ANEJO Nº 6. PRUEBAS PRACTICADAS

ANEJO Nº 6.1.ESTUDIO DE INUNDABILIDAD

INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)
C/ Cañadilla 6, local 68, C. Comercial Coronado, Las Rozas de Madrid 28231, Madrid
Pza. de la Montañeta 4, entresuelo, 03001 Alicante
Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es

ESTUDIO DE INUNDACIÓN EN UN TRAMO DE COSTA DE UNOS 40 METROS SITUADO EN EL EXTREMO OESTE DE LA PLAYA DE PUNTA BELA, EN EL T.M. DE MAZARRÓN (MURCIA)

INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)
C/ Cañadilla 6, local 68, C. Comercial Coronado, Las Rozas de Madrid 28231, Madrid
Pza. de la Montañeta 4, entresuelo, 03001 Alicante
Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es

INDICE

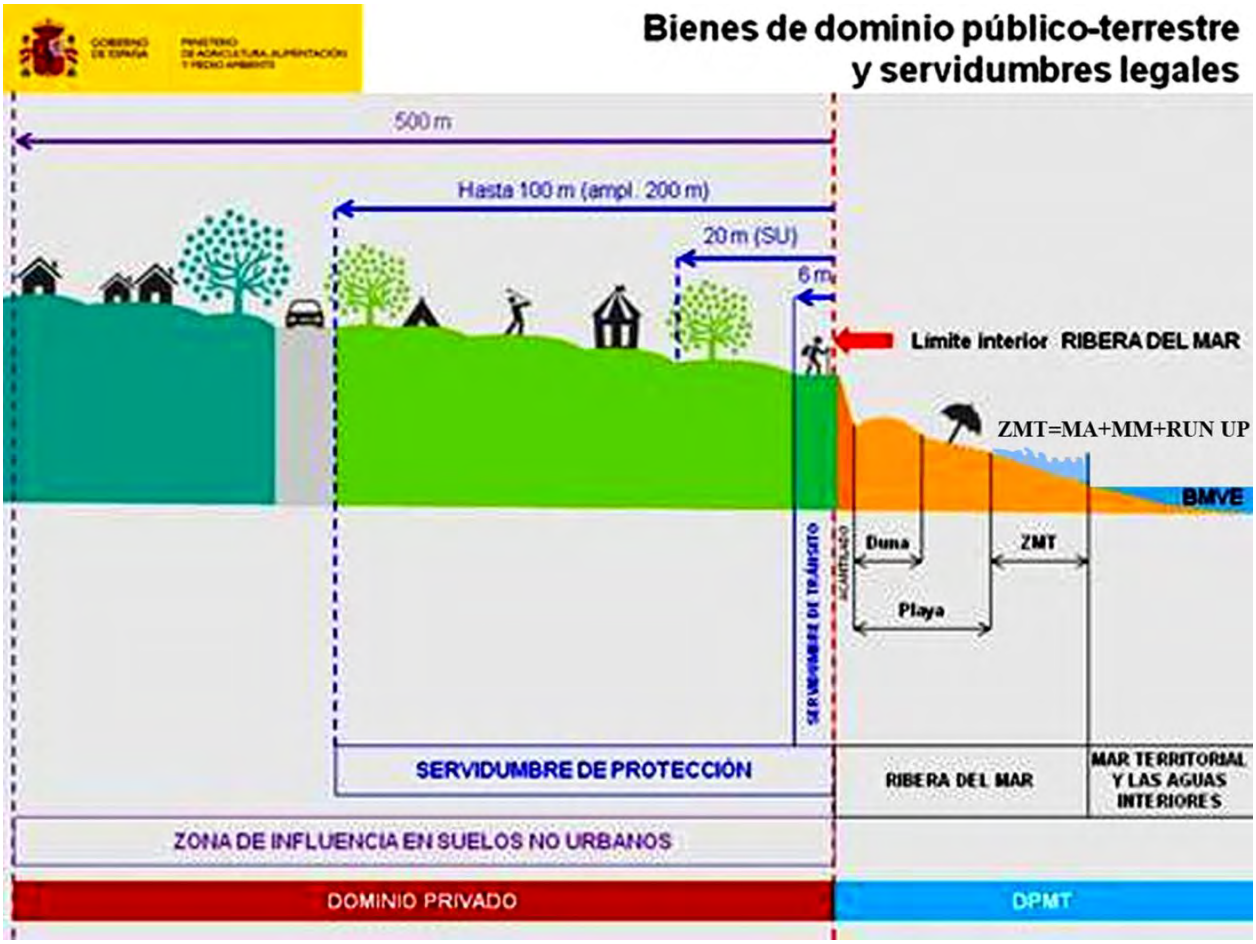
1. INTRODUCCIÓN: ZONA DE ESTUDIO Y ASPECTOS GENERALES DE LA METODOLOGÍA APLICADA……..…… Pag 1
2. ANÁLISIS DE LOS DATOS DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN……. Pag 9
   2.1. ANÁLISIS DE DATOS DEL OLEAJE Y CLIMA MARÍTIMO..…..…….. Pag 10
   2.2. ANÁLISIS DE LOS MÁXIMOS NIVELES DEL MAR EN EL PERÍODO DE ESTUDIO……... Pag 24
3. PROPAGACIÓN DEL OLEAJE……... Pag 30
   3.1. PRIMERA FASE: DESDE LA BOYA O PUNTO GEOGRÁFICO FUENTE DE DATOS DE MODELOS NUMÉRICOS, HASTA PROFUNDIDADES INDEFINIDAS, SEGÚN LOS SECTORES PRINCIPALES DE INCIDENCIA……. Pag 30
   3.2. SEGUNDA FASE: DESDE PROFUNDIDADES INDEFINIDAS HASTA PIE DE COSTA….. Pag 31
4. CÁLCULOS DE RUN-UP Y COTAS DE MÁXIMA INUNDACIÓN…… Pag 108
5. PLANOS DE LOS RESULTADOS…….….. Pag 142

INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)
C/ Cañadilla 6, local 68, C. Comercial Coronado, Las Rozas de Madrid 28231, Madrid
Pza. de la Montañeta 4, entresuelo, 03001 Alicante
Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es

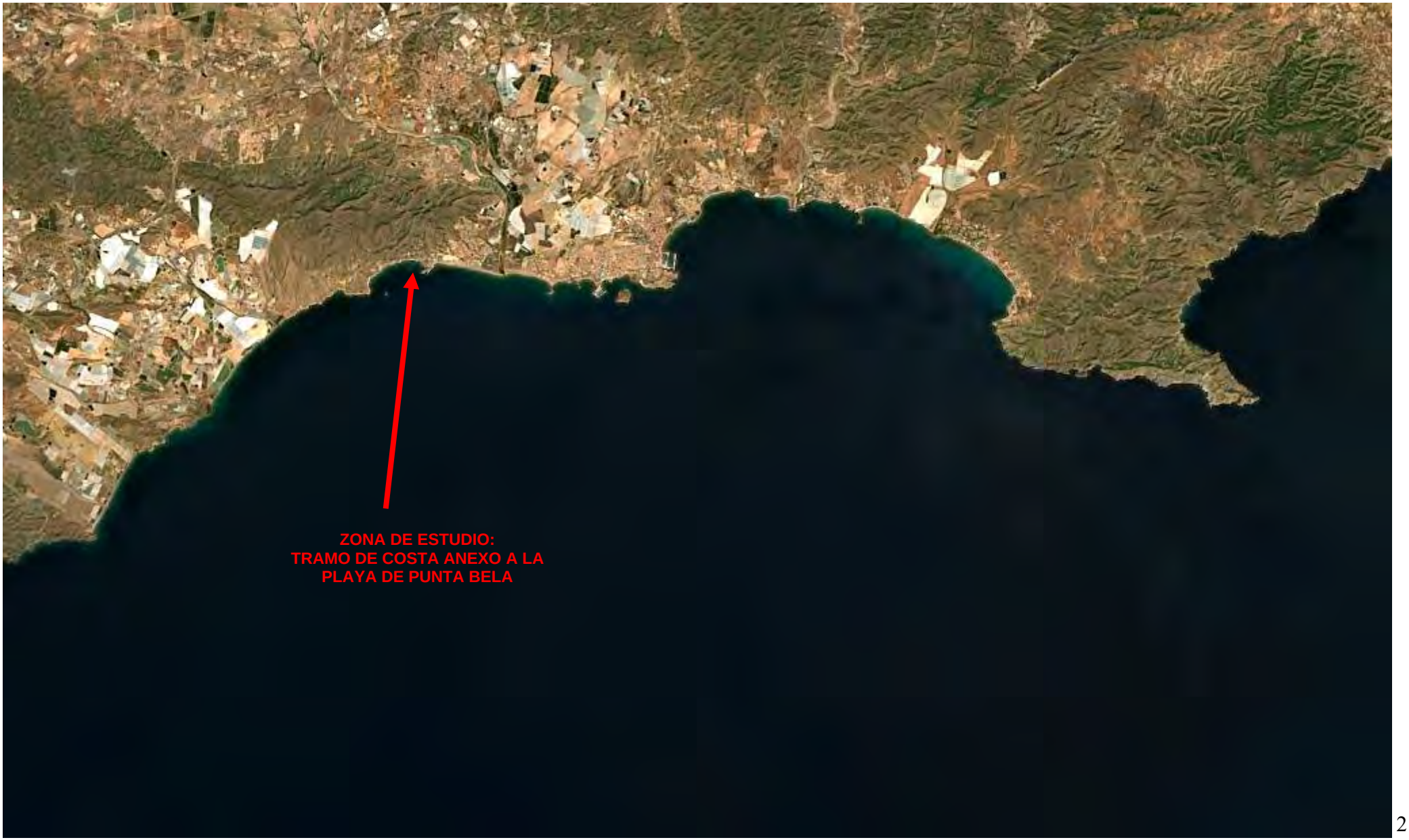
1. INTRODUCCIÓN: ZONA DE ESTUDIO Y ASPECTOS GENERALES DE LA METODOLOGÍA APLICADA

En el presente estudio se obtendrá el límite interior de la zona marítimo terrestre (en adelante Z.M.T.) con los nuevos criterios establecidos en los artículos 4.1.a y 4.1.b del Reglamento General de Costas modificado por el Real Decreto 668/2022, de 1 de agosto, en el tramo de costa de unos 40 metros situado en el extremo oeste de la Playa de Punta Bela, término municipal de Mazarrón (Murcia).

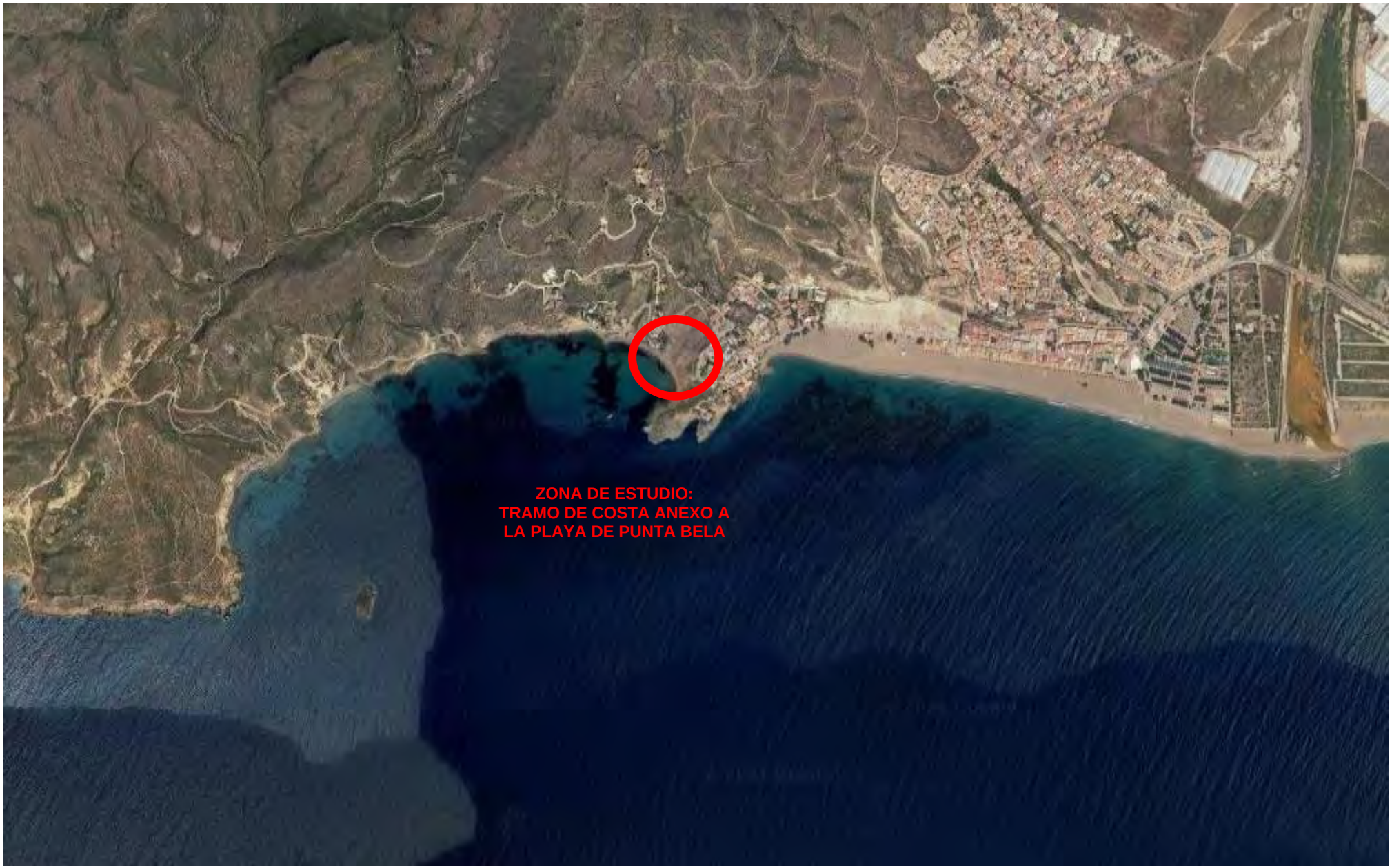
.



INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)
C/ Cañadilla 6, local 68, C. Comercial Coronado, Las Rozas de Madrid 28231, Madrid
Pza. de la Montañeta 4, entresuelo, 03001 Alicante
Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es



INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)
C/ Cañadilla 6, local 68, C. Comercial Coronado, Las Rozas de Madrid 28231, Madrid
Pza. de la Montañeta 4, entresuelo, 03001 Alicante
Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es

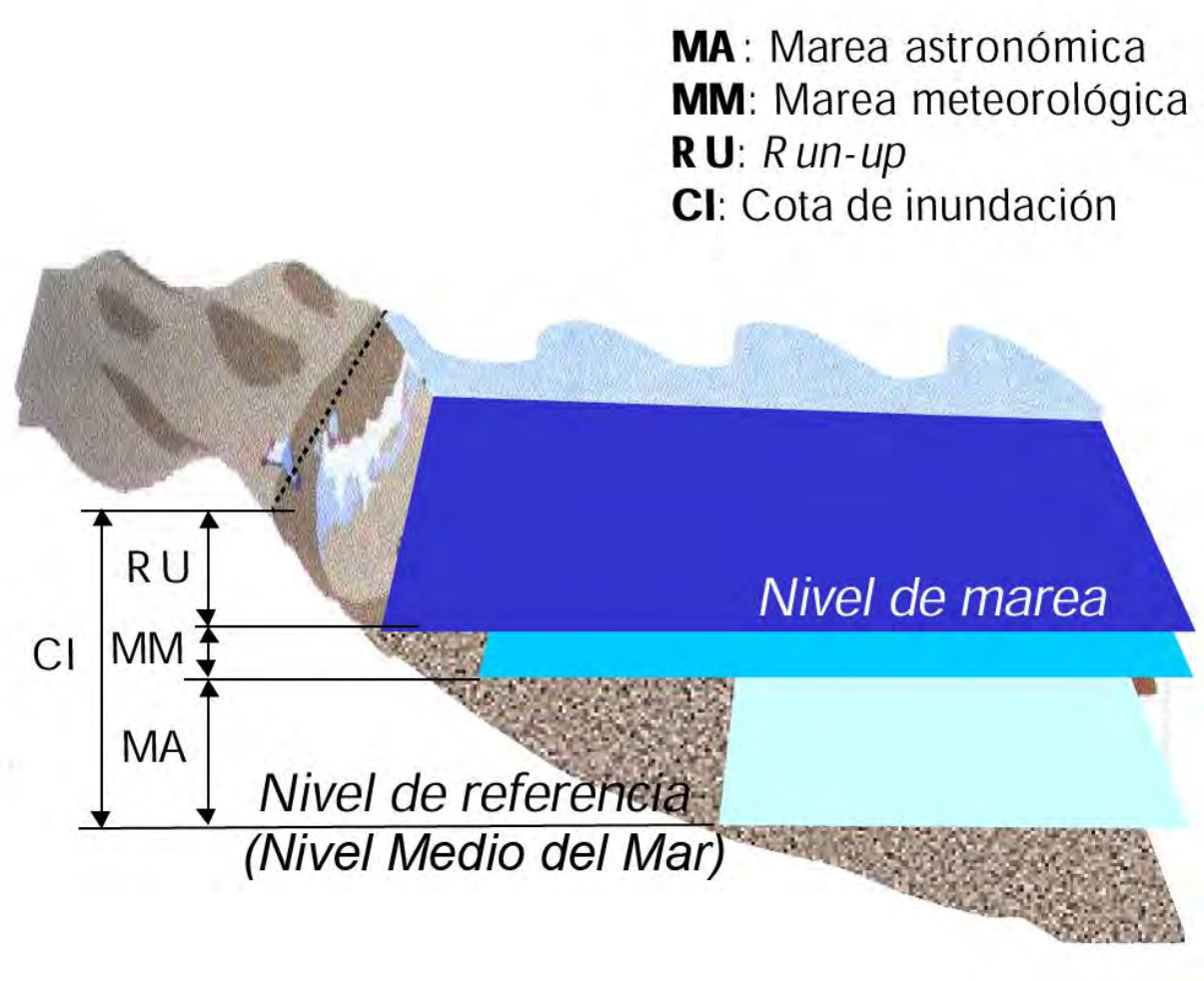


La determinación del nivel de alcance de oleajes en las distintas tipologías comunes de los frentes de costa por acción de la dinámica marina y meteorológica, resulta un procedimiento complejo, tanto por el gran número de elementos que intervienen en el proceso de inundación, como por la interacción entre dichos elementos.

Sobre la base de los textos legales, Ley de Costas de 22/1988, de 28 de julio, modificada por la 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 y del Reglamento General de Costas modificado por el Real Decreto 668/2022, de 1 de agosto, y teniendo en cuenta aspectos metodológicos elaborados por el anterior Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en colaboración con el G.I.O.C. (Universidad de Cantabria) para la estimación del oleaje a pie del frente costero, se ha confeccionado un procedimiento con el que se han realizado los estudios para la determinación de la cota de máxima inundación en el tramo de costa de unos 40 metros situado en el extremo oeste de la Playa de Punta Bela, término municipal de Mazarrón (Murcia).

:

- Con carácter general, para el cálculo de cota de máxima inundación sobre el relieve costero ordinario, se considera que el frente de costa está caracterizado en un instante determinado por un nivel de marea (NM) compuesto por la marea astronómica y la marea meteorológica (MA+MM) y una batimetría. Sobre dicho nivel de marea se encuentra el oleaje que, en función de sus características y de la batimetría del frente del litoral, se propaga hacia la costa. Al alcanzar la costa, el oleaje rompe sobre la superficie morfológica del frente, produciéndose un movimiento de ascenso de la masa de agua a lo largo del perfil del elemento morfológico que encuentre en su avance tierra adentro por el perfil emergido que se denomina run-up (RU). Todos estos factores están relacionados entre sí, además de la interacción entre los elementos (oleaje-batimetría-nivel de marea-ascenso). El episodio de alcance de los oleajes y la determinación de dicho nivel en la superficie de las distintas variedades morfológicas de los frentes de costa, podría esquematizarse según el siguiente gráfico:



- En el presente caso además, al tratarse de una zona de estudio que se encuentra en un tramo de costa acantilada, en la que las formulaciones de run-up corresponden a los modelos de remonte sobre estructuras que no incluyen en la cota calculada el set-up o sobreelevación del nivel medio del mar en la zona de rompientes, se deberá adicionar al nivel mareal y al run-up, el set-up correspondiente al estado de mar de cálculo, para la obtención la máxima elevación alcanzada por el oleaje.

- La cota de máximo alcance, se evaluará a partir de los datos procedentes de medidas proporcionados por los instrumentos de medición de Puertos del Estado, de los mareógrafos pertenecientes a la Red REDMAR, de las boyas de la Red REDEXT de la costa murciana o en su defecto de las más cercanas según la disposición de los instrumentos de medición de Puertos del Estado, así como de los datos de los Puntos Simar cuando se consideren más adecuados por lejanía de instrumentos de medición.

- Los datos de los mareógrafos proporcionarán los niveles de marea astronómica y marea meteorológica (residuo), y los datos de las boyas y puntos Simar proporcionarán los parámetros del suceso de oleaje a partir de los cuales se realizarán los cálculos para la estimación de la sobreelevación por oleaje debida al run-up.

- En cumplimiento de la legislación vigente, y en concreto de lo establecido en el Reglamento General de Costas modificado por el Real Decreto 668/2022, de 1 de agosto, la determinación del límite interior de la zona marítimo terrestre, deberá realizarse conforme a los siguientes criterios técnicos especificados en la nueva redacción del artículo 4:
  "«Artículo 4. Criterios técnicos para la determinación de la zona marítimo-terrestre y de la playa.
  En la determinación de la zona marítimo-terrestre y de la playa, con arreglo a las definiciones contenidas en el artículo anterior, se tendrán en cuenta los siguientes criterios:
  a) Para fijar el límite hasta donde alcanzan las olas en los mayores temporales conocidos, se considerarán las variaciones del nivel del mar debidas a las mareas y el oleaje desde que existan registros de boyas o satélites, o datos oceanográficos o meteorológicos. Para calcular el alcance de un temporal se utilizarán las máximas olas registradas o calculadas con esos datos.
  b) Las variaciones del nivel del mar debidas a las mareas incluirán los efectos de las astronómicas y de las meteorológicas. No se tendrán en cuenta las ondas de mayor periodo de origen sísmico o de resonancia cuya presentación no se produzca de forma secuencial."

- A efectos de cumplir con los anteriores criterios técnicos establecidos reglamentariamente, se deberán obtener los alcances de oleajes e inundaciones máximos en función de los registros de la máxima serie histórica disponible, a cuyo efecto se realizará un análisis de las series históricas de datos reales de oleajes de las boyas de la Red REDEXT y de los Puntos Simar más próximos a la zona de estudio, a partir de los cuales se obtendrán los datos para determinar el temporal que cumpla con este precepto legal de máximos. Para la determinación del máximo alcance (cota máxima), se realizarán los cálculos y estimaciones del run-up con los parámetros de los mayores temporales, a los que se sumarán los niveles mareales reales registrados por

los mareógrafos de la Red REDMAR, determinándose el nivel máximo del período de estudio de datos disponibles.

- A modo genérico, la propagación del oleaje calculado en los Puntos Simar se realizará en una única fase, a partir de los datos de las bases de datos de Puertos del Estado correspondientes a dichos Puntos: Una vez obtenido el régimen direccional en aguas profundas, se realizarán las propagaciones considerándose las direcciones principales de procedencia del oleaje respecto a la batimetría de las zonas de estudio para obtener así la caracterización del oleaje a pie de costa (en el comienzo de la zona de rompientes), a partir de la selección de los datos proporcionados por Puertos del Estado (instrumentos de medición y Puntos Simar) de los estados de mar que por sus parámetros de oleaje, tendrán mayor incidencia en la zona de estudio. Dicha propagación se realizará con simuladores informáticos basados en modelos numéricos, con el módulo Oluca-SP del programa MOPLA, del paquete informático SMC 2.5 del I.H. de la Universidad de Cantabria, con los siguientes fundamentos y condiciones de ejecución.

    - el oleaje asociado a un estado de mar se define a partir de un espectro bidimensional, el cual se localiza en el contorno exterior del dominio (mar adentro), componiéndose dicho espectro de un espectro frecuencial y una función de dispersión de dirección.

    - Las ecuaciones utilizadas en este modelo numérico informático para modelar la propagación del oleaje, consideran los siguientes fenómenos:

        - Asomeramiento
        - Refracción por fondo
        - Difracción
        - Presencia de corrientes
        - Disipación de energía (capa límite laminar, capa límite turbulenta en fondo, fondo poroso y disipación por rotura)
        - Rotura
        - Dispersión por amplitud.

- ◊ Para la ejecución de este software de simulación computacional del oleaje en su propagación basado en modelos numéricos, se debe disponer de una batimetría de la zona de estudio en formato digital, con la máxima resolución fundamentalmente en profundidades reducidas y zona de rompientes.

- En el caso concreto del presente estudio del tramo de costa de unos 40 metros situado en el extremo oeste de la Playa de Punta Bela, término municipal de Mazarrón (Murcia), se tomarán los datos del Punto Simar 2068090, dada su cercanía a la zona de estudio y teniendo en cuenta que en las direcciones de procedencia de principal afectación a la zona.

- Todos los trabajos han sido desarrollados sobre una base topobatimétrica-batimétrica de detalle, con un MDT de alta resolución obtenido a partir de un levantamiento Lídar de alta densidad Lídar (0,5-1 punto cada m^2) en la parte emergida, y a partir de la batimetría de equidistancia de isobatas 1 m. de la Dirección General de la Costa y del Mar (Ecocartografía, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico) completada hasta profundidades indefinidas con datos de proveedores de batimétricos (Navionics, Emodnet), a partir de la cual el software de modelado realiza sus ejecuciones informáticas de propagación de oleaje, y asimismo a partir de la cual se han obtenido los distintos parámetros de la morfología del frente de costa y zona de rompientes, necesarios para los cálculos posteriores a las propagaciones basados en formulaciones semiempíricas de run-up.

- A partir de dicho modelo topo-batimétrico el software de modelado ha realizado sus ejecuciones informáticas de propagación de oleaje, y asimismo a partir se han obtenido los distintos parámetros de la morfología del frente de playa y zona de rompientes, necesarios para los cálculos posteriores a las propagaciones basados en formulaciones semiempíricas de run-up.

2. ANÁLISIS DE LOS DATOS DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Con el objetivo de cumplir con los nuevos preceptos legales establecidos en el nuevo Reglamento General de Costas modificado por el Real Decreto 668/2022, de 1 de agosto, en relación a la definición del alcance de los mayores temporales conocidos en la zona de estudio, del T.M. de Salou, establecidos en su artículo 4 en cuanto a los criterios técnicos para la determinación de la zona marítimo-terrestre

"Tres. El artículo 4 queda redactado como sigue:

«Artículo 4. Criterios técnicos para la determinación de la zona marítimo-terrestre y de la playa.

En la determinación de la zona marítimo-terrestre y de la playa, con arreglo a las definiciones contenidas en el artículo anterior, se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

a) Para fijar el límite hasta donde alcanzan las olas en los mayores temporales conocidos, se considerarán las variaciones del nivel del mar debidas a las mareas y el oleaje desde que existan registros de boyas o satélites, o datos oceanográficos o meteorológicos. Para calcular el alcance de un temporal se utilizarán las máximas olas registradas o calculadas con esos datos.

b) Las variaciones del nivel del mar debidas a las mareas incluirán los efectos de las astronómicas y de las meteorológicas. No se tendrán en cuenta las ondas de mayor periodo de origen sísmico o de resonancia cuya presentación no se produzca de forma secuencial."

o meteorológicos"

se han recopilado los datos históricos de las fuentes de Puertos del Estado tanto de oleaje como de mareas, a partir de los Puntos Simar con posicionamiento óptimo en función de las direcciones de procedencia con mayor incidencia en la zona de estudio, habiéndose obtenido niveles de marea astronómica y marea meteorológica (residuo) del mareógrafo de Almería 3545 situado en la zona de ampliación del Muelle de Poniente del puerto de Almería, de la Red REDMAR, así como los parámetros de la serie histórica de estados de mar del Punto Simar 2068090, ambos fuentes de Puertos del Estado para la obtención de los temporales que serán objeto de propagación y cálculo del nivel de inundación que cumple con la condición reglamentaria de máximo alcance en el máximo período conocido disponible de registros de datos de oleajes y mareas.

2.1. ANÁLISIS DE DATOS DEL OLEAJE Y CLIMA MARÍTIMO

Dada su proximidad a la zona de estudio y su posicionamiento relativo eminentemente Sur en relación al tramo, el Punto Simar 2068090 cuenta con una ubicación idónea para valorar los oleajes de procedencia del sector direccional con componente S que serán los de mayor incidencia sobre el frente de costa del tramo de costa de unos 40 metros situado en el extremo oeste de la Playa de Punta Bela, término municipal de Mazarrón (Murcia). En consecuencia se han tomado los datos del Punto Simar 2068090 de la red de Puertos del Estado, como fuentes de los parámetros de los estados de mar que se estudiarán.

INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)
C/ Cañadilla 6, local 68, C. Comercial Coronado, Las Rozas de Madrid 28231, Madrid
Pza. de la Montañeta 4, entresuelo, 03001 Alicante
Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es



Los datos de identificación del Punto Simar son los siguientes:

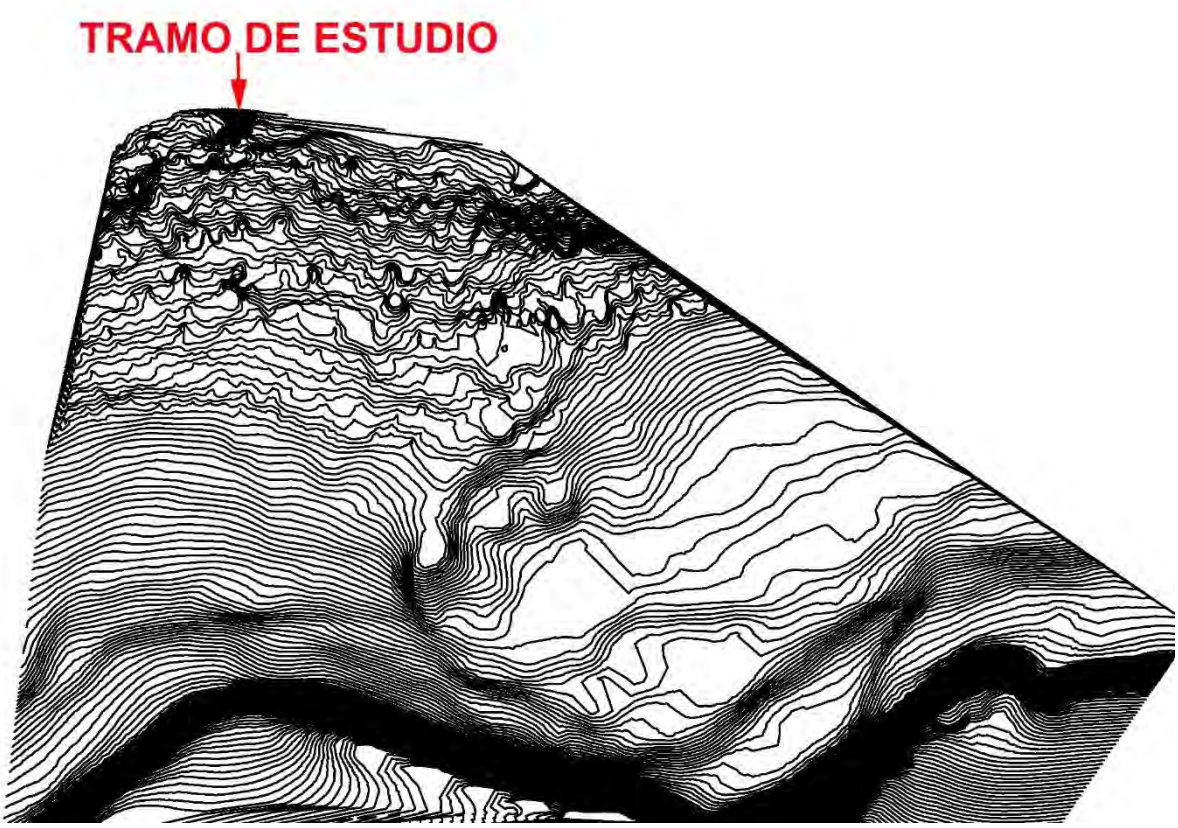
Punto Simar 2068090	
Longitud	1.33° O
Latitud	37.50° N
Coordenadas U.T.M., ETRS89, H30	X=647350, Y= 4151650
Código	2068090
Cadencia	60 min
Malla	AIB
Conjunto de datos	REDEXT

En función de las distintas orientaciones del frente de costa de estudio cercana a la playa de Punta Bela y de la batimetría desde el punto de propagación, se debe realizar un análisis del clima marítimo y de las direcciones de procedencia del oleaje que incidirán en el tramo de estudio, y en función de las mismas proceder al análisis de los datos de parámetros de temporales considerando el sector direccional con mayor repercusión. Por ello en primera instancia se realiza un primer análisis de las direcciones de procedencia con posible afectación por oleaje en el tramo de costa de estudio.

La zona de estudio por su ubicación dentro de la bahía de Mazarrón, tiene las principales direcciones de procedencia del oleaje fundamentalmente en el sector direccional con componente S en función de la orientación de la costa y la disposición de las isobatas de la batimetría en rompientes e intermedias, si bien según se avanza hacia profundidades indefinidas y posiciones longitudinales hacia mar abierto, la disposición de las isobatas presentan una tendencia de cambio de disposición hacia SE, lo cual amplía el rango del sector direccional con incidencia en el tramo de estudio teniendo en cuenta la procedencia desde indefinidas y el viraje de los frentes de oleaje por el fenómeno de la refracción, a un sector direccional desde el entorno ESE al entorno SSW. A este efecto, se ha comprobado con el software de simulación de propagación basado en modelos numéricos que las oleajes de las direcciones con dirección de procedencia del entorno del sector ESE (se ha comprobado con dos oleajes espectrales de dirección de procedencia 97º), también tienen incidencia en el tramo de estudio, constatándose que tras simular los efectos del fenómeno de refracción sobre el MDT topo-batimétrico hasta la zona de estudio, los frentes de oleaje van modificando el ángulo de procedencia original ajustándose dichos frentes del oleaje en su aproximación a la

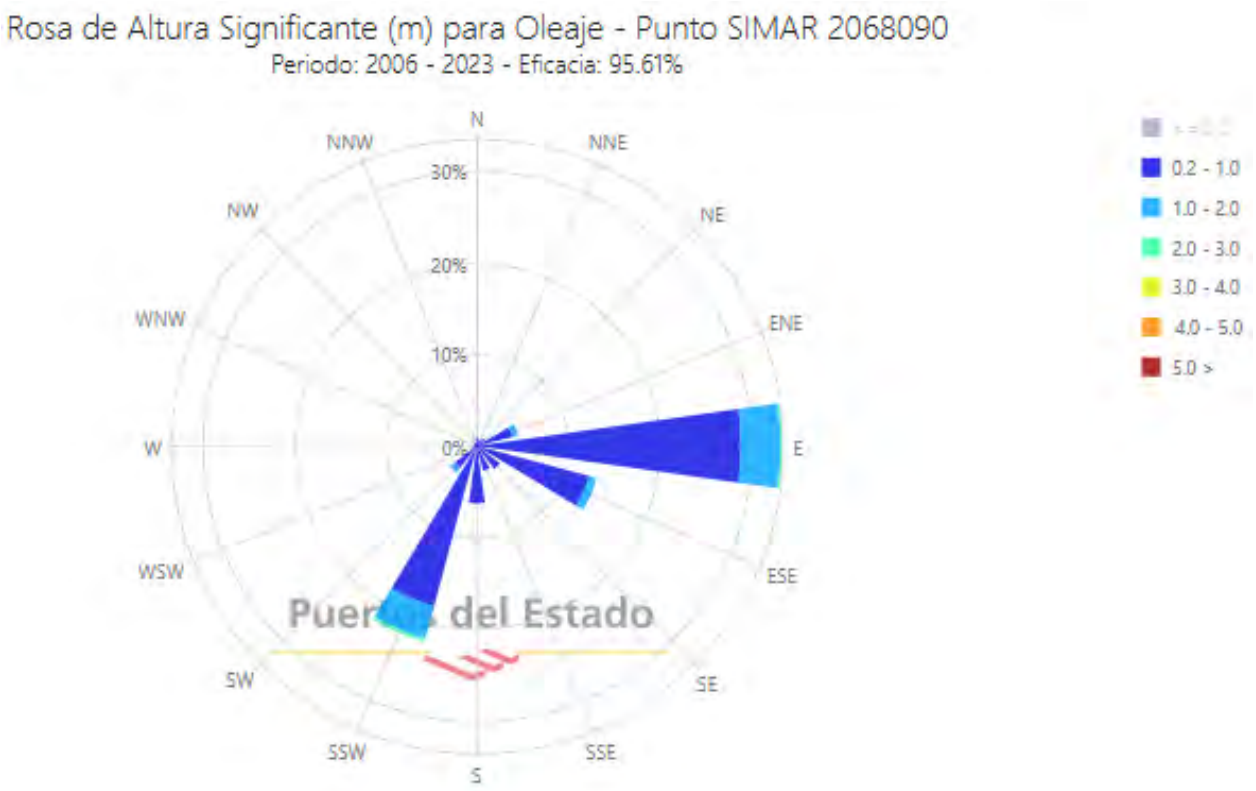
costa a posiciones de mayor paralelismo con las batimétricas y en consecuencia posibilitando su afectación sobre el tramo de estudio.

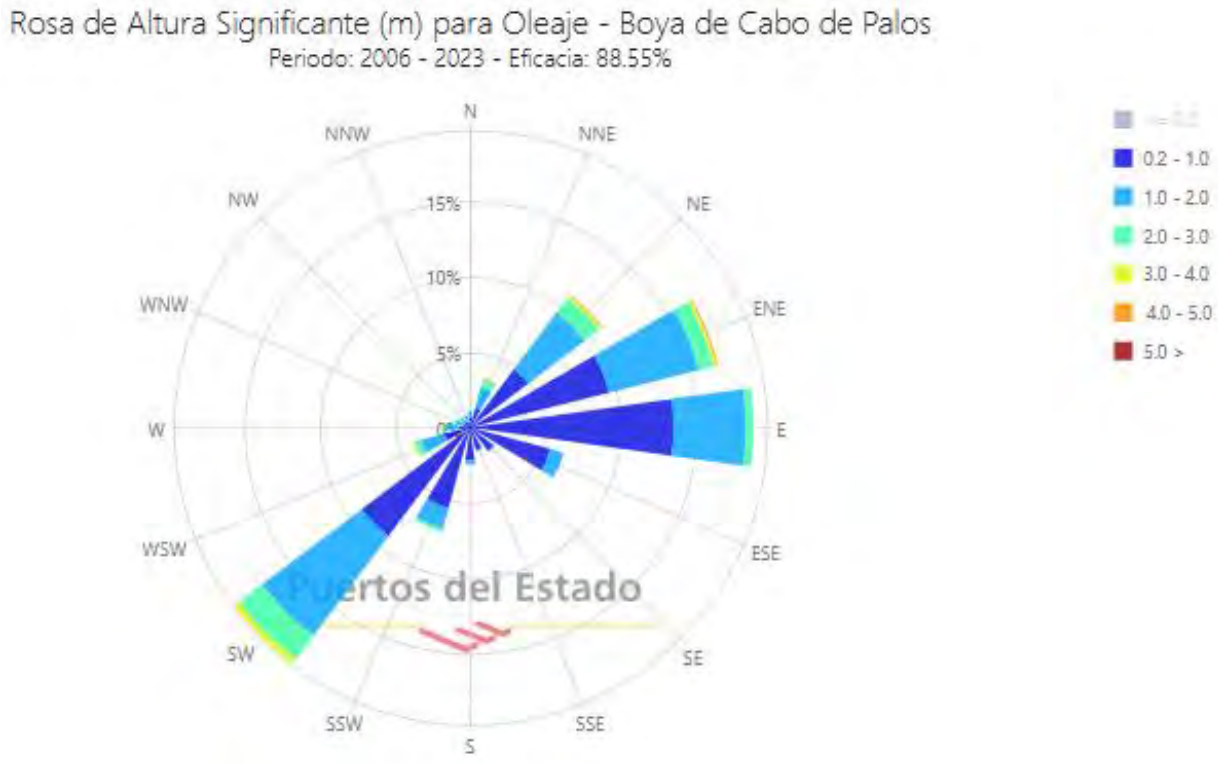
En la siguiente imagen de la batimetría completa desde el tramo de estudio hacia aguas profundas en apertura hacia el sur y hacia mar abierto por el este, se reflejan las disposiciones de las batimétricas desde la costa hacia aguas profundas, y sus variaciones en los distintos tramos de profundidad.

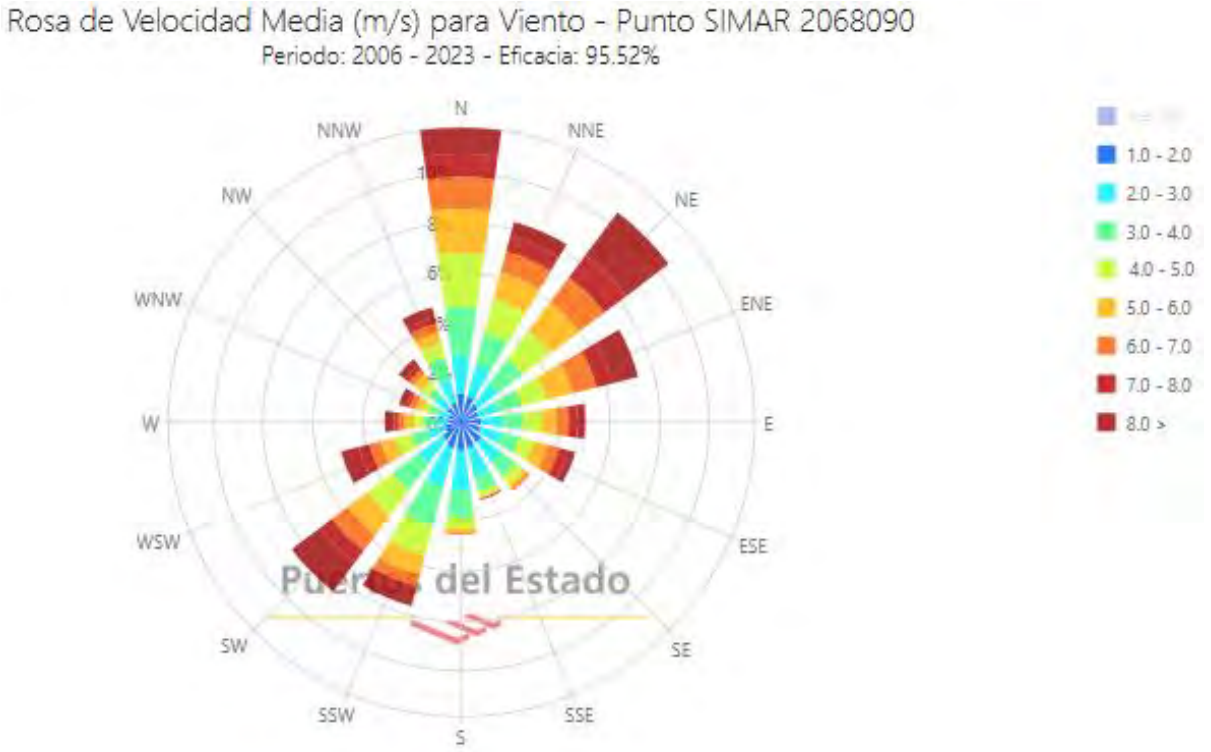


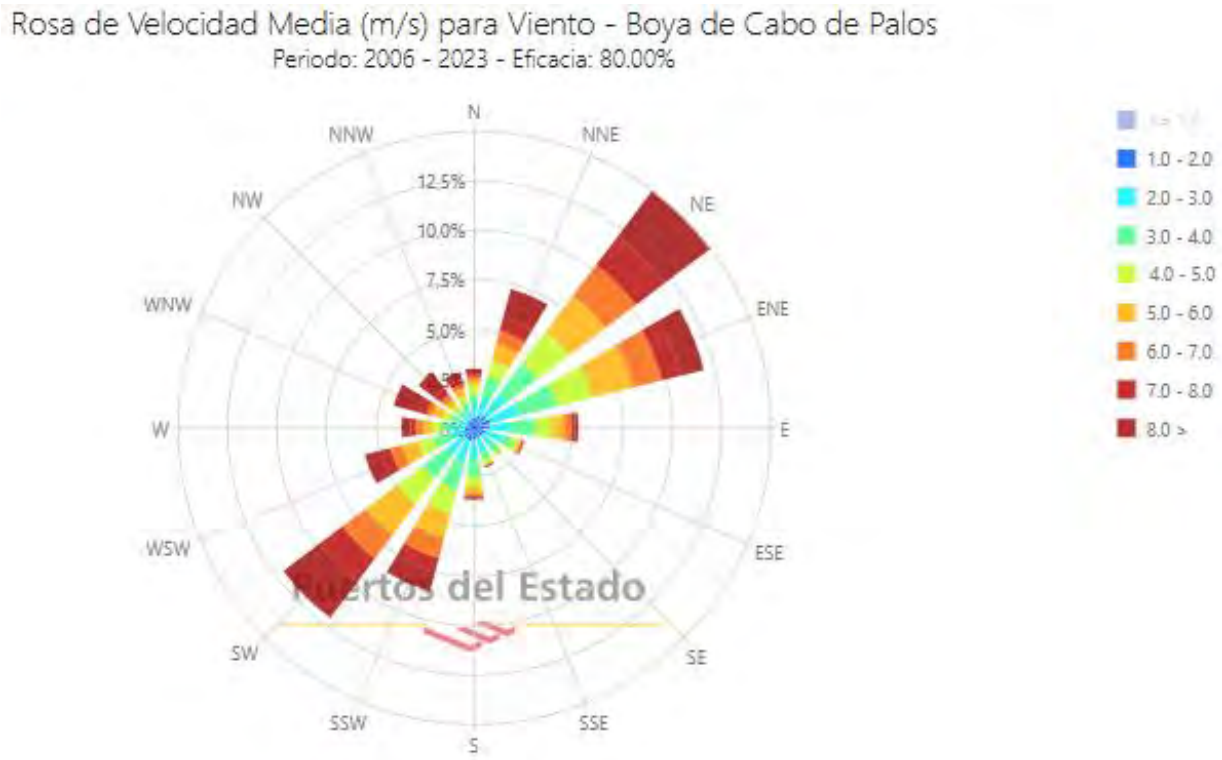
Sobre la base de este análisis inicial en función de la disposición de las batimétricas desde la costa hasta posiciones más abiertas en indefinidas y de los sectores de procedencia con incidencia de oleaje sobre el tramo de estudio desde el entorno SSW al entorno SE, constatada esta última con un simulador computacional de propagaciones dado que tiene mayor divergencia de los frentes de oleaje en origen en indefinidas, se realiza el análisis de las direcciones de procedencia de este Punto Simar mediante las Rosas de viento y Oleaje en el período máximo de disponibilidad de datos sincronizables con los datos del mareógrafo de Puertos del Estado (Almería), que comprende desde 2006 a la actualidad (fecha de disponibilidad de datos de niveles mareales del mareógrafo del Puerto de Almería). Se comprueban a efectos de contraste y calibración, la rosa de oleaje y viento del Punto Simar 2068090 junto con las rosas de oleaje y viento de la boya de Cabo de Palos en posiciones

longitudinales más orientales hacia mar abierto, debiéndose tener en cuenta que tanto el Punto Simar como el tramo de estudio se encuentran en posiciones más resguardadas dentro de la bahía.









El período seleccionado de estudio ha sido el de 2006 a la actualidad, dado que es el período marcado por el mareógrafo de Almería, con datos de incrementos mareales desde dicha fecha, seleccionado en detrimento del mareógrafo de Carboneras dado que este último tiene pendiente su nivelación respecto al NMMA. A la vista de las rosas de oleaje, las

direcciones con mayores frecuencias y magnitudes de oleaje son las de componentes del sector SSW-SW y del sector E (Punto Simar) y ENE-E (boya), compatibles con las direcciones predominantes de los vientos, salvo en los vientos del N que recoge el Punto Simar que proceden en consecuencia del interior en la posición del tramo de estudio, y en consecuencia no producirán oleaje sobre el mismo. Debe señalarse que la rosa de oleaje de la boya indica frecuencias y magnitudes significativas también de la dirección de procedencia ENE, que no están recogidas por la rosa de oleaje del Punto Simar 2068090 que de ese sector asigna los oleajes a la dirección E, dado que el Punto Simar está en posiciones interiores de la bahía como el tramo de estudio y en consecuencia a resguardo de las direcciones de procedencia del oleaje del N, a diferencia de la boya del Cabo de Palos que se encuentra en posiciones de mar abierto y en consecuencia sí está expuesta a los oleajes con componentes del N.

En función de la rosa de oleaje del Punto Simar 2068090, y de la de la batimetría y su evolución desde profundidades reducidas hacia aguas profundas, con una transición desde la orientación principal a S en rompientes y hasta la profundidad de influencia (profundidad de cierre) hacia una orientación en el entorno de SE hacia profundidades indefinidas y mar abierto, y teniendo en cuenta el fenómeno de la refracción desde aguas profundas hasta pie de costa por el que los frentes de oleaje se irán alineando con las batimétricas con la consiguiente pérdida de energía (constatado con el simulador de propagación del oleaje), cabe considerar que además de las direcciones de procedencia del entorno del sector SSW-S, las direcciones de procedencia del entorno E-ESE desde aguas profundas y por el fenómeno de la refracción acabarán en su avance virando los frentes del oleaje hacia la disposición E-W (hacia la normal a S) y en consecuencia teniendo incidencia en el tramo de estudio.

Por tanto el régimen direccional principal en cuanto al alcance más diáfano sobre el tramo de estudio (con menor pérdida de energía) será el del entorno S-SSW, si bien también se considerarán en el estudio de clima marítimo los oleajes del entorno del sector E-ESE, para finalmente realizar la propagación con un simulador computacional (OLUCA-MOPLA) de los oleajes que justificadamente tengan el mayor potencial de inundación sobre el tramo de estudio, a efectos de tener con la mayor fidelidad posible los parámetros de los oleajes a pie de costa.

Los siguientes análisis realizados para el estudio del clima marítimo y la determinación de los estados de mar causantes de los mayores alcances de oleajes , se ha procedido a analizar las series de datos del máximo período histórico disponible con datos horarios de estados de mar y niveles mareales, que se corresponden con el período comprendido entre

2006 y la actualidad, a partir de los datos del Punto Simar 2068090 y del mareógrafo 3545 de Almería (comienzo de medidas en 2006) con un total de 148.198 estados de mar analizados, del máximo período disponible con datos horarios sincronizables de oleajes y mareas, desde el año 2006 hasta la actualidad, de entre los cuales se han seleccionado aquéllos que por sus parámetros de oleaje podrían ser responsables de máximos alcances de niveles de mar en la zona específica de estudio, mediante iteraciones previas con el modelo semiempírico de run-up de Ahrens y McCartney (1975) y Ahrens y Titus (1985), habiéndose valorado el potencial de inundación con dicho modelo que se han aplicado a cada estado de mar antes de la propagación con un talud promediado, para la selección justificada de los estados de mar sincronizados con los niveles mareales horarios correspondientes que serán los responsables de los mayores niveles de alcances de inundación y oleajes, y proceder a la propagación de dichos estados de mar para conocer los máximos niveles definitivos con datos del oleaje ya propagado con simulador a pie de costa.

A partir de los datos de las series de datos completas se realizó sobre los registros de datos horarios desde 2006 hasta la actualidad de oleajes (Punto Simar 2068090) y niveles mareales (mareógrafo 3545 Almería) con un total de 148.198 estados de mar sincronizados con sus correspondientes niveles mareales, una fase de tratamiento de las bases de datos con filtros de selección compuestos (teniendo en cuenta los parámetros direccionales y las combinaciones de las mayores magnitudes de estados de mar del resto de parámetros Hs y Tp), y una segunda fase en combinación con iteraciones previas de inundación para estimar las combinaciones paramétricas del oleaje (H_s-T_p-α) que tendrán mayores efectos de inundación en el tramo de estudio, realizadas con las formulaciones semiempíricas de Ahrens.

La tabla adjunta a continuación incluye los distintos parámetros de caracterización de los 100 primeros estados de mar según su potencial de inundación estimado antes de la propagación del oleaje con parámetros promediados de pendiente del talud de incidencia oleaje y su valoración previa con el modelo de Ahrens y McCartney (1975) y Ahrens y Titus (1985) con estimación de la potencia de inundación antes de propagación del oleaje según los parámetros de los estados de mar históricos (Punto Simar 2068090) con base en el mareógrafo de Almería para la zona de estudio, sobre el total de 148.198 estados de mar analizados mediante dicha iteración. Por tanto en dichas tablas se han recogido los estados de mar y sus niveles mareales sincronizados en el orden de los 100 primeros niveles de inundación (un margen de selección que permite asegurar que el estado de mar responsable de la máxima inundación se encuentra en dicha selección) y alcance de oleajes, ordenados de mayor a menor por su potencia de inundación previa estimada antes de propagación, al objeto de seleccionar justificada y razonadamente cuáles serán los estados de mar que se

propagarán hasta pie de costa porque puedan generar los mayores niveles de inundación en el tramo de estudio, en el período de registros horarios analizado disponible con posibilidad de sincronización de datos horarios de oleajes y mareas (mareógrafo de Almería 3545, Punto Simar 2068090), de 2006 a la actualidad antes de propagación.

