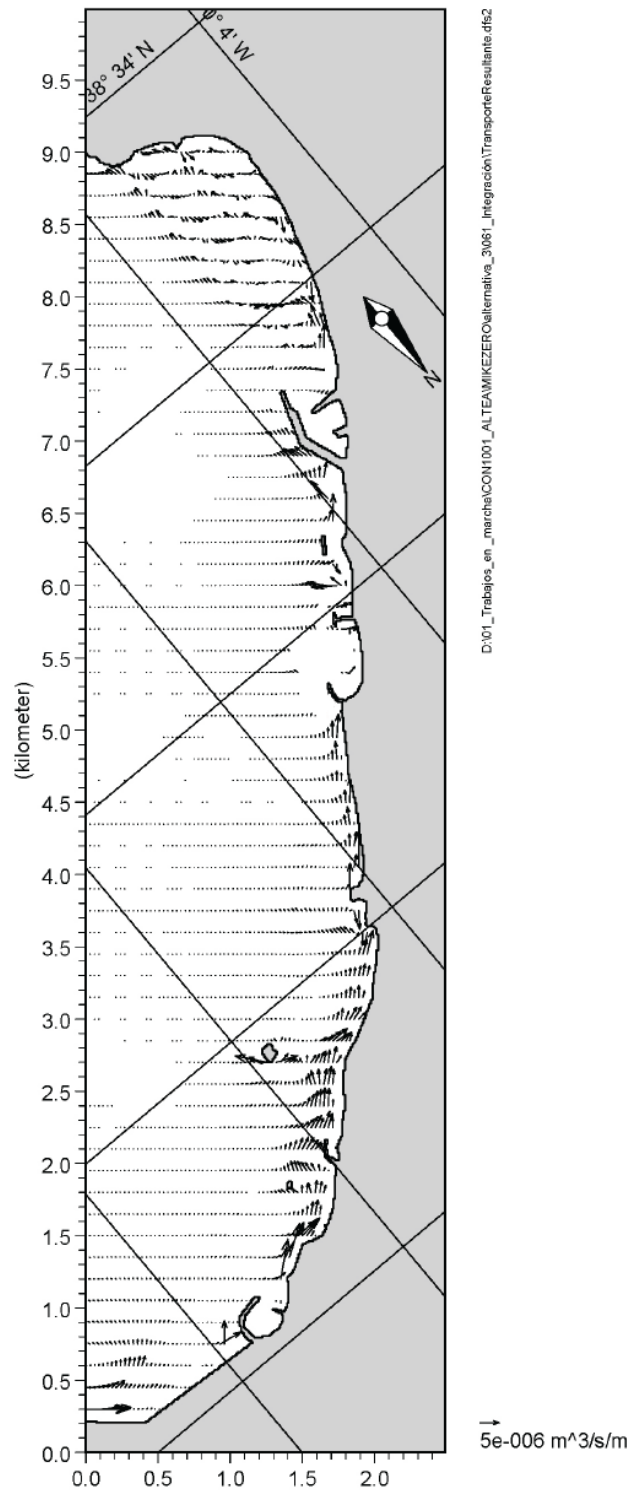


DIV. MARINA		Client: KV CONSULTORES	
Isabel de Valois, 20 BOADILLA		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA	
Date: 03/03/06	Init: jmv/jlg	ANALISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 08. Alternativa 3	Drawing no. ST.08/3



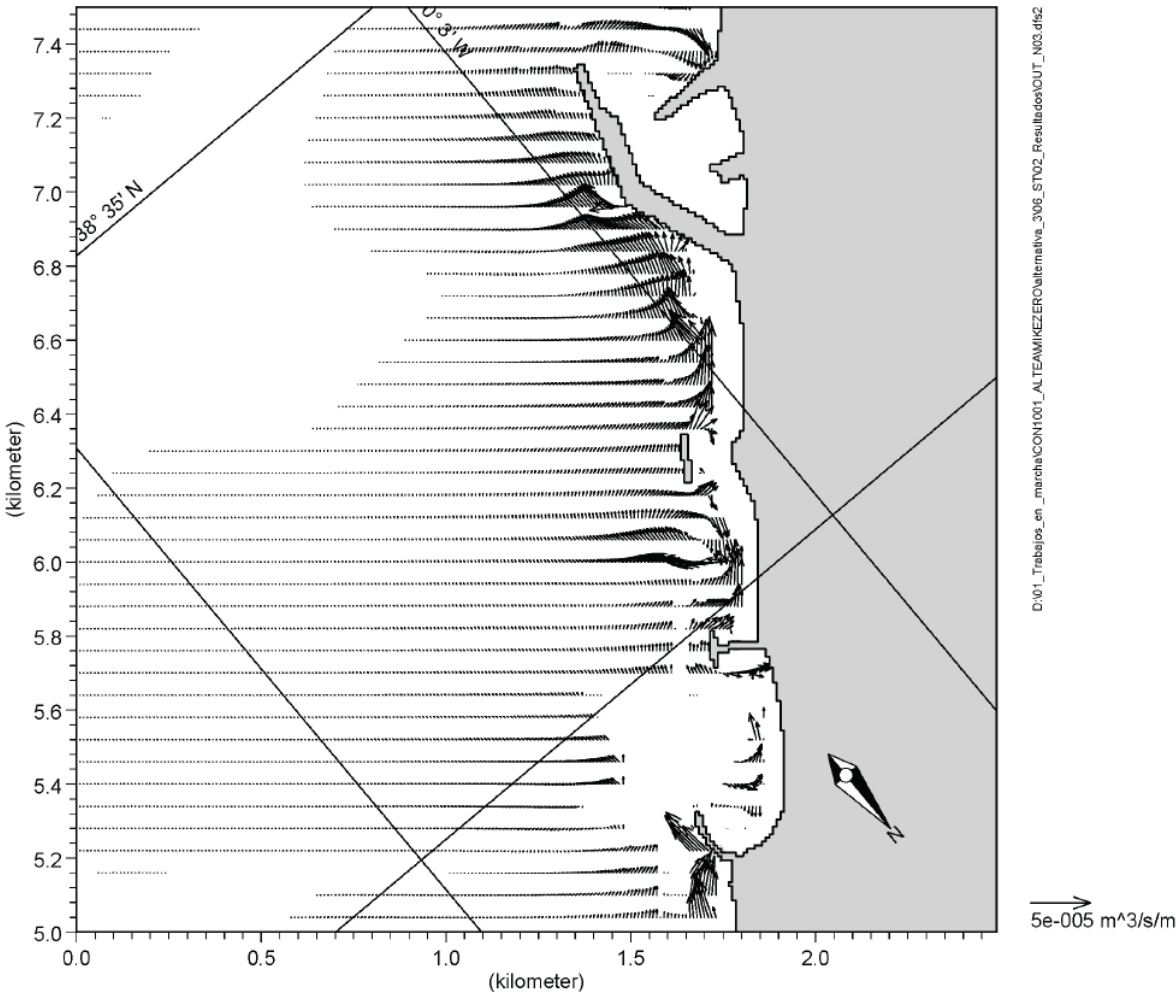
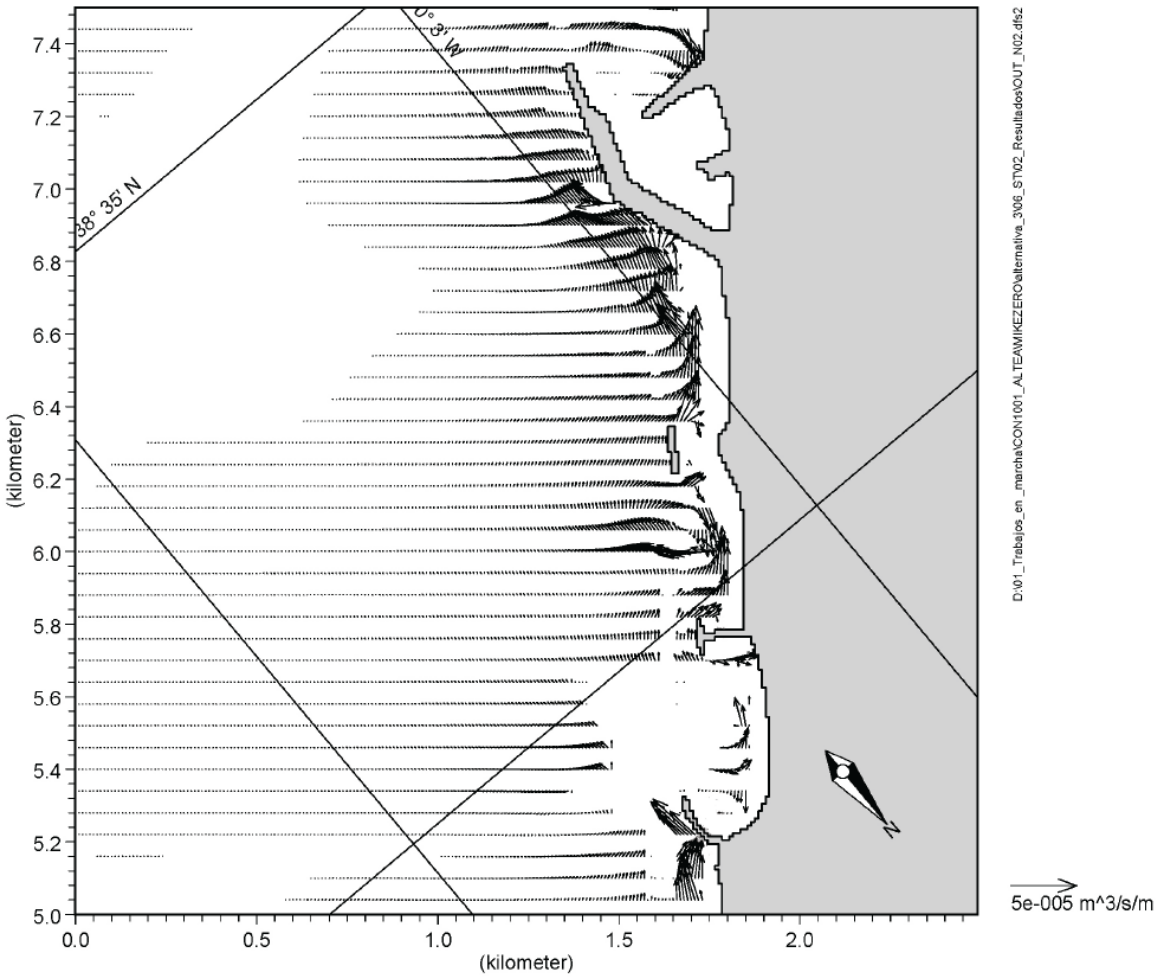
DIV. MARINA		Client: KV CONSULTORES	
Isabel de Valois, 20 BOADILLA		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA	
Date: 03/03/06	Init: jmv/jlg	ANALISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 09. Alternativa 3	Drawing no. ST.09/3





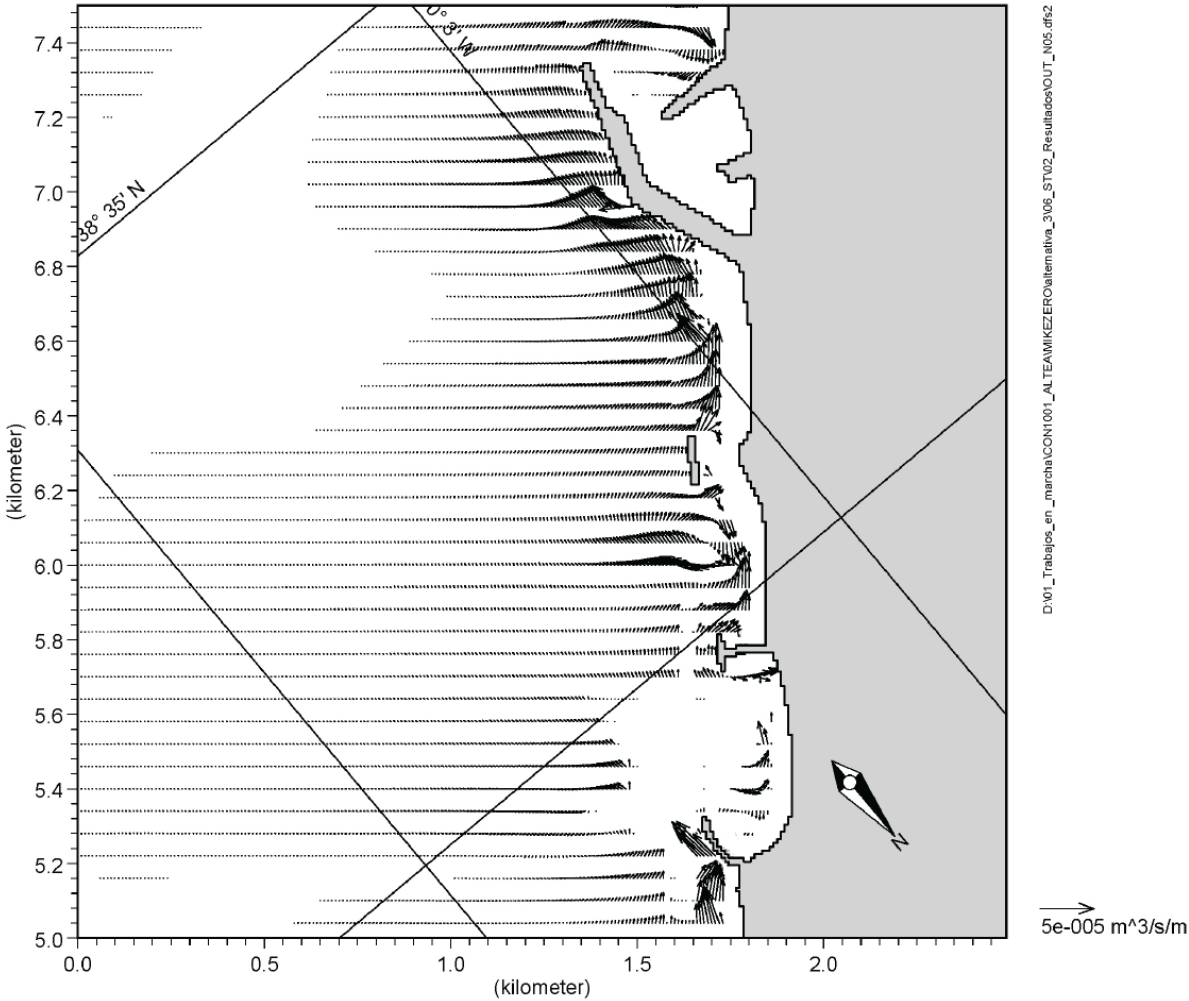
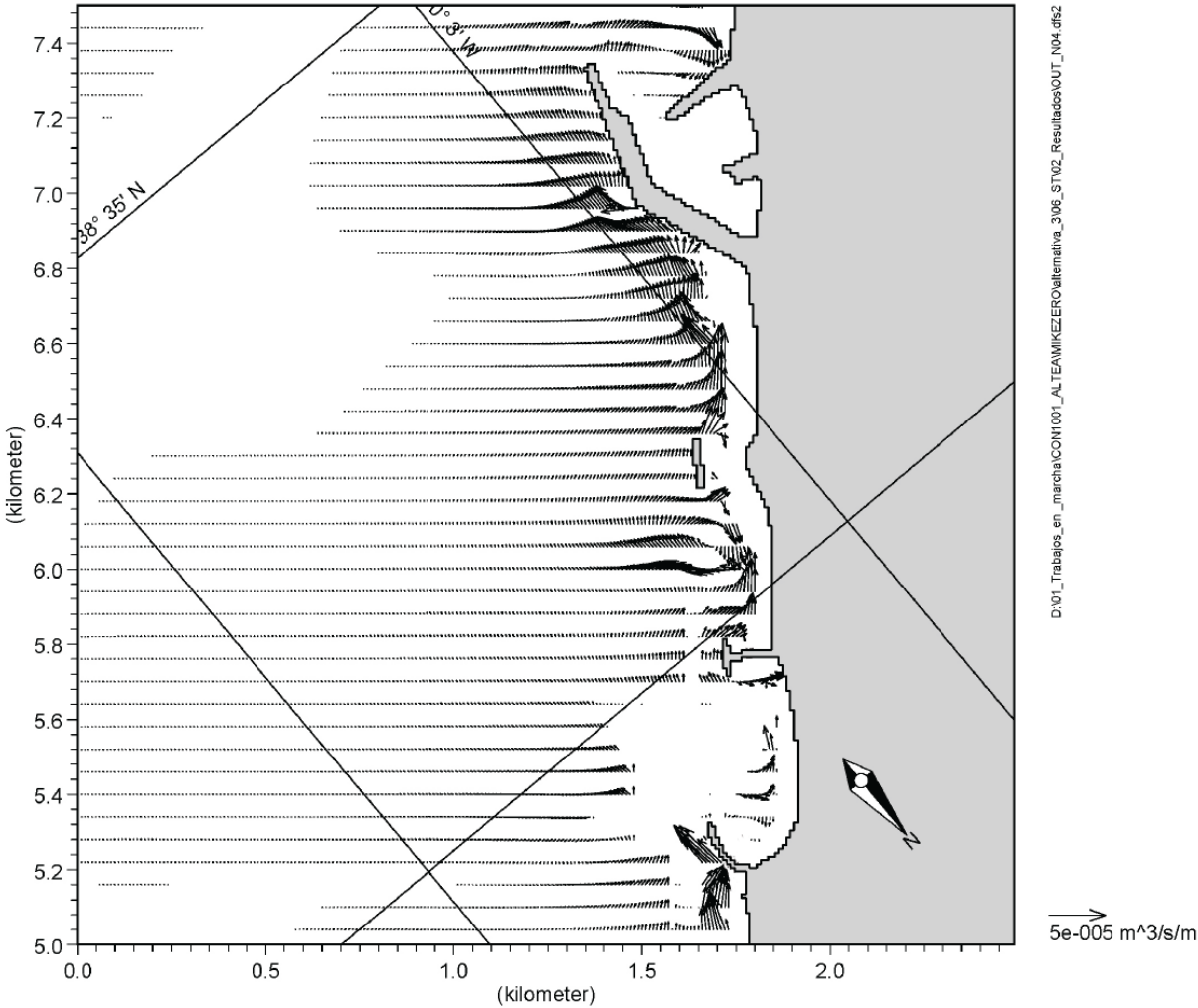
		Client: KV CONSULTORES		MIKEZero
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA		
DIV. MARINA		ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal medio anual. Alternativa 3		
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Date: 03/03/06 Init: jmv/jlg			

		Client: KV CONSULTORES		MIKEZero
DIV. MARINA		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA		
Isabel de Valois, 20 BOADILLA		ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 01. Alternativa 3		
Date: 03/03/06	Init: jmv/jlg	Drawing no. ST.01/3 D		



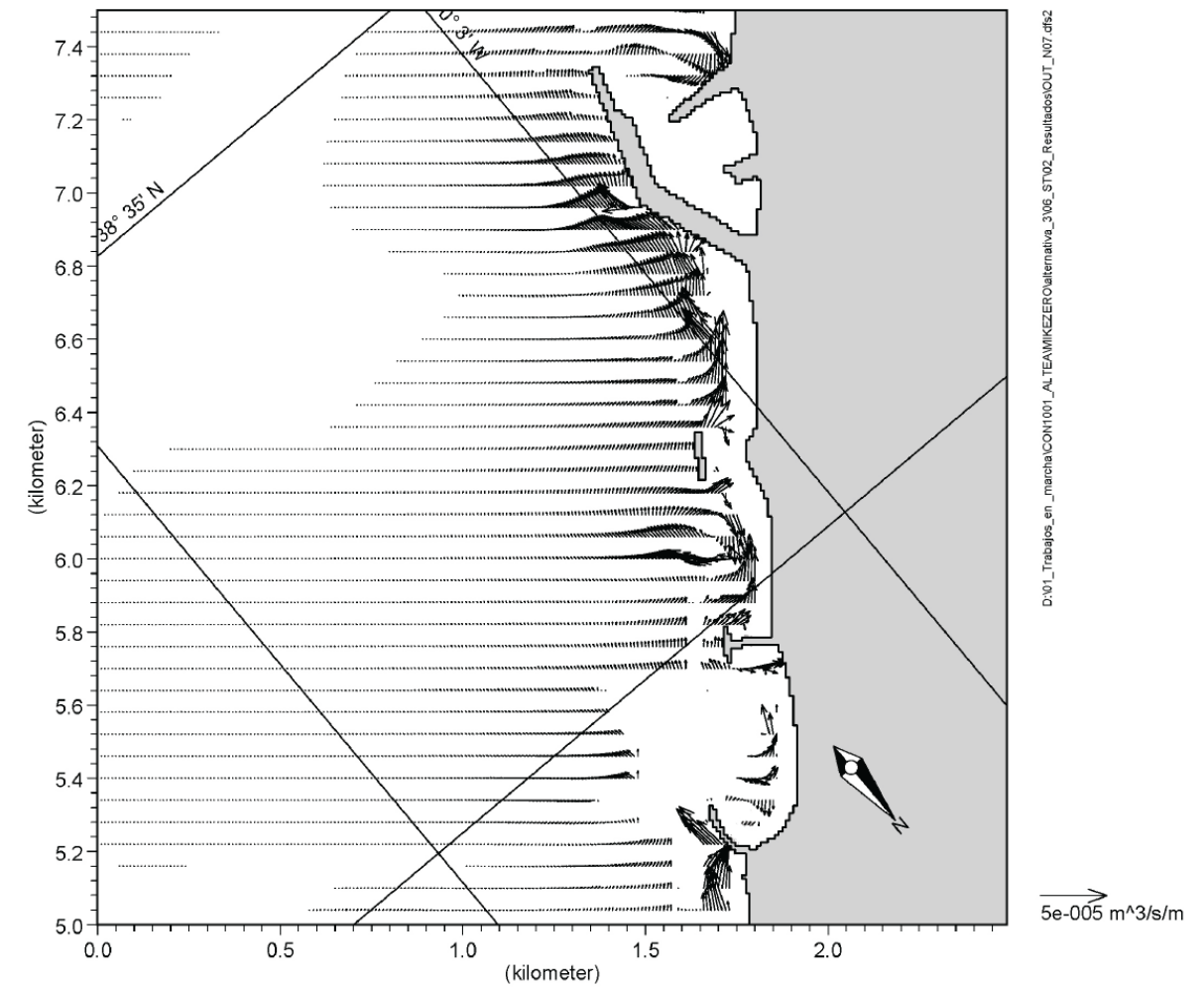
		Client: KV CONSULTORES		
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA		
DIV. MARINA	Date: 03/03/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 02. Alternativa 3	Drawing no. ST.02/3 D	
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv/jlg			

		Client: KV CONSULTORES		
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA		
DIV. MARINA	Date: 03/03/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 03. Alternativa 3	Drawing no. ST.03/3 D	
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv/jlg			

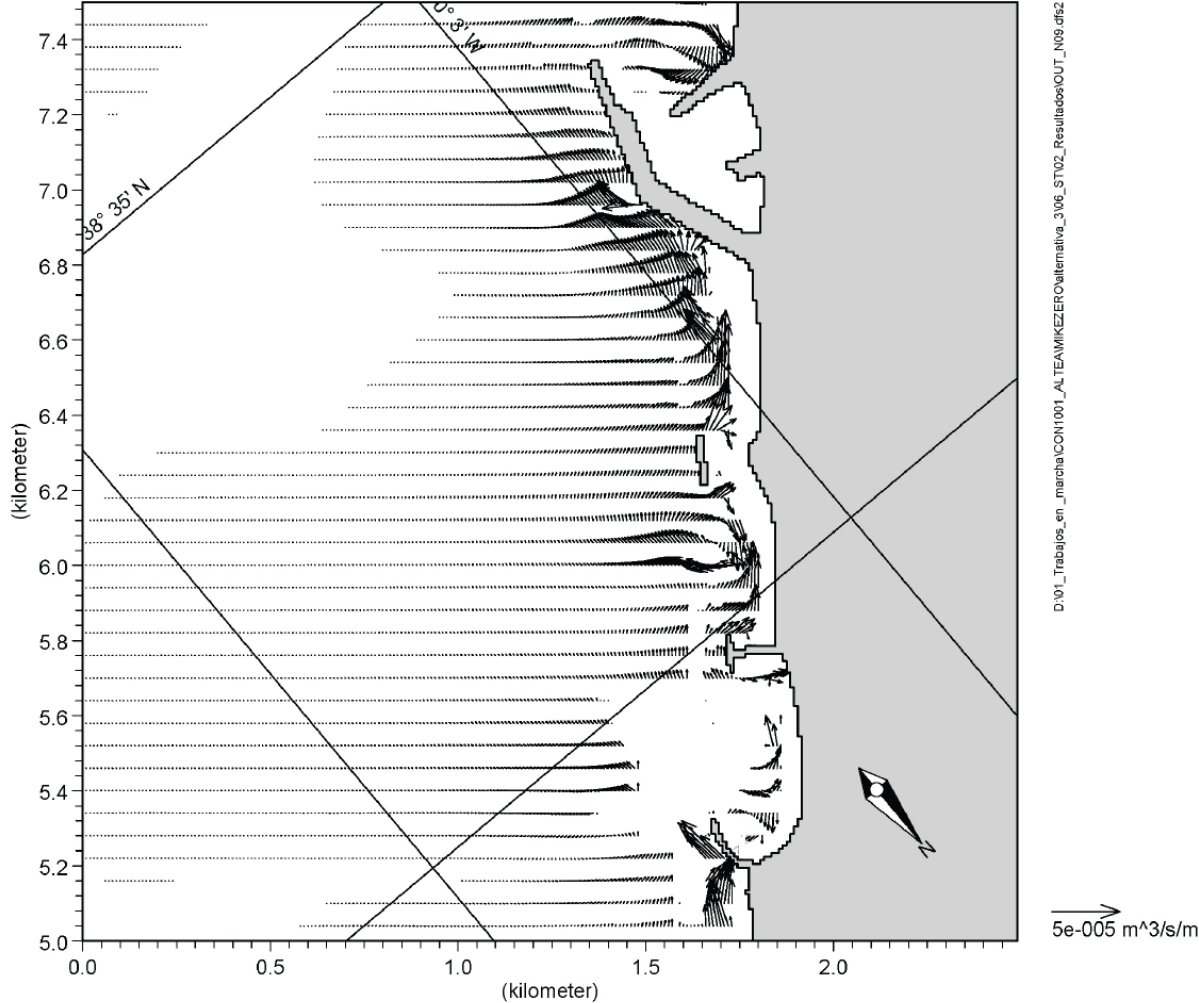
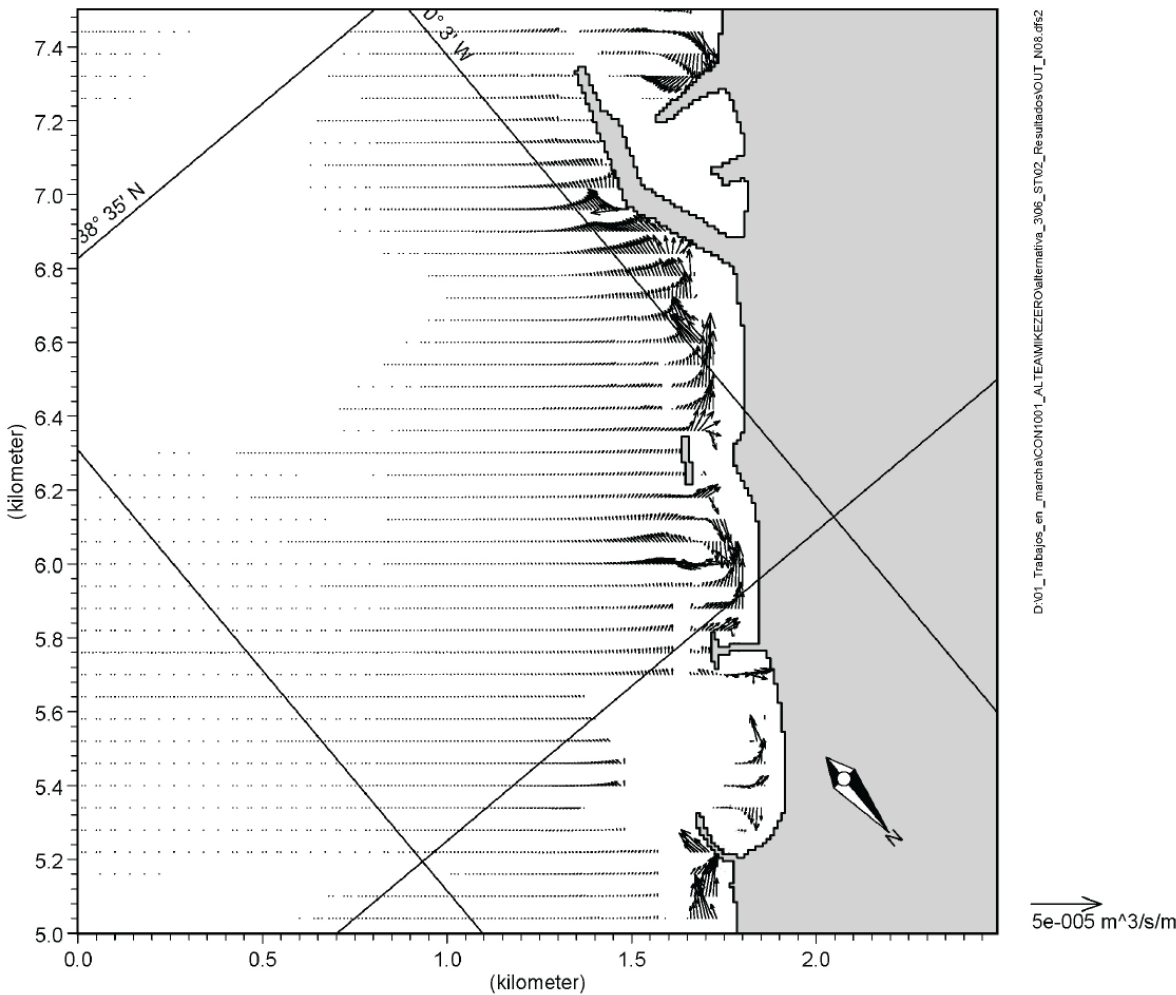


		Client: KV CONSULTORES		
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA		
DIV. MARINA	Date: 03/03/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 04. Alternativa 3		
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv/jlg			

		Client: KV CONSULTORES		
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA		
DIV. MARINA	Date: 03/03/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 05. Alternativa 3	Drawing no. ST.05/3 D	
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv/jlg			

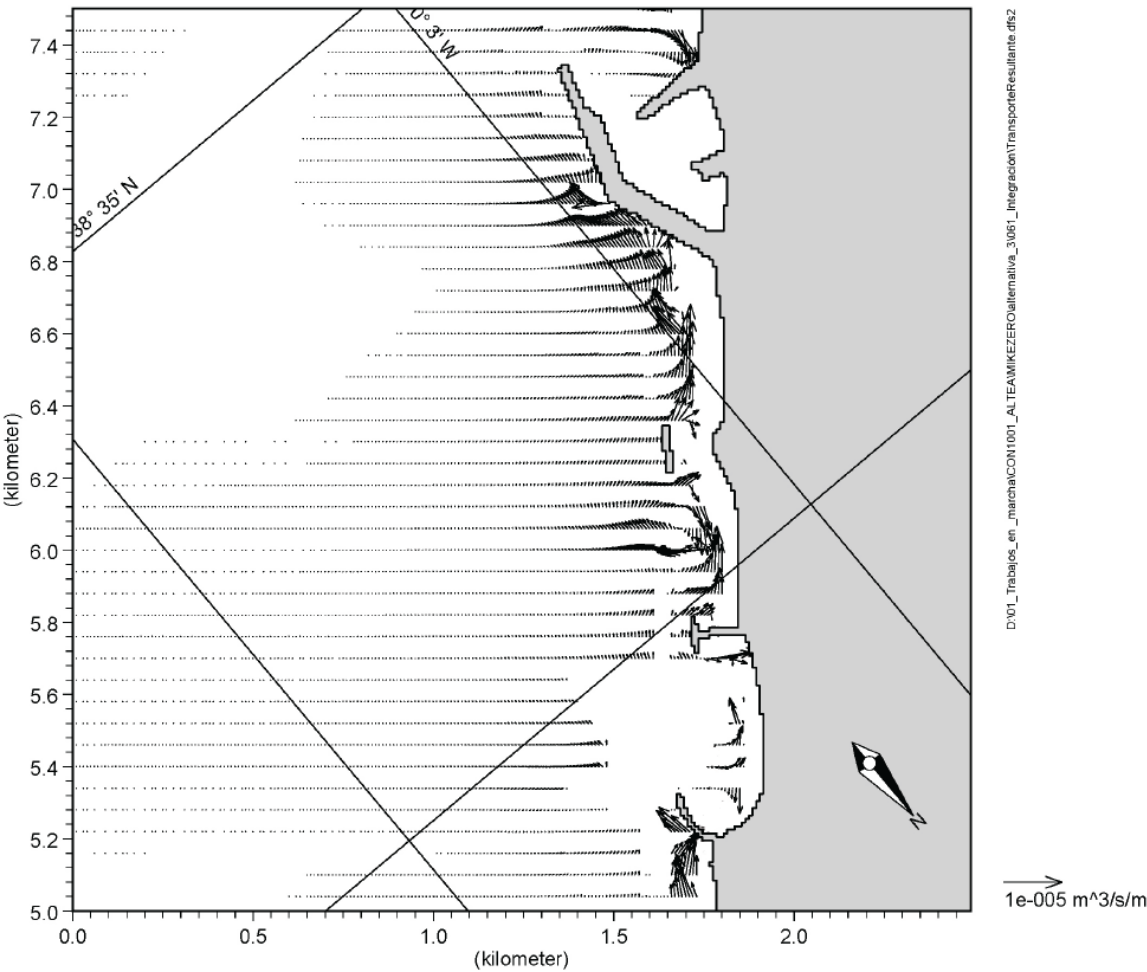


		Client:	KV CONSULTORES	
		Project:	REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA	
DIV. MARINA	Date: 03/03/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 07. Alternativa 3		Drawing no. ST.07/3 D
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv/ltg			



		Client: KV CONSULTORES		
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA		
DIV. MARINA	Date: 03/03/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 08. Alternativa 3	Drawing no. ST.08/3 D	
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv/jlg			

		Client: KV CONSULTORES		
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA		
DIV. MARINA	Date: 03/03/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal producido por oleaje Ref. 09. Alternativa 3	Drawing no. ST.09/3 D	
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv/jlg			



		Client: KV CONSULTORES		
		Project: REHABILITACIÓN DEL F. LITORAL DE ALTEA		
DIV. MARINA	Date: 03/03/06	ANÁLISIS SEDIMENTARIO Potencial de transporte sólido longitudinal medio anual. Alternativa 3	Drawing no. ST.10/3 D	
Isabel de Valois, 20 BOADILLA	Init: jmv/jlg			

Anejo nº 10. Estudio de dinámica litoral.

ANEJO Nº 10. ESTUDIO DE DINÁMICA LITORAL

En la redacción del presente Proyecto se han asumido gran parte de los datos, bases y especificaciones contenidas en los proyectos, “PROYECTO DE REHABILITACIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LA FACHADA COSTERA DEL CASCO URBANO DE ALTEA (ALICANTE)”, redactado por KV consultores y “*PROYECTO DE REHABILITACIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LA FACHADA COSTERA DEL CASCO URBANO DE ALTEA (PARTE MARITMIA). T.M. DE ALTEA (ALICANTE)*”, redactado por IBERPORT CONSULTING por encargo de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

El presente anejo es copia del proyecto original ya que sus contenidos y conclusiones son válidos en esta nueva redacción

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1

2. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD FISIAGRÁFICA..... 1

 2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA 1

 2.2 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS Y GEOLÓGICAS..... 3

3. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA LÍNEA DE COSTA 4

4. DINÁMICA LITORAL DE LA SITUACIÓN ACTUAL 7

 4.1 CÁLCULO ANALÍTICO DEL TRANSPORTE SÓLIDO LITORAL 7

 4.2 ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE TRANSPORTE A PARTIR DE LA DISTRIBUCIÓN
 GRANULOMÉTRICA 8

 4.3 MORFODINÁMICA Y CUANTIFICACIÓN DEL TRANSPORTE EN BASE A
 VARIACIONES TOPOGRÁFICAS EN LA PLAYA 8

 4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA MODELIZACIÓN NUMÉRICA DEL TRANSPORTE
 LONGITUDINAL..... 9

5. AFECCIONES A LA DINÁMICA LITORAL 9

 5.1 BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 9

 5.2 CORRIENTES Y TRANSPORTE EN LA SITUACIÓN FUTURA..... 10

6. CONCLUSIONES 10

ANEXO Nº 1: ESTUDIO MORFODINÁMICO Y CUANTIFICACIÓN DEL TRASPORTE NETO DE
SEDIMENTOS EN LA PLAYA DE ALTEA.