FECHA/HORA	Marea (m. NMMA)	Dmd (ºsex.)	H0 (m.)	Tp (seg.)	L0 (m.)	Nº Irib.	db prof. rot. (m.)	Ls (rot.)	Alcance estimad. Ahrens (n. NMMA)
2022-04-04 16:00:00	0.399	97	3.94	12.11	228.74	2.2858	6.77	95.58	9.900
2022-04-04 15:00:00	0.337	97	3.88	12.11	228.74	2.3034	6.68	95.01	9.779
2022-04-04 14:00:00	0.292	96	3.76	12.11	228.74	2.3399	6.51	93.85	9.612
2022-04-04 13:00:00	0.266	95	3.61	12.11	228.74	2.3880	6.29	92.37	9.422
2022-04-04 17:00:00	0.412	97	3.92	11.01	189.07	2.0835	6.53	84.89	8.769
2022-04-04 18:00:00	0.366	96	3.86	11.01	189.07	2.0996	6.45	84.39	8.687
2022-04-04 19:00:00	0.278	96	3.77	11.01	189.07	2.1245	6.32	83.62	8.542
2022-04-04 20:00:00	0.197	96	3.65	11.01	189.07	2.1592	6.15	82.58	8.378
2022-04-04 21:00:00	0.165	96	3.56	11.01	189.07	2.1863	6.03	81.79	8.279
2022-04-04 22:00:00	0.187	96	3.48	11.01	189.07	2.2113	5.91	81.07	8.238
2022-04-04 12:00:00	0.241	94	3.4	11.01	189.07	2.2371	5.80	80.34	8.224
2020-10-02 16:00:00	0.361	205	3.26	11.01	189.07	2.2847	5.60	79.04	8.217
2022-04-04 23:00:00	0.22	96	3.4	11.01	189.07	2.2371	5.80	80.34	8.203
2022-04-05 00:00:00	0.25	95	3.3	11.01	189.07	2.2708	5.66	79.41	8.144
2022-04-05 01:00:00	0.285	95	3.18	11.01	189.07	2.3132	5.49	78.27	8.063
2015-01-31 09:00:00	0.238	207	2.51	13.09	267.25	3.0956	4.77	87.84	8.040
2020-10-02 15:00:00	0.376	205	3.07	11.01	189.07	2.3543	5.33	77.20	8.039
2010-11-09 00:00:00	0.16	213	2.74	12	224.60	2.7161	4.99	81.94	8.009
2015-01-31 10:00:00	0.29	207	2.46	13.15	269.71	3.1413	4.70	87.62	7.985
2022-04-04 11:00:00	0.195	93	3.14	11.01	189.07	2.3279	5.43	77.89	7.932
2015-01-31 11:00:00	0.324	207	2.42	13.2	271.77	3.1791	4.64	87.44	7.930
2022-04-05 02:00:00	0.296	94	3.04	11.01	189.07	2.3659	5.28	76.91	7.927
2022-04-05 03:00:00	0.322	93	2.88	11.01	189.07	2.4307	5.05	75.30	7.767
2010-11-09 01:00:00	0.21	213	2.72	11.43	203.77	2.5966	4.88	77.04	7.711
2019-12-03 13:00:00	0.349	88	2.81	11.01	189.07	2.4608	4.95	74.57	7.707
2019-12-03 12:00:00	0.341	88	2.81	11.01	189.07	2.4608	4.95	74.57	7.699
2015-01-31 12:00:00	0.332	207	2.32	13.25	273.83	3.2592	4.49	86.36	7.685
2022-04-05 04:00:00	0.38	93	2.76	11.01	189.07	2.4830	4.88	74.05	7.674
2019-12-03 14:00:00	0.364	87	2.77	11.01	189.07	2.4785	4.89	74.15	7.671
2022-04-04 10:00:00	0.147	92	2.91	11.01	189.07	2.4182	5.10	75.60	7.629
2018-03-17 17:00:00	0.126	205	3.96	10.01	156.28	1.8847	6.38	75.76	7.604
2020-10-02 14:00:00	0.358	205	2.72	11.01	189.07	2.5012	4.82	73.62	7.598
2010-11-08 23:00:00	0.111	212	2.59	11.8	217.18	2.7471	4.73	78.52	7.596
2022-04-05 05:00:00	0.396	93	2.69	11.01	189.07	2.5151	4.77	73.30	7.596
2020-10-02 20:00:00	0.106	205	2.5	12.11	228.74	2.8696	4.63	79.88	7.557
2022-04-05 06:00:00	0.332	92	2.7	11.01	189.07	2.5104	4.79	73.41	7.545

INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)
C/ Cañadilla 6, local 68, C. Comercial Coronado, Las Rozas de Madrid 28231, Madrid
Pza. de la Montañeta 4, entresuelo, 03001 Alicante
Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es

FECHA/HORA	Marea (m. NMMA)	Dmd (ºsex.)	H0 (m.)	Tp (seg.)	L0 (m.)	Nº Irib.	db prof. rot. (m.)	Ls (rot.)	Alcance estimad. Ahrens (n. NMMA)
2008-11-27 09:00:00	0.315	82	2.78	10.78	181.25	2.4224	4.87	72.38	7.476
2022-04-05 07:00:00	0.26	92	2.7	11.01	189.07	2.5104	4.79	73.41	7.473
2018-03-17 18:00:00	0.022	203	3.86	10.01	156.28	1.9089	6.25	75.03	7.405
2019-12-03 19:00:00	0.434	82	2.27	12.11	228.74	3.0114	4.28	76.86	7.396
2010-11-09 02:00:00	0.265	214	2.71	10.86	183.95	2.4717	4.78	72.30	7.393
2010-02-19 21:00:00	0.278	222	2.37	11.8	217.18	2.8718	4.39	75.80	7.345
2008-11-27 10:00:00	0.365	83	2.62	10.8	181.93	2.4999	4.64	70.87	7.336
2015-01-31 13:00:00	0.315	208	2.19	13.32	276.73	3.3723	4.28	84.91	7.315
2020-10-02 17:00:00	0.295	204	3.43	10.01	156.28	2.0250	5.66	71.72	7.303
2022-04-05 08:00:00	0.171	92	2.64	11.01	189.07	2.5388	4.70	72.76	7.301
2019-12-03 18:00:00	0.418	83	2.46	11.01	189.07	2.6301	4.43	70.76	7.279
2020-03-25 03:00:00	0.314	94	2.5	11.01	189.07	2.6089	4.49	71.21	7.237
2010-11-08 22:00:00	0.09	211	2.45	11.6	209.88	2.7766	4.49	75.24	7.227
2019-02-01 07:00:00	0.263	206	4.15	9.1	129.16	1.6736	6.43	68.45	7.222
2020-03-02 17:00:00	0.104	238	2.32	12.11	228.74	2.9788	4.35	77.53	7.177
2008-11-27 11:00:00	0.413	84	2.46	10.83	182.94	2.5871	4.41	69.36	7.174
2020-03-25 04:00:00	0.297	94	2.46	11.01	189.07	2.6301	4.43	70.76	7.158
2012-04-14 19:00:00	0.108	206	2.35	11.85	219.02	2.8962	4.37	75.92	7.154
2022-04-05 09:00:00	0.104	91	2.57	11.01	189.07	2.5732	4.59	71.99	7.133
2010-02-19 20:00:00	0.351	215	2.3	11.42	203.41	2.8213	4.24	72.00	7.128
2012-11-13 14:00:00	0.505	70	2.11	12.14	229.87	3.1313	4.03	74.86	7.097
2012-11-13 13:00:00	0.503	71	2.11	12.12	229.11	3.1261	4.02	74.72	7.090
2022-04-05 11:00:00	0.148	91	2.51	11.01	189.07	2.6037	4.50	71.32	7.087
2020-10-02 18:00:00	0.211	203	3.18	10.01	156.28	2.1031	5.32	69.66	7.083
2022-04-05 10:00:00	0.106	91	2.53	11.01	189.07	2.5934	4.53	71.55	7.075
2018-03-17 19:00:00	-0.027	203	3.55	10.01	156.28	1.9905	5.83	72.67	7.053
2016-12-18 05:00:00	0.433	92	2.75	10.1	159.11	2.2819	4.72	66.57	7.050
2016-12-18 04:00:00	0.364	92	2.8	10.12	159.74	2.2659	4.80	67.20	7.044
2010-11-09 03:00:00	0.325	214	2.7	10.29	165.15	2.3463	4.68	67.62	7.039
2020-03-25 05:00:00	0.234	94	2.42	11.01	189.07	2.6517	4.37	70.30	7.031
2019-02-01 08:00:00	0.293	206	3.89	9.1	129.16	1.7287	6.09	66.82	7.031
2008-11-27 08:00:00	0.268	82	2.73	10.29	165.15	2.3333	4.72	67.91	7.013
2019-12-20 12:00:00	0.169	205	4	9.1	129.16	1.7047	6.23	67.52	7.002
2008-11-27 12:00:00	0.456	85	2.31	10.86	183.95	2.6771	4.18	67.88	6.996
2016-12-18 03:00:00	0.285	92	2.83	10.12	159.74	2.2539	4.84	67.48	6.992
2016-12-18 06:00:00	0.446	92	2.72	10.03	156.91	2.2786	4.67	65.73	6.980
2020-03-02 16:00:00	0.068	239	2.49	11.01	189.07	2.6142	4.47	71.10	6.976
2020-10-02 13:00:00	0.325	207	2.33	11.01	189.07	2.7024	4.23	69.25	6.973
2019-02-01 10:00:00	0.365	205	3.73	9.1	129.16	1.7654	5.88	65.78	6.963
2019-02-01 09:00:00	0.321	206	3.77	9.1	129.16	1.7560	5.93	66.04	6.954
2016-12-18 02:00:00	0.224	92	2.86	10.11	159.42	2.2398	4.88	67.68	6.950
2016-12-18 01:00:00	0.181	91	2.9	10.1	159.11	2.2221	4.94	67.96	6.932
2012-11-13 15:00:00	0.447	69	2.06	12.14	229.87	3.1691	3.95	74.15	6.914

FECHA/HORA	Marea (m. NMMA)	Dmd (ºsex.)	H0 (m.)	Tp (seg.)	L0 (m.)	Nº Irib.	db prof. rot. (m.)	Ls (rot.)	Alcance estimad. Ahrens (n. NMMA)
2010-02-19 19:00:00	0.4	207	2.24	11.05	190.45	2.7662	4.10	68.48	6.907
2016-12-18 00:00:00	0.145	92	2.91	10.1	159.11	2.2183	4.95	68.05	6.905
2015-01-31 14:00:00	0.258	209	2.07	13.38	279.23	3.4843	4.09	83.45	6.904
2016-12-17 20:00:00	0.209	87	2.88	10.05	157.54	2.2188	4.90	67.37	6.901
2015-01-30 22:00:00	0.153	209	2.17	12.16	230.63	3.0928	4.12	75.86	6.896
2016-12-17 22:00:00	0.11	90	2.97	10.07	158.16	2.1893	5.03	68.35	6.892
2016-12-17 23:00:00	0.123	91	2.93	10.09	158.79	2.2085	4.98	68.15	6.890
2016-12-17 21:00:00	0.132	88	2.95	10.06	157.85	2.1945	5.00	68.08	6.889
2012-04-14 18:00:00	0.047	206	2.49	10.89	184.97	2.5857	4.46	70.16	6.887
2012-11-13 12:00:00	0.46	72	2.05	12.07	227.23	3.1585	3.92	73.49	6.887
2018-03-17 20:00:00	-0.021	204	3.24	10.01	156.28	2.0836	5.40	70.17	6.887
2010-11-09 04:00:00	0.359	213	2.57	10.22	162.91	2.3885	4.48	65.77	6.879
2012-04-14 17:00:00	-0.011	207	2.52	10.88	184.63	2.5679	4.50	70.42	6.868
2020-03-25 06:00:00	0.151	94	2.37	11.01	189.07	2.6795	4.29	69.72	6.866
2010-11-08 21:00:00	0.059	210	2.31	11.4	202.70	2.8102	4.25	71.98	6.847
2016-12-17 19:00:00	0.309	85	2.71	10.04	157.22	2.2850	4.66	65.71	6.841
2020-12-04 16:00:00	0.533	212	2.14	11.01	189.07	2.8198	3.94	66.95	6.836
2020-03-02 15:00:00	0.05	235	2.41	11.01	189.07	2.6572	4.35	70.19	6.831
2019-02-01 11:00:00	0.41	206	3.53	9.1	129.16	1.8147	5.62	64.43	6.829
2018-03-17 16:00:00	0.233	206	3.72	9.1	129.16	1.7677	5.87	65.71	6.822
2016-12-18 07:00:00	0.398	90	2.69	9.92	153.49	2.2661	4.61	64.57	6.816

Se comprueba que sobre los 100 primeros estados de mar según su potencial de inundación previo estimado antes de propagación, los primeros 11estados de mar según su potencial de inundación antes de propagación se corresponden con estados de mar del entorno del sector direccional de procedencia del E-ESE, si bien ya sabemos de antemano que los estados de mar de procedencia de este sector perderán energía en su avance hasta la costa por los distintos fenómenos de interacción con el fondo dada la orientación del tramo de costa y la disposición de las isobatas en la franja más próxima a la orilla (rompientes y hasta la profundidad de cierre), pero en relación a los que proceden de direcciones con alcances más diáfanos sobre el tramo de costa objeto de estudio, perderán mayor energía en el proceso de refracción, por lo que sólo tras realizar la simulación computacional de la propagación completa desde indefinidas hasta pie de costa, podremos saber cuál/cuáles son los estados de mar con mayor repercusión de inundación sobre dicho tramo por perfil.

El primer estado de mar que aparece según las iteraciones realizadas con los modelos de Ahrens antes de propagación del sector direccional del entorno SSW aparece en el lugar número 12 antes de propagación, si bien estos estados de mar tendrán mucha menor pérdida

de energía por la refracción, por lo que no se sabrá su alcance relativo en relación a los estados de mar de procedencias del sector E-ESE, hasta que no se realicen las propagaciones completas y se ejecuten los modelos de inundación.

En cualquier caso, a la vista de los resultados con las iteraciones con los modelos de Ahrens antes de propagación, de los 100 primeros estados de mar de los 148.198 iterados según su potencial de inundación (estimado antes de propagación, con los valores en aguas profundas), 58 estados de mar se corresponden con el entorno del sector de procedencia del E-ESE, 42 se corresponden con el entorno del sector de procedencia SW, quedando de manifiesto la predominancia de los primeros frente a los segundos en frecuencia y magnitudes según sus parámetros en aguas profundas, si bien dada la orientación particular del tramo de estudio a la dirección S y su morfología batimétrica desde aguas profundas, deben estudiarse ambos sectores de procedencia dado que si bien las magnitudes en aguas profundas del sector direccional del entorno del SW son menores que las del sector E-ESE, las pérdidas de energía y en consecuencia de altura de ola en la propagación serán mucho menores en los estados de mar del sector direccional de procedencia del entorno S-SW.

En consecuencia, se tomarán los estados de mar que sobre la base de este análisis previo, son los que cuentan con un potencial máximo previo antes de propagación de inundación sobre el tramo de estudio de cada uno de los sectores principales del oleaje, SW y E-ESE con incidencia en el tramo de estudio, según las iteraciones previas realizadas (antes de propagación) sobre las series completas de datos horarios de estados de mar y mareas. Se seleccionarán en consecuencia dos estados de mar para asegurar los resultados en cuanto a máxima inundación, tres del sector S-SW y otro dos del sector E-ESE, habida cuenta de que hasta que no se realizan las propagaciones a pie de playa, no se habrá hecho una valoración completa de todos los factores incidentes iniciales y de sus interacciones con el fondo durante el recorrido hasta pie de costa, y por tanto hasta ese momento no se puede conocer con exactitud cuál será el estado de mar responsable de la máxima inundación, hasta que no se realiza el proceso de cálculo completo incluyendo las propagaciones de los estados de mar junto con la ejecución de los modelos de inundación.

En función del análisis realizado, los estados de mar que serán objeto de propagación tomados como los de máximo potencial de sus respectivos sectores de procedencia (SW y E-ESE) son los siguientes:

FUENTE	FECHA	HORA UTC	Hm0 (m.)	Tp (seg.)	DIR (ºsex.)
SIMAR 2068090	2022-04-04	16:00	3.94	12.11	97
SIMAR 2068090	2022-04-04	15:00	3.88	12.11	97
SIMAR 2068090	2020-10-02	16:00	3.26	11.01	205
SIMAR 2068090	2015-01-31	09:00	2.51	13.09	207
SIMAR 2068090	2020-10-02	17:00	3.43	10.01	204

2.2. ANÁLISIS DE LOS MÁXIMOS NIVELES DEL MAR EN EL PERÍODO DE ESTUDIO

Para considerar la superposición completa de factores que pueden llegar a incidir en el nivel del mar en los episodios de los temporales considerados, se deberán sumar los incrementos debidos al remonte del oleaje (run-up) y al set-up, con los debidos a los efectos mareales, para la obtención de los máximos niveles alcanzados, habiéndose tomado a tal efecto los registros reales del mareógrafo 3545 de Almería, situado en la zona de ampliación del Muelle de Poniente del puerto de Almería, perteneciente a la Red REDMAR, que considera tanto los componentes astronómicos, como los meteorológicos o residuales en sus mediciones.

Además de los niveles mareales con su componente astronómico y su componente residual o meteorológico, también los mareógrafos determinan el nivel medio del mar (NMM), que fija el plano altimétrico de comparación (z=0) de referencia para la cota de máxima inundación que se calcule finalmente, habiendo sido así mismo referenciado a dicho plano, la cartografía y batimetría, a partir de las cuales se han realizado los cálculos y estimaciones, al objeto de elaborarse y proyectarse todos los resultados en una base altimétrica coherente y homogénea.

El origen de altitudes que el Instituto Geográfico Nacional utiliza en la costa de Murcia corresponde al Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA). Este organismo realizó la nivelación de todos los mareógrafos en el momento de su instalación. El IGN durante 1.998 llevó a cabo una compensación general de toda la red de nivelación nacional (Proyecto RNAP98), obteniendo para todas y cada una de las señales una nueva altitud homogénea con el resto de la red, y en 1999 proporcionó estas nuevas cotas. Así mismo el IGN efectuó nuevos recálculos del NMM en el año 2.008.

INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)
C/ Cañadilla 6, local 68, C. Comercial Coronado, Las Rozas de Madrid 28231, Madrid
Pza. de la Montañeta 4, entresuelo, 03001 Alicante
Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es



De este modo, se han podido relacionar todos los datos de los niveles mareales de los registros de los mareógrafos analizados y en origen referidos al cero del Puerto, con el plano z=0 correspondiente a la Red Geodésica ETRS89, para la vinculación y referenciación altimétrica con la base cartográfica, así como con los datos de alturas de oleaje, referidos igualmente a los niveles medios del mar.

Por tanto, para el caso del presente estudio y de los resultados que se aportan de cotas de alcance de cota de máxima inundación marina en el tramo de costa de unos 40 metros situado en el extremo oeste de la Playa de Punta Bela, término municipal de Mazarrón (Murcia), según lo establecido reglamentariamente en el Reglamento General de Costas, Real Decreto 876/2014, modificado por el Real Decreto 668/2022, de 1 de agosto, la referencia altimétrica será el nivel medio del mar en Alicante (NMMA), obtenido con mareógrafos y enlazado en procesos de nivelación y recálculos posteriores por el I.G.N. con los mareógrafos de la red REDMAR, los últimos de los cuales han sido llevados a cabo en el año 2.008, para la obtención del valor z=0 que establece la coordenada z ortométrica de su red geodésica ETRS89.

Información del mareógrafo 3545 de Almería situado en la zona de ampliación del Muelle de Poniente del puerto de Almería, de la Red REDMAR de Puertos del Estado:

Longitud	2.48° O
Latitud	36.83° N
Cadencia	1 Min
Código	3545
Inicio de medidas	01/072006
Tipo de sensor	Radar
Comentarios	Datos de viento desde 07-10-2010, presión desde 12-09-2013.
Conjunto de datos	REDMAR

Analizados los datos del mareógrafo en los horarios (día-hora) correspondientes a los episodios preseleccionados de sucesos temporales de mayor nivel en el período de estudio comprendido entre 2006 y la actualidad, para asociar a cada uno de los mismos el incremento mareal con el que tuvo lugar, se han capturado los valores de dichos registros de niveles mareales sincronizados al momento en que el suceso del oleaje alcanzó la orilla. Como los estados de mar de las bases de datos del Punto Simar 2068090 analizados se corresponden con el oleaje espectral de una hora, se considerará para estimar su marea la asignación de los parámetros del estado de mar a la hora UTC relacionada en cada estado, con el valor del promedio horario mareal proporcionado por Puertos del Estado.

Los datos de los incrementos mareales en el horario en el que cada uno de los sucesos anteriores alcanzó la costa, referidos al cero del Puerto de Almería, fueron los siguientes:

FECHA	Hora UTC	Nivel 0 Puerto de Almería (cm.)
2022-04-04	16:00	0.629
2022-04-04	15:00	0.567
2020-10-02	16:00	0.591
2015-01-31	09:00	0.468
2020-10-02	17:00	0.525

A partir de los parámetros de nivelación del mareógrafo que proporciona Puertos del Estado, se transforman los niveles anteriores en niveles referidos al NMMA.

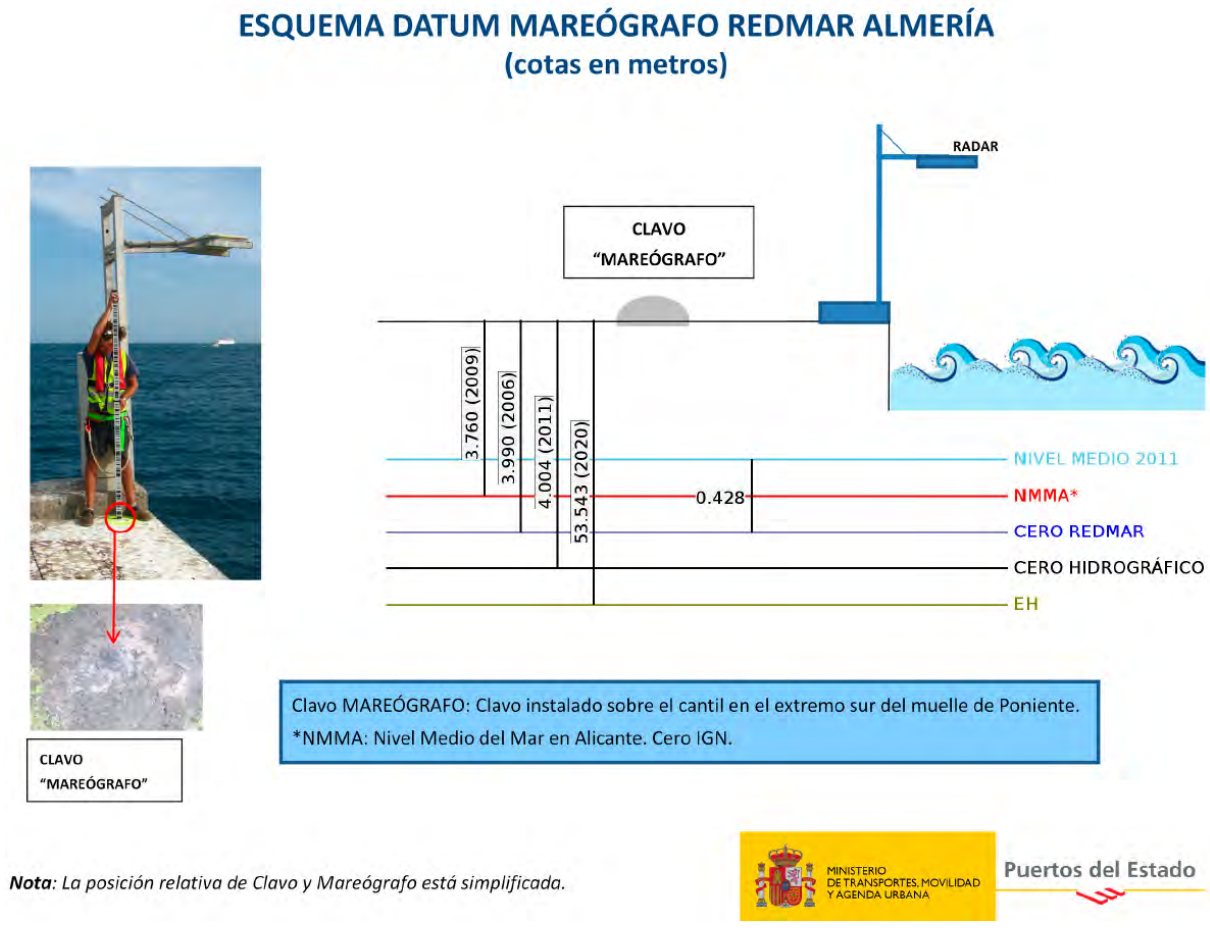
Clavo de referencia: MAREOG. Sobre la esquina noroeste de la peana del faro situado junto al mareógrafo

Cero REDMAR: Cero del Puerto

Cota: 3.99 m. bajo clavo de referencia







***Nota**: La posición relativa de Clavo y Mareógrafo está simplificada.*

FECHA	Hora UTC	Nivel N.M.M.A. (m.)
2022-04-04	16:00	0.399
2022-04-04	15:00	0.337
2020-10-02	16:00	0.361
2015-01-31	09:00	0.238
2020-10-02	17:00	0.295

3. PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

3.1. PRIMERA FASE: DESDE LA BOYA O PUNTO GEOGRÁFICO FUENTE DE DATOS DE MODELOS NUMÉRICOS, HASTA PROFUNDIDADES INDEFINIDAS, SEGÚN LOS SECTORES PRINCIPALES DE INCIDENCIA

No se procede a la realización de la primera propagación del oleaje, dado que el Punto Simar 2068090 se encuentra en profundidades indefinidas, sus datos pueden ser tomados como los datos de los oleajes en profundidades indefinidas, haciendo innecesaria la primera propagación, desde profundidades intermedias hasta profundidades indefinidas.

En consecuencia, los datos y parámetros de los sucesos temporales ya considerados en profundidades indefinidas y sus direcciones de procedencia, serán las siguientes:

FUENTE	FECHA	HORA UTC	Hm0 (m.)	Tp (seg.)	DIR (ºsex.)
SIMAR 2068090	2022-04-04	16:00	3.94	12.11	97
SIMAR 2068090	2022-04-04	15:00	3.88	12.11	97
SIMAR 2068090	2020-10-02	16:00	3.26	11.01	205
SIMAR 2068090	2015-01-31	09:00	2.51	13.09	207
SIMAR 2068090	2020-10-02	17:00	3.43	10.01	204

3.2. SEGUNDA FASE: DESDE PROFUNDIDADES INDEFINIDAS HASTA PIE DE COSTA

3.2.1. Propagación con el modelo Oluca SP (espectral) del módulo MOPLA, software SMC 2.5

Se realizará la propagación de los estados de mar seleccionados del Punto Simar 2068090 teniendo en cuenta su ubicación en profundidades indefinidas, realizándose dicha propagación mediante el modelo numérico Oluca-SP basado en un modelo espectral de propagación de oleaje, que forma parte del Modelo Integral de Propagación de Oleaje, Corrientes y Morfodinámica en Playas, MOPLA, integrado en el software SMC 2.5 desarrollado por el I.H. de la Universidad de Cantabria.

Al propagarse el oleaje hasta zonas costeras de menor profundidad, se producen modificaciones importantes por la batimetría del fondo de forma que la refracción, el asomeramiento, la disipación de energía y la difracción entre otras, son manifestaciones de dichas interacciones, habiéndose profundizado los últimos años en el conocimiento de estos procesos físicos, lo cual ha permitido incorporarlos conocimientos en modelos numéricos de propagación de oleaje.

El modelo Oluca-SP del módulo MOPLA del SMC 2.5, corresponde a un modelo de la categoría modelo espectral no dispersivo que resuelve la fase, MRF, que requiere como entrada en el contorno exterior (mar adentro), un estado de mar direccional, que está representado por un espectro bidimensional discretizado en componentes frecuenciales y direccionales, las cuales son propagadas de manera simultánea. Para la propagación de los componentes de energía, la aproximación parabólica incluye refracción-difracción con interacción oleaje-corriente (Kirby, 1986 a). El modelo predice las pérdidas de energía debido a la rotura del oleaje mediante la utilización de tres diferentes modelos estadísticos de disipación, dos de los cuales calculan la tasa media de disipación de energía asociada a un bore en movimiento (Battjes y Jansen, 1978; Thornton y Guza, 1983) y un tercero que asocia la tasa de disipación al gradiente entre el flujo de energía estable y local (Winyu y Tomoya, 1998).

Desde que se presentaron los primeros modelos de refracción y difracción combinadas, se sigue investigando el desarrollo de estos modelos originales, basados en teoría lineal, para que den respuesta a varios fenómenos físicos reales no cubiertos todavía por dicha teoría.

Entre los fenómenos que son de particular importancia destaca la no linealidad de las ondas, que provoca un aumento de la celeridad por efecto de la dispersión debida a la amplitud, y no sólo debida a la frecuencia, como ocurre en ondas lineales. Se ha demostrado, Kirby and Dalrymple (1983a), (1984) que la consideración de fenómenos no lineales puede provocar una clara distorsión de los resultados a partir de unas pocas longitudes de onda. Para representar la no linealidad en los modelos de propagación se utilizan dos aproximaciones.

La primera aproximación, sugerida inicialmente por Booij (1981), consiste en utilizar una relación de dispersión empírica que modele la dispersión por amplitud en aguas someras y que tienda a la relación de dispersión frecuencial en aguas profundas. Esta técnica tiene la ventaja de tener, al menos, una descripción empírica del comportamiento en aguas someras, pero tiene el inconveniente de linealizar los resultados en aguas profundas. La segunda consiste en modificar el modelo lineal de Kirby and Dalrymple (1983a), incluyendo un término proporcional al cubo de la amplitud de la ola que representa la distorsión del número de onda resultante de los efectos de tercer orden en la teoría de Stokes. Esta aproximación presenta la ventaja de tener una base analítica válida, pero tiene el claro inconveniente de no ser adecuada para aguas poco profundas.

3.2.2. Fundamentos del Oluca SP: modelos MRF por componentes espectrales para propagación de oleaje

Asumiendo que la superficie libre del agua es periódica en el tiempo y que la dependencia espacial se puede dividir en una fase que varía rápidamente y en una amplitud que varía lentamente, la elevación de la superficie libre del agua, h, puede ser representada como una suma de componentes frecuenciales y direccionales, así:

$$\eta = \sum_{j} \sum_{l} \eta_{jl} = R_e \left\{ \sum_{j=1}^{N_f} \sum_{l=1}^{N_\theta} A_{jl}(x,y) e^{\psi_j} \right\}$$

$$\psi_j = i\overline{K}_j x - \sigma_j \qquad (1)$$

$$\overline{K}_j = \frac{1}{B} \int_0^B K_j(x,y)\,dy$$

Donde:

x, y	=	Sistema de coordenadas, tal que el eje *x* va en la dirección principal de propagación y el eje y perpendicular a éste.
j, l	=	Índice que representan la frecuencia y dirección respectivamente.
$R_e(z)$	=	Parte real de un número complejo z.
$A_{jl}\ (x, y)$	=	Amplitud de onda compleja para una componente frecuencial, j y direccional, l. Definida en un punto (x, y) del dominio.
N_f, N_θ	=	Número de discretizaciones en frecuencia y dirección, respectivamente.
$K_j\ (x, y)$	=	Número de onda para una componente con frecuencia angular, j.
σ_j	=	Frecuencia angular para la componente j.
$\overline{K}_j\,(x)$	=	Valor representativo del número de onda asociado a una frecuencia angular j, en una coordenada x.
B	=	ancho del dominio (en el eje *y*).

Cuando el campo de oleaje consiste en ondas planas, $A_{jl}(x, y)$ puede ser representada en términos de una amplitud constante a_{jl} y una dirección θ_{jl} como:

$$A_{jl}(x,y) = a_{jl} e^{i\left[\left(K_j \cos\theta_{jl} - \overline{K}_j\right)x + K_j \operatorname{sen}\theta_{jl} y\right]} \qquad (2)$$

se asume que la refracción, difracción y asomeramiento de componentes de oleaje discretas, está gobernada por la aproximación parabólica olaje-corriente de las ecuaciones de pendiente suave (Kirby, 1984 a). La ecuación que gobierna la amplitud compleja $A_{jl}(x, y)$ en el Oluca-SP, es dada por (Kirby, 1986 a).

3.2.3. Ecuación de la pendiente suave

Asumiendo que la superficie libre del agua es periódica en el tiempo y que la dependencia espacial se puede dividir en una fase que varía rápidamente y en una amplitud que varía lentamente, la elevación de la superficie libre del agua, h, puede ser representada como una suma de componentes frecuenciales y direccionales, así:

El problema de la propagación de ondas sobre batimetría irregular es tridimensional e involucra complicadas condiciones de contorno no lineales. Por este motivo, existen muy pocas soluciones al problema tridimensional y todas ellas lo son para fondo plano horizontal. En dos dimensiones, los sofisticados modelos de Chu and Mei (1970) y Djordjevic and Redekopp (1978) predicen el comportamiento de ondas de Stokes sobre batimetría con variación suave. Para la simplificación del problema tridimensional, Berkhoff (1972), entre otros, hizo notar que la mayor parte de las propiedades de las ondas progresivas lineales podrían ser predichas mediante un modelo ponderado integrado verticalmente. La ecuación a la que llegó Berkhoff (1972) se conoce con el nombre de "mild slope equation" es decir, ecuación de pendiente suave. La ecuación puede escribirse en función del desplazamiento de la superficie libre, $\eta(x, y)$, mediante la utilización de un operador de gradiente horizontal como:

$$\vec{\nabla}\left(c\,c_g\,\vec{\nabla}\eta\right)+\sigma^2\frac{c_g}{c}\eta=0 \qquad (3)$$

Donde:

$$\vec{\nabla}=\frac{\partial}{\partial x_j} \qquad j=1,2$$

$$c=\sqrt{\left(\frac{g}{k}\right)\tan h\,kh}$$ = Celeridad de la onda

$$c_g=c\frac{\left(1+\frac{2kh}{\sin h\,2kh}\right)}{2}$$ = Celeridad de grupo

Donde h(x,y) es la profundidad local de agua, y g la aceleración de la gravedad. El número de onda local k(x, y), está relacionado con la frecuencia angular, σ , y la profundidad, h, mediante la relación de dispersión lineal:

$$\sigma^2 = g\,k \tan h\, kh \qquad (4)$$

El perfil de la onda viene dado por:

$$\eta = A(x, y)\, e^{j\sigma t}$$

Donde, A(x, y) es la amplitud compleja con información sobre la fase y la amplitud real de la onda. Berkhoff (1972) fue el primero en obtener una ecuación de propagación para ondas de pequeña amplitud en zonas con profundidad suavemente variable. Posteriormente, dicha ecuación se amplió para incluir también los efectos de corrientes por Booij (1981) y Kirby (1983). Se han utilizado diferentes métodos matemáticos para obtener las ecuaciones para pendientes suaves. Mientras que Luke (1967), Booij (1981) y Kirby (1983) utilizaron un principio variacional, otros autores han aplicado métodos basados en perturbaciones.

Numerosos autores han aplicado la ecuación de la pendiente suave a diversos casos, principalmente utilizando técnicas de diferencias finitas, ver como ejemplos Jonsson and Skovgaard (1979), Bettes and Zienkiewicz (1977) y Houston (1981). Radder (1979) desarrolló para la ecuación de la pendiente suave una aproximación parabólica que tiene varias ventajas sobre la forma elíptica presentada por Berkhoff (1972). Primero, no son necesarias las condiciones de contorno en el extremo inferior del recinto de integración y, segundo, permite técnicas de resolución muy eficientes por medio de un modelo en diferencias finitas. Radder (1979) utilizó una técnica de partición de matrices, que implica la separación del campo de ondas en una onda propagándose hacia adelante y otra hacia atrás, despreciándose posteriormente esta segunda (lo que se justifica porque en la mayoría de las aplicaciones sólo tiene interés la onda que se propaga hacia adelante).

La aproximación de Radder (1979) para las derivadas transversales en la dirección normal a la de propagación, impone una restricción a su modelo parabólico: las ondas deben propagarse dentro de los ± 45º alrededor de la dirección principal de propagación. Booij (1981) desarrolló también un método para la partición de la matriz de la ecuación elíptica, pero su procedimiento incluye más términos en la aproximación de las derivadas transversales y, por

lo tanto, su método permite al modelo parabólico manejar ondas dentro del rango de ±50º alrededor de la dirección supuesta.

Este procedimiento de Booij es el que se utiliza en el modelo de ondas monocromáticas Oluca-MC y el modelo espectral Oluca-SP. La aproximación parabólica débilmente no lineal a la ecuación de pendiente suave viene dada por:

$$c_g \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial y} + i(\bar{k} - k) c_g A + \frac{\sigma}{2} \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{c_g}{\sigma}\right) A - \frac{i}{2\sigma} \frac{\partial}{\partial y}\left[p \frac{\partial A}{\partial y} \right] - i\sigma k^2 D |A|^2 \frac{A}{2} = 0 \qquad (6)$$

Donde

$p = c\, c_g$

$\bar{k}$ = Número de onda de referencia, tomado como la media a lo largo del eje *y*.

D = Forma parte del término no lineal, y se define como:

$$D = \frac{(\cos h\, 4kh + 8 - 2\tan h^2 kh)}{8\, sen h^4 (kh)} \qquad (7)$$

3.2.4. Modelos combinados de refracción/difracción

Los predecesores del Oluca-MC y el Oluca-SP fueron desarrollados por Kirby (1983) y Kirby and Dalrymple (1983a), el primero mediante una aproximación Lagrangiana y los segundos mediante una técnica de escalas múltiples. Estos modelos rellenaron el hueco entre los modelos no lineales de difracción y la ecuación lineal de la pendiente suave. Este modelo se puede escribir de diferentes maneras dependiendo de la aplicación.

Para aplicaciones dependientes del tiempo se utiliza la forma hiperbólica y para problemas estacionarios, la forma elíptica. Ambas requieren del uso de condiciones de contorno en todos los laterales del dominio del modelo. Estas condiciones son difíciles de establecer, puesto que la reflexión no es conocida a priori. Estos modelos tienen, sin embargo, la ventaja de que no presentan restricciones para la dirección del oleaje. Kirby and Dalrymple (1984a) muestran una comparación entre su modelo débilmente no lineal de (1983a) y datos

de laboratorio. Los ensayos de laboratorio, realizados en el Delft Hydraulics Laboratory por Berkhoff, Booij and Radder (1982), consistieron en la determinación de la amplitud de las ondas sobre un bajo en un fondo con pendiente.

Mientras los resultados predichos por Berkhoff, Booij and Radder (1982) mediante el trazado de los rayos resultaron ser una muy pobre aproximación a los ensayos, la predicción obtenida con el modelo de Kirby and Dalrymple (1984) fue excelente. Las comparaciones entre los modelos parabólicos lineales y no lineales demostraron la importancia de los términos no lineales dispersivos en las ecuaciones.

3.2.5. Modelos de interacción oleaje/corrientes

Utilizando una aproximación Lagrangiana, Booij (1981) desarrolló una versión de la ecuación de la pendiente suave que incluye los efectos de una corriente. En este modelo las corrientes se suponían débiles y cualquier producto entre velocidades de corriente era despreciado. Kirby (1984a) presentó la forma corregida de su modelo de la ecuación de pendiente suave para incluir corrientes.

El término no lineal fue añadido por Kirby and Dalrymple (1983b) y en este artículo presentaron los resultados de modificación de las ondas al atravesar un chorro de corriente. La ecuación de pendiente suave modificada para una corriente débil que presentaron es:

$$(c_g+U)A_x+VA_y+i(\bar{k}-k)(c_g+U)A+\frac{\sigma}{2}\left[\left(\frac{c_g+U}{\sigma}\right)_x+\left(\frac{V}{\sigma}\right)_y\right]A$$
$$-\frac{i}{2\sigma}\left((p-V^2)A_y\right)_y-i\sigma\frac{k^2}{2}D|A|^2A=0 \qquad (8)$$

Donde $p = c\,c_g$ y $\bar{k}$ = número de onda de referencia, tomando como el promedio del número de onda a lo largo del eje y, U es la velocidad media de corriente en la dirección de la coordenada x y V en la dirección y. El término no lineal incluye D, que es:

$$D=\frac{\left(\cosh 4\,kh+8-2\tanh^2 kh\right)}{8\,\mathrm{sen}h^4(kh)}$$

Por último, Kirby and Dalrymple (1985) han desarrollado una versión no lineal del modelo parabólico que incluye corrientes fuertes, con base en una formulación Lagrangiana (principio variacional) descrita por Luke (1967), para un fluido no viscoso e irrotacional con una superficie libre:

$$\delta \int_t \int_{\bar{x}} L \, d\bar{x} \, dt = 0; \quad L = \int_{-h}^{\eta} \left[\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{1}{2} (\nabla \Phi)^2 + g z \right] dz \qquad (9)$$

donde *h* es la profundidad local y $\delta = \frac{\Delta h}{kh}$ es un parámetro adimensional relativo a la variación de la profundidad en una longitud de onda. Utilizando el peralte de la onda $\varepsilon = k|A|$, se puede expresar el potencial de velocidades Φ y la superficie libre η mediante un desarrollo en serie como:

$$\Phi = \delta^{-1} \Phi_0 (\delta x, \delta y, \delta t) + \varepsilon \, \Phi_1 (x, y, z, t) + O(\varepsilon^2) \qquad (10)$$

$$\eta = \eta_0 (\partial x, \partial y, \partial t) + \varepsilon \, \eta_1 (x, y, t) + O(\varepsilon^2) \qquad (11)$$

asumiendo la existencia de corrientes $U = O(1)$ y con $\varepsilon << 1$, $\delta << 1$ y $\delta = O(\varepsilon)$

Aquí Φ_0 es el potencial para la corriente:

$$U = \nabla \Phi_0 \qquad (12)$$

y Φ_1 viene dado por:

$$\Phi_1 = -\frac{ig}{2\sigma} A \, f(z) \, e^{i\theta} + complejo\ conjugado \qquad (13)$$

Operando del modo descrito en Kirby & Dalrymple (1983b), se llega a la ecuación:

$$\frac{D^2\phi}{Dt^2} + (\vec{\nabla}\cdot\vec{U})\frac{D\phi}{Dt} - \vec{\nabla}(c\,c_g\,\vec{\nabla}\phi) + (\sigma^2 - k^2 c\,c_g)\phi$$
$$+ 2\sigma\left[\vec{k}\,\vec{\nabla}\phi_2 - \frac{k^2}{2\sigma\cosh^2 kh}\right]\phi + \sigma^2 k^2 D|A|^2\phi + i\sigma\frac{\gamma}{2}\phi = 0 \qquad (14)$$

donde ϕ es el potencial en la superficie libre $\left(\Phi(x, y, z,t) = \phi(x, y,t)\, f(z)\right)$, el término no lineal $\sigma^2 k^2 D|A|^2\phi$ representa en cierto modo, la dispersión por amplitud. El término de disipación $i\sigma\frac{\gamma}{2}\phi$, se utiliza para modelar la disipación de energía por fricción y por rotura del oleaje, y ϕ_2 es el potencial para una onda larga, que se rige por la ecuación:

$$\frac{D^2\phi_2}{Dt^2} + (\vec{\nabla}\cdot\vec{U})\frac{D\phi_2}{Dt} - g\,\vec{\nabla}(h\,\vec{\nabla}\phi_2 + \vec{U}) =$$
$$-\frac{g\,k}{2\sinh 2kh}\frac{D}{Dt}|A|^2 + \frac{g^2}{2}\vec{\nabla}\left[\vec{k}\frac{|A|^2}{\sigma}\right] \qquad (15)$$

De acuerdo con Kirby and Dalrymple (1983a), para obtener la ecuación de la onda incidente, se debe despreciar el acoplamiento que produce la onda larga en el potencial ϕ.

Por otro lado, para obtener la aproximación parabólica debe asumirse que el oleaje se propaga principalmente en dirección *x*, es decir:

$$\bar{k} \cong (k,0)$$

y así, la relación de dispersión resulta:

$$\omega = \sigma + \bar{k}\,\bar{U} \cong \sigma + k\cdot U \qquad (16)$$

Donde, ω, es la frecuencia absoluta y, σ, la frecuencia intrínseca. La ecuación de la dispersión (4) que relaciona la frecuencia angular de la onda, la profundidad y el número de onda, es modificado para tener en cuenta el efecto Doppler debido a la corriente:

$$(\omega - kU)^2 = gk \tan h\, kh \qquad (17)$$

Dado que los procesos de refracción y difracción pueden desviar la dirección de propagación de la dirección principal *x*, la amplitud de la onda *A,* debe ser una función compleja para que absorba las diferencias entre la fase real y la asumida. Si se toma el valor de $\bar{k}$ y se sustituye en (13), la nueva expresión para el potencial en la superficie libre es:

$$\phi = -i\frac{g}{2\sigma} A(x, y)\, e^{i\int \bar{k}\, dx} + complejo\ \ conjugado \qquad (18)$$

despreciando la influencia de la onda larga y la dependencia de A respecto del tiempo en la ecuación (14), se llega a la siguiente ecuación parabólica para la amplitud compleja:

$$(c_g+U)\frac{\partial A}{\partial x}+V\frac{\partial A}{\partial y}+i(\bar{k}-k)(c_g+U)A+\frac{\sigma}{2}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{c_g+U}{\sigma}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{V}{\sigma}\right)\right]A$$

$$-\frac{i}{2}\frac{\partial}{\partial y}\left[(c\,c_g-V^2)\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{A}{\sigma}\right)\right]+\frac{i}{2}\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left[UV\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{A}{\sigma}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[UV\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{A}{\sigma}\right)\right]\right\}$$

$$+\frac{1}{4k}\left\{\frac{\partial}{\partial x}\frac{\partial}{\partial y}\left[(c\,c_g-V^2)\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{A}{\sigma}\right)\right]+2i\frac{\partial}{\partial x}\left[\sigma V\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{A}{\sigma}\right)\right]\right\}$$

$$-\frac{\beta}{4}\left\{2i\omega U\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{A}{\sigma}\right)+2i\sigma V\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{A}{\sigma}\right)-2UV\frac{\partial}{\partial y}\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{A}{\sigma}\right)\right\}$$

$$-\frac{\beta}{4}\frac{\partial}{\partial y}\left[(c\,c_g-V^2)\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{A}{\sigma}\right)\right]+\frac{i}{4k}\left[\frac{\partial}{\partial y}(\omega V)+3\frac{\partial}{\partial x}(\omega U)\right]\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{A}{\sigma}\right)$$

$$+\frac{\gamma A}{2}+\frac{i\sigma}{2}G(|A|,kh)A=0 \qquad (19)$$

siendo:

$$\beta = \frac{1}{k^2}\frac{\partial k}{\partial x} + \frac{1}{2k^2(c\,c_g - U^2)}\frac{\partial}{\partial x}\left[k\left(c\,c_g - U^2\right)\right]$$

y donde *A = A (x, y)* es la función compleja de la amplitud de la onda, *G* ($|A|$, *kh)* es una función no lineal con la amplitud, *U*r = *(U,V)* es el vector velocidad de la corriente, ω es la frecuencia angular absoluta, σ es la frecuencia angular intrínseca, *c* es la celeridad de fase o de la onda, *cg* es la celeridad de grupo, *k* es el número de onda y $\bar{k}$ es el número de onda de referencia medio a lo largo del eje *y*. Esta ecuación es la discretizada en el modelo monocromático Oluca-MC. El desarrollo y las operaciones que se requieren para llegar hasta ella son muy extensos y no se ha creído apropiado describirlos detalladamente. Dicho desarrollo puede encontrarse en las referencias: Kirby and Dalrymple (1985), y Kirby (1986a).

Aplicando el principio “Minimax”, la ecuación (19) ha sido extendida por Kirby (1986c), permitiendo ángulos de propagación mayores con respecto al eje x. La ecuación extendida que gobierna la refracción, difracción y asomeramiento de una componente discreta con frecuencia *j* y dirección *l*, es la siguiente:

$$\left(C_{gj}+U\right)\left(A_{jl}\right)_x - 2\Delta_1 V\left(A_{jl}\right)_y + i\left(\bar{k}_j - a_0 k_j\right)\left(C_{gj}+U\right)A_{jl}$$

$$+\left\{\frac{\sigma_j}{2}\left(\frac{C_{gj}+U}{\sigma_j}\right)_x - \Delta_1\sigma_j\left(\frac{V}{\sigma_j}\right)_y\right\}A_{jl} + i\Delta_j'\left[\left(\left(CC_g\right)_j - V^2\right)\left(\frac{A_{jl}}{\sigma_j}\right)_y\right]_y$$

$$-i\Delta_1\left\{\left[UV\left(\frac{A_{jl}}{\sigma_j}\right)_y\right]_x + \left[UV\left(\frac{A_{jl}}{\sigma_j}\right)_x\right]_y\right\}$$

$$+\frac{-b_1}{k_j}\left\{\left[\left(\left(CC_g\right)_j - V^2\right)\left(\frac{A_{jl}}{\sigma_j}\right)_y\right]_{yx} + 2i\left(\sigma_j V\left(\frac{A_{jl}}{\sigma_j}\right)_y\right)_x\right\}$$

$$+b_1\beta_j\left\{2i\omega_j U\left(\frac{A_{jl}}{\sigma_j}\right)_x+2i\sigma_j V\left(\frac{A_{jl}}{\sigma_j}\right)_y-2UV\left(\frac{A_{jl}}{\sigma_j}\right)_{xy}+\left[\left(\left(CC_g\right)_j-V^2\right)\left(\frac{A_{jl}}{\sigma_j}\right)_y\right]_y\right\}$$

$$-\frac{i}{k_j}b_1\left\{\left(\omega_j V\right)_y+3\left(\omega_j U_x\right)\right\}\left(\frac{A_{jl}}{\sigma_j}\right)_x-\Delta_2\left\{\omega_j U\left(\frac{A_{jl}}{\sigma_j}\right)_x+\frac{1}{2}\omega_j U_x\left(\frac{A_{jl}}{\sigma_j}\right)\right\}$$

$$+ik_j\omega_j U(a_0-1)\left(\frac{A_{jl}}{\sigma_j}\right)+\alpha A_{jl}+\frac{\gamma_i}{2}A_{jl}+\frac{i\sigma_j}{2}k_j^2 D_j\left|A_{jl}\right|^2 A_{jl}=0 \qquad (20)$$

donde α y γ son los coeficientes de disipación de energía por rotura del oleaje y fricción por el fondo respectivamente.

$$\sigma_j=\omega_j-k_jU;\quad \beta_j=\frac{\left(k_j\right)_x}{k_j^2}+\frac{\left(k_j\left((CC_g)_j-U^2\right)\right)_x}{2k_j^2\left((CC_g)_j-U^2\right)} \qquad (21)$$

$$\Delta_1=a_1-b_1;\quad \Delta_2=1+2a_1-2b_1;\quad \Delta_j^{'}=a_1-b_1\frac{\bar{k}_j}{k_j} \qquad (22\text{ a})$$

$$D_j=\frac{\cosh(4k_jh)+8-2tanh^2(k_jh)}{8\,\mathrm{senh}^4(k_jh)} \qquad (22\text{ b})$$

Los coeficientes a_0, a_1 y b_1 se escogen con base en el criterio de mínimo error aplicando el principio “Minimax”. Siguiendo Greene (1984), Kirby (1986c) describe la aplicación del principio de “Minimax” en problemas de superficie de ondas, las tablas con resultados de los coeficientes pueden ser consultados en dicha referencia. Los coeficientes dependen de un ancho de apertura permitido dependiendo de la dirección de las olas. Algunos de estos coeficientes se definen como:

Tabla 1. Rango de coeficientes a_0, a_1 y b_1 de acuerdo con aproximaciones parabólicas.

Aproximaciones parabólicas	a_0	a_1	b_1
Simple: Radder (1979)	1	-0.50	0.00
Padde (1,1): Booij (1981), Kirby (1986c)	1	-0.75	-0.25
Minimax 70: Kirby (1986c)	0.994733030	-0.890064831	-0.451640568

Kirby (1986c) encontró que para rangos máximos (Minimax 70º) se obtienen resultados razonables dentro de los ángulos que típicamente se utilizan, pero mantiene reservas en cuanto a su aplicación en modelos numéricos, dado que todavía esta aproximación no ha sido suficientemente comprobada. Kirby (1994), recomienda el uso de Padde (1,1) el cual se ha implementado en el modelo espectral Oluca-SP, obteniéndose resultados razonables dentro de los ±55º con el eje x.

3.2.6. Dispersión del oleaje debida a la altura de ola significante

Desde que se presentaron los primeros modelos de refracción y difracción combinadas, se sigue investigando el desarrollo de estos modelos originales, basados en teoría lineal, para que den respuesta a varios fenómenos físicos reales no cubiertos todavía por dicha teoría. Entre los fenómenos que son de particular importancia destaca la no linealidad de las ondas, que provoca un aumento de la celeridad por efecto de la dispersión debida a la amplitud, y no sólo debida a la frecuencia, como ocurre en ondas lineales. Se ha demostrado, Kirby and Dalrymple (1983a), (1984) que la consideración de fenómenos no lineales puede provocar una clara distorsión de los resultados a partir de unas pocas longitudes de onda.

Para representar la no linealidad en los modelos de propagación se utilizan dos aproximaciones. La primera aproximación, sugerida inicialmente por Booij (1981), consiste en utilizar una relación de dispersión empírica que modele la dispersión por amplitud en aguas someras y que tienda a la relación de dispersión frecuencial en aguas profundas. Esta técnica tiene la ventaja de tener, al menos, una descripción empírica del comportamiento en aguas someras, pero tiene el inconveniente de linealizar los resultados en aguas profundas.

La segunda consiste en modificar el modelo lineal de Kirby and Dalrymple (1983a), incluyendo un término proporcional al cubo de la amplitud de la ola que representa la distorsión del número de onda resultante de los efectos de tercer orden en la teoría de Stokes. Esta aproximación presenta la ventaja de tener una base analítica válida, pero tiene el claro inconveniente de no ser adecuada para aguas poco profundas.

3.2.6.1. Relación de dispersión empírica

La teoría de Stokes para aguas profundas e intermedias ofrece la siguiente relación de dispersión:

$$\sigma^2 = gk\,(1+\varepsilon^2 D)\tanh(kh) \qquad (23)$$

donde:

$$\varepsilon = k|A| \quad \text{y} \quad D = \frac{\cosh(4kh) + 8 - 2\tanh^2(kh)}{8\sinh^4(kh)} \qquad (24)$$

Esta formulación es válida para números de Ursell *Ur* < *O(1)* con *Ur* definido como:

$$Ur \equiv \frac{|A|}{h}\frac{1}{(kh)^2} \qquad (25)$$

Dicha restricción no se cumple en aguas someras, donde kh → 0 con $\frac{|A|}{h}$ pequeño pero finito. Además, la singularidad en *D* es muy grande e invalida los resultados en aguas poco profundas:

$$kh \to 0 \quad D \approx \frac{9}{8}\frac{1}{(kh)^4} \qquad (26)$$

En aguas poco profundas, Hedges (1976) propuso una modificación de la relación de dispersión lineal para modelar la dispersión por amplitud:

$$\sigma^2 = gk\tanh\left[k\left(h+|A|\right)\right] \qquad (27a)$$

que en aguas poco profundas y para $\frac{|A|}{h}$ pequeño, tiende a:

$$\sigma^2 = g\,k^2\,(\,h + |\,A\,|\,) \qquad (27b)$$

o, lo que es equivalente, a:

$$c = \sqrt{g\,(h + |\,A\,|\,)} \qquad (27c)$$

que representa la velocidad de propagación de una onda solitaria de altura H = $|A|$.

En aguas profundas, la relación de Hedges (1976) tiende a la relación lineal (4), ya que $\frac{|A|}{h} \rightarrow 0$ debido al aumento de la profundidad.

La no adecuación de una relación de dispersión empírica en aguas someras para modelar efectos no lineales en aguas intermedias, unida a la invalidez de la teoría de Stokes en aguas poco profundas, condujo a Kirby & Dalrymple (1986b) a buscar una relación de dispersión que fuera capaz de predecir la celeridad de la onda desde aguas profundas a aguas someras. Con el fin de incorporarla en modelos de propagación de ondas, propusieron la siguiente relación de dispersión:

$$\sigma^2 = gk\,(1 + f_1\,\varepsilon^2\,D)\tan h\,(kh + f_2\,\varepsilon) \qquad (28)$$

donde $f_1 = f_1(kh)$ y $f_2 = f_2$ (kh) son dos funciones arbitrarias, y ε y D están definidos como en (24). El modelo presentado se construye escogiendo expresiones adecuadas para las funciones f_1 y f_2. En particular se requiere que:

$$f_1(kh) \rightarrow 1 \quad \text{y} \quad f_2(\text{kh}) \rightarrow 0 \quad \text{cuando} \quad \text{kh} \rightarrow \infty \qquad (29\ a)$$

para recuperar la expresión del modelo de Stokes en aguas profundas e intermedias, mientras que en aguas someras se requiere que:

$$f_1(kh) = O\left[(kh)^5\right] \text{ y } f_2(\text{kh}) \to 1 \text{ cuando } \text{kh} \to 0 \qquad (29\text{ b})$$

para evitar la singularidad en *D*, de orden *O* $|(kh)^{-4}|$.

Por otro lado, la expresión de Hedges (1976) se obtiene haciendo $f_1 = 0$ y $f_2 = 1$ para cualquier valor de *kh.*

Con base en las exigencias anteriores, Kirby & Dalrymple (1986b) escogieron los valores de f_1 y f_2 como:

$$f_1(kh) = \tan h^5(kh) \qquad (30)$$

$$f_2(kh) = \left[\frac{kh}{\sin h(kh)}\right]^4 \qquad (31)$$

La relación propuesta concuerda adecuadamente con ambas relaciones; la de Stokes en aguas profundas y la de Hedges, (1976) en aguas someras. La variación de la relación de dispersión $\frac{\sigma^2}{gk}$:

$$\frac{\sigma^2}{gk} = \frac{\frac{\sigma}{k}}{\frac{g}{\sigma}} = \frac{c}{c_0} \qquad (32)$$

En función de *kh* para diferentes valores de ε, siendo *c* la celeridad de la ola y c_0 la celeridad en aguas profundas.

Con el fin de incluir efectos no lineales en la propagación de componentes de energía de un estado de mar, Kirby et al. (1994) propone modificar las relaciones de dispersión aplicadas en ondas monocromáticas (Hedges, ecuación (27a) y modelo híbrido, ecuación (28)). Esta modificación se fundamenta en que los efectos no lineales incrementan su importancia cuando la rotura del oleaje es fuerte.

Dado que la altura de ola significante *Hs*, es importante dentro de los modelos de rotura como se verá más adelante, ésta ha sido incluida en las modificaciones en las relaciones de dispersión.

El modelo Oluca-SP permite las siguientes opciones de ecuaciones de dispersión, para una frecuencia dada *j*:

$$\sigma_j^2 = gk_j(1+\varepsilon_j^2 D_j)tanh(k_j h) \quad \text{Stokes sin modificar} \qquad (33)$$

$$\sigma_j^2 = gk_j tanh(k_j h + \varepsilon_s) \quad \text{Hedges modificado} \qquad (34)$$

$$\sigma_j^2 = gk_j(1+f_{1j}\varepsilon_j^2 D_j)tanh(k_j h + f_{2j}\varepsilon_s) \quad \text{Modelo híbrido modificado, Kirby} \qquad (35)$$

donde:

$$\varepsilon_j = k_j |A|_{jl}$$
$$\varepsilon_s = k_j H_s / 2 \qquad (36)$$

siendo *h* la profundidad en un punto dado del dominio, y *Dj, f_{1j}* y *f_{2j}* los mismos definidos anteriormente, para una frecuencia *j*. De estas opciones la (35) cubre un mayor rango de profundidades de agua.

3.2.6.2. Modificación del modelo lineal, incluyendo un término en $|A^2|A$

Las ecuaciones parabólicas de Booij (1981) y Radder (1979) son ecuaciones basadas en la ecuación lineal de Berkhoff (1972) y, como tales, no son capaces de reproducir efectos no lineales dependientes de la amplitud de la ola. Los modelos lineales tienden, en general, a calcular por exceso las amplitudes de ola en las proximidades de zonas de concentración de olas y formación de cáusticos, donde el peralte aumenta rápidamente y los efectos no lineales llegan a ser importantes. Esta tendencia puede observarse en la verificación realizada por Berkhoff, Booij & Radder (1982).

Por esta razón, Kirby & Dalrymple (1983a) derivaron una ecuación parabólica para la propagación de ondas ligeramente no lineales "weakly-nonlinear waves" empleando un método de perturbación multiescalar. El desarrollo formal, que puede encontrarse en Kirby & Dalrymple (1983a), utiliza un desarrollo del tipo WKB (Wentzel-Kramers-Brillouin) para el potencial de onda en el contexto de la teoría de Stokes, muy similar al utilizado por Yue & Mei (1980) para el caso de profundidad constante.

La aproximación parabólica que obtuvieron para la amplitud fue:

$$2ikc\,c_g\frac{\partial A}{\partial x}+2k(k-\bar{k})\,c\,c_g A+i\frac{\partial(kc\,c_g)}{\partial x}A$$

$$+\frac{\partial}{\partial y}c\,c_g\frac{\partial A}{\partial y}-kc\,c_g K'|A|^2A=0 \qquad (37)$$

con $k'=k^3\frac{C}{C_g}D$, *D* definido como en (24) y *A* una función compleja de la amplitud. Esta ecuación es igual que la de Radder (1979) (sustituyendo $\phi=i\frac{g}{\sigma}Ae^{i\bar{k}x}$) excepto por el término no lineal:

$$-kc\,c_g k'|A|^2A$$

La aproximación realizada para incluir la no linealidad, utilizada en los modelos monocromático Oluca-RD y espectral Oluca-SP, fue objeto de una posterior verificación y sus resultados fueron ampliamente satisfactorios, Kirby & Dalrymple (1984). Un inconveniente que debe considerarse es que en aguas poco profundas la aproximación de Stokes de orden superior a uno no es utilizable ya que el término *D* no converge, independientemente de su falta de validez desde un punto de vista físico. Sin embargo, esta limitación se soluciona parcialmente con la relación de dispersión empírica (35).

3.2.7. Clima de Oleaje

El proceso de discretización del espectro bidimensional, permite definir componentes de energía a las cuales se les asocia una amplitud compleja A_{jl}, con una frecuencia f_j y un ángulo de incidencia θ_l. Para determinar las pérdidas de energía asociadas a la rotura del oleaje (ver detalles en la siguiente sección), es necesario definir en cada punto del dominio una altura de ola estadística (altura de ola significante, *Hs* o altura media cuadrática H_{rms}). Asumiendo una distribución de alturas de ola de Rayleigh y utilizando la información de las componentes espectrales en cada punto (x, y) del dominio, la altura de ola significante se puede estimar como:

$$H_s(x,y) = \left(8 \sum_{j=1}^{N_f} \sum_{l=1}^{N_\theta} \left| A_{jl}(x,y) \right|^2 \right)^{1/2} \qquad (38)$$

y la altura de ola media cuadrática H_{rms}, como:

$$\sqrt{2} H_{rms}(x,y) = H_s(x,y) \qquad (39)$$

También en cada punto *(x,y)* del dominio se puede definir el espectro frecuencial *E(f),* como:

$$E(f_j) = \frac{\sum_{l=1}^{N_\theta} \left| A_{jl}(x,y) \right|^2}{2(\Delta f_j)} \qquad (40)$$

Donde $j = 1, ..., N_f$ y Δf_j = ancho de incremento frecuencial para f_j.

Al objeto de definir el espectro bidimensional en un punto (x, y) del dominio, el espectro direccional se define dividiendo en 37 rangos de 5º entre [θ=-92.5º y θ=92.5º]. Para cada frecuencia, las componentes propagadas poseen un ángulo el cual se ubica en alguno de los 37 rangos direccionales. Posteriormente, la energía es sumada para cada uno de los rangos. El espectro direccional se obtiene como:

$$S(f_j,\theta_k) = \frac{\sum_{l=1}^{z_{jk}} \left| A_{jl}(x,y) \right|^2}{2\Delta f_j \Delta\theta} \qquad (41)$$

Donde $k = 1, ...37$; $\Delta\theta = 5º$; z_{jk} = número de componentes en la frecuencia *j* que se encuentran en el rango *k* de dirección.

La superficie libre $\eta(x, y)$, se puede obtener a partir del método de las fases aleatorias, tal como se muestra a continuación:

$$\eta(x,y) = \sum_{j=1}^{N_f} \sum_{l=1}^{N_\theta} \eta_{jl}(x,y) \qquad (41\ a)$$

$$\eta(x,y) = \sum_{j=1}^{N_f} \sum_{l=1}^{N_\theta} \left| A_{jl}(x,y) \right| \operatorname{sen}\left(k_j x \cos\theta_{jl} + k_j y \operatorname{sen}\theta_{jl} + \varepsilon_{jl} \right) \qquad (41\ b)$$

donde ε_{jl} es una fase aleatoria.

3.2.8. Modelado de la disipación de energía

En muchos casos, la simulación realista de la propagación de oleaje requiere la inclusión de efectos de disipación de energía, que introducen una ligera no linealidad. La presencia localizada de disipación de energía en el fondo o en algún punto de la columna de agua provoca la difracción del oleaje, así como su atenuación.

La inclusión de un término de disipación de energía en una ecuación de propagación fue estudiada por Skovgaard, Jonsson & Bertelsen (1975), quienes presentaron un modelo de disipación por fricción de fondo. Siguiendo esta idea, Booij (1981) y posteriormente Dalrymple, Kirby & Hwang (1984) desarrollaron modelos parabólicos incluyendo dicho término de disipación.

Dalrymple, Kirby & Hwang (1984), siguiendo el método empleado por Booij (1981), introdujeron un factor de disipación *g* en la ecuación de Berkhoff (1972):

$$\vec{\nabla}(c\,c_g\,\vec{\nabla}\phi)+(k^2 c\,c_g+i\sigma\gamma)\phi=0 \qquad (42)$$

Siguiendo el razonamiento para la obtención de la ecuación parabólica de Radder (1979), separando las componentes incidente y reflejada, se llega a una ecuación parabólica con el término de disipación semejante al de (20):

$$+\frac{\gamma_j}{2}A_{jl} \qquad (43)$$

donde γ, es la disipación de la energía para la componente *j*, dividida por la energía (sus unidades son tiempo-1). Adopta diferentes expresiones dependiendo del origen de la disipación de energía. A continuación se muestran algunos modelos de disipación por superficie, fondo y rotura del oleaje:

3.2.8.1. Capa límite laminar en superficie y fondo

En la superficie libre del agua y en el fondo, se forman sendas capas límite debidas a la acción de la viscosidad. En las superficies contaminadas (con origen natural o no), en las que se forma una película superficial, se produce un importante amortiguamiento del oleaje. Este amortiguamiento depende del valor de la viscosidad del fluido y su valor es, según Phillips (1966):

$$\gamma_j = \gamma_{sj} + \gamma_{fj} = \frac{\sigma_j k_j \sqrt{\frac{\nu}{2\sigma_j}}(1-i)}{\tanh(k_j h)} + \frac{2\sigma_j k_j \sqrt{\frac{\nu}{2\sigma_j}}(1-i)}{\sinh(k_j h)} =$$

$$= \frac{2\sigma_j k_j \sqrt{\frac{\nu}{2\sigma_j}}\left(1+\cosh^2(k_j h)\right)}{\sinh(2k_j h)}(1-i) \qquad (44)$$

Donde $\nu = 1.3\ 10^{-6}$ ·m²/s es la viscosidad cinemática y $\nu/2\sigma_j$ representa el espesor de la capa límite.

3.2.8.2. Capa límite turbulenta en el fondo

En el campo, las condiciones de oleaje son tales que la capa límite en el fondo es siempre turbulenta. En este caso, la disipación de energía se puede obtener utilizando el coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach, *f*. Dean and Dalrymple (1984) demostraron que la disipación de energía para esta capa límite, viene dada por la expresión:

$$\gamma_j = \frac{2\sigma_j f k_j \left| A_{jl} \right| (1-i)}{3\pi \sinh(2k_j h)\sinh(k_j h)} \qquad (45)$$

con $f = 4 f_\omega$, donde $f_\omega = 0.01$ (f_ω es el coeficiente de Darcy-Weisbach para olas).

3.2.8.3. Fondos porosos de arena

La mayoría de los fondos son porosos y el oleaje induce un flujo en el interior del lecho. El resultado es un amortiguamiento debido al flujo de Darcy en la arena. Para lechos caracterizados por un coeficiente de permeabilidad dado, *Cp*, se puede demostrar que el amortiguamiento viene dado por:

$$\gamma_j = \frac{g k_j C_p (1-i)}{\cosh^2(k_j h)} \qquad (46)$$

El coeficiente de permeabilidad, Cp, tiene unidades de (m^2) y es del orden de $4.5*10^{-11}$ m^2. Liu and Dalrymple (1984), demostraron que para arenas muy permeables, la amortiguación está en relación inversa con C_p y que, por lo tanto, debe utilizarse una expresión diferente para γ. Sin embargo, este caso no se suele dar en la naturaleza.

3.2.8.4. Rotura del oleaje

Sin duda, la rotura del oleaje es uno de los fenómenos más significativos de la hidrodinámica costera ya que afecta a diferentes procesos costeros naturales tales como las corrientes litorales y el transporte de sedimentos. La rotura del oleaje, que principalmente se produce en la zona de “surf” al disminuir el calado; también puede producirse en aguas más profundas por peraltamiento de la ola, siendo un fenómeno altamente no lineal y disipativo.

El análisis de la rotura del oleaje es fundamental para un modelo de propagación en zonas costeras y debe servir para determinar la pérdida de energía sufrida. En general, los modelos de disipación del oleaje en rotura pueden clasificarse en dos categorías:

- modelos de disipación asociado a la propagación de bores;
- modelos que determinan la variación espacial de la energía de las olas o de la "acción de onda".

El modelo Oluca-SP permite seleccionar entre tres modelos, dos de la primera categoría (Battjes y Janssen, 1978 y Thornton y Guza, 1983) y otro de la segunda categoría (Winyu y Tomoya, 1998).

Cuando el oleaje se aproxima a profundidades reducidas cercanas a la zona de rotura, domina fundamentalmente el asomeramiento y la refracción debido al contorno del fondo. Se incrementan las velocidades y se genera disipación debido principalmente a la fricción del fondo y percolación.

Dadas las características aleatorias del oleaje en un estado de mar (diferentes amplitudes, períodos y fases), no existe un punto de rotura, sino una zona de rotura donde en cada punto existen olas rotas y no rotas, siendo la turbulencia el principal mecanismo de disipación. Con lo cual, el proceso de disipación de energía del oleaje asociado a un porcentaje de olas rompiendo en una profundidad dada, se encuentra ligado a las propiedades

estadísticas del estado de mar en dicho punto (altura de ola significante, H_s o altura de ola cuadrática media H_{rms}).

El Oluca-SP resuelve numéricamente el sistema mediante avances espaciales en el dominio, en cada paso, propaga todas las componentes de energía, las cuales recompone linealmente para obtener H_s o H_{rms} (asociadas a un estado de mar). Siendo esta información estadística, la que se emplea como entrada al modelo de disipación de energía debido a la rotura. El Oluca-SP aplica una aproximación espectral al proceso de rotura del oleaje sin considerar la rotura individual de las componentes propagadas.

Si consideramos un modelo lineal de asomeramiento para una componente de ola de frecuencia *j* y dirección *l* (Chawla et al., 1998), tenemos:

$$C_{gj}\frac{\partial A_{jl}}{\partial x}+\frac{1}{2}\frac{\partial C_{gj}}{\partial x}A_{jl}=0 \qquad (47)$$

Si incluimos un término de amortiguamiento con el fin de simular la rotura de dicha ola, se obtiene la siguiente ecuación de evolución:

$$C_{gj}\frac{\partial A_{jj}}{\partial x}+\frac{1}{2}\frac{\partial C_{gj}}{\partial x}A_{jl}=-\alpha A_{jl} \qquad (48)$$

obteniéndose la siguiente ecuación de energía:

$$\frac{\partial\left(C_{gj}\left|A_{jl}\right|^2\right)}{\partial x}=-2\alpha\left|A_{jl}\right|^2 \qquad (49)$$

Sumando componentes a lo largo de las frecuencias y direcciones, obtenemos:

$$\frac{\partial\left(\sum_{j=1}^{N_f}C_{gj}\sum_{l=1}^{N_\theta}\left|A_{jl}\right|^2\right)}{\partial x}=-2\alpha\sum_{j=1}^{N_f}\sum_{l=1}^{N_\theta}\left|A_{jl}\right|^2 \qquad (50)$$

Definiendo a partir de una distribución de altura de olas de Rayleigh, la altura de ola media cuadrática H_{rms}:

$$H_{rms}^2 = 4\sum_{j=1}^{N_f}\sum_{l=1}^{N_\theta}\left|A_{jl}\right|^2 \qquad (51)$$

Sustituyendo (51) en (50), obtenemos:

$$\frac{\partial\left(\sum_{j=1}^{N_f} C_{gj}\sum_{i=1}^{N_\theta}\left|A_{jl}\right|^2\right)}{\partial x} = -\frac{1}{2}\alpha H_{rms}^2 \qquad (52)$$

Por otro lado, como se verá más adelante, tanto los modelos de disipación de energía para ondas monocromáticas, como los modelos de oleaje, plantean un balance de flujo de energía de la siguiente forma:

$$\frac{\partial EC_g}{\partial x} = -\overline{D} \qquad (53)$$

Donde *D* es la tasa media temporal de disipación de energía por unidad de área, debido a la rotura del oleaje, y *ECg* el flujo de energía expresado como:

$$EC_g = \frac{1}{2}\rho g\sum_{j=1}^{N_f} C_{gj}\sum_{l=1}^{N_\theta}\left|A_{jl}\right|^2 \qquad (54)$$

Sustituyendo (54) en (53) y luego ésta en (52), se obtiene la siguiente relación:

$$\alpha = \frac{4\overline{D}}{\rho g H_{rms}^2} \qquad (55)$$

Los modelos de disipación de energía del tipo (53), pueden ser incluidos dentro de las ecuaciones del modelo parabólico mediante el término αA_{jl} en (20), aplicando la expresión de α definida en (55).

3.2.8.5. Modelo de disipación de Battjes y Janssen, 1978 (MBJ)

Este modelo predice la transformación de la altura de ola media cuadrática H_{rms} debido a la disipación por rotura del oleaje. Se fundamenta en la hipótesis que la distribución de las alturas de ola, asociada a un H_{rms}, son del tipo Rayleigh. Dicha distribución de alturas de ola es truncada, a partir de una altura de ola máxima que permite una profundidad dada. Esta energía truncada permite calcular la tasa de energía media a ser disipada, $\overline{D}$.

Dentro de este modelo deben distinguirse dos aspectos: La tasa de disipación por rotura de una sola onda independiente, y la probabilidad de ocurrencia de olas rompiendo de un estado de mar, en una profundidad dada. En cuanto a la primera, tal como lo plantean muchos autores (por ejemplo, Stoker, 1957; Le Méhauté, 1962; Battjes et al., 1978), la energía disipada en el proceso de rotura de una onda se asocia a la energía disipada por un “bore” en flujo uniforme. Esto permite definir una relación del orden de magnitud de la tasa de disipación de energía por unidad de área *D*:

$$D \approx 1/4\, f \rho g \frac{H_b^3}{h_b} \qquad (56)$$

Donde *f* es la frecuencia de la onda, r la densidad de masa del agua, *g* la aceleración de la gravedad, H_b la altura de ola (cresta-seno) cuando rompe y h_b la profundidad donde rompe la onda.

En cuanto al segundo aspecto, dado que la anterior tasa de disipación se aplica para una onda monocromática, su extensión a un oleaje (escrito como *D*) debe tener en cuenta la aleatoriedad de las olas y el hecho de que no todas las olas que pasan por un punto rompen.

Por lo tanto, el modelo MBJ asume como hipótesis que:

1. La frecuencia de pico asociada al espectro de energía de entrada f_p, se usa como frecuencia f en (56). Lo que presupone que la disipación es independiente de la frecuencia.
2. *Hb* es la máxima altura de onda monocromática que pasa sin romper, en un punto con profundidad, h_b. El MBJ aplica una expresión del tipo Miche (1954) para definir (H_b/h_b), como se verá más adelante.
3. H_b/h_b ~ 0 (1) en la zona de rompientes.
4. La distribución de alturas de ola en la zona de rotura, se asume del tipo Rayleigh. Ésta al ser truncada para $H > H_b$ permite definir una expresión para la fracción de olas rotas Q_b, en una determinada profundidad.
5. Todas las olas rotas tienen una altura de ola igual a H_b.
6. Solo se considera el balance de flujo de energía en la dirección x (53).
7. No tiene en cuenta la recomposición de olas en perfiles con barras.

Con lo cual, la tasa de disipación media de un oleaje D se plantea como:

$$\overline{D} = \frac{\alpha_1}{4} Q_b f_p \rho g H_b^2 \qquad (57)$$

Donde a_1 es una constante de orden uno. Si no tenemos en cuenta en (57) Q_b, ésta sería la disipación de una onda de altura H_b. Cuando se incluye Q_b (Q_b = número de olas rotas en un punto / número de olas totales), estamos obteniendo la disipación total dividida entre todas las componentes, con lo cual, $\overline{D}$. es una disipación media asociada a cada una de las componentes del oleaje.

3.2.8.6. Altura de ola de rotura, H_b

El MBJ aplica el modelo de Miche (1954), con una ligera modificación al incluir el parámetro de rotura γ:

$$H_b = 0.88 k_p^{-1} tanh\left(\frac{\gamma k_p h}{0.88}\right) \qquad (58)$$

Donde k_p es el número de onda definido a partir de la relación de dispersión lineal, con la frecuencia pico inicial (f_p), h es la profundidad local del agua y g la relación de altura de ola y profundidad del agua ($\gamma=H_b/h$). Obsérvese en (58) que para profundidades muy reducidas (h pequeño, $H_b \sim \gamma h$).

Battjes y Stive (1985) utilizando datos de campo y ensayos de laboratorio de pequeña y gran escala, calibraron el parámetro g en (58) que mejor ajustaba D , para esto fijaron $\alpha 1$ = 1 en (57). La expresión que obtuvieron fue la siguiente:

$$\gamma = aa1 + bb1 tanh(33 S_o) \qquad (59)$$

Nairn (1990) incluye una serie de datos de bajo peralte de ola, medidos en Leadbetter beach, California, obteniendo el siguiente ajuste:

$$\gamma = 0.39 + 0.56 tanh\,(33 S_0) \qquad (60)$$

En el capítulo 5 de validación del Oluca-SP, se prueban estas dos expresiones, obteniéndose resultados muy similares. A partir de estas pruebas, se ha dejado (60) como fija dentro del modelo.

3.2.8.7. Fracción local de olas rotas, Q_b

Tal y como se ha indicado dijo anteriormente, el MBJ asume que la función de probabilidad de distribución de altura de olas (rotas o no rotas) en un punto dado, es del tipo Rayleigh. En aguas reducidas, la distribución de Rayleigh se trunca para $H>H_b$, siendo necesario asumir una distribución de probabilidad de la energía de olas rotas. Battjes y Janssen asumen como hipótesis que todas las olas rotas tienen una altura de ola igual a H_b, pero con una función delta en H_b que representa las olas rotas. Con esta hipótesis puede ser demostrado que la probabilidad de ocurrencia de olas rotas, Q_b, está relacionada con H_{rms} y H_b (ver detalles en Battjes y Janssen, 1978), obteniéndose la siguiente expresión:

$$\frac{1-Q_b}{-LnQ_b} = \left(\frac{H_{rms}}{H_b}\right)^2 \qquad (61)$$

Q_b puede ser resuelta en esta relación aplicando el método Newton-Raphson. En (61) cuando el oleaje representado por H_{rms} es muy pequeño con respecto a la altura de ola máxima local H_b, entonces $Q_b \sim 0$ lo que indica que no hay olas rompiendo, caso que ocurre en grandes profundidades. Si por el contrario nos acercamos a profundidades muy reducidas, H_b es pequeño frente a H_{rms}, y entonces $Q_b \sim 1$, lo que significa que todas las olas rompen.

A efectos prácticos, sustituyendo (61) en (57), es posible sustituir H_b por H_{rms}, obteniéndose la siguiente expresión:

$$\overline{D} = \frac{\alpha_1}{4} f_p \rho g H_{rms}^2 \left(\frac{-LnQ_b}{1-Q_b} \right) Q_b \qquad (62)$$

De nuevo si sustituimos esta expresión en (55), obtenemos el coeficiente a de fricción que aplica el modelo parabólico, para cada una de las componentes de energía propagadas con (20), donde la expresión α es:

$$\alpha = \alpha_1 f_p \left[\frac{-LnQ_b}{1-Q_b} \right] Q_b \qquad (63)$$

Al ser $\alpha_1 \neq f(f)$, implica que todas las componentes disipan por igual, hipótesis que se hace dado que el modelo no incluye interacción onda-onda. Algunos autores como (Kaihatu et al., 1995 y Kirby et al., 1996), han propuesto relaciones de *a* como una función de la frecuencia al cuadrado, con el fin de incluir la interacción onda-onda. Dado que estas relaciones no han sido debidamente contrastadas, no han sido incluidas dentro del modelo.

El proceso de cálculo de la disipación es el siguiente:

1. Dada la frecuencia pico *fp*, y una profundidad local, se determina *Hb* de (58).
2. Con *Hrms* recompuesta a partir de las componentes de energía aplicando (38) y (39) y *Hb,* se obiene la fracción de olas rotas *Qb* en (61).

3. Se calcula *a* de (63) y se reincopora dentro del modelo parabólico (20), con el cual se propagan cada una de las componentes del espectro.

Junto a las hipótesis planteadas anteriormente, es necesario incluir algunas hipótesis que se asumieron al incorporar este modelo en el OLUCA.-SP:

1. El Oluca-SP asume que el coeficiente α en (63) es constante para todas las frecuencias de las componentes de energía, debido a que el modelo Oluca-SP es lineal y no incluye la interacción onda-onda.
2. El Oluca-SP está orientado a la propagación de oleajes “swell”, dado que no se ha modificado el MBJ para tener en cuenta efectos direccionales, únicamente se considera el cambio de flujo de energía en la dirección principal de propagación x.
3. El MBJ no tiene en cuenta la recomposición de las olas en zonas posteriores a barras, sin embargo en la práctica, un incremento en la profundidad del agua causa que la disipación decrezca.

3.2.8.8. Modelo de disipación Thornton y Guza (1983) (MTG)

Este modelo es similar al MBJ, se fundamenta en la similitud de la disipación de energía debido a la rotura del oleaje con la disipación de un “bore”, y en que la distribución de alturas de ola en un punto es del tipo Rayleigh.

El MTG aplica una relación de D similar a la (56), la cual aplicada a una onda monocromática, aparece como:

$$D \approx \frac{1}{4} f \rho g \frac{(BH)^3}{h} \qquad (64)$$

donde *B* es un parámetro del 0(1) asociado al tipo de rotura (*B~1* la rotura es similar a la disipación del “Bore”, *B<1* rotura en Spilling, y *B>1* rotura en voluta).

La extensión de esta relación de una onda monocromática a la disipación media por rotura en un oleaje aleatorio (*D*), supone las siguientes hipótesis:

1. La frecuencia en (64) es la asociada a f_p, asumiendo de nuevo que la disipación media de todas las componentes en un punto dado, es constante.
2. La distribución de alturas de ola en la zona de rotura es del tipo Rayleigh.
3. A diferencia del MBJ, este modelo propone una función empírica de distribución de alturas de olas rotas $P_b(H)$, la cual depende de H_{rms}, h y γ=0.42 (ver detalles en Thornton y Guza, 1983). Esta función permite definir una rotura y disipación diferente para cada componente (no todas las olas grandes están rompiendo como ocurría con el MBJ para $H > H_b$) y por otro lado, no es necesario definir una altura de ola máxima de rotura H_b.
4. Solo considera balance de flujo de energía en la dirección x (53).
5. No tiene en cuenta la recomposición de olas cuando aumenta la profundidad en la dirección de la propagación.

La expresión para (D) del MTG es:

$$\overline{D} = \frac{B^3}{4h} \rho g f_p \int_0^\infty H^3 P_b(H) dH \qquad (65)$$

Desarrollando matemáticamente esta expresión, se obtiene:

$$\overline{D} = \frac{3\sqrt{\pi}}{16} \rho g \frac{B^3 f_p}{\gamma^4 h^5} H_{rms}^7 \qquad (66)$$

Stive (1984) afirma que la disipación similar al bore subestima la disipación por rotura entre un 30% y 50%, y recomienda para ensayos de laboratorio B=0.8 y campo B=1.5. Posteriormente, Mase y Kirby (1992), recomiendan para las constantes B y γ valores de 1 y 0.6 respectivamente. A partir de las pruebas del modelo en el capítulo 5, se concluyó que B = 1.0 y γ = 0.6 representan bastante bien la propagación en laboratorio y campo. Sustituyendo (66) en (55), se obtiene el parámetro de disipación α aplicado en (20):

$$\alpha = \frac{3\sqrt{\pi}}{4}\frac{f_p B^3}{\gamma^4 h^5} H_{rms}^5 \qquad (67)$$

Al igual que la implementación del MBJ en el Oluca-SP, el MTG asume las mismas tres hipótesis anteriormente expuestas.

3.2.8.9. Modelo de disipación de Winyu y Tomoya (1998) (MWT)

Este modelo a diferencia de los anteriores, no asume disipación de energía por rotura similar a la del "bore". El MWT asume un modelo de disipación similar al de Dally (1992), donde *D* es proporcional a la diferencia entre el flujo de energía local de una ola rompiendo y el flujo de energía estable. La diferencia es que el MWT no aplica la disipación propagando ola a ola, dado que computacionalmente es inviable, en este modelo incorporan la fracción de olas rotas *Qb* (la misma de Battjes et al., 1978).

La expresión para la disipación media de energía debido a la rotura del oleaje *D* se expresa como:

$$\overline{D} = \frac{K_5 Q_b C_p}{h}\left[E_m - E_s\right] \qquad (68)$$

donde:

$$E_m = \frac{1}{8}\rho g H_{rms}^2 \qquad (69)$$

$$E_s = \frac{1}{8}\rho g H_e^2 = \frac{1}{8}\rho g (\Gamma_e h)^2 \qquad (70)$$

K_5 es una constante proporcional, C_p es la velocidad de fase asociada a la frecuencia pico f_p del espectro, h es la profundidad local del agua, E_m es el flujo medio de energía local, E_s es el flujo medio de energía estable, H_e es la altura de ola estable y Γe es el factor de estabilidad de ola para oleaje irregular.

Reemplazando (69) y (70) en (68), se obtiene la siguiente expresión:

$$\overline{D} = \frac{K_5 Q_b C_p \rho g}{8h}\left[H_{rms}^2 - (\Gamma_e h)^2\right] \qquad (71)$$

Donde el factor Γe es definido de forma empírica, como:

$$\Gamma_e = \exp\left[K_6\left(-0.36 - 1.25\frac{h}{\sqrt{L_p H_{rms}}}\right)\right] \qquad (72)$$

K6 es un coeficiente de ajuste, *Lp* es la longitud de onda asociada a la frecuencia pico *fp.* Los límites para Γe se definen como: (Γe = 0.02 para $\frac{h}{\sqrt{L_p H_{rms}}}$ > 1,6 y Γe = 0,52 para $\frac{h}{\sqrt{L_p H_{rms}}}$ < 0,04).

La fracción de olas rotas Q_b se define como en (61), pero la altura de ola de rotura H_b es calculada aplicando el criterio de rotura de Goda (1970):

$$H_b = K_7 L_o\left\{1 - \exp\left[-1.5\frac{\pi h}{L_o}\left(1 + 15m^{4/3}\right)\right]\right\} \qquad (73)$$

Donde K_7 es un coeficiente de ajuste, L_0 es la longitud de onda en profundidades indefinidas y asociada a f_p, y *m* la pendiente del fondo.

Winyu y Tomoya (1998) calibraron el modelo para determinar los valores óptimos K_5, K_6 y K_7. La calibración fue llevada a cabo con datos de 128 experimentos de gran escala del SUPERTANK (Kraus y Smith, 1994). Las pruebas indicaron que K_5 = 0.10, K_6 = 1.60 y K_7 = 0.10 dan un buen ajuste entre las alturas de ola media cuadráticas medidas y calculadas. El modelo se verificó con éxito en modelos de pequeña escala (Smith y Kraus, 1990), datos de campo del proyecto DELILAH (Smith et al., 1993), datos de campo de Thornton y Guza (1986)

y las pruebas realizadas que se detallarán más adelante en el apartado de comprobaciones sobre el modelo Oluca SP.

En cuanto a su implementación dentro del Oluca-SP, se asumieron las mismas hipótesis de los modelos previos. Reemplazando (71) en (55) se obtiene la expresión de α en (20), como:

$$\alpha = \frac{K_5 C_p Q_b}{2h}\left[1-\left\{\frac{\Gamma_e h}{H_{rms}}\right\}^2\right] \qquad (74)$$

3.2.8.10. Zonas de tierra

Las grandes islas que cortan la superficie libre y las costas que puedan tener zonas de rotura se tratan mediante la técnica de la "película delgada" de Dalrymple, Kirby y Mann (1984). Este procedimiento permite el cálculo sencillo de las alturas de ola alrededor de islas de forma arbitraria, reemplazando las islas por bajos extremadamente someros (1 mm). La rutina de disipación reduce las alturas de ola sobre el bajo a menos de un milímetro, de manera que la energía que pasa por encima del bajo para las distintas componentes de energía resulta despreciable. De esta manera, el Oluca-SP no distingue desde el punto de vista computacional las islas de las áreas de mayor profundidad, obteniéndose sin embargo como resultado la influencia de la isla sobre el oleaje.

3.2.9. Tensores de radiación debido al oleaje irregular

Los tensores de radiación debida a un oleaje irregular se calculan con base en los tensores que generan cada una de las componentes de energía. Dichas componentes se propagan a un ángulo θ con el eje *x* y la suma lineal de todas éstas en un punto del dominio, determinaron las siguientes expresiones de tensores de radiación:

$$S_{xx}(x,y) = \frac{1}{2}\rho g \sum_{j=1}^{N_f}\sum_{l=1}^{N_\theta}\left|A_{jl}\right|^2\left[n_j(1+\cos^2\theta_{jl})-\frac{1}{2}\right] \qquad (75)$$

$$S_{yy}(x,y) = \frac{1}{2}\rho g \sum_{j=1}^{N_f}\sum_{l=1}^{N_\theta}\left|A_{jl}\right|^2\left[n_j(1+sen^2\theta_{jl})-\frac{1}{2}\right] \qquad (76)$$

$$S_{xy}(x,y) = \frac{1}{4}\rho g \sum_{j=1}^{N_f}\sum_{l=1}^{N_\theta} \left|A_{jl}\right|^2 n_j \,\mathrm{sen}(2\theta_{jl}) \qquad (77)$$

Donde S_{xx} es el tensor de radiación actuando en el plano *x* a lo largo del eje *x*; S_{yy} es el tensor de radiación actuando en el plano *y* a lo largo del eje *y*; S_{xy} es el tensor de radiación actuando sobre el plano y a lo largo del eje *x* (por simetría S_{xy}= S_{yx}); n_j es la relación de la velocidad de grupo C_{gj} con respecto a la velocidad de fase C_j de la componente frecuencial *j*; n_j es dada en términos del número de onda K_j y la profundidad local de agua *h,* como:

$$n_j = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{2K_j h}{senh(2k_j h)}\right) \qquad (78)$$

Con el fin de definir un ángulo medio *q* del espectro en cada punto (x, y) del dominio, el Oluca-SP estima *q* con base en la dirección media del tensor Sxy calculado con (77), la frecuencia pico y la altura de ola significante en el punto. El ángulo θ se define como:

$$\bar{\theta} = \frac{1}{2}\mathrm{arcsen}\left(\frac{2S_{xy}}{E n_p}\right) \qquad (79)$$

Donde n_p está asociada a la frecuencia pico f_p. Asumiendo una distribución de alturas de ola de Rayleigh, la altura de ola significante H_s y la energía del oleaje se definen como:

$$H_s^2 = 8\sum_{j=1}^{N_f}\sum_{l=1}^{N_\theta}\left|A_{jl}\right|^2 = 2H_{rms}^2 \qquad (80)$$

$$E = \frac{1}{2}\rho g \sum_{j=1}^{n_f}\sum_{l=1}^{N_\theta}\left|A_{jl}\right|^2 \qquad (81)$$

Reemplazando (80) en (81) se encuentra que:

$$E = \frac{1}{16}\rho g H_s^2 = \frac{1}{8}\rho g H_{rms}^2 \qquad (82)$$

Que al sustituir esta expresión en (79), se obtiene la relación θ que calcula el Oluca-SP:

$$\overline{\theta}(x,y) = \frac{1}{2}\operatorname{arcsen}\left[\frac{32 S_{xy}}{\rho g H_s^2 n_p}\right] \qquad (83)$$

3.2.10. Espectro bidimensional de entrada

El oleaje asociado a un estado de mar se define a partir de un espectro bidimensional (*S*), el cual se localiza en el contorno exterior del dominio (mar adentro), dicho espectro se compone de un espectro frecuencial (*E*) y una función de dispersión dirección (*D*), tal como se muestra a continuación:

$$S(f,\theta) = E(f,h)\cdot D(\theta) \qquad (84)$$

3.2.10.1. Espectro frecuencial TMA (Bouws et al., 1985)

El modelo Oluca-SP permite dos maneras de definir el espectro frecuencial, una mediante la lectura de un archivo externo, y otra a partir de un espectro TMA (Texel Marsen Arsloe). El espectro TMA (E_{TMA}) se aplica en zonas cercanas a la costa donde las profundidades son relativamente poco profundas y las olas son afectadas por el fondo, se define a partir de un espectro JONSWAP (E_{JON}), el cual es modificado por una función adimensional de la profundidad Fk (Hughes, 1984), siendo su expresión como se muestra a continuación:

$$E_{TMA}(f,h) = E_{JON}(f)\cdot \Phi_k(\omega_h) \qquad (85)$$

con:

$$E_{JON}(f) = E_p(f)\phi_{pm}\left(\frac{f}{f_p}\right)\phi_j(f,f_p,\gamma,\sigma) \qquad (86)$$

$$E_p = \alpha g^2 (2\pi)^{-4} f^{-5}$$

$$\phi_{pm} = \exp\left[\frac{-5}{4}\left(\frac{f}{f_p}\right)^{-4}\right]$$

$$\phi_j = \exp\left[Ln(\gamma)\exp\left(-\frac{(f-f_p)^2}{2\sigma^2 f_p^2}\right)\right]$$

$$\sigma = \begin{Bmatrix} 0.07 & f \le f_p \\ 0.09 & f > f_p \end{Bmatrix}$$

$$\Phi_k = \begin{Bmatrix} 0.5\omega_h^2 & \omega_h \le 1 \\ 1.0 & \omega_h \ge 2 \\ 1-0.5(2-\omega_h)^2 & 1 < \omega_h < 2 \end{Bmatrix} \qquad (87)$$

donde *f* es la frecuencia (*Hz*), f_p la frecuencia pico, *g* es la aceleración de la gravedad, α la constante de Phillips, que se escala para obtener la altura de ola media cuadrática, γ es un factor que define la anchura del espectro (γ~10 para oleajes Swell; γ = 2~4 oleajes sea), y w_h es la frecuencia angular normalizada por la profundidad de agua *h*, y definida como:

$$\omega_h = 2\pi f\left(\frac{h}{g}\right)^{1/2} \qquad (88)$$

La condición $w_h \ge 2$ en (87), convierte el espectro TMA en un espectro JONSWAP, condición que se presenta en profundidades indefinidas.

3.2.10.2. Función de dispersión direccional normalizada (Borgman, 1984)

La distribución angular de ondas individuales de un espectro en el OlucaSP, se describe a partir de la siguiente función:

$$G(\theta) = \frac{1}{2\pi} + \frac{1}{\pi}\sum_{j=1}^{J}\left\{\exp\left[-\frac{(j\sigma_m)^2}{2}\right]\cos j(\theta - \theta_m)\right\} \qquad (89)$$

Donde θ_m es la dirección media del oleaje, *J* un número arbitrario de armónicos para representar la serie de Fourier (valor seleccionado en el Oluca-SP J = 100) y σ_m el parámetro que determina el ancho de la dispersión direccional. Esta expresión que ha sido aplicada con buenos resultados por diferentes actores (Vicent et al., 1989; Panchang et al., 1990, Pae et al., 1992; Chawla et al., 1998).

3.2.10.3. Parámetros de entrada al espectro bidimensional

Espectro TMA:

h = profundidad (m)

Hs = altura de ola significante (m)

fp = frecuencia pico (Hz)

γ = factor de ensanchamiento del pico.

Función de dispersión direccional:

θ_m = dirección media del oleaje (grados),

σ_m = ancho del espectro (grados).

3.2.11. Hipótesis del modelo de propagación

1. Fluido
· No viscoso
· Incompresible
· Densidad constante

2. Flujo
· Irrotacional
· Estacionario

3. Dinámicas
· Presión constante en la superficie libre
· No se considera la acción del viento
· No se considera la acción de Coriolis

4. Contornos
· Fondo de pendiente suave:

El desarrollo matemático de las ecuaciones del modelo, se plantean con la hipótesis de que las variaciones del fondo con las coordenadas horizontales, son pequeñas en comparación con la longitud de onda. Para el modelo lineal, Berkhoff (1982) realizó una comparación entre un modelo numérico exacto y el de la ecuación de pendiente suave para ondas propagándose sobre una playa. Encontró que hasta pendientes del fondo de 1:3 el modelo de la pendiente suave es exacto y que para pendientes mayores predice adecuadamente las tendencias.

5. Propagación
· No linealidad débil:

Dependencia débil de la ecuación de dispersión con la altura de ola significante (35); modelo no lineal Stokes-Hedges.

· Aproximación parabólica: Las componentes se propagan principalmente en una dirección *(x)*. Con lo cual se desprecian términos $\left(\frac{\partial^2()}{\partial x^2}\right)$. La solución es tanto más aproximada cuanto menor variación haya en la dirección *x*.

Esta aproximación parabólica implica varias ventajas y desventajas:

Ventajas: (1) se ha mostrado como una ecuación de gobierno correcta para la propagación de componentes lineales sobre fondos de pendientes suaves, en presencia de corrientes; (2) es una ecuación de tipo parabólico y, como tal, no necesita condiciones en todo el contorno, sino que basta con una condición inicial en el contorno desde el que se va a propagar y condiciones en los contornos laterales. Además, es una herramienta muy útil para reducir el esfuerzo y el tiempo de computación, pues pueden utilizarse esquemas implícitos de seis puntos como el de Crank-Nicholson y obtener soluciones rápidas y estables.

Desventajas: (1) limitación del ángulo de propagación del oleaje a 55º con respecto al eje principal, *(x)*; (2) se desprecia el efecto de las ondas reflejadas; y (3) las soluciones son tanto más aproximadas cuanto menor variación haya respecto a esa dirección principal. El segundo inconveniente no es tan importante en la práctica, pues en la propagación del oleaje hacia la costa interesan sobre todo los efectos de la refracción y difracción.

Lee y Wang (1992), compararon cinco modelos de propagación, todos ellos basados en la ecuación para pendientes suaves: dos modelos son de tipo hiperbólico, dos de tipo elíptico y uno de tipo parabólico. Los parámetros que se evalúan en el citado trabajo son la exactitud de los resultados, el grado de dificultad computacional y su aplicabilidad práctica en función de la bondad para simular los diferentes fenómenos que tienen lugar durante la propagación del oleaje. Las ventajas del modelo parabólico son las ya comentadas: facilidad de programación, estabilidad numérica y ahorro de tiempo de computación; y sus inconvenientes son la imposibilidad de simular la reflexión del oleaje y una menor precisión de sus resultados.

Cabe destacar, como dato de referencia que no debe ser extrapolado a otros ensayos, que al analizar el experimento de Ito & Tanimoto (1972) en condiciones idénticas para los cinco modelos, el modelo parabólico, en la propagación de una onda invirtió aproximadamente 20 segundos de CPU, consumió 20 veces menos tiempo que uno de los modelos elípticos y alrededor de 50 veces menos tiempo de CPU que los modelos hiperbólicos, siendo los resultados del mismo grado de precisión para los cinco modelos.

6. Modelo de disipación por rotura

Tal y como se indicó anteriormente, cada uno de los tres modelos de disipación propuestos se sustentan sobre una serie de hipótesis, resumiéndose las más importantes desde el punto de vista de la implementación de estos modelos en el Oluca-SP, como:

- La distribución de alturas de ola dentro de la zona de rompientes es del tipo Rayleigh.
- El balance de flujo de energía se realiza en la dirección principal de la propagación, eje *x*.
- No existe una interacción onda-onda dado el carácter lineal del modelo, por lo tanto la disipación se asume igual para todas las componentes frecuenciales.
- El modelo está orientado a propagaciones de oleaje de espectros no muy anchos direccionalmente (±55º) (oleajes tipo del Swell). Esto es debido a las limitaciones de ángulo y también a que los modelos de disipación no presentan correcciones direccionales en los balances de flujo de energía.

3.2.12. Ecuaciones del modelo

En consecuencia de todo lo anterior, la ecuación utilizada en este modelo para modelar la propagación del oleaje considera los fenómenos de:

(1) Asomeramiento,
(2) refracción por fondo,
(3) difracción,

(4) presencia de corrientes,
(5) disipación de energía,
(6) rotura, y
(7) dispersión por amplitud.

3.2.13. Comprobaciones sobre el modelo Oluca SP (MOPLA-SMC 2.5)

El modelo Oluca-SP fue comprobado aplicándolo en casos de ensayos de modelos físicos en laboratorio y casos reales en playa, para lo cual se tomaron los datos de tres diferentes ensayos realizados en laboratorio: (1) Mase y Kirby (1992), quienes llevaron a cabo la propagación de un oleaje unidireccional sobre una playa de pendiente recta; (2) los ensayos de Chawla (1995), quien propagó diferentes espectros bidimensionales (anchos y estrechos) sobre un fondo horizontal con un bajo circular; y (3) los ensayos de Vincent y Briggs (1989), quienes generaron oleaje direccional sobre una batimetría de fondo plano y un bajo elíptico. Con esta finalidad, el modelo fue comprobado con datos del experimento de campo denominado DELILAH (Duck Experiment on Low-frecuency and Incident-band Longshore and Across-shore Hydrodynamics), llevados a cabo por el Coastal Engineering Research Center field Research Facility in Duck, NC, en Octubre de 1991 (ver detalles de los ensayos en Birkemeier, 1991).

De esta forma, las comprobaciones realizadas mediante la aplicación del modelo numérico Oluca-SP, fueron llevadas a cabo en:

(1) Los ensayos de propagación de oleaje sobre una pendiente constante de Mase y Kirby (1992)
(2) Los ensayos sobre un bajo elíptico de Vincent y Briggs (1989)
(3) Los ensayos de Chawla (1995) sobre un bajo circular
(4) Los ensayos en campo del experimento DELILAH, Duck, NC.

Tras dichas comprobaciones, las conclusiones que se extrajeron fueron las siguientes:

- El modelo numérico Oluca-SP simula la evolución de un espectro de oleaje sobre un fondo variable. Representa de forma aproximada los fenómenos de asomeramiento, refracción, refracción-difracción y rotura del oleaje, expresados en términos de la altura de ola significante y la evolución espacial del espectro bidimensional.

- Los tres modelos de disipación por rotura del oleaje: (1) Thornton y Guza (1983); (2) Battjes y Janssen (1978) y (3) Winyu y Tomoya (1998), representan de manera muy similar la propagación del oleaje. De acuerdo con las diferentes pruebas de calibración de parámetros, se han definido para el modelo (1): B = 1 y g = 0.6 (parámetros propuestos por sus autores). Para el modelo (2) la variación entre parámetros es pequeña, se han definido como fijos dentro del modelo aa1 = 0.39, bb1 = 0.56 y a1 = 1. Finalmente, el modelo (3) aunque disipa más energía que los dos anteriores, también presenta bastante bien la evolución del oleaje, definiéndose como parámetros fijos los propuestos por sus autores (K5 = 0.1, K6 = 1.6 y K7 = 0.1).

- Se ha comprobado la hipótesis de asumir una distribución de alturas de ola del tipo Rayleigh, dado que la recomposición de la altura de ola significante en cada punto del dominio, incluida la zona de rompiente, es bastante aproximada.

- Antes de un bajo sumergido donde predomina el asomeramiento, las variaciones de la altura de ola significante dependen fundamentalmente de las características del espectro frecuencial de entrada, y muy poco de la función direccional.

- Sobre un bajo y la zona posterior a éste (donde predomina la refracción difracción), las variaciones de la altura de ola significante dependen fundamentalmente de la función direccional inicial, más que el espectro frecuencial. Un oleaje del tipo “sea”, con una función direccional de entrada ancha, presenta una menor variación de Hs y mayor distribución de la energía en el dominio, en comparación con un oleaje del tipo “swell” o de banda direccional estrecha.

- Dado que el Oluca-SP es un modelo débilmente no lineal, no tiene en cuenta la transferencia de energía entre componentes, que unido a una disipación por rotura independiente de las frecuencias y direcciones, manifiesta pequeñas discrepancias en la altura de ola significante en propagaciones con frentes cruzados o trenzados simultáneamente con rotura. Discrepancias no relevantes desde un punto de vista ingenieril, dada su pequeña magnitud.

3.2.14. Propagaciones hasta pie de playa de la zona de estudio

Con el software Oluca-SP (espectral), módulo integrado en MOPLA, en el paquete informático SMC 2.5, se han realizado las propagaciones, desde profundidades indefinidas hasta el pie de playa del tramo de costa de unos 40 metros situado en el extremo oeste de la Playa de Punta Bela, término municipal de Mazarrón (Murcia), para los 5 temporales preseleccionados, obteniéndose de este modo los parámetros que caracterizan el temporal con sus valores propagados a pie de la estructura morfológica emergida; que notaremos con los subíndices H_{sp}, T_p (se mantiene el período de pico en la propagación hasta pie de costa), así como con las direcciones finales representadas con vectores direccionales.

Dicho software de modelado numérico aplica los fundamentos teóricos especificados en los apartados anteriores para la propagación hasta la costa, sobre la batimetría obtenida a partir de los datos batimétricos procedentes de la ecocartografía (hasta la isobata -50) ampliados hacia aguas profundas a partir de los datos del proveedor EMODnet MDT a partir de conjuntos de datos de levantamiento batimétrico seleccionados, MDT compuestos, productos de datos de batimetría derivada por satélite (SDB), con datos en las brechas o zonas sin cobertura que se completan mediante la integración de la batimetría digital GEBCO, ensambladas previos procesos de edición digital e introducida en el formato digital para MDT X, Y, Z, unidas a su vez con la topografía terrestre a partir de los datos LIDAR del I.G.N. Previamente se ha realizado una homogeneización altimétrica, transformando los datos altimétricos digitales batimétricos con referencia a la BMVE, al plano de comparación Z=0 del I.G.N. con referencia al N.M.M.A., al igual que el levantamiento topográfico LIDAR del I.G.N., de forma que la referencia de todo el MDT final es la del N.M.M.A., lo cual ha de tenerse en cuenta a la hora de su importación desde MOPLA a la hora de establecer los niveles mareales durante las simulaciones de propagación del oleaje.

Para el proceso computacional de propagación del oleaje, se diseña mediante el software dos concatenaciones de mallas de puntos que comprenden hasta la zona de estudio y procede desde profundidades indefinidas, desde los dos sectores del oleaje con incidencia en el tramo de estudio (SSW y E-ESE) en aproximación desde las respectivas mallas iniciales que arrancan en las inmediaciones de la posición del Punto Simar 2068090 (la de dirección SW) y desde el límite con aguas profundas (la dirección ESE), propagándose los estados de mar seleccionados por ser los causantes de los máximos alcances de oleajes sobre el tramo de estudio, obteniéndose como resultado final los valores propagados del temporal para cada uno de los puntos de las respectivas últimas mallas (Malla de Detalle, en profundidades

reducidas), la de mayor resolución y que comprende hasta pie de costa de la zona de estudio, cubriendo la profundidad de cierre y franja de rompientes hasta la misma línea de orilla.

Las mallas se han diseñado con una anchura (fundamentalmente la inicial desde aguas profundas, la que arranca desde profundidades indefinidas), extensión y orientación que permitieron ejecutar las propagaciones de los 5 estados de mar. Para ello se ha diseñado dos juegos de tres mallas encadenadas, Indefinidas-Intermedias, Intermedia y Reducidas hasta pie de costa, con inicio en profundidades indefinidas, en dos configuraciones de mallas en las que el arranque de la propagación está dado por la malla inicial que comprende Indefinidas e Intermedias y la finalización en el frente de costa de estudio con la malla que comprende desde intermedias y alcanza hasta Reducidas", la de mayor resolución espacial de nodos, que comprende hasta la morfología costera emergida.

Se tomarán como valores finales del oleaje propagado a pie de costa los resultantes en nodos de dichas mallas finales de Detalle que se encuentran en posiciones que se extienden hasta las proximidades de la línea de orilla, al objeto de obtener los valores de altura de ola propagados a pie de la morfología emergente, como valores de entrada o imput para su posterior introducción en la herramienta informática que aplicará las formulaciones semiempíricas que proporcionarán los valores de run-up.

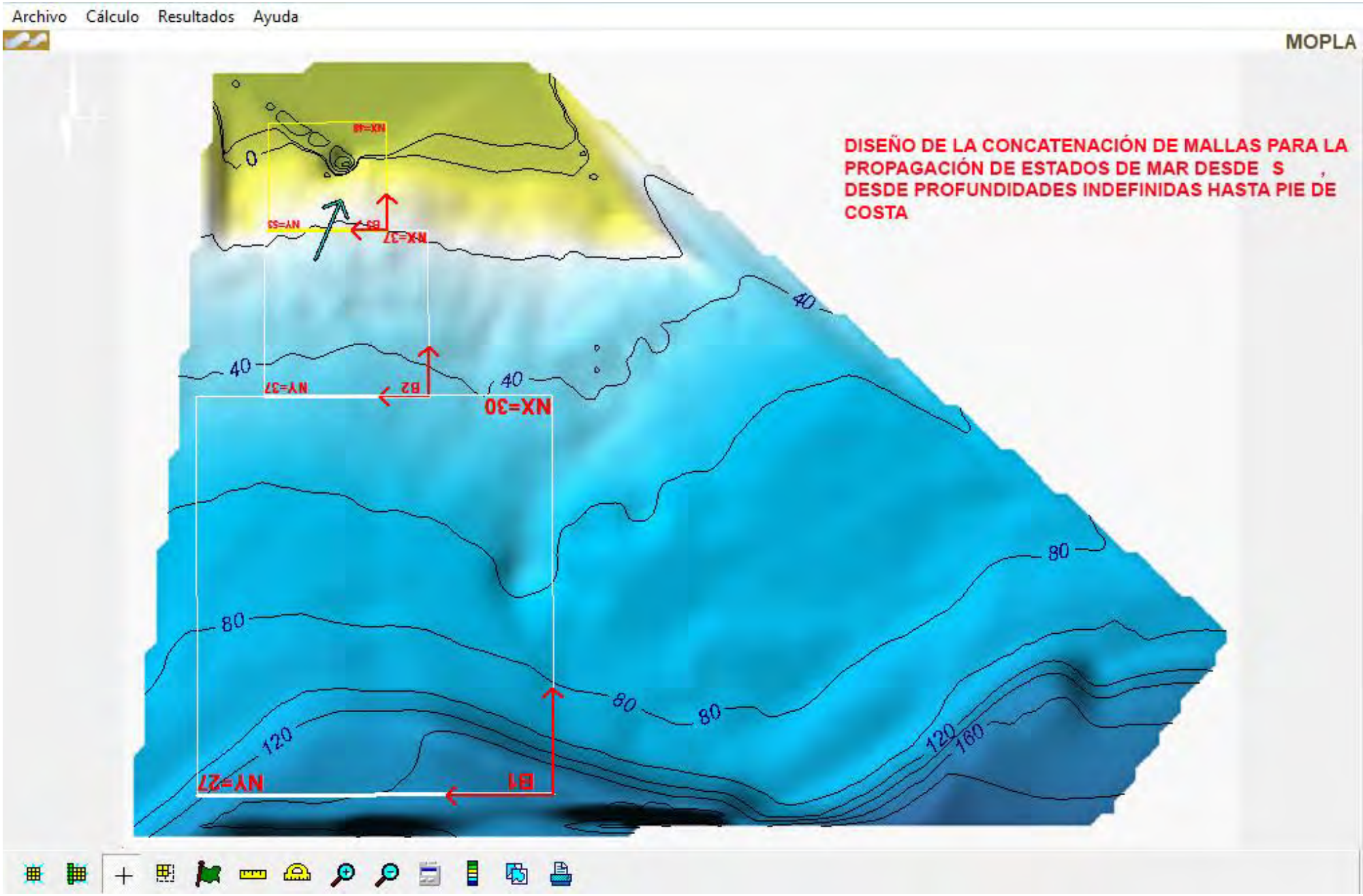
A continuación se recogen las exportaciones que genera el citado software del modelo numérico Oluca-SP, MOPLA, SMC 2.5 tras ejecutar las propagaciones con los parámetros del oleaje que caracterizan los estados de mar de los 5 sucesos temporales seleccionados en el período de estudio, que reflejan los resultados de las propagaciones desde las proximidades a profundidades indefinidas en las direcciones SSW y E-ESE (comprendiendo el Punto Simar 2068090 las de dirección SW) hasta el frente de costa objeto de estudio, en los nodos de las mallas concatenadas de propagación que comprenden en su dominio (extensión de filas x columnas) un sector direccional que integra las direcciones de procedencia desde aguas profundas hasta pie del frente de costa, en forma de vectores direccionales cuya dirección es el resultado del ángulo propagado en el nodo, y la magnitud del módulo del vector se corresponde a una escala determinada en el gráfico con el valor de la Hs propagada en el mismo nodo. Se incluyen las fichas de la malla que alcanza hasta pie de costa, la última de las concatenadas, la de máximo detalle y que comprende hasta la línea de orilla del tramo de estudio.

Previamente se incluyen las exportaciones de las dos concatenaciones de mallas de diseño de la propagación, sobre el MDT topobatimétrico generado para el presente estudio, cargado en el módulo Oluca-SP espectral, integradas cada una de ellas por un encadenado de 3 mallas, que van aumentando su resolución, desde las profundidades indefinidas hasta el frente de costa emergido.