1. INTRODUCCIÓN

Tal y como establece la Ley de Costas en su artículo 44, *“cualquier proyecto que contenga la previsión de realizar actuaciones en el mar o en la zona marítimo terrestre deberá comprender un estudio básico de la dinámica litoral, referido a la unidad fisiográfica costera correspondiente y de los efectos de las actuaciones previstas”*, tarea que se acomete en el presente Anejo.

Como ya se ha indicado en la memoria del presente Proyecto, la “Asistencia Técnica para la Redacción del Proyecto de Rehabilitación Medioambiental de la Fachada Costera del Casco Urbano de Altea (Alicante)”, fue adjudicada por la Dirección General de Costas a KV Consultores y posteriormente por IBERPORT CONSULTING en diciembre de 2005, tras haber constatado la necesidad de mejora de la fachada marítima de Altea.

Para la realización del presente estudio se han consultado y utilizado las informaciones de los siguientes estudios realizados en la zona con anterioridad:

- Anejo de Dinámica Litoral del Proyecto *“Mejora Ambiental de del Frente Litoral del casco urbano de Altea”* Asurinsa Oficina Técnica S.L. 2001.
- *“Geología continental y submarina del espacio costero entre Denia y Benidorm (Alicante) notas bibliográficas”* Ana María Blázquez Morilla.

2. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD FISIOGRAFICA

2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

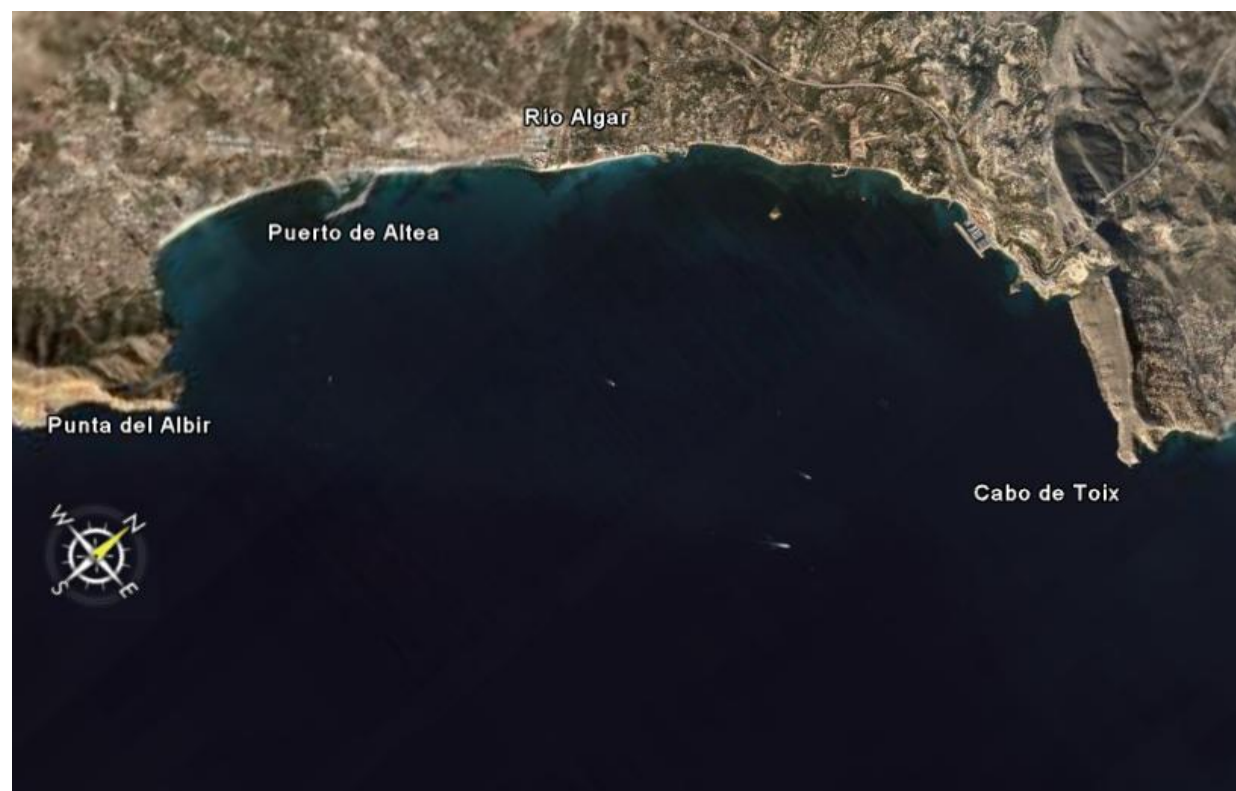
La playa de Altea se ubica en la costa suroccidental de la Península Ibérica, concretamente en la ensenada de Altea, entre el Cabo de Toix y la Punta del Albir, tal y como se muestra en las siguientes figuras.



Ubicación de Altea

De acuerdo con el proyecto *“Mejora Ambiental de del Frente Litoral del casco urbano de Altea”*, la unidad fisiográfica de primer orden en la que se encuentra situada el área de actuación es la comprendida entre la Punta de la Moraira y el Cabo de Palos. Este proyecto propone la unidad

comprendida entre el Peñón de Ifach y la Punta del Albir como la unidad fisiográfica de referencia de segundo orden y la comprendida entre el morro de Toix y la Punta Albir como la de tercer orden.



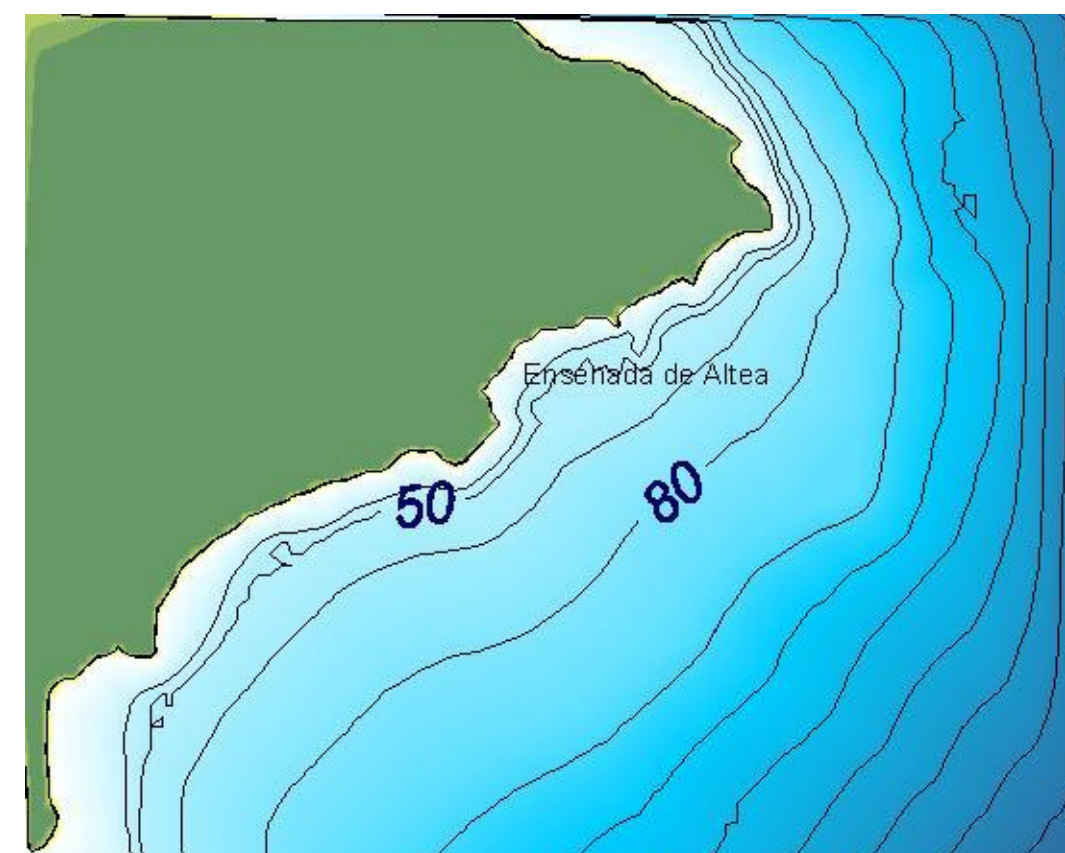
Unidad fisiográfica de tercer orden a la que pertenece el área de estudio

La dinámica litoral de la unidad fisiográfica de tercer orden se divide en varios tramos, de los cuales nos interesa el comprendido entre la desembocadura del Río Algar y el Puerto de Altea (área sobre la que se desarrollará la actuación prevista).

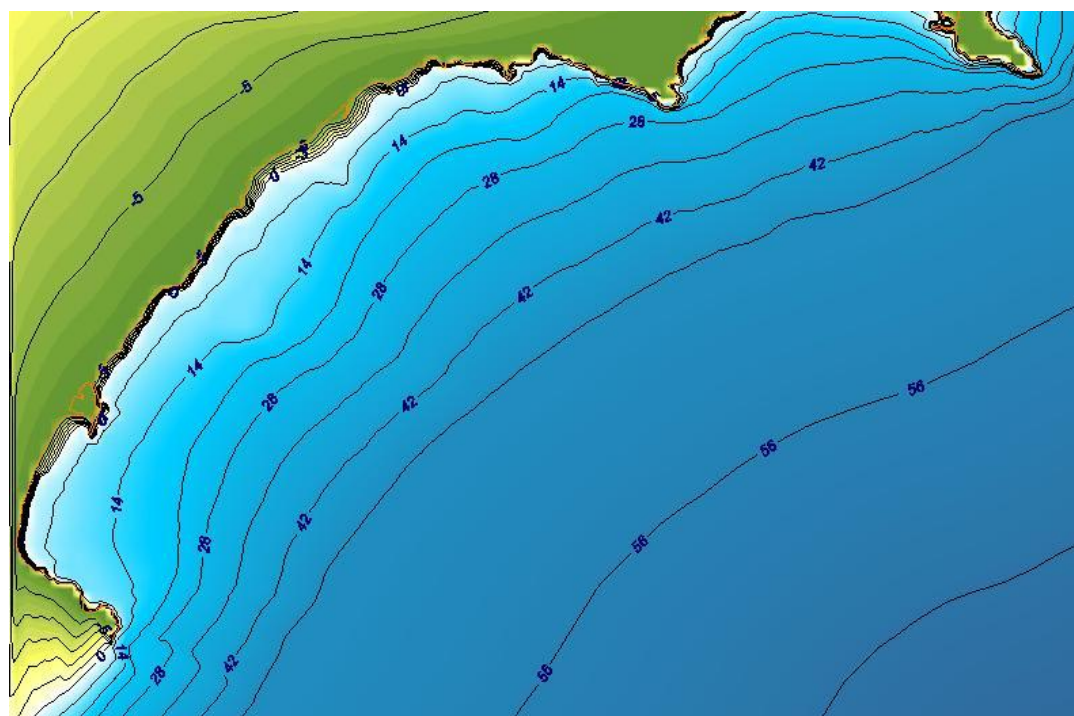


Área sobre la que se va a realizar la actuación

En las siguientes figuras se muestra la batimetría de las unidades fisiográficas de primer y tercer orden.



Batimetría general de la zona (Unidad fisiográfica de 1^{er} orden)



Batimetría de la ensenada de Altea (Unidad fisiográfica de 3^{er} orden)

2.2 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS Y GEOLÓGICAS

Por lo que respecta a los aspectos geomorfológicos de la unidad fisiográfica, y teniendo en cuenta la localización de la zona en la que se tiene intención de desarrollar el proyecto aquí analizado, el presente documento se centra en el litoral del municipio, con sus diferentes características y formas de modelado por tramos.

Así, se pueden individualizar una serie de sectores en relación con las formas elementales de la costa que los singularizan: por un lado, playas de cantos, en la mayor parte de los casos como aceras litorales adosadas bien a superficies de glacis o bien a afloramientos del diapiro; y, por otro lado, los sectores de costa acantilada que caracterizan el sector más septentrional, donde caen directamente al mar los materiales cretácicos y paleógenos de las Sierra de Bernia y del Morro de Toix.

De forma más detallada se pueden diferenciar los siguientes tramos de sur a norte del término municipal:

1. Hasta el puerto de Altea se puede señalar un tramo de costa caracterizado por la presencia de una playa de cantos y gravas, testimonio de la morfología primitiva predominante en la práctica totalidad del litoral alteano. Esta fisonomía se relaciona con los procesos de aporte de materiales por la red de avenamiento y su posterior redistribución por parte de las corrientes

litorales y deriva. Se trata, pues, de una forma litoral de acumulación, cuyas dimensiones originales -playa de cantos que se extendía de forma ininterrumpida entre el Rincón del Albir y Cap Negret- se han visto alteradas por distintos impactos antropogénicos: infraestructuras de comunicación, emplazamiento del puerto.

Así, en efecto, desde Cap Negret y hasta las inmediaciones el puerto (desembocadura del Barranc deis Ares) la playa de cantos que se ha comentado ha sido sustituida por una obra de escollera, indicativa del proceso de regresión que se ha operado en este tramo. Fenómeno debido, por un lado, a la interrupción de la deriva litoral determinada por la presencia de un obstáculo opaco a la misma que es el puerto; y, por otro, a la interferencia de transmisión de materiales y limitación de absorción de energía derivadas de la ocupación de la playa, teniendo en cuenta que ésta se presenta como un sistema morfodinámico. Por el contrario, en la desembocadura del citado Barranc deis Ares, la dinámica espasmódica de esta cuenca y, sobre todo, los efectos de refracción del oleaje motivados por la ampliación del dique de levante del puerto, han configurado una barra de cantos y gravas que supone una recuperación, hasta cierto punto una progresión, de la línea de costa a lo largo de unos 100 metros aproximadamente.

2. El siguiente tramo se desarrolla hasta el Clot de Mingot (en parte de la misma se desarrolla una parte importante del proyecto analizado). Se trata de un sector que, en su aspecto primigenio, era muy semejante al anterior, no obstante la artificialización de todo él ha provocado un cambio radical en su configuración.

Si el tramo situado al sur del puerto se caracteriza como regresivo en relación con su posición respecto del mismo y del sentido de la deriva litoral, éste, emplazado a barlovento de la deriva litoral, ofrece una evolución claramente progresiva. A esta situación ha contribuido de forma muy notable, y en época más reciente, la construcción de un dique exento de escollera, de trazado paralelo a la costa, que ha generado una prominencia, futura flecha de cantos y gravas, que de no verse interrumpida su evolución, podría terminar por formalizar una estructura tombólica con el citado dique.

Mayor transformación ha sido la sufrida por el sector situado inmediatamente al norte que se prolonga casi hasta la misma desembocadura del río Algar. El pequeño seno que ofrecía el perfil costero en 1956, y que acogía una estrecha acera de cantos y gravas, se ha transformado, y, ésta, ha sido sustituida, a partir de la segunda mitad de los setenta, por un dique de escollera que traza una línea recta desde la punta de la citada desembocadura hasta

el comienzo de la actual playa situada a levante del puerto, singularizando una lámina de agua separada del mar por el citado dique con el que se comunica a través de una pequeña bocana (esta zona -lámina de agua- es sobre la que se pretende desarrollar una parte importante de la actuación). Actuación que debemos relacionar con la ocupación humana de un espacio morfológico que, inherentemente, presenta una evidente peligrosidad relacionada con los temporales marinos de máxima intensidad.

3. Desde la desembocadura del río Algar hasta el puerto de Marymontaña, se prolonga otro tramo definido por tratarse de una costa de acantilado bajo en materiales detríticos con una acera litoral de cantos y gravas, precedida de la morfología típica de barra en la desembocadura que da lugar a un "pronunciado" saliente en el perfil costero.

El esquema de acantilado con acera tan sólo se altera en el sector central del mismo, donde los afloramientos ofíticos de Cap Negret y los conglomerados localizados inmediatamente al norte, con una pequeña cala entre ambos como solución de continuidad, introducen una pequeña variación al esquema apuntado.

Señalar que en algunos sectores la presencia de afloramientos del Keuper, directamente ligados a la tectónica de fractura que ha determinado una compartimentación en bloques desnivelados de forma diferencial, que da lugar a unas formas muy peculiares a base de colapsos y acarcavamientos en la propia línea de costa. Así mismo indicar que, además de los cantiles en materiales propios de glaciares, pueden observarse depósitos de duna fósil, incluso con retazos del mismo que delatan el retroceso propio de estos tipos de costa acantilada.

4. Finalmente, hasta la zona del Mascarat, al norte del puerto de la Galera, la estrecha acera litoral, adosada al glacis en un primer momento, desaparece cuando, en relevo de dicho acantilado en los materiales detríticos del mismo, es sustituido por otro de litofacies en las que alternan capas duras y blandas. Así se produce una morfología de costa acantilada en la que los fenómenos predominantes son los desprendimientos y caída de bloques.

El resto de la línea litoral hacia el límite municipal es la característica de costa acantilada de mayores o menores desniveles, siendo también frecuentes la presencia de mordeduras en dicha línea provocadas por las desembocaduras de los barrancos que desaguan el sector, es decir, se define la típica costa en la que alternan el acantilado con las calas.

3. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA LÍNEA DE COSTA

En el presente apartado se han considerado las ortofotos disponibles en la Fototeca del Instituto Geográfico Nacional, correspondientes a los años 1978, 1984, 1985 y 1999 y las ortofotos suministradas por la Dirección General de Costas, y ejecutadas por Toponort en febrero del año 2.000. Dichas ortofotos se muestran a continuación.

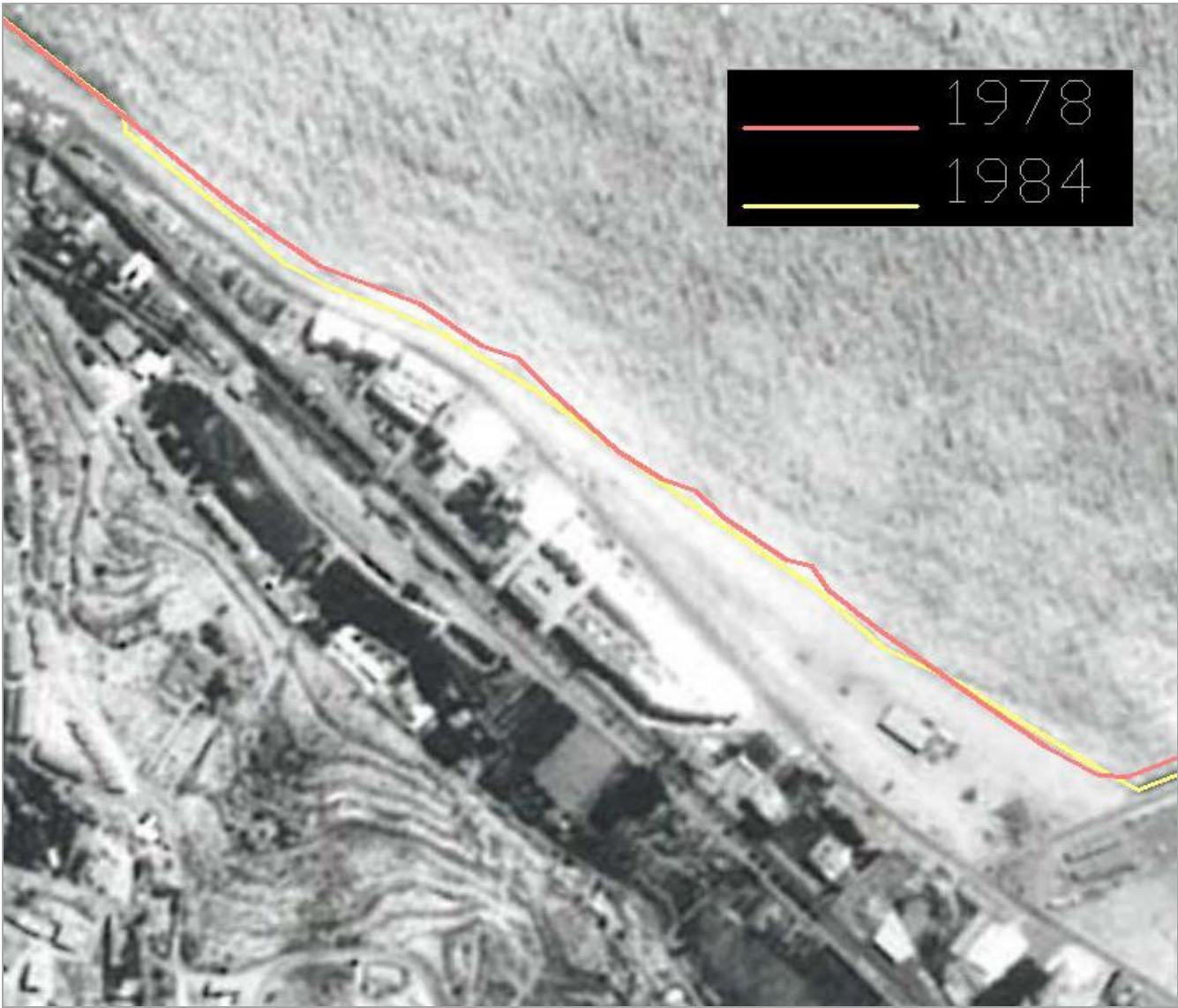
Se ha realizado un ajuste de la línea de costa sobre dichas ortofotos para evaluar cualitativamente la evolución de la costa en la Playa de la Roda. El resto de la costa en la zona de estudio permanece igual a lo largo de los años de los que se dispone de información.



Ajuste de la línea de costa (1978)

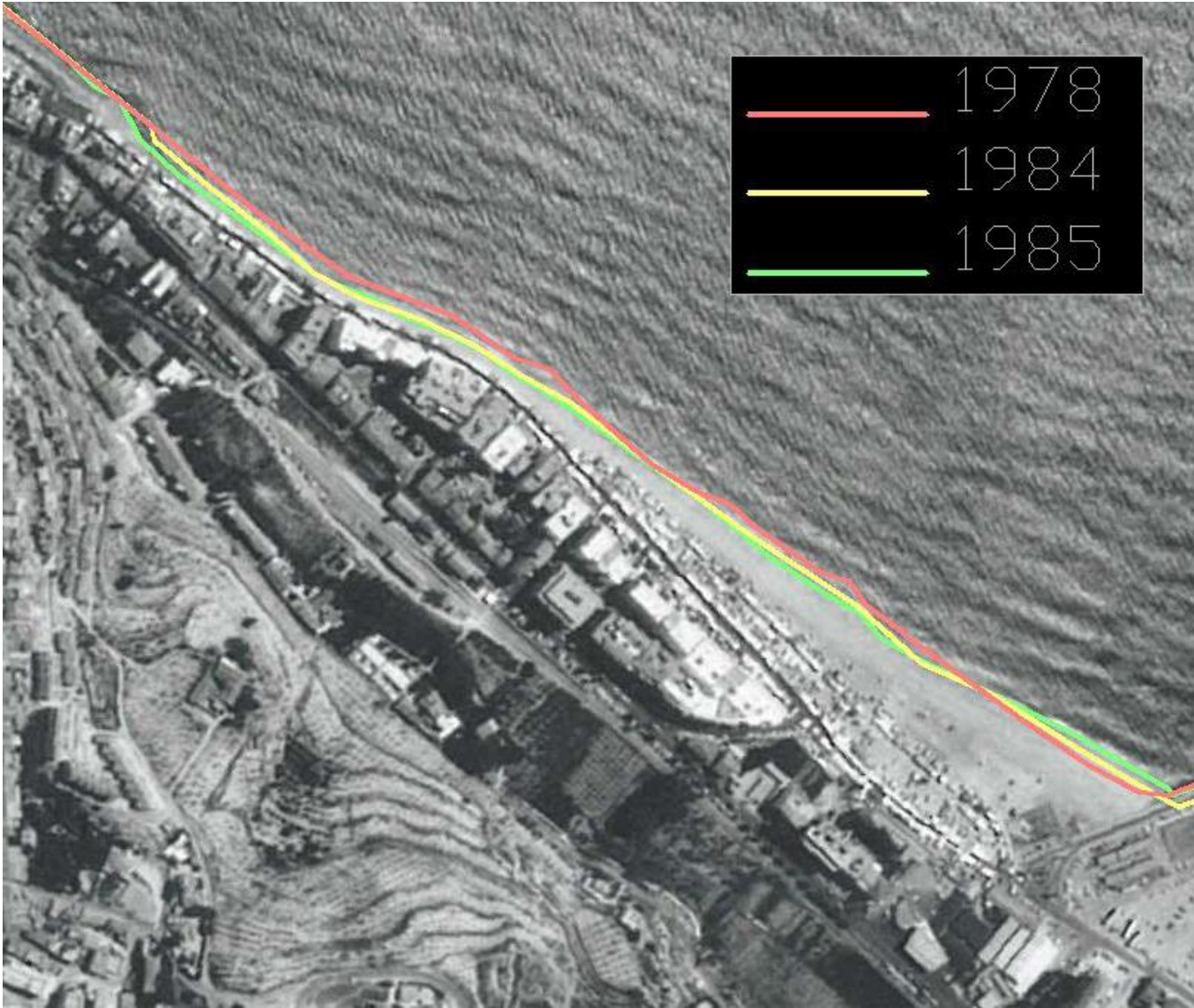
En la imagen anterior se muestra la línea de costa existente antes de la construcción del dique exento existente en la playa de la Roda.

En la siguiente imagen se muestra el retranqueo que se experimentó desde 1978 hasta 1984 estimado sobre las fotografías como de 10 m. Es destacable el hecho de que se observa que la playa no se encuentra en erosión uniformemente en toda su longitud, puesto que junto al dique norte del puerto de Altea se observa un ligero avance de la línea de costa, evidenciando una tendencia a la sedimentación en esta zona.



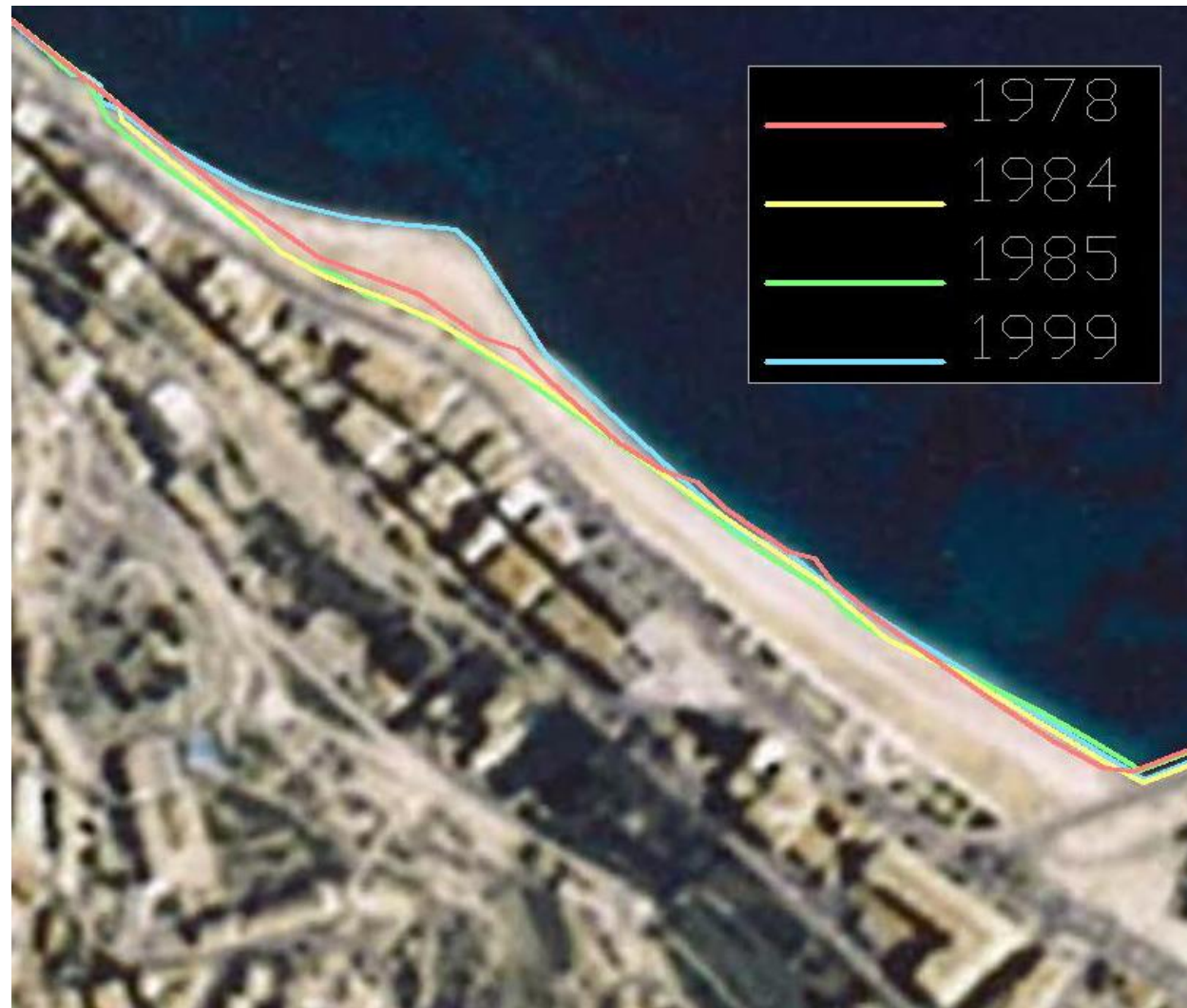
Ajuste de la línea de costa (1984)

En la siguiente figura se observa que las tendencias en los movimientos de la línea de costa descritos para el periodo anterior se mantienen.



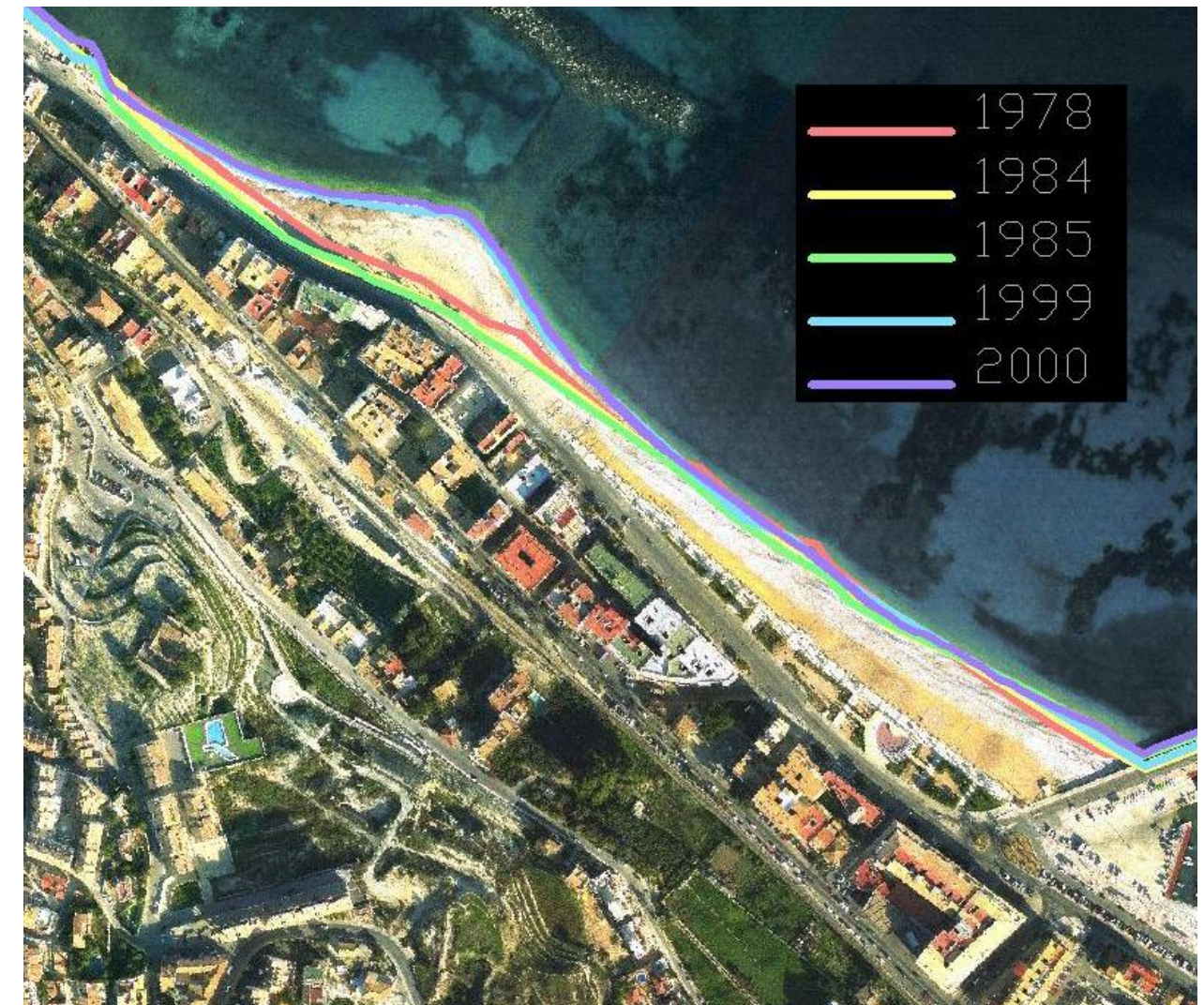
Ajuste de la línea de costa (1985)

Tras la construcción del dique exento existente se observa un importante cambio en la fisonomía de la costa, como se muestra en la figura siguiente. El saliente originado parece responder a una recarga de material granular al abrigo de la zona mediante un dique exento, se ha estimado sobre la fotografía que el saliente generado es del orden de los 45 m.



Ajuste de la línea de costa (1999)

Finalmente se muestra en la siguiente imagen la evolución de la línea de costa entre los años 1999 y 2000, es de destacar que apenas se han producido cambios en la línea de costa en este periodo.



Ajuste de la línea de costa (2000)

A partir del análisis de la evolución de la línea de costa se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- La construcción del dique norte del puerto de Altea provocó una acumulación de sedimento al norte del mismo.
- La construcción del dique exento frente a la playa junto a una recarga antrópica de sedimento provocó la formación de un saliente al abrigo de dicho dique.