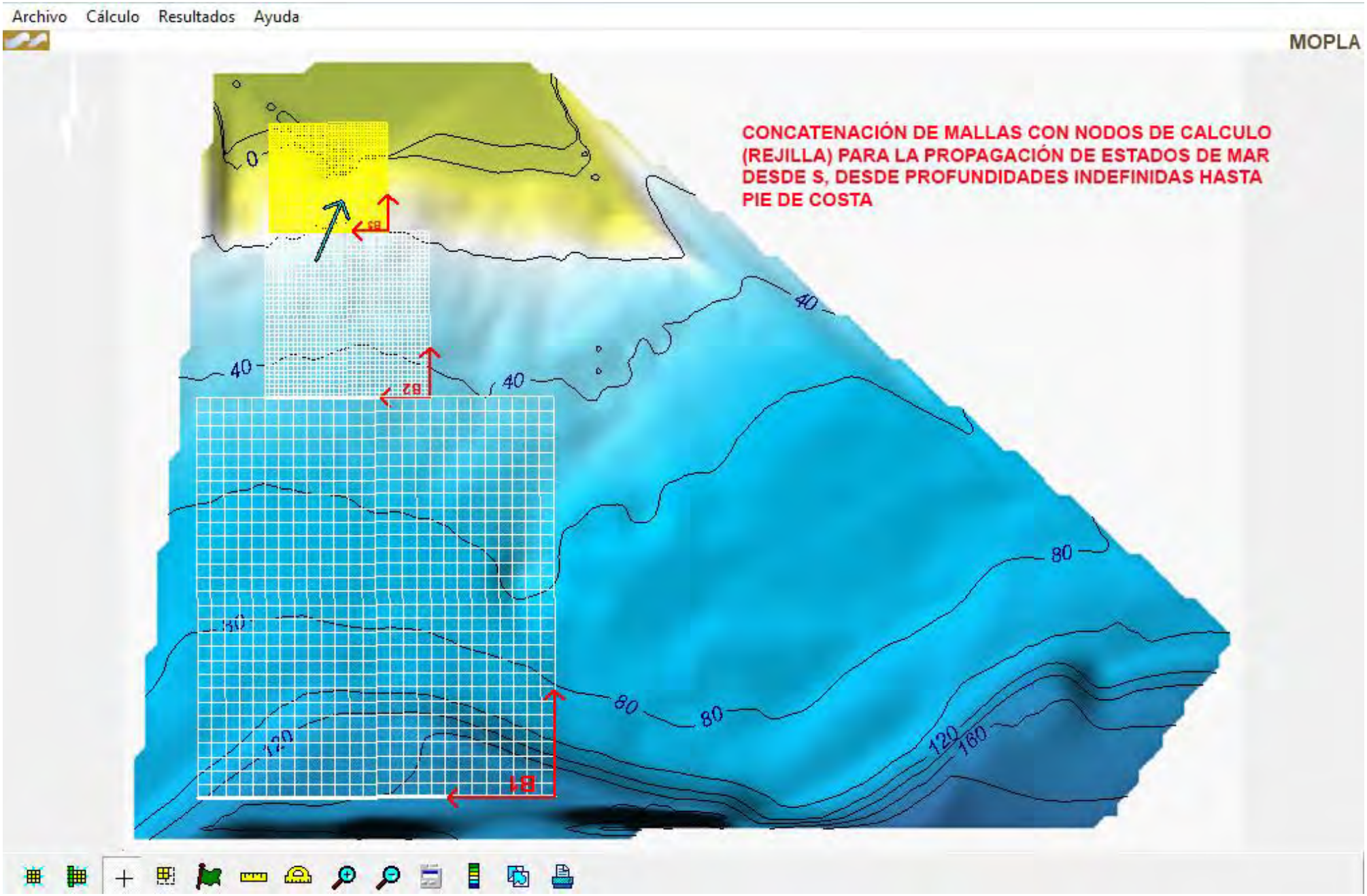
Asimismo, se incluye un plano a escala 1/20.000 en el que se recoge la extensión completa del MDT topobatimétrico elaborado sobre el que se ha ejecutado la propagación con Oluca-SP, .y un plano a escala 1/1.000 de detalle de la topobatimetría de alta densidad en la zona de rompientes y costa emergida, con referencia al N.M.M.A. (con incremento mareal nulo), así como una serie de planos a escala 1/2.000 con los resultados de la propagación de los oleajes seleccionados, con los vectores direccionales del oleaje y su módulo H_{sp} propagado (proporcional la longitud del vector al valor H_{sp}), calculados por Oluca-SP y obtenidos por dicho software a partir de los valores de H_{sp} propagados en los nodos de la malla “Detalle” (la de mayor resolución que comprende rompientes hasta la línea de orilla) hasta pie de costa de la zona de estudio, todo ello en el sistema ETRS89, elipsoide GRS80, Proyección U.T.M., Huso 30, sobre el MDT.

A la vista de las propagaciones y según los vectores y magnitudes antes de rompientes (antes de rotura), la llegada más nítida al tramo de estudio la proporcionan los estados de mar del sector de procedencia del SW, dado que los vectores de los estados de mar de procedencia E-ESE antes de la rotura no presentan direcciones hacia la ubicación de dicho tramo, como consecuencia de la dirección de procedencia y el apantallamiento de la Punta de la Cueva de Lobos, si bien serán los módulos programados sobre entorno GIS los que aplicarán los modelos de inundación tomando como imput los resultados de los nodos de propagación, los que finalmente determinarán los estados de mar por perfil que generarán los máximos alcances del oleaje.

INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)
C/ Cañadilla 6, local 68, C. Comercial Coronado, Las Rozas de Madrid 28231, Madrid
Pza. de la Montañeta 4, entresuelo, 03001 Alicante
Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es



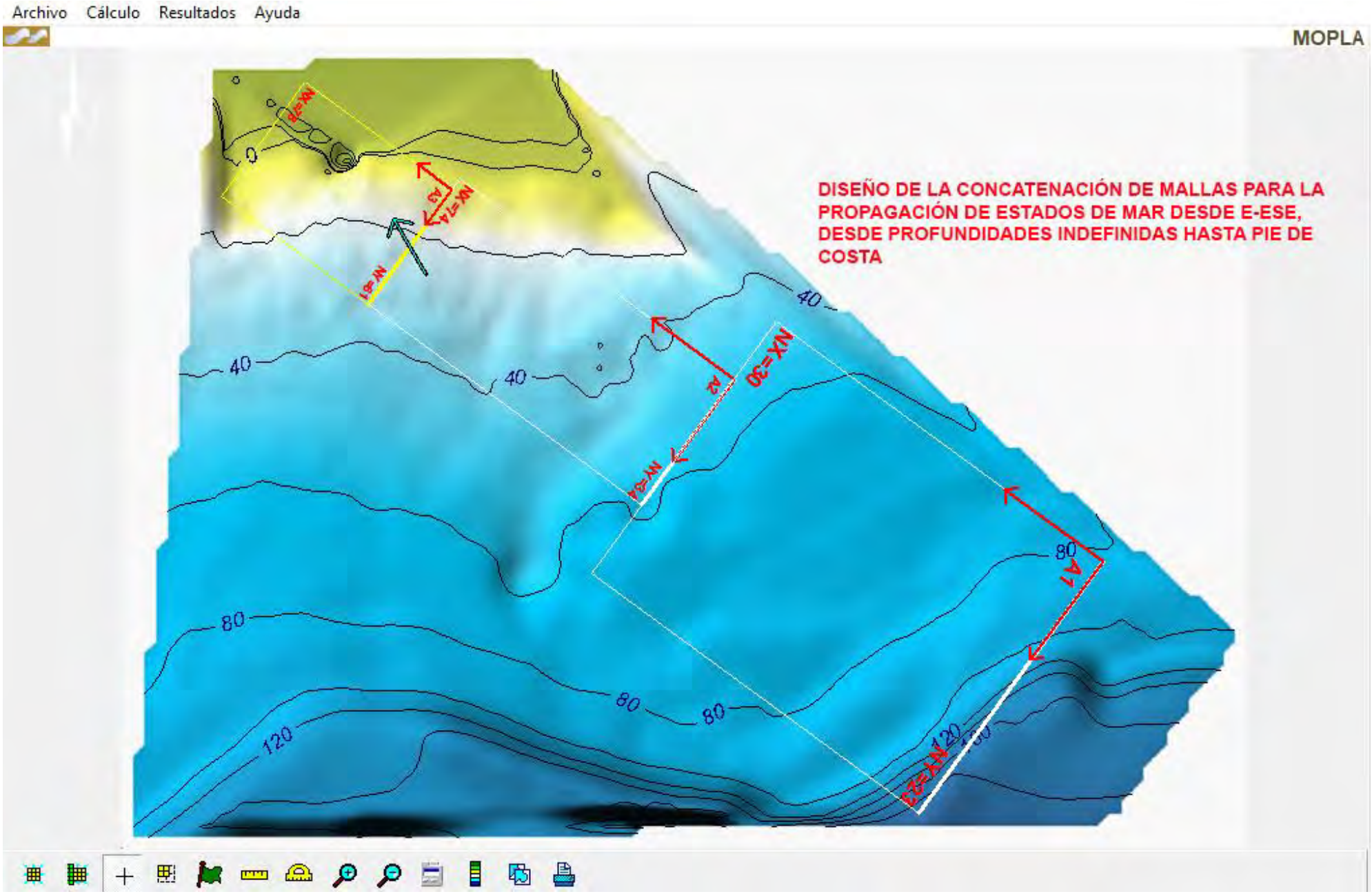
INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)
C/ Cañadilla 6, local 68, C. Comercial Coronado, Las Rozas de Madrid 28231, Madrid
Pza. de la Montañeta 4, entresuelo, 03001 Alicante
Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es



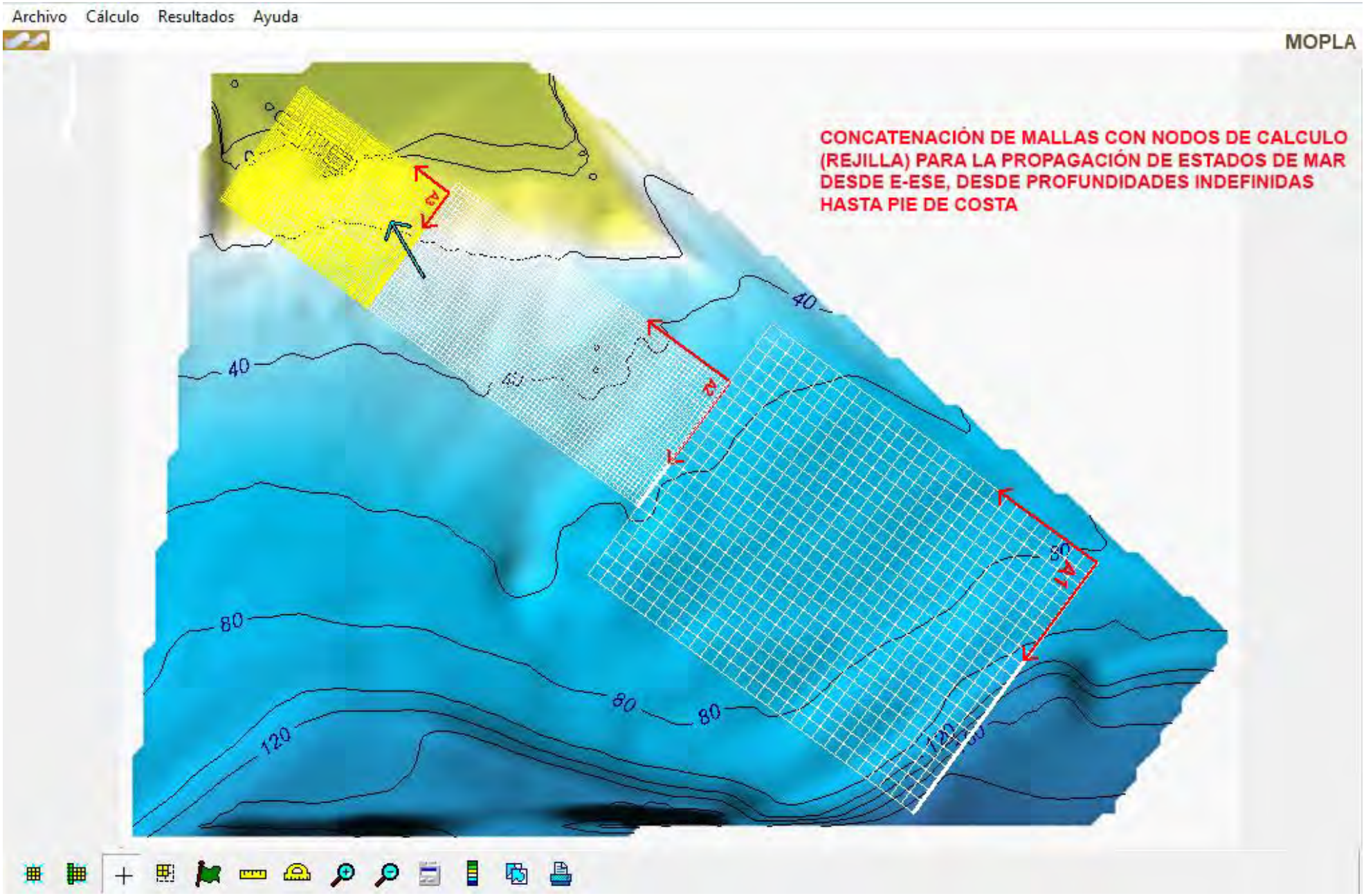
INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)
C/ Cañadilla 6, local 68, C. Comercial Coronado, Las Rozas de Madrid 28231, Madrid
Pza. de la Montañeta 4, entresuelo, 03001 Alicante
Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es



INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)
C/ Cañadilla 6, local 68, C. Comercial Coronado, Las Rozas de Madrid 28231, Madrid
Pza. de la Montañeta 4, entresuelo, 03001 Alicante
Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es



INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)
C/ Cañadilla 6, local 68, C. Comercial Coronado, Las Rozas de Madrid 28231, Madrid
Pza. de la Montañeta 4, entresuelo, 03001 Alicante
Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es



INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)
C/ Cañadilla 6, local 68, C. Comercial Coronado, Las Rozas de Madrid 28231, Madrid
Pza. de la Montañeta 4, entresuelo, 03001 Alicante
Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es

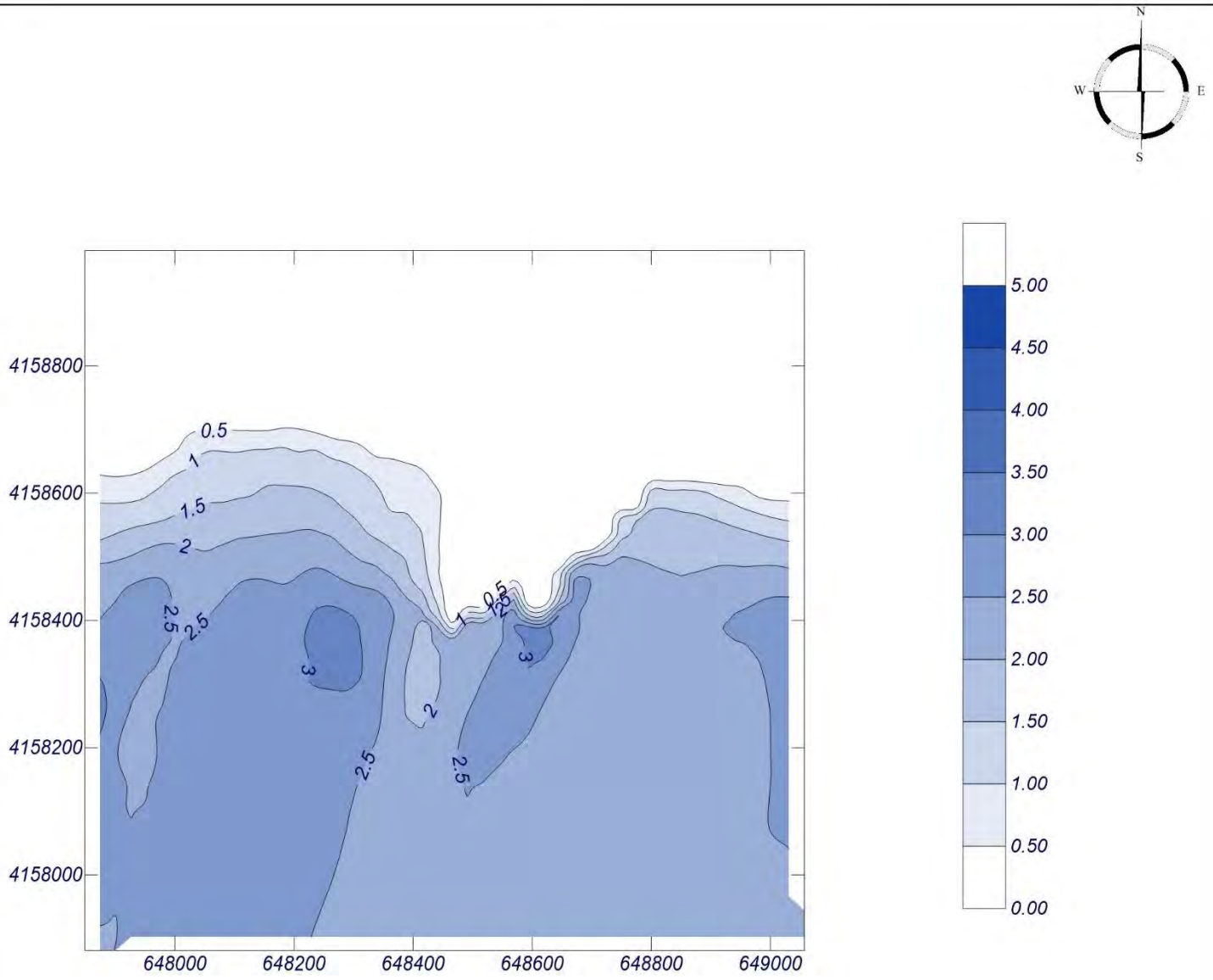


Proyecto:

Gráfico: Altura de ola significante

Caso espectral: B304
B3: DETALLE
04: TEMP_2015_01_31_09

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Espectro frecuencial (TMA) *Hs: 2.51 m* *h: 110 m* *fp: 0.0763942 Hz (Tp: 13.09 s)* *γ: 10* *Nº Comp.: 20* ***Espectro direccional*** *θ_m: -27.22° (S27.0W)* *σ: 10° - Nº Comp.: 20*		

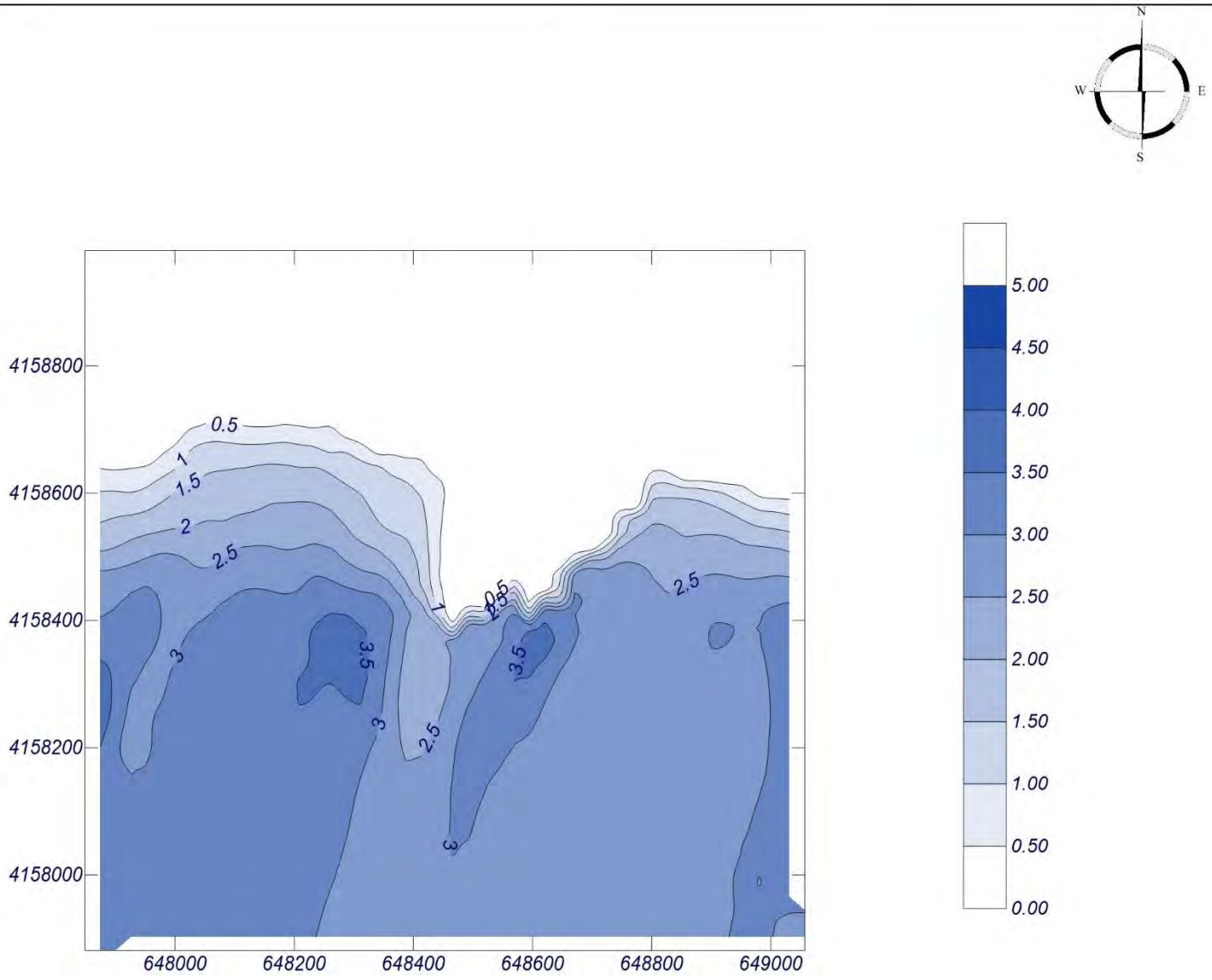


Proyecto:

Gráfico: Altura de ola significante

Caso espectral: B303
B3: DETALLE
03: TEMP_2020_10_02_16

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Espectro frecuencial (TMA) *Hs: 3.26 m* *h: 110 m* *fp: 0.0908265 Hz (Tp: 11.01 s)* *γ: 10* *Nº Comp.: 20* ***Espectro direccional*** *θ_m: -25.22° (S25.0W)* *σ: 10° - Nº Comp.: 20*		

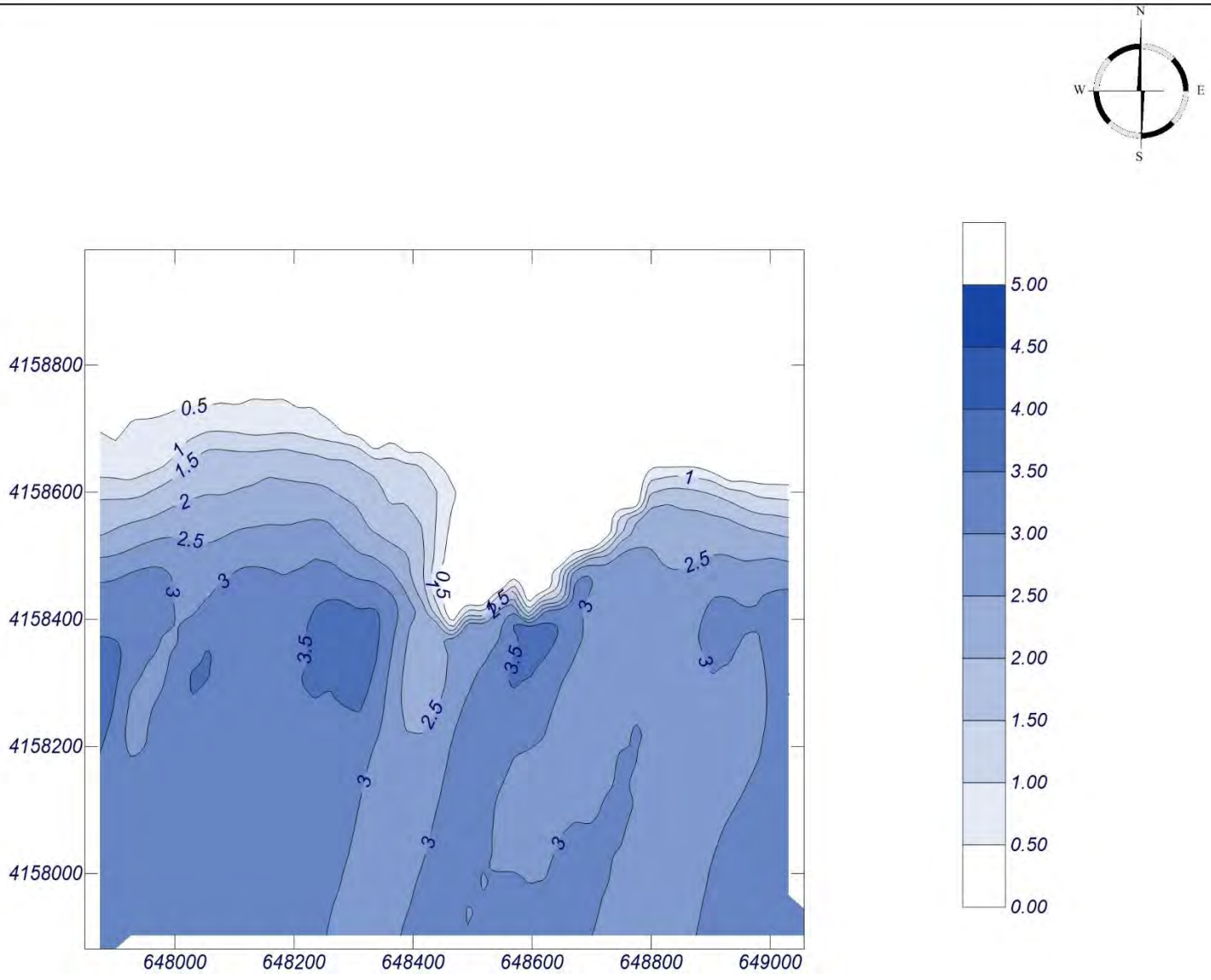


Proyecto:

Gráfico: Altura de ola significante

Caso espectral: B305
B3: DETALLE
05: TEMP_2020_10_02_17

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Espectro frecuencial (TMA) *Hs: 3.43 m* *h: 180 m* *fp: 0.0999001 Hz (Tp: 10.01 s)* *γ: 10* *Nº Comp.: 20* ***Espectro direccional*** *θ_m: -24.22° (S24.0W)* *σ: 10° - Nº Comp.: 20*		

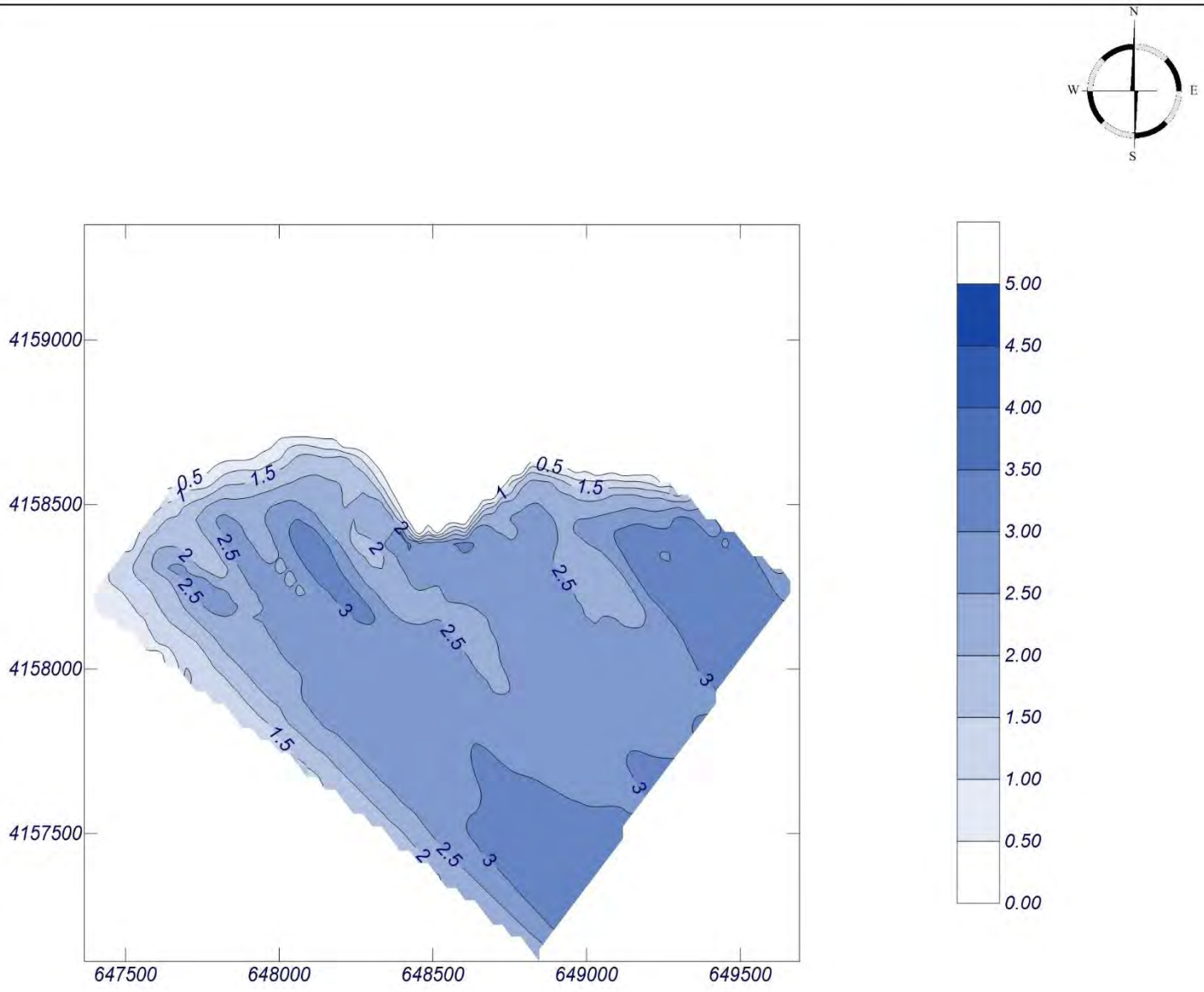


Proyecto:

Gráfico: Altura de ola significante

Caso espectral: A302
A3: DETALLE
02: TEMP_2022_04_04_15

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Espectro frecuencial (TMA) *Hs: 3.88 m* *h: 110 m* *fp: 0.0825764 Hz (Tp: 12.11 s)* *γ: 10* *Nº Comp.: 20* ***Espectro direccional*** *θm: 29.27° (S83.0E)* *σ: 10° - Nº Comp.: 20*		

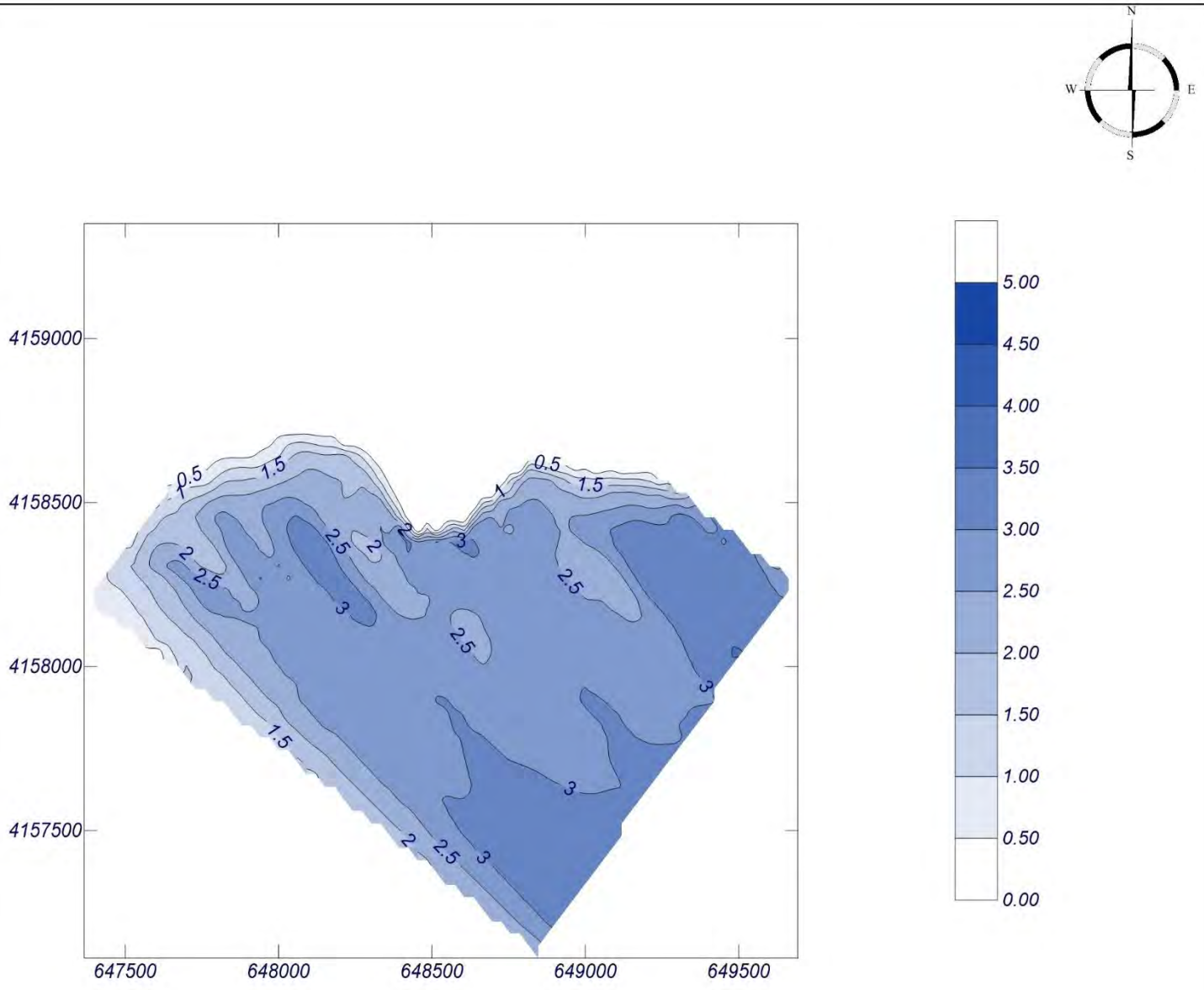


Proyecto:

Gráfico: Altura de ola significante

Caso espectral: A301
A3: DETALLE
01: TEMP_2022_04_04_16

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Espectro frecuencial (TMA) *Hs: 3.94 m* *h: 110 m* *fp: 0.0825764 Hz (Tp: 12.11 s)* *γ: 10* *Nº Comp.: 20* ***Espectro direccional*** *θm: 29.27° (S83.0E)* *σ: 10° - Nº Comp.: 20*		

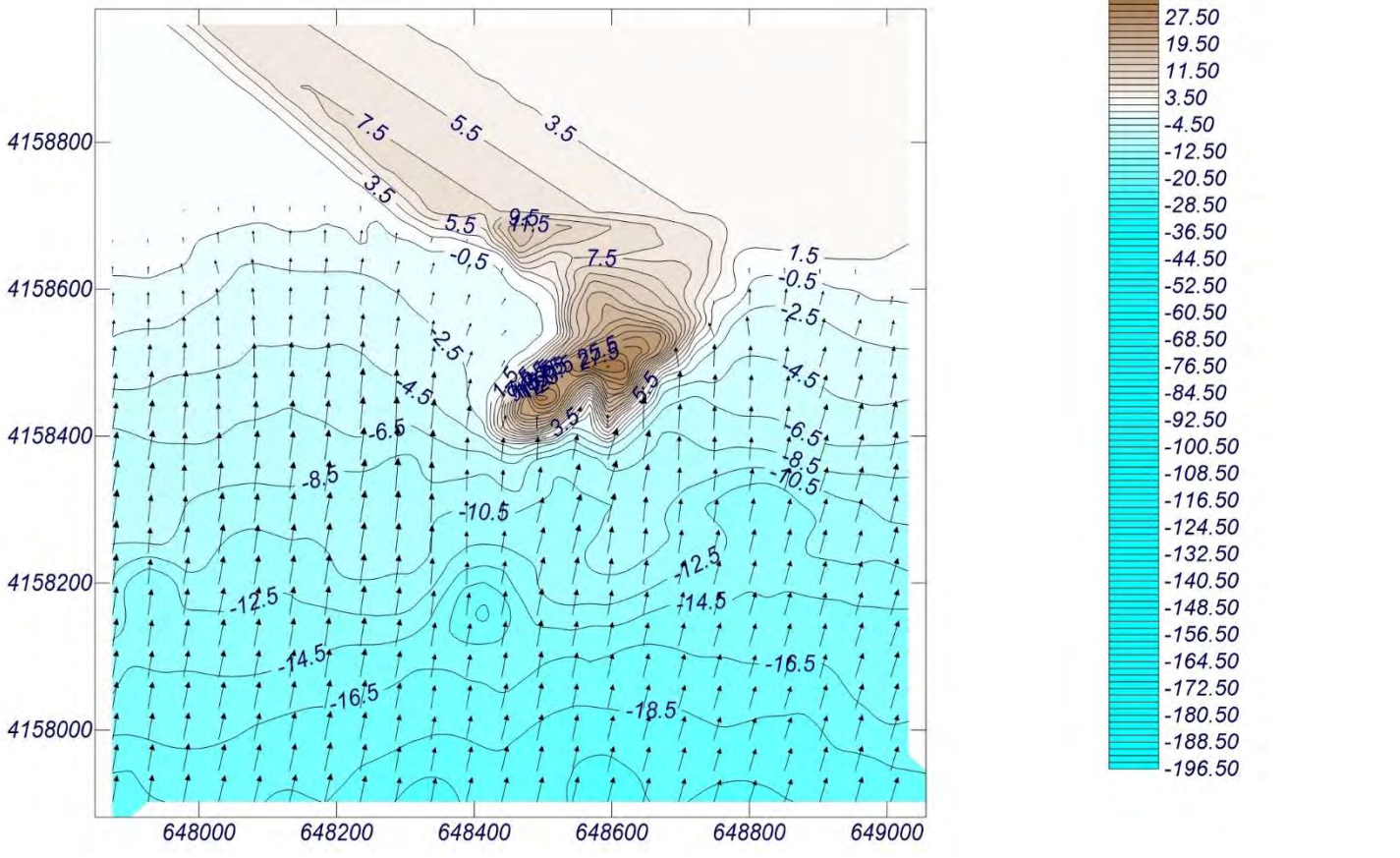


Proyecto:

Gráfico: Gráfico combinado de topografía y vectores Hs

Caso espectral: B304
B3: DETALLE
04: TEMP_2015_01_31_09

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Espectro frecuencial (TMA) *Hs: 2.51 m* *h: 110 m* *fp: 0.0763942 Hz (Tp: 13.09 s)* *γ: 10* *Nº Comp.: 20* ***Espectro direccional*** *θm: -27.22° (S27.0W)* *σ: 10° - Nº Comp.: 20*		



MOPLA 2.0: IDYMA SL

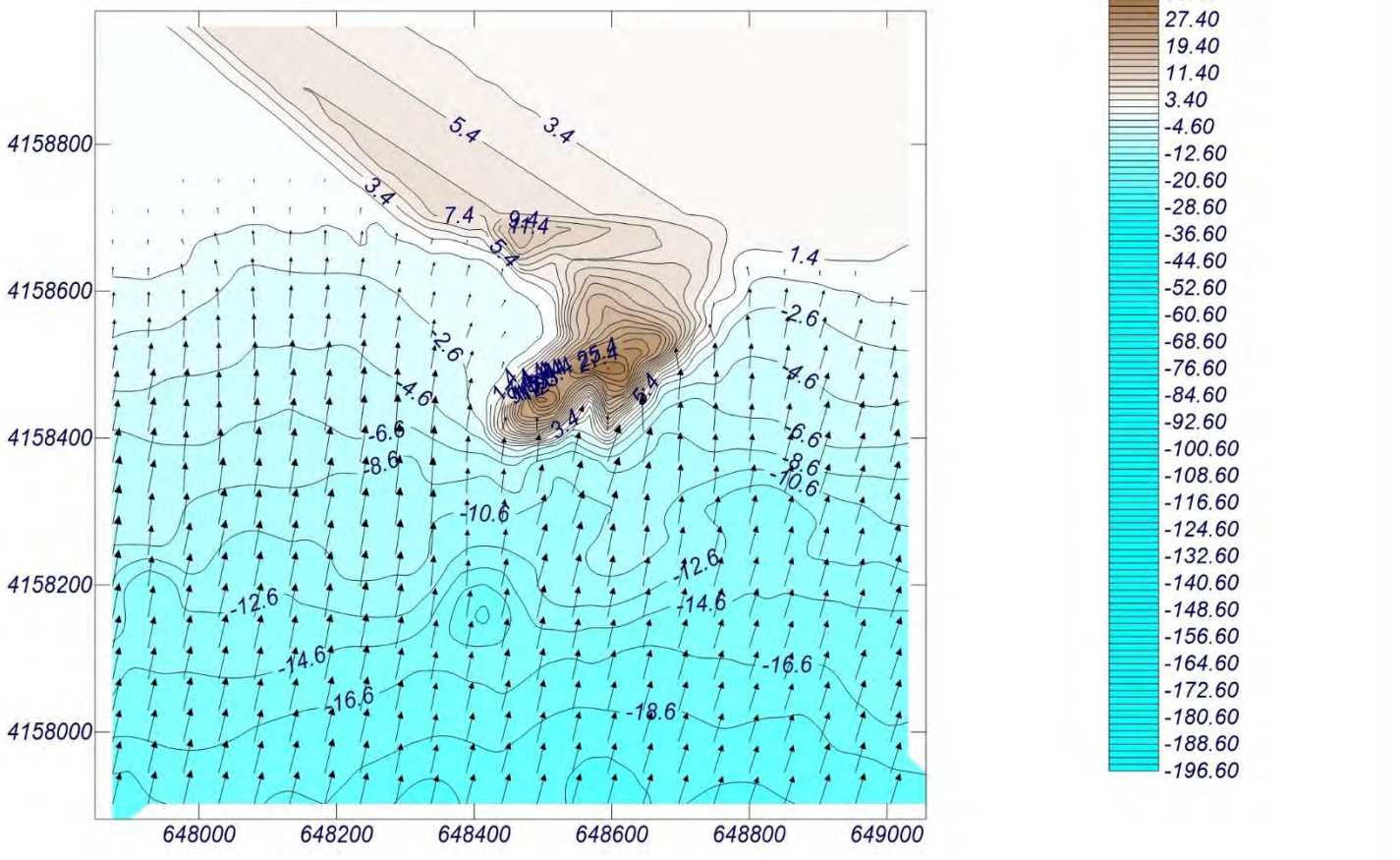
Programa desarrollado por

Proyecto:

Gráfico: Gráfico combinado de topografía y vectores Hs

Caso espectral: B303
B3: DETALLE
03: TEMP_2020_10_02_16

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Espectro frecuencial (TMA) *Hs: 3.26 m* *h: 110 m* *fp: 0.0908265 Hz (Tp: 11.01 s)* *γ: 10* *Nº Comp.: 20* ***Espectro direccional*** *θm: -25.22° (S25.0W)* *σ: 10° - Nº Comp.: 20*		



MOPLA 2.0: IDYMA SL

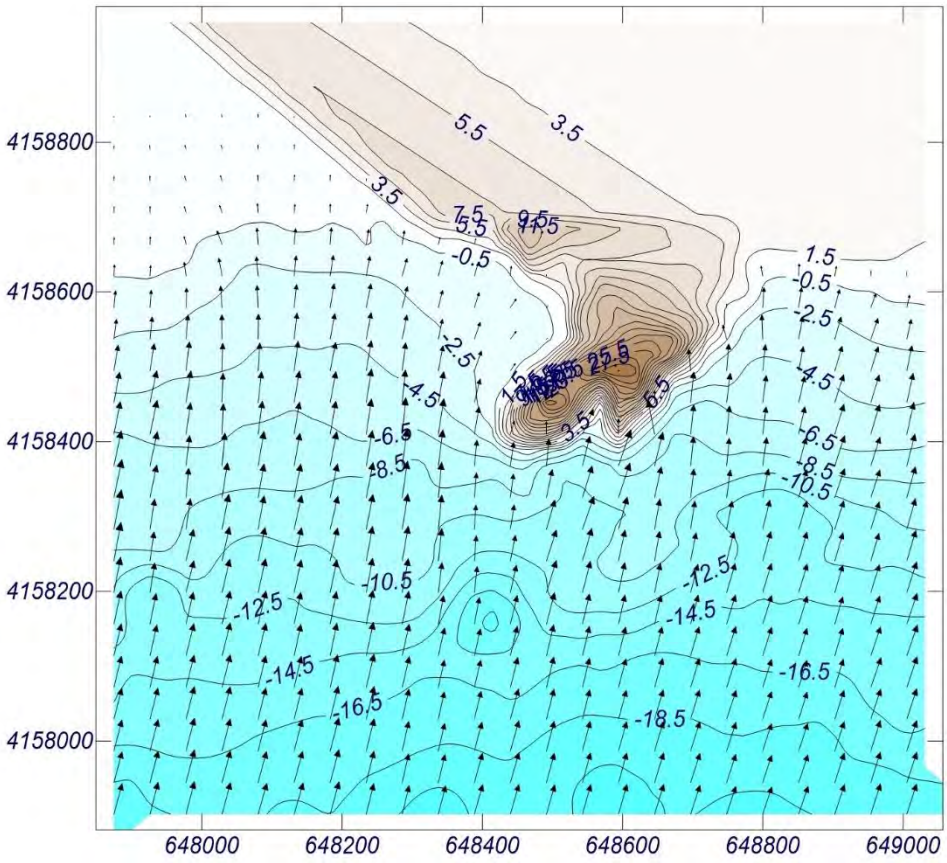
Programa desarrollado por

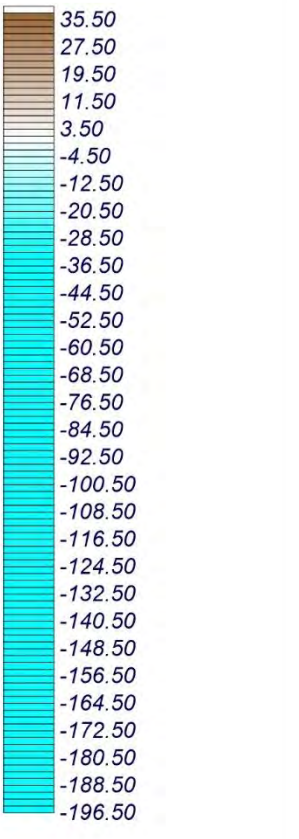
Proyecto:

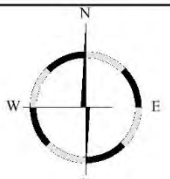
Gráfico: Gráfico combinado de topografía y vectores Hs

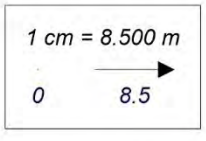
Caso espectral: B305
B3: DETALLE
05: TEMP_2020_10_02_17

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Espectro frecuencial (TMA) *Hs: 3.43 m* *h: 180 m* *fp: 0.0999001 Hz (Tp: 10.01 s)* *γ: 10* *Nº Comp.: 20* ***Espectro direccional*** *θ_m: -24.22° (S24.0W)* *σ: 10° - Nº Comp.: 20*		









MOPLA 2.0: IDYMA SL

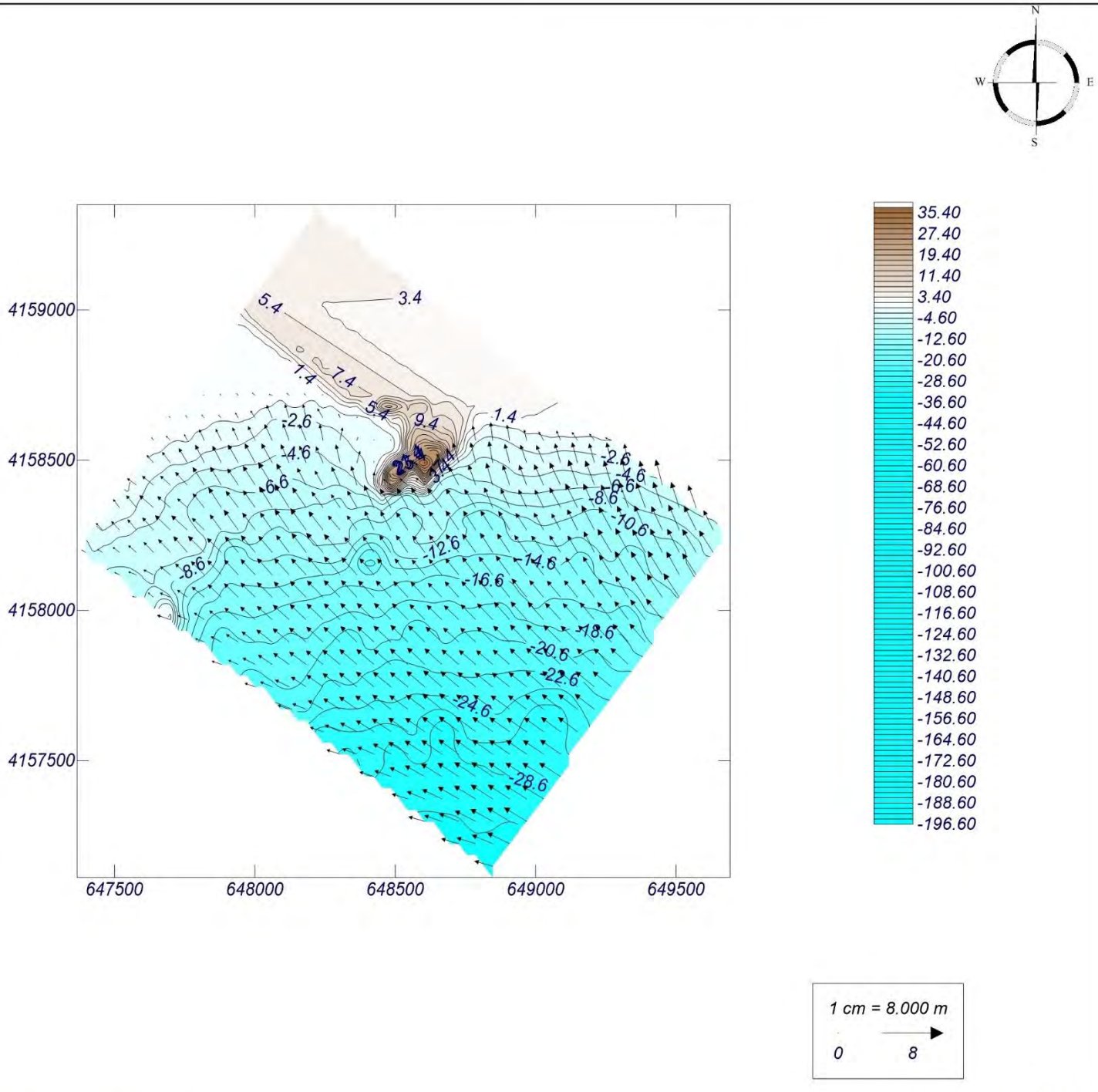
Programa desarrollado por

Proyecto:

Gráfico: Gráfico combinado de topografía y vectores Hs

Caso espectral: A302
A3: DETALLE
02: TEMP_2022_04_04_15

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Espectro frecuencial (TMA) *Hs: 3.88 m* *h: 110 m* *fp: 0.0825764 Hz (Tp: 12.11 s)* *γ: 10* *Nº Comp.: 20* ***Espectro direccional*** *θ_m: 29.27° (S83.0E)* *σ: 10° - Nº Comp.: 20*		

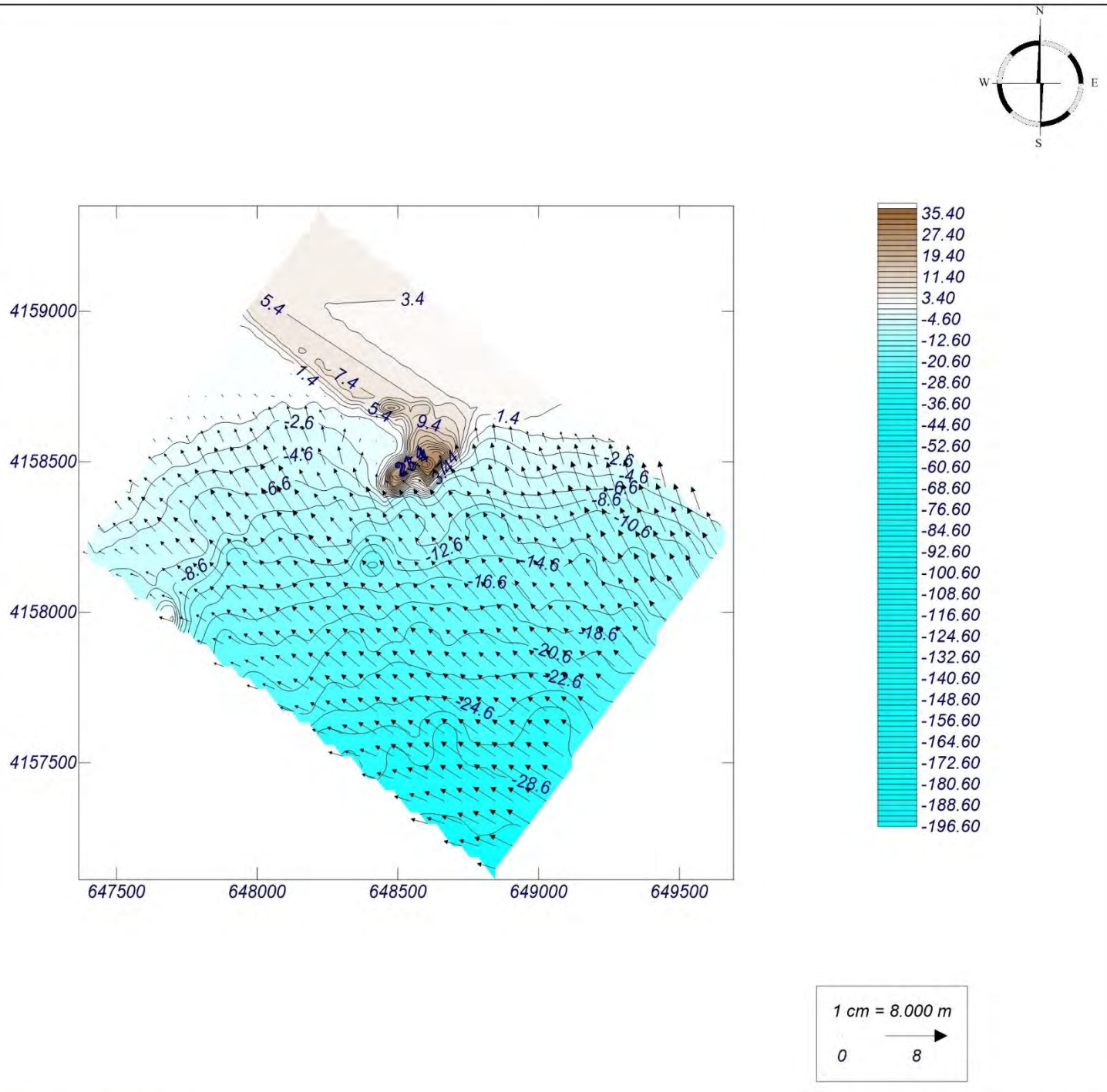


Proyecto:

Gráfico: Gráfico combinado de topografía y vectores Hs

Caso espectral: A301
A3: DETALLE
01: TEMP_2022_04_04_16

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Espectro frecuencial (TMA) *Hs: 3.94 m* *h: 110 m* *fp: 0.0825764 Hz (Tp: 12.11 s)* *γ: 10* *Nº Comp.: 20* ***Espectro direccional*** *θ_m: 29.27° (S83.0E)* *σ: 10° - Nº Comp.: 20*		



MOPLA 2.0: IDYMA SL

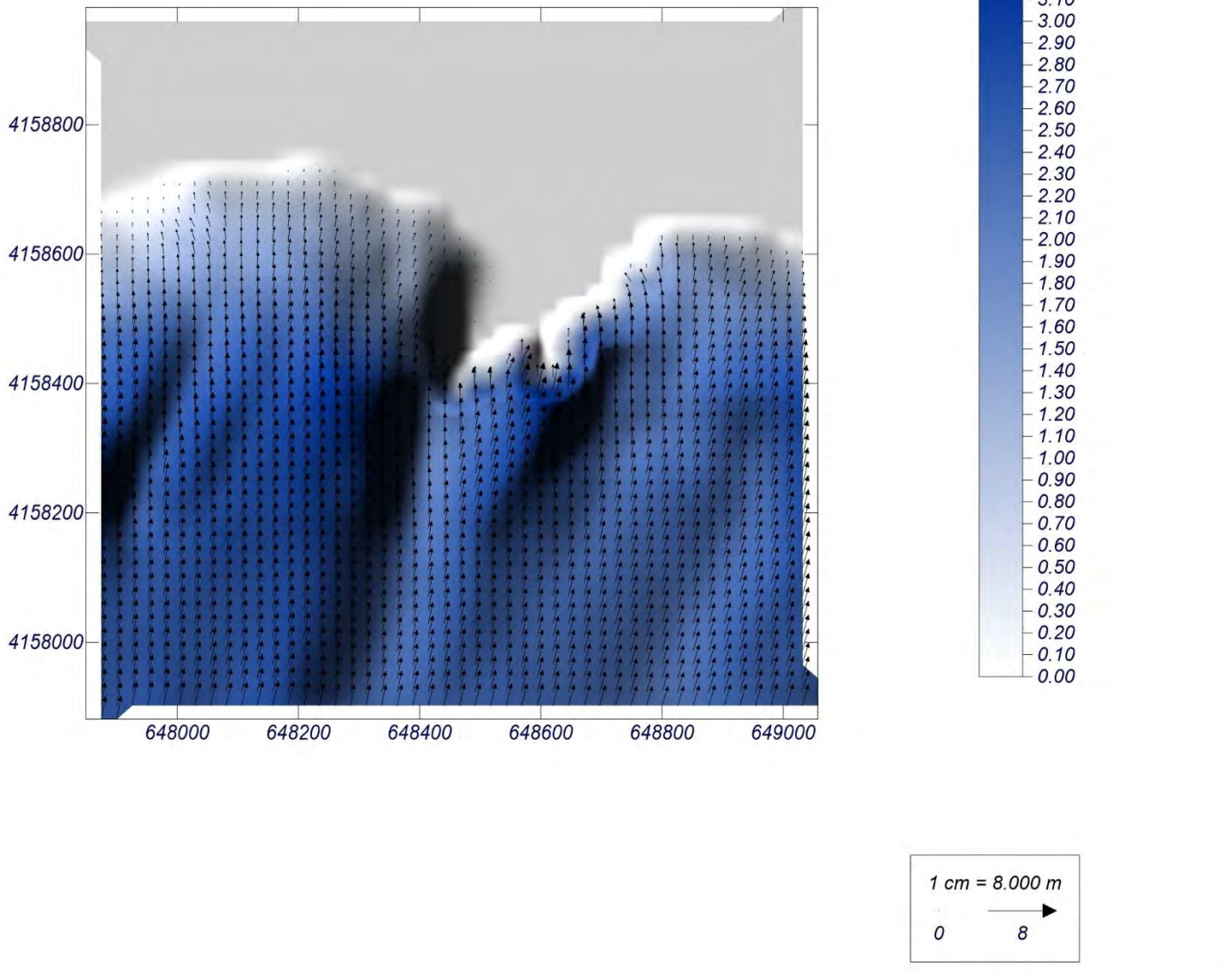
Programa desarrollado por

Proyecto:

Gráfico: Vectores de la altura de ola significante+Magnitud

Caso espectral: B304
B3: DETALLE
04: TEMP_2015_01_31_09

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Espectro frecuencial (TMA) *Hs: 2.51 m* *h: 110 m* *fp: 0.0763942 Hz (Tp: 13.09 s)* *γ: 10* *Nº Comp.: 20* ***Espectro direccional*** *θm: -27.22° (S27.0W)* *σ: 10° - Nº Comp.: 20*		

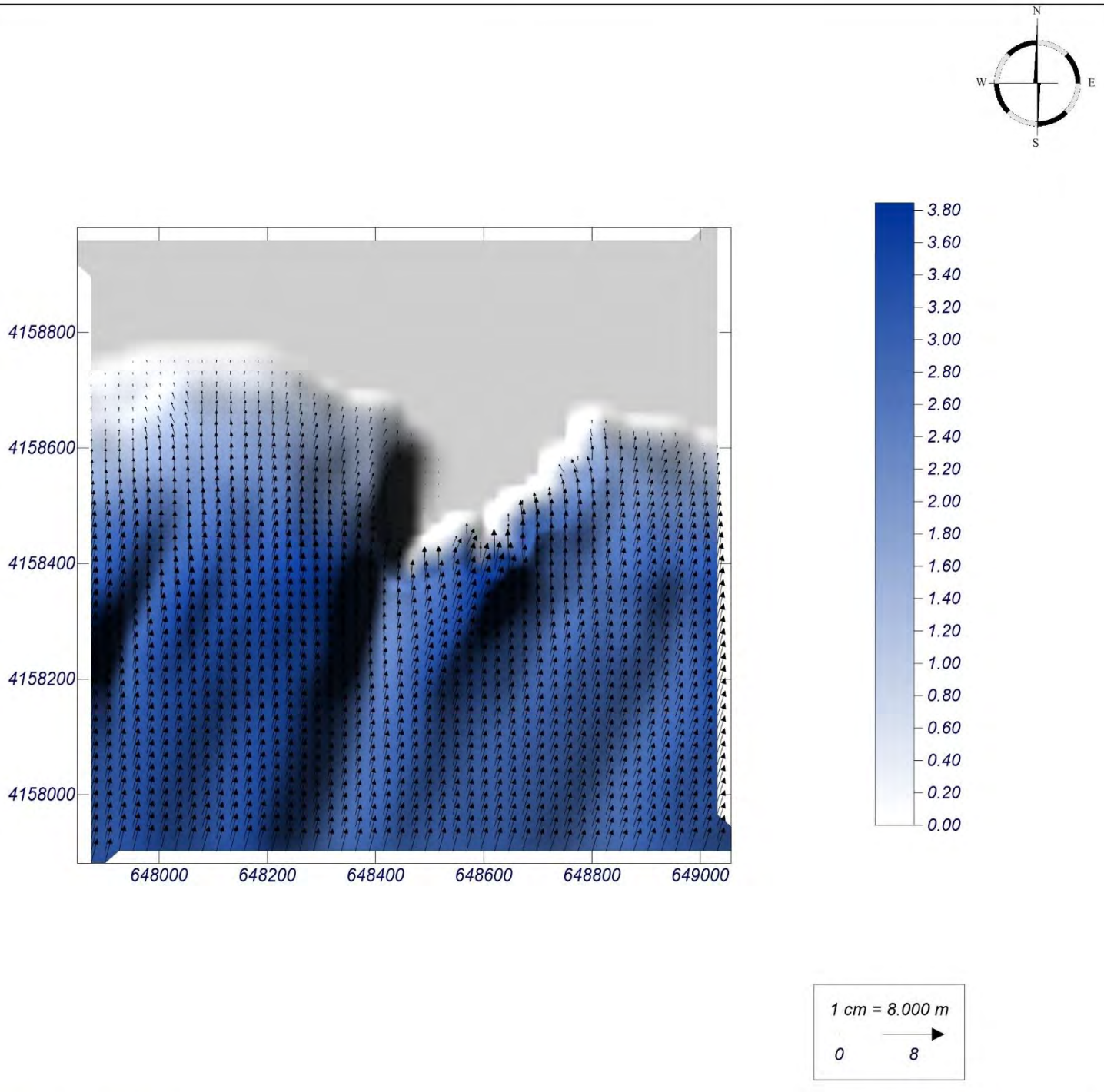


Proyecto:

Gráfico: Vectores de la altura de ola significante+Magnitud

Caso espectral: B303
B3: DETALLE
03: TEMP_2020_10_02_16

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Espectro frecuencial (TMA) *Hs: 3.26 m* *h: 110 m* *fp: 0.0908265 Hz (Tp: 11.01 s)* *γ: 10* *Nº Comp.: 20* ***Espectro direccional*** *θ_m: -25.22° (S25.0W)* *σ: 10° - Nº Comp.: 20*		



MOPLA 2.0: IDYMA SL

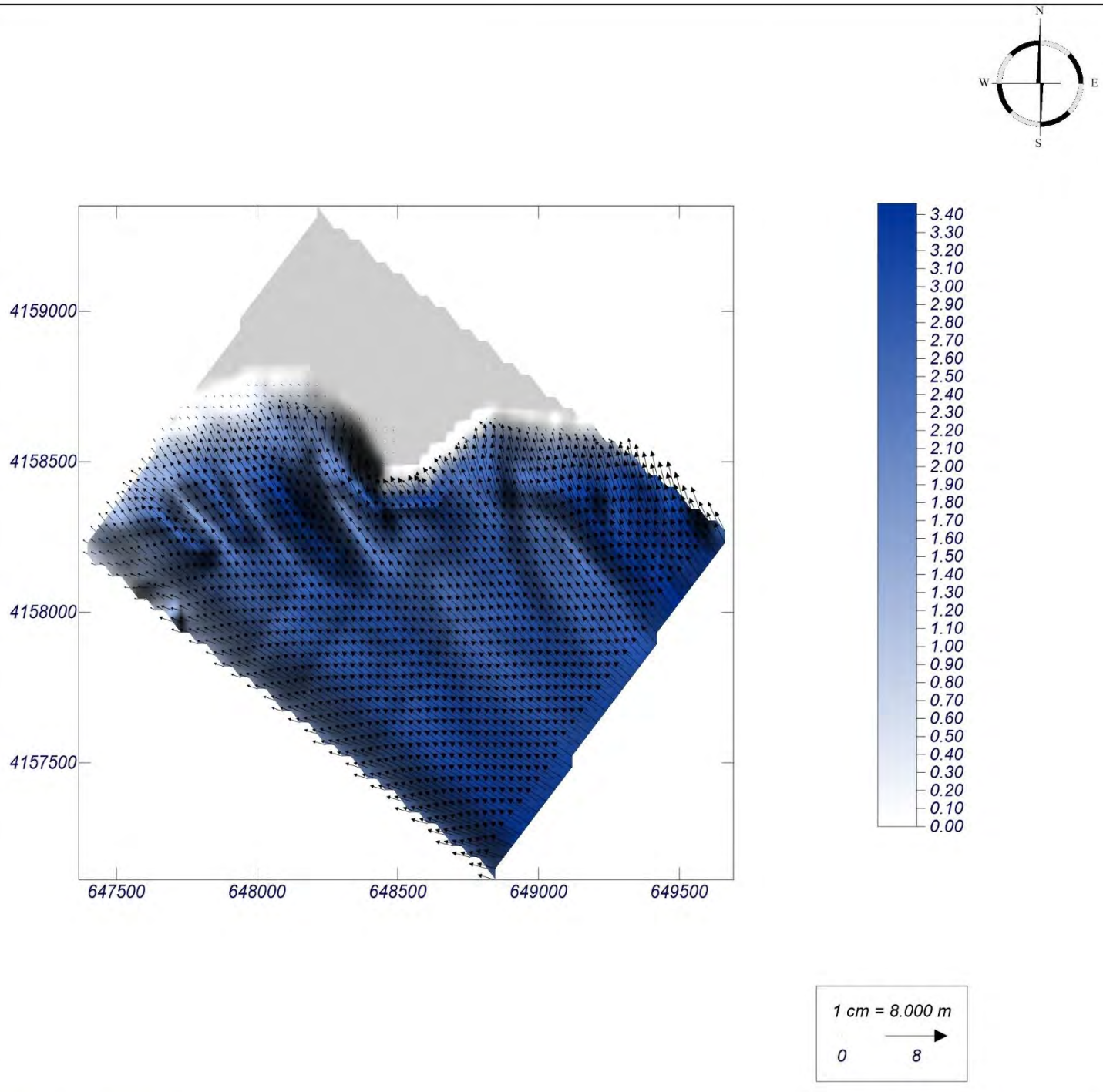
Programa desarrollado por

Proyecto:

Gráfico: Vectores de la altura de ola significante+Magnitud

Caso espectral: A302
A3: DETALLE
02: TEMP_2022_04_04_15

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Espectro frecuencial (TMA) *Hs: 3.88 m* *h: 110 m* *fp: 0.0825764 Hz (Tp: 12.11 s)* *γ: 10* *Nº Comp.: 20* ***Espectro direccional*** *θ_m: 29.27° (S83.0E)* *σ: 10° - Nº Comp.: 20*		



MOPLA 2.0: IDYMA SL

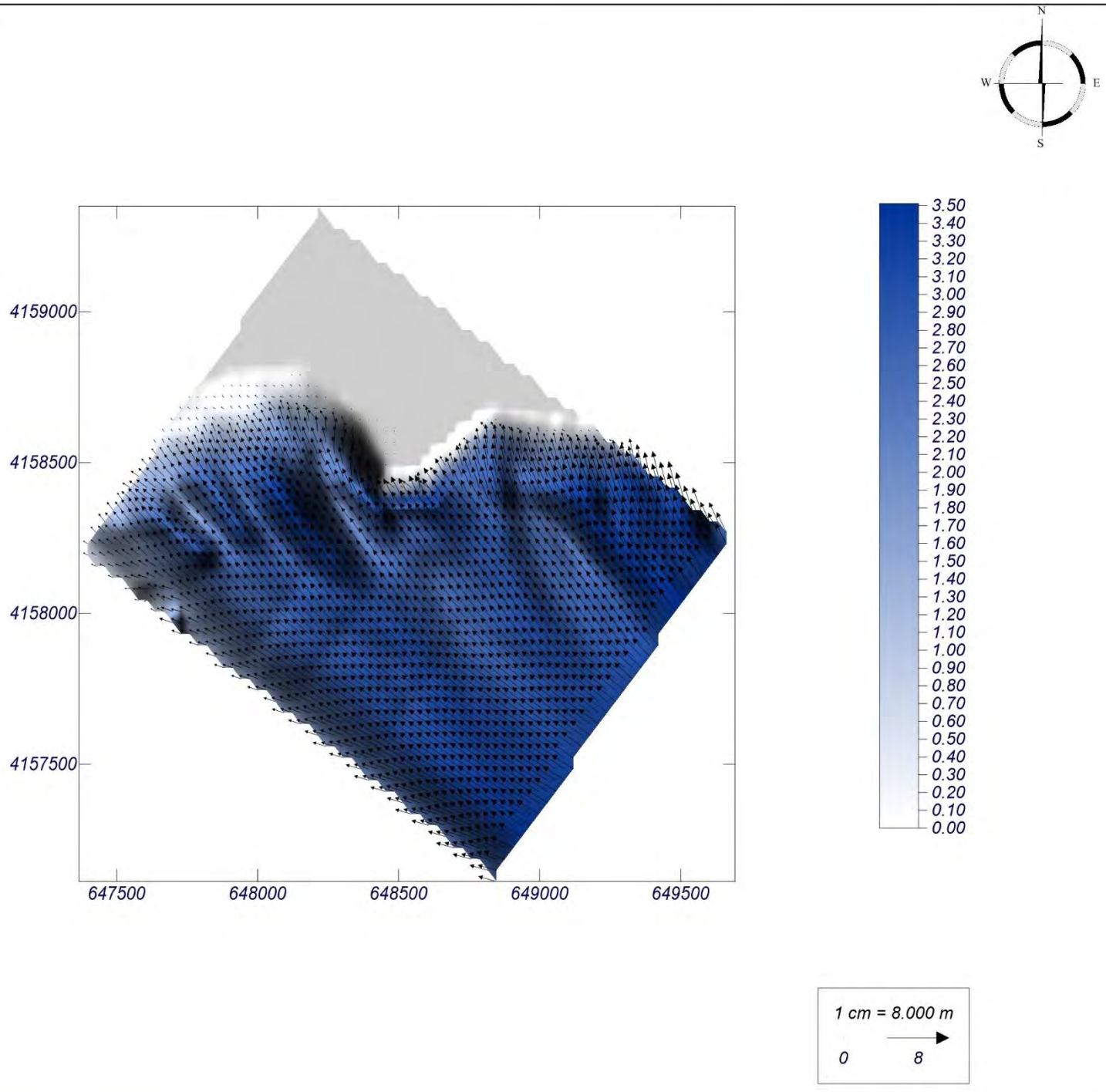
Programa desarrollado por

Proyecto:

Gráfico: Vectores de la altura de ola significante+Magnitud

Caso espectral: A301
A3: DETALLE
01: TEMP_2022_04_04_16

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Espectro frecuencial (TMA) *Hs: 3.94 m* *h: 110 m* *fp: 0.0825764 Hz (Tp: 12.11 s)* *γ: 10* *Nº Comp.: 20* ***Espectro direccional*** *θ_m: 29.27° (S83.0E)* *σ: 10° - Nº Comp.: 20*		

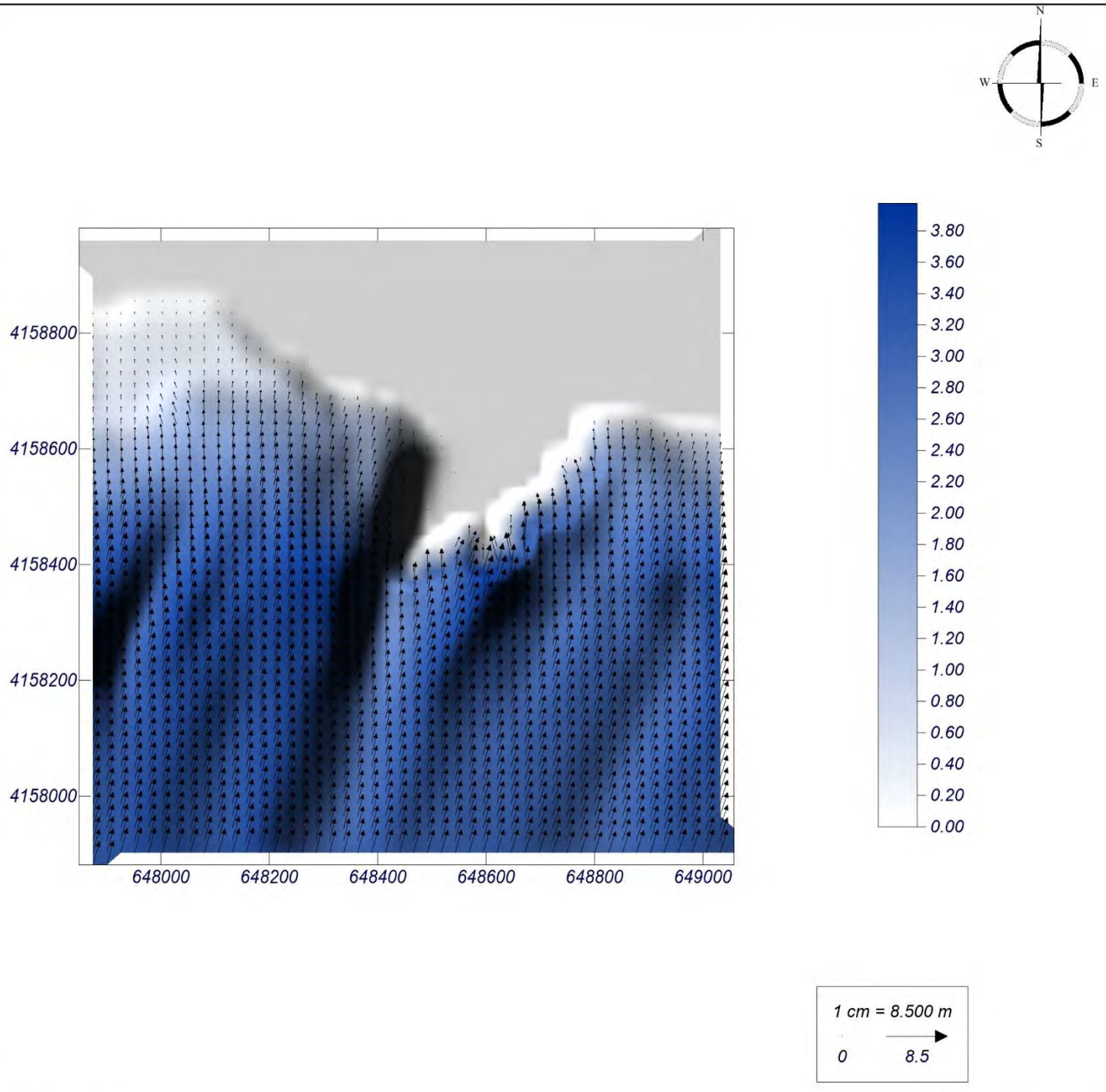


Proyecto:

Gráfico: Vectores de la altura de ola significante+Magnitud

Caso espectral: B305
B3: DETALLE
05: TEMP_2020_10_02_17

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Espectro frecuencial (TMA) *Hs: 3.43 m* *h: 180 m* *fp: 0.0999001 Hz (Tp: 10.01 s)* *γ: 10* *Nº Comp.: 20* ***Espectro direccional*** *θ_m: -24.22° (S24.0W)* *σ: 10° - Nº Comp.: 20*		



SISTEMA ETRS89, PROYECCIÓN U.T.M., HUSO 30
PLANO DE PROPAGACIÓN DEL OLEAJE:
VECTORES DIRECCIONALES Y Hspp (ALTURA DE OLA PROPAGADA EN NODO)
NODOS DE ÚLTIMA MALLA DE PROPAGACIÓN
ESTADO DE MAR DE 31-01-2015 09:00 UTC
MDT TOPO-BATIMÉTRICO GENERADO (LIDAR, NAVIONICS, EMODNET)
PLANO A ESCALA 1/2.000

NMMA
Elevation

- 20 - 45
- 14 - 20
- 10 - 14
- 8 - 10
- 6 - 8
- 4 - 6
- 3 - 4
- 2 - 3
- 1 - 2
- 0 - 1
- -5 - 0
- -10 - -5
- -100 - -10
- -196.5 - -100

647900 648000 648100 648200 648300 648400 648500 648600 648700 648800 648900

4158700 4158600 4158500 4158400 4158300 4158200 4158100 4158000

SISTEMA ETRS89, PROYECCIÓN U.T.M., HUSO 30
PLANO DE PROPAGACIÓN DEL OLEAJE,
VECTORES DIRECCIONALES Y Hspp (ALTURA DE OLA PROPAGADA EN NODO)
NODOS DE ÚLTIMA MALLA DE PROPAGACIÓN
ESTADO DE MAR DE 02-10-2020 16:00 UTC
MDT TOPO-BATIMÉTRICO GENERADO (LIDAR, NAVIONICS, EMODNET)
PLANO A ESCALA 1/2.000

NMMA
Elevation

- 20 - 45
- 14 - 20
- 10 - 14
- 8 - 10
- 6 - 8
- 4 - 6
- 3 - 4
- 2 - 3
- 1 - 2
- 0 - 1
- -5 - 0
- -10 - -5
- -100 - -10
- -196.5 - -100

647900 648000 648100 648200 648300 648400 648500 648600 648700 648800 648900

4158700 4158600 4158500 4158400 4158300 4158200 4158100 4158000

SISTEMA ETRS89, PROYECCIÓN U.T.M., HUSO 30
PLANO DE PROPAGACIÓN DEL OLEAJE,
VECTORES DIRECCIONALES Y Hspp (ALTURA DE OLA PROPAGADA EN NODO)
NODOS DE ÚLTIMA MALLA DE PROPAGACIÓN
ESTADO DE MAR DE 02-10-2020 17:00 UTC
MDT TOPO-BATIMÉTRICO GENERADO (LIDAR, NAVIONICS, EMODNET)
PLANO A ESCALA 1/2.000

NMMA
Elevation

- 20 - 45
- 14 - 20
- 10 - 14
- 8 - 10
- 6 - 8
- 4 - 6
- 3 - 4
- 2 - 3
- 1 - 2
- 0 - 1
- -5 - 0
- -10 - -5
- -100 - -10
- -196.5 - -100

647900 648000 648100 648200 648300 648400 648500 648600 648700 648800 648900

4158700 4158600 4158500 4158400 4158300 4158200 4158100 4158000 4158300

SISTEMA ETRS89, PROYECCIÓN U.T.M., HUSO 30
PLANO DE PROPAGACIÓN DEL OLEAJE,
VECTORES DIRECCIONALES Y Hspp (ALTURA DE OLA PROPAGADA EN NODO)
NODOS DE ÚLTIMA MALLA DE PROPAGACIÓN
ESTADO DE MAR DE 04-04-2022 15:00 UTC
MDT TOPO-BATIMÉTRICO GENERADO (LIDAR, NAVIONICS, EMODNET)
PLANO A ESCALA 1/2.000

NMMA
Elevation

- 20 - 45
- 14 - 20
- 10 - 14
- 8 - 10
- 6 - 8
- 4 - 6
- 3 - 4
- 2 - 3
- 1 - 2
- 0 - 1
- -5 - 0
- -10 - -5
- -100 - -10
- -196.5 - -100

647900 648000 648100 648200 648300 648400 648500 648600 648700 648800 648900

4158700 4158600 4158500 4158400 4158300 4158200 4158100 4158000

SISTEMA ETRS89, PROYECCIÓN U.T.M., HUSO 30
PLANO DE PROPAGACIÓN DEL OLEAJE,
VECTORES DIRECCIONALES Y Hspp (ALTURA DE OLA PROPAGADA EN NODO)
NODOS DE ÚLTIMA MALLA DE PROPAGACIÓN
ESTADO DE MAR DE 04-04-2022 16:00 UTC
MDT TOPO-BATIMÉTRICO GENERADO (LIDAR, NAVIONICS, EMODNET)
PLANO A ESCALA 1/2.000

NMMA
Elevation

- 20 - 45
- 14 - 20
- 10 - 14
- 8 - 10
- 6 - 8
- 4 - 6
- 3 - 4
- 2 - 3
- 1 - 2
- 0 - 1
- -5 - 0
- -10 - -5
- -100 - -10
- -196.5 - -100

647900 648000 648100 648200 648300 648400 648500 648600 648700 648800 648900

4158700 4158600 4158500 4158400 4158300 4158200 4158100 4158000

4. CÁLCULOS DE RUN-UP Y COTAS DE MÁXIMA INUNDACIÓN

El remonte del oleaje o run up es la sobreelevación debida a la cota que alcanza el oleaje al incidir sobre una superficie, respecto al nivel del mar en reposo, siendo uno de los principales factores de incidencia en la cota de máxima inundación a estimar. El problema principal general de los cálculos de run up reside en que no existe una ley única y general que cubra todas las situaciones posibles, por lo que su cálculo debe realizarse a partir de aproximaciones.

Se ha tenido en cuenta en el presente estudio un tratamiento de morfología de cantiles y acantilados para los cálculos del alcance de los oleajes sobre las superficies emergidas, en los que se aplica para el cálculo de los alcances de oleajes sobre su fachada, formulaciones semiempíricas de run-up en estructuras, empleadas generalmente en diques en talud con escolleras y válida también para otro tipo de elementos constructivos del manto principal, dado que el tramo de estudio se sitúa en un frente de costa eminentemente acantilada.

La costa acantilada objeto del presente estudio se sitúa a lo largo de una cárcava o barranquera situada en el extremo oeste de la playa de Punta Bela, en la que confluye un tramo acantilado con una morfología abrupta en la zona emergida adyacente al frente acantilado al que da inicio por el oeste y el principio de la playa por el este, con un fondo marino frente a la vaguada presenta un perfil batimétrico tendido con atenuación de la pendiente en el mismo hasta la cota 0.

Los perfiles de las superficies emergidas sobre los que se producirá el remonte del oleaje, se obtendrán en cada uno de los transectos de incidencia para los cálculos de run-up sobre el MDT emergido de alta resolución obtenido a partir del levantamiento LIDAR (1 punto por m^2), y cuya pendiente será obtenida por el método de cálculo de ajuste por mínimos cuadrados, con una estimación por regresión de la recta que se ajusta de forma óptima a perfiles del terreno complejos compuestos de pendientes múltiples a lo largo de un perfil, característico de morfologías acantiladas de morfología irregular, como la del presente tramo de estudio en un cabo o saliente, habiéndose considerando puntos del acantilado, desde la cota 0 hasta la cota emergida del talud representativo sobre el que impactará la ola en primera instancia, que a su vez estimará el software previamente con los parámetros del oleaje.

El Run up en estructuras depende principalmente de la pendiente de la superficie emergida de incidencia dado por el talud de la fachada del acantilado. Asimismo el run-up también depende en estructuras de la profundidad a pie de talud, de la rugosidad y porosidad de la superficie de incidencia de la morfología y de su geometría, así como de la altura de ola incidente, periodo, dirección y ancho espectral del oleaje.

En el presente estudio, al haberse realizado propagaciones hasta el frente de costa por simuladores computacionales basados en modelos numéricos y haberse obtenido la altura de ola hasta pie de la morfología emergida, se tomará como profundidad a pie de talud, la profundidad teniendo en cuenta la marea correspondiente a cada estado de mar y su set-up asociado, y la misma será determinada por la posición de los nodos en los que ha proporcionado el software los valores de H_{sp} altura de ola propagada frente al tramo de estudio y que serán tomados como valores de altura de ola de cálculo para el run-up.

Al tratarse de run-up sobre fachada acantilada, sin elementos como escollera o bloques, se dará el tratamiento en cuanto a rugosidad y porosidad de talud liso.

La imposibilidad de formular una ley única y general que cubriera todas las situaciones posibles en cuanto a tipo de oleaje, oblicuidad, existencia de bermas, disparidad de estructuras, etc., instigó a autores como Ahrens y McCartney (1975) y Ahrens y Titus (1985), a realizar la mayor parte de estudios en este tipo de estructuras a partir de aproximaciones al problema específico.

En consecuencia, en la morfología emergida en el tramo de costa de unos 40 metros situado en el extremo oeste de la Playa de Punta Bela, término municipal de Mazarrón (Murcia), se obtendrá el run-up con formulaciones semiempíricas de cálculo sobre estructuras artificiales a partir de las alturas de ola propagadas a pie de costa por el software Oluca-SP espectral simuladas computacionalmente sobre el MDT topobatimétrico generado, con una de las formulaciones semiempíricas implementadas en el módulo del software SMC para cálculo de run-up sobre diques (módulo TIC), el modelo de Ahrens y Titus (1985).

Este modelo de Ahrens y Titus resulta especialmente apropiado para el presente estudio, dado que es aplicable en taludes sensiblemente lisos, como es el caso, al tratarse de una superficie emergida principal de incidencia del oleaje de una morfología de cantil natural, y por tanto no rugoso (sin escolleras ni piezas de diseño). También resulta en este caso recomendable este modelo de run-up, dado que considera distintas formulaciones según el tipo de rotura del oleaje, por lo que comprende casos tanto de spilling, colapsing, plunging o surging distintas pendientes, aplicando tratamiento específico a cada uno, siendo este último el que corresponde mayoritariamente al presente estudio en función de los estados de mar considerados y de los puntos solución, la pendiente de incidencia del oleaje y el peralte de la ola en el punto considerado a pie de morfología emergida, y en consecuencia considerando distintas pendientes.

En este tipo de formulaciones que relacionan el ascenso del oleaje adimensionalizado con la altura de ola incidente (la propagada a pie de costa emergida) y el número de Iribarren y que son válidas para taludes lisos, el avance de las olas sobre la superficie emergida se da en términos del número de Iribarren en aguas profundas utilizando la altura de las olas locales (Ir_{op}), razón por la cual resulta fundamental una propagación con software de modelado costero que simule la propagación hasta pie de costa emergida como la realizada con Oluca-SP espectral, no generando dudas sobre su importancia cuando las olas rompen como olas que se precipitan o se derraman en la pendiente emergida.

El modelo de Ahrens y Titus (1985) aplicable en taludes sensiblemente lisos como los que corresponden a fachadas acantiladas, tiene una estructura algo más complicada que otras formulaciones de este tipo, siendo su expresión matemática válida para roturas de tipo oscilación, colapso y voluta, en función de los parámetros de los estados de mar seleccionados y de la morfología y pendientes de las superficies acantiladas emergidas, siendo el run-up es proporcional a la altura de ola incidente, con una constante de proporcionalidad que varía según el tipo de rotura de que se trate: en roturas tipo voluta toma valores proporcionales al número de Iribarren; en las de tipo oscilación, es una función de diversos parámetros de la onda, desarrollándose mediante las siguientes expresiones matemáticas:

R_u=C*Hi ;

R_u=run-up sobre la morfología acantilada

Hi= altura de ola incidente en superficie emergida (propagada a pie de frente de costa)

C=parámetro que se calcula mediante una serie de expresiones que dependen del número de Iribarren (Ahrens, 1985)

$$Ir_{op}=\frac{tan\,\theta}{\sqrt{\frac{H_i}{L0}}}$$

Si $Ir_{op} \leq 2$; C = C_p =1,002 * Ir_{op}

Si $2 < Ir_{op} < 3{,}5$; $C = \left(\frac{3{,}5-Irop}{1{,}5}\right) * Cp + \left(\frac{3{,}5-Irop}{1{,}5}\right) * C\Pi b$

Si $Ir_{op} \geq 3{,}5 \Rightarrow$ Ahrens y Burke (ACES),

$$\Rightarrow C_{\pi b} = 1{,}087\sqrt{\frac{\pi}{2\,tan\,\theta}} + 0{,}775*D\ ;$$

Siendo:

$$D = \frac{\frac{H_i}{L}}{(tanh)^3\left(\frac{2\pi h}{L}\right)}$$

L_0=longitud de onda en aguas profundas

L=longitud de onda a pie de talud

h= profundidad a pie de morfología emergida dada por el punto de ola propagada a pie de frente de costa, teniendo en cuenta la marea Tr=50 + set-up.

θ = ángulo de la pendiente acantilada emergida, calculada con el talud estimado por ajuste de regresión por mínimos cuadrados, desde la cota 0 al N.M.M.A. hasta la cota del talud de incidencia del oleaje, que será estimada para cada perfil, dada la complejidad por irregularidad morfológica y de pendientes de las superficies de incidencia, definida con detalle por el MDT obtenido a partir del levantamiento topográfico LIDAR.

Este modelo está respaldado por amplias series de ensayos de laboratorio y verificadas en multitud de estructuras reales.

Para los cálculos de los perfiles de los frentes emergidos de incidencia del oleaje, se han definido a lo largo del tramo de estudio un total de 40 perfiles-transectos de incidencia atendiendo a la geometría de la línea de orilla, con puntos de perfil tomados sobre el MDT generado del acantilado desde la cota 0 N.M.M.A. hasta la cota del talud estimada para cada perfil sobre el MDT, sobre los que han sido obtenidos los taludes por una función de ajuste por mínimos cuadrados, con los que se han realizado los cálculos de run-up, teniéndose en cuenta los módulos H_{sp} de los vectores direccionales del oleaje en la propagación a pie de superficies de incidencia emergidos frente a cada perfil-transecto de incidencia, a partir de los cuales se proporcionarán 40 valores de inundación finales.

Una vez incrementados los run-up con los respectivos niveles mareales obtenidos del mareógrafo del Puerto de Almería con referencia al N.M.M.A. (obtenidos en el apartado 2.2), se les deberá añadir también los niveles del set-up correspondiente de cada uno de los estados de mar seleccionados del Punto Simar 2068090, los cuales serán obtenidos con la formulación de Longuet-Higgins y Stewart (1963-1964), que determina que el flujo de momento de las olas, es el responsable del fenómeno del set-up, habiéndose verificado por ensayos de campo y detallados ensayos de laboratorio, llegándose a la ecuación para la obtención del mismo mediante la siguiente expresión:

Set up max= $\eta_{max} = 0{,}15 \cdot h_b - \frac{g^{1/2}(H_0)^2 T}{64 \cdot \pi \cdot h_b}$

η_{max}=set-up por oleaje en nivel de rompientes

h_b=profundidad de rotura

T=período de la ola

H_0=altura de ola en profundidades indefinidas

Las 40 líneas que contienen los perfiles-transectos sobre los que se han ejecutado los cálculos de run-up en el tramo de estudio se posicionan en los siguientes planos a escala 1/500 sobre el MDT y sobre ortofotografía, en coordenadas del sistema ETRS89, elipsoide GRS80, Proyección U.T.M., Huso 30, adjuntándose asimismo los 40 gráficos correspondientes a las proyecciones de dichas líneas sobre el MDT topográfico, sobre las que la aplicación que opera en entorno GIS ha obtenido el talud para la formulación de Ahrens y Titus por el método de mínimos cuadrados desde la cota 0 hasta una cota estimada para cada perfil (sobre el que ha estimado la incidencia de cada ola de cálculo), así como los valores del parámetro para el set-up de h_b.a pie de estructura acantilada.

De esta forma, los perfiles representados en dichos gráficos, arrancan desde la batimetría en la zona de reducidas y rompientes que contienen la profundidad h_b, así como se prolongan hasta cotas superiores sobre la morfología emergida que contendrán siempre los puntos de cota estimada para el cálculo del ángulo para la formulación de Ahrens.

Por tanto, los 40 gráficos correspondientes a las 19 líneas de transecto-perfil, representan los perfiles topobatimétricos (40 unidades repartidas por el área de estudio) sobre los que por un lado se ha obtenido la h_b para el set-up Longuet-Higgins y Stewart y la pendiente-talud para el run-up Ahrens-Titus en cada uno de los 40 para cada uno de los 5 temporales, y de otro caracterizan la morfología (sumergida-emergida) del cabo-saliente acantilado objeto del presente estudio, con un elevado nivel de detalle, tanto por la alta densidad de perfiles-transectos trazados, como por su longitud extendida desde batimetría hasta topografía emergida.

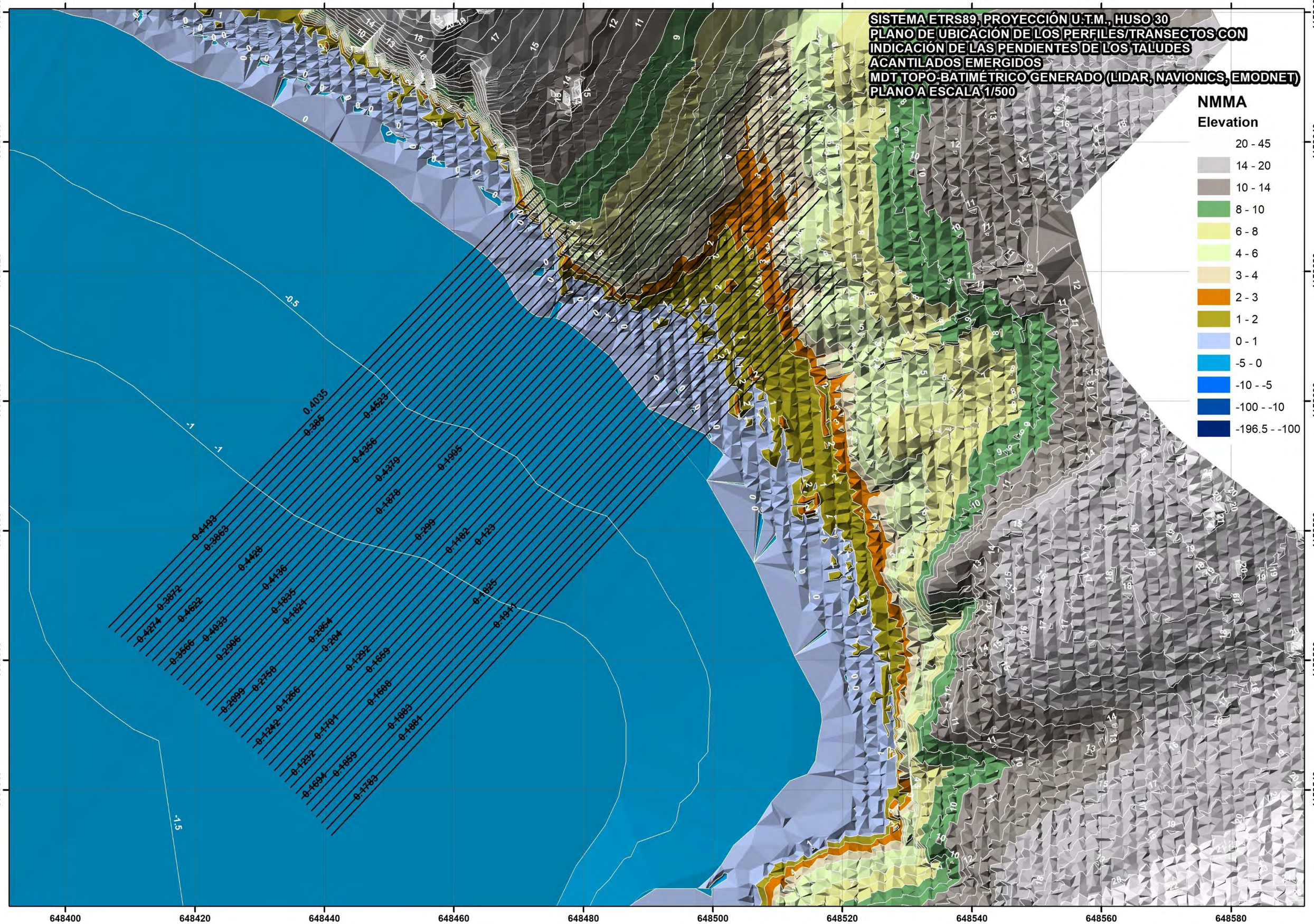
El plano a escala 1/500 sobre ortofotografía refleja la posición de las 40 líneas de perfil-transecto de incidencia con indicación del nº de transecto (del 1 al 40), y en el plano a escala 1/500 sobre MDT se indican las pendientes obtenidas por el método de mínimos cuadrados obtenidas sobre la porción considerada de incidencia dentro de cada una de las 40 líneas desde la cota 0, si bien los gráficos de los croquis de los perfiles recogen todo el recorrido de los transectos perfiles desde la franja sumergida en parte de la zona de rompientes hasta los taludes emergidos.

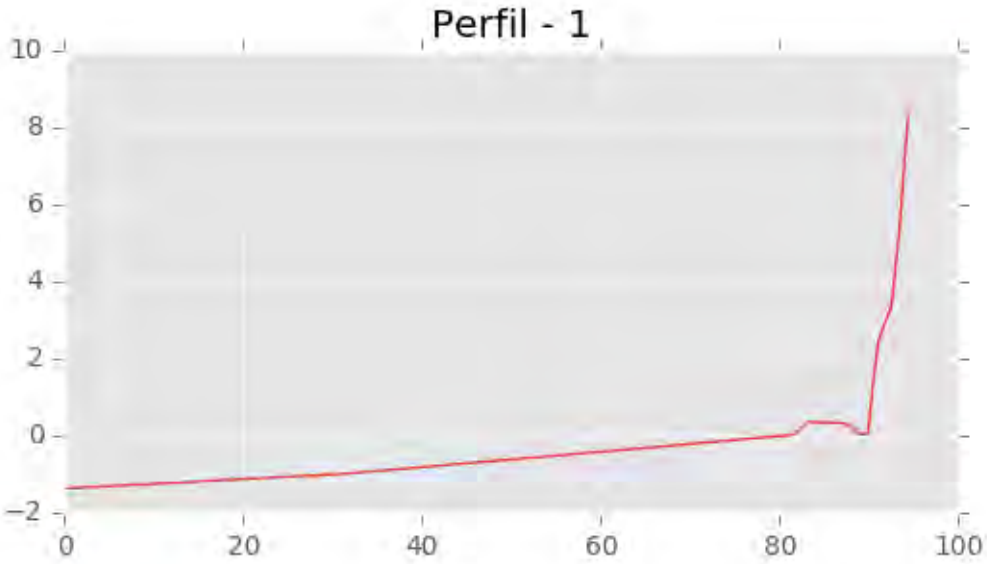
SISTEMA ETRS89, PROYECCIÓN U.T.M., HUSO 30
PLANO DE UBICACIÓN DE LOS PERFILES/TRANSECTOS CON INDICACIÓN DE LOS IDENTIFICADORES POR PERFIL
ORTOFOTO PNOA MA
PLANO A ESCALA 1/500

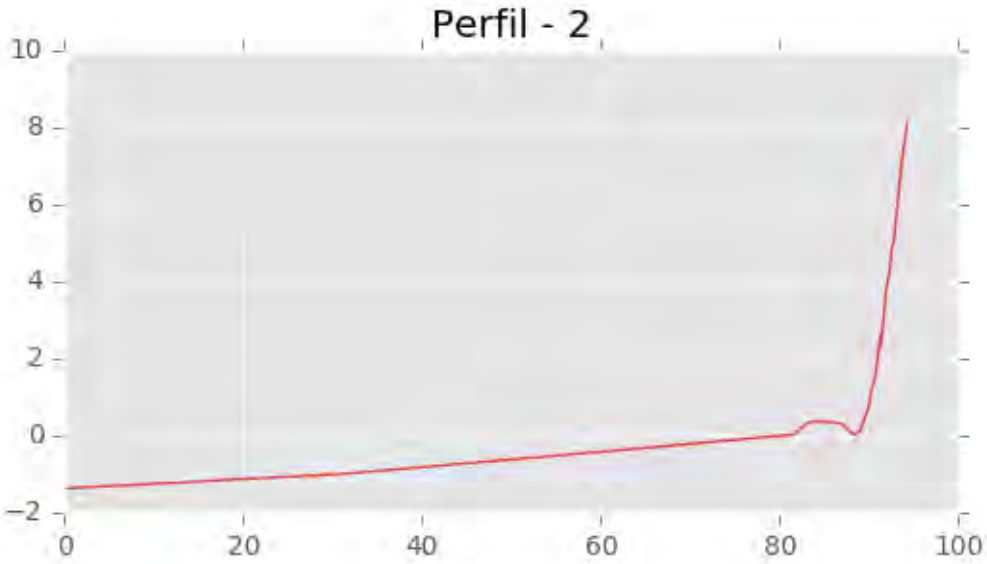


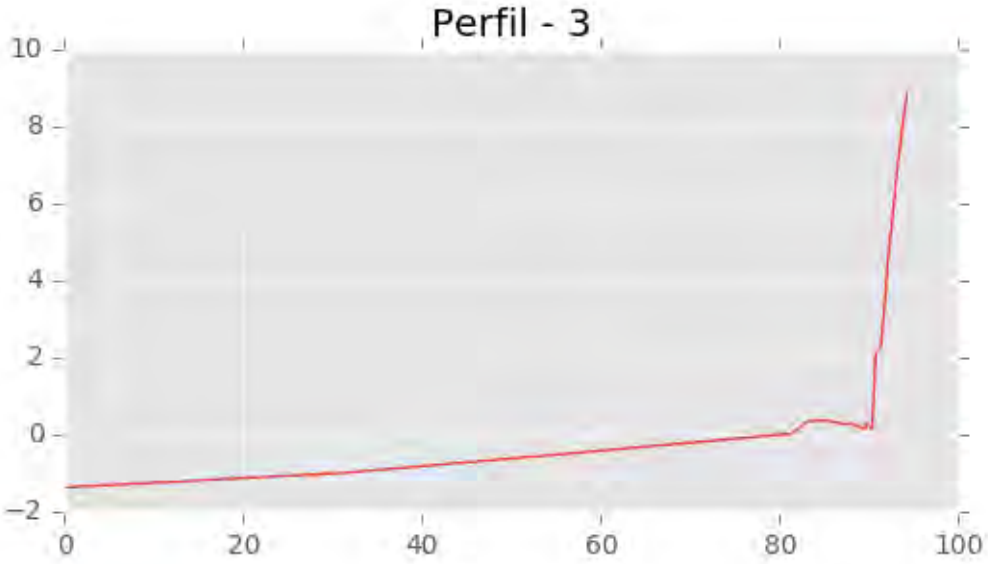
SISTEMA ETRS89, PROYECCIÓN U.T.M., HUSO 30
PLANO DE UBICACIÓN DE LOS PERFILES/TRANSECTOS CON INDICACIÓN DE LAS PENDIENTES DE LOS TALUDES ACANTILADOS EMERGIDOS
MDT TOPO-BATIMÉTRICO GENERADO (LIDAR, NAVIONICS, EMODNET)
PLANO A ESCALA 1/500

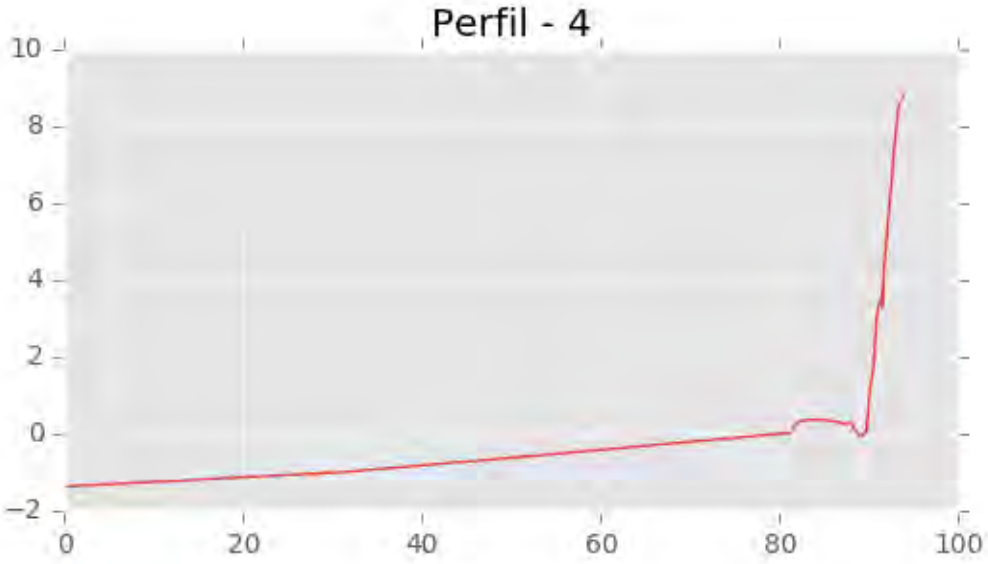
NMMA
Elevation
- 20 - 45
- 14 - 20
- 10 - 14
- 8 - 10
- 6 - 8
- 4 - 6
- 3 - 4
- 2 - 3
- 1 - 2
- 0 - 1
- -5 - 0
- -10 - -5
- -100 - -10
- -196.5 - -100