- En los últimos años la forma en planta de la playa no ha sufrido apenas variaciones, si bien existe una cierta tendencia acumulativa al norte del espigón del puerto, por lo que se puede concluir que la playa está próxima al equilibrio

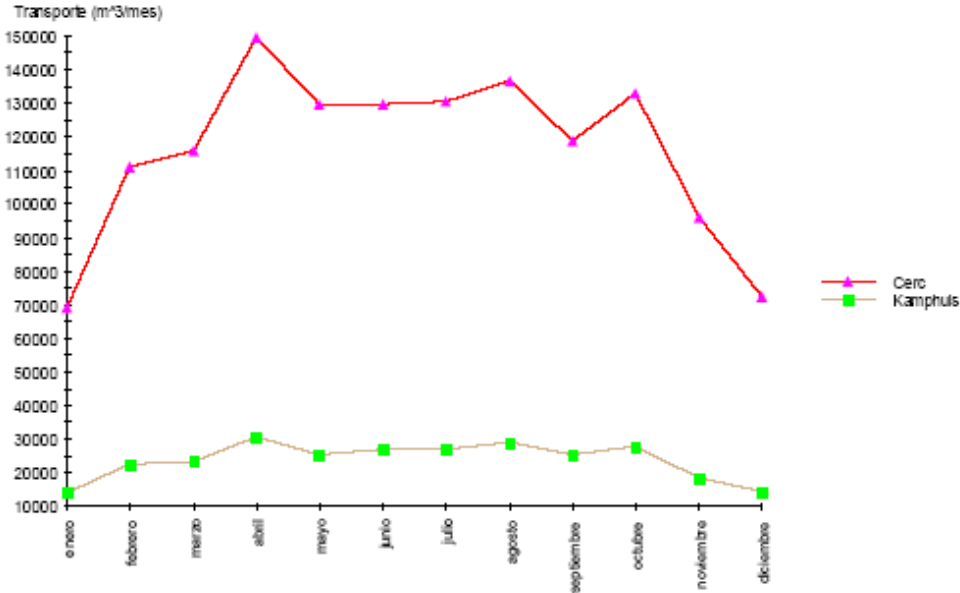
4. DINÁMICA LITORAL DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El transporte litoral ha sido estudiado mediante diversas metodologías que se enumeran a continuación:

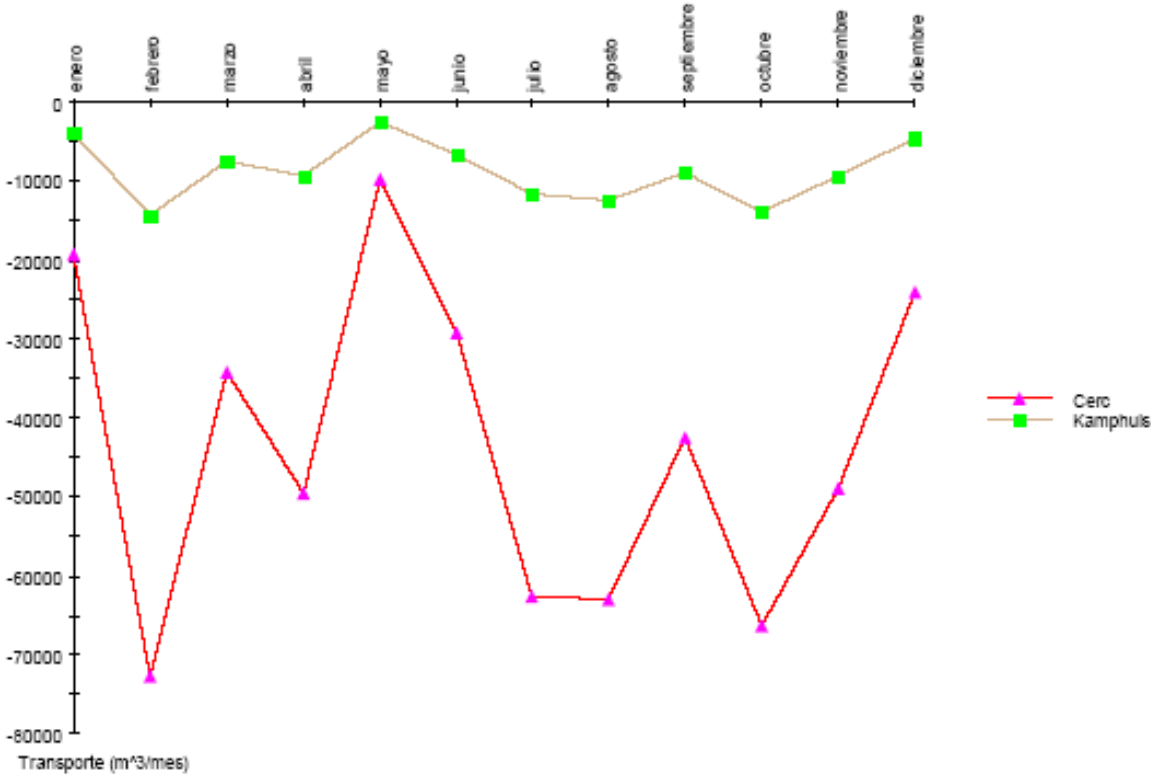
- Aproximación analítica al transporte sólido litoral mediante las formulaciones del CERC y de Kamphuis
- Análisis de tendencias de transporte en base a la distribución granulométrica de los sedimentos
- Estudio morfodinámico y cuantificación del transporte neto de sedimentos en la playa de Altea en base a la variación topográfica de los perfiles de playa
- Modelización numérica mediante el programa LITDRIFT
- Modelización numérica mediante el programa MIKE-21

4.1 CÁLCULO ANALÍTICO DEL TRANSPORTE SÓLIDO LITORAL

Como una primera aproximación, se ha obtenido el transporte medio mensual bruto y neto mediante la formulación del CERC y de Kamphuis, a través del programa ODIN implementado en el SMC (desarrollado por la Universidad de Cantabria), con base en registros visuales de oleaje en aguas profundas.



Transporte bruto a partir de datos de oleaje basados en observaciones visuales



Transporte neto a partir de datos de oleaje basados en observaciones visuales

Las formulaciones consideradas son válidas únicamente para transporte de arenas y dado que los materiales existentes en la zona de estudio son de mayor tamaño, el volumen de transporte obtenido

no es indicativo de lo que realmente sucede en el frente litoral de Altea. Sin embargo, los resultados aquí presentados tienen interés de cara a valorar cualitativamente la distribución mensual del transporte producido a lo largo del año.

4.2 ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE TRANSPORTE A PARTIR DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

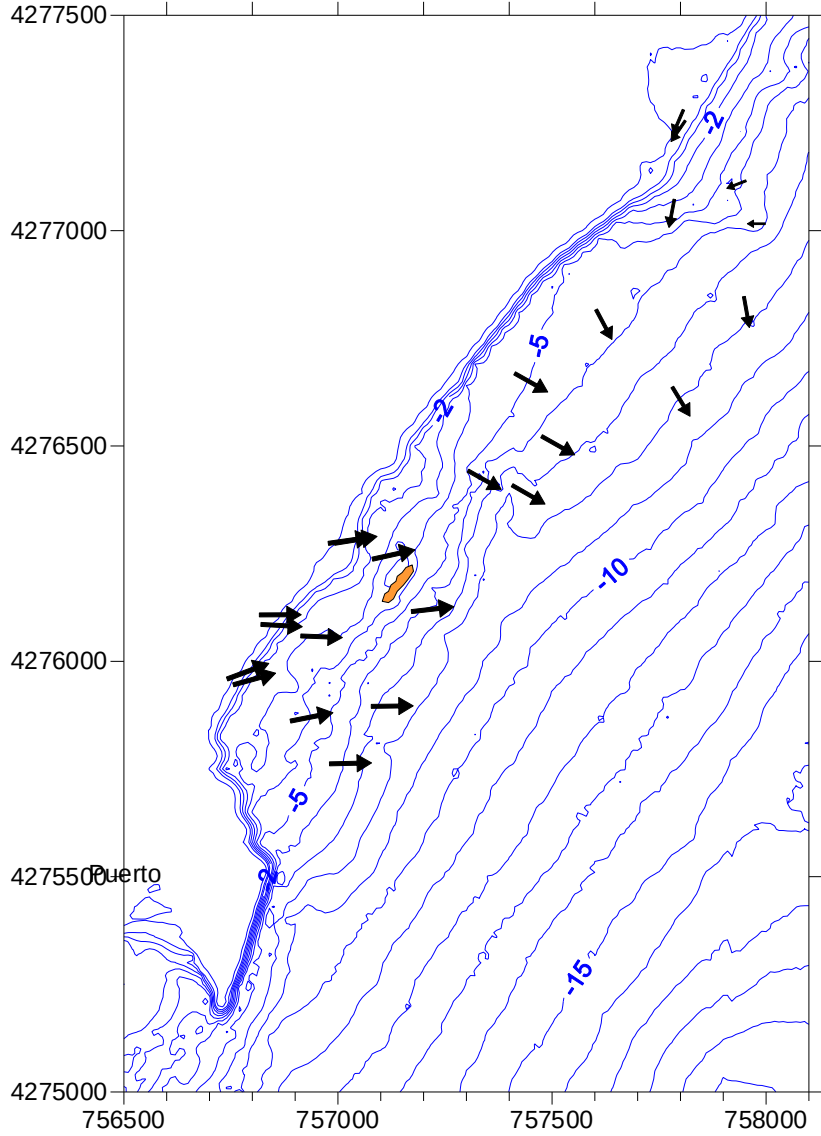
El modelo de tendencias granulométricas, así como las bases de partida consideradas para la aplicación del mismo se detallan en el Anejo N° 7 “*Caracterización del sedimento*”.

La aplicación de este modelo a las muestras tomadas en época invernal (enero de 2006) muestra una clara tendencia erosiva de toda la playa, aunque mucho más evidente en el sector sur. Dicha tendencia es totalmente coherente con la presencia de varias crestas de berma en el sector sur, las cúspides de playa en dicho sector, y el déficit generalizado de arenas en el frente de playa.

El transporte identificado tiene un marcado carácter transversal, asociado a los oleajes energéticos del invierno, quedando reflejada la migración transversal de la berma de playa en temporada invernal, de tal manera que la playa muestra una clara tendencia erosiva en toda su longitud y principalmente en la zona más meridional asociada a dinámicas estacionales.

Tras el análisis de la evolución de la línea de costa (apartado 3 del presente Anejo) se concluyó que la playa se encuentra muy próxima al equilibrio en largo plazo por lo que cabe esperar que esta tendencia erosiva detectada mediante el estudio de tendencias del transporte se invierta en época estival.

Es importante indicar que, en el gráfico siguiente, una mayor longitud y tamaño del vector no indica un mayor volumen de sedimentos transportados, sino una tendencia más fuerte, es decir, más clara. La dirección del vector indica hacia dónde se dirigen los sedimentos.



Tendencias de transporte.

4.3 MORFODINÁMICA Y CUANTIFICACIÓN DEL TRANSPORTE EN BASE A VARIACIONES TOPOGRÁFICAS EN LA PLAYA

Se ha realizado un estudio morfodinámico de la playa monitorizando la topografía de 7 perfiles de la playa de Altea en enero, febrero y marzo de 2006. Asimismo se ha tenido en consideración el levantamiento realizado por TOPONORT entre la segunda quincena de febrero y la primera semana de mayo de 2000.

En dicho estudio, que se recoge en el **Anexo N° 1** del presente Anejo, se compara la topografía de la playa de Altea entre campañas sucesivas, así como entre la topografía del 2000 y la de febrero de 2006, observándose que las variaciones altimétricas máximas en la playa son inferiores a un metro.

En este estudio, se ha observado una cierta tendencia erosiva en la playa, propia de la época invernal en la que se han realizado las campañas de campo, que viene a confirmar lo señalado en el apartado anterior del presente documento.

En cambio, en la zona de la playa protegida por el dique exento existente se ha constatado una cierta tendencia a la acreción incluso tras el temporal experimentado por la playa entre enero y febrero, que evidencia la eficacia del dique exento.

4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA MODELIZACIÓN NUMÉRICA DEL TRANSPORTE LONGITUDINAL

Para modelar el transporte litoral en la zona costera de Altea se han utilizado los programas MIKE 21 y LITPACK, cuyas características y condicionantes de cálculo ya han sido definidos en el Anejo N° 9 “Modelización numérica de corrientes y transporte de sedimentos” del presente Proyecto.

El potencial de transporte sólido longitudinal neto es muy reducido, resultando un saldo positivo de transporte hacia el sur de 60 m³/año en la situación actual, encontrándose el frente litoral, por tanto, en un estado muy próximo al de equilibrio.

El transporte neto hacia el sur es corroborado por los resultados obtenidos del cálculo analítico del transporte neto realizado en el apartado 4.1 del presente Anejo y la ligera tendencia de acreción que se observa al norte del dique del puerto de Altea identificada a partir del análisis de la evolución de la línea de costa (ver apartado 3 del presente Anejo).

5. AFECCIONES A LA DINÁMICA LITORAL

Una vez descrita y analizada la situación actual, en el presente apartado se analizan los efectos sobre la dinámica de la actuación a realizar frente litoral del núcleo urbano de Altea.

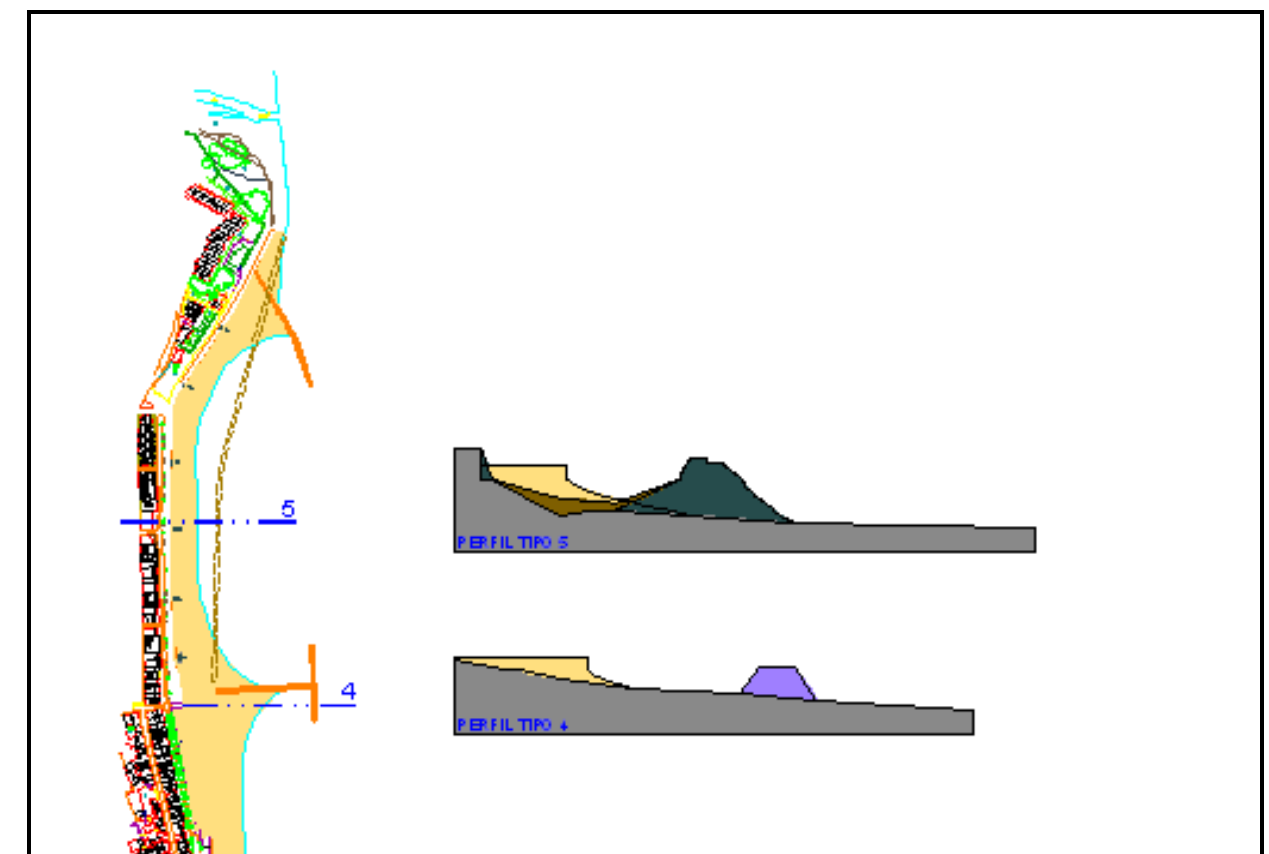
En relación con los datos de oleaje se consideran los mismos que los empleados para el análisis de la situación actual ya que no se ha colocado ninguna estructura que modifique la propagación de los frentes hasta la batimétrica -15.

En los apartados siguientes se describen los resultados de la modelización en la situación futura para finalmente compararlos con la situación actual y determinar las diferencias entre ellas.

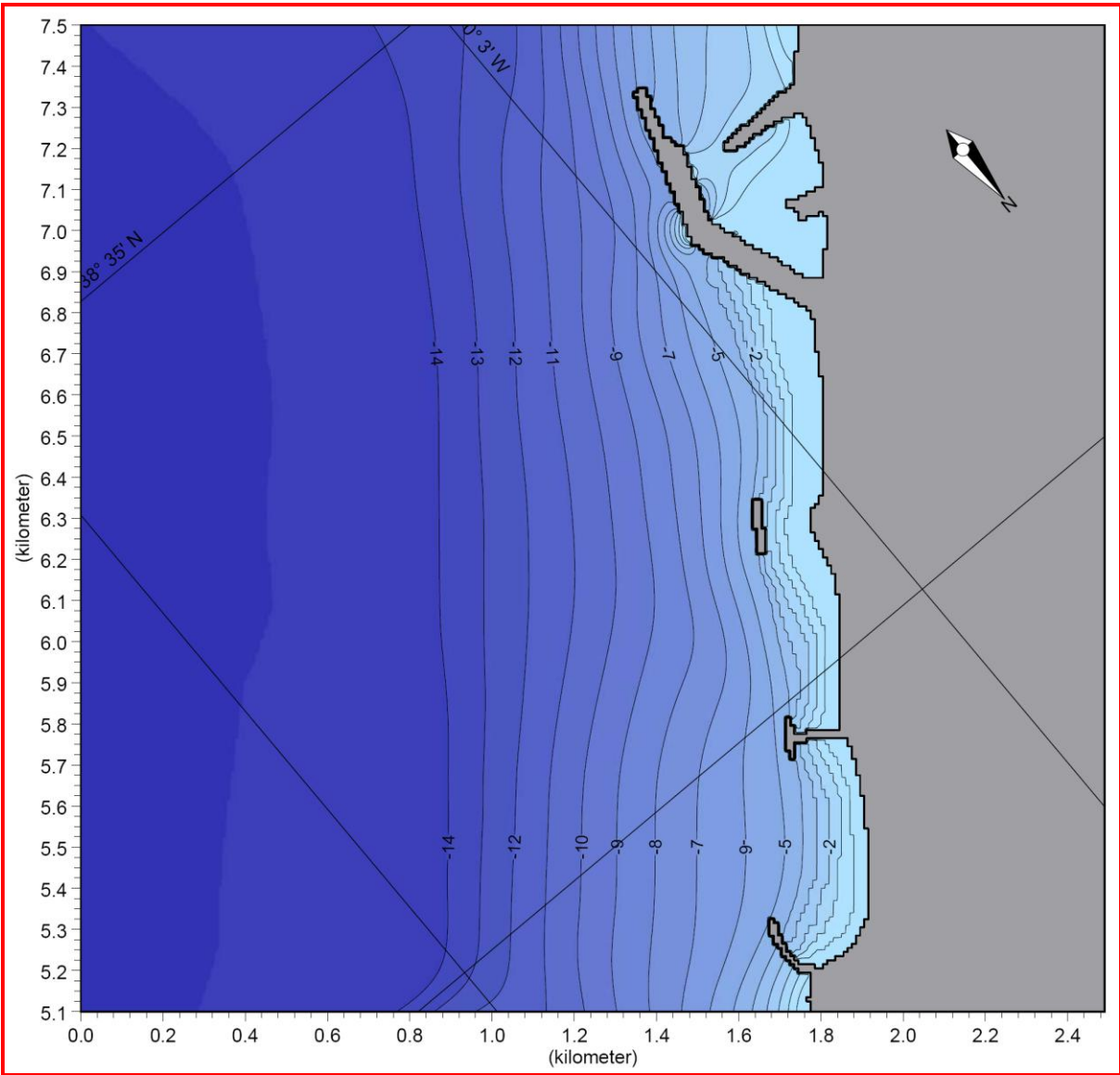
5.1 BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

A continuación se enumeran las principales características de la solución seleccionada en la zona denominada “El Charco”, así como un esquema de la misma:

- Demolición de escolleras en la zona de “El Charco”
- Construcción de un espigón de 160m en el extremo norte de la playa
- Construcción de un “dique en T” de 120m de longitud y de ancho de 167.54 m entre “El Charco” y la playa actual.



Esquema de la situación futura



Esquema de la batimetría existente en la situación futura

Las características más destacables de esta solución en cuanto a la dinámica litoral se refiere son la creación de una playa en la zona de “El Charco” donde actualmente hay una escollera de protección, y la construcción de dos estructuras (el espigón y el dique en T) perpendiculares a la costa que representan un obstáculo al transporte.

5.2 CORRIENTES Y TRANSPORTE EN LA SITUACIÓN FUTURA

Se ha realizado el cálculo del transporte en la situación futura mediante la modelización numérica del transporte sólido potencial con el programa MIKE-21, el cual se detalla en el Anejo Nº 9 “Modelización numérica de corrientes y transporte de sedimentos” del presente Proyecto. Las principales

conclusiones obtenidas a partir del análisis de los resultados de dicho cálculo y que afectan a la dinámica litoral se resumen a continuación.

En la situación futura las estructuras de contención y de defensa de costa planteadas modifican el campo de corrientes existente en la actualidad formando áreas de aguas más tranquilas en sus entornos, pero sin perjudicar la necesaria renovación del agua para una buena calidad de baño de la zona.

En relación con el dique exento existente, se puede observar que al reducir su longitud se consigue una menor zona de influencia y por tanto, una zona más reducida de agua abrigada.

6. CONCLUSIONES

Las conclusiones generales que se derivan del estudio de dinámica litoral son las siguientes:

- Tanto del estudio de la evolución histórica de la línea de costa como del de transporte sólido de sedimentos, se puede concluir que la playa se haya en la actualidad muy próxima al equilibrio en el largo plazo existiendo una ligera tendencia a la acumulación de sedimentos en la zona más septentrional de la actuación. Asimismo, en la situación futura, se prevé una tendencia a la sedimentación al norte de las obras que interrumpen el transporte litoral en sentido longitudinal a la costa, esto es, en el dique en T y en el espigón norte. Huelga decir que el espigón norte se ha diseñado de tal manera que permita parcialmente el transporte de sedimentos hacia el sur a fin de no interrumpir la dinámica litoral.
- El estudio de transporte basado en la granulometría y en las variaciones topográficas de los perfiles de playa concluye que para las situaciones de invierno existe una clara tendencia erosiva en la zona seca de la playa, debido al transporte transversal originado por los oleajes más energéticos. En la situación futura esta respuesta de la costa se mantendrá si bien sus efectos serán menos notables dado que el material aportado tiene tamaños superiores a los del material nativo.
- De la consideración conjunta de ambas condiciones se puede concluir que la playa de Altea se encuentra en un equilibrio dinámico a largo plazo con oscilaciones estacionales asociadas al transporte transversal.

- El estudio morfodinámico de la playa en base a variaciones en la topografía de la misma evidencia que, incluso tras temporales, el saliente existe frente al dique exento se encuentra en acreción. Al adelantar la costa en la situación futura esta tendencia se vería amplificada de tal modo que se ha propuesto la demolición de parte de dicho dique con el fin de estabilizar esta parte de la playa.

ANEXO Nº 1 AL ANEJO Nº 10.

ESTUDIO MORFODINÁMICO Y CUANTIFICACIÓN DEL TRANSPORTE NETO DE SEDIMENTOS EN LA PLAYA DE ALTEA

**ESTUDIO MORFODINÁMICO Y CUANTIFICACIÓN DEL
TRANSPORTE NETO DE SEDIMENTOS EN LA PLAYA DE
ALTEA (2000-2006)**



Responsable del Informe

Prof. Dr. Javier Alcántara Carrió

Secc. Departamental de Ciencias del Mar

Universidad Católica de Valencia

Colaboraciones

Beatriz Domínguez Villar (Lic. CC. del Mar)

Ángela Fontán Bouzas (Lic. CC. del Mar)

Marta Velasco Carrau (alumna colaboradora)

Almudena Rubio Pérez (alumna colaboradora)

Diana López Ferrando (alumna colaboradora)

Jessica Moruno González (alumna colaboradora)

Sandra Gran Stadniczenko (alumna colaboradora)

Grupo de Oceanografía Física y Geología Marina

19 junio 2006

ÍNDICE

1. OBJETO	1
2. METODOLOGÍA	1
2.1 MEDICIÓN DE PERFILES TOPOGRÁFICOS EN LA PLAYA DE ALTEA.....	1
2.2 CÁLCULO DEL TRANSPORTE NETO DE SEDIMENTOS EN LA PLAYA DE ALTEA	2
2.3 CLIMA MARÍTIMO DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO.....	3
3. RESULTADOS	3

1. OBJETO

El objeto del presente estudio es el análisis de las variaciones morfodinámicas en la zona supralitoral de la playa de Altea y sus posibles implicaciones para el diseño de la regeneración de la playa.

2. METODOLOGÍA

2.1 MEDICIÓN DE PERFILES TOPOGRÁFICOS EN LA PLAYA DE ALTEA

Los perfiles topográficos se han realizado combinando datos medidos con Estación Total TOPCON y con GPS Diferencial PROMARK3 con post-proceso. La información así obtenida ha sido además comparada con la topografía medida por TOPONORT en el año 2000, para hacer un estudio de la evolución a más largo plazo.

La Estación Total es el instrumento topográfico con mayor resolución en la actualidad, del orden de unos pocos milímetros. Desde un punto de cabecera fijo, y midiendo con una misma dirección a lo largo de diversas campañas se puede monitorizar la evolución morfodinámica de cada uno de los perfiles topográficos transversales a la playa. En la playa de Altea se han monitorizado un total de 7 perfiles de playa, durante el periodo de enero a abril de 2006.



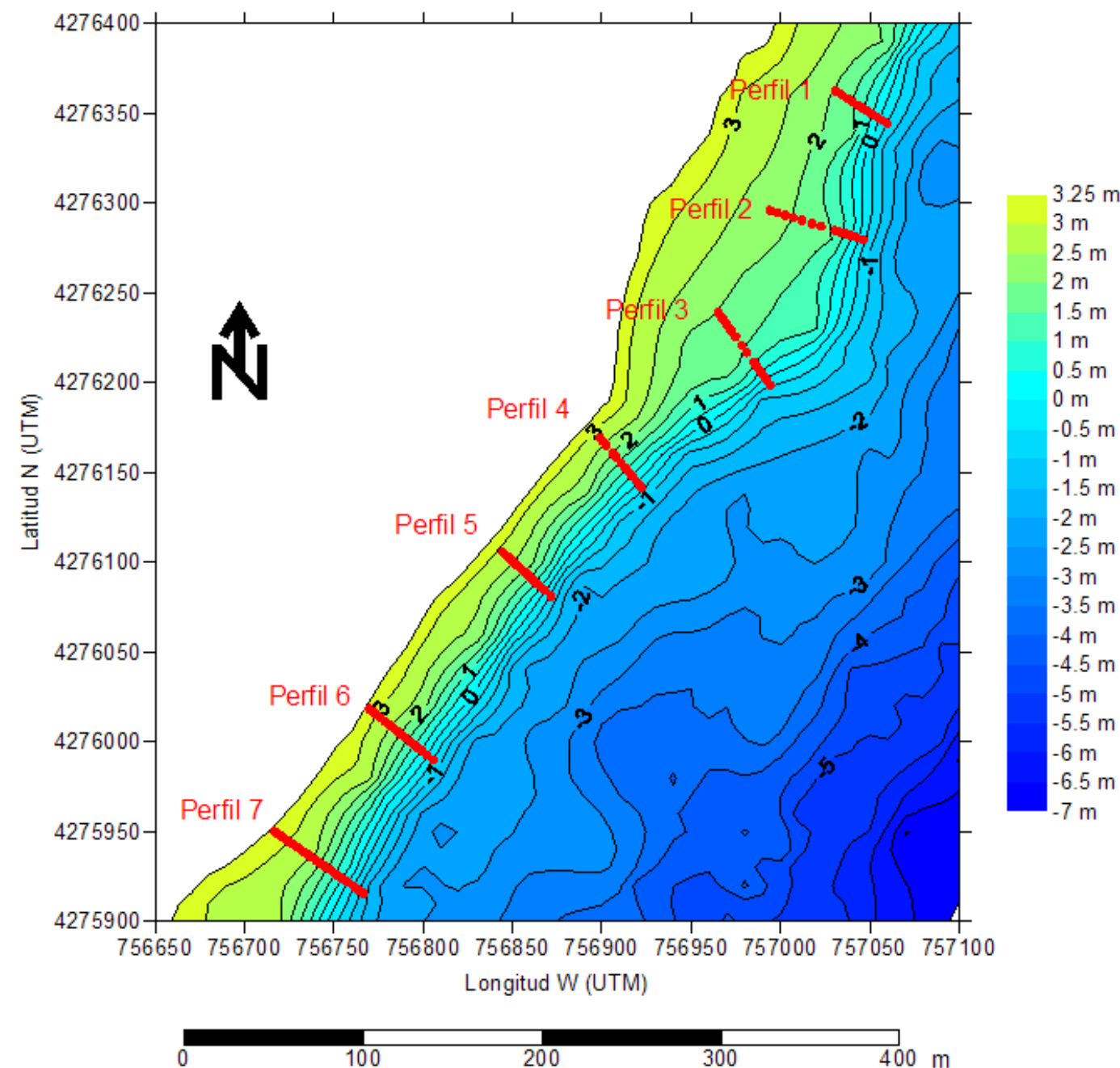
Estación Total para la medida de perfiles topográficos (perfil nº1)



Detalle de la Estación Total sobre un punto de cabecera de perfil (perfil nº5)

El DGPS (GPS Diferencial) es un sistema cada vez más empleado en la medición de topografías de playa. EL GPS que actúa como base fija se emplazó en un clavo del paseo, de coordenadas

perfectamente conocidas. Transcurrido el tiempo de inicialización necesario, se midió con el GPS móvil en modo estático las coordenadas de cada una de las cabeceras de los perfiles. El sistema DGPS tiene también una resolución muy buena, con errores de unos pocos centímetros tanto en latitud y longitud como en altura. La Tabla 1 muestra la posición de la cabecera de cada uno de los perfiles topográficos.



Localización de los perfiles topográficos de la Playa de Altea medidos con estación total en los meses de enero a marzo de 2006, sobre la topografía de la playa medida por TOPONORT en el año 2000.

Perfil	Longitud (UTM)	Latitud (UTM)	Altitud
1	757030,7	4276362,7	1,95
2	756994,1	4276296,05	2,22
3	756965,2	4276239,1	1,95
4	756898,85	4276169,5	2,75
5	756844,5	4276105,68	2,87
6	756769,85	4276018,32	3,3
7	756716,75	4275950,15	2,5

Tabla 1. Coordenadas de las cabeceras de los perfiles topográficos

2.2 CÁLCULO DEL TRANSPORTE NETO DE SEDIMENTOS EN LA PLAYA DE ALTEA

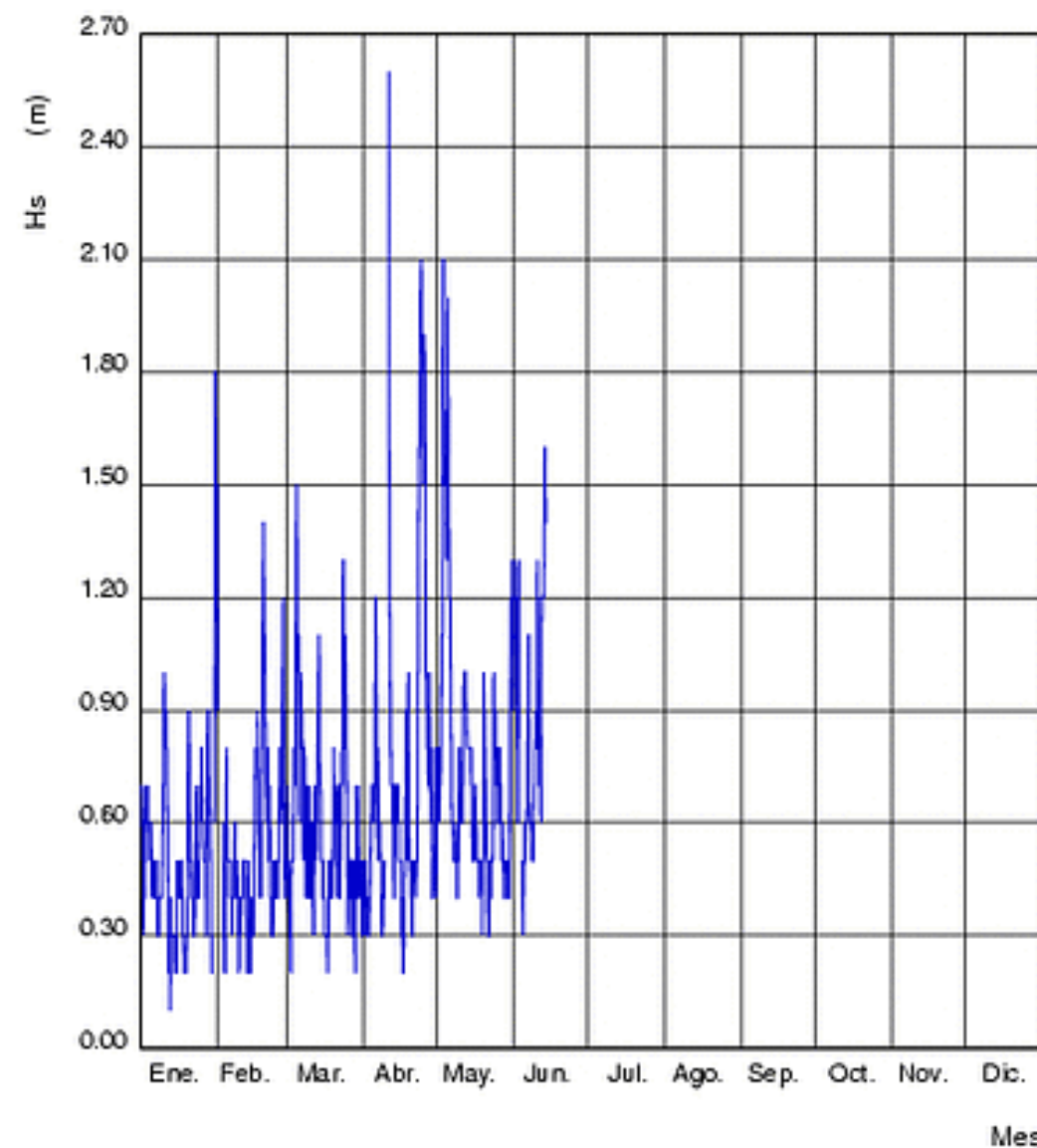
Las variaciones topográficas en cada uno de los perfiles de playa son el resultado del transporte litoral de sedimentos, combinación del transporte longitudinal y transversal. Dicho transporte debe considerarse como transporte neto y no bruto, ya que entre una y otra campaña lo que se observa es el balance entre la erosión y acumulación de sedimentos en cada uno de los perfiles, no el volumen total de sedimentos que ha atravesado dicha sección.

Al comparar entre perfiles de diversas campañas se obtiene un área de erosión o relleno, que para indicar tasa neta de transporte, se expresa en m^3 por m lineal de playa, es decir, por cada metro a lo largo de la playa medida en sentido longitudinal. Valores positivos indican que la topografía de la segunda campaña está en conjunto más elevada que en la primera, mientras que valores negativos indican lo contrario.

Los cálculos de transporte neto de sedimentos en la playa de Altea se han realizado comparando entre las campañas de febrero 2006 frente a enero 2006 y marzo 2006 frente a febrero 2006. Los datos de abril 2006 no han podido ser empleados ya que antes de dicha campaña se realizó un alisamiento de la topografía de la playa por parte del Ayuntamiento. Así mismo, se han comparado los datos de febrero de 2006, que corresponden a una topografía posterior a un temporal de cierta magnitud con los datos disponibles de la topografía del 2000. Para ello, se han obtenido por interpolación a partir de los datos de TOPONORT la topografía que debería tener la playa en los mismos perfiles donde ha sido medida en el año 2006.

2.3 CLIMA MARÍTIMO DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO

Los estudios de clima marítimo ya han sido realizados en otro apartado de este informe. El análisis del régimen medio, así como el registro del oleaje en la zona durante el periodo de monitorización de la playa (primeros meses de 2006) es tenido en cuenta para la interpretación de la evolución morfodinámica y consecuente transporte de sedimentos medido en la playa de Altea. Para ello, se ha empleado el clima predicho por Puertos del Estado para el punto WANA 2049029.



Predicción de la altura de ola significativa (Hs) en el punto WANA 2049029 suministrada por Puertos del Estado (www.puertos.es)

3. RESULTADOS

A pesar de tratarse de una playa de gravas y cantos principalmente, la evolución de los perfiles topográficos durante el escaso periodo de tiempo estudiado es suficiente significativa como para mostrar una capacidad de transporte de sedimentos intensa por parte del oleaje en la zona.

Los cambios topográficos entre las campañas de enero y febrero son debidos a la acción de un temporal, con una altura de ola de 1.8 m para el punto WANA 2049029 mientras que las variaciones topográficas entre febrero y marzo responden a un periodo de menor energía del oleaje y en consecuencia una pequeña recuperación de la playa frente al anterior evento erosivo.

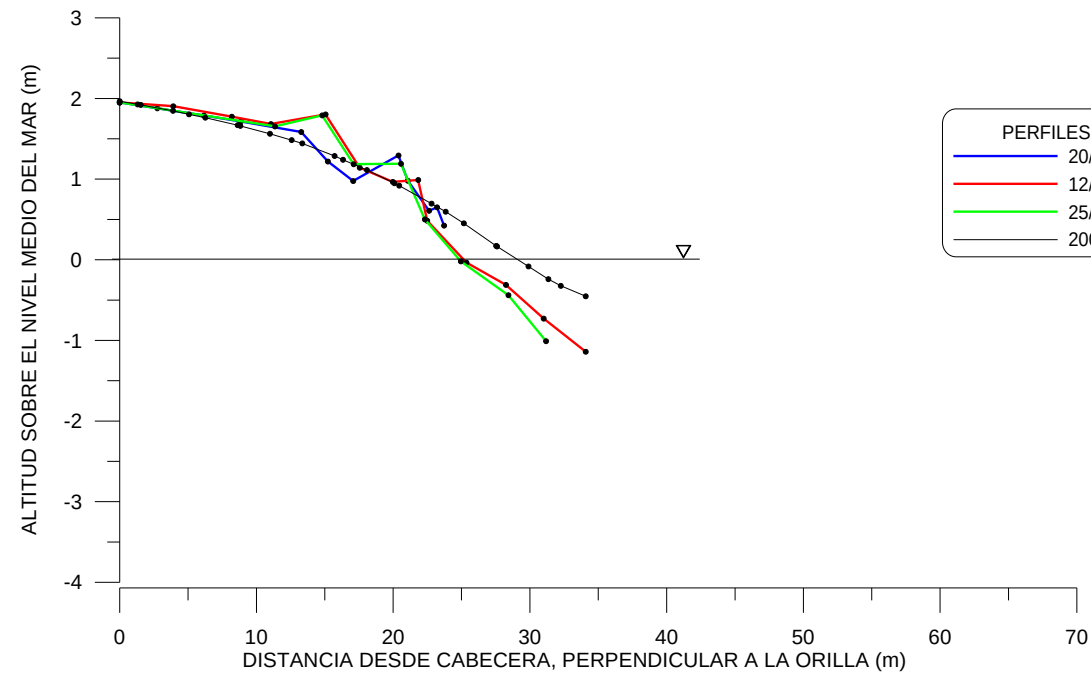
En momentos de temporal, como es el caso del ocurrido a finales de enero de 2006, se observa una evolución diferenciada entre el sector sur, más expuesto y en consecuencia sometido a erosión, y el sector norte, que debido a la presencia del dique exento muestra incluso una pequeña acumulación. La presencia de varias bermas de cantos, muy bien desarrolladas en el sector sur de la playa, es también evidencia de estos procesos erosivos. La erosión en el sector sur y acumulación en el sector norte implica por tanto un basculamiento de la playa en respuesta a los temporales.

La menor intensidad del oleaje entre febrero y marzo produce una leve recuperación de los perfiles topográficos, recuperación que es en general más acusada en los perfiles que anteriormente sufrieron mayor erosión.

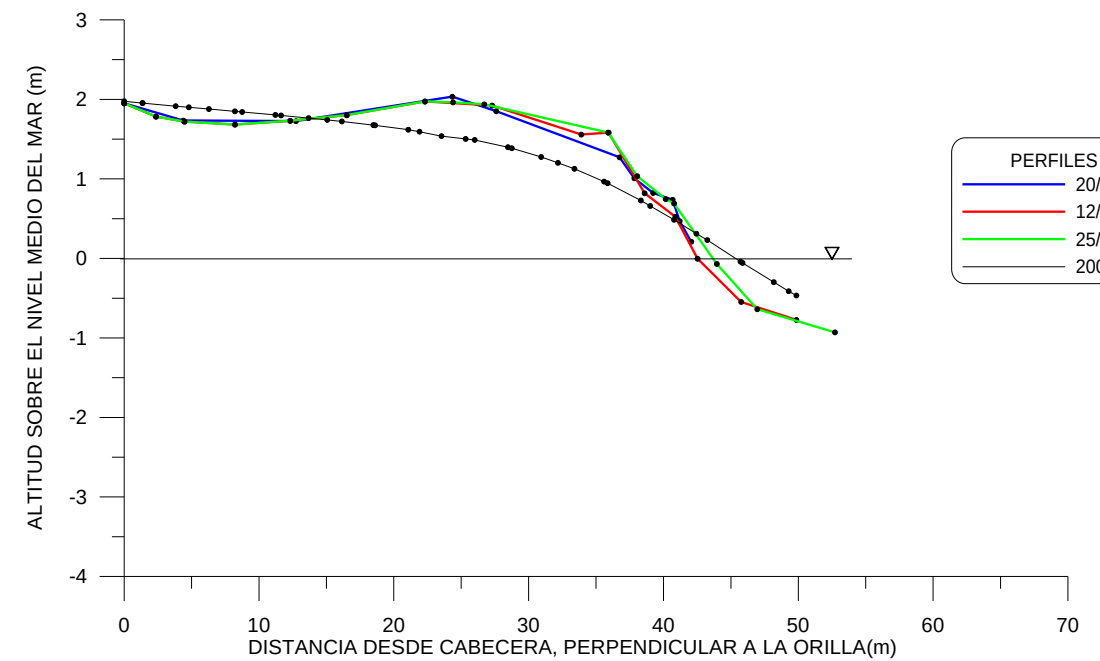
Perfil	Transporte Neto de Sedimentos (m³/m)					
	Enero a Febrero 2006		Febrero a Marzo 2006		2000 a Febrero 2006	
1	1,6137	acumulación	-1,4231	erosión	-2,82082243	erosión
2	2,1507	acumulación	1,2210	acumulación	-16,4343726	erosión
3	0,1548	acumulación	1,8273	acumulación	4,04740259	acumulación
4	-1,3177	erosión	8,2878	acumulación	-22,5956211	erosión
5	-1,1510	erosión	-0,2853	erosión	-9,68686671	erosión
6	-5,1898	erosión	7,2417	acumulación	-9,44563874	erosión
7	-2,9968	erosión	5,2543	acumulación	-8,24543779	erosión

Tabla. Tasas de erosión (-) o acumulación (+) de sedimentos a lo largo de los perfiles topográficos.

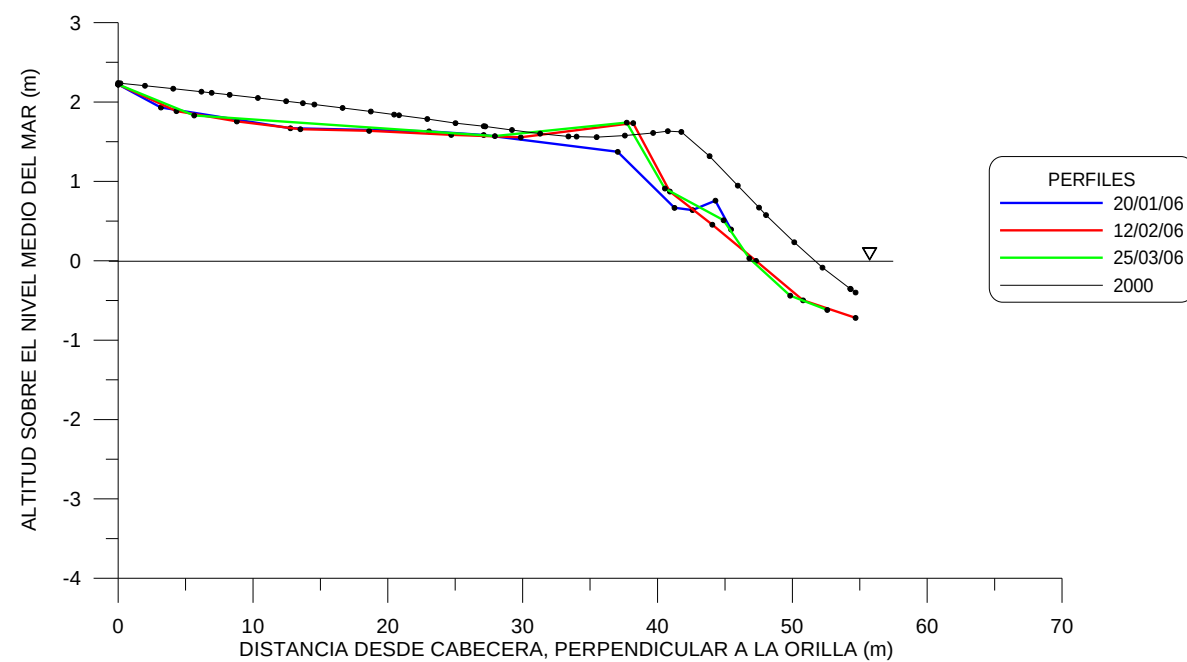
PERFIL TOPOGRÁFICO 1
(Exageración vertical = 7)



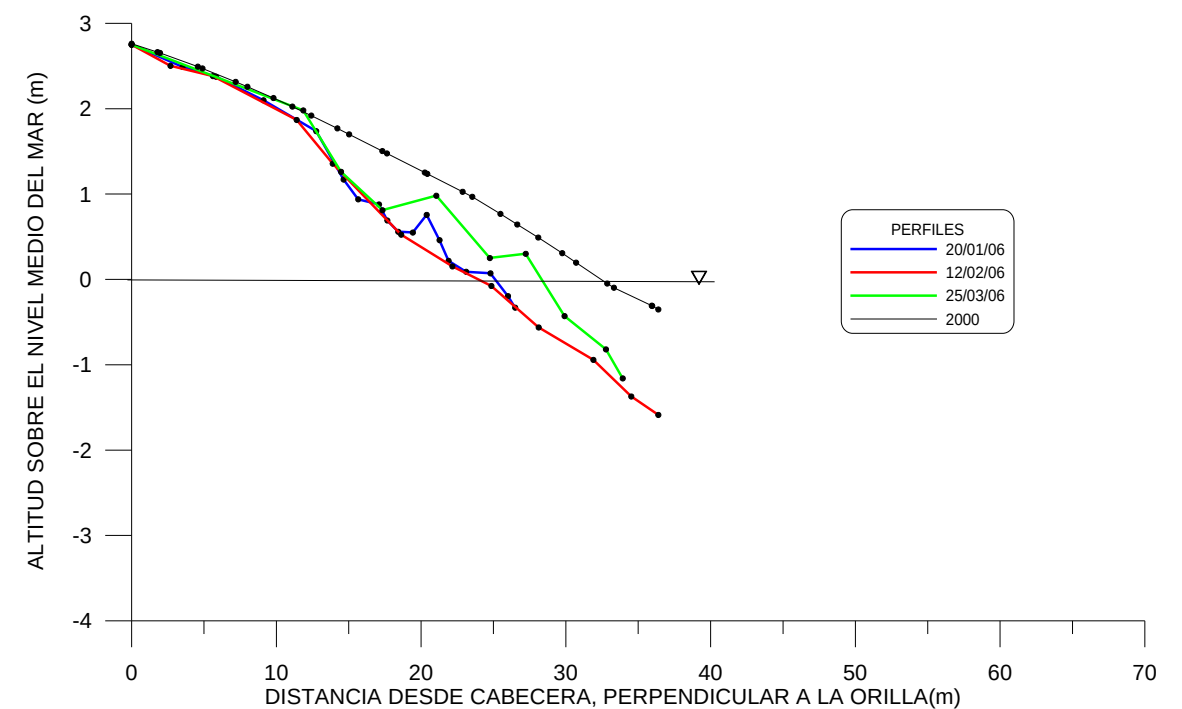
PERFIL TOPOGRÁFICO 3
(Exageración vertical = 7)



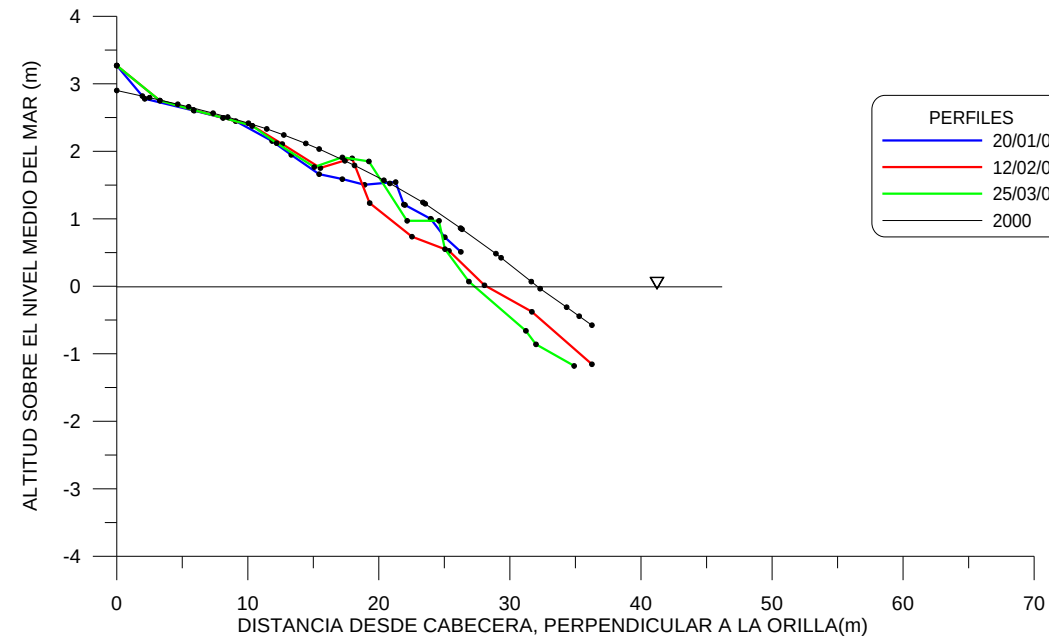
PERFIL TOPOGRÁFICO 2
(Exageración vertical = 7)



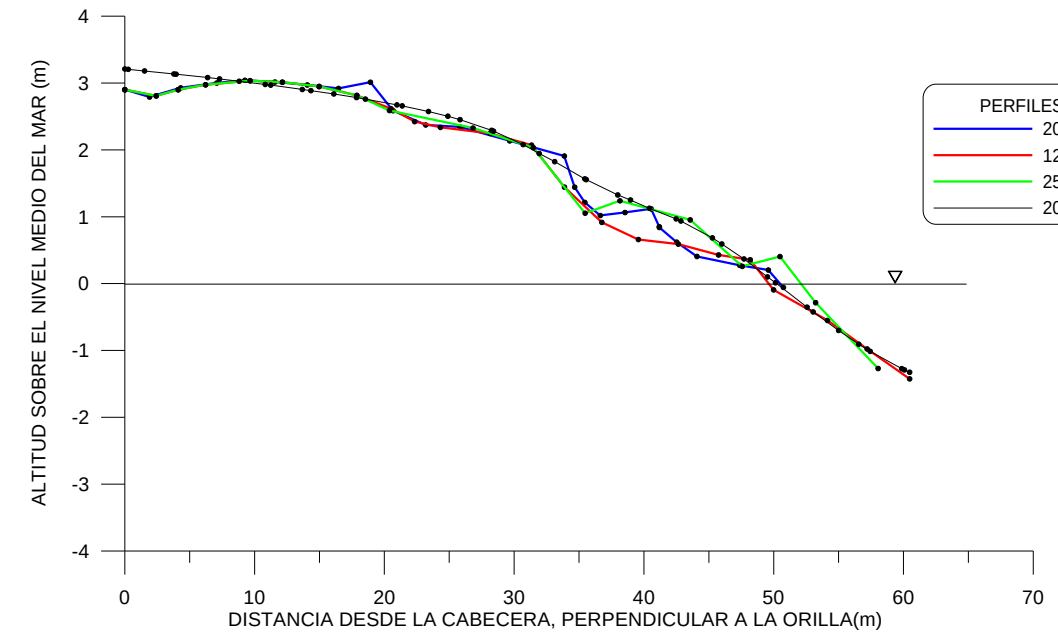
PERFIL TOPOGRÁFICO 4
(Exageración vertical = 7)



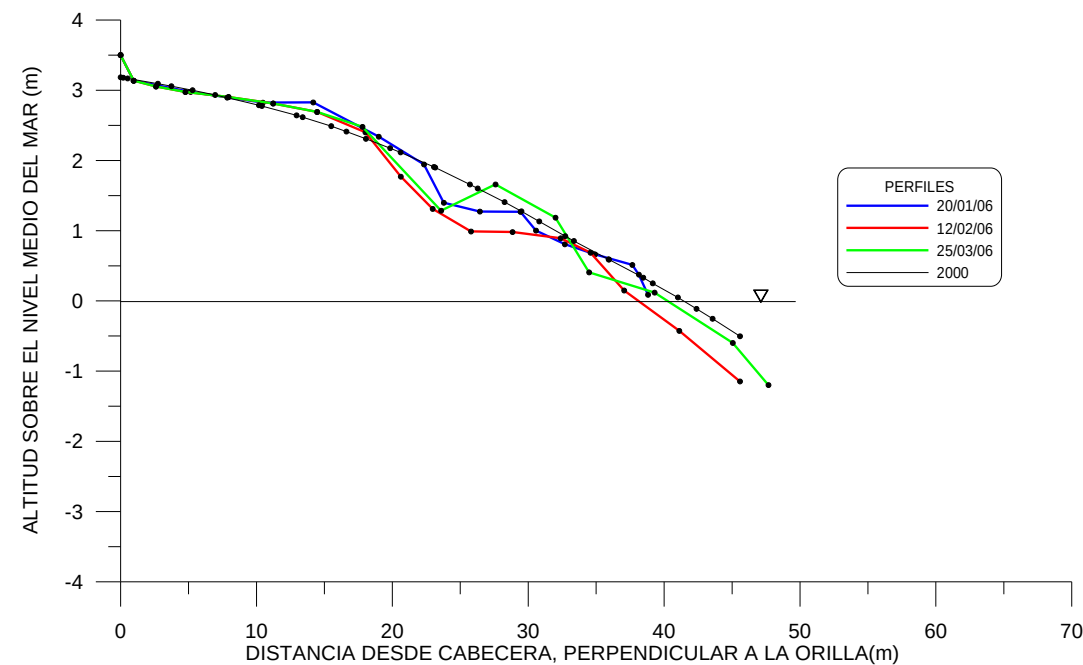
PERFIL TOPOGRÁFICO 5
(Exageración vertical = 7)



PERFIL TOPOGRÁFICO 7
(Exageración vertical = 7)



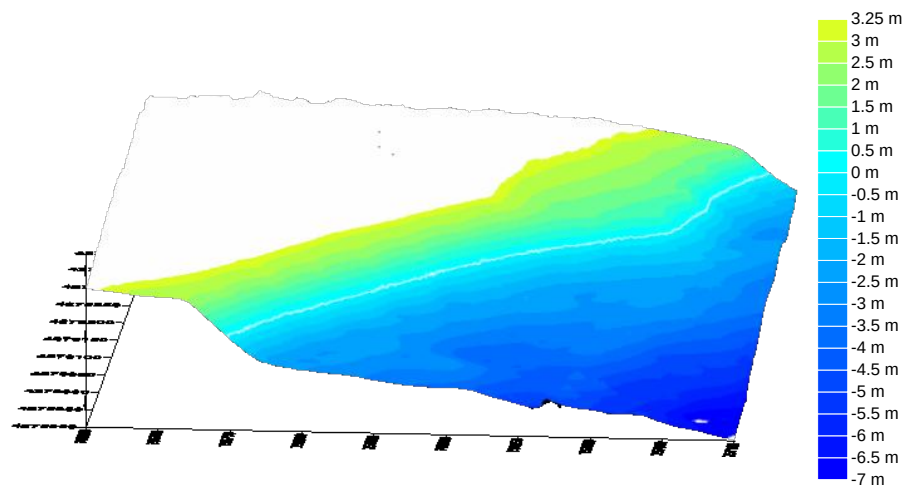
PERFIL TOPOGRÁFICO 6
(Exageración vertical = 7)



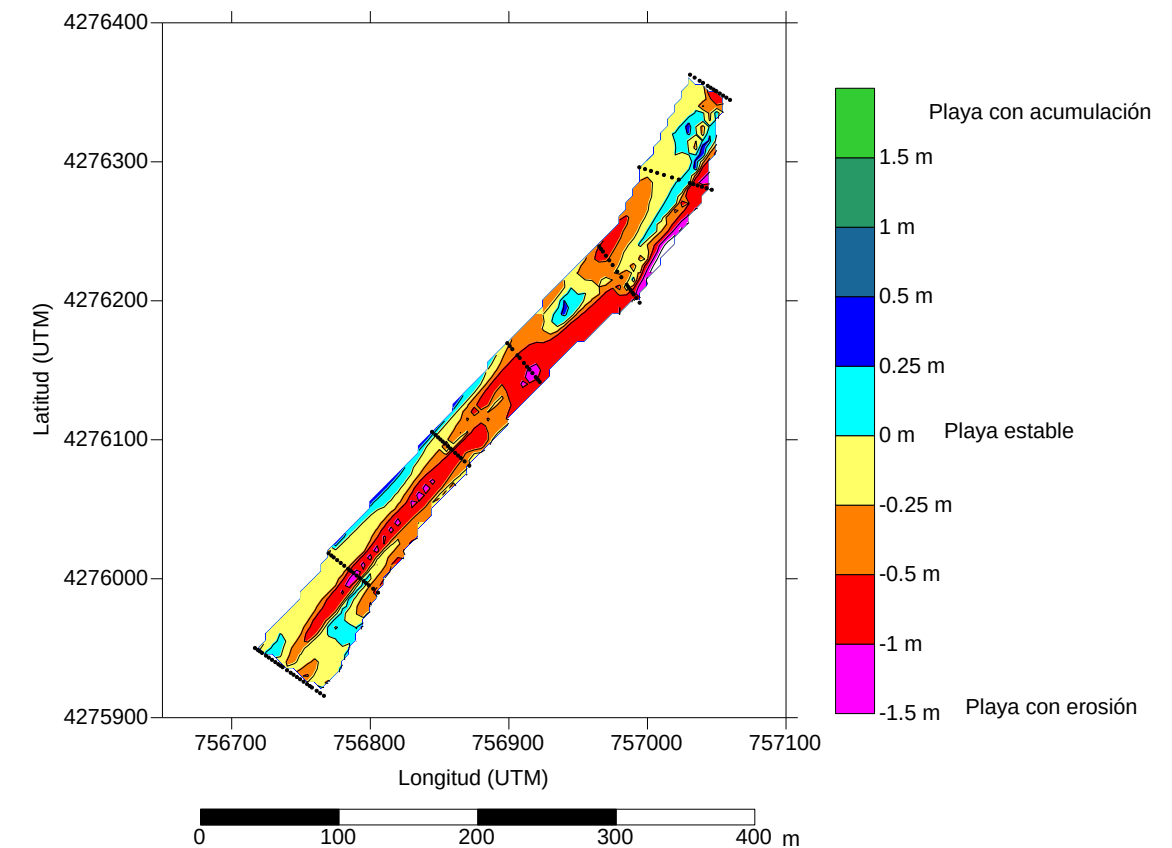
Comparando los perfiles medidos en 2006 con la topografía medida por Toponort en 2000, se puede afirmar que la playa no ha variado significativamente, si bien, muestra un pequeño comportamiento erosivo. La única zona de la playa que no muestra una tendencia erosiva sino de acumulación, es el perfil 3, en el cual claramente se puede ver la formación de un semitómbolo debido a la presencia del dique exento.



A partir de los perfiles topográficos se ha interpolado la superficie de la playa para el año 2006 y se ha comparado con la topografía disponible para el año 2000, que igualmente fue obtenida a partir de una serie de perfiles topográficos transversales a la playa. Combinando ambos mapas se han obtenido las variaciones volumétricas y en altura de la superficie de la playa.



Representación 3D de la topografía de la playa de Altea en el año 2000



Variaciones en altura de la playa de Altea (2000-2006)

El resultado es un incremento de 2618.11 m^3 en las zonas de acreción (principalmente en la zona norte, frente al dique exento, y en el margen sur de la playa, debido a la obstrucción a la deriva litoral producida por el dique exterior del puerto) y una pérdida de 9277.85 m^3 en la zona central de la playa. En conjunto, la playa se encuentra en erosión, con una pérdida neta de 6659.74 m^3 . Teniendo en cuenta que la superficie del área estudiada es de 29287.5 m^2 , la altura de la playa ha descendido una media de 0.22 m desde 2000 a 2006. Por tanto, se puede considerar que en la actualidad la playa tiene una erosión muy leve o es prácticamente estable.

No obstante, y de cara al diseño de la regeneración, hay que tener en cuenta que la granulometría actual de la playa supralitoral es muy gruesa, compuesta fundamentalmente por cantos y gravas, y por tanto, si es reemplazada por aportes de materiales de tamaño arena las tasas de erosión serán claramente muy superiores.

Anejo nº 11. Estudios de efecto del cambio climático.

ANEJO Nº 11. ESTUDIO DE EFECTOS DEL CAMBIO CLIMATICO

En la redacción del presente Proyecto se han asumido gran parte de los datos, bases y especificaciones contenidas en los proyectos, “PROYECTO REFORMADO DE REHABILITACIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LA FACHADA COSTERA DEL CASCO URBANO DE ALTEA (PARTE MARITIMA) T.M. DE ALTEA (ALICANTE)”. CELDA NORTE (EL CHARCO), redactado por TRAGSA y por encargo de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.



Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada
costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

ÍNDICE

1	MARCO DE REFERENCIA DEL ESTUDIO	1
1.1	ANTECEDENTES	1
1.2	MARCO LEGISLATIVO	1
1.3	EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA COSTA	3
1.4	JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	4
2	METODOLOGÍA EMPLEADA	4
3	INCREMENTO DEL NIVEL MEDIO DEL MAR DEBIDO AL CC	5
4	PROPAGACIÓN DEL OLEAJE	6
4.1	MODELO DE PROPAGACIÓN	6
4.2	DISTRIBUCIÓN SECTORIAL DEL OLEAJE	7
4.3	OLEAJE MEDIO EN AGUAS PROFUNDAS	8
4.3.1	Niveles en régimen medio	8
4.4	OLEAJE EXTREMAL EN AGUAS PROFUNDAS	9
4.4.1	Niveles en régimen extremal	9
4.5	CASOS DE OLEAJE PROPAGADOS	10
5	VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE LA PLAYA	11
5.1	ESTIMACIÓN DEL FME	12
5.2	CONCLUSIONES A CERCA DE LA PLANTA DE EQUILIBRIO	15
5.3	DETERMINACIÓN DE LA COTA DE INUNDACIÓN	18
5.4	CONCLUSIONES SOBRE LA ALTURA DEL MURO	23
6	VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS COSTERAS	23
6.1	LONGITUD DE LAS ESTRUCTURAS DE APOYO	23
6.2	PESO DE LOS ELEMENTOS DE ESCOLLERA	25
6.3	CONCLUSIONES A CERCA DEL DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.-	Posición Del nodo 175 del visor C3E (proyecto "Cambio Climático en la Costa de España")	6
Figura 2.-	Ejemplo de modelo del terreno y mallas de propagación empleadas	7



Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada
costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

Figura 3.-	Direcciones de oleaje incidente y distribución sectorial	7
Figura 4.-	Nodos de control en la playa	12
Figura 5.-	Dirección del FME en los nodos de control frente a la playa propuesta en el Proyecto original	15
Figura 6.-	Planta de equilibrio año horizonte 2040 (en rojo) frente a la planta de equilibrio actual (en azul)	17
Figura 7.-	Hb (m) según el Ábaco de Goda (Fig. 7-3 SPM 1984)	19
Figura 8.-	Ábaco de Goda para determinar la franja de rotura del oleaje (Fig. 7-2 SPM)	20
Figura 9.-	Pendiente media en el perfil de Powel (D50)15mm	22
Figura 10.-	Ajuste de la grava de aporte a un perfil de Powel, 1990	24
Figura 11.-	Solución propuesta en el año horizonte 2040 (en azul) e intersección del perfil de aportación de gravas (en rojo)	24
Figura 12.-	Oleaje máximo a pie del espigon	26
Figura 13.-	Oleaje máximo a pie del dique exento en T	27
Figura 14.-	Altura significativa a pie de estructuras extraída del proyecto original	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Valores de elevación del nivel medio del mar extraídos del visor C3E en el nodo 175 (comparativo)	6
Tabla 2.	Régimen medio del oleaje (a partir de los datos del nodo WANA 2049029 del Proyecto original)	8
Tabla 3.	Oleaje extremal propagado para el diseño de las estructuras (Tr=50 años)	9
Tabla 4.	Oleaje extremal propagado para el diseño de la playa (Tr=36 años)	9
Tabla 5.	Casos de oleaje propagados sin marea y con elevación del NMM por CC	10
Tabla 6.	Casos de oleaje propagados con marea y con elevación del NMM por CC	11
Tabla 7.	Oleaje local (Hs) en los nodos de control	13
Tabla 8.	Oleaje local (Dirección) en los nodos de control	13
Tabla 9.	Probabilidad de presentación de los sectores de oleaje	14
Tabla 10.	Módulo y dirección del FME en el nodo P1	14
Tabla 11.	Módulo y dirección del FME en el nodo P2	14
Tabla 12.	Módulo y dirección del FME en el nodo P3	15
Tabla 13.	Valor del FME actual y previsto en el año horizonte 2010-2040 por IH Cantabria (nodo175)	16
Tabla 14.	Características de los oleajes de diseño	18



Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada
costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

Tabla 15.	Altura de ola y profundidad de rotura del temporal Tr=50 años	19
Tabla 16.	Altura de ola y profundidad de rotura del temporal Tr=36 años	19
Tabla 17.	Franja de rotura del oleaje de diseño Tr=50 años según Goda	20
Tabla 18.	Franja de rotura del oleaje de diseño Tr=36 años según Goda	20
Tabla 19.	Características de los oleajes en rotura Tr=50años (arriba) y Tr=36 años (abajo)	21
Tabla 20.	Remonte (Ru) y Cota de Inundación (C.I.) del oleaje de diseño para m= 0.13.....	22
Tabla 21.	Oleaje extremal propagado para determinar la altura de ola de cálculo.....	25
Tabla 22.	Altura de ola de cálculo a pie de estructuras	27



Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada
costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

1 MARCO DE REFERENCIA DEL ESTUDIO

1.1 ANTECEDENTES

El Estado Español, al igual que el resto de Estados Miembros, tiene el requerimiento de la *Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMCC)* de implementar medidas concretas para adaptarse al ascenso del nivel y demás efectos del cambio climático en la costa. En concreto el Artículo 4 (b) de la CMCC establece que todas las Partes deberán formular, aplicar, publicar y actualizar regularmente programas nacionales que contengan medidas para facilitar la adaptación adecuada al cambio climático. En este sentido es la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente, a través de la Oficina Española del Cambio Climático, la encargada de arbitrar las medidas necesarias para desarrollar la política del Departamento en materia de cambio climático.

Consciente de la incidencia del cambio climático sobre la costa, la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental solicitó la colaboración de la Universidad de Cantabria para el desarrollo de un Convenio de Colaboración destinado al desarrollo de estudios científicos y herramientas científicas específicas que doten de soporte científico-técnico al establecimiento de políticas y estrategias de actuación en las costas españolas ante el cambio climático.

Esta iniciativa es la que dio origen al Convenio de Colaboración titulado “*Convenio de colaboración entre la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y la Universidad de Cantabria en materia de investigación sobre impactos en la costa española por efecto del cambio climático*”.

1.2 MARCO LEGISLATIVO

El marco legislativo español, en lo que se refiere a los efectos del cambio climático sobre el litoral, viene recogido en los siguientes documentos:

- Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.
- Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas.



Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada
costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

Este Reglamento recoge las previsiones de la Ley de 2013 respecto a los efectos del cambio climático en el litoral.

En concreto, en los artículos 91 (apartado 2) y 92, se indica la necesidad de considerar el cambio climático en los proyectos, así como los aspectos a evaluar debido a los efectos de éste. Dichos artículos aparecen reproducidos a continuación:

- "Artículo 91 Contenido del proyecto"

2. Deberán prever la adaptación de las obras al entorno en que se encuentren situadas y, en su caso, la influencia de la obra sobre la costa y los posibles efectos de regresión de ésta (artículo 44.2 de la Ley 22/1988, de 28 de julio).

Asimismo, los proyectos deberán contener una evaluación de los posibles efectos del cambio climático sobre los terrenos donde se vaya a situar la obra realizada, según se establece en el artículo 92 de este reglamento."

- "Artículo 92 Contenido de la evaluación de los efectos del cambio climático"

1. La evaluación de los efectos del cambio climático incluirá la consideración de la subida del nivel medio del mar, la modificación de las direcciones de oleaje, los incrementos de altura de ola, la modificación de la duración de temporales y en general todas aquellas modificaciones de las dinámicas costeras actuantes en la zona, en los siguientes periodos de tiempo:

- a) En caso de proyectos cuya finalidad sea la obtención de una concesión, el plazo de solicitud de la concesión, incluidas las posibles prórrogas.*
- b) En caso de obras de protección del litoral, puertos y similares, un mínimo de 50 años desde la fecha de solicitud.*

2. Se deberán considerar las medidas de adaptación que se definan en la estrategia para la adaptación de la costa a los efectos del cambio climático, establecida en la disposición adicional octava de la Ley 2/2013, de 29 de mayo.



Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada
costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

1.3 EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA COSTA

Los últimos informes del *Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC)* señalan las múltiples evidencias procedentes de diversas fuentes de observación, de las que se concluye que el calentamiento del sistema climático es inequívoco". Y por eso "este proyecto es fundamental para evaluar en detalle los actuales y potenciales impactos por efecto de los cambios proyectados en las variables climáticas y en consecuencia para ajustar y adaptar las actuaciones que se llevan a cabo en el ámbito costero."

Así pues, el conocimiento de la dinámica litoral y sedimentaria existente y resultante como consecuencia de la elevación del nivel medio del mar producido como consecuencia del cambio climático en la costa, constituye un elemento de estudio fundamental para el diseño de la actuación.

En el estudio denominado "*Impactos en la costa española por efecto del cambio climático*" (noviembre de 2004), se analizan los efectos sobre los diferentes elementos del litoral concluyendo lo siguiente:

▪ Efectos en playas

Los efectos más importantes que el cambio climático puede suponer en las playas se reducen básicamente a una variación en la cota de inundación y a un posible retroceso, o en su caso avance, de la línea de costa.

El estudio indica que se producirá un aumento total de la cota de inundación (Periodo de retorno de 50 años), la cual es inducida principalmente por el aumento del nivel medio del mar.

Otro efecto significativo es el posible cambio en el transporte potencial a lo largo de playas abiertas en equilibrio dinámico o en desequilibrio, playas típicas de la zona Mediterránea, sometidas a un transporte litoral muy activo. Se ha demostrado que el cambio en la tasa de transporte puede ser consecuencia de variaciones en la altura de ola en rotura y de la dirección del oleaje en rotura.

▪ Efectos en obras marítimas

Con respecto a los posibles efectos en obras marítimas, el cambio climático puede suponer importantes cambios en el rebase de las obras, tanto en estructuras en talud así como en estructuras verticales. Se ha obtenido que



Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

tanto las variaciones en el nivel medio, así como en la altura de ola significativa del oleaje incidente en el dique, pueden producir variaciones significativas en el rebase.

El estudio realizado también a puesto de manifiesto que el cambio climático puede acarrear importantes consecuencias en cuanto a la estabilidad de los diques se refiere. De modo que, si se produce un aumento del nivel medio del mar, en aquellas estructuras en las que la altura de ola de cálculo esté delimitada por fondo, se producirá una desestabilización de las mismas. En caso de que se desee que la estructura mantenga el mismo criterio de estabilidad, el tamaño de las piezas que componen una obra deberá aumentar. Este posible aumento de la pieza de las obras se traduce inmediatamente en un aumento del área total de la obra.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

De lo indicado anteriormente, se desprende la necesidad de realizar las pertinentes modificaciones en el proyecto denominado “PROYECTO DE REHABILITACIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LA FACHADA COSTERA DEL CASCO URBANO DE ALTEA (PARTE MARÍTIMA). T.M. DE ALTEA (ALICANTE)” con el objetivo de considerar el efecto del cambio climático y cumplir con la legislación vigente.

2 METODOLOGÍA EMPLEADA

El análisis realizado para comprobar la validez de la solución elegida para la estabilización del tramo de costa de El Charco definida en el “Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada costera del casco urbano de Altea (Alicante)”, en adelante referido como Proyecto original, se agrupa en las siguientes fases:

FASE I (Estimación de la elevación del nivel del mar consecuencia del cambio climático (CC) y Modelo de propagación)

- 1.Determinación del incremento del nivel medio del mar como consecuencia del cambio climático en el año horizonte 2040.
- 2.Propagación de los oleajes en RM y RE considerando la cota de elevación obtenida para el año horizonte.



Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

FASE II (Verificación del diseño de la nueva playa)

- 3.Análisis de la variabilidad de las condiciones de equilibrio de la playa tras la consideración de los efectos del cambio climático, respecto las condiciones de oleaje medio consideradas en el proyecto inicial.
- 4.Verificación de la altura de berma de la playa y muro de trasdós para los oleajes de diseño de la playa (Tr=50 y Tr=36 años) con la consideración de elevación del NMM por CC.

FASE III (Verificación del diseño de las estructuras costeras)

- 5.Comprobación de la validez de la definición geométrica de las estructuras (dique exento en T y espigón) y el dimensionamiento de las piezas de escollera (W50=3-4 t).