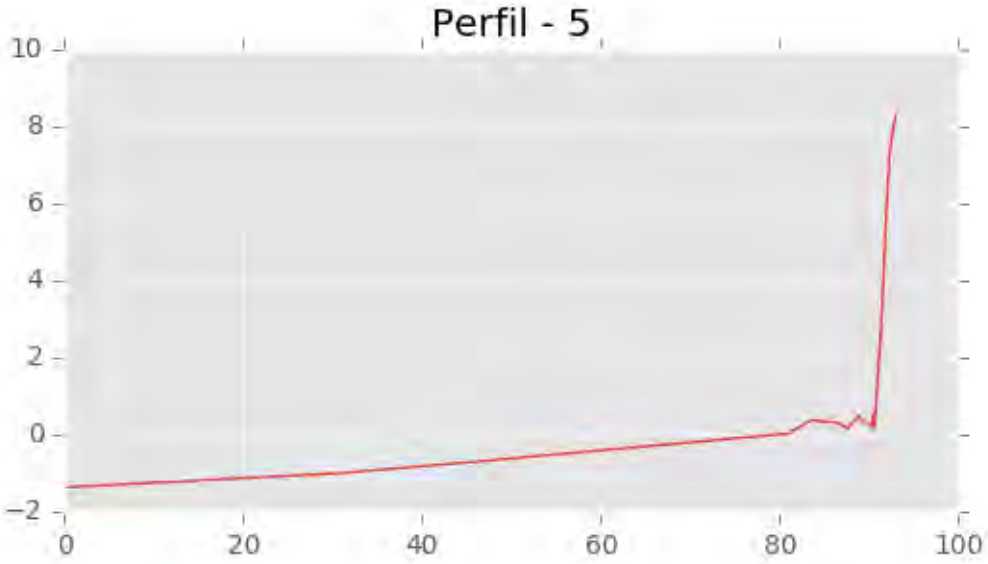


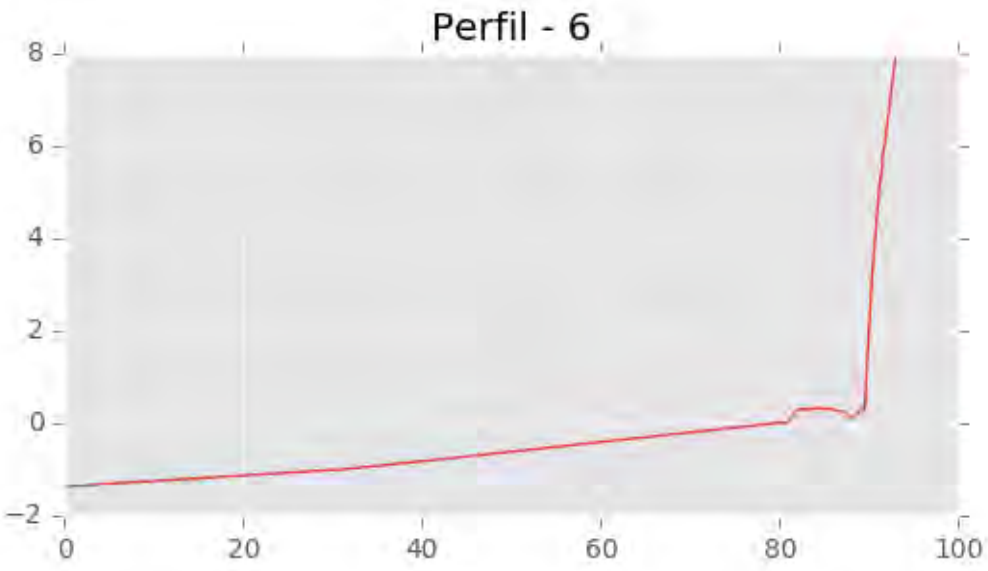

Perfil - 1
10
8
6
4
2
0
−2
0
20
40
60
80
100

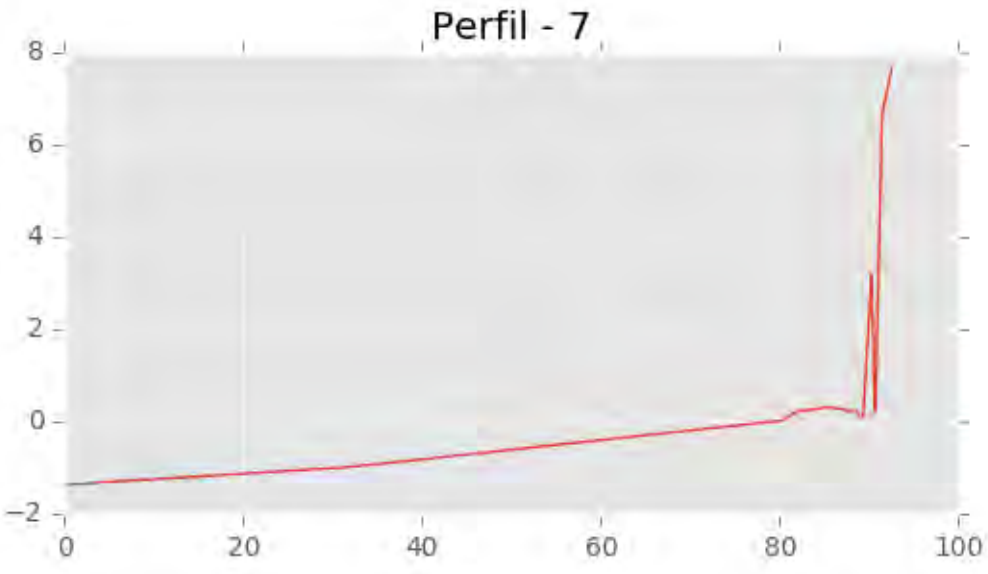

Perfil - 2
10
8
6
4
2
0
−2
0
20
40
60
80
100

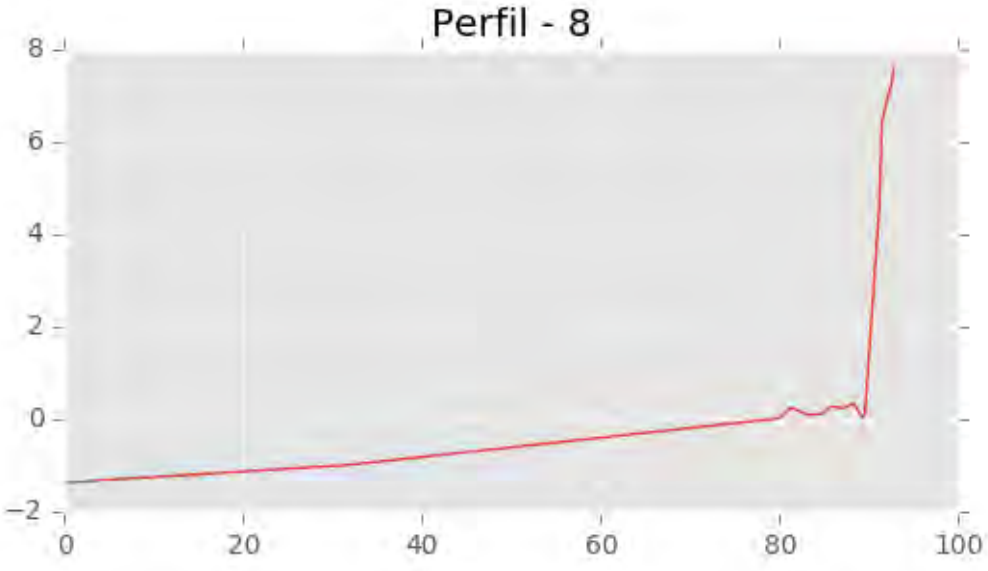

Perfil - 3
10
8
6
4
2
0
−2
0
20
40
60
80
100

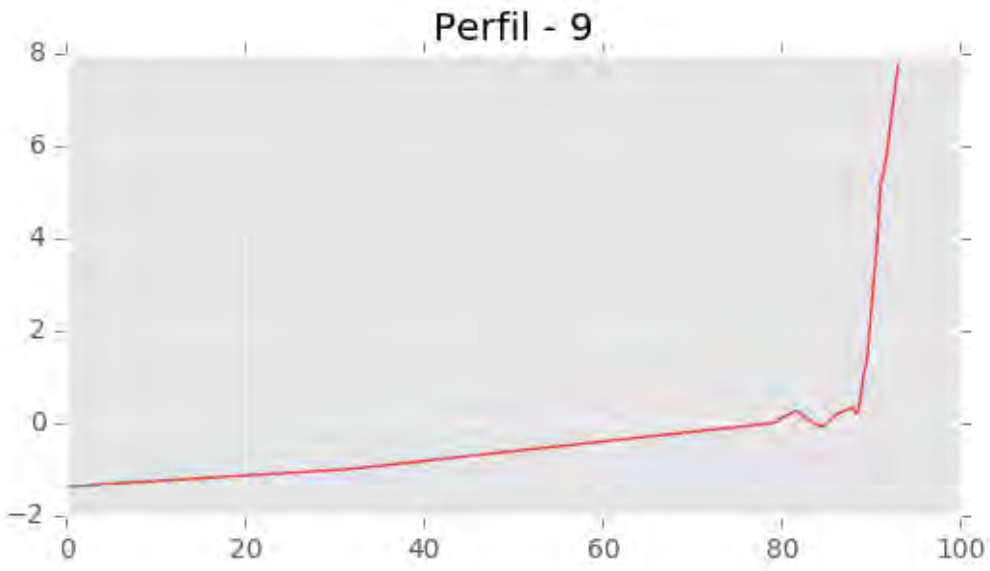

Perfil - 4
10
8
6
4
2
0
−2
0
20
40
60
80
100

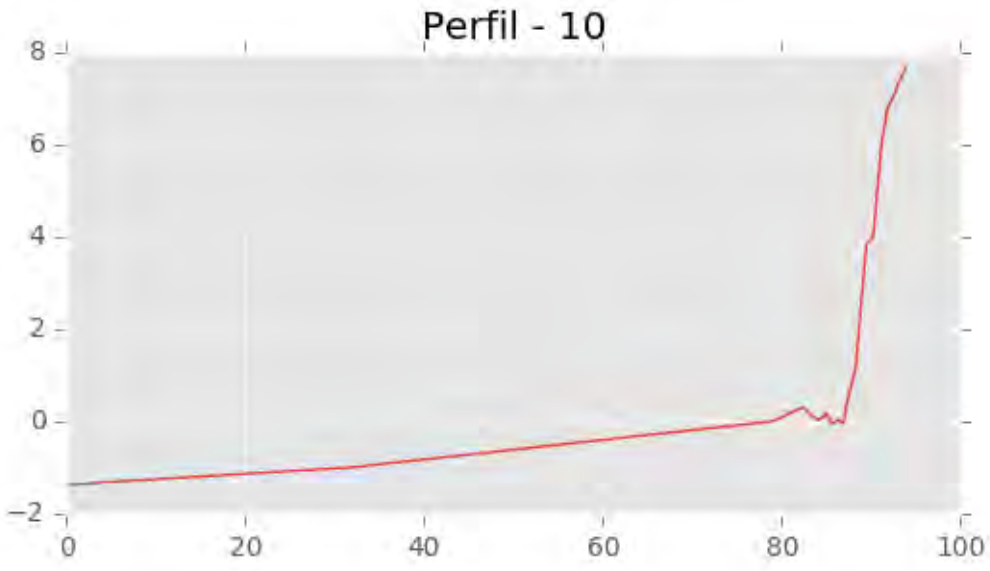

Perfil - 5
10
8
6
4
2
0
−2
0
20
40
60
80
100

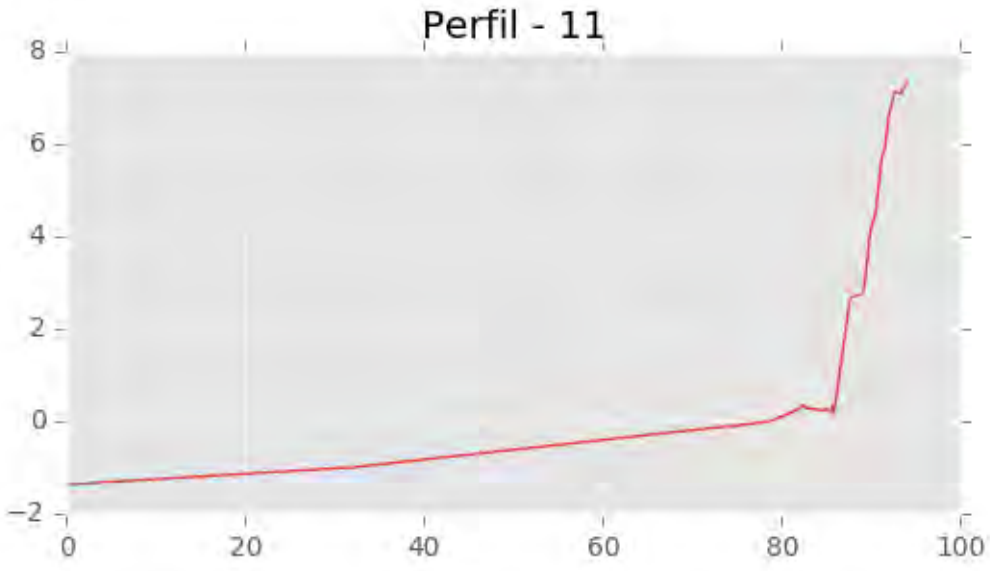

Perfil - 6
8
6
4
2
0
−2
0
20
40
60
80
100

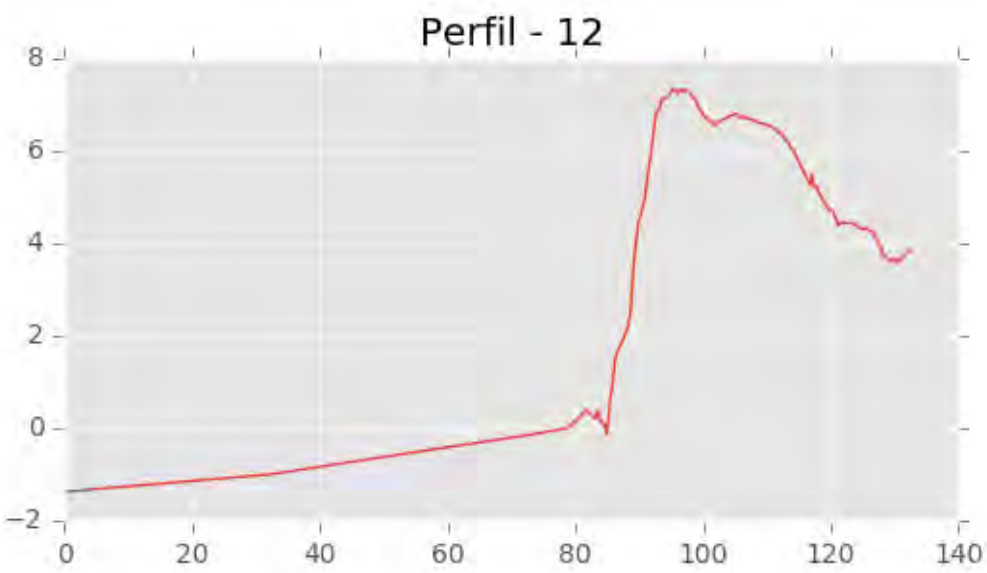

Perfil - 7
8
6
4
2
0
−2
0
20
40
60
80
100

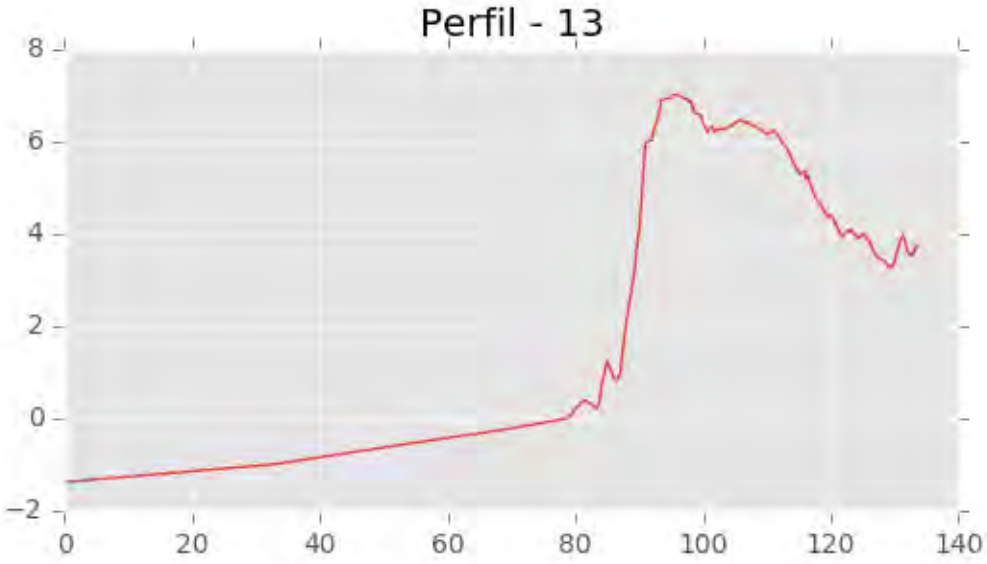

Perfil - 8
8
6
4
2
0
−2
0
20
40
60
80
100

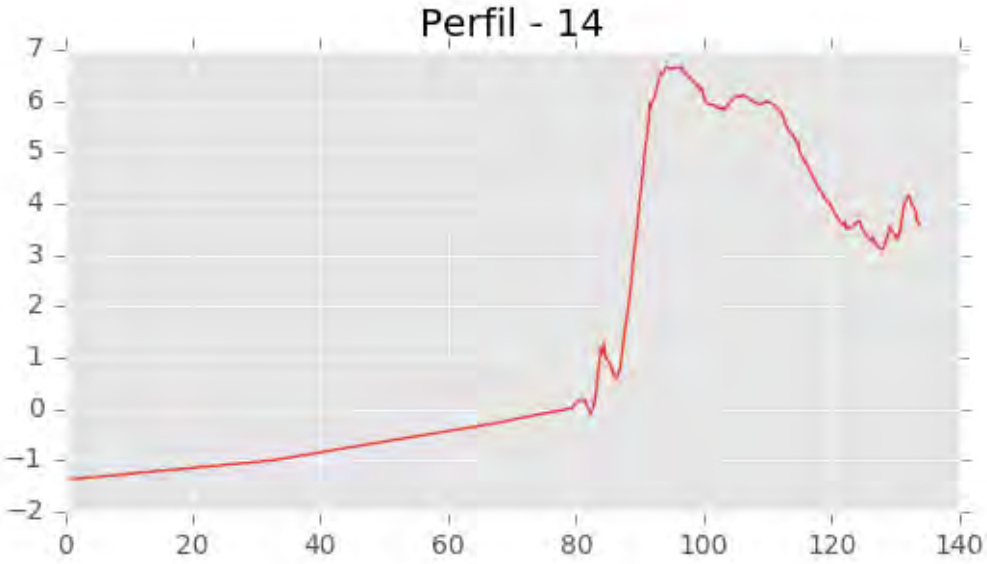

Perfil - 9
8
6
4
2
0
−2
0
20
40
60
80
100

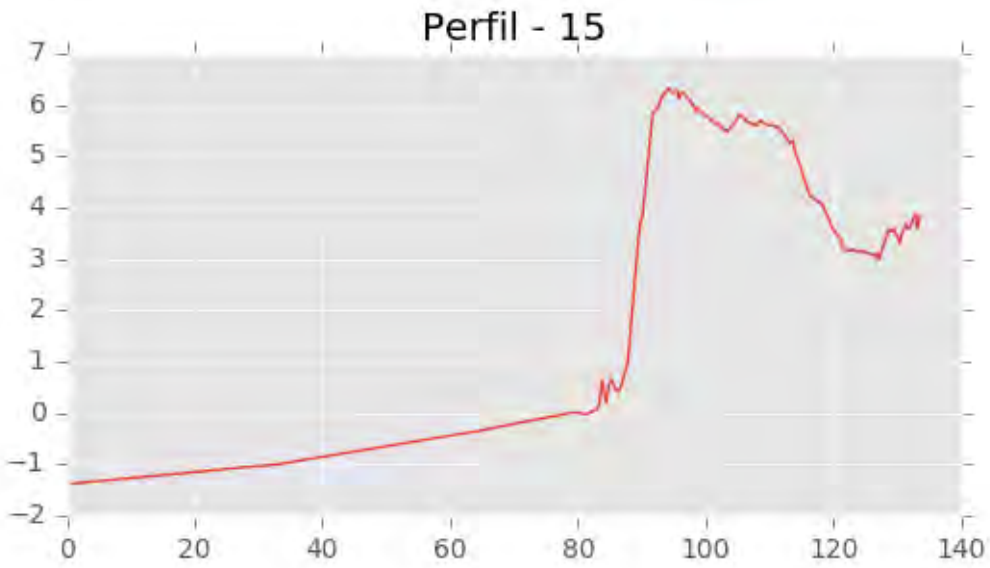

Perfil - 10
8
6
4
2
0
−2
0
20
40
60
80
100

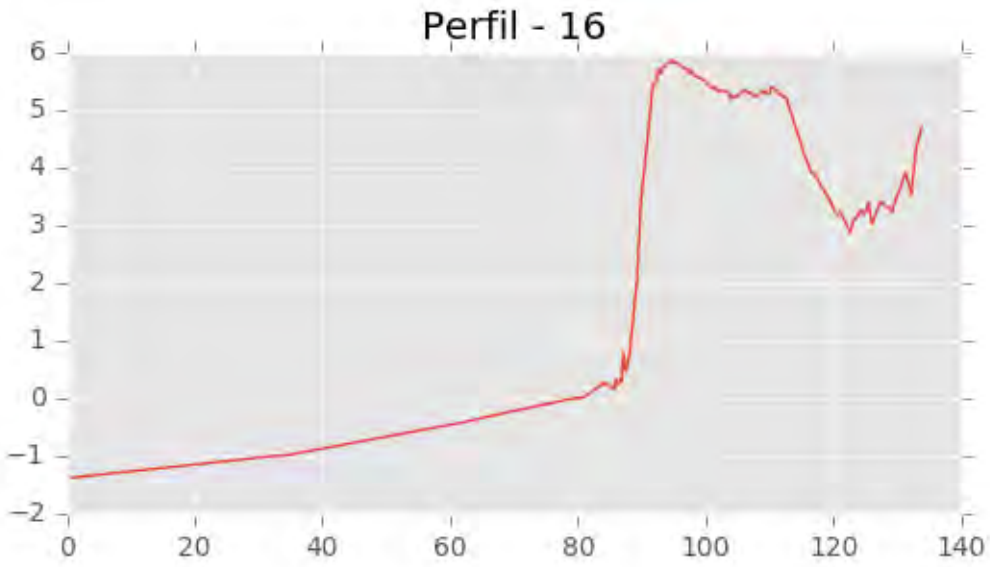

Perfil - 11
8
6
4
2
0
−2
0
20
40
60
80
100

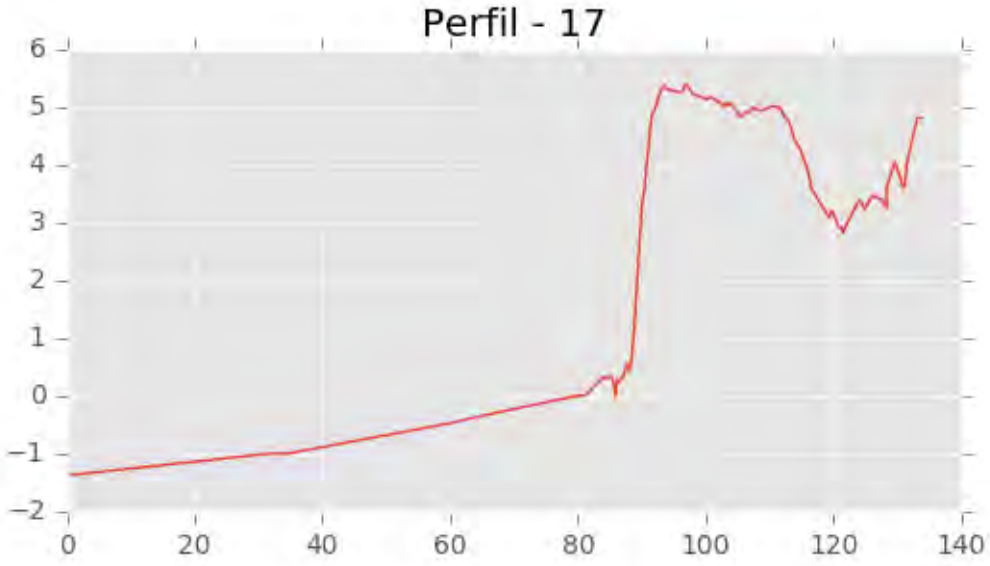

Perfil - 12
8
6
4
2
0
−2
0
20
40
60
80
100
120
140

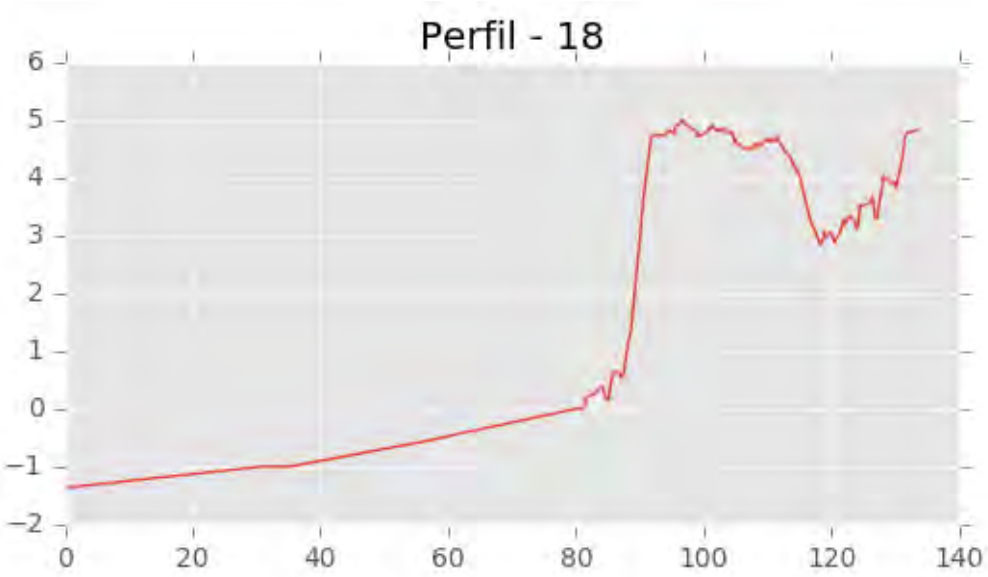

Perfil - 13
8
6
4
2
0
−2
0
20
40
60
80
100
120
140

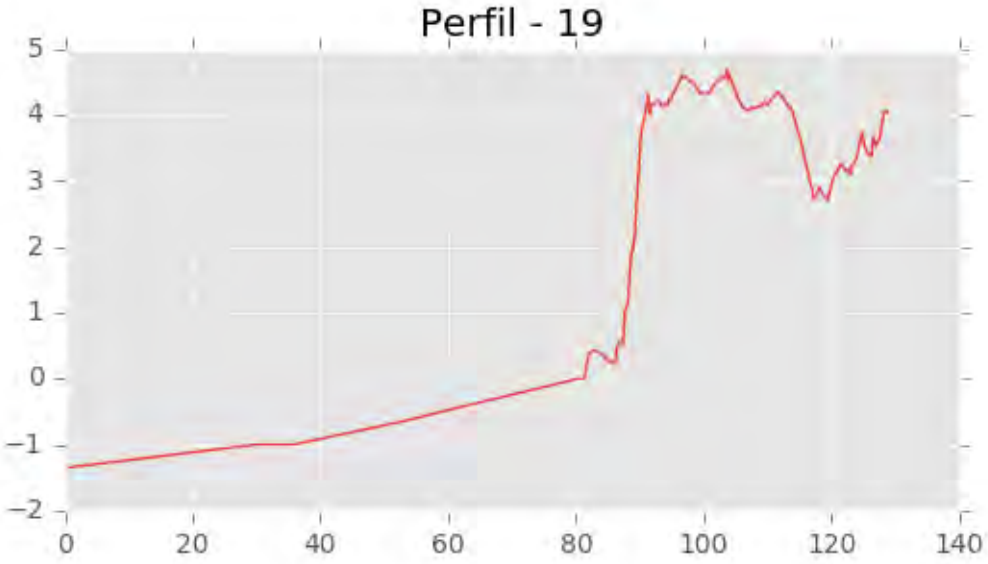

Perfil - 14
7
6
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120
140

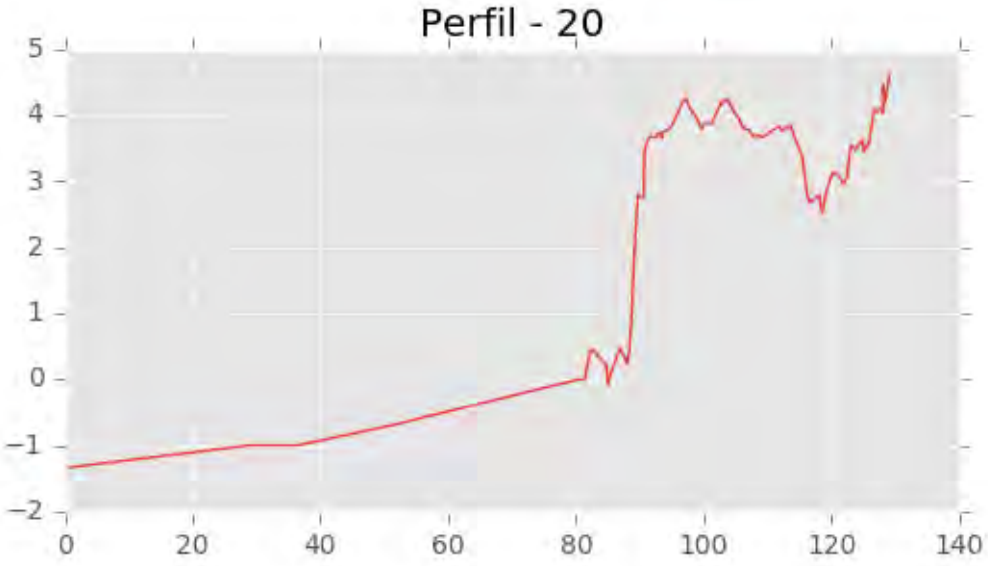

Perfil - 15
7
6
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120
140

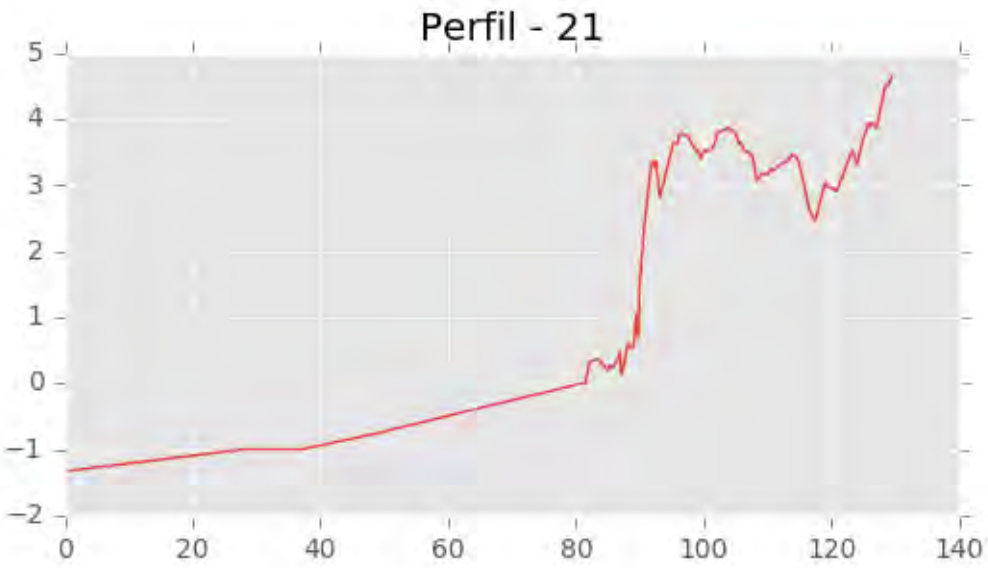

Perfil - 16
6
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120
140

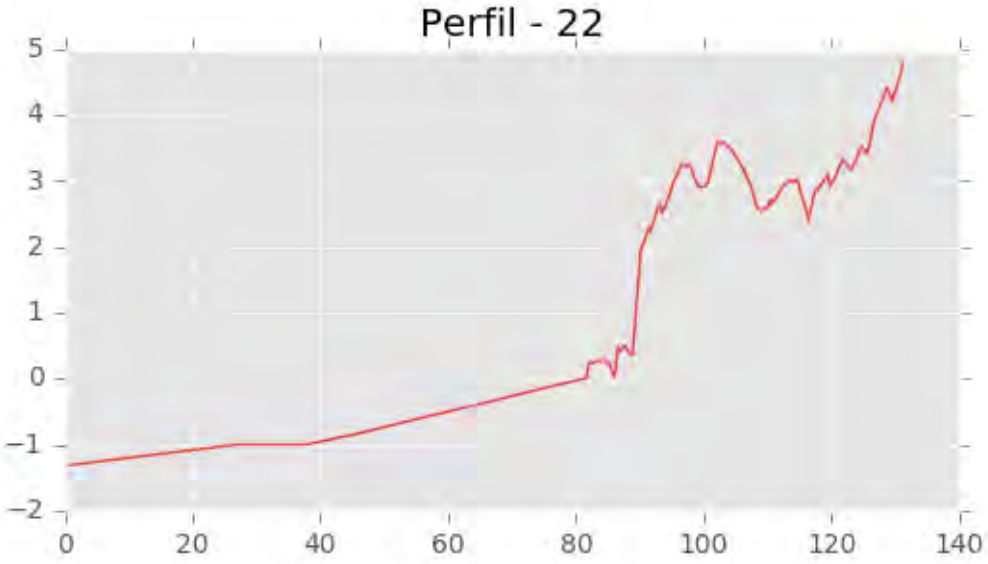

Perfil - 17
6
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120
140

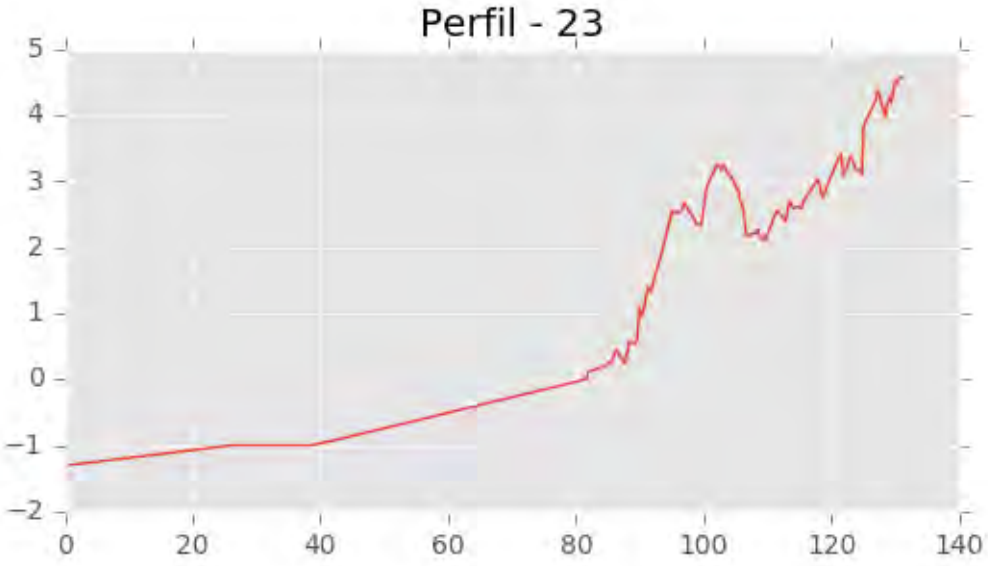

Perfil - 18
6
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120
140

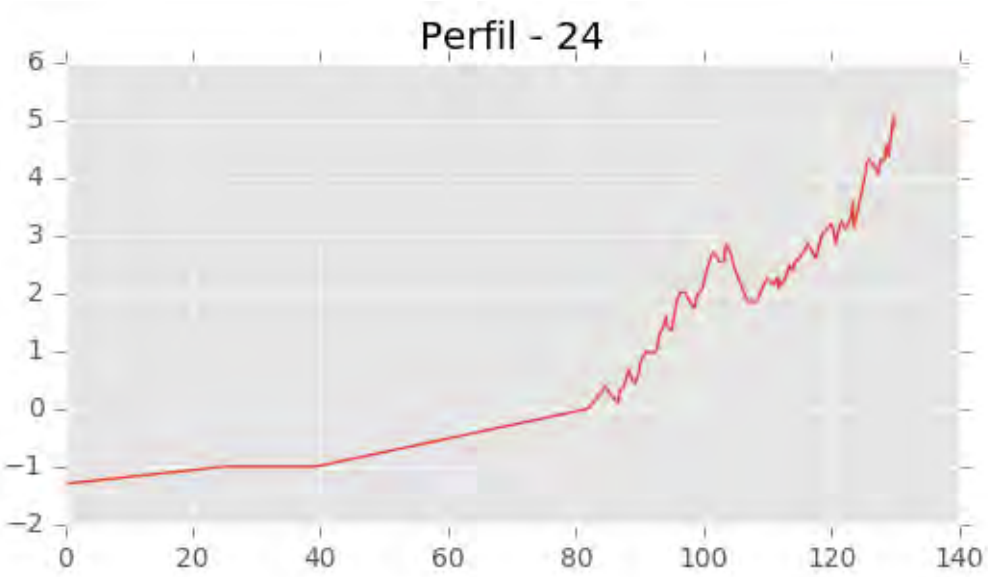

Perfil - 19
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120
140

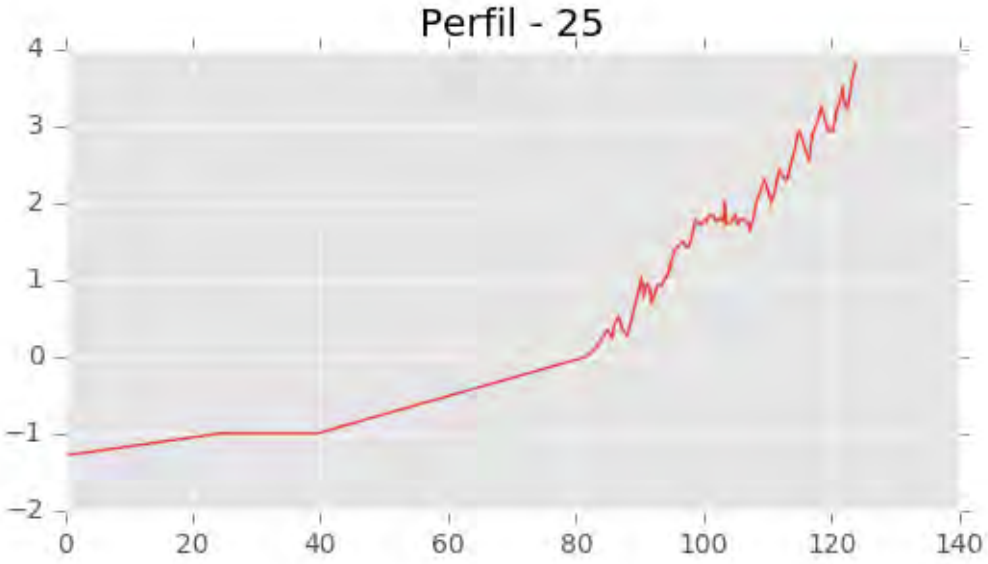

Perfil - 20
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120
140

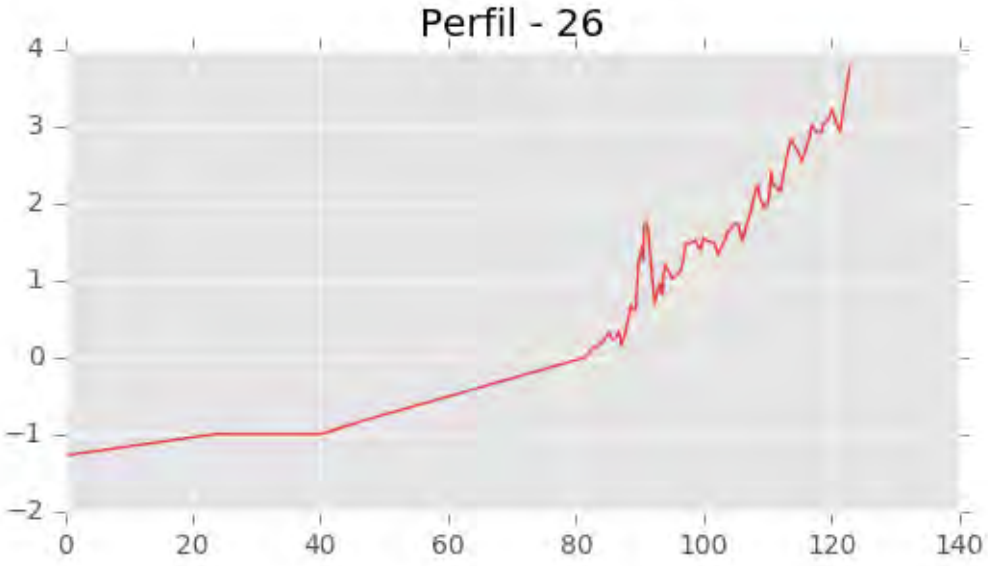

Perfil - 21
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120
140

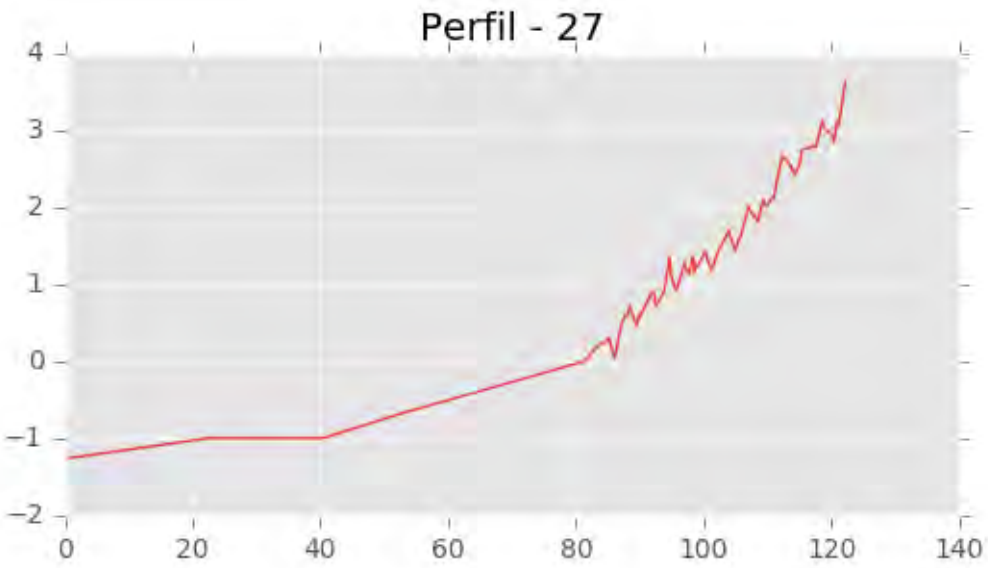

Perfil - 22
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120
140

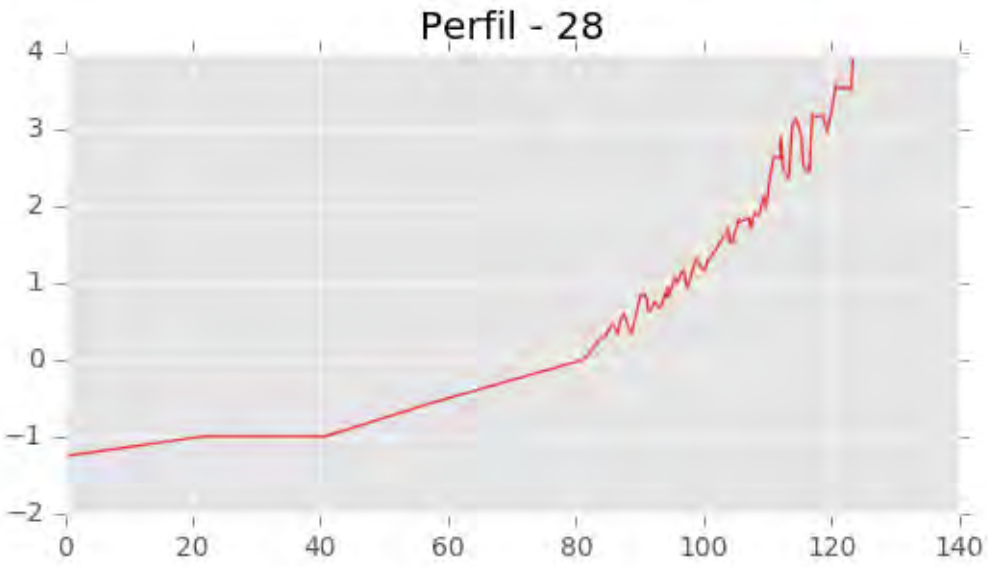

Perfil - 23
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120
140

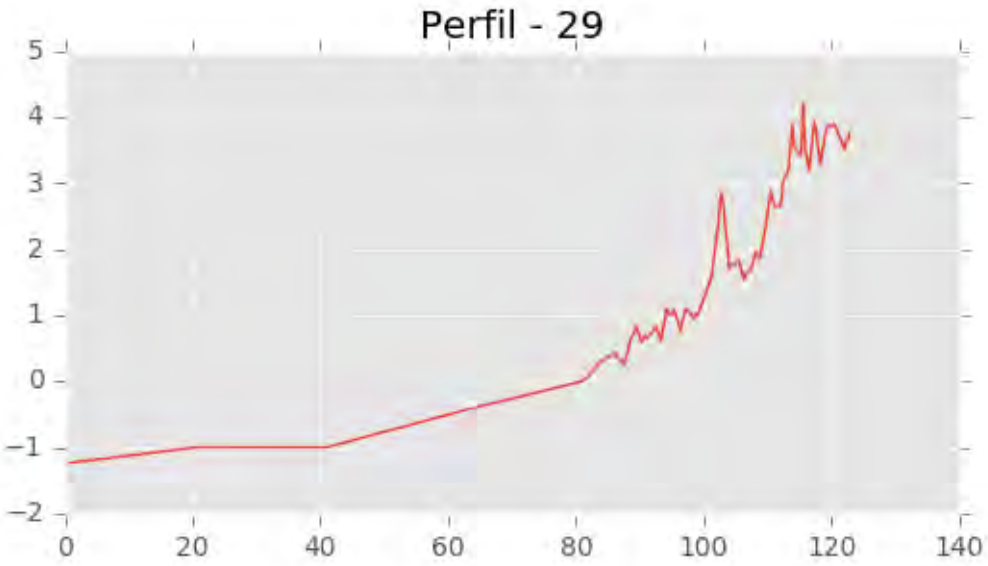

Perfil - 24
6
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120
140

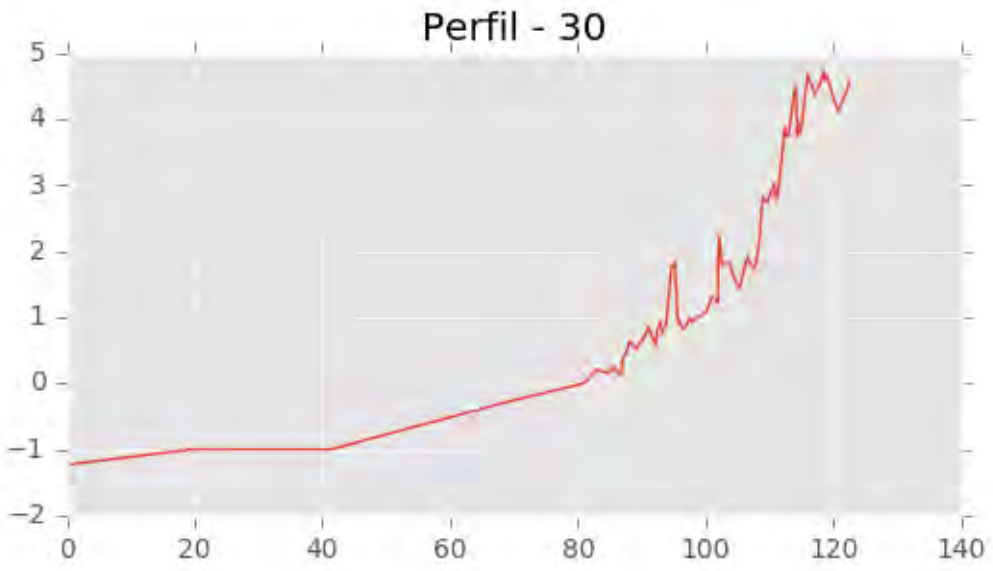

Perfil - 25
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120
140

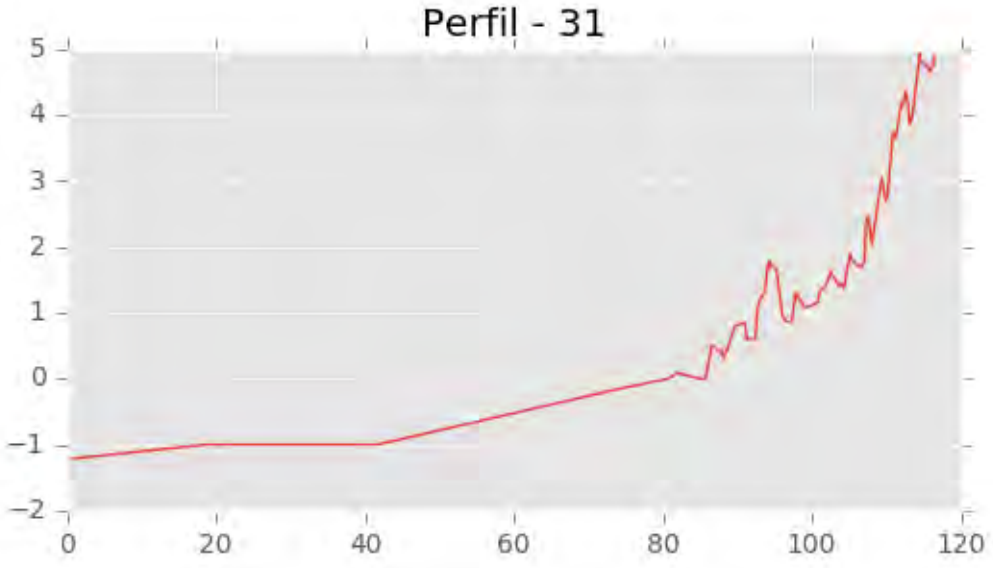

Perfil - 26
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120
140

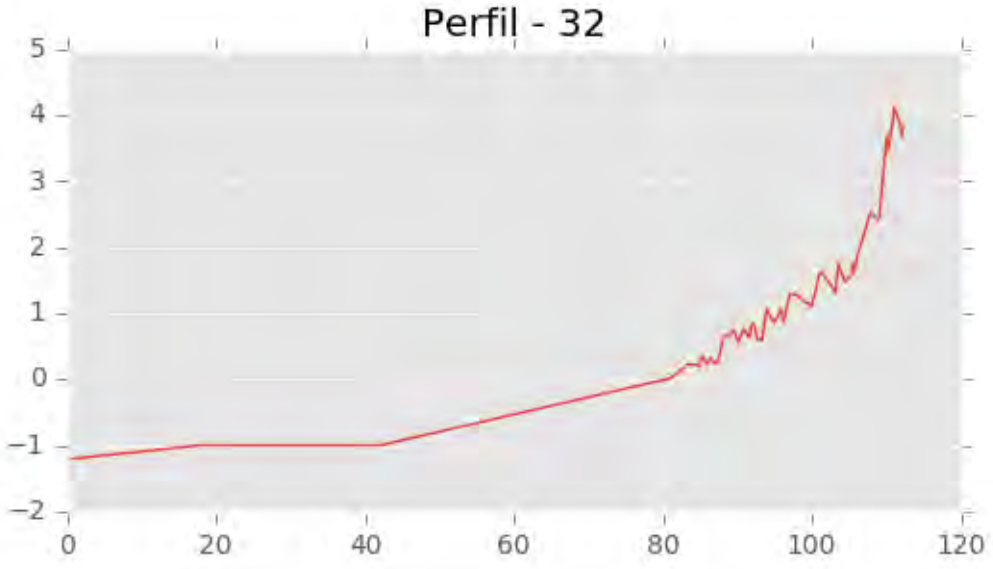

Perfil - 27
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120
140

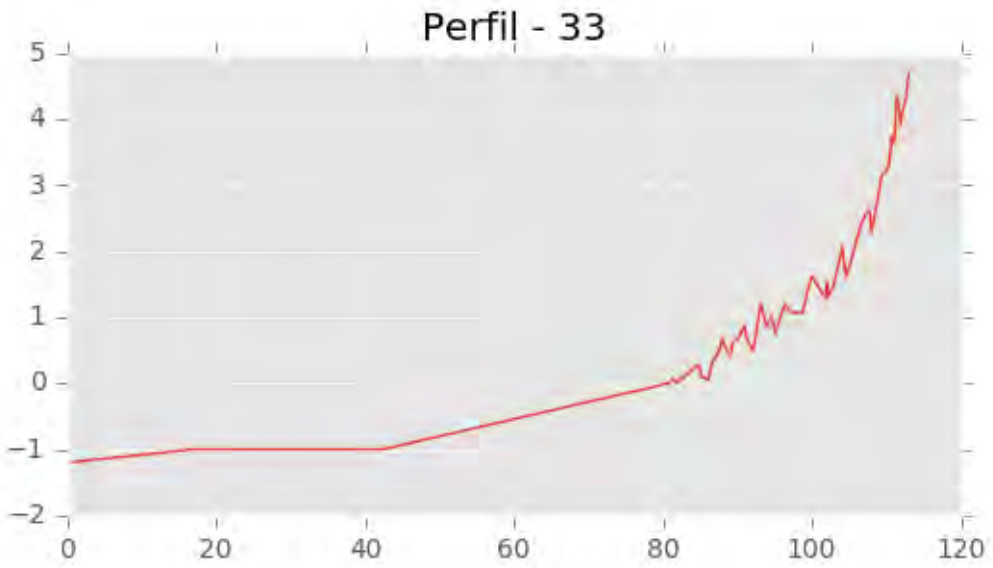

Perfil - 28
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120
140

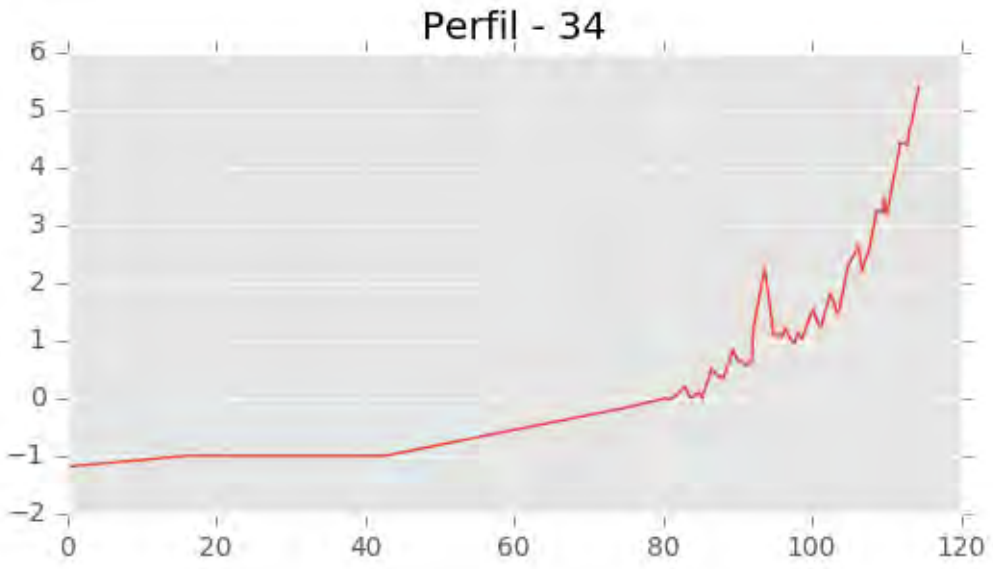

Perfil - 29
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120
140

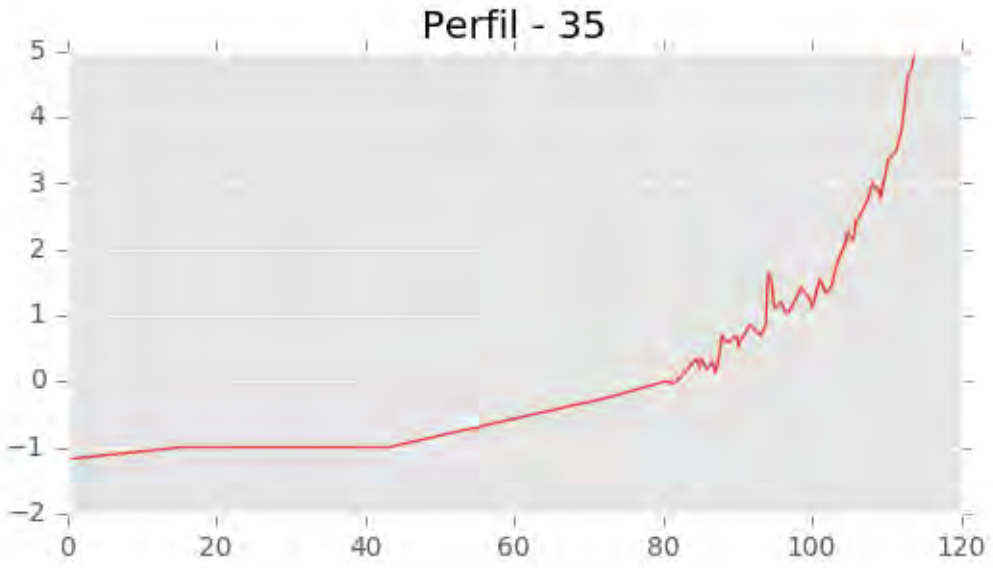

Perfil - 30
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120
140

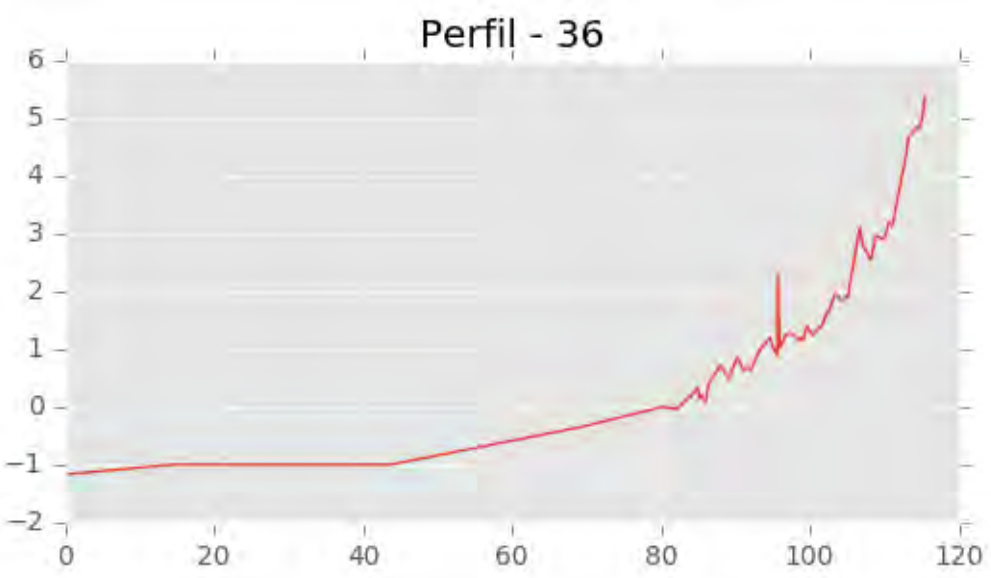

Perfil - 31
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120

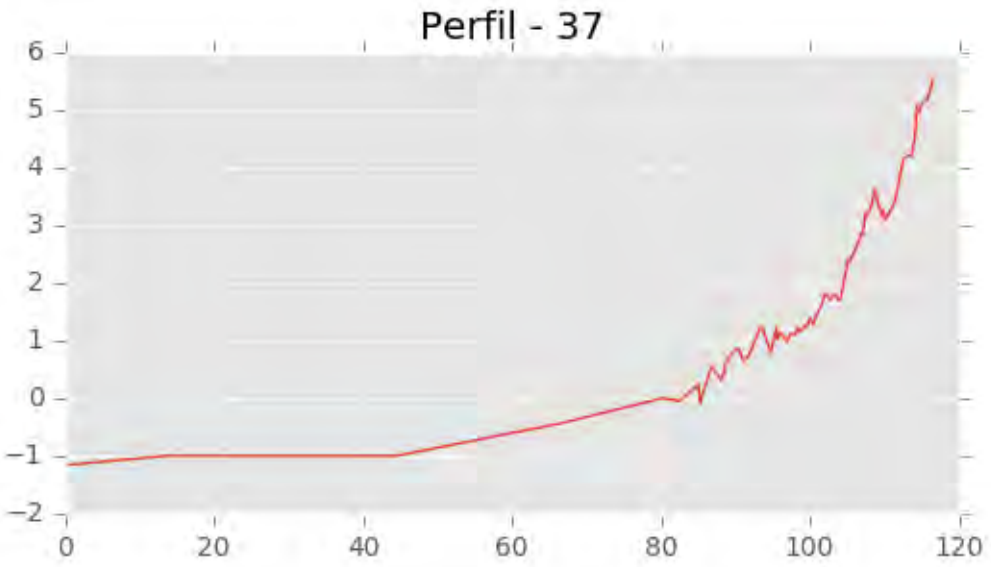

Perfil - 32
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120

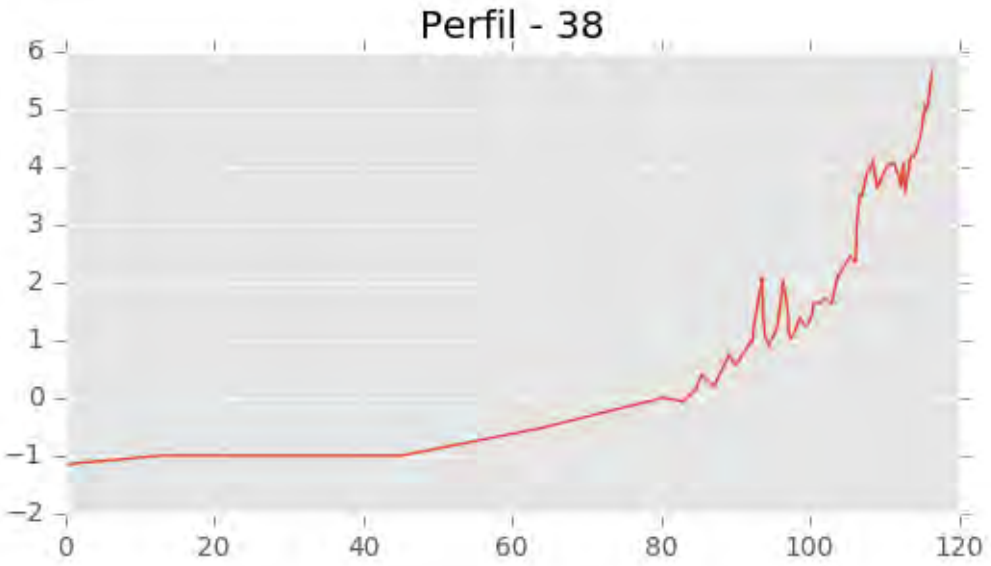

Perfil - 33
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120

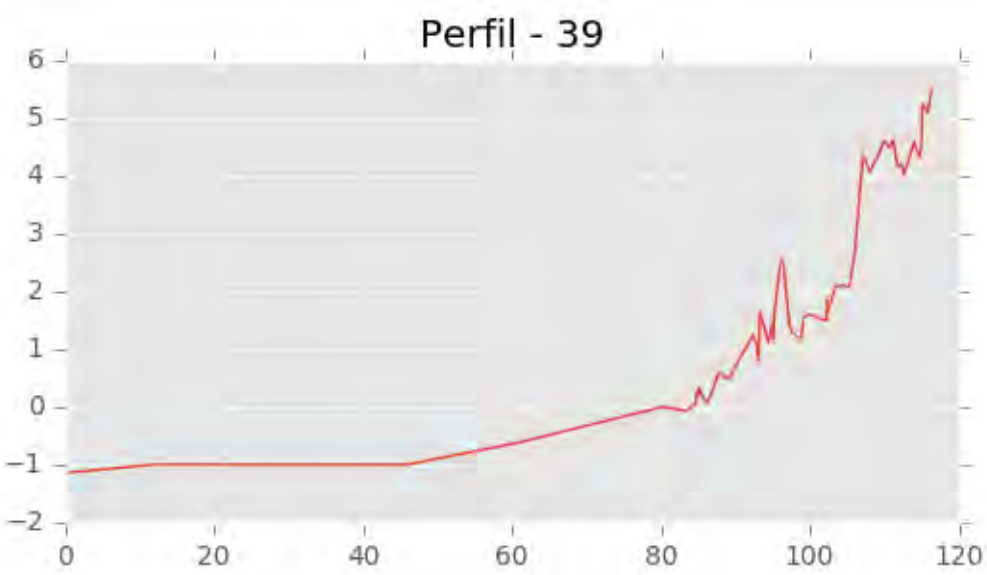

Perfil - 34
6
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120

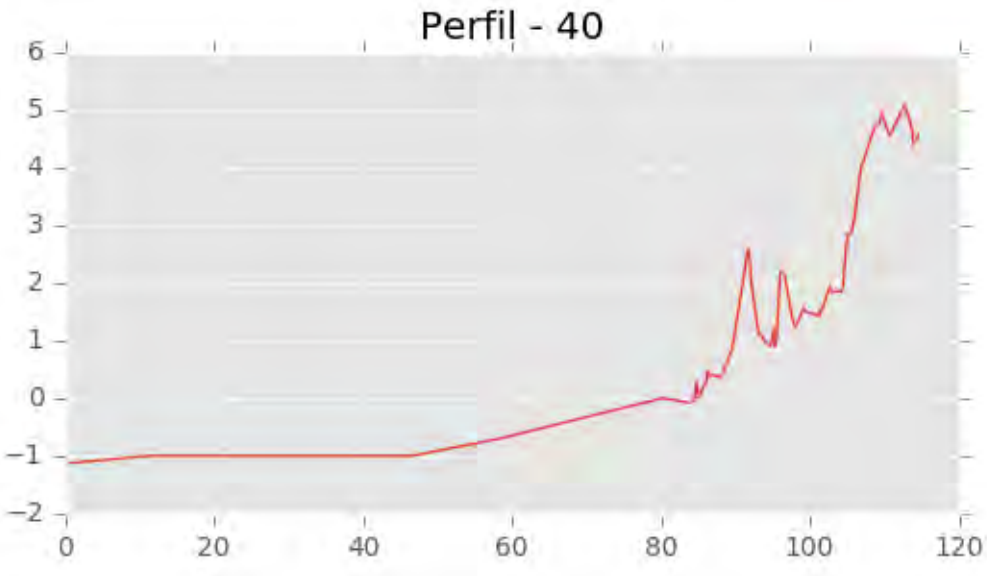

Perfil - 35
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120


Perfil - 36
6
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120


Perfil - 37
6
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120


Perfil - 38
6
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120


Perfil - 39
6
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120


Perfil - 40
6
5
4
3
2
1
0
−1
−2
0
20
40
60
80
100
120

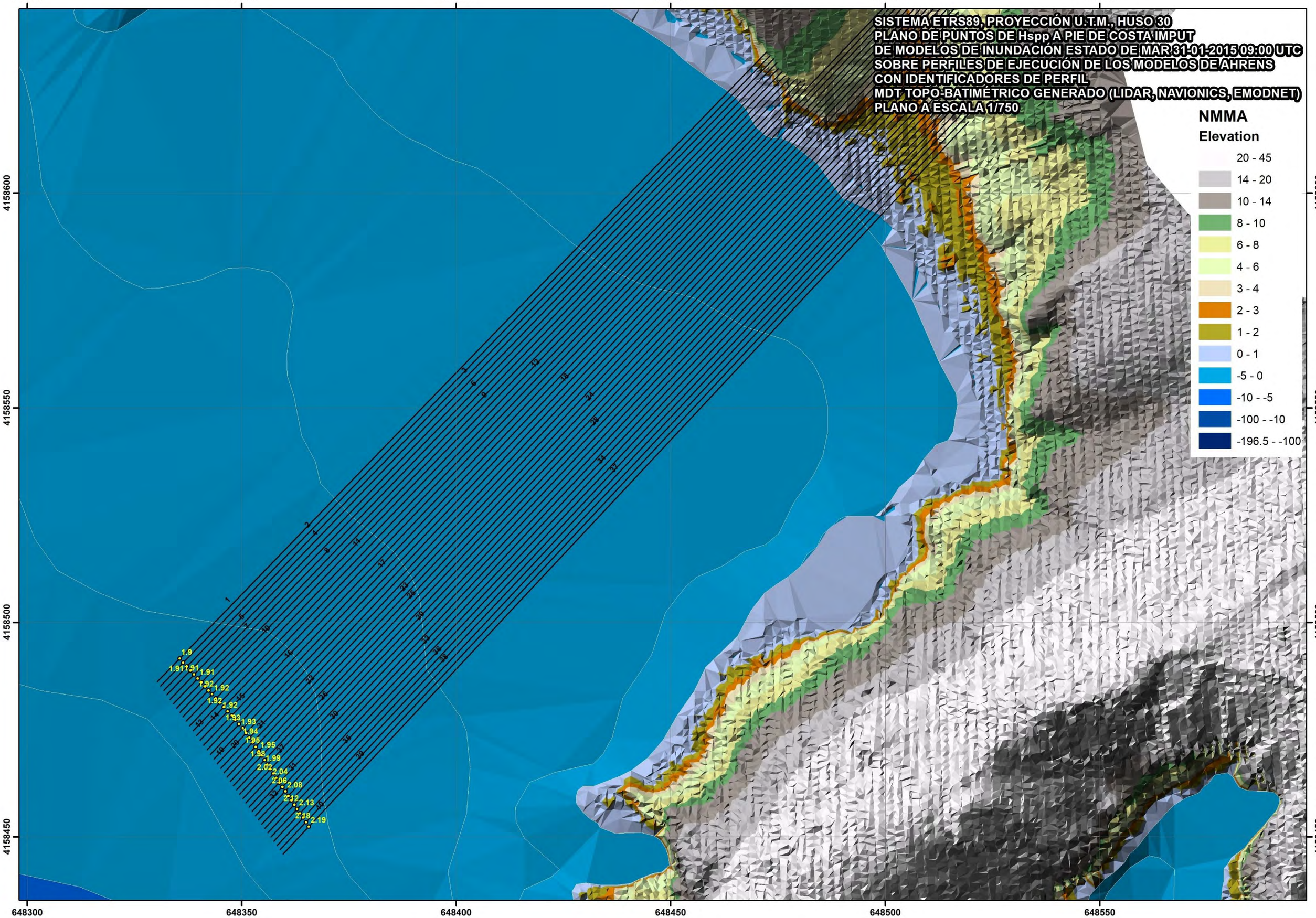
A partir de los resultados de propagación exportados en una malla de detalle de nodos extendida hasta el tramo objeto de estudio cercano a la playa de Punta Bela, término municipal de Mazarrón (en cada uno de los cuales el software Oluca-SP espectral proporcionó los valores de los parámetros del oleaje hasta la posición de cada nodo), se han seleccionado los nodos a pie de frente de costa acantilada emergida con los valores de altura de ola propagada, que serán parte de los imput necesarios en el modelo de Ahrens y Titus (1985) – Ahrens y Burke, para los 40 perfiles-transectos en cada uno de los 5 estados de mar seleccionados, todo ello mediante una aplicación informática diseñada y programada en plataforma GIS que comprende un paquete de herramientas interactivas que aplicarán dicho modelo semiempírico para el cálculo de las líneas de alcance de oleajes sobre el MDT, realizando las siguientes operaciones:

1. Cálculo de las pendientes del frente de costa acantilada emergida de incidencia del oleaje sobre el MDT topobatimétrico de cada uno de los 40 perfiles para las formulaciones de Ahrens-Titus que han sido reflejadas en el plano a escala 1/500 anterior sobre de los perfiles-transectos sobre el MDT, del talud definido por la pendiente en la zona parcial del acantilado de incidencia estimada previamente sobre cada perfil desde la cota 0, obtenida como la recta ajustada a los puntos de dicha porción parcial de la línea-transecto x-z (distancia)-z (altura obtenida de su proyección sobre el MDT) por el método de mínimos cuadrados.
2. La aplicación seleccionará los nodos más próximos de la malla de propagación de detalle sobre la franja batimétrica previa a la línea de orilla, con las mayores alturas de ola propagada a pie de costa emergida frente a cada perfil, seleccionando sus valores de Hs propagados por el Oluca-SP espectral, que serán datos imput para la ejecución de los cálculos de run-up.
3. Ejecución de los cálculos de run-up aplicando las formulaciones del modelo de Ahrens y Titus (1985)- Ahrens y Burke, a partir de los distintos datos ya obtenidos (imput) del oleaje y de la morfología de las superficies de incidencia, en cada uno de los 40 perfiles-transectos para cada uno de los 5 temporales.
4. Adición de cada uno de los niveles mareales sincronizados y de los set-up correspondientes a cada estado de mar, al resultado de run-up, obteniendo una cota de alcance de oleajes en cada uno de los 40 perfiles para cada uno de los 5 temporales.

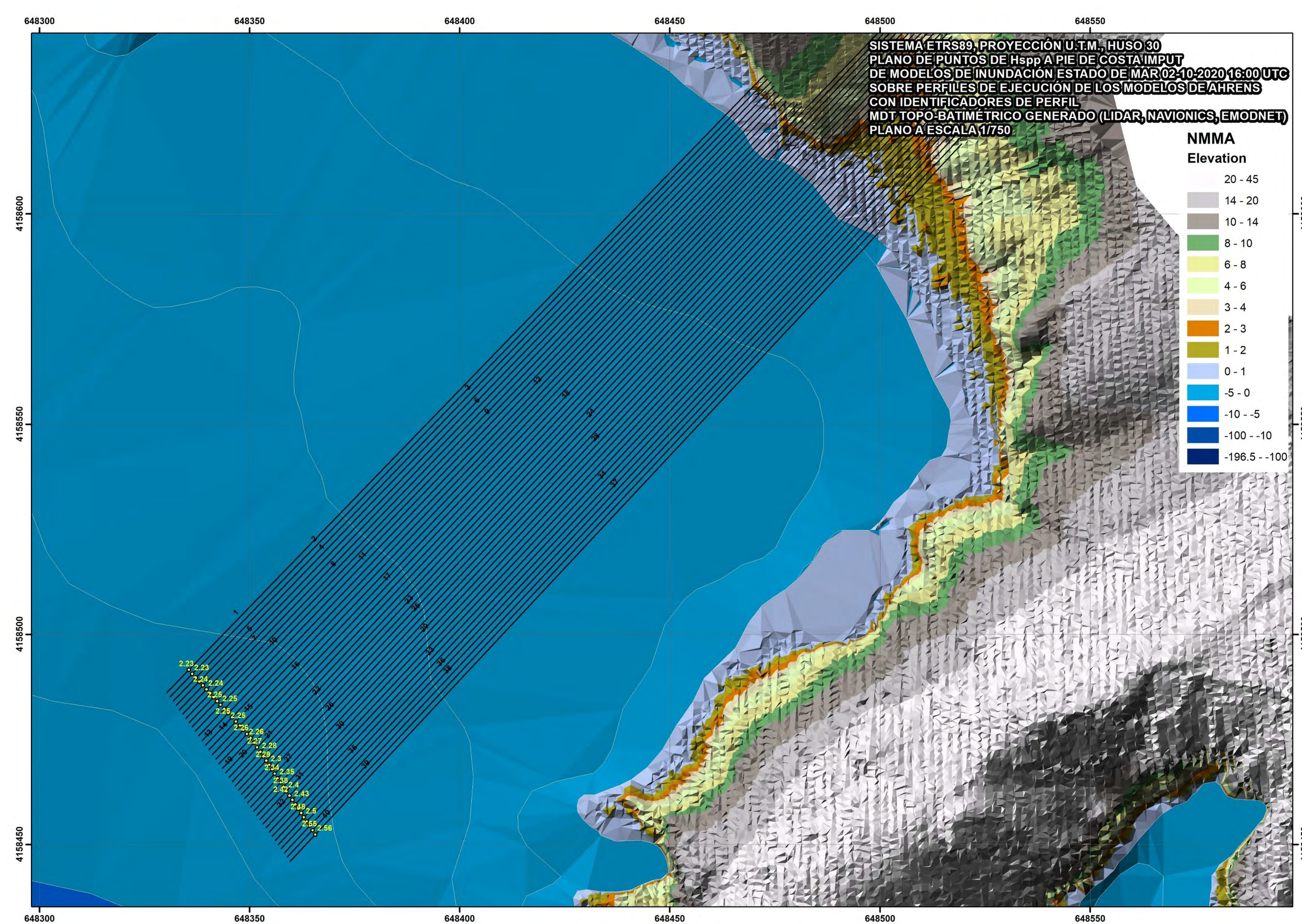
5. Cálculo de la intersección de la cota de alcance de oleaje obtenida sobre cada perfil-transecto con el MDT emergido para cada estado de mar, generando una cobertura de puntos con sus coordenadas de georreferenciación x, y, z=cota de inundación, en el sistema ETRS89, Huso 30 en cada uno de los 5 estados de mar.
6. Selección por cada perfil del estado de mar causante de la máxima cota de alcance de oleaje.
7. Generación de la poligonal solución, como la línea que intersecta los máximos valores por perfil en magnitudes de cota de alcance de oleajes.

Los siguientes planos a escala 1/750, recogen sobre el MDT los puntos de la Hs propagada a pie de morfología emergida que se tomarán para los cálculos de run-up y alcance final de oleaje para cada uno de los 40 perfiles y para cada uno de los 5 estados de mar seleccionados, obtenidos por el modelo numérico de simulación Oluca-SP espectral.

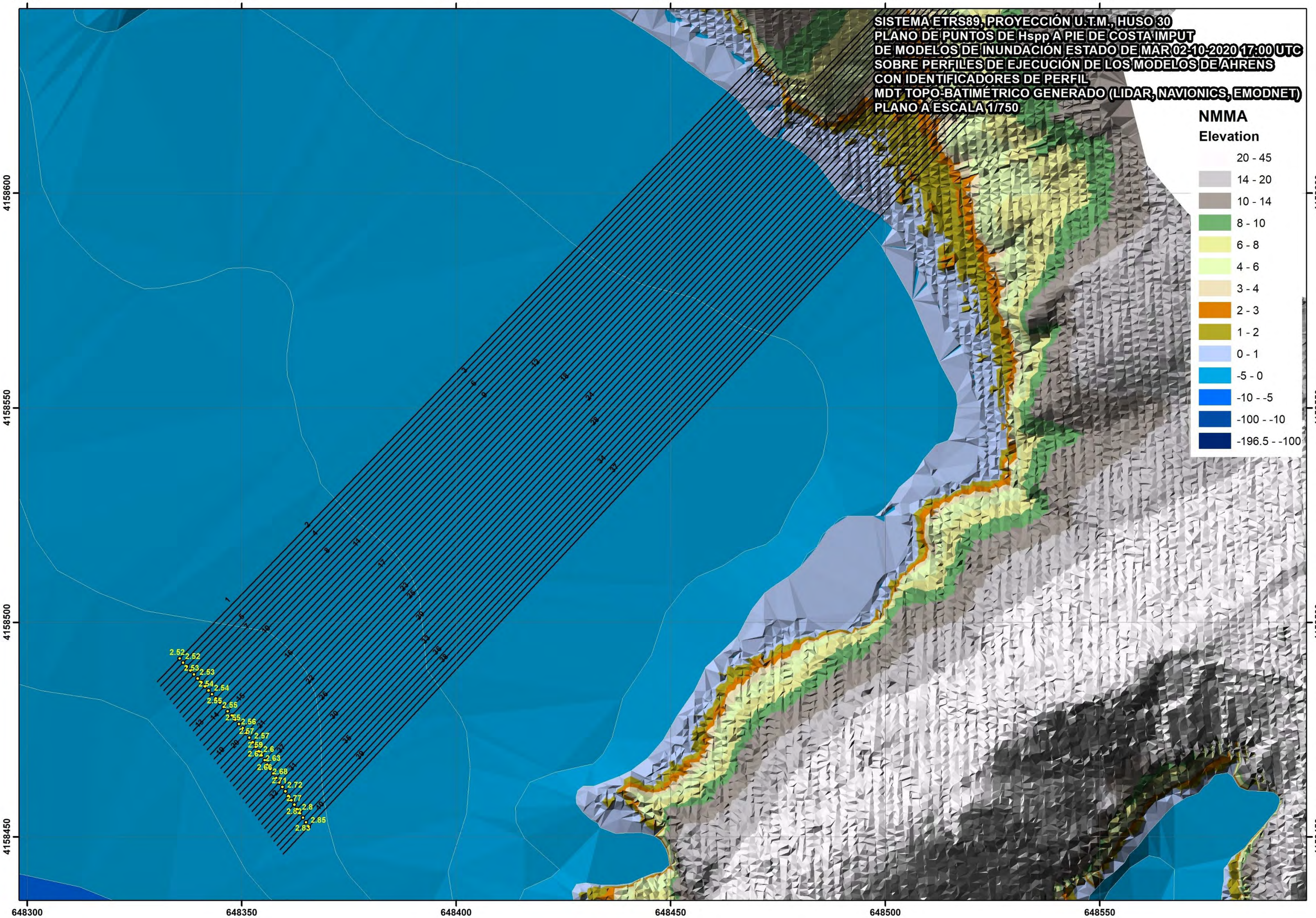
SISTEMA ETRS89, PROYECCIÓN U.T.M., HUSO 30
PLANO DE PUNTOS DE Hspp A PIE DE COSTA IMPUT
DE MODELOS DE INUNDACIÓN ESTADO DE MAR 31-01-2015 09:00 UTC
SOBRE PERFILES DE EJECUCIÓN DE LOS MODELOS DE AHRENS
CON IDENTIFICADORES DE PERFIL
MDT TOPO-BATIMÉTRICO GENERADO (LIDAR, NAVIONICS, EMODNET)
PLANO A ESCALA 1/750



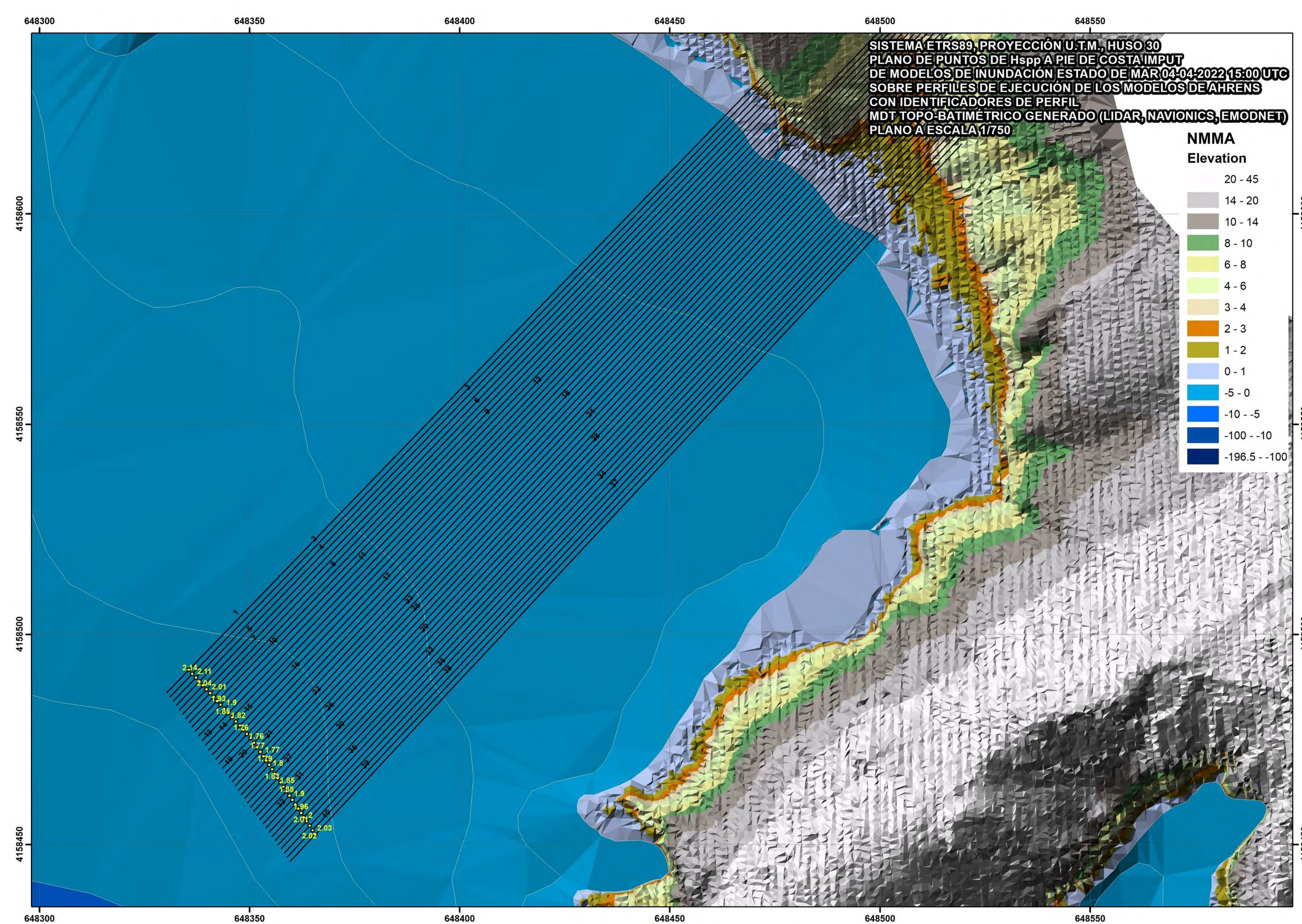
SISTEMA ETRS89, PROYECCIÓN U.T.M., HUSO 30
PLANO DE PUNTOS DE Hspp A PIE DE COSTA IMPUT
DE MODELOS DE INUNDACIÓN ESTADO DE MAR 02-10-2020 16:00 UTC
SOBRE PERFILES DE EJECUCIÓN DE LOS MODELOS DE AHRENS
CON IDENTIFICADORES DE PERFIL
MDT TOPO-BATIMÉTRICO GENERADO (LIDAR, NAVIONICS, EMODNET)
PLANO A ESCALA 1/750



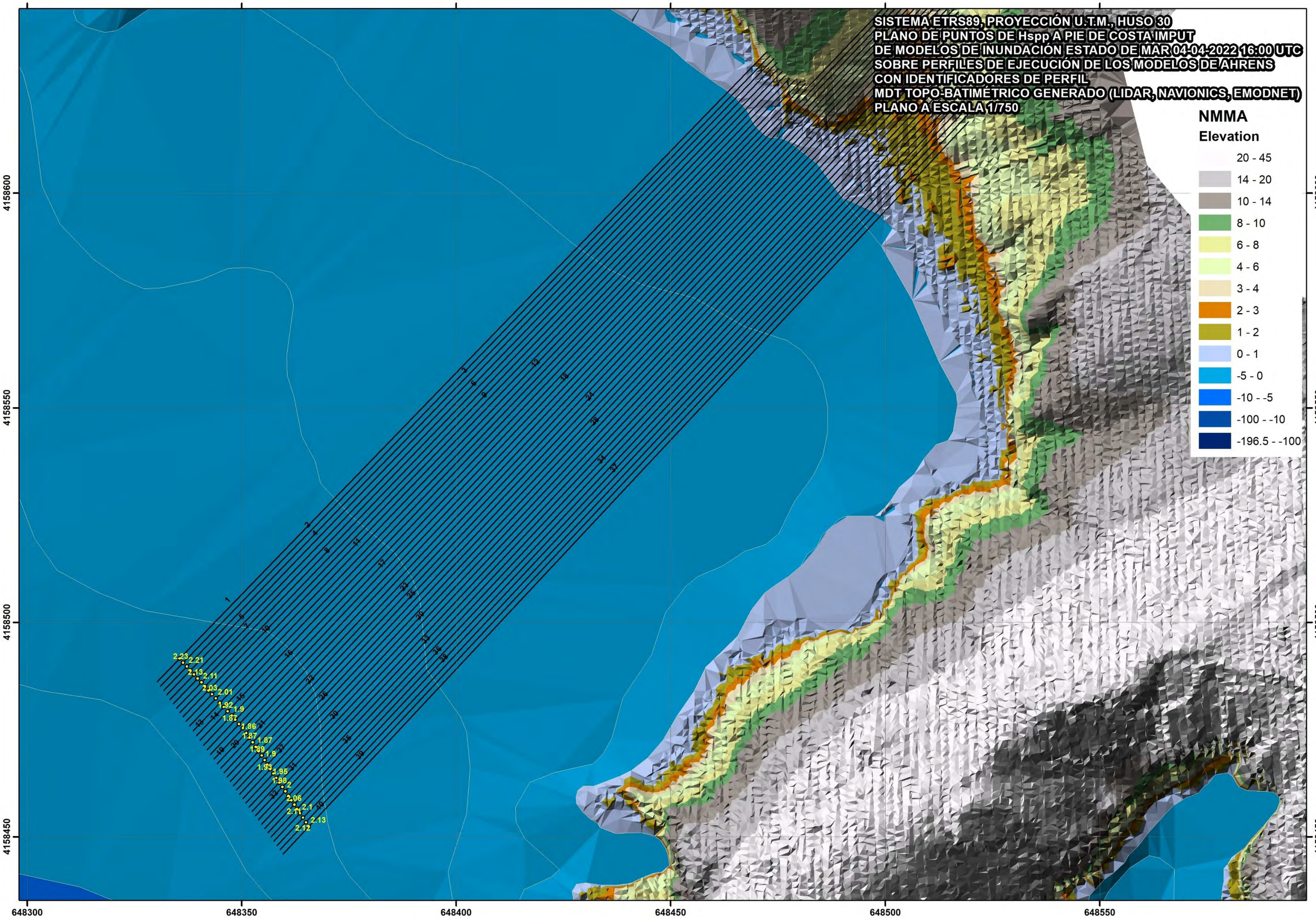
SISTEMA ETRS89, PROYECCIÓN U.T.M., HUSO 30
PLANO DE PUNTOS DE Hspp A PIE DE COSTA IMPUT
DE MODELOS DE INUNDACIÓN ESTADO DE MAR 02-10-2020 17:00 UTC
SOBRE PERFILES DE EJECUCIÓN DE LOS MODELOS DE AHRENS
CON IDENTIFICADORES DE PERFIL
MDT TOPO-BATIMÉTRICO GENERADO (LIDAR, NAVIONICS, EMODNET)
PLANO A ESCALA 1/750



SISTEMA ETRS89, PROYECCIÓN U.T.M., HUSO 30
PLANO DE PUNTOS DE Hspp A PIE DE COSTA IMPUT
DE MODELOS DE INUNDACIÓN ESTADO DE MAR 04-04-2022 15:00 UTC
SOBRE PERFILES DE EJECUCIÓN DE LOS MODELOS DE AHRENS
CON IDENTIFICADORES DE PERFIL
MDT TOPO-BATIMÉTRICO GENERADO (LIDAR, NAVIONICS, EMODNET)
PLANO A ESCALA 1/750



SISTEMA ETRS89, PROYECCIÓN U.T.M., HUSO 30
PLANO DE PUNTOS DE Hspp A PIE DE COSTA IMPUT
DE MODELOS DE INUNDACIÓN ESTADO DE MAR 04-04-2022 16:00 UTC
SOBRE PERFILES DE EJECUCIÓN DE LOS MODELOS DE AHRENS
CON IDENTIFICADORES DE PERFIL