FASE IV (Conclusiones a cerca de la estabilidad de la solución proyectada en el proyecto original y/o indicación de las modificaciones necesarias)

Los cálculos necesarios y principales conclusiones extraídas del estudio se resumen en los siguientes apartados.

3 INCREMENTO DEL NIVEL MEDIO DEL MAR DEBIDO AL CC

La estimación de la cota de elevación anual se ha determinado a través de la herramienta web visor C3E que forma parte del proyecto “Cambio Climático en la Costa de España”, el C3E, promovido por el Ministerio y realizado por la Universidad de Cantabria.

El año horizonte considerado partiendo de la vida útil de diseño de la obra de 25 años es el año 2040.

El nodo de obtención de datos es el Punto 175 de coordenadas (0,04°E;33,61°N). En esta posición, el nivel medio del mar, MSL considerado como actual, correspondiente con el nivel medido partiendo de datos del año2012, es de 2,172 cm.

La tasa de incremento anual del nivel del mar en el nodo frente a la zona de actuación es de 0,155 cm/año = 1,55 mm/año. Por lo tanto, el Nivel MSL con CC en el año horizonte 2040 resulta de 6,512 cm.



Figura 1.- Posición Del nodo 175 del visor C3E (proyecto "Cambio Climático en la Costa de España")

Si se compara el valor de cálculo con lo que resulta del visor C3E, se comprueba que el valor de cálculo que se va a utilizar es unos 2 cm superior al del visor (Tabla 6), por lo que se está del lado de la seguridad.

	Histórico			
	Actualidad	2020	2030	2040
Media	2,172	1,272	2,895	4,553
desviación	0,514	0	0,005	0,018

Tabla 1. Valores de elevación del nivel medio del mar extraídos del visor C3E en el nodo 175 (comparativo)

4 PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

Se han propagado los oleajes en RM y RE considerando la cota de elevación prevista en el año horizonte 2040 (6,512 cm).

4.1 MODELO DE PROPAGACIÓN

La propagación de los oleajes se ha realizado empleando el modelo espectral OLUCA-SP del Sistema de Modelado Costero (SMC), desde una profundidad mayor o igual a la que determina la condición de aguas profundas hasta las proximidades de la costa, mediante tres grupos de mallas que recogen los sectores ENE a S incidentes en la zona de actuación. Cada grupo de mallas enlaza dos mallas exteriores encadenadas de tamaño de celda 150x150 m y 50x50 m, a una malla de detalle de tamaño de 10x10 m.

Las mallas definidas verifican los condicionantes de direccionalidad intrínsecos del modelo de cálculo (cuando la línea de entrada de oleaje en la malla corta distintas batimétricas o cuando el ángulo que forma el oleaje con la malla supera los 55°).

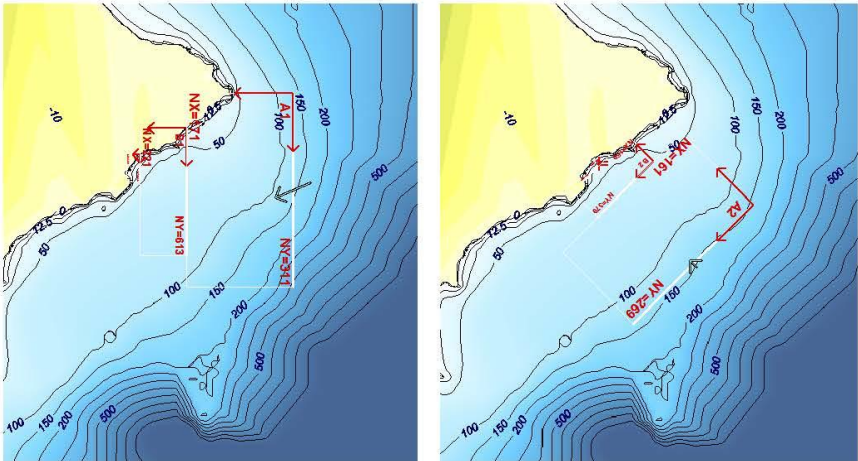


Figura 2.- Ejemplo de modelo del terreno y mallas de propagación empleadas

4.2 DISTRIBUCIÓN SECTORIAL DEL OLEAJE

De acuerdo con el clima marítimo estudiado en el Proyecto original:

- Sectores de oleaje incidente : Direcciones: ENE, E, ESE, SE, SSE Y S



Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada
costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

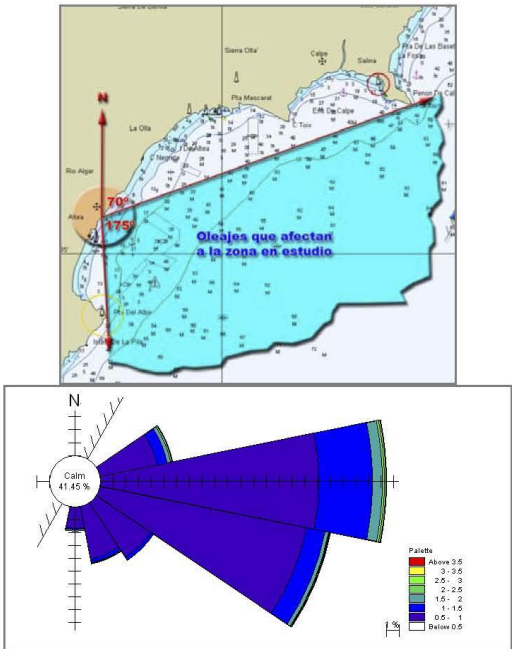


Figura 3.- Direcciones de oleaje incidente y distribución sectorial

4.3 OLEAJE MEDIO EN AGUAS PROFUNDAS

La caracterización media del oleaje en aguas profundas y su propagación hasta la zona de proyecto tiene como objetivo la obtención de las condiciones medias anuales del oleaje que posibiliten el posterior análisis de las condiciones de equilibrio a largo de la nueva playa y estudio de la dinámica litoral existente en la zona con la consideración de los efectos del cambio climático.

n	Hs [m]	Dir [°]	Tp [s]	Frecuencia [%]
1	0.75	67.5	5.33	2.18%
2	1.75	67.5	6.91	0.07%
3	3.25	67.5	8.57	0.01%
4	0.75	90	5.33	8.36%
5	1.75	90	6.91	0.26%
6	3.25	90	8.57	0.02%
7	0.75	112.5	5.33	7.78%
8	1.75	112.5	6.91	0.09%
9	3.25	112.5	8.57	0.01%
10	0.75	135	5.33	2.32%
11	1.75	135	6.91	0.01%
12	0.75	157.5	5.33	1.99%



Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada
costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

n	Hs [m]	Dir [°]	Tp [s]	Frecuencia [%]
13	1.75	157.5	6.91	0.04%
14	0.75	180	5.33	0.79%
15	1.75	180	6.91	0.03%

Tabla 2. Régimen medio del oleaje (a partir de los datos del nodo WANA 2049029 del Proyecto original)

4.3.1 Niveles en régimen medio

Según datos tomados del proyecto original, el nivel que se considera es:

Niveles = Nivel medio (con aumento por CC) +- Elevación media del nivel del mar, S_{NM} , que es superada la mitad de horas al año, y que corresponde con un valor $S_{NM}=0.30$ m referida al NMMA.

Si a estos valores, se le suma el correspondiente al Cambio Climático de cálculo, resulta:

$$NM_{\text{máx}} = 6,512 \text{ cm} + 30 \text{ cm} = 36,51 \text{ cm} \rightarrow 37 \text{ cm}$$

$$NM_{\text{mín}} = 6,512 - 30 \text{ cm} = -23.49 \text{ cm}$$

4.4 OLEAJE EXTREMAL EN AGUAS PROFUNDAS

La caracterización extremal del oleaje en aguas profundas y su propagación posterior tiene como objetivo definir el oleaje de cálculo al pie de las estructuras y la determinación de la cota del muro de la playa para evitar el rebase del oleaje bajo el temporal de diseño dela playa.

El periodo de retomo de diseño de las estructuras es de 50 años y el establecido para el diseño de la playa es de 36 años (extraídos del Proyecto original).

Dirección	Hs (m)	Tp (s)
ENE	7.16	11.60
E	6.50	11.60
ESE	5.73	11.60
SE	5.06	11.60
SSE	4.45	11.60

Tabla 3. Oleaje extremal propagado para el diseño de las estructuras (Tr=50 años)

Dirección	Hs (m)	Tp (s)
ENE	6.59	11.20
E	5.97	11.20
ESE	5.27	11.20
SE	4.64	11.20
SSE	4.07	11.20

Tabla 4. Oleaje extremal propagado para el diseño de la playa (Tr=36 años)



Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada
costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

4.4.1 Niveles en régimen extremal

Según datos tomados del proyecto original, el nivel que se considera es: Niveles = Nivel medio (con aumento por CC) +- Nivel de marea (Tr=50 años)

Según análisis de extremales, para Tr =50 años, los niveles a propagar serán Nivel medio (considerando CC) + 58 cm y – 38 cm, referidos al NMMA.

Si a estos valores se añade la variación por cambio climático, resulta que el nivel máximo y mínimo es:

$NM_{max} = 6,512 + 58 \text{ cm} = 64,5 \text{ cm}$

$NM_{min} = 6,512 - 38 \text{ cm} = -31,5 \text{ cm}$

4.5 CASOS DE OLEAJE PROPAGADOS

Los casos de oleaje generados para las situaciones de incremento de nivel del mar debido al CC, con y sin marea, consideradas en el cálculo se muestran en las tablas siguientes. En estas tablas están todos los casos de oleaje propagados. A partir de aquí, unos se han tomado para la caracterización del Régimen medio y otros para la caracterización extremal de diseño; en concreto, los de oleaje extremal son los correspondientes a periodo de pico Tp= 11.2 y 11.6 s.



Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada
costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

CASO	H	T	Dir	Dir	Marea
01	0,75	5,33	ENE	67,5	0,07
02	1,75	6,91	ENE	67,5	0,07
03	3,25	8,57	ENE	67,5	0,07
04	6,59	11,2	ENE	67,5	0,07
05	7,16	11,6	ENE	67,5	0,07
06	0,75	5,33	E	90	0,07
07	1,75	6,91	E	90	0,07
08	3,25	8,57	E	90	0,07
09	5,97	11,2	E	90	0,07
0A	6,5	11,6	E	90	0,07
0B	0,75	5,33	ESE	112,5	0,07
0C	1,75	6,91	ESE	112,5	0,07
0D	3,25	8,57	ESE	112,5	0,07
0E	5,27	11,2	ESE	112,5	0,07
0F	5,73	11,6	ESE	112,5	0,07
0G	0,75	5,33	SE	135	0,07
0H	1,75	6,91	SE	135	0,07
0I	4,64	11,2	SE	135	0,07
0J	5,06	11,6	SE	135	0,07
0K	0,75	5,33	SSE	157,5	0,07
0L	1,75	6,91	SSE	157,5	0,07
0M	4,07	11,2	SSE	157,5	0,07
0N	4,45	11,6	SSE	157,5	0,07
0O	0,75	5,33	S	180	0,07
0P	1,75	6,91	S	180	0,07

Tabla 5. Casos de oleaje propagados sin marea y con elevación del NMM por CC



Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada
costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

CASO	H	T	Dir	Dir	Marea
0Q	0,75	5,33	ENE	67,5	0,37
0R	1,75	6,91	ENE	67,5	0,37
0S	3,25	8,57	ENE	67,5	0,37
0T	6,59	11,2	ENE	67,5	0,65
0U	7,16	11,6	ENE	67,5	0,65
0V	0,75	5,33	E	90	0,37
0W	1,75	6,91	E	90	0,37
0X	3,25	8,57	E	90	0,37
0Y	5,97	11,2	E	90	0,65
10	6,5	11,6	E	90	0,65
11	0,75	5,33	ESE	112,5	0,37
12	1,75	6,91	ESE	112,5	0,37
13	3,25	8,57	ESE	112,5	0,37
14	5,27	11,2	ESE	112,5	0,65
15	5,73	11,6	ESE	112,5	0,65
16	0,75	5,33	SE	135	0,37
17	1,75	6,91	SE	135	0,37
18	4,64	11,2	SE	135	0,65
19	5,06	11,6	SE	135	0,65
1A	0,75	5,33	SSE	157,5	0,37
1B	1,75	6,91	SSE	157,5	0,37
1C	4,07	11,2	SSE	157,5	0,65
1D	4,45	11,6	SSE	157,5	0,65
1E	0,75	5,33	S	180	0,37
1F	1,75	6,91	S	180	0,37

Tabla 6. Casos de oleaje propagados con marea y con elevación del NMM por CC

5 VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE LA PLAYA

En esta segunda fase del análisis se aborda el estudio de la estabilidad de la configuración de la nueva playa, que consta de dos partes:

- (1) Estimación del flujo medio de energía en las condiciones de elevación del NMM por cambio climático, para el análisis de la variación de la forma en planta a largo plazo respecto la establecida en el proyecto original (N123°E).
- (2) Determinación de las condiciones de rotura, remonte y run-up del oleaje de diseño de la playa (Tr=50 y Tr=36 años) con la consideración de los efectos del CC para verificar la altura de berma de la playa y muro de trasdós, fijados a la cota +2.00 m y +2.20 m, respectivamente.



Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada
costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

5.1 ESTIMACIÓN DEL FME

La cuantificación del flujo medio de energía, en adelante FME permite obtener la forma en planta teórica de equilibrio estático a largo plazo de la playa bajo las condiciones hidrodinámicas reinantes.

El análisis de resultados de propagación del oleaje medio se basa en el control de la transformación de los valores de Hs y ángulo de incidencia del oleaje en tres nodos de control (P1, P2 y P3) localizados en la batimetría – 6 m, antes de ser afectados por los fenómenos de difracción del oleaje en el morro de las estructuras proyectadas.

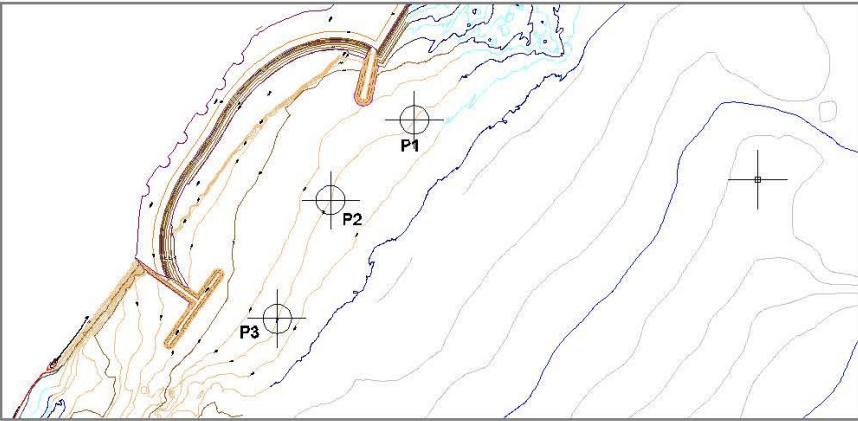


Figura 4.- Nodos de control en la playa

Las Tablas siguientes muestran los valores de transformación del oleaje en cada uno de los nodos de control establecidos, determinados a partir de:

- Alturas de ola y periodos de pico en los nodos de control para cada una de las direcciones de interés.
- Ángulos de llegada de los oleajes propagados a los nodos de control, referidos al norte.
- Frecuencia de presentación (Hs-Tp) a lo largo del periodo de registro de datos.



Efectos del cambio climático en el
 "Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

Alturas de ola a profundidad objetivo (m)				
Aguas profundas		P1	P2	P3
H=0,75m ; ENE (67,5)	→	0.62	0.61	0.62
H=3,25m ; ENE (67,5)	→	2.19	2.08	2.06
H=0,75m ; E (90)	→	0.69	0.68	0.67
H=3,25m ; E (90)	→	3.36	3.00	3.43
H=0,75m ; ESE (112,5)	→	0.65	0.68	0.67
H=3,25m ; ESE (112,5)	→	2.22	2.96	2.37
H=0,75m ; SE (135)	→	0.66	0.67	0.67
H=1,75m ; SE (135)	→	1.47	1.52	1.52
H=0,75m ; SSE (157,5)	→	0.67	0.68	0.66
H=1,75m ; SSE (157,5)	→	1.48	1.50	1.49
H=0,75m ; S (180)	→	0.66	0.65	0.63
H=1,75m ; S (180)	→	1.38	1.35	1.32

Tabla 7. Oleaje local (Hs) en los nodos de control

Dirección del frente a profundidad objetivo (referida al N)					
Aguas profundas		d = - 6.00 m			
		P1	P2	P3	
ENE	0.75	→	85.98	86.94	86.35
	3.25	→	105.03	104.93	104.42
E	0.75	→	100.43	99.48	100.02
	3.25	→	124.74	122.10	122.66
ESE	0.75	→	122.03	120.22	121.27
	3.25	→	125.37	116.05	123.15
SE	0.75	→	134.88	133.70	134.78
	1.75	→	135.19	133.10	134.21
SSE	0.75	→	152.80	151.90	148.61
	1.75	→	146.32	146.14	146.15
S	0.75	→	166.57	165.33	162.41
	1.75	→	160.45	159.26	154.87

Tabla 8. Oleaje local (Dirección) en los nodos de control

Realizando la composición vectorial del oleaje generado en los citados puntos, considerando la probabilidad de presentación asociada a cada uno de estos oleajes.

Dirección	Frec.	Dirección	Frec.
ENE	2,18%	SE	2,32%
ENE	0,01%	SE	0,01%
E	8,36%	SSE	1,99%
E	0,02%	SSE	0,04%
ESE	7,78%	S	0,79%
ESE	0,01%	S	0,03%

Tabla 9. Probabilidad de presentación de los sectores de oleaje



Efectos del cambio climático en el
 "Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

El valor y dirección del flujo medio de energía anual en cada punto de control resulta:

	Dirección		Potencia		
	Dir Ø	Dir -6	Módulo	Comp. X	Comp.Y
ENE	67,5	96	0,587570	0,584861	-0,05636512
E	67,5	112,6	14,061053	12,983047	-5,39941641
ESE	90	123,7	4,733285	3,937913	-2,62618182
SE	112,5	135,0	0,470032	0,332151	-0,3325746
SSE	135	149,6	0,581245	0,294491	-0,50112024
S	157,5	163,5	0,071622	0,020329	-0,06867586
			Total	18,15279151	-8,98433405
			FME en P1	Ptotal	20,254434
				Dir -6	116,33

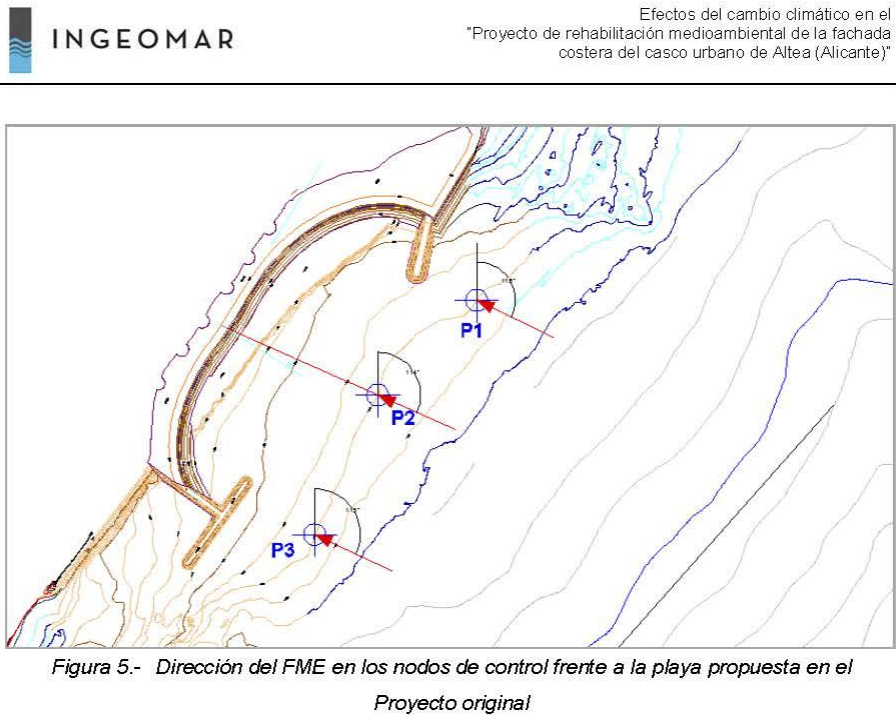
Tabla 10. Módulo y dirección del FME en el nodo P1

	Dirección		Potencia		
	Dir Ø	Dir -6	Módulo	Comp. X	Comp.Y
ENE	67,5	96	0,587570	0,584421	-0,06075792
E	67,5	110,8	14,061053	13,145356	-4,99127355
ESE	90	118,1	4,733285	4,174079	-2,231827
SE	112,5	133,4	0,470032	0,341518	-0,32294817
SSE	135	162,3	0,581245	0,176747	-0,55372088
S	157,5	162,3	0,071622	0,021779	-0,06823005
			Total	18,4438999	-8,22875758
			FME en P2	Ptotal	20,1962842
				Dir -6	114,04

Tabla 11. Módulo y dirección del FME en el nodo P2

	Dirección		Potencia		
	Dir Ø	Dir -6	Módulo	Comp. X	Comp.Y
ENE	67,5	95	0,587570	0,584974	-0,05517376
E	67,5	111,3	14,061053	13,096946	-5,11695372
ESE	90	122,2	4,733285	4,004875	-2,52288789
SE	112,5	134,5	0,470032	0,335265	-0,32943528
SSE	135	147,4	0,581245	0,313325	-0,489565
S	157,5	158,6	0,071622	0,026087	-0,06670176
			Total	18,36147187	-8,5807174
			FME en P3	Ptotal	20,2675198
				Dir -6	115,05

Tabla 12. Módulo y dirección del FME en el nodo P3



5.2 CONCLUSIONES A CERCA DE LA PLANTA DE EQUILIBRIO

La dirección del FME obtenida a partir de los resultados de oleaje en los puntos P1, P2 y P3 proporciona un valor de N116°E, N114°E y N115°E, respectivamente.

Comparando este valor medio N115°E, con la dirección de flujo considerado del Proyecto (N123°E) se observa una variación de la dirección del oleaje tras considerar los efectos del CC, con un desfase de 8° en el ángulo obtenido por cálculo.

Este resultado resulta coherente, ya que el aumento de profundidad como consecuencia de la elevación del nivel del mar produce una menor refracción de los oleajes en su propagación hacia la costa. La resultante de la composición de oleajes o vector FME sufrirá, por tanto, un giro en sentido antihorario puesto que los oleajes de los sectores E y ESE son los que están asociados a una probabilidad de presentación claramente superior, tal y como se evidencia en los cálculos, pasando se N123°E a N115°E.

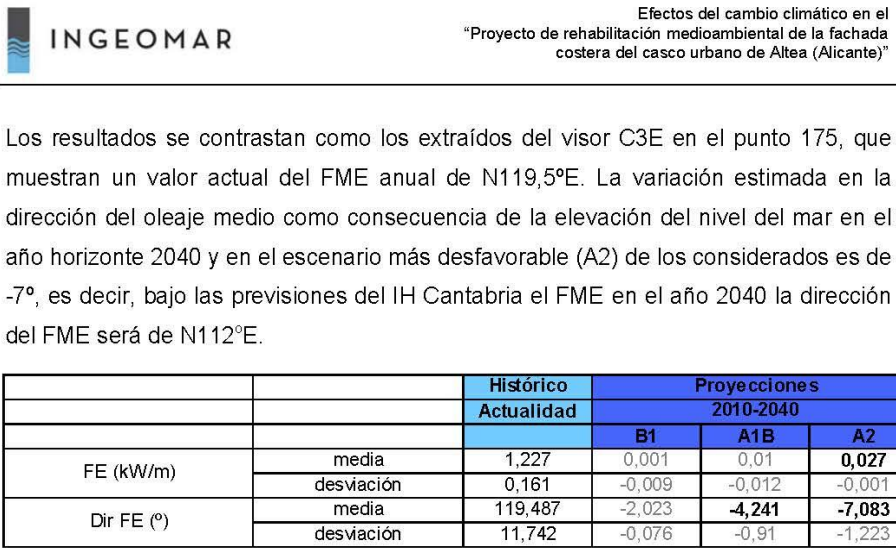
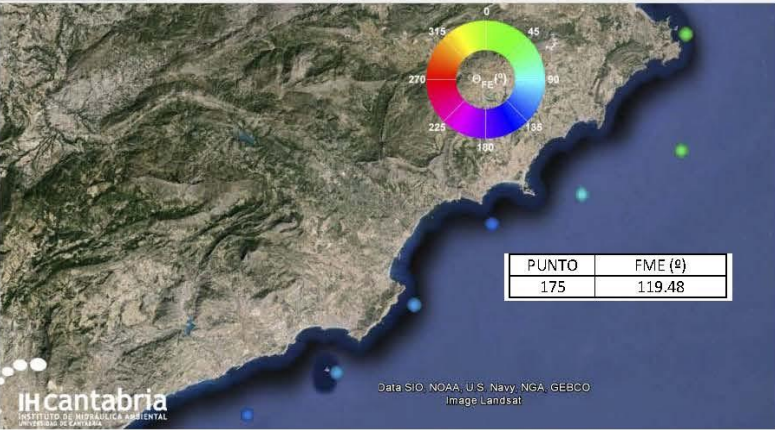


Tabla 13. Valor del FME actual y previsto en el año horizonte 2010-2040 por IH Cantabria (nodo175)



Como conclusión, para verificar las condiciones de equilibrio y estabilidad de la solución propuesta en el proyecto original se hace necesario el desarrollo de una nueva planta de equilibrio de la playa, teniendo en cuenta el giro del FME en la situación de elevación del nivel del mar por efecto del cambio climático en el año horizonte 2040.

La nueva forma en planta de equilibrio de la playa queda definida, a partir de la dirección del flujo medio de energía del oleaje en la zona (N115°E), por dos parábolas de Hsu & Evans, una a cada extremo de la playa y asociadas a los puntos de difracción del oleaje en el morro de las estructuras de rigidización costera proyectadas.

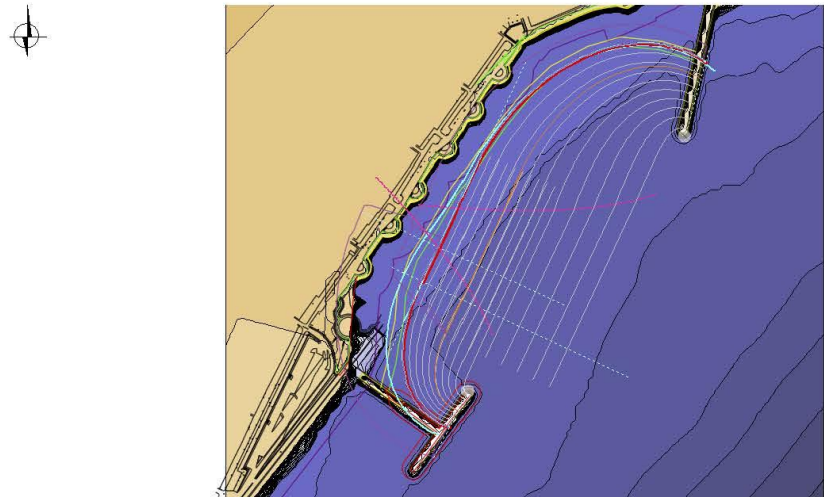


Figura 6.- Planta de equilibrio año horizonte 2040 (en rojo) frente a la planta de equilibrio actual (en azul)

Para verificar el diseño de la playa en el año 2040 se ha mantenido como parámetro de diseño el volumen de aporte de gravas ($D_{50}=15\text{mm}$) estimado en el Proyecto base, (132.133 m^3) y se ha determinado la anchura mínima resultante como consecuencia del basculamiento de la línea de orilla.

Parámetros de diseño de la forma en planta a largo plazo:

- Material de aportación: $D_{50}=15\text{ mm}$
- Volumen de aporte de gravas: 132.133 m^3
- Cota de berma: $+2,00\text{ m}$

Como resultado del estudio se obtiene que el giro de la resultante del oleaje medio prevista en el año horizonte 2040 por efecto del cambio climático, produce una reducción de la anchura mínima de la playa en la sección crítica de 30 m a 25 m .

	PLAYA PROYECTO ORIGEN	PLAYA EFECTO CC (AÑO 2040)
Dirección FME (°)	N123E	N115E
Ancho mínimo (m)	30	25

En la nueva configuración de la planta de la playa se deberá verificar la longitud de las estructuras proyectadas o, en su caso, estimar la longitud de recrecido necesaria (ver Apartado 6).

5.3 DETERMINACIÓN DE LA COTA DE INUNDACIÓN

En este apartado se determina la cota de inundación como nivel máximo del mar sobre el perfil de playa bajo la actuación de dos temporales ($Tr=36\text{ años}$ y $Tr=50\text{ años}$). El resultado proporcionará la cota mínima necesaria en el muro de la playa para asegurar que no se produce el rebase del oleaje.

La dirección de los temporales escogidos es la ESE, por presentar menor oblicuidad respecto a la orientación de la playa. Los temporales de diseño presentan las siguientes características:

	Oleaje Extremal ($Tr=50\text{ años}$)	Oleaje Extremal ($Tr=36\text{ años}$)
$H_s\text{ (m)}$	5.73	5.27
$T_p\text{ (s)}$	11.6	11.2
Sector	ESE	ESE
Marea + Elevación CC (m)	0.65	0.65
$T_R\text{ (años)}$	50	36

Tabla 14. Características de los oleajes de diseño

Para calcular la altura de ola en rotura H_b , se ha recurrido al criterio de Goda (1970). Según el ábaco de Goda, adoptando como dato de partida la altura de ola en profundidades indefinidas (H_o) y la pendiente promedio de la playa (m):

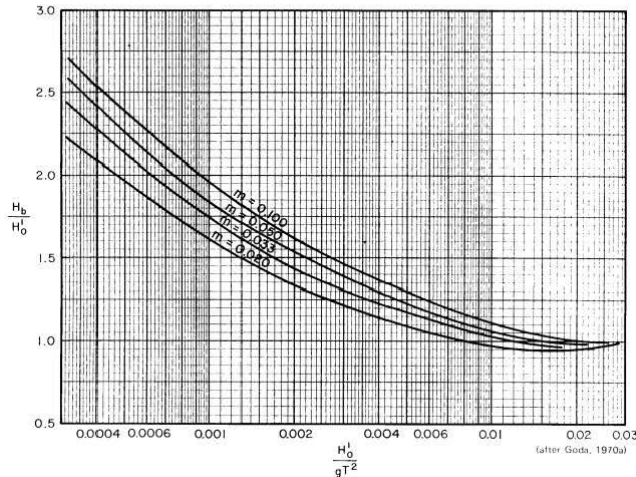


Figura 7.- $H_b\text{ (m)}$ según el Ábaco de Goda (Fig. 7-3 SPM 1984)

Como resultado, se obtienen los siguientes valores de altura de ola de rotura para cada temporal de diseño considerado:



Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada
costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

H_0/gT^2	m	H_b/H_0	H_b
0,004340799	0,13	1,3	7,45

Tabla 15. Altura de ola y profundidad de rotura del temporal $Tr=50$ años

H_0/gT^2	m	H_b/H_0	H_b
0,004282581	0,13	1,35	7,11

Tabla 16. Altura de ola y profundidad de rotura del temporal $Tr=36$ años

Conocida la altura de ola de rotura, la franja de rotura de los oleajes propagados, según Goda, viene determinada por las siguientes expresiones:

$(db,máx)=\alpha \cdot H_b$

$(db,mín)=\beta \cdot H_b$

Aplicando la metodología de Goda, los parámetros alpha y beta se determinan a partir de la altura de rotura obtenida y la pendiente promedio de la playa a partir del siguiente ábaco:

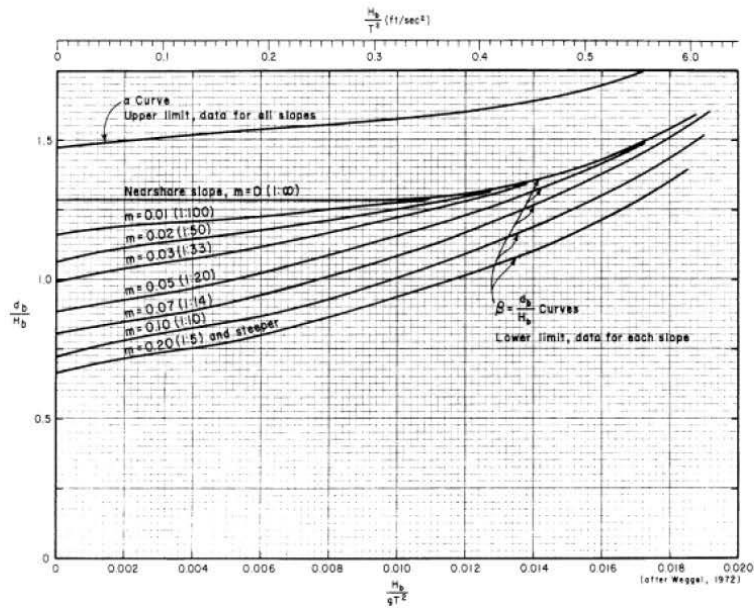


Figura 8.- Ábaco de Goda para determinar la franja de rotura del oleaje (Fig. 7-2 SPM)



Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada
costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

Como resultado, se obtiene que la franja de rotura del oleaje está comprendida entre los 6 m y los 11 m de profundidad para los dos temporales propagados. El valor Sw representa el set-up o elevación media de los oleajes propagados.

H_b/gT^2	β	α	
0,005643038	0,8500	1,5375	
$(db)_{max}=\alpha \cdot H_b$	$(db)_{min}=\beta \cdot H_b$	Sw/H_b	Sw (m)
11,45	6,33	0,09	0,670

Tabla 17. Franja de rotura del oleaje de diseño $Tr=50$ años según Goda

H_b/gT^2	β	α	
0,005781484	0,8800	1,54	
$(db)_{max}=\alpha \cdot H_b$	$(db)_{min}=\beta \cdot H_b$	Sw/H_b	Sw (m)
10,96	6,26	0,09	0,640

Tabla 18. Franja de rotura del oleaje de diseño $Tr=36$ años según Goda

El coeficiente de rotura Y_b obtenido aplicando la formulación de Goda, en función de la profundidad de rotura considerada se sitúa entre 0,65 y 1,13. Contrastando estos valores con los resultados de las propagaciones que arrojan un coeficiente de rotura aproximado de 0,80, se decide adoptar como valor de cálculo la profundidad de rotura promedio, que resulta de 8,89 m y 8,86 m para los oleajes de periodo de retorno 50 y 36 años, respectivamente. Con lo que:

$db.promedo=8,89 \text{ m} \rightarrow Y_b=0,837$

$db.promedo=8,86 \text{ m} \rightarrow Y_b=0,826$

Las características del oleaje en rotura de cálculo son:

Características oleaje en rotura					
H_b	L_b	y_b	db	$tg \alpha$	lr,b
7.449	108.3423	0.8377	8.89	0.133	0.5085

Características oleaje en rotura					
H_b	L_b	y_b	db	$tg \alpha$	lr,b
7.115	102.924	0.8264	8.609	0.13	0.507

Tabla 19. Características de los oleajes en rotura $Tr=50$ años (arriba) y $Tr=36$ años (abajo)

Una vez caracterizado el oleaje en rotura, la estimación del remonte para la determinación de la cota de inundación se efectúa a partir de la expresión propuesta por Resio (1987) para playas naturales basada en los resultados de Holman (1986):



Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada
costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

$$\frac{R_{u2\%} - \eta}{Hs_0} = R' \cdot \xi$$

donde:

$R_{u2\%}$ = Remonte estadístico definido por el pico local de la tormenta con un porcentaje de excedencia del 2%.

$$R' = 1.25 - 1.05 \cdot (T_R - 0.5)^{-0.19}$$

$$\eta = -\frac{1}{8} \cdot \left[\frac{H_b^2 \cdot 2\pi / L_b}{\text{seno}(2\pi \cdot d_b / L_b)} \right] + \frac{1}{1 + \left[\frac{8}{3 \cdot \gamma^2} \right]} \cdot d_b$$

ξ = Número de Iribarren local.

H_b = Altura de ola local en rotura.

L_b = Longitud de onda local en rotura.

d_b = Profundidad en rotura.

γ_b = Coeficiente de rotura obtenido empleando los valores propagados hasta la zona de rotura.

El oleaje en rotura está caracterizado por los parámetros dados en la Tabla 14 para cada uno de los oleajes considerados.