MDT TOPO-BATIMÉTRICO GENERADO (LIDAR, NAVIONICS, EMODNET)
PLANO A ESCALA 1/750



Las siguientes tablas recogen los resultados finales de los quintos valores obtenidos de cota de alcance de oleajes en la zona de estudio sobre cada uno de los 40 perfiles, tras la ejecución de los modelos de propagación y de cálculos de set-up, run-up y cota final de inundación sobre los perfiles en los 5 temporales seleccionados en el período de estudio 2006-actualidad.

En relación a la poligonal solución, se ha tomado el criterio de unir los puntos con una continuidad altimétrica en su itinerario en el avance por la topografía del terreno, es decir, dentro de las zonas con una nube de puntos solución (nube de puntos de máxima cota altimétrica obtenida en cada uno de los perfiles), se ha delimitado la poligonal solución atendiendo al itinerario topográfico marcado por la poligonal de entrada y salida en dichas zonas, al objeto de mantener la mayor regularidad topográfica posible en la definición de la misma.

Asimismo se han aplicado coeficientes de adaptación a la morfología específica esta zona costera en la zona interna de la barranquera, para ponderar las pérdidas de carga en las cotas de alcance cuando se producen cambios de pendiente o rugosidad, de forma que el run-up final ha sido reducido respecto del máximo calculado en dichas zonas de penetración de la inundación.

En estas tablas se han consignado los datos de entrada de los parámetros de los oleajes que han producido los puntos seleccionados correspondientes a las máximas magnitudes de cota de alcance de oleaje calculadas en todos y cada uno de los perfiles tras iteracionar los 5 temporales, que han configurado la poligonal de máximo alcance de oleaje con los criterios definidos anteriormente, junto con los distintos valores de cálculo:

INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)
C/ Cañadilla 6, local 68, C. Comercial Coronado, Las Rozas de Madrid 28231, Madrid
Pza. de la Montañeta 4, entresuelo, 03001 Alicante
Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es

i

PERFIL-TRANSECTO Nº	FECHA/HORA ESTADO DE MAR	PENDIENTE SUMERGIDA	PENDIENTE EMERGIDA TALUD INCIDENCIA OLEAJE	H_0 (m.)	H_{prop} (m.) (OLUCA-SP)	T_p (seg.)	Ir (PARÁMETRO IRIBARREN)	NIVEL MAREAL (m. N.M.M.A.)	SET-UP LONGUET-H. Y STEWART 1963-1964 (m.)	RUN-UP (m.) AHRENS-TITUS, AHRENS BURKE	COTA MAX ALCANCE OLEAJES (m. NMMA)	COTA ALCANCE FINAL REDUCIDA (FACTORES, m. NMMA)
1	2020/10/02/17	0.403	0.112	3.43	2.52	10.01	3.176	0.295	0.679	7.221	8.195	8.195
2	2020/10/02/17	0.419	0.107	3.43	2.52	10.01	3.300	0.295	0.677	7.074	8.046	8.046
3	2020/10/02/17	0.385	0.102	3.43	2.53	10.01	3.029	0.295	0.675	7.272	8.242	8.831
4	2020/10/02/17	0.386	0.088	3.43	2.53	10.01	3.038	0.295	0.670	7.259	8.224	8.786
5	2020/10/02/17	0.387	0.091	3.43	2.53	10.01	3.043	0.295	0.671	7.246	8.213	8.213
6	2020/10/02/17	0.427	0.080	3.43	2.53	10.01	3.358	0.295	0.667	6.924	7.886	7.886
7	2020/10/02/17	0.452	0.056	3.43	2.53	10.01	3.552	0.295	0.655	6.602	7.552	7.552
8	2020/10/02/17	0.462	0.041	3.43	2.54	10.01	3.629	0.295	0.644	6.554	7.493	7.493
9	2020/10/02/17	0.443	0.039	3.43	2.54	10.01	3.475	0.295	0.642	6.708	7.645	7.645
10	2020/10/02/17	0.436	0.026	3.43	2.54	10.01	3.417	0.295	0.629	6.830	7.754	7.754
11	2020/10/02/17	0.357	0.019	3.43	2.54	10.01	2.797	0.295	0.618	7.206	8.119	7.307
12	2020/10/02/17	0.403	0.014	3.43	2.54	10.01	3.161	0.295	0.608	7.194	8.098	3.846
13	2020/10/02/17	0.414	0.019	3.43	2.55	10.01	3.240	0.295	0.618	7.120	8.033	3.728

INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)
C/ Cañadilla 6, local 68, C. Comercial Coronado, Las Rozas de Madrid 28231, Madrid
Pza. de la Montañeta 4, entresuelo, 03001 Alicante
Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es

PERFIL-TRANSECTO Nº	FECHA/HORA ESTADO DE MAR	PENDIENTE SUMERGIDA	PENDIENTE EMERGIDA TALUD INCIDENCIA OLEAJE	H_0 (m.)	H_{prop} (m.) (OLUCA-SP)	T_p (seg.)	Ir (PARÁMETRO IRIBARREN)	NIVEL MAREAL (m. N.M.M.A.)	SET-UP LONGUET-H. Y STEWART 1963-1964 (m.)	RUN-UP (m.) AHRENS-TITUS, AHRENS BURKE	COTA MAX ALCANCE OLEAJES (m. NMMA)	COTA ALCANCE FINAL REDUCIDA (FACTORES, m. NMMA)
14	2020/10/02/17	0.438	0.029	3.43	2.55	10.01	3.429	0.295	0.633	6.826	7.754	3.597
15	2020/10/02/17	0.291	0.032	3.43	2.55	10.01	2.275	0.295	0.636	6.201	7.133	3.843
16	2015/01/31/09	0.184	0.040	2.51	1.93	13.09	2.162	0.238	0.533	4.538	5.309	4.698
17	2015/01/31/09	0.188	0.049	2.51	1.93	13.09	2.212	0.238	0.539	4.723	5.500	4.822
18	2015/01/31/09	0.182	0.052	2.51	1.93	13.09	2.145	0.238	0.541	4.474	5.253	4.833
19	2015/01/31/09	0.190	0.061	2.51	1.93	13.09	2.241	0.238	0.545	4.840	5.624	4.048
20	2015/01/31/09	0.210	0.073	2.51	1.94	13.09	2.466	0.238	0.551	5.543	6.332	4.596
21	2015/01/31/09	0.276	0.075	2.51	1.94	13.09	3.235	0.238	0.551	6.492	7.282	4.649
22	2015/01/31/09	0.286	0.081	2.51	1.95	13.09	3.355	0.238	0.554	6.486	7.278	4.771
23	2020/10/02/17	0.299	0.079	3.43	2.59	10.01	2.323	0.295	0.667	6.464	7.426	4.583
24	2015/01/31/09	0.204	0.087	2.51	1.96	13.09	2.380	0.238	0.556	5.400	6.194	4.967
25	2015/01/31/09	0.127	0.093	2.51	1.98	13.09	1.471	0.238	0.558	2.917	3.712	3.712
26	2015/01/31/09	0.124	0.096	2.51	1.99	13.09	1.439	0.238	0.559	2.873	3.670	3.670
27	2015/01/31/09	0.118	0.099	2.51	2.01	13.09	1.363	0.238	0.560	2.742	3.540	3.540

INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)
C/ Cañadilla 6, local 68, C. Comercial Coronado, Las Rozas de Madrid 28231, Madrid
Pza. de la Montañeta 4, entresuelo, 03001 Alicante
Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es

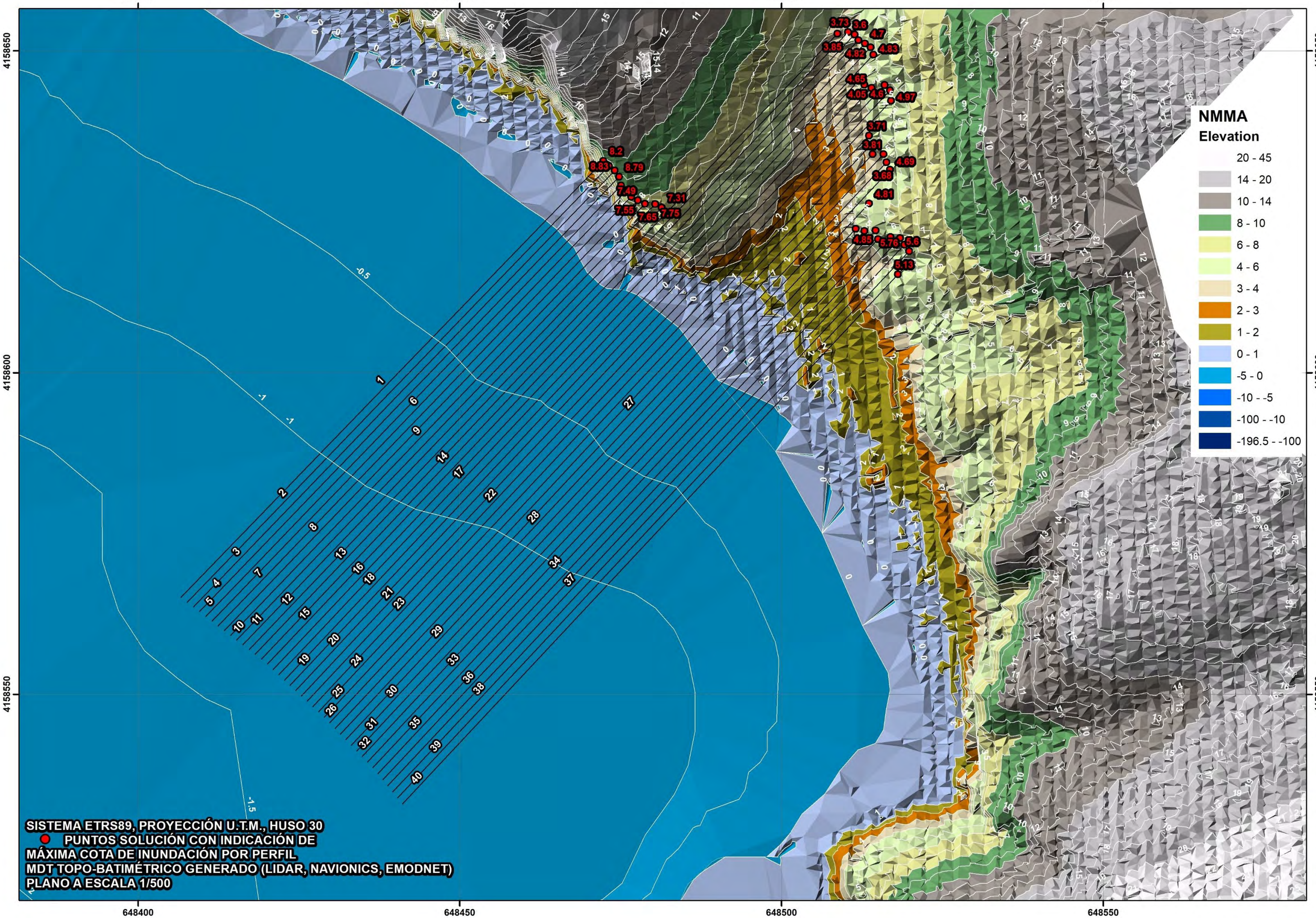
PERFIL-TRANSECTO Nº	FECHA/HORA ESTADO DE MAR	PENDIENTE SUMERGIDA	PENDIENTE EMERGIDA TALUD INCIDENCIA OLEAJE	H_0 (m.)	H_{prop} (m.) (OLUCA-SP)	T_p (seg.)	Ir (PARÁMETRO IRIBARREN)	NIVEL MAREAL (m. N.M.M.A.)	SET-UP LONGUET-H. Y STEWART 1963-1964 (m.)	RUN-UP (m.) AHRENS-TITUS, AHRENS BURKE	COTA MAX ALCANCE OLEAJES (m. NMMA)	COTA ALCANCE FINAL REDUCIDA (FACTORES, m. NMMA)
28	2015/01/31/09	0.129	0.106	2.51	2.02	13.09	1.486	0.238	0.562	3.010	3.809	3.809
29	2015/01/31/09	0.123	0.110	2.51	2.04	13.09	1.410	0.238	0.563	2.875	3.676	3.676
30	2015/01/31/09	0.166	0.115	2.51	2.05	13.09	1.895	0.238	0.564	3.892	4.694	4.694
31	2015/01/31/09	0.170	0.121	2.51	2.06	13.09	1.935	0.238	0.566	4.002	4.806	4.806
32	2015/01/31/09	0.123	0.127	2.51	2.08	13.09	1.397	0.238	0.567	2.909	3.714	3.714
33	2015/01/31/09	0.161	0.134	2.51	2.09	13.09	1.817	0.238	0.569	3.809	4.616	4.616
34	2015/01/31/09	0.182	0.137	2.51	2.11	13.09	2.055	0.238	0.569	4.498	5.305	5.305
35	2015/01/31/09	0.169	0.141	2.51	2.12	13.09	1.902	0.238	0.570	4.042	4.850	4.850
36	2015/01/31/09	0.186	0.135	2.51	2.13	13.09	2.080	0.238	0.569	4.679	5.486	5.486
37	2015/01/31/09	0.188	0.139	2.51	2.15	13.09	2.100	0.238	0.570	4.804	5.612	5.612
38	2015/01/31/09	0.191	0.138	2.51	2.16	13.09	2.124	0.238	0.569	4.955	5.763	5.763
39	2015/01/31/09	0.188	0.140	2.51	2.18	13.09	2.084	0.238	0.570	4.794	5.602	5.602
40	2015/01/31/09	0.178	0.140	2.51	2.19	13.09	1.969	0.238	0.570	4.322	5.130	5.130

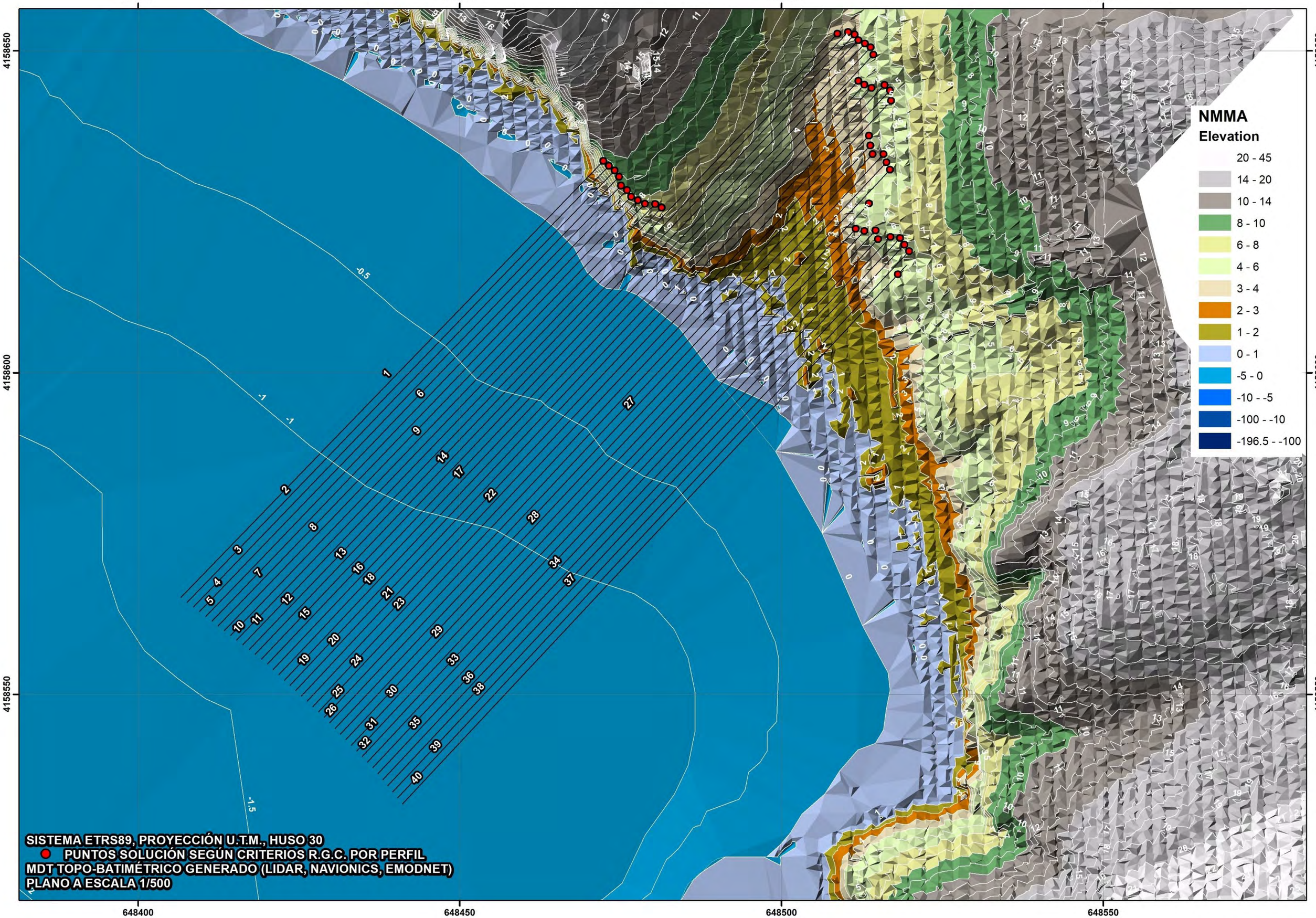
En consecuencia, el resultado final de la línea de máximo alcance de oleajes en el tramo de costa de unos 40 metros situado en el extremo oeste de la Playa de Punta Bela, término municipal de Mazarrón (Murcia), ha sido obtenido en cumplimiento de lo establecido en la Ley 2/2013, de 29 de mayo, de Protección y Uso Sostenible del Litoral y de Modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas y con el artículo 4 a del Reglamento General de Costas (Real Decreto 876/2014) modificado por el Real Decreto 668/2022, de 1 de agosto, de Costas y con el artículo 4 a del Reglamento General de Costas (Real Decreto 876/2014), con la base metodológica y teórica desarrollada anteriormente, con las formulaciones descritas, así como con los paquetes y herramientas informáticas de SMC versión 2.5 desarrolladas por el GIOC de la Universidad de Cantabria y el anterior Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente para la simulación de la propagación del oleaje mediante modelos numéricos computacionales (MOPLA, Oluca-SP espectral), en combinación con una aplicación informática que opera en plataforma GIS sobre el MDT topobatimétrico, aplicando los modelos descritos (run-up + set-up +incremento mareal) y proporcionando la línea de alcance de oleajes solución, como la que une la máxima cota de alcance de oleaje obtenida en cada uno de los 40 perfiles-transectos (en su caso reducida con factores morfológicos de pendiente3 y rugosidad) según los cálculos ejecutados sobre los 5 estados de mar seleccionados.

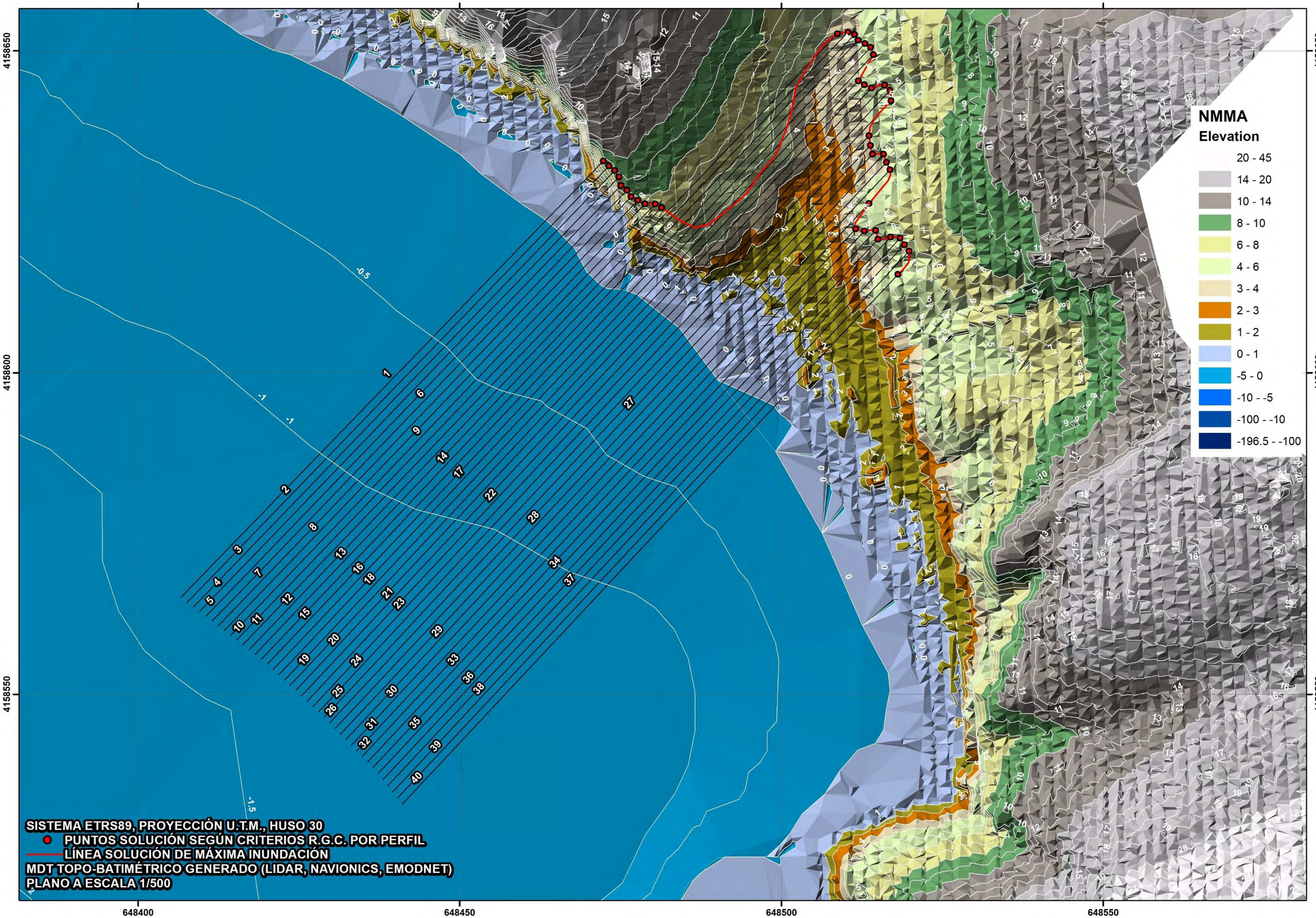
5. PLANOS DE LOS RESULTADOS

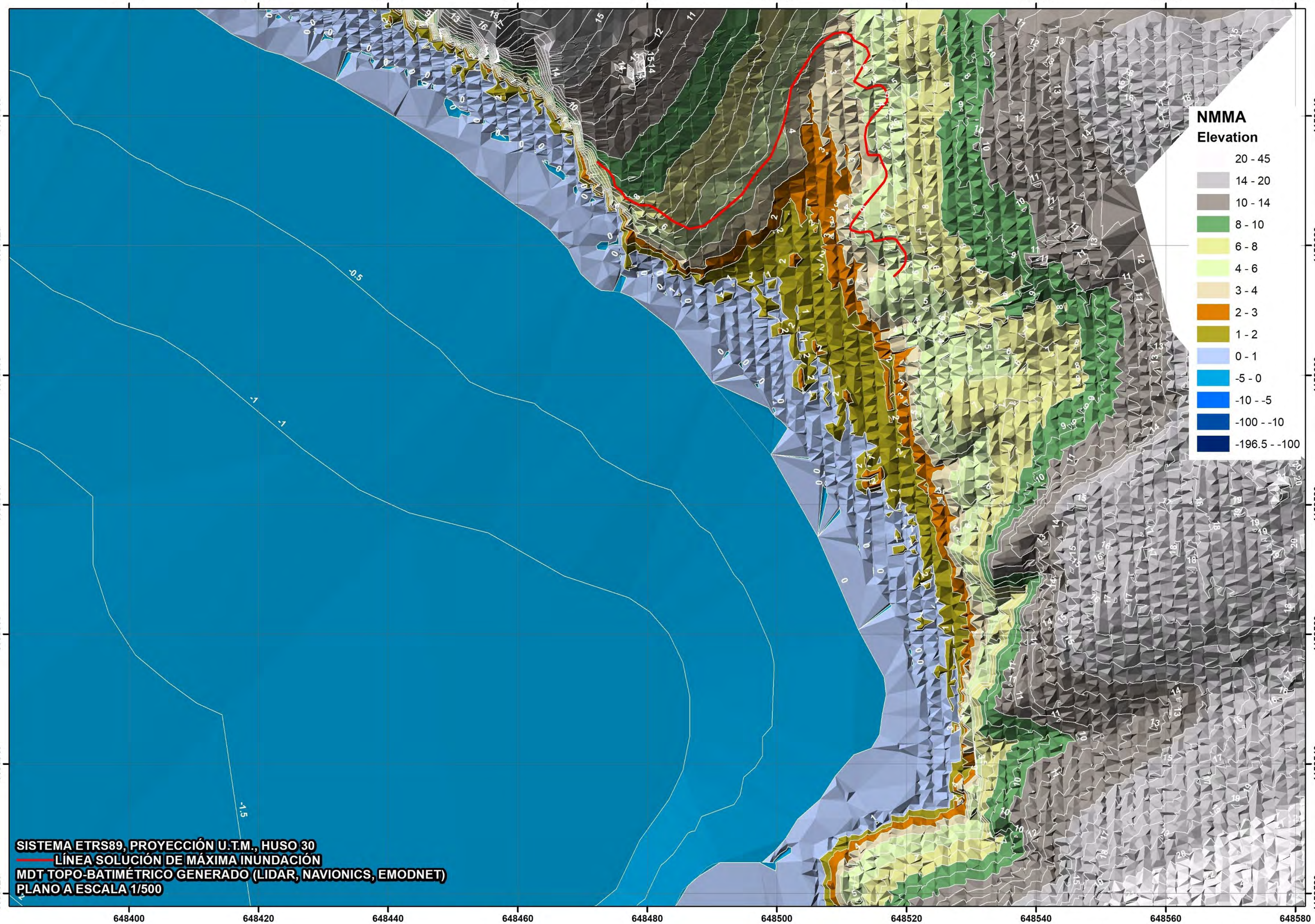
En los siguientes planos a escala 1/500, en coordenadas del sistema ETRS89, elipsoide GRS80, Proyección U.T.M., Huso 30, referencia altimétrica al N.M.M.A., se reflejan los puntos solución seleccionados sobre los perfiles-transectos de incidencia prolongados sobre el MDT emergido con su cota de alcance de oleaje asociada, intersección del máximo valor ejecutado por el modelo seleccionados sobre los perfiles transectos seleccionados con el MDT (máximo alcance sobre cada perfil seleccionado de entre los 5 obtenidos para cada perfil), así como sobre planos homólogos sobre ortofoto.