El run up se determina para la profundidad promedio de rotura obtenida (8.8 m y 8.6 m), es decir, la rotura de los dos oleajes se produce en el segundo tramo del perfil de Powel (m=0.13).



Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada
costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

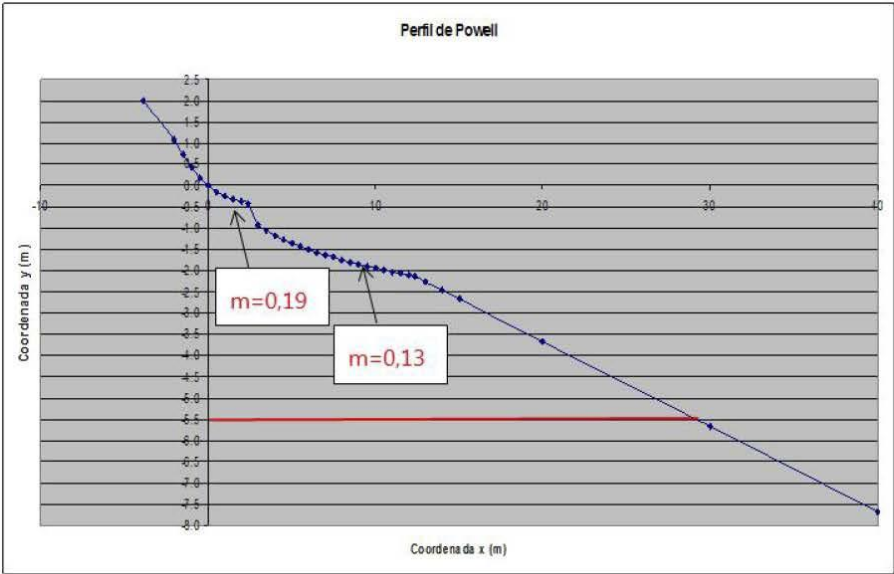


Figura 9.- Pendiente media en el perfil de Powel (D50)15mm)

Sustituyendo los valores en la expresión anterior se obtienen los siguientes valores de Run-up del oleaje y cota de inundación (C.I.) correspondientes a la rotura en el segundo tramo del perfil:

Tr (años)	$S_{nm(ma+mm)}$	db promedio (m)	γ_b	$tg \alpha$	Ru (m)	C.I. (m)
50	0.65	8.89	0.838	0.13	2.13	2.78
Tr (años)		db promedio (m)	γ_b		Ru (m)	C.I. (m)
36		8.61	0.826		1.88	2.53

Tabla 20. Remonte (Ru) y Cota de Inundación (C.I.) del oleaje de diseño para m= 0.13

De acuerdo a los resultados, se puede concluir que la inundación de una ola con periodo de retorno de 50 años alcanzaría, para un temporal de diseño de 50 años, una cota de 2.78 m y de 2.53 m en el caso de un temporal de 36 años de periodo de retorno.

5.4 CONCLUSIONES SOBRE LA ALTURA DEL MURO

El valor final de la cota de inundación que permite establecer la altura de diseño de la playa para el temporal de 36 años de periodo de retorno es de +2.75 m y se eleva a +3.00 m para el temporal de 50 años de periodo de retorno.

La altura de muro a la +2.20 m planteada en el proyecto resulta insuficiente, siendo necesario elevarla para evitar el rebase del oleaje.



Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada
costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

Se destaca en este punto que, aún sin consideración del efecto del cambio climático, que hace aumentar la cota en no más de 10 cm, la cota del paseo proyectada es insuficiente frente a la inundación para periodo de retorno de 36 años en el caso más desfavorable ($m=0.19$).

6 VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS COSTERAS

El proyecto original contempla la ejecución de dos estructuras para dar apoyo a la playa de nueva creación que se construirá en "El Charco".

Las estructuras consisten en un dique en "T", situado en el límite de la actual playa de La Roda y la laguna llamada "El Charco", y un espigón situado al norte del mismo, cuyo objetivo principal es la interrupción del transporte sedimentario proveniente de la desembocadura del río Algar.

6.1 LONGITUD DE LAS ESTRUCTURAS DE APOYO

El basculamiento de la línea de orilla en la situación prevista en el año 2040 hace necesario verificar que la longitud del dique en T es suficiente para contener el pie del perfil sumergido de gravas de la nueva playa.

Para ello se ha intersectado el perfil del terreno resultante tras el desmantelamiento de la defensa de escollera longitudinal que cierra el actual "Charco" y el posterior dragado hasta la cota -3.00 m con el perfil de aporte de gravas $D_{50}=15$ mm para la generación de la nueva playa con ajuste a un perfil biparábólico de Powel (Figura 5).

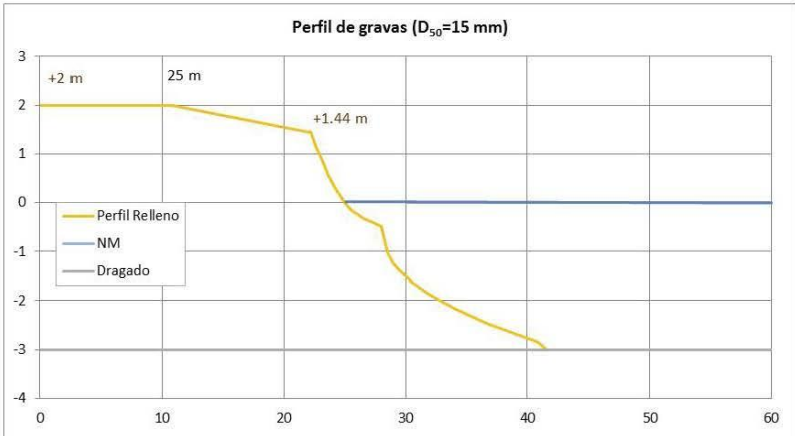


Figura 10.-Ajuste de la grava de aporte a un perfil de Powel, 1990



Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada
costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

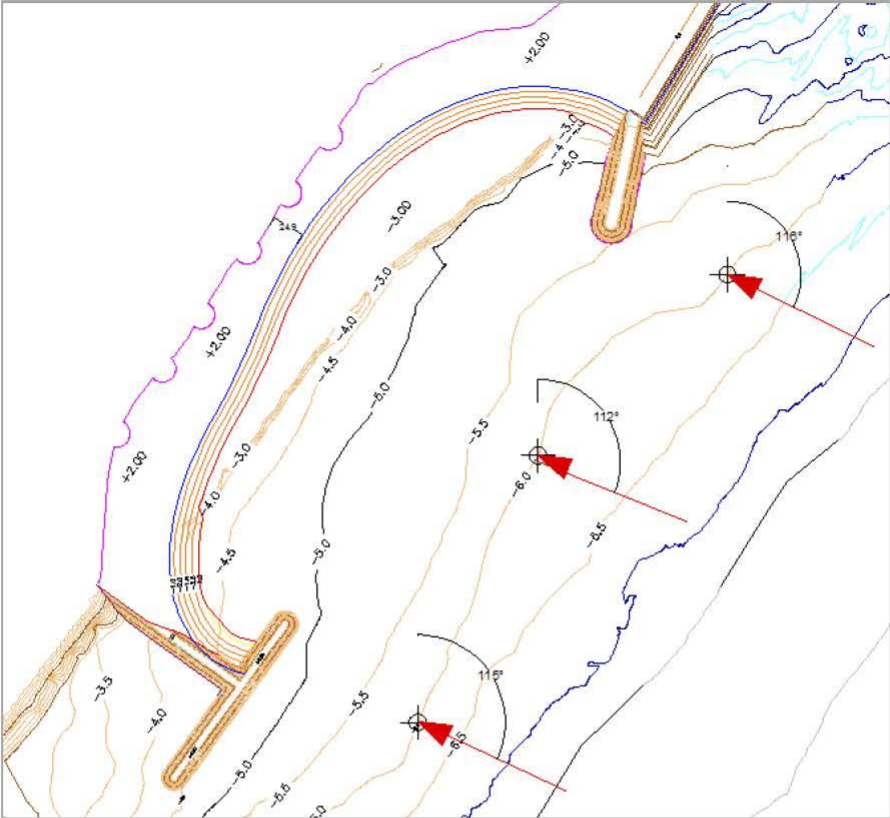


Figura 11.- Solución propuesta en el año horizonte 2040 (en azul) e intersección del perfil de aportación de gravas (en rojo)

6.2 PESO DE LOS ELEMENTOS DE ESCOLLERA

Los cálculos de comprobación realizados consisten en verificar la validez del peso de las escolleras constituyentes de los diques cuando se considera la elevación del nivel del mar debido al cambio climático.

La propagación del oleaje en régimen extremal hasta la costa proporciona la altura de ola de cálculo para el periodo de retorno de 50 años de proyecto. El caso de oleaje ENE es el más desfavorable para el dimensionamiento de los diques por ser el caso en el que el oleaje alcanza una mayor altura de ola local a pie de las estructuras proyectadas.

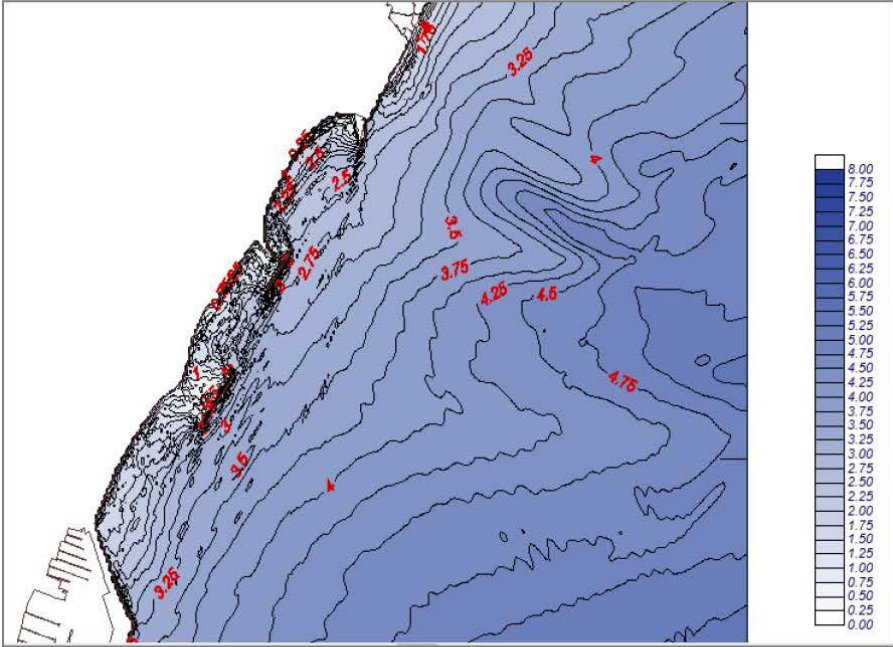


Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada
costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

CASO	H	T	Dir	Tr	Dir Malla	Marea
OU	7,16	11,6	ENE	50	22,5	0,65

Tabla 21. Oleaje extremal propagado para determinar la altura de ola de cálculo

Los resultados gráficos de la propagación de este oleaje en la situación de marea (astronómica y meteorológica) y elevación del nivel medio del mar por CC consideradas en el cálculo se muestran en las figuras siguientes:



Efectos del cambio climático en el
"Proyecto de rehabilitación medioambiental de la fachada
costera del casco urbano de Altea (Alicante)"

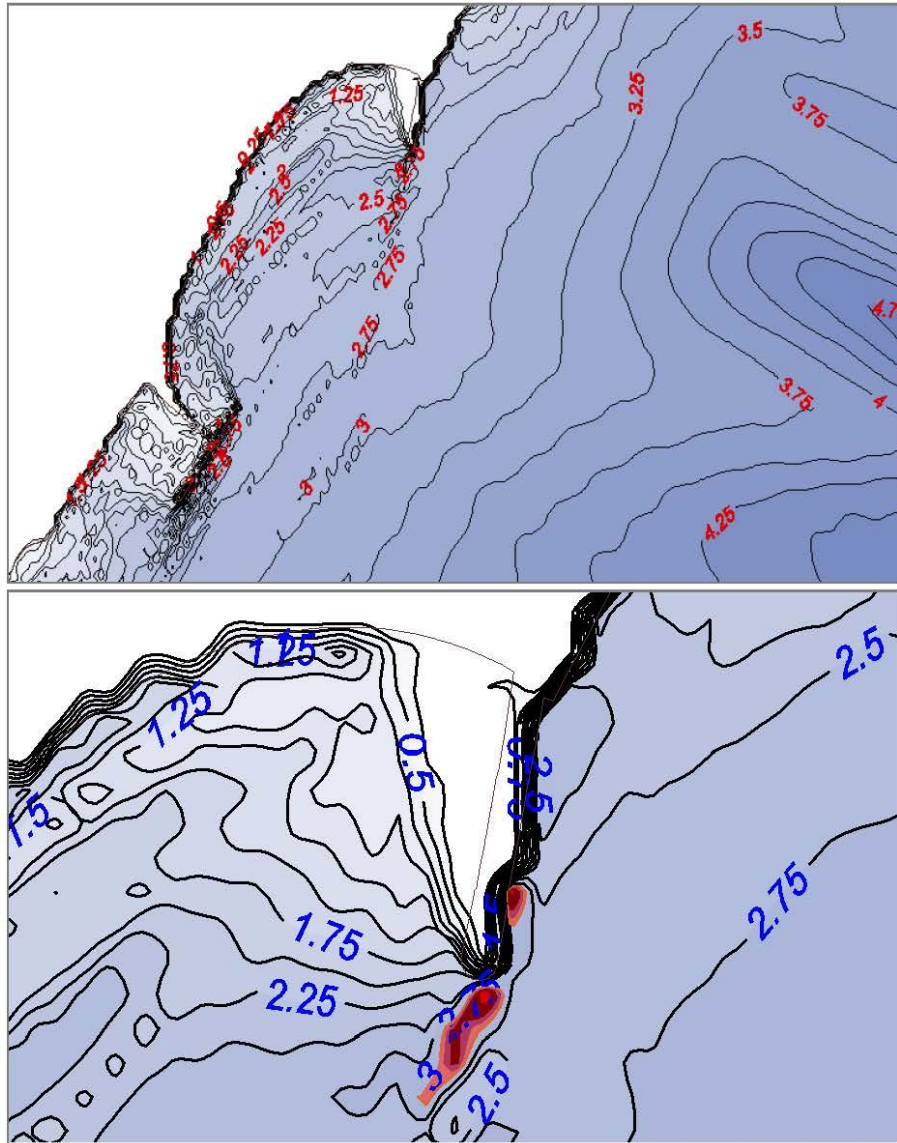


Figura 12.- Oleaje máximo a pie del espigón

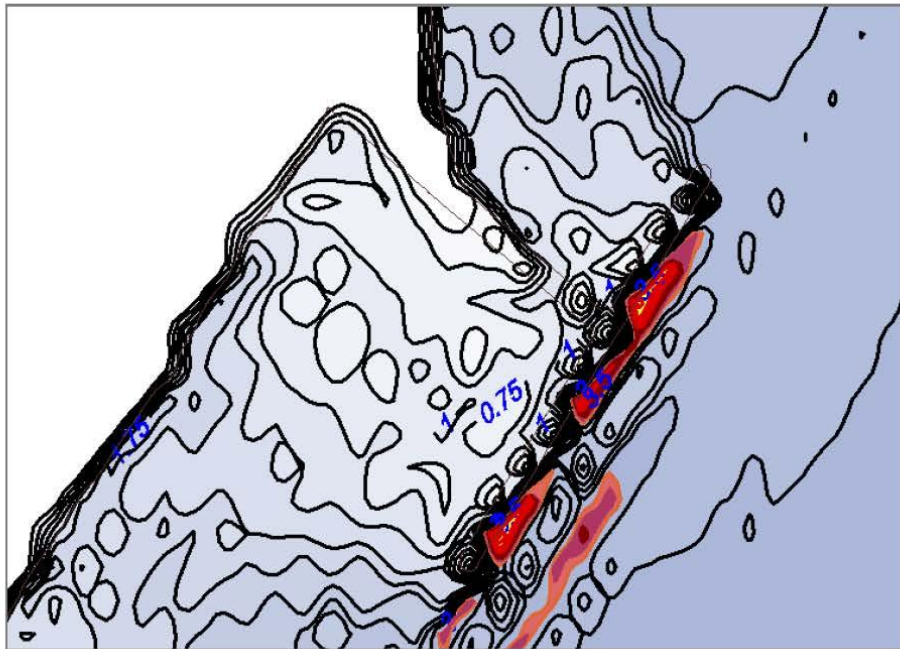


Figura 13.- Oleaje máximo a pie del dique exento en T

La altura máxima de cálculo, obtenida del modelo de propagación del oleaje que considera el fenómeno de pérdida de energía por rotura del oleaje, refracción por fondo y difracción del oleaje alrededor del morro de las estructuras, se incluye en la siguiente tabla:

Altura de ola máxima en pie de estructuras (m)	
Dique en T	Espigón
3,75 - 4,00	3,50 - 3,60

Tabla 22. Altura de ola de cálculo a pie de estructuras

6.3 CONCLUSIONES A CERCA DEL DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS

A la vista de los resultados obtenidos se puede concluir que la consideración en el modelo de propagación de la elevación del nivel del mar asociada al cambio climático, no implica variaciones importantes en el oleaje de cálculo. Además, teniendo en cuenta que el peso medio de los elementos de escollera ($W_{50}=3-4t$), se establece en el proyecto original con un margen de seguridad de 1 t resulta válido el dimensionamiento propuesto.

Dirección	Hs pie Dique en T	Hs pie Espigón	Hs pie Dique exento
ENE	3.49	3.84	3.11
E	3.44	3.73	3.22
ESE	3.48	3.70	3.20
SE	3.45	3.69	3.16
SSE	3.38	3.65	3.08

Figura 14.- Altura significativa a pie de estructuras extraída del proyecto original

En cuanto a la longitud de las estructuras diseñadas en el Proyecto original, queda verificado que resulta suficiente para contener el pie de la grava aportada, manteniendo las condiciones de equilibrio estático en la situación de elevación de nivel medio del mar prevista para el año 2040.

Anejo nº 12. Diseño de la playa y justificación de la solución adoptada.

ANEJO Nº 12. DISEÑO DE LA PLAYA Y JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

“En la redacción del presente Proyecto se han asumido gran parte de los datos, bases y especificaciones contenidas en los proyectos, “PROYECTO DE REHABILITACIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LA FACHADA COSTERA DEL CASCO URBANO DE ALTEA (ALICANTE)”, redactado por KV consultores y “*PROYECTO DE REHABILITACIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LA FACHADA COSTERA DEL CASCO URBANO DE ALTEA (PARTE MARITMIA). T.M. DE ALTEA (ALICANTE)*”, redactado por IBERPORT CONSULTING por encargo de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....

1

2. DISEÑO DE LA PLAYA Y JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA EN EL PROYECTO ORIGINAL.....

1

3. ESTUDIO DE UNA SOLUCIÓN ALTERNATIVA PARA LA EJECUCIÓN DE LA CELDA CENTRO.....

3

1. INTRODUCCIÓN

En junio de 2017 la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente toma la decisión de acometer las actuaciones correspondientes a las celdas Sur y Centro del proyecto, “PROYECTO REFORMADO DE REHABILITACIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LA FACHADA COSTERA DEL CASCO URBANO DE ALTEA (PARTE MARITIMA). TM DE ALTEA (ALTEA)”, comprendida entre el extremo Sur de la nueva playa de L’Espigó y el puerto de Altea. Debido a esto se redacta el presente proyecto, “PROYECTO REFORMADO DE REHABILITACIÓN MEDIAMBIENTAL DE LA FACHADA COSTERA DEL CASCO URBANO DE ALTEA (PARTE MARÍTIMA). T.M. DE ALTEA (ALICANTE). CELDAS CENTRO Y SUR”, en el que, en la misma línea de la obra recientemente ejecutada correspondiente a la Celda Norte (Nueva playa de l’Espigó) se establece un ancho mínimo de playa seca de 30 metros.

Por tanto, es necesario, de acuerdo a la nueva forma de la playa a generar (anchura de playa seca de 30 metros), realizar un estudio para comprobar la estabilidad en esta nueva disposición.

En el presente anejo se incorpora al estudio inicial realizado en el proyecto original, además del estudio realizado en el presente proyecto para el cálculo de estabilidad de la playa con un ancho de 30 metros, para asegurar la estabilidad de la nueva playa para las celdas Sur y Centro.

2. DISEÑO DE LA PLAYA Y JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA EN EL PROYECTO ORIGINAL

Se adjunta a continuación el anejo de “Diseño de la playa” del proyecto de PROYECTO DE REHABILITACIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LA FACHADA COSTERA DEL CASCO URBANO DE ALTEA (PARTE MARÍTIMA). T.M. DE ALTEA (ALICANTE), redactado por Iberport Consulting.

3. ESTUDIO DE UNA SOLUCIÓN ALTERNATIVA PARA LA EJECUCIÓN DE LA CELDA CENTRO

Con el nuevo diseño de playa con un ancho mínimo de 30 m, ésta todavía mantiene un resguardo de 15 m tras la acción del temporal de cálculo.

La ejecución del dique en T realizado en las obras de la Celda Norte (Nueva playa de L’Espigó), prolongando el brazo sur del dique en T en 32 metros y recreciendo su coronación en la parte terrestre hasta la cota +2, crea una protección en la celda Centro que permite redefinir la solución para el dique en T Sur prevista en el proyecto original, de forma que no es necesario ejecutar el brazo norte de este dique en T Sur.

Se plantea, por tanto, una solución mediante un dique el “L”, que se crea con el recrecido del brazo Sur del actual dique exento hasta la cota de coronación +1 y la ejecución de un espigón perpendicular a la costa que sirve de separación entre las celdas Sur y Centro.

Siguiendo con el criterio planteado en el proyecto de la celda Norte (obra ya ejecutada) se ha mantenido el criterio de establecer un ancho mínimo de playa seca de 30 metros.

Además, al objeto de racionalizar el aporte de materiales, se ha considerado el desmontaje del brazo Norte del dique exento existente para evitar anchos de playa excesivos en la zona de influencia de dicho brazo Norte.

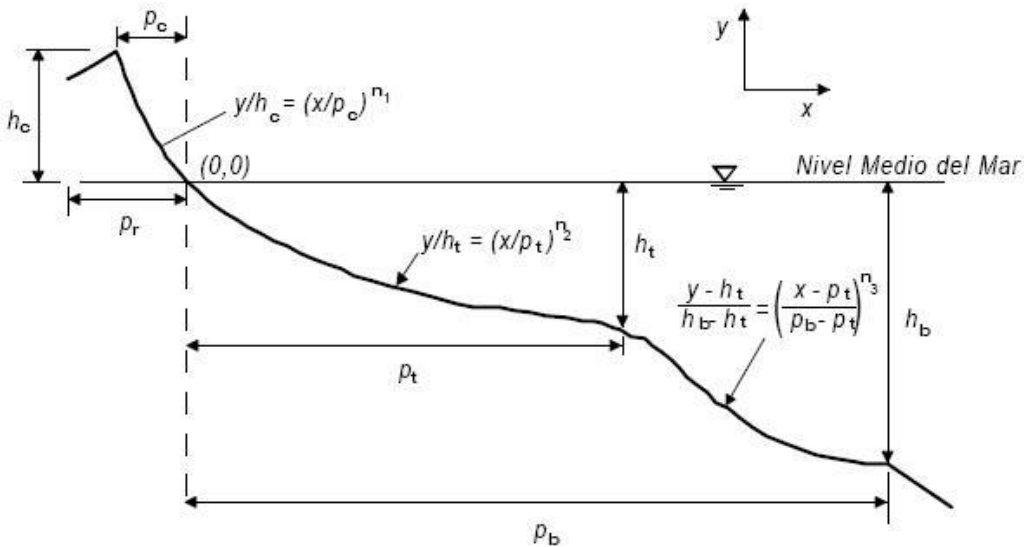
3.1. DISEÑO EN PERFIL DE LA PLAYA

3.1.1. PERFIL DE POWELL PARA GRAVAS

Tras las distintas posibilidades en cuanto a la configuración en perfil analizadas en el estudio de alternativas, y dadas las características del sedimento de aportación ($D_{n50} = 15 \text{ mm}$), se ha optado por un perfil de gravas mediante la formulación teórica de Powell, para el cálculo del perfil de equilibrio.

El modelo paramétrico de perfiles de gravas desarrollado por Powell (1990), fue diseñado para simular playas de material grueso como gravas y cantos rodados. En la siguiente figura se muestra un esquema del perfil cuyo rango de aplicación es el siguiente:

$$20 < H_s / \Delta D_{n50} < 250$$



Perfil de Powell (1990)

El modelo paramétrico se describe con una serie de ecuaciones, donde las definiciones de los parámetros se muestran en la figura anterior.

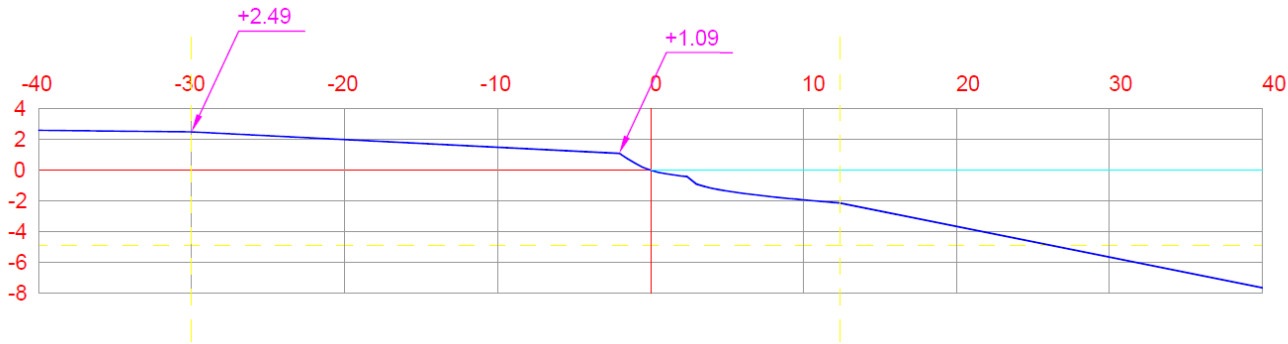
La aplicación de este perfil al presente Proyecto arroja los siguientes resultados. Las variables a partir de las cuales se calculan las curvas del perfil son los siguientes.

- ρ_s : densidad del sedimento
- ρ_w : densidad del agua
- H_s : altura de ola significativa
- D_{n50} : diámetro nominal medio del sedimento

T_m: periodo del oleaje medio

Perfil_Powell			x	y
ps	2.65	t/m3	-3.87	
pw	1.025	t/m3	-2.04	1.09
Hs	0.575	m	-2	1.06
Dn50	15	mm	-1.5	0.74
Tm	4.56	s	-1	0.44
Parametros_Perfil_Powell			-0.5	0.18
i	pi (m)	hi (m)	0	0.00
r			0.5	-0.15
c	-2.04	1.09	1	-0.24
t	2.38	-0.42	1.5	-0.31
b	12.36	-2.14	2	-0.38
			2.38	-0.42
			3	-0.91
			3.5	-1.06
			4	-1.18
			4.5	-1.28
			5	-1.36
			5.5	-1.44
			6	-1.51
			6.5	-1.57
			7	-1.63
			7.5	-1.69
			8	-1.75
			8.5	-1.80
			9	-1.85
			9.5	-1.89
			10	-1.94
			10.5	-1.98
			11	-2.03
			11.5	-2.07
			12	-2.11
			12.36	-2.14

En la playa seca el perfil tendrá una pendiente del 5% entre la cresta del perfil (a la cota +1,09 m) y la cota +2.49 m (cota de coronación de la playa).



Perfil de equilibrio de gravas (Powell, 1990)

La forma del perfil teórico para la playa de gravas diseñada es la siguiente, considerado una pendiente 1:5 a partir de la profundidad de cierre del perfil de Powell.

3.1.2. PLANTA DE EQUILIBRIO

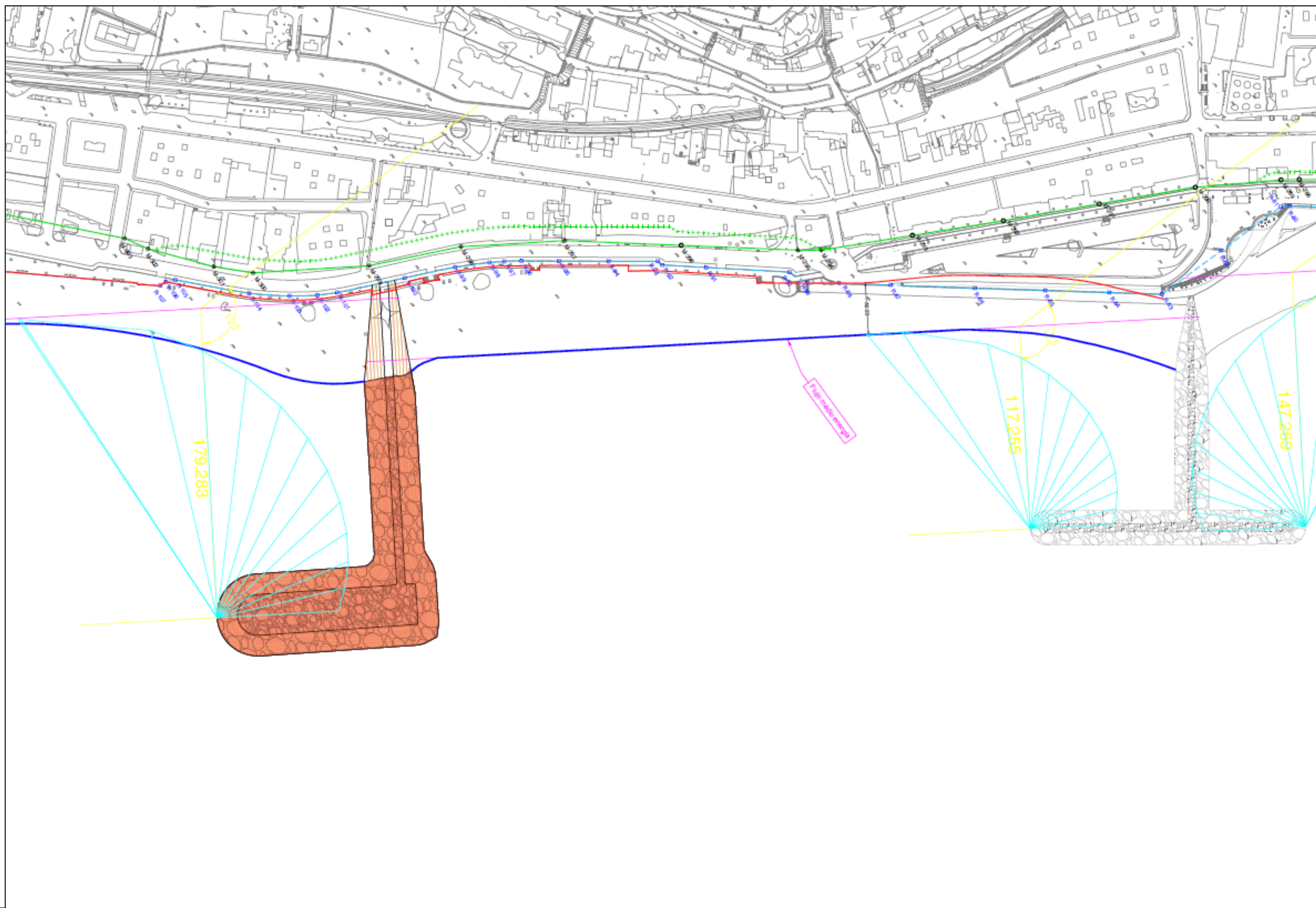
La planta de equilibrio de la nueva playa viene definida por la posición del punto de difracción que generarán las distintas obras marítimas, la dirección del flujo medio de energía del oleaje en dichos puntos y el ancho mínimo de playa seca que se pretende dar a la playa en la regeneración. La planta de equilibrio está también influida por la rebasabilidad de las estructuras.

La forma en planta de equilibrio se ha estimado mediante la parábola de Hsu y Evans (1989), la cual viene dada por la siguiente expresión, donde C_0 , C_1 , C_2 y β son función de α_{min} .

$$R/R_0 = C_0 + C_1 (\beta/\theta) + C_2 (\beta/\theta)^2$$

El límite de la zona de influencia del punto de difracción está definido por el punto P_0 , cuya posición es función de la distancia en número de longitudes de onda (Y/L) que existe entre el punto de difracción y la prolongación de la línea de costa que pasa por P_0 , medida en una perpendicular a los frentes de onda. Conocida dicha distancia se determina el ángulo α_{min} que forma la normal a los frentes de onda que pasan por el punto de difracción y la línea que une el punto de difracción y P_0 .

A continuación, se muestra el ajuste en planta de las parábolas de Hsu y Evans para la situación futura del frente marítimo de Altea. En la figura se ha representado la línea de costa futura (línea azul) y el trazado del límite del paseo futuro (línea roja) a efectos de comprobar que se respetará el ancho mínimo de playa seca establecido como criterio de diseño.



ANEJO N° 11. DISEÑO DE LA PLAYA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1	5. FACTOR DE SOBRERRELLENO.....	10
2. DISEÑO EN PLANTA DE LA PLAYA	1	6. EVALUACIÓN DE LA LONGEVIDAD DE LA PLAYA.....	11
2.1 DETERMINACIÓN DE LA DIRECCIÓN DEL FLUJO MEDIO DE ENERGÍA DEL OLEAJE	1		
2.1.1 CÁLCULO APROXIMADO CON ODIN	1		
2.1.2 CÁLCULO ANALÍTICO A PARTIR DE PROPAGACIONES CON MODELO NUMÉRICO	1		
2.1.3 CONSIDERACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA EXISTENTE	2		
2.1.4 FLUJO MEDIO ADOPTADO.....	2		
2.2 PLANTA DE EQUILIBRIO	2		
2.3 EFECTO DE REBASABILIDAD DE LOS DIQUES.....	4		
3. DISEÑO EN PERFIL DE LA PLAYA.....	5		
3.1 PERFIL DE POWELL PARA GRAVAS	5		
3.2 CONTRASTE CON EL PERFIL DE VAN DER MEER PARA GRAVAS	7		
4. RETROCESO DEL PERFIL EN SITUACIÓN DE TEMPORAL.....	7		
4.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO NUMÉRICO PARA EL CÁLCULO DE RETROCESO DEL PERFIL	7		
4.2 OLEAJE DE PARTIDA	8		
4.3 PERFIL DE CÁLCULO	8		
4.3.1 PERFIL TIPO ELEGIDO PARA LA MODELIZACIÓN	8		
4.3.2 GRANULOMETRÍA DEL PERFIL DE PLAYA.....	8		
4.4 MODELIZACIÓN CON LITPROF.....	9		

1. INTRODUCCIÓN

En el presente Anejo se realizan todos los cálculos relativos al diseño de la nueva playa del frente litoral de Altea: diseño a largo plazo en planta y perfil, cálculo del máximo retranqueo de la línea de costa en situación de temporal, factor de sobrerrelleno y tiempo de vida media de la playa.

2. DISEÑO EN PLANTA DE LA PLAYA

2.1 DETERMINACIÓN DE LA DIRECCIÓN DEL FLUJO MEDIO DE ENERGÍA DEL OLEAJE

La planta de equilibrio de la nueva playa viene definida por la dirección del flujo medio de energía del oleaje en los puntos de difracción que generarán los diques y espigones proyectados para estabilizar dicha playa.

Las cotas batimétricas a las que se encuentran dichos puntos de difracción varían entre la -4,5 m y la -5,5 m. Se ha considerado que la variación en la dirección del flujo medio de energía en los distintos puntos de difracción generados es despreciable, obteniéndose una única dirección del flujo medio de energía para todo el frente litoral de Altea.

Para realizar la estimación del flujo medio de energía se han tenido en cuenta distintas fuentes de información.

2.1.1 CÁLCULO APROXIMADO CON ODIN

A partir de los datos de observaciones visuales de barcos en ruta correspondientes a la base de datos facilitada por el programa ODIN implementado en el SMC, desarrollado por la Universidad de Cantabria, se ha obtenido un flujo medio de energía sobre la batimétrica -5,5m de dirección 118º desde el norte (S62ºE).



Dirección de la playa de Altea y sector de oleajes que afectan a la costa

2.1.2 CÁLCULO ANALÍTICO A PARTIR DE PROPAGACIONES CON MODELO NUMÉRICO

Se ha realizado un cálculo analítico de la dirección del flujo medio del oleaje a partir de los oleajes propagados hasta la batimétrica -15 en el Anejo N° 8 “Clima marítimo y propagaciones”. Dichos oleajes se muestran en la tabla siguiente.

n	Hs	Dirección	T	f
1	0.75	112.5	5.329	65.00%
2	1.25	112.5	6.200	4.00%
3	1.75	112.5	6.908	0.90%
4	2.25	112.5	7.520	0.70%
5	2.75	112.5	8.067	0.40%
6	0.75	135	5.329	7.71%
7	1.25	135	6.200	0.10%
8	0.75	157.5	5.329	10.00%
9	1.25	157.5	6.200	1.50%
10	CALMAS			9.69%

Oleajes que forman la rosa sobre la isobata -15

Para la obtención analítica de la dirección del flujo medio de energía se debe integrar la base de datos en las que se recogen las direcciones y alturas resultantes de las propagaciones obteniéndose las componentes del flujo de energía en las direcciones E-W y N-S.

$$F_{E-W} = \sum H_{si}^2 T_{pi} \cos(\varphi)$$

$$F_{N-S} = \sum H_{si}^2 T_{pi} \sin(\varphi)$$

Donde φ es la dirección del oleaje respecto al norte.

Finalmente, la dirección del flujo medio de energía se consigue como:

$$\text{Dirección flujo medio} = \arctan \frac{F_{N-S}}{F_{E-W}}$$

Los cálculos realizados se muestran en la tabla siguiente.

n	Hs (m)	Dirección (°)	Tp (s)	f	Flujo medio N-S	Flujo medio E-W
1	0.75	112.5	5.33	17.28%	0.0048	-0.0020
2	1.25	112.5	6.20	1.06%	0.0009	-0.0004
3	1.75	112.5	6.91	0.24%	0.0005	-0.0002
4	2.25	112.5	7.52	0.19%	0.0007	-0.0003
5	2.75	112.5	8.07	0.11%	0.0006	-0.0003
6	0.75	135	5.33	2.05%	0.0004	-0.0004
7	1.25	135	6.20	0.03%	0.0000	0.0000
8	0.75	157.5	5.33	2.66%	0.0003	-0.0007
9	1.25	157.5	6.20	0.40%	0.0001	-0.0004
10	Calmas			75.99%		
TOTAL				100.00%	118.98 °	

Cálculo analítico del flujo medio de energía sobre la batimétrica -15m

La dirección resultante del flujo medio de energía sobre la batimétrica -15m tiene una dirección de 118° desde el norte.

Para obtener el la dirección del flujo medio de energía en los puntos de difracción que generan las obras de estabilización de la playa, situados en la batimétrica -5,5m, se ha propagado suponiendo pendiente uniforme desde la batimétrica -15m; a continuación se muestra el cambio de dirección de propagación.

T (s)	h (m)	alpha (grados)
4.56	15	6.01
4.56	4.5	4.82

Oblicuidad del oleaje

De este modo, la dirección del flujo medio resultante del cálculo analítico es de 120,18° (S60°E), que difiere en menos de 2° del resultado obtenido a partir de los datos basados en observaciones visuales.

2.1.3 CONSIDERACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA EXISTENTE

Para la determinación final del flujo medio de energía se han tenido en cuenta la evolución histórica de la costa. La línea de costa actual es perpendicular a la orientación S55°E, mientras que el flujo medio de energía tiene una orientación de S60°E (según el cálculo analítico), por lo que la alineación recta de la playa debería girar 5° para alcanzar el equilibrio teórico.

Entre 1978 y 1985 se produjo un cambio en la orientación de la línea de costa de aproximadamente 0,5°. Dado que el diámetro medio del sedimento de aportación es mayor que el del sedimento nativo se ha considerado que la velocidad de giro de la playa será menor que 1° cada 15 años. Como criterio de diseño de las estructuras del presente Proyecto se ha considerado una vida útil de las obras de 25 años, en este periodo de tiempo se estima que la costa actual girará menos de 2°.

2.1.4 FLUJO MEDIO ADOPTADO

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones se ha adoptado una dirección del flujo medio de energía del oleaje de S57°E.

2.2 PLANTA DE EQUILIBRIO

La planta de equilibrio de la nueva playa viene definida por la posición del punto de difracción que generarán las distintas obras marítimas, la dirección del flujo medio de energía del oleaje en dichos puntos y el ancho mínimo de playa seca que se pretende dar a la playa en la regeneración, cuya justificación se muestra en el presente Anejo. La dirección del flujo medio de energía del oleaje se ha justificado en el apartado anterior.

La planta de equilibrio está también influida por la rebasabilidad de las estructuras, analizándose dicho aspecto en el apartado siguiente.

La forma en planta de equilibrio se ha estimado mediante la parábola de Hsu y Evans (1989), la cual viene dada por la siguiente expresión, donde C_0 , C_1 , C_2 y β son función de α_{min} .

$$R/R_0 = C_0 + C_1 (\beta/\theta) + C_2 (\beta/\theta)^2$$

El límite de la zona de influencia del punto de difracción está definido por el punto P_0 , cuya posición es función de la distancia en número de longitudes de onda (Y/L) que existe entre el punto de difracción y la prolongación de la línea de costa que pasa por P_0 , medida en una perpendicular a los frentes de onda. Conocida dicha distancia se determina el ángulo α_{min} que forma la normal a los frentes de onda que pasan por el punto de difracción y la línea que une el punto de difracción y P_0 .

A continuación se muestra el ajuste en planta de las parábolas de Hsu y Evans para la situación futura del frente marítimo de Altea. En la figura se ha representado la línea de costa futura (línea azul) y el trazado del paseo futuro a efectos de comprobar que se respetará el ancho mínimo de playa seca establecido como criterio de diseño.



Ajuste en planta de las playas futuras mediante parábolas de Hsu y Evans

Adicionalmente en la figura anterior se han representado los ejes de los futuros diques (líneas marrones) para reconocer la posición de los distintos puntos de difracción del oleaje y una aproximación de la línea de cierre de la playa futura (la línea naranja).

Las parábolas de Hsu y Evans no consideran los efectos que tiene sobre la forma en planta de la línea de costa la rebasabilidad de las obras de estabilización de las playas. La estimación de dicho efecto se ha realizado en el siguiente apartado.

Para el diseño de la línea de costa al norte del espigón septentrional de la actuación prevista se ha contemplado la prolongación de la actual línea de costa hasta dicho espigón. En la actualidad existe una playa desde la desembocadura del río Algar hasta la escollera de protección del actual "Charco", donde desaparece la playa debido al aumento de energía que experimenta el oleaje frente a dicha escollera debido al fenómeno de reflexión. En el futuro esta playa se apoyará sobre el espigón causando el avance de la línea de costa. La construcción del espigón norte es necesaria para la creación de un nuevo punto de difracción que permita la acumulación y contención de la arena en la zona del Charco, puesto que de otra forma no existiría playa o ésta sería muy estrecha en la zona del Charco.



Futura playa junto a la desembocadura del río Algar

A la vista de los resultados obtenidos en el presente Anejo se ha concluido que el ancho de la futura playa es suficiente para que la playa ofrezca protección frente al temporal de diseño e incluso temporales mayores.

2.3 EFECTO DE REBASABILIDAD DE LOS DIQUES

El diseño de la playa en planta mediante el ajuste de la parábola de Hsu y Evans indica que se formarán tómbolos al abrigo de las estructuras dispuestas en la fase futura, esto es así porque la parábola de Hsu y Evans considera que las estructuras de abrigo son no rebasables (ver el apartado anterior). Dado que tanto el espigón norte como el dique en T central son rebasables es necesario corregir el trazado de la línea de costa que proponen Hsu y Evans en estos tramos. En el presente apartado se ha calculado la longitud de los salientes generados teniendo en consideración la rebasabilidad de las estructuras de abrigo.

Se ha considerado el método clasificatorio de Pilarczyk (2003) modificado por Piulachs (2005) para la respuesta de la costa frente a la disposición de diques exentos.

$$\frac{Ls}{X}(1-Kt) > 1,5 \longrightarrow \text{Tómbolo}$$

$$1,5 > \frac{Ls}{X}(1-Kt) > 1 \longrightarrow \text{Saliente pronunciado}$$

$$1 > \frac{Ls}{X}(1-Kt) > 0,5 \longrightarrow \text{Saliente no pronunciado}$$

$$\frac{Ls}{X}(1-Kt) < 0,5 \longrightarrow \text{Playa sin respuesta}$$

Donde:

- Ls: Longitud del dique exento
- X: Distancia del talud interior del dique a la costa original
- Kt: Coeficiente de transmisión de Van der Meer
- La formulación para obtener Kt es la siguiente:

$$-2 < \frac{Rc}{Hs} < -1,13; \quad Kt = 0,8$$

$$-1,13 < \frac{Rc}{Hs} < 1,2; \quad Kt = 0,46 - 0,3 \frac{Rc}{Hs}$$

$$1,2 < \frac{Rc}{Hs} < 2; \quad Kt = 0,1$$

Donde:

- Rc: Francobordo del dique
- Hs: Altura de ola significativa a pie de dique

La cota de coronación del dique en T norte es igual a la del dique exento existente, 0,5 m, y la del dique exento una vez convertido en T y recrecido será de aproximadamente +1.2m. La altura de ola significativa es también la misma al pie de las dos estructuras, resultando los siguientes coeficientes de transmisión.

Kt de Van der Meer	Dique en T norte	Dique T sur (actual exento)
Hs al pie del dique	0.58	0.58
Francobordo	0.5	1
Kt de Van der Meer	0.199	0.100

Kt de Van der Meer

Se ha obtenido el valor de $\frac{Ls}{X}(1-Kt)$ para las siguientes estructuras:

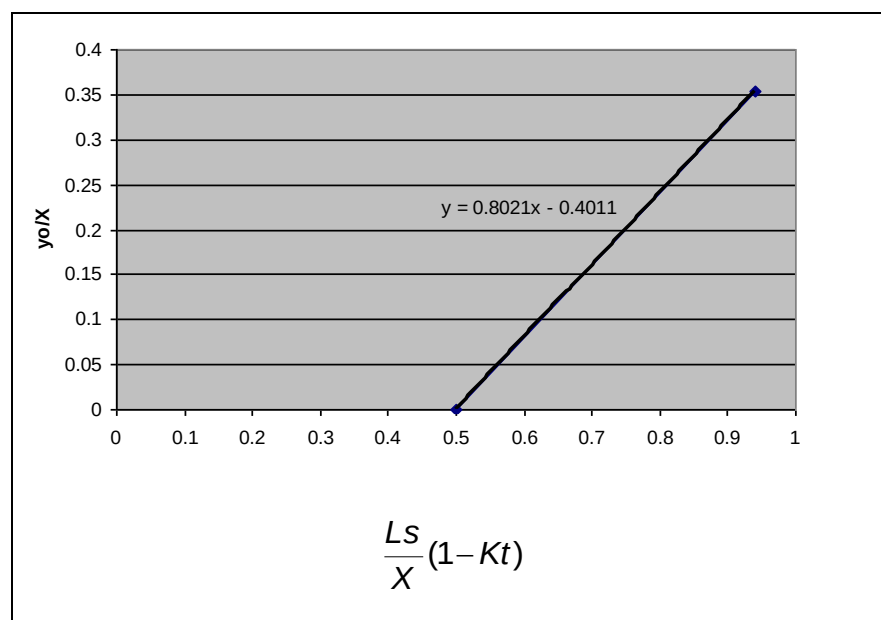
- Dique exento actual
- Tramo sur del dique en T (considerado como exento)
- Tramo norte del dique en T (considerado como exento)

	Dique exento actual	Dique en T tramo sur	Dique en T tramo norte
Ls (m)	200	115	115
X (m)	110	91	122
Kt	0.100	0.199	0.199
$\frac{Ls}{X}(1-Kt)$	1.636	1.012	0.755
Respuesta de la costa	TOMBOLO	SALIENTE PRONUNCIADO	SALIENTE NO PRONUNCIADO

Para valorar el avance real que experimenta la costa al abrigo de estas estructuras teniendo en cuenta su rebasabilidad se ha considerado el parámetro yo/X (yo es el avance de la línea de costa en el saliente y X es, como anteriormente se ha indicado, la distancia del talud interior del dique a la costa original). Relacionando dicho parámetro con el criterio de clasificación de Piulachs se interpola entre los siguientes valores, para la situación teórica en la que no hay respuesta de la costa y la situación en la que se encuentra el dique actual.

	No hay respuesta de la costa	Dique exento =sit.actual
$\frac{LS}{X}(1-Kt)$	0.5	0.94
yo/X	0	0.35
yo (m)	0	60

A partir de los valores de la tabla anterior se obtiene una función polinómica de primer grado a partir de la cual se calculan los valores de yo/X del resto de las estructuras.



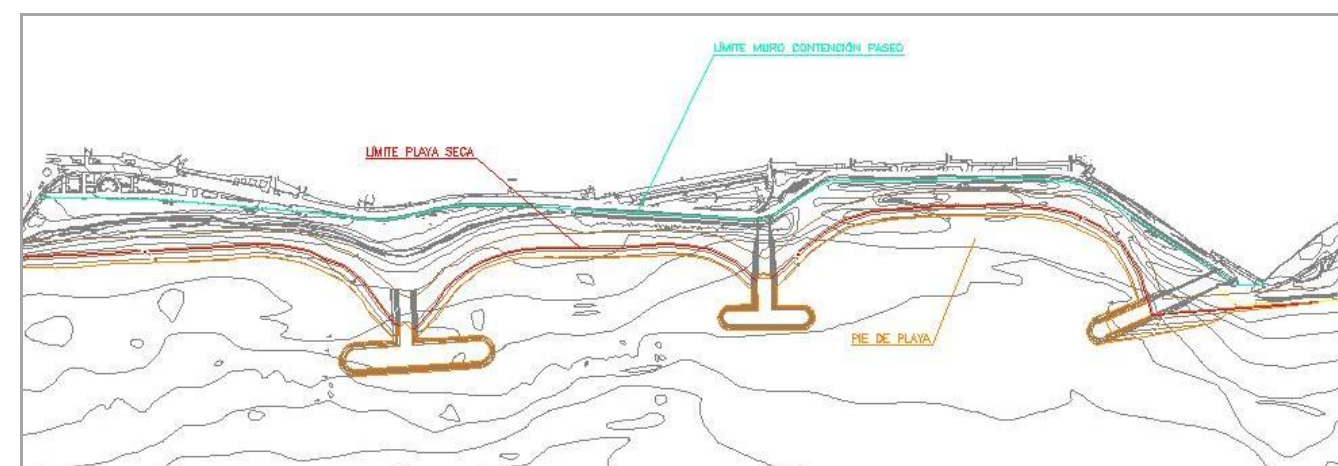
Función de interpolación para obtener yo/X

Los valores resultantes para los salientes que generan las estructuras se muestran en la siguiente tabla.

	Dique en T tramo sur	Dique en T tramo norte
$\frac{LS}{X}(1-Kt)$	1.012	0.755
yo/X	0.41	0.20
yo (m)	37.38	24.95

Salientes provocados por las estructuras
(yo es el avance de la línea de costa en el saliente)

A continuación se muestra el ajuste en planta de las parábolas de Hsu y Evans para la situación futura del frente marítimo de Altea, mostrada en el apartado anterior, corregida por efecto de la rebasabilidad según los cálculos aquí realizados.



Planta de la playa corregida considerando el efecto de la rebasabilidad

En la figura se ha representado la línea de costa futura a efectos de comprobar que se sigue respetando el ancho mínimo de playa seca establecido como criterio de diseño. Asimismo se muestran las obras marítimas proyectadas que servirán de apoyo a la playa futura.

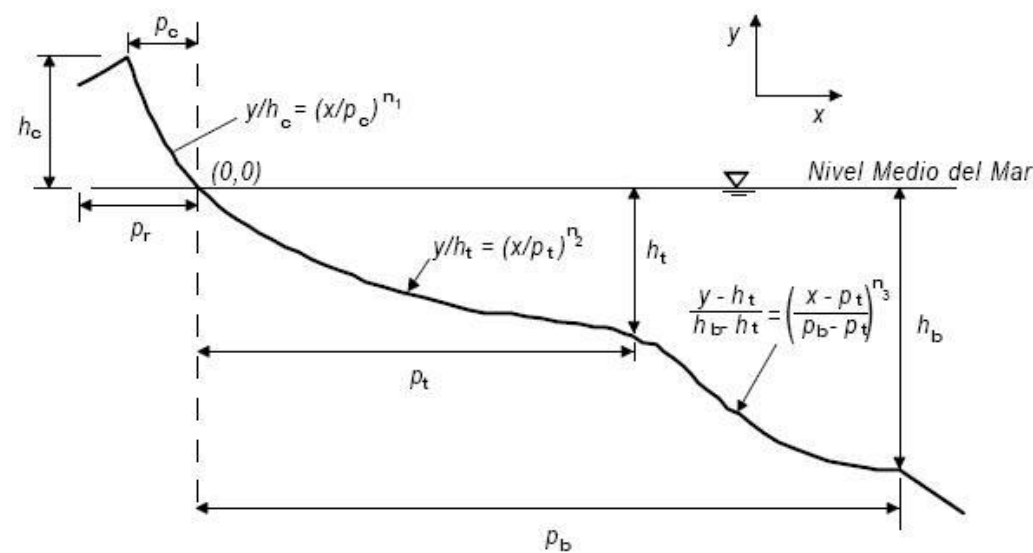
3. DISEÑO EN PERFIL DE LA PLAYA

3.1 PERFIL DE POWELL PARA GRAVAS

Tras las distintas posibilidades en cuanto a la configuración en perfil analizadas en el estudio de alternativas, y dadas las características del sedimento de aportación ($D_{n50} = 15 \text{ mm}$), se ha optado por un perfil de gravas mediante la formulación teórica de Powell, para el cálculo del perfil de equilibrio.

El modelo paramétrico de perfiles de gravas desarrollado por Powell (1990), fue diseñado para simular playas de material grueso como gravas y cantos rodados. En la siguiente figura se muestra un esquema del perfil cuyo rango de aplicación es el siguiente:

$$20 < H_s / \Delta D_{n50} < 250$$



Perfil de Powell (1990)

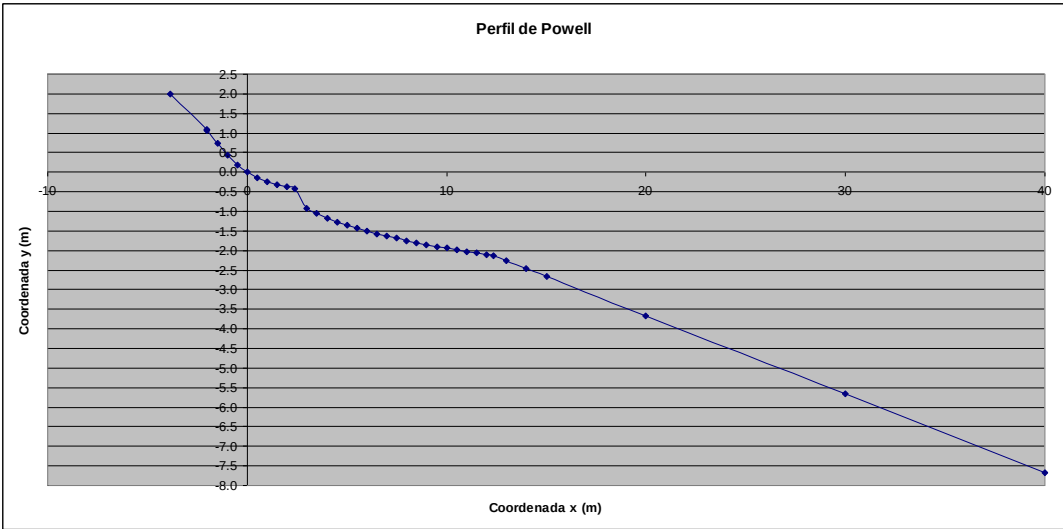
El modelo paramétrico se describe con una serie de ecuaciones, donde las definiciones de los parámetros se muestran en la figura anterior.

La aplicación de este perfil al presente Proyecto arroja los siguientes resultados. Las variables a partir de las cuales se calculan las curvas del perfil son los siguientes.

- ρ_s : densidad del sedimento
- ρ_w : densidad del agua
- H_s : altura de ola significativa
- D_{n50} : diámetro nominal medio del sedimento
- T_m : periodo del oleaje medio

Perfil_Powell			x	y
ρ_s	2.65	t/m3	-3.87	
ρ_w	1.025	t/m3	-2.04	1.09
H_s	0.575	m	-2	1.06
D_{n50}	15	mm	-1.5	0.74
T_m	4.56	s	-1	0.44
Parametros_Perfil_Powell			-0.5	0.18
i	pi (m)	hi (m)	0	0.00
r	-3.87		0.5	-0.15
c	-2.04	1.09	1	-0.24
t	2.38	-0.42	1.5	-0.31
b	12.36	-2.14	2	-0.38
			2.38	-0.42
			3	-0.91
			3.5	-1.06
			4	-1.18
			4.5	-1.28
			5	-1.36
			5.5	-1.44
			6	-1.51
			6.5	-1.57
			7	-1.63
			7.5	-1.69
			8	-1.75
			8.5	-1.80
			9	-1.85
			9.5	-1.89
			10	-1.94
			10.5	-1.98
			11	-2.03
			11.5	-2.07
			12	-2.11
			12.36	-2.14

La forma del perfil teórico para la playa de gravas diseñada es la siguiente, considerado una pendiente 1:5 a partir de la profundidad de cierre del perfil de Powell.

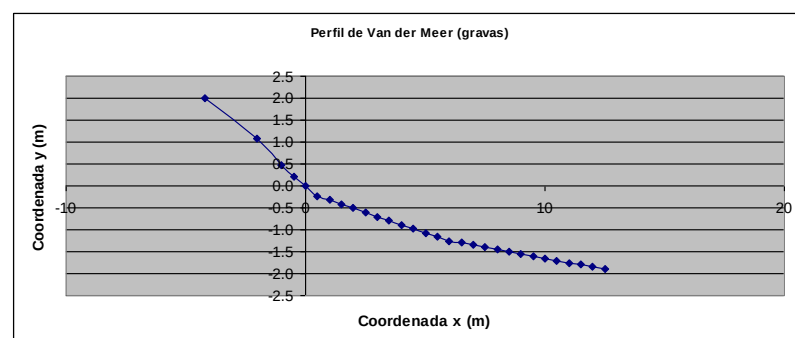


Perfil de equilibrio de gravas (Powell, 1990)

En la playa seca el perfil tendrá una pendiente del 5% entre la cresta del perfil (a la cota +1,09 m) y la cota +2m (cota de coronación de la playa).

3.2 CONTRASTE CON EL PERFIL DE VAN DER MEER PARA GRAVAS

Los resultados obtenidos a partir de la formulación de Powell se han contrastado con los resultados que proporciona la formulación de Van der Meer (1988) para el perfil de playas de gravas frente a temporales.



Perfil de gravas (Van der Meer, 1988)

Las diferencias medias observadas entre los dos perfiles considerados son del orden de sólo 20 centímetros. La diferencia más destacable entre ambos perfiles es que la berma sumergida es ligeramente más pronunciada en el perfil de Powell que en el de Van der Meer.

De cara a la realización de los planos del proyecto y sus mediciones se ha considerado el perfil de Powell anteriormente descrito.

4. RETROCESO DEL PERFIL EN SITUACIÓN DE TEMPORAL

En el presente apartado se ha analizado el comportamiento de la playa frente a temporales mediante el programa LITPROF, el cual calcula el perfil erosionado resultante de la acción de un temporal sobre la playa.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO NUMÉRICO PARA EL CÁLCULO DE RETROCESO DEL PERFIL

El modelo numérico empleado es el LITPROF, el cual define los cambios producidos en el perfil transversal debido a la acción del oleaje sobre el mismo. Este modelo se basa en los siguientes supuestos:

- No se consideran las variaciones hidrodinámicas en el sentido longitudinal.

- Las características del sedimento son uniformes a lo largo de playa.
- Las batimétricas son paralelas a la línea de orilla.

Por todo ello, la morfología costera se describe mediante el perfil transversal de la playa considerando uniformidad longitudinal.

El oleaje como acción preponderante en las variaciones del perfil se definirá en función de su altura de ola significativa, el periodo medio y la dirección media de incidencia. Dicho oleaje sufrirá transformaciones a lo largo del perfil en las que encuentran el asomeramiento, la refracción, la fricción con el fondo y la rotura.

En el caso de incidencia oblicua, la corriente longitudinal se obtiene a partir de las variaciones de las tensiones de radiación. La variación de la turbulencia en la vertical, la tensiones tangenciales y el flujo medio se obtienen teniendo en cuenta la asimetría del movimiento orbital de las ondas, el flujo de masa en las ondas progresivas, los rollers y el setup del oleaje.

La variación del fondo se define mediante la ecuación de continuidad para el sedimento:

$$\frac{\partial z}{\partial t} = - \frac{1}{1-n} \frac{\partial q_s}{\partial x}$$

donde z es la profundidad, n la porosidad del material sedimentario y q_s es el transporte transversal.

Los módulos principales de los modelos de evolución del perfil transversal son los de transformación del oleaje, el de transporte de sedimentos y el morfológico. En este caso, el modelo de transformación de oleaje empleado es el de Battjes y Janssen para oleaje irregular, mientras que para el oleaje regular utiliza los modelos de Andersen y Fredsoe y el de Dally et al.

En relación al modelo morfológico, se basa en el STP_Q3, el modelo sedimentario de aplicación en el sistema LITPACK. Este modelo es desarrollado a partir de los trabajos de Fredsoe, Engelund y Deigaard. A partir de los resultados del modelo de transporte de sedimentos se obtiene la variación del fondo mediante la ecuación de continuidad, según se ha comentado en párrafos anteriores.

4.2 OLEAJE DE PARTIDA

El oleaje de diseño al pie de la playa ha sido definido en el Anejo “Clima marítimo y propagación del oleaje” del presente Proyecto, resultando los siguientes valores, existiendo rotura en todos los casos.

Dirección	Hs pie Playa Roda	Hs pie Playa Charco	Hs pie Playa Norte
ENE	2.55	3.15	2.91
E	2.66	3.12	3.03
ESE	2.62	3.14	2.94
SE	2.56	3.10	2.84
SSE	2.48	3.05	2.75

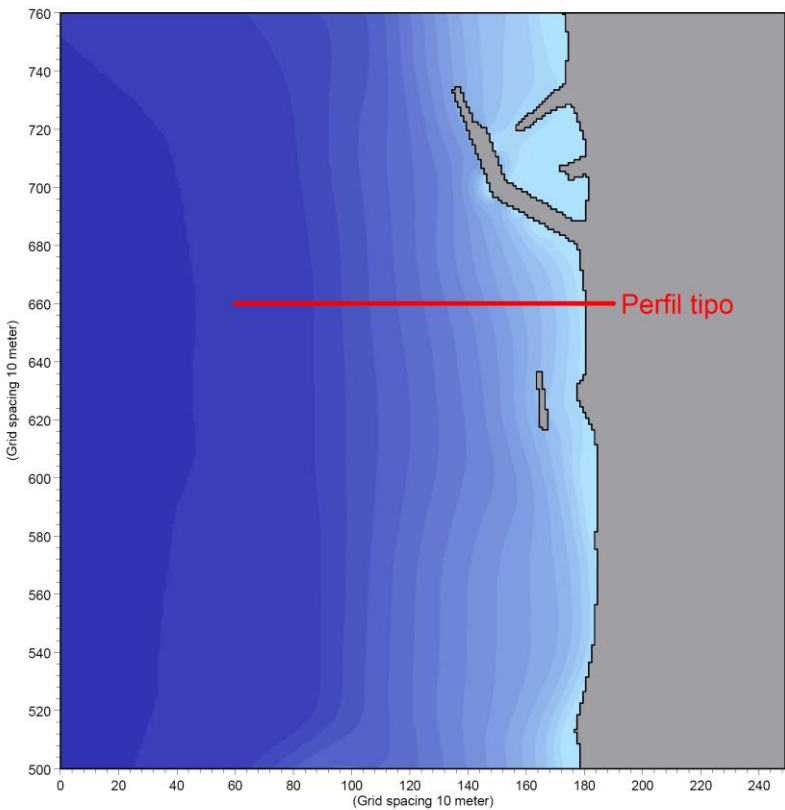
Altura de ola significativa al pie de las playas

Del lado de la seguridad se ha comprobado el retroceso del perfil de playa para un temporal de $T_p = 11s$ y $H_s = 5m$ con incidencia normal.

4.3 PERFIL DE CÁLCULO

4.3.1 PERFIL TIPO ELEGIDO PARA LA MODELIZACIÓN

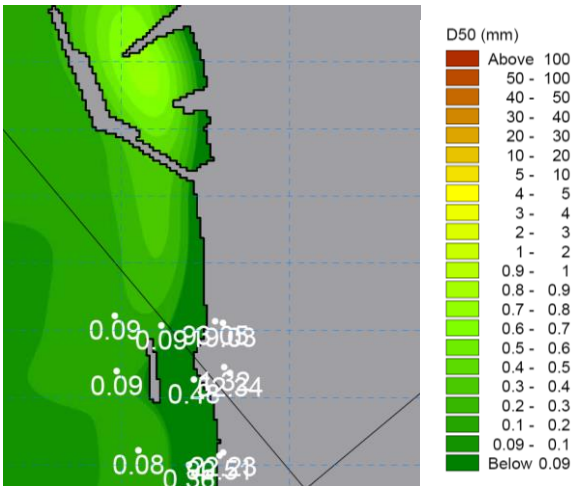
En este caso, dadas las características de la playa, con la presencia del dique exento muy próximo al espigón longitudinal, se ha considerado un perfil tipo situado entre el dique exento y el puerto de Altea. Se ha optado por dicha situación con la intención de tomar un perfil real y que no estuviera afectado por la presencia de las estructuras de protección. La posición del perfil se muestra en la siguiente figura.



Situación del perfil tipo elegido para la modelización

4.3.2 GRANULOMETRÍA DEL PERFIL DE PLAYA

Dado que el tamaño del material de aportación es mayor que del sedimento nativo, para el cálculo del retroceso del perfil se ha tomado la granulometría existente en la actualidad en el perfil batimétrico elegido partiendo del mapa de granulometrías que se muestra en la siguiente figura. Esta zona también es representativa del material existente en la mayor parte de la playa.



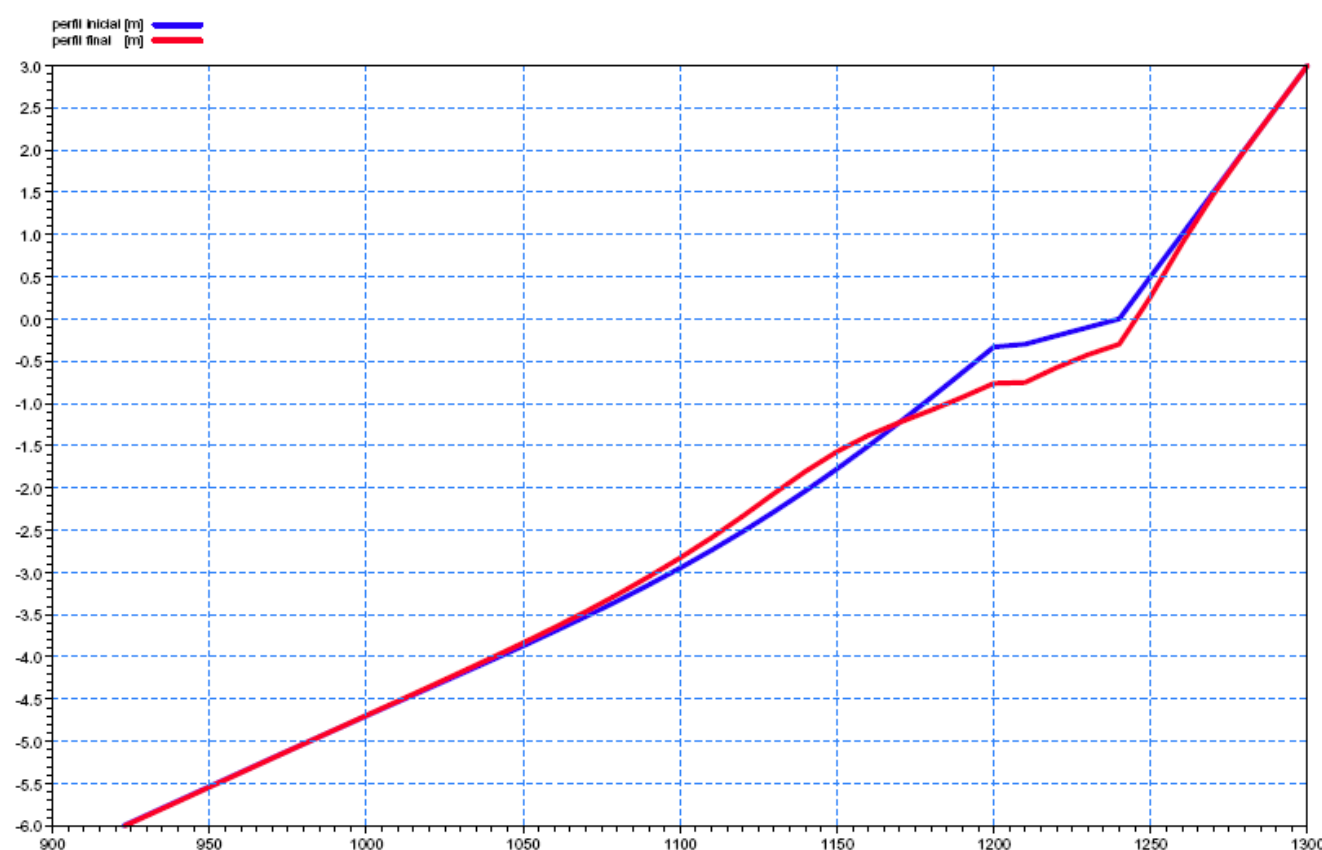
Distribución de D₅₀ [mm]

4.4 MODELIZACIÓN CON LITPROF

A continuación se muestra el resultado de los cálculos realizados. En el siguiente gráfico se observa que el retranqueo de la línea de costa (cota batimétrica 0) para el temporal de diseño considerado es del orden de 15 m.

Del gráfico que se expone a continuación se pueden extraer varias conclusiones:

- La anchura de playa seca disminuye conforme transcurre el temporal, con un retroceso de la línea de costa de 25 m aproximadamente.
- El sedimento procedente de la playa erosionada es depositado en el fondo marino a 150m aproximadamente de la orilla.
- Tanto el oleaje de partida como la profundidad al pie y la granulometría se han tomado del lado de la seguridad, por lo que el resultado es una cota superior del retranqueo de la costa a lo largo del tramo.



Perfil de la playa original y perfil tras temporal

Dado que la playa diseñada tiene una anchura mínima de 40 m, la ocurrencia de un evento de temporal como el considerado no comprometería la estabilidad de la playa. Además, hay que destacar que el temporal de cálculo es menor que el realmente considerado en el modelo de cálculo y la granulometría del sedimento de aportación tiene tamaños mayores que la granulometría del material nativo de la playa, que es la considerada en el cálculo. Por tanto la playa generada será estable en todo el tramo y mantendrá en todo momento su función de protección de la costa.

Para corroborar dicha afirmación, se ha procedido al cálculo de la profundidad de cierre teórica del perfil de playa a partir de las condiciones de oleaje dominantes en este sector de la costa ($H_{s12} = 2.4$ m y $T_s = 12.9$ s), profundidad límite del perfil activo, y comparado la misma con los movimiento del perfil ante evento de temporal.