Asimismo en los siguientes planos a escala 1/500, en coordenadas del sistema ETRS89, elipsoide GRS80, Proyección U.T.M., Huso 30, referencia altimétrica al N.M.M.A., se representa la línea de alcance de oleajes solución que cumple con los preceptos reglamentarios, resultante de unir los puntos de máxima cota de alcance de oleaje sobre los 5 estados de mar en cada uno de los 40 perfiles (punto de intersección del perfil y MDT en el máximo valor de inundación obtenido de entre los 5 calculados sobre cada perfil), sobre el MDT y sobre ortofoto.

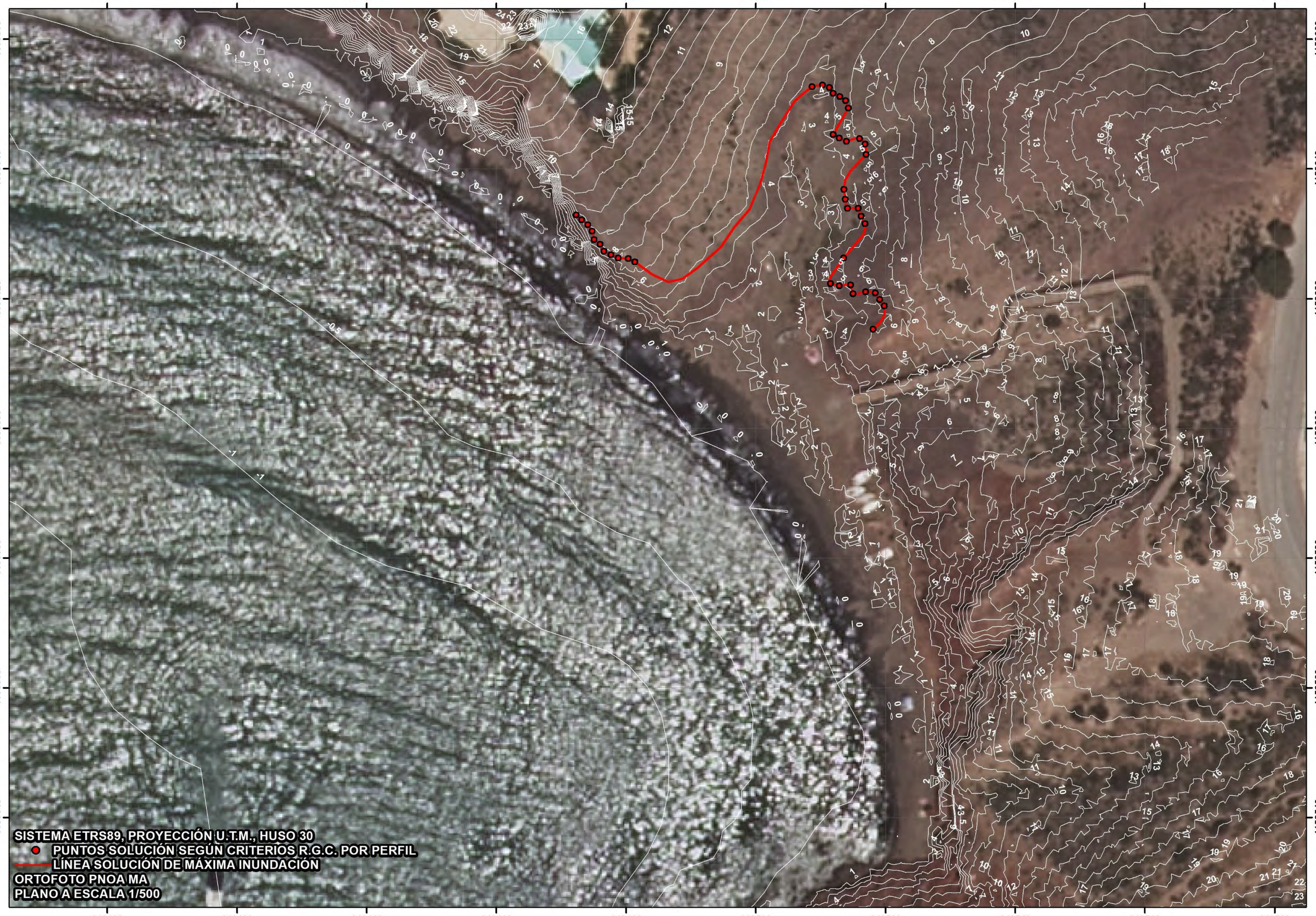

648400
648450
648500
648550
4158650
4158600
4158550
NMMA
Elevation
20 - 45
14 - 20
10 - 14
8 - 10
6 - 8
4 - 6
3 - 4
2 - 3
1 - 2
0 - 1
-5 - 0
-10 - -5
-100 - -10
-196.5 - -100
3.73
3.6
4.7
3.85
4.82
4.83
4.65
4.05
4.6
4.97
3.71
3.81
4.69
3.68
4.81
4.85
5.76
5.6
5.13
8.2
8.83
8.79
7.49
7.31
7.55
7.65
7.75
SISTEMA ETRS89, PROYECCIÓN U.T.M., HUSO 30
PUNTOS SOLUCIÓN CON INDICACIÓN DE
MÁXIMA COTA DE INUNDACIÓN POR PERFIL
MDT TOPO-BATIMÉTRICO GENERADO (LIDAR, NAVIONICS, EMODNET)
PLANO A ESCALA 1/500


648400
648450
648500
648550
4158650
4158600
4158550
NMMA
Elevation
20 - 45
14 - 20
10 - 14
8 - 10
6 - 8
4 - 6
3 - 4
2 - 3
1 - 2
0 - 1
-5 - 0
-10 - -5
-100 - -10
-196.5 - -100
SISTEMA ETRS89, PROYECCIÓN U.T.M., HUSO 30
PUNTOS SOLUCIÓN SEGÚN CRITERIOS R.G.C. POR PERFIL
MDT TOPO-BATIMÉTRICO GENERADO (LIDAR, NAVIONICS, EMODNET)
PLANO A ESCALA 1/500


648400
648450
648500
648550
4158650
4158600
4158550
NMMA
Elevation
20 - 45
14 - 20
10 - 14
8 - 10
6 - 8
4 - 6
3 - 4
2 - 3
1 - 2
0 - 1
-5 - 0
-10 - -5
-100 - -10
-196.5 - -100
SISTEMA ETRS89, PROYECCIÓN U.T.M., HUSO 30
PUNTOS SOLUCIÓN SEGÚN CRITERIOS R.G.C. POR PERFIL
LÍNEA SOLUCIÓN DE MÁXIMA INUNDACIÓN
MDT TOPO-BATIMÉTRICO GENERADO (LIDAR, NAVIONICS, EMODNET)
PLANO A ESCALA 1/500


NMMA
Elevation
20 - 45
14 - 20
10 - 14
8 - 10
6 - 8
4 - 6
3 - 4
2 - 3
1 - 2
0 - 1
-5 - 0
-10 - -5
-100 - -10
-196.5 - -100
SISTEMA ETRS89, PROYECCIÓN U.T.M., HUSO 30
LÍNEA SOLUCIÓN DE MÁXIMA INUNDACIÓN
MDT TOPO-BATIMÉTRICO GENERADO (LIDAR, NAVIONICS, EMODNET)
PLANO A ESCALA 1/500
648400
648420
648440
648460
648480
648500
648520
648540
648560
648580
4158640
4158620
4158600
4158580
4158560
4158540
4158520


648400
648420
648440
648460
648480
648500
648520
648540
648560
648580
4158660
4158640
4158620
4158600
4158580
4158560
4158540
SISTEMA ETRS89, PROYECCIÓN U.T.M., HUSO 30
PUNTOS SOLUCIÓN SEGÚN CRITERIOS R.G.C. POR PERFIL
ORTOFOTO PNOA MA
PLANO A ESCALA 1/500


648400
648420
648440
648460
648480
648500
648520
648540
648560
648580
4158660
4158640
4158620
4158600
4158580
4158560
4158540
SISTEMA ETRS89, PROYECCIÓN U.T.M., HUSO 30
PUNTOS SOLUCIÓN SEGÚN CRITERIOS R.G.C. POR PERFIL
LÍNEA SOLUCIÓN DE MÁXIMA INUNDACIÓN
ORTOFOTO PNOA MA
PLANO A ESCALA 1/500


648400
648420
648440
648460
648480
648500
648520
648540
648560
648580
4158640
4158620
4158600
4158580
4158560
4158540
4158520
SISTEMA ETRS89, PROYECCIÓN U.T.M., HUSO 30
LÍNEA SOLUCIÓN DE MÁXIMA INUNDACIÓN
ORTOFOTO PNOA MA
PLANO A ESCALA 1/500

MADRID, MAYO DE 2023, LA EMPRESA CONSULTORA



INGENIERÍA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)

ANEJO Nº 6.2.ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO

Estudio sedimentológico y de evolución de la línea de costa entre los vértices DP-688 A DP-689, del deslinde aprobado por O.M. DE 30 de mayo de 2005. PLAYA DEL RINCÓN. TÉRMINO MUNICIPAL DE MAZARRÓN (MURCIA).

I-21/109-3



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 3
2. ANTECEDENTES 3
3. OBJETIVOS 3
4. TRABAJOS REALIZADOS 4
4.1. ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA 4
4.2 ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO 5
4.2.1 Calicatas 5
4.2.2 Análisis granulométrico 6
4.2.3 Contenido en carbonatos 6
4.2.4 Estudio microscópico 6
5. RESUMEN Y CONCLUSIONES 7
6. ANEXOS 8

1. INTRODUCCIÓN

A principios del mes de octubre de 2021 TRAGSATEC solicita los servicios de AG SOIL, SL para la realización, entre otros, de un estudio sedimentológico en la Playa del Rincón (Mazarrón, Murcia).

Se trata de un tramo de línea de costa entre los vértices DP-688 A DP-689, del deslinde aprobado por O.M. DE 30 de mayo de 2005. PLAYA DEL RINCÓN. TÉRMINO MUNICIPAL DE MAZARRÓN (MURCIA). Se pretende conocer sus características geológicas, geomorfológicas y sedimentarias como criterio para poder delimitar el Dominio Público Marítimo Terrestre (DPMT) según lo dispuesto por la Ley de Costas 22/1988, su modificación en la Ley 2/2013 de 29 de mayo y el Reglamento General de Costas según RD 876/2014.

2. ANTECEDENTES

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), a través de la Dirección General de Costas y la Demarcación de Costas de Murcia (DGC), es el encargado del deslinde del DMPT en aquellos tramos de costa donde no existe o está incompleto según la Ley de Costas. Los trabajos aquí presentados forman parte de la encomienda que dicho ministerio ha encargado a TRAGSATEC:

"RESUMEN ESTUDIOS JUSTIFICATIVOS NECESARIOS PARA LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS DE ASISTENCIA TÉCNICA A LA DEMARCACIÓN DE COSTAS EN MURCIA PARA EL APOYO EN LA EJECUCIÓN DE TRABAJOS PARA LA GESTIÓN DE LOS TRÁMITES DEL DESLINDE DEL DPMT EN LOS TRAMOS DE LA COSTA DE LA REGIÓN DE MURCIA. EXPTE 30-1495"

El tramo aquí estudiado se sitúa al oeste del núcleo urbano de Bolnuevo (T.M. Mazarrón), al norte de la Punta Cueva de Lobos. Es un tramo en el que tanto el DPTM como el de servidumbre pública se encuentra en tramitación según la vigente Ley de Costas.

3. OBJETIVOS

El presente informe se redacta como apoyo complementario a la decisión de la DGC de Murcia para el deslinde del DPMT en la zona de estudio de la Playa del Rincón según las indicaciones de la Ley de Costas.

Para ello se realizarán las siguientes actividades:

1. Estudio fotogeológico para constatar la evolución temporal de la línea de costa.

2. Realización de dos calicatas en las ubicaciones seleccionadas por la DGC de Murcia, con levantamiento de los perfiles, toma de muestras y estudio sedimentológico.

4. TRABAJOS REALIZADOS

4.1. ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA

Se ha realizado una comparativa del trazado de la línea de costa a lo largo del tiempo. Para ello se han utilizado las siguientes ortoimágenes disponibles en la web del Instituto Cartográfico Nacional. Los mapas, incluidos en el apartado de anexos, han sido:

- Mapa de línea de costa en 2019, a partir de la imagen del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA).
- Mapa de línea de costa en 2011, a partir de la imagen PNOA.
- Mapa de línea de costa de 2002, desde vuelo fotogramétrico de ámbito nacional realizado por encargo del Instituto Geográfico Nacional, en vuelo de 1998 a 2003, y con fotogramas en color a escala aproximada 1:40.000.
- Mapa de línea de costa de 1997 a partir vuelo fotogramétrico Olistat BN 1:40.000 de 1997-98 para el registro oleícola.
- Mapa de línea de costa de 1989/1990 del vuelo de la Dirección General de Costas.
- Mapa de línea de costa en 1981 del vuelo CARM BN a escala 1:18000.
- Mapa de línea de costa en 1977 del vuelo Interministerial (IRYDA) BN a escala 1:18000.
- Mapa de línea de costa de 1956 a partir de las fotos del vuelo americano a escala 1:33000.

Los cambios en la morfología y dinámica costera han sido analizados mediante la comparación de las citadas fotografías aéreas y con la aplicación del software DASD (Digital Shoreline Analysis System) desarrollado para el programa ArcGis por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, https://www.usgs.gov/centers/whcmsc/science/digital-shoreline-analysis-system-dsas?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects)

Esta aplicación proporciona las tasas de erosión o acreción costera a partir de la posición de las líneas de costa de diversos años, con respecto a una línea base, en una serie de transectos de análisis. En este caso se han empleado las ortofotos ya comentadas correspondientes a los años 1956, 1977, 1981, 1990, 1997, 2002, 2012 y 2019 y se ha considerado la línea de costa de 2019 desplazada 150 m mar adentro como principal la línea base (véase figura en apartado Anexos). Se han analizado 12 transectos perpendiculares a la línea de costa separados cada 10 m.

En el tramo de costa analizado se aprecia una línea con una configuración curva en la pequeña cala, que ha sufrido modificaciones de poca entidad a lo largo de los años. Los cambios no son significativos y las máximas diferencias tienen que ver más con la resolución de las imágenes o con la fecha de su toma (antes o después de tormenta).

En el mapa de análisis de evolución de línea de costa se muestra la envolvente del cambio de costa (SCE Shoreline Change Envelope) que refleja la distancia entre la línea de costa más lejana a la más cercana a la línea base en cada transecto. Por tanto, aquellos representados en color rojo mostrarían las zonas de menos cambio en los últimos 65 años y las de color azul lo contrario.

También se muestra el histograma del movimiento neto de la línea de costa (NSM Net Shoreline Movement) que representa la distancia total entre las líneas de costa más antigua y la más moderna. Claramente se aprecia para cada transecto donde ha habido acreción (valores positivos) y donde erosión (valores negativos).

De manera general, desde 1956 ha habido un componente erosivo en el tramo de playa analizado.

4.2 ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO

4.2.1 Calicatas

Para la realización del estudio sedimentológico se realizaron dos catas manuales de ENTRE 0,40 Y 0,50 m de profundidad en puntos marcados por personal técnico de Tragsatec según indicaciones de la DGC Murcia.

CATA	X_UTM_ERST89	Y_UTM_ERST89	COTA (msnm)
C-1	648502,639	4158618,954	3,507
C-2	648507,945	4158642,984	1,474

En cada calicata se levantó el perfil excavado y se tomó una muestra representativa.

El perfil litológico descubierto en cada calicata viene recogido en la correspondiente sección estratigráfica que se incluye en el capítulo de anejos.

Los materiales descubiertos fueron:

Calicata C-1

- En todo el espesor de terreno atravesado, hasta los 0,50 m de profundidad, se reconocieron unas arenas finas con algo de grava y restos de posidonias.

Calicata C-2

- Un tramo superior de restos de posidonias de 0,30 m.
- A partir de esa cota, se reconocieron unas arenas finas con algo de grava y restos de posidonias, hasta los 0,50 m de profundidad.

No se detectó la presencia de agua freática en ninguna de las calicatas.

Sobre las muestras obtenidas se realizaron ensayos de laboratorio, en concreto, se realizó un análisis granulométrico por tamizado, la determinación de contenido en carbonatos de las muestras y la inspección de la muestra mediante lupa binocular.

4.2.2 Análisis granulométrico

Se llevó a cabo el análisis granulométrico por tamizado de las muestras, con la finalidad de determinar los distintos porcentajes de gravas (>2 mm), arenas (<2 mm >0,08 mm) y finos (<0,08 mm, arcillas y limos) que componen el suelo objeto de estudio. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

CATA	COTA (m)	GRAVAS (%)	ARENAS (%)	Finos (%)
C-1	0,25-0,50	23	75	2
C-2	0,30-0,50	8	90	2

4.2.3 Contenido en carbonatos

Se determinó el contenido en carbonatos de las muestras por el método del calcímetro de Bernard, obteniéndose los siguientes valores:

CATA	COTA (m)	CARBONATOS (%)
C-1	0,25-0,50	17,5
C-2	0,30-0,50	14,1

4.2.4 Estudio microscópico

De los análisis granulométricos se reservaron las fracciones de grava y arena, para su estudio, a simple vista las gravas y mediante lupa binocular las arenas. Se determinó su mineralogía, morfoscopía y contenido en fauna y flora. Se procedió a la realización de fotografías representativas de ambas fracciones.

Calicata C-1. Muestra 0,25-0,50 m

GRAVAS: Bolas y restos de posidonias. Cantos de esquistos, carbonatos, cuarzo y rocas ígneas, subredondeados a subangulosos, sin brillo. Se observa algún resto antrópico (fragmentos de plástico y metal).

ARENAS: Cuarzos esféricos angulosos a subangulosos y subredondeados. Granates y fragmentos discoidales de esquistos. Filamentos de posidonia y clastos calcáreos esféricos bien redondeados y pulidos. Algún fragmento de conchas de moluscos marinos.

Calicata C-2. Muestra 0,30-0,50 m

GRAVAS: Bolas y restos de posidonias. Cantos de esquistos, carbonatos, cuarzo y rocas ígneas, subredondeados a subangulosos, sin brillo. Se observa algún resto antrópico (fragmentos de plástico y metal, sedal).

ARENAS: Cuarzos esféricos angulosos a subangulosos y subredondeados. Granates y fragmentos discoidales de esquistos. Filamentos de posidonia y clastos calcáreos esféricos bien redondeados y pulidos. Algún fragmento de conchas de moluscos marinos.

Las dos muestras analizadas son de carácter claramente granular, con tan sólo un 2 % de finos en ambos casos. El contenido en gravas está comprendido entre el 8 y el 23%,

sin duda debido a la proximidad del cauce de la cañada que desagua en esta zona, lo que genera la asimetría a gruesos de la curva granulométrica. No obstante, con un mínimo del 75% de arena, predominantemente fina, con un muy elevado contenido en cuarzo, se puede concluir que se trata claramente de sedimentos de origen costero, de facies de playa.

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En el presente documento se ha procedido al análisis de la evolución de la línea de costa entre los vértices DP-688 a DP-689 en la Playa del Rincón (Mazarrón, Murcia) y se ha realizado un análisis granulométrico de sedimentos tomados de dos calicatas.

En las calicatas efectuadas se han detectado limos atribuibles a sedimentos costeros atribuibles a facies de playa. El límite del DPMT podrá trazarse, siguiendo criterios geomorfológicos fácilmente distinguibles (cambio de pendiente, vegetación y presencia o no de ribazón) a poca distancia del actual límite propuesto e incluyendo las calicatas dentro del dominio marino.

Es el mismo criterio mostrado en el informe revisado donde se indica que para el trazado del DPMT hay que detectar donde la dinámica del mar deja de tener influencia.

Además, se ha realizado un estudio comparativo de la dinámica costera y evolución de la línea de costa a partir de 8 ortoimágenes, desde 1956 hasta 2019. En él se constata que la poca evolución en su perfil, con una leve erosión generalizada. La dinámica costera en esta zona no ha sido alterada significativamente en los últimos decenios.

Murcia, 29 de noviembre de 2021

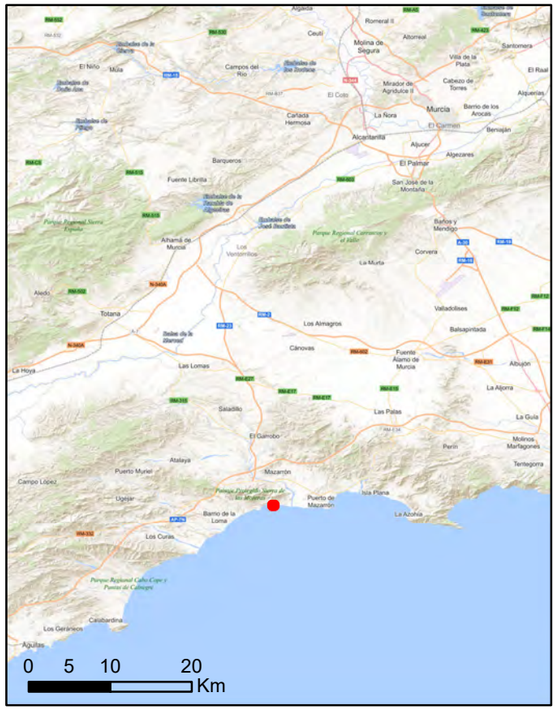
Antonio Alcántara Peyres Geólogo col. 7527	Andrés Mira Carrión Dr. Geólogo col. 3420

6. ANEXOS

- PLANO DE LÍNEA DE COSTA EN 2019
- PLANO DE LÍNEA DE COSTA EN 2011
- PLANO DE LÍNEA DE COSTA EN 2002
- PLANO DE LÍNEA DE COSTA EN 1997
- PLANO DE LÍNEA DE COSTA EN 1990
- PLANO DE LÍNEA DE COSTA EN 1981
- PLANO DE LÍNEA DE COSTA EN 1977
- PLANO DE LÍNEA DE COSTA EN 1956
- PLANO COMPARATIVO DE EVOLUCIÓN DE LÍNEA DE COSTA
- PLANO ANÁLISIS EVOLUCIÓN DE LÍNEA DE COSTA
- PLANO DE UBICACIÓN DE CALICATAS
- COLUMNAS LITOESTRATIGRÁFICAS DE LAS CALICATAS
- ACTAS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO
- REPORTAJE FOTOGRÁFICO
    - FOTOGRAFÍAS DE MUESTRAS Y MICROSCOPIO
    - FOTOGRAFÍAS DE CALICATAS
    - FOTOGRAFÍAS DEL TRAMO ESTUDIADO

PLANOS DE EVOLUCIÓN DE LÍNEA DE COSTA





Leyenda

- Línea de costa 2019

ESCALA: 1:1.000

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
Tragsatec

PROYECTO:

"ESTUDIOS JUSTIFICATIVOS NECESARIOS PARA LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS DE ASISTENCIA TÉCNICA A LA DEMARCACIÓN DE COSTAS EN MURCIA PARA EL APOYO EN LA EJECUCIÓN DE TRABAJOS PARA LA GESTIÓN DE LOS TRÁMITES DEL DESLINDE DEL DPMT EN LOS TRAMOS DE LA COSTA DE LA REGIÓN DE MURCIA EXPTE 30-1495"

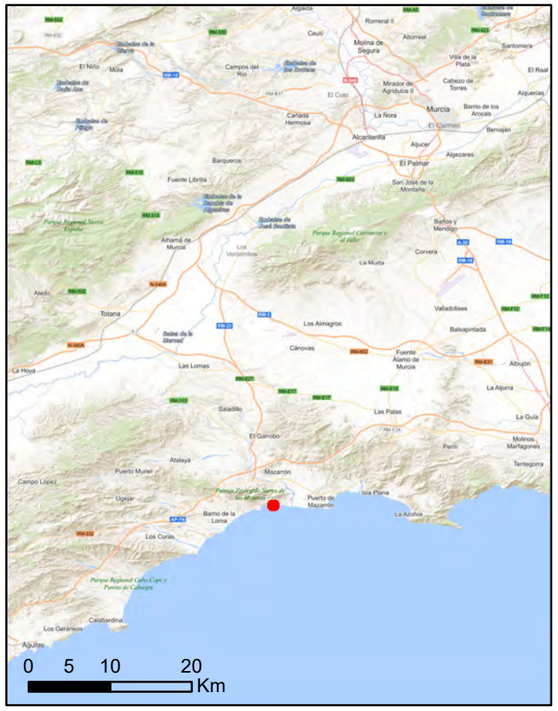
PLANO: **DL-55-MU Playa del Rincón (Mazarrón)**

Línea de costa

AGSOIL

FECHA: **Noviembre 2021**





Leyenda

- Línea de costa 2012
- Línea de costa 2019

ESCALA: 1:1.000

GOBIERNO DE ESPAÑA — MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO — Tragsatec

PROYECTO:

"ESTUDIOS JUSTIFICATIVOS NECESARIOS PARA LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS DE ASISTENCIA TÉCNICA A LA DEMARCACIÓN DE COSTAS EN MURCIA PARA EL APOYO EN LA EJECUCIÓN DE TRABAJOS PARA LA GESTIÓN DE LOS TRÁMITES DEL DESLINDE DEL DPMT EN LOS TRAMOS DE LA COSTA DE LA REGIÓN DE MURCIA EXPTE 30-1495"

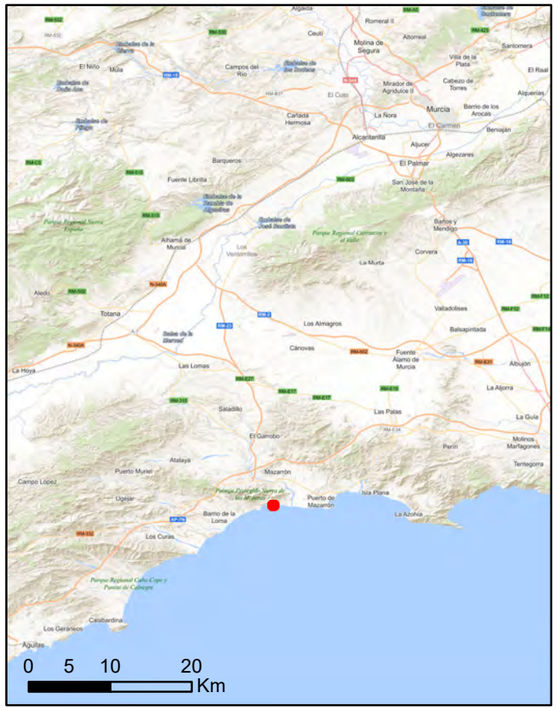
PLANO: **DL-55-MU Playa del Rincón (Mazarrón)**

Línea de costa

AG SOIL

FECHA: **Noviembre 2021**





Leyenda

- Línea de costa 2002
- Línea de costa 2019

ESCALA: 1:1.000

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
Tragsatec

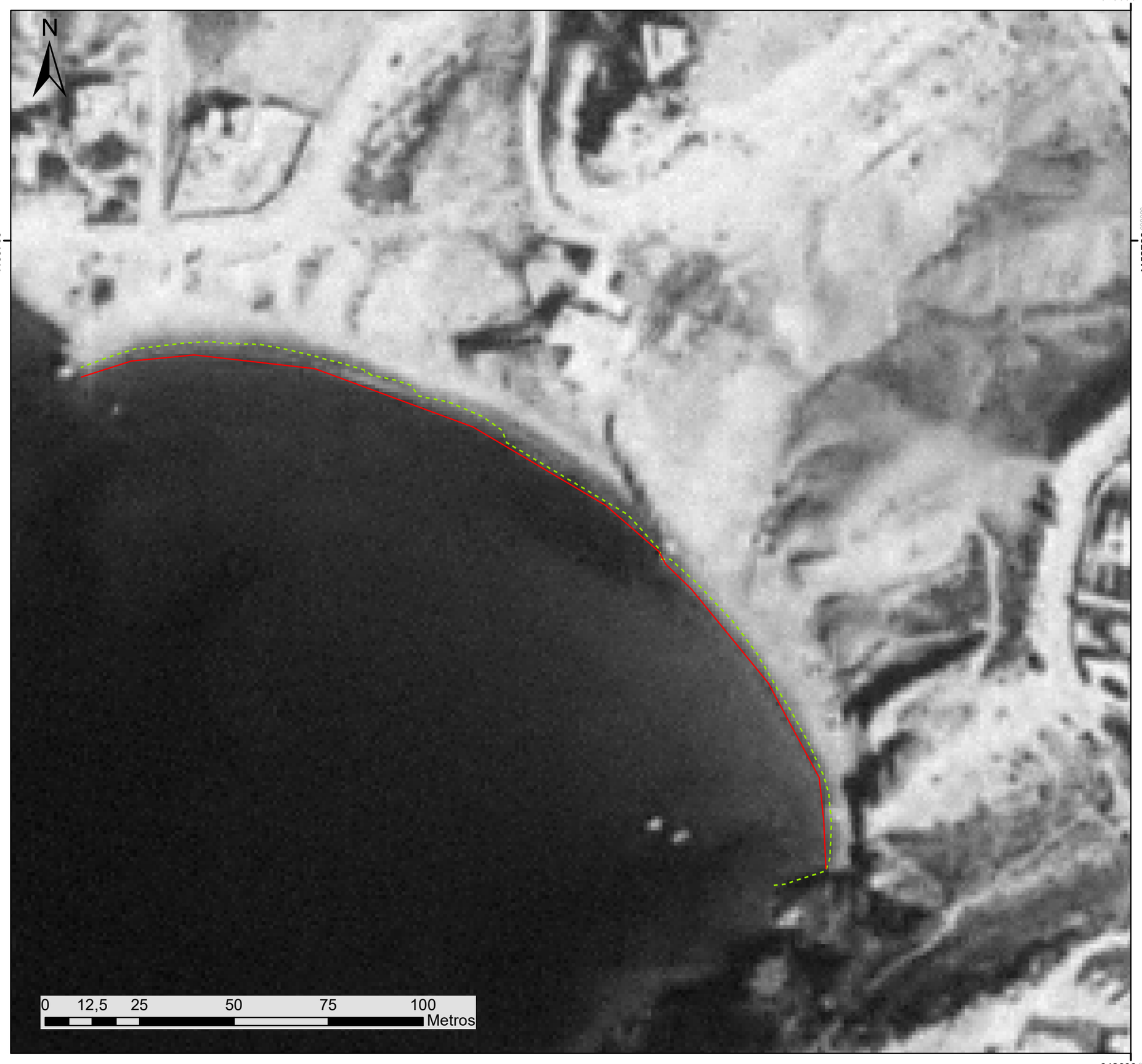
PROYECTO:

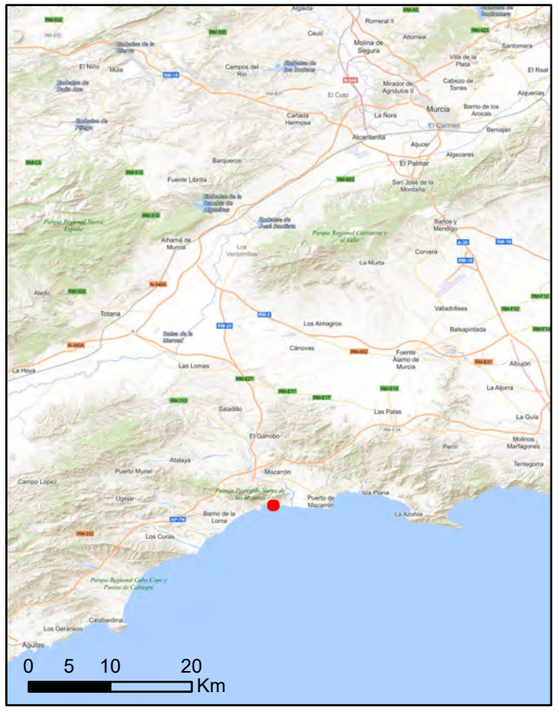
"ESTUDIOS JUSTIFICATIVOS NECESARIOS PARA LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS DE ASISTENCIA TÉCNICA A LA DEMARCACIÓN DE COSTAS EN MURCIA PARA EL APOYO EN LA EJECUCIÓN DE TRABAJOS PARA LA GESTIÓN DE LOS TRÁMITES DEL DESLINDE DEL DPMT EN LOS TRAMOS DE LA COSTA DE LA REGIÓN DE MURCIA EXPTE 30-1495"

PLANO: **DL-55-MU Playa del Rincón (Mazarrón)**

Línea de costa

FECHA: **Noviembre 2021**





Leyenda

- Línea de costa 1997
- Línea de costa 2019

ESCALA: 1:1.000

GOBIERNO DE ESPAÑA — MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO — Tragsatec

PROYECTO:

"ESTUDIOS JUSTIFICATIVOS NECESARIOS PARA LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS DE ASISTENCIA TÉCNICA A LA DEMARCACIÓN DE COSTAS EN MURCIA PARA EL APOYO EN LA EJECUCIÓN DE TRABAJOS PARA LA GESTIÓN DE LOS TRÁMITES DEL DESLINDE DEL DPMT EN LOS TRAMOS DE LA COSTA DE LA REGIÓN DE MURCIA EXPTE 30-1495"

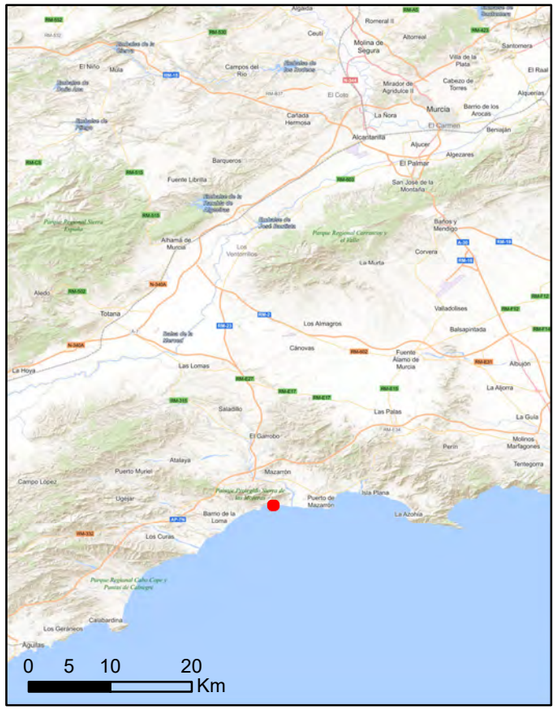
PLANO: **DL-55-MU Playa del Rincón (Mazarrón)**

Línea de costa

AG SOIL

FECHA: **Noviembre 2021**





Leyenda

- Linea de costa 1990
- Línea de costa 2019

ESCALA: 1:1,000

GOBIERNO DE ESPAÑA — MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO — Tragsatec

PROYECTO:

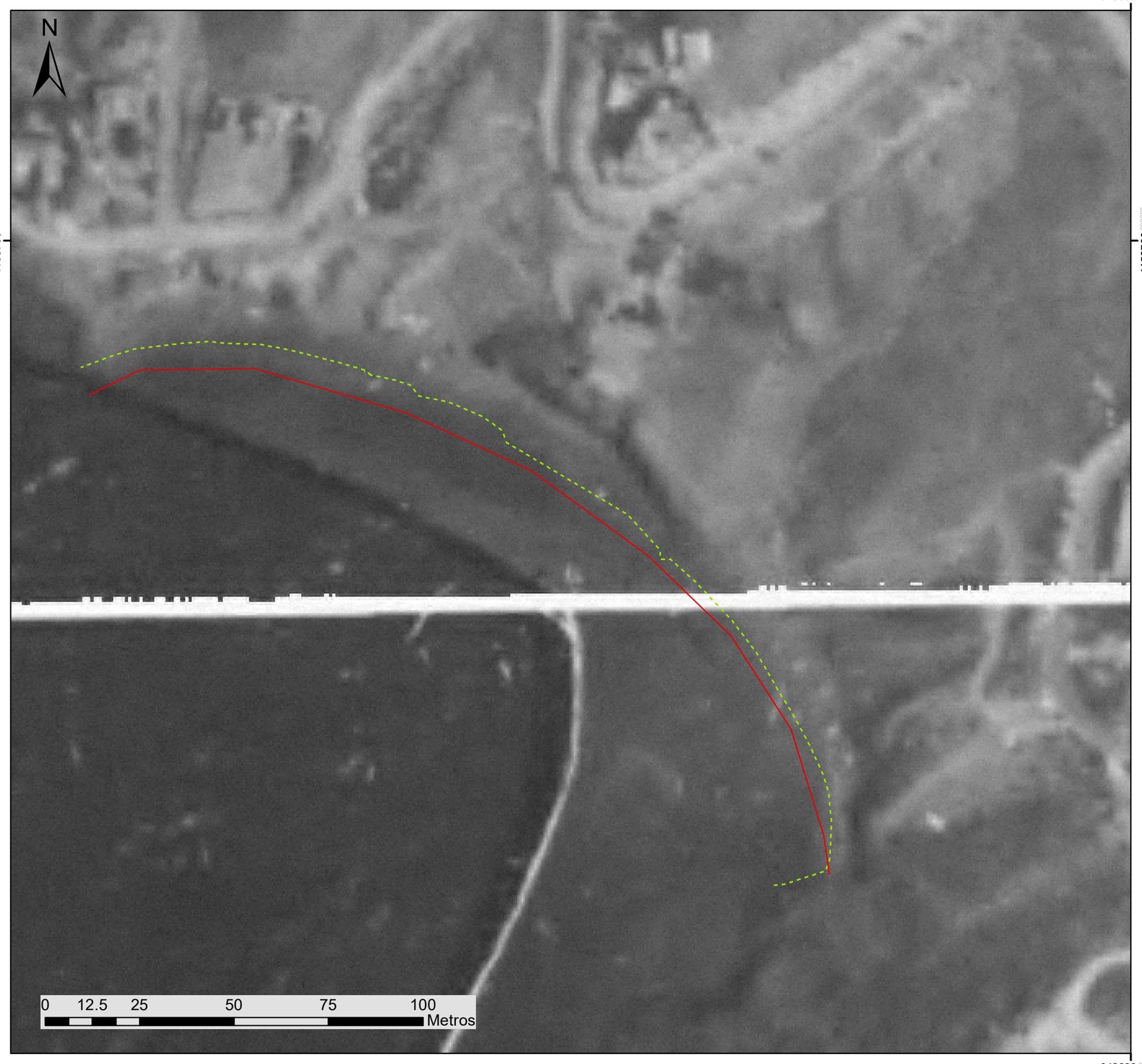
"ESTUDIOS JUSTIFICATIVOS NECESARIOS PARA LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS DE ASISTENCIA TÉCNICA A LA DEMARCACIÓN DE COSTAS EN MURCIA PARA EL APOYO EN LA EJECUCIÓN DE TRABAJOS PARA LA GESTIÓN DE LOS TRÁMITES DEL DESLINDE DEL DPMT EN LOS TRAMOS DE LA COSTA DE LA REGIÓN DE MURCIA EXPTE 30-1495"

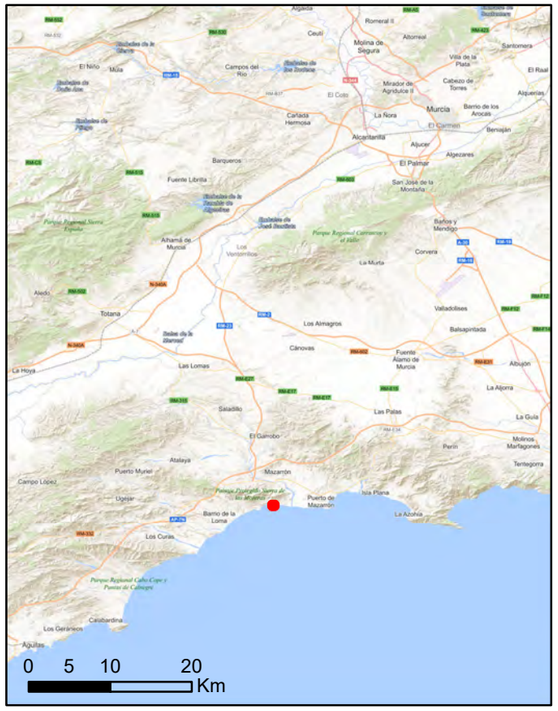
PLANO: **DL-55-MU Playa del Rincón (Mazarrón)**

Línea de costa

AGSOIL

FECHA: **Noviembre 2021**





Leyenda

- Línea de costa 1981
- Línea de costa 2019

ESCALA: 1:1,000

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
Tragsatec

PROYECTO:

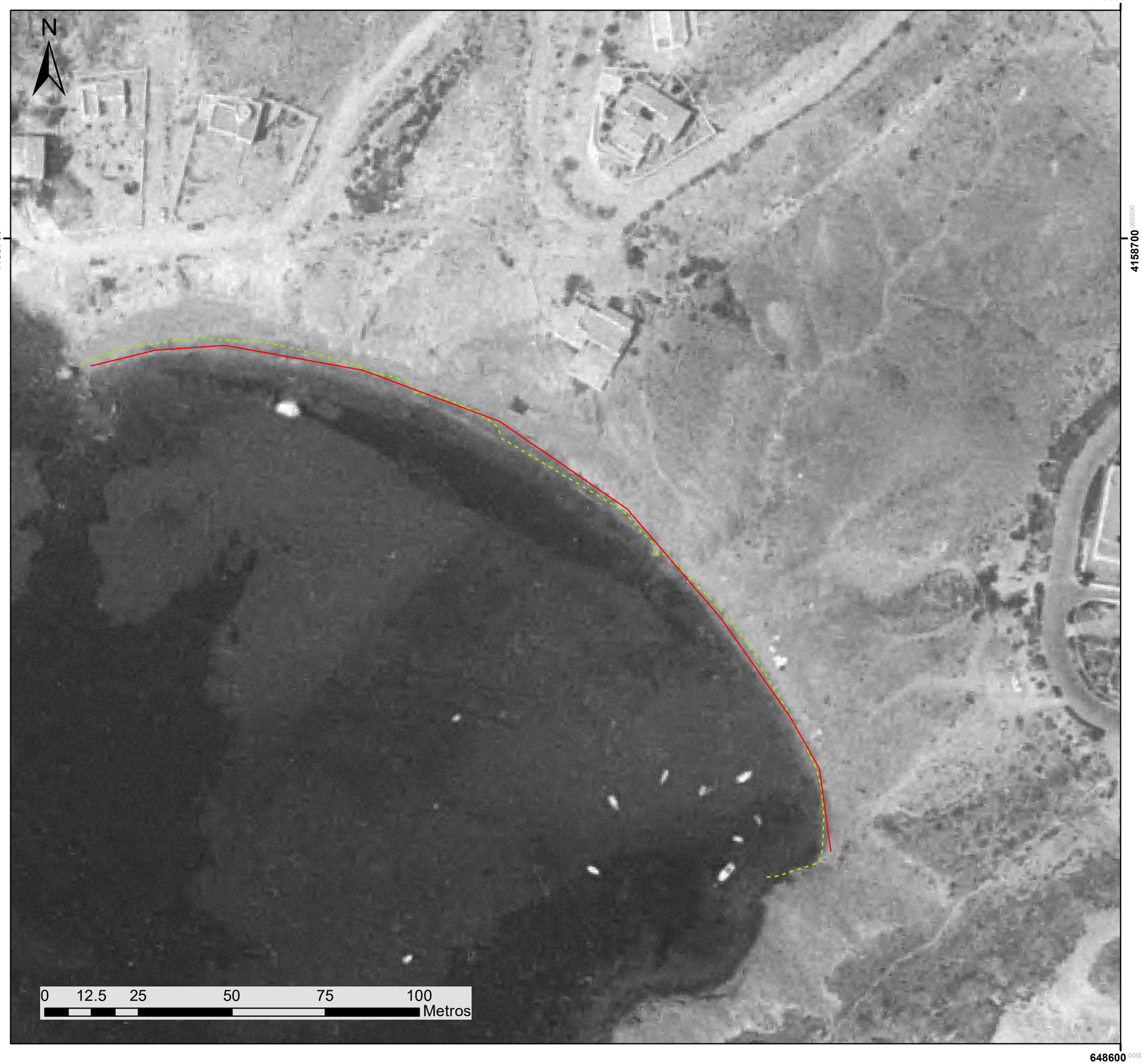
"ESTUDIOS JUSTIFICATIVOS NECESARIOS PARA LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS DE ASISTENCIA TÉCNICA A LA DEMARCACIÓN DE COSTAS EN MURCIA PARA EL APOYO EN LA EJECUCIÓN DE TRABAJOS PARA LA GESTIÓN DE LOS TRÁMITES DEL DESLINDE DEL DPMT EN LOS TRAMOS DE LA COSTA DE LA REGIÓN DE MURCIA EXPTE 30-1495"

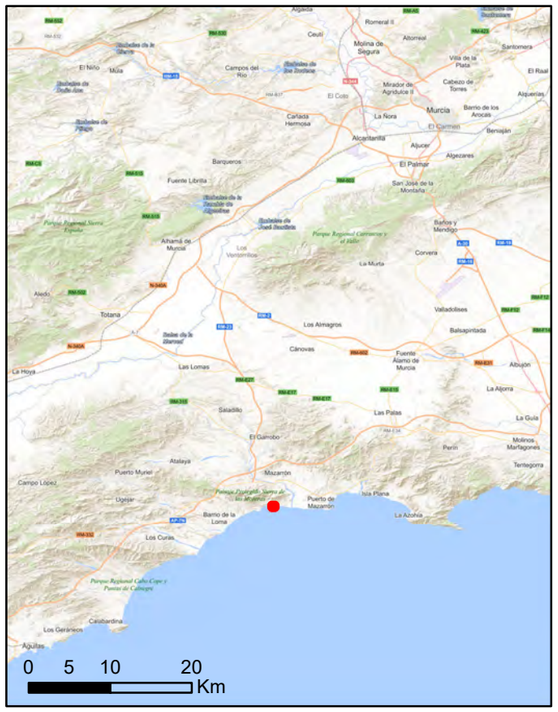
PLANO: **DL-55-MU Playa del Rincón (Mazarrón)**

Línea de costa

AGSOIL

FECHA: **Noviembre 2021**





Leyenda

Línea de costa 1977

Línea de costa 2019

ESCALA: 1:1,000

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
Tragsatec

PROYECTO:

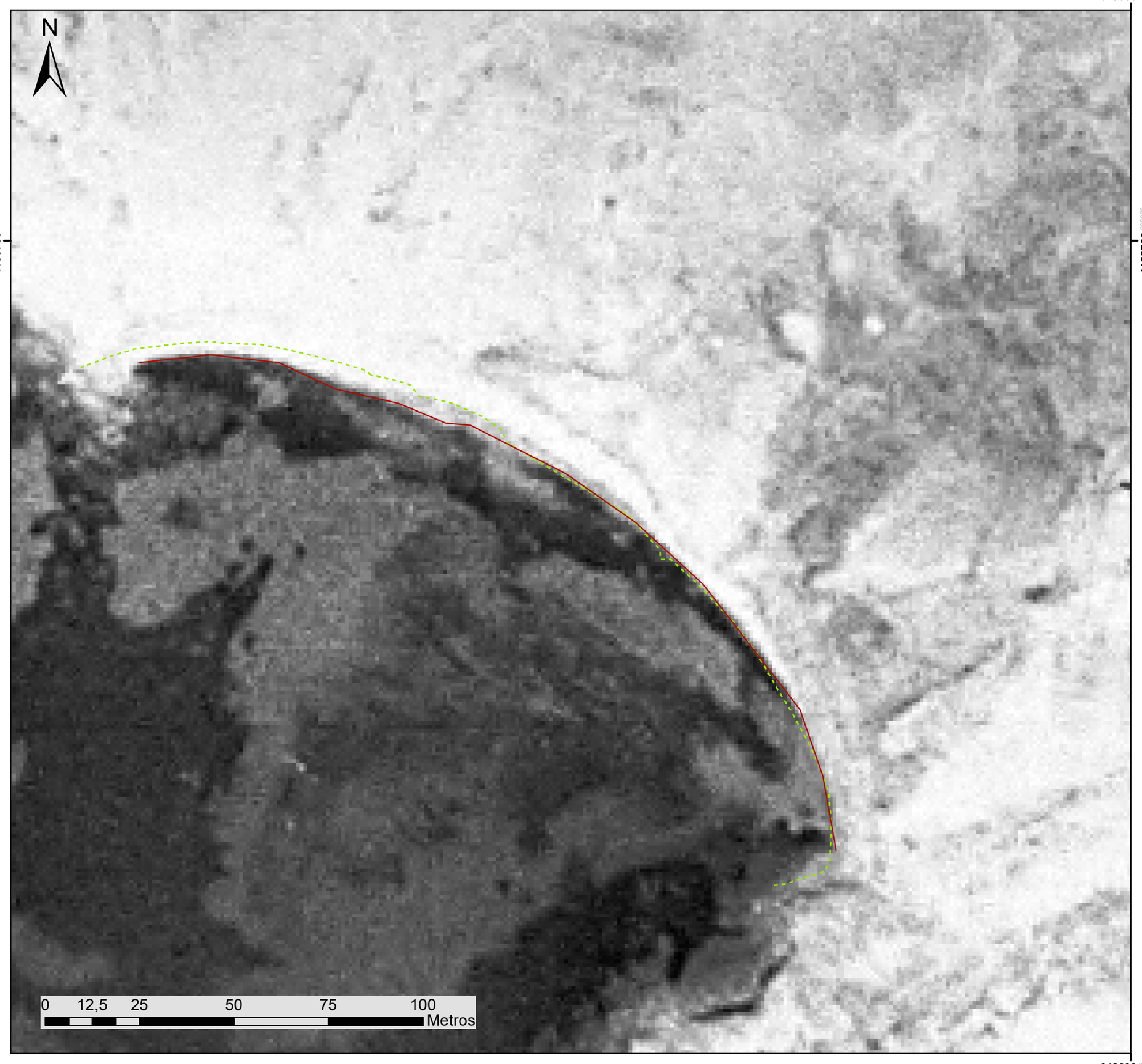
"ESTUDIOS JUSTIFICATIVOS NECESARIOS PARA LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS DE ASISTENCIA TÉCNICA A LA DEMARCACIÓN DE COSTAS EN MURCIA PARA EL APOYO EN LA EJECUCIÓN DE TRABAJOS PARA LA GESTIÓN DE LOS TRÁMITES DEL DESLINDE DEL DPMT EN LOS TRAMOS DE LA COSTA DE LA REGIÓN DE MURCIA EXPTE 30-1495"

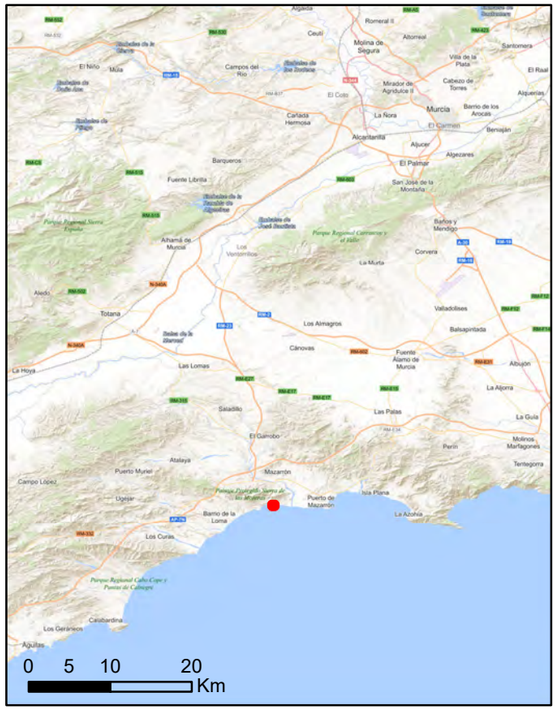
PLANO: **DL-55-MU Playa del Rincón (Mazarrón)**

Línea de costa

AG SOIL

FECHA: **Noviembre 2021**





Leyenda

- Línea de costa 1956
- Línea de costa 2019

ESCALA: 1:1.000

GOBIERNO DE ESPAÑA — MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO — Tragsatec

PROYECTO:

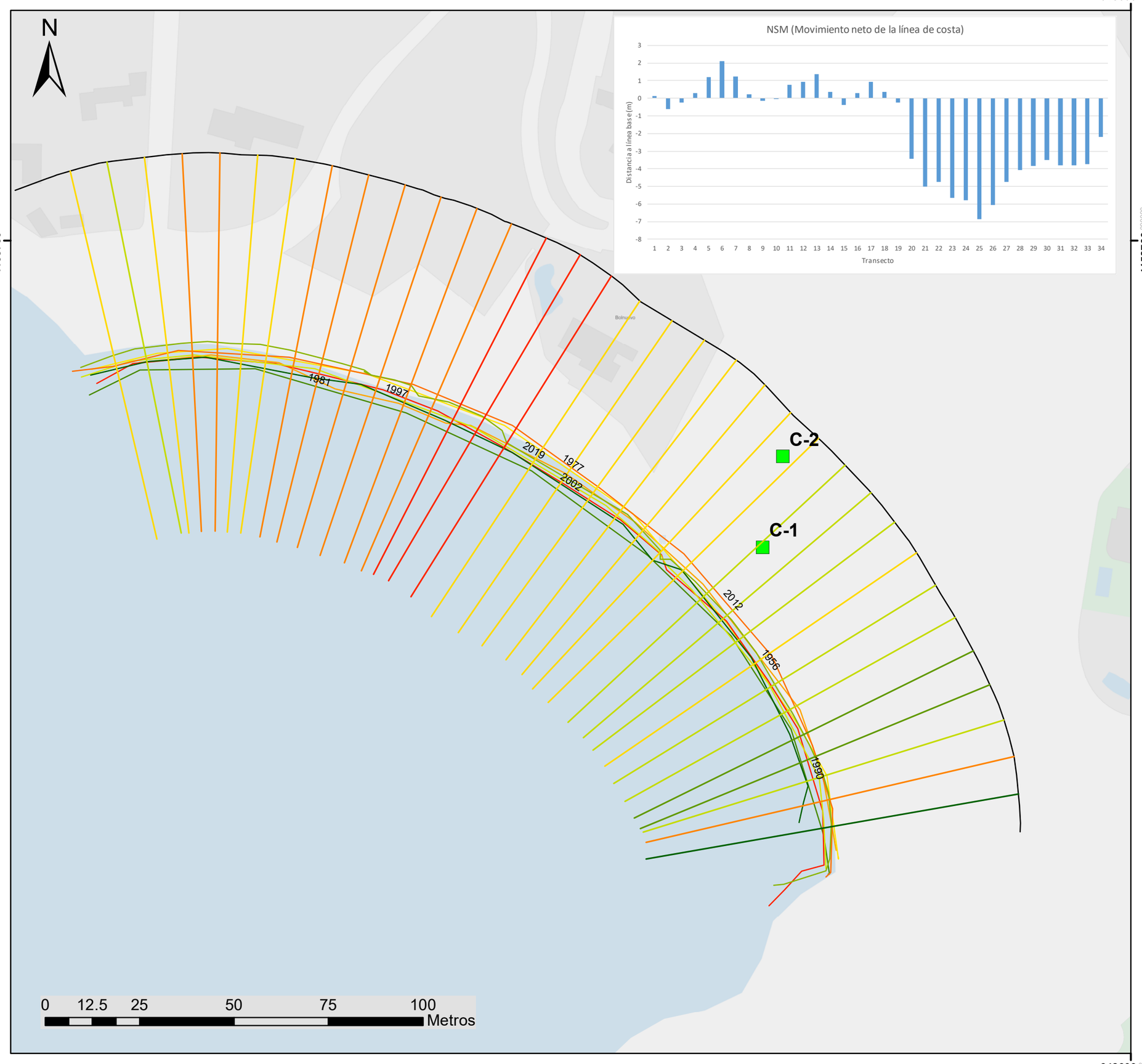
"ESTUDIOS JUSTIFICATIVOS NECESARIOS PARA LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS DE ASISTENCIA TÉCNICA A LA DEMARCACIÓN DE COSTAS EN MURCIA PARA EL APOYO EN LA EJECUCIÓN DE TRABAJOS PARA LA GESTIÓN DE LOS TRÁMITES DEL DESLINDE DEL DPMT EN LOS TRAMOS DE LA COSTA DE LA REGIÓN DE MURCIA EXPTE 30-1