Las formulaciones teóricas empleadas para el cálculo analítico de la profundidad de cierre son las siguientes:

- *Hallermeier (1981)*

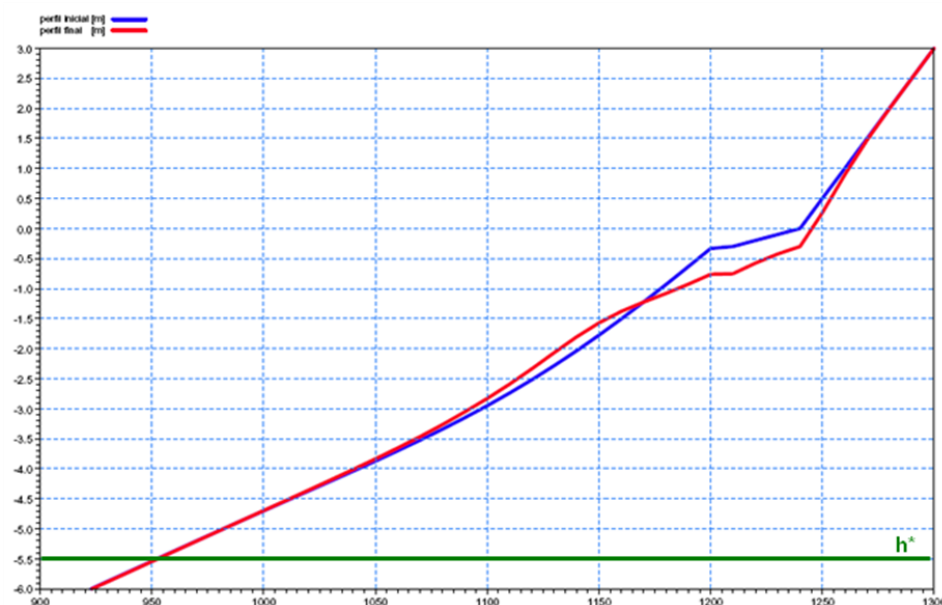
$$h_* = 2.28 \cdot H_{s12} - 68.5 \cdot \left(\frac{H_{s12}^2}{g \cdot T_s^2} \right) = 5.5 \text{ m}$$

- *Birkemeier (1985)*

$$h_* = 1.75 \cdot H_{s12} - 57.9 \cdot \left(\frac{H_{s12}^2}{g \cdot T_s^2} \right) = 4 \text{ m}$$

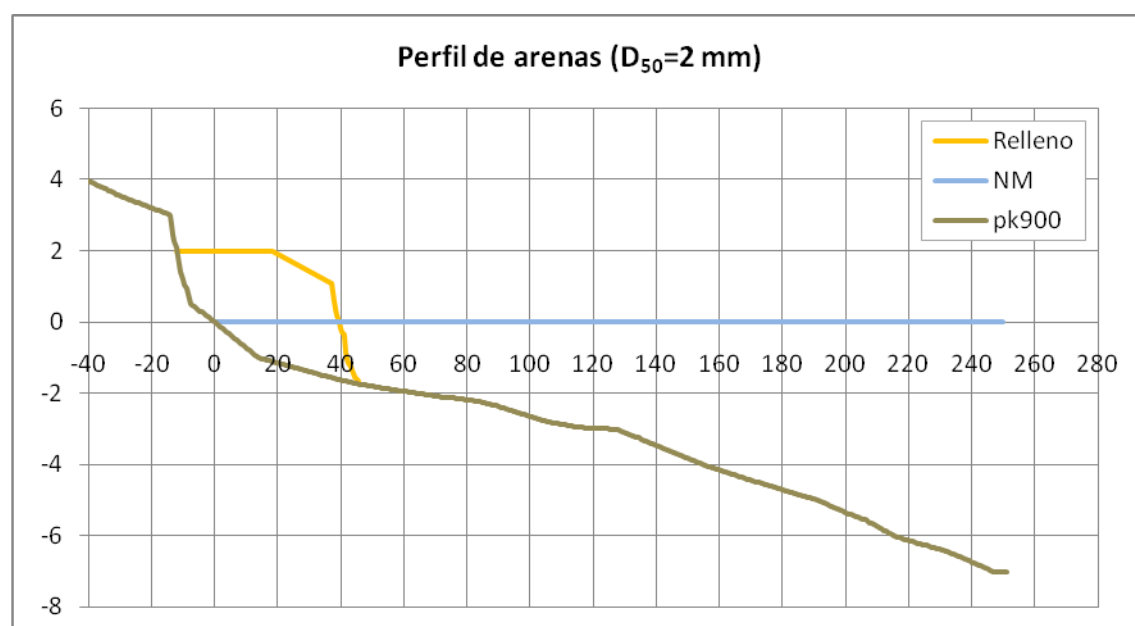
Considerándose la profundidad de cierre obtenida con la expresión de *Hallermeier* más conservadora, y por tanto, del lado de la seguridad.

En base a ésta, los movimientos del material que compone el perfil nativo de la playa observados en los resultados de la simulación con LITPROF, con tamaños de grano (D_{50}) entre 0.09 y 0.4 mm, arenas entre muy finas y medias (*Friedman y Sanders, 1978*), quedan contenidos dentro de la profundidad activa del perfil, no existiendo riesgo de pérdida por fondo.

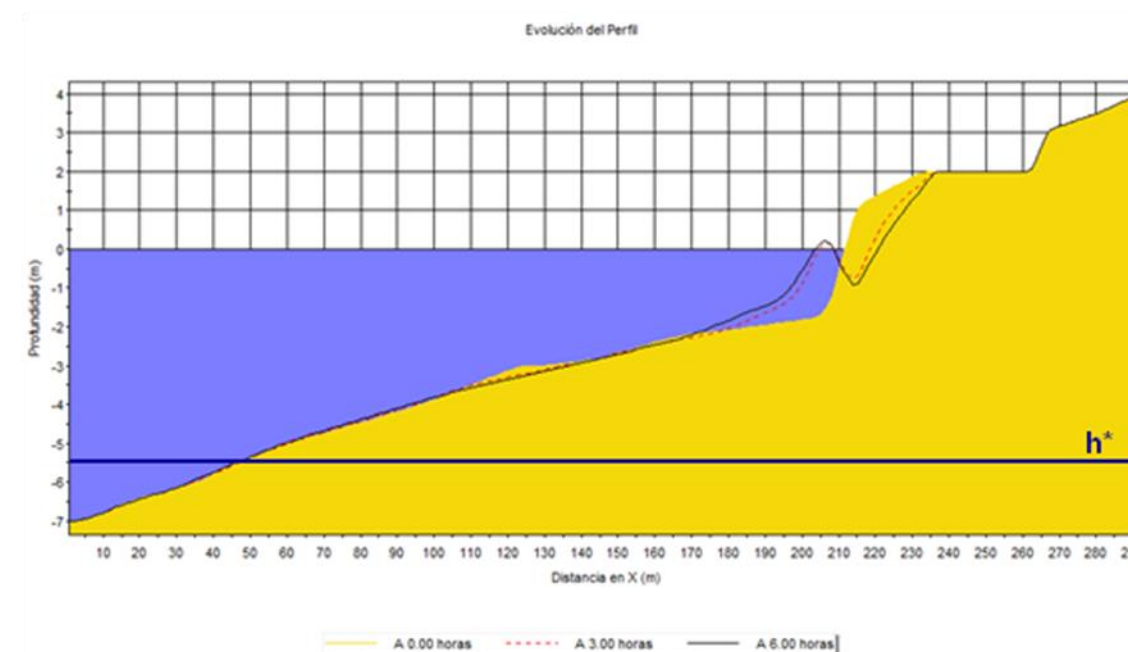


Perfil de la playa original y perfil tras temporal (LITPROF).

Además, como verificación adicional, se ha reproducido el perfil de Powell de diseño de la playa considerando un tamaño medio de grano de 2 mm, límite entre arenas y gravas, y se ha simulado su evolución ante oleaje de temporal mediante el modelo PETRA del SMC (GIOC y Ministerio de Medio Ambiente, 2000), con objeto de analizar la estabilidad de las arenas en la configuración del perfil propuesta para el diseño.


 Perfil de Powell para $D_{50} = 2$ mm sobre el terreno actual (pk900).

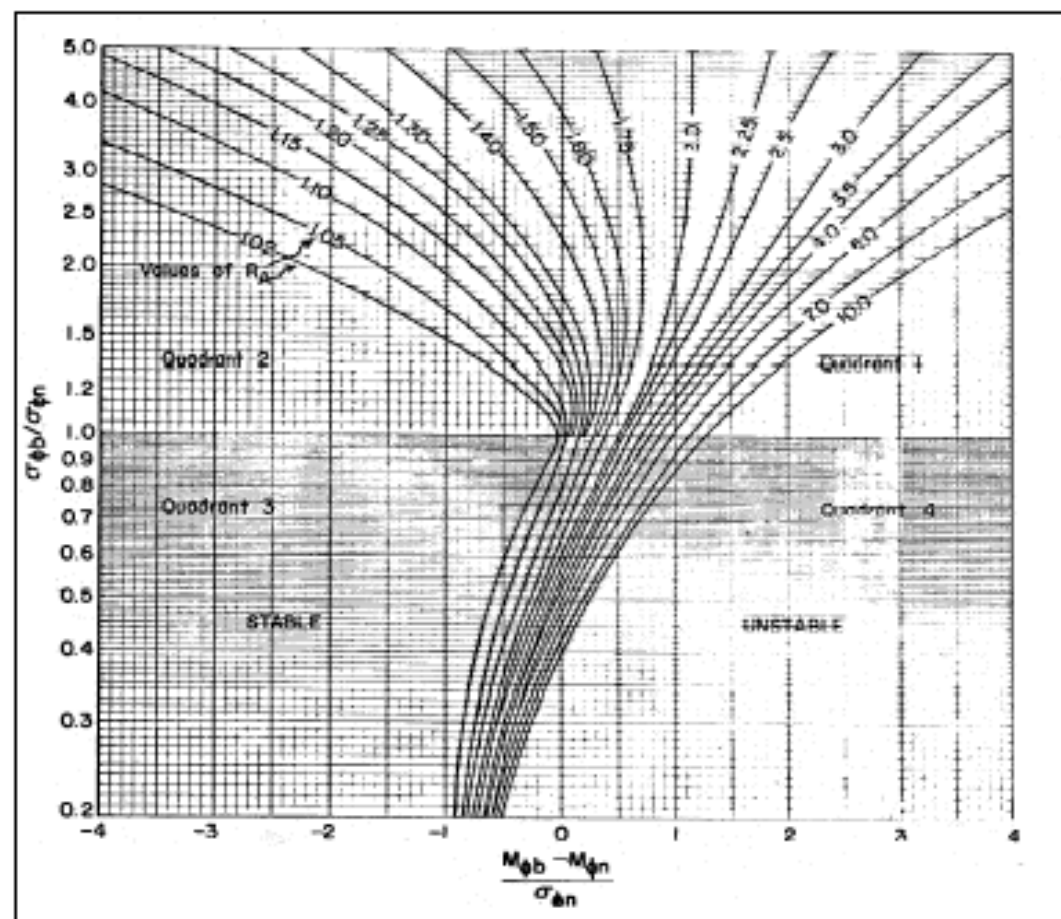
Ratificándose la conclusión alcanzada sobre la estabilidad de las arenas, ya que las oscilaciones del perfil quedan contenidas dentro de la profundidad de cierre.


 Perfil de la playa de diseño para $D_{50} = 2$ mm (amarillo) y perfil tras temporal (línea negra). PETRA.

5. FACTOR DE SOBRERRELLENO

James (1975) desarrolló un procedimiento para tener en cuenta las posibles pérdidas debidas a la inadecuación de la granulometría del sedimento del préstamo a las condiciones para la muestra maestra impuestas por el diseño o por las condiciones de la muestra maestra de arena nativa. Pese a que los resultados de este procedimiento no pueden considerarse cuantitativamente exactos, se ha aplicado en el presente Anejo al objeto de disponer de una orientación cualitativa adicional del funcionamiento de la playa.

Para evaluar el volumen de sedimento necesario de préstamo que se requiere para un volumen determinado de relleno, James definió el factor de sobrerrelleno R_A , como el nº estimado de metros cúbicos de material de préstamo requeridos para producir un metro cúbico de relleno en la playa con unas condiciones granulométricas determinadas por la muestra maestra de la arena nativa o por las condiciones del diseño. El valor del factor de sobrerrelleno se muestra la siguiente figura tomada del Shore Protection Manual (1984).



Ábaco de James para el cálculo del factor de sobrelleno

En el ábaco anterior los parámetros que se disponen en los ejes corresponden a:

$$\sigma_{\phi} = (\phi_{84} - \phi_{16})/2$$

$$M_{\phi} = (\phi_{84} + \phi_{16})/2$$

Los subíndices b y n se refieren al material de préstamo y al nativo respectivamente y los subíndices 84 y 16 hacen referencia al percentil correspondiente en la curva granulométrica expresada en unidades ϕ .

Las unidades ϕ se expresan en función del diámetro del sedimento (D) en mm mediante la siguiente expresión:

$$\phi = -\ln(D)/\ln(2)$$

Los cuadrantes señalados en el ábaco de James con los números 1 a 4 se refieren a la calificación de los materiales de préstamo dada por Hobson (1977), en función de las características del tamaño medio y de la desviación del préstamo y arena nativa:

Cuadrante 1: Material de préstamo más fino y peor graduado que el material nativo

Cuadrante 2: Material de préstamo más grueso y peor graduado que el material nativo

Cuadrante 3: Material de préstamo más grueso y mejor graduado que el material nativo

Cuadrante 4: Material de préstamo más fino y mejor graduado que el material nativo

El material de préstamo previsto es mucho más grueso y está mejor graduado que el material nativo existente en el frente marítimo de Altea por lo que sobre el ábaco de James se sitúa en el *cuadrante 1* y por tanto el factor de sobrelleno a considerar es igual a la unidad.

Es decir, que es previsible que todo el material de aportación dispuesto en la playa permanezca en ésta.

6. EVALUACIÓN DE LA LONGEVIDAD DE LA PLAYA

La siguiente fórmula recogida en el CEM 2003 (V-4-12) relaciona la fracción de volumen que queda en una playa después de haber transcurrido un tiempo (t) desde que se efectuó su regeneración.

Para $1 < p(t) < 0.5$ se tiene la ecuación:

$$p(t) = 1 - \frac{\sqrt{\varepsilon t}}{a \cdot \sqrt{\pi}} \quad (\text{tanto por } 1)$$

Donde:

a: mitad de la longitud de la playa (m)

$$\varepsilon = \frac{K \cdot E_b \cdot Cg_b}{(\rho_s - \rho)(1-n) \cdot g} \cdot \frac{1}{B + h_c} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

K: constante empírica adimensional definida por Valle *et al.* (1993) como

$$K = 1.4 \cdot e^{-2.5 \cdot D_{50}} ; D_{50} \text{ (mm)}$$

E_b : energía total del oleaje en el punto de rotura

$$E_b = 0.125 \cdot \rho \cdot g \cdot H_b^2$$

donde:

ρ : densidad del agua de mar (1025 Kg/m³)

g: aceleración de la gravedad (9,81 m/s²)

H_b: altura cuadrática media (H_{rms}) del oleaje en el punto de rotura

Cg_b: es la velocidad de grupo en el punto de rotura

$$Cg_b = (g \cdot h_b)^{1/2}$$

Donde:

g: aceleración de la gravedad (9,81 m/s²)

h_b: profundidad en el punto de rotura, se estima mediante el criterio de rotura de Mc Cowan (H_b= 0.78·h_b)

n: porosidad

B: altura de la berma de la playa seca (m)

h_c: profundidad del cierre del perfil de la playa (m)

Los datos de partida para el cálculo del parámetro de dispersión, ε , se resumen a continuación:

$$D_{50} = 15\text{mm}$$

$$H_b = 0.575\text{m}$$

$$n = 0.4$$

$$B = 2\text{m}$$

$$h_c = 2.14\text{m}$$

Resultando $\varepsilon = 1.96 \cdot 10^{-18}$.

A partir de la fórmula descrita al comienzo del presente apartado se obtiene el tiempo que tarda en desaparecer la mitad del volumen regenerado (t_{50%}) según la siguiente expresión:

$$\text{Cuando } p(t) = 0.5 \longrightarrow t_{50\%} = \frac{a^2 \cdot \pi}{4 \cdot \varepsilon} \quad (\text{Se mide en s, pasar luego a años})$$

Este parámetro es un indicador de la durabilidad de la regeneración.

En Altea se han diseñado dos playas disjuntas a efectos de transporte sólido longitudinal por lo que se ha obtenido el T_{50%} para cada una de ellas.

La longitud de la futura playa de la Roda es de 1000m mientras que la longitud de la playa a disponer en la ubicación de “El Charco” es de 600m. Resulta, por tanto, que para las dos playas t_{50%} es mayor que 10¹⁵ años, es decir, que la durabilidad de la regeneración a efectos del cálculo aquí realizado es infinita.

Anejo nº 13. Cálculos estructurales.

ANEJO Nº13. CÁLCULOS ESTRUCTURALES

En la redacción del presente Proyecto se han asumido gran parte de los datos, bases y especificaciones contenidas en los proyectos, “PROYECTO DE REHABILITACIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LA FACHADA COSTERA DEL CASCO URBANO DE ALTEA (ALICANTE)”, redactado por KV consultores y “*PROYECTO DE REHABILITACIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LA FACHADA COSTERA DEL CASCO URBANO DE ALTEA (PARTE MARITMIA). T.M. DE ALTEA (ALICANTE)*”, redactado por IBERPORT CONSULTING por encargo de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	DISEÑO DE LAS OBRAS MARÍTIMAS	1
2.1	CRITERIOS DE PARTIDA	1
2.2	DIMENSIONAMIENTO DEL MANTO DE PROTECCIÓN	1
2.2.1	FORMULACIÓN DE HUDSON PARA DIQUES NO REBASABLES.....	1
2.2.2	FORMULACIÓN DE VAN DER MEER PARA DIQUES NO REBASABLES	2
2.2.3	FORMULACIÓN DE VIDAL PARA DIQUES REBASABLES	2
2.3	RESULTADOS OBTENIDOS	4
2.4	CONCLUSIÓN	4

1. INTRODUCCIÓN

En el presente Anejo se han realizado los cálculos justificativos de la estructura marítima proyectada consistente en un dique en “L” localizado en el límite entre las celdas sur y centro.

2. DISEÑO DE LAS OBRAS MARÍTIMAS

2.1 CRITERIOS DE PARTIDA

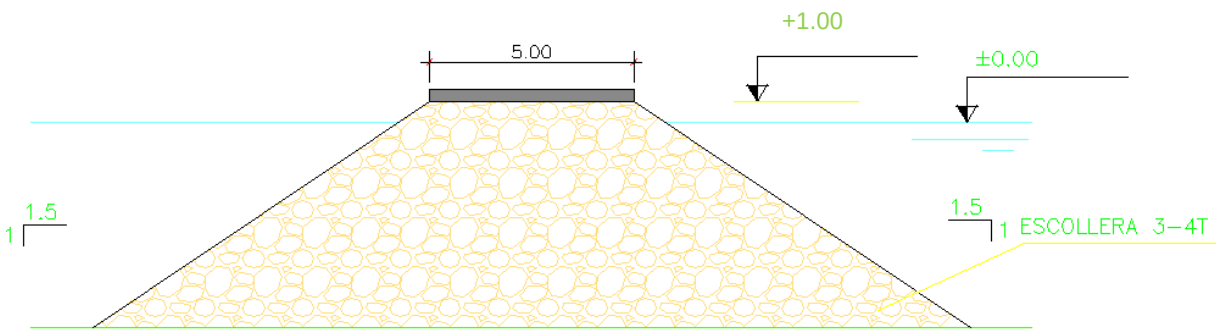
En este apartado se detallan los cálculos justificativos de la obra marítima diseñada. Esta estructura consiste en un dique en “L” situado en el límite entre las celdas centro y sur, construido a partir del dique exento existente actualmente.

La tipología del dique diseñado es la de diques en talud de baja cota (estáticamente estables). Este dique estará constituido por escollera en toda su sección. La cota de coronación es +1.00 puesto que debe ser rebasable.

El dique en L se ha diseñado de tal forma que el tramo perpendicular a la costa provoca la discontinuidad en el transporte litoral entre las celdas centro y sur. El tramo de dique paralelo a la playa servirá de protección a la playa de la celda sur.

El cálculo realizado ha sido el cálculo del peso de las escolleras constituyente del dique. El oleaje de diseño ha sido definido en el Anejo “Clima marítimo y propagación del oleaje”. Como normativa de referencia se ha considerado la ROM 0.5/94 y la ROM 0.3/91.

A continuación se incluye una sección tipo del dique en L:



Sección tipo del dique en L

2.2 DIMENSIONAMIENTO DEL MANTO DE PROTECCIÓN

Para el cálculo del peso de la escollera del manto principal en los distintos tramos se ha utilizado la formulación de Vidal para diques rebasables aplicada a partir de los resultados para diques no rebasables de Hudson y Van der Meer. Dichas formulaciones se muestran a continuación.

2.2.1 FORMULACIÓN DE HUDSON PARA DIQUES NO REBASABLES

Según Hudson, el peso de un elemento de escollera en el manto principal de un dique en talud sigue la siguiente ecuación:

$$W_{50} = \frac{\gamma \cdot H_D^3}{K_D \cdot \cot g \alpha \cdot \left(\frac{\gamma}{\gamma_w} - 1 \right)^3}$$
$$H_D = \min \left(H_{\frac{1}{10}} ; H_b \right); H_{\frac{1}{10}} = 1.27 \cdot H_{\frac{1}{3}}$$

donde:

W_{50} peso medio de los elementos de escollera (t).

γ peso específico de la escollera (t/m³).

γ_w densidad del agua (t/m³).

K_d coeficiente de estabilidad, que adopta un valor específico según el tipo de elemento considerado.

α ángulo de inclinación del talud.

El valor de K_d se obtiene de la siguiente tabla, siendo el valor empleado en los cálculos $K_d=2$.

Tipo de cantos	num. capas	Colo- cacion	C. del dique		Morro del dique		
			Kd Rota	No Rota	Kd Rota	No rota	Talud cotg(@)
Escollera. Nat.							
Lisa red.	2	Rand.	1.2	2.4	1.1	1.9	1.5 a 3.0
Lisa red.	>3	Rand.	1.6	3.2	1.4	2.3	
Rug. ang.	2	Rand.	2.0	4.0	1.9	3.2	1.5
					1.6	2.8	2.0
					1.3	2.3	3.0
Rug. ang.	>3	Rand.	2.2	4.5	2.1	4.2	
Rug. ang.	2	Espc.	5.8	7.0	5.3	6.4	
Tetrapo. y Quadrip.	2	Rand.	7.0	8.0	5.0	6.0	1.5
					4.5	5.5	2.0
					3.5	4.0	3.0
Triabar	2	Rand.	9.0	10.0	8.3	9.0	1.5
					7.8	8.5	2.0
					6.0	6.5	3.0
Triabar	1	Unif.	12.0	15.0	7.5	9.5	
Dolos	2	Rand.	15.8	31.8	8.0	16.0	2.0
					7.0	14.0	3.0
Cubo	2	Rand.	5.5	6.0	4.0	5.0	1.5
							2.0
							3.0
Cub. Mod.	2	Rand.	6.5	7.5		5.0	
Hexap.	2	Rand.	8.0	9.5	5.0	7.0	
Acrop.	1	Rand.	10.0	12.0	7.0	9.0	1.33
Beta	2	Rand.	7.0	8.5	5.0	6.5	2.0
Toskane	2	Rand.	11.0	22.0			

donde:

- H_s altura de ola significativa (m).
- Δ densidad relativa.
- D_{n50} lado equivalente de las piezas de escollera.
- N número de olas
- N_{od} número de olas para el inicio de daños
- S_{om} peralte de las olas.
- ξ parámetros de similitud de la rompiente
- ξ_c número crítico de Iribarren
- P porosidad

2.2.2 FORMULACIÓN DE VAN DER MEER PARA DIQUES NO REBASABLES

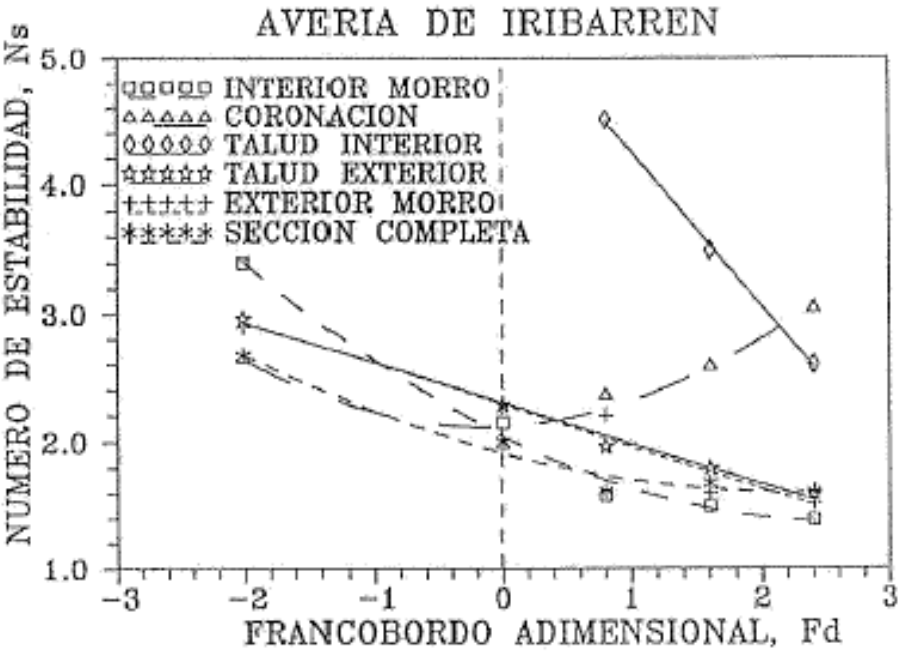
Según Van der Meer, el peso de un elemento de escollera en un dique en talud sigue la ecuación:

$$\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} \cdot \sqrt{\xi_z} = 6.20 \cdot P^{0.18} \cdot \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.20}; \xi \leq \xi_c$$
$$\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} = 1.00 \cdot P^{-0.13} \cdot \sqrt{\cot g \alpha} \cdot \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.20} \cdot \xi_z^P; \xi \geq \xi_c$$
$$\xi_c = \left(6.20 \cdot P^{0.31} \cdot \sqrt{\tan \alpha}\right)^{\frac{1}{P+0.50}}$$
$$\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} = \left(6.70 \cdot \frac{N_{od}^{0.40}}{N^{0.30}} + 1.00\right) \cdot s_{om}^{-0.10}$$

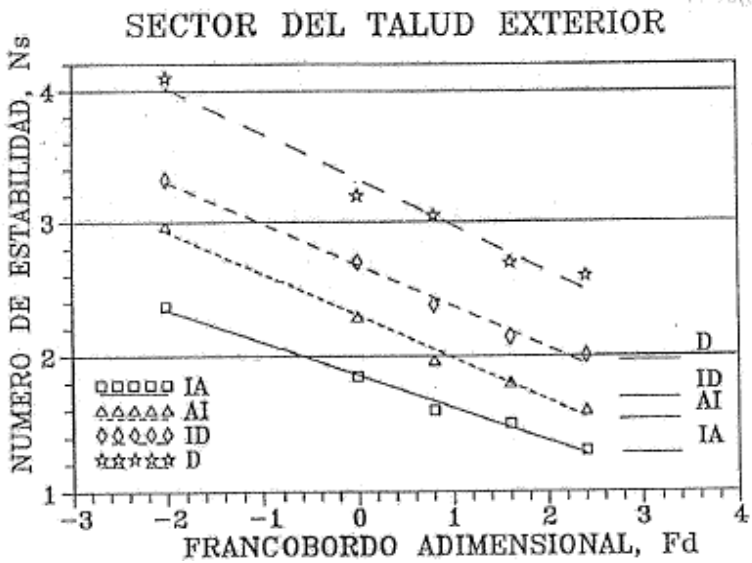
2.2.3 FORMULACIÓN DE VIDAL PARA DIQUES REBASABLES

La influencia del francobordo en la estabilidad de los diques rebasables fue analizada por Vidal et al. (1992,1994a).

La experimentación de Vidal viene recogida en una serie de ábacos que relacionan el número de estabilidad (N_s) o número de Hudson y el francobordo adimensional (F_d) para las distintas partes del dique: talud exterior, coronación, talud interior, sector exterior del morro y sector interior del morro.



Curvas de estabilidad para la variación de N_s con F_d . Comparación de todos los sectores para avería de Iribarren



Talud exterior. Curva de variación de N_s con F_d . Inicio de avería

Las curvas de variación del número de estabilidad con el francobordo adimensional son parábolas de segundo grado con coeficientes A, B y C para cada uno de los sectores y nivel de daño que vienen recogidos en la siguiente tabla:

Sector	Avería	Límite experimental de F_d	A	B	C	Francobordo de no rebase F_{dnr}
IM	IA	-2.01 a 2.41	1.681	-0.474	0.1050	2.40
	AI		2.046	-0.499	0.0913	2.41
	ID	-0.01 a 2.41	2.517	-0.536	0.0613	3.15
	D		3.027	-0.756	0.120	3.90
EM	IA	-2.01 a 2.41	1.839	-0.363	0.0105	2.40
	AI		2.331	-0.320	-0.0173	2.41
	ID	-0.01 a 2.41	2.802	-0.278	-0.0382	3.15
	D		3.062	-0.262	-0.0494	3.90
TI	IA	-2.01 a 2.41	2.575	-0.540	0.115	---
	AI	0.80 a 2.41	5.628	-1.459	0.0837	---
	ID	1.60 a 2.41	8.669	-2.272	---	---
C	IA	-2.01 a 2.41	1.652	0.0182	0.159	---
	AI		2.122	0.0434	0.150	---
	ID	-2.01 a 1.00	2.734	0.123	0.177	---
	D		3.21	0.0965	0.175	---
TE	IA	-2.01 a 2.41	1.831	-0.245	0.0119	2.40
	AI		2.256	-0.320	0.0189	2.41
	ID	-2.01 a 2.41	2.650	-0.313	0.0129	3.15
	D		3.237	-0.357	0.0357	3.90

Parámetros de ajuste para las curvas $N_s = A + BF_d + CF_d^2$ para cada sector de los diques rebasables o sumergidos y nivel de avería

Estos ajustes están referidos a una geometría de dique dada: escolleras con talud $\cot \alpha = 1.5$, núcleo permeable de escollera. Para calcular el peso de las piezas del manto principal de los diferentes sectores de un dique cualquiera es necesario asumir dos hipótesis adicionales:

1. Para un nivel de daño dado, la relación entre los números de estabilidad de un sector cualquiera de un dique correspondientes a dos francobordos relativos es una constante.
2. Para un nivel de avería y francobordo dados, la relación entre el número de estabilidad del talud exterior y el de coronación o el del talud interior de un dique rebasable sólo depende del ángulo de los taludes.

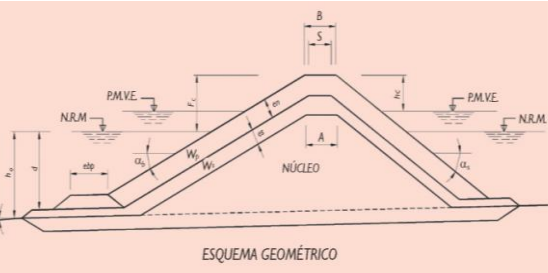
Con estas dos hipótesis, se asume que la dependencia de la estabilidad del tipo de piezas y ángulo de talud es la misma que la del sector utilizado como referencia, que será el talud exterior de los diques no rebasables.

2.3 RESULTADOS OBTENIDOS

Del lado de la seguridad se ha considerado una marea meteorológica de 0,25m.

A continuación se muestran los resultados obtenidos del peso de la escollera para el nuevo dique en L:

CÁLCULO DE DIQUES EN TALUD (MÉTODO DE VAN DER MEER)			
COLORES UTILIZADOS	CELDA A RELLENAR	ELDAS CON RESULTADO	CELDA CON OTROS CÁLCULOS
DATOS PREVIOS SELECCIONADOS			
PROFUNDIDAD EN MORRO DEL DIQUE (m)	4,05		
CARRERA DE MAREA (m)	0,25		
PERIODO DE RETORNO ASOCIADO A LA ACTUACIÓN T (años)	67		
Hs ALTURA DE OLA DE DISEÑO ASOCIADA A T (m)	3,15		
PESO ESPECÍFICO DE LA ESCOLLERA (t/m3)	2,70		
PESO ESPECÍFICO DEL AGUA DE MAR (t/m3)	1,03		
TALUD DEL ESPIGÓN ELEGIDO 3H/2V	33,69		
COTA DE CORONACIÓN DEL MANTO (m)	1,00		
COTA DE CORONACIÓN DEL NÚCLEO (m)	variable		
ANCHURA DEL NÚCLEO EN CORONACIÓN > 3,5m	5,00		
PERÍODO SIGNIFICANTE Ts	12,95		



DATOS NECESARIOS DEL MODELO DE VAN DER MEER			
ÍNDICE DE DAÑOS (S)	2,50	según proyecto	
Nº DE IRIBARREN (Im)	6,08		
Tg del ángulo que forma el manto con la horizontal α:	0,67		
Cotg del ángulo que forma el manto con la horizontal α:	1,50		
Longitud de onda en aguas profundas L (m)	261,84		
Duración del temporal N (nº de olas)	1.000,00	según proyecto	
Porosidad aparente o permeabilidad P	0,60		
Nº DE IRIBARREN crítico (Im, crítico)	3,78		

Porosidad P	
0,1	Filtro+2capas
0,4	Filtro+núcleo+2capas
0,5	Núcleo+2capas
0,6	Sin filtro ni núcleo

CARACTERÍSTICAS DEL MANTO			
Tipos de rotura según el valor del nº de Iribarren:			
- VOLTEO:			
Im ≤ 1 m, crítico			
- COLAPSO:			
Im > 1 m, crítico			
	Densidad relativa Δ	1,62	
SI ROTURA POR VOLTEO:			
	Dn50	1,41	
SI ROTURA POR COLAPSO:			
	Dn50	0,84	
Densidad del material del manto principal γr (t/m3):	2,70		
Coef. Adimensional (función del material, nº capas y rotura) K :	2,00		
Densidad del agua de mar γw (t/m3):	1,03		
Cotg del ángulo que forma el manto con la horizontal α:	1,50		
PESO DE LOS MATERIALES DEL MANTO EN EL TRONCO DEL ESPIGÓN (t):	1,61		
PESO DE LOS MATERIALES DEL MANTO EN EL MORRO DEL ESPIGÓN (t):	2,42		

TIPO DE ELEMENTO DEL MANTO	COEFICIENTE MULTIPLICADOR OLA ROTA	COEFICIENTE MULTIPLICADOR OLA NO ROTA
Escollera redondeada lisa	1,25 ± 1,35	1,25 ± 1,40
Escollera rugosa angular	1,20 ± 1,50	1,25 ± 1,70
Cubo	1,50	1,50
Bloque	1,50	1,50
Tetrapodo	1,20 ± 1,30	1,25 ± 1,35
Tribar	1,20 ± 1,30	1,15 ± 1,20
Dolo	1,50	1,50
Cubo modificado	1,55	1,55
Hexápodo	1,65	1,35
Antifer perforado	1,30 ± 2,60	1,30 ± 2,60
Cubo perforado	1,30 ± 2,60	1,30 ± 2,60
Acrópodo	1,30	1,30
Ecópodo	1,30	1,30
Core-lac	1,30 ± 1,50	1,30 ± 1,50
Beta	1,40 ± 1,50	1,40 ± 1,50

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 6,2 \cdot S^{0,2} P^{0,18} N_t^{-0,1} \xi_m^{-0,5} \quad \text{Plunging waves : } \xi_m < \xi_{mc} \quad (VI-5-68)$$
$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1,0 \cdot S^{0,2} P^{-0,13} N_t^{-0,1} (\cot \alpha)^{0,5} \xi_{vm}^{P_{vm}} \quad \text{Surging waves : } \xi_m > \xi_{mc} \quad (VI-5-69)$$
$$\xi_m = s_m^{-0,5} \tan \alpha \quad \xi_{mc} = \left(6,2 P^{0,31} (\tan \alpha)^{0,5} \right)^{1/(P+0,5)}$$

Para el coeficiente multiplicador del morro escogemos 1,5, que cumple tanto para ola rota como no rota, según la tabla anterior.

$$W_{morro} = K \cdot W_{tronco}$$

Los resultados de la aplicación de la formulación de Vidal sobre las formulaciones de Van der Meer, son los siguientes:

Manto Vidal (Van der Meer ESCOLLERA)	Dique en L
Número de olas N	1000
Daños S	2.5
Porosidad P	0,6
Tronco (t)	1,61
Morro (t)	2,42

Peso de los elementos de escollera aplicando la formulación de Vidal sobre formulación de Van der Meer

2.4 CONCLUSIÓN

En conclusión, el dique se ha dimensionado para la formulación de Vidal aplicada sobre Van der Meer, ya que los pesos teóricos obtenidos se ajustan en mayor medida a los pesos reales de elementos de escollera. Asimismo, hay que indicar que, a pesar de que los resultados obtenidos en los cálculos indican un peso de la escollera entre 1 y 2,5 t, los pesos seleccionados para la escollera a emplear son de 3 a 4 t debido a que se empleará escollera reutilizada procedente del desmantelamiento del dique existente en la zona del aparcamiento y parte también del actual dique en T situado entre la playa de La Roda y la Playa de L’Espigó, lo cual deja la estabilidad del dique del lado de la seguridad.

Alicante, junio de 2018.

EL AUTOR DEL PROYECTO:
FDO.:

Jaime Alonso Heras
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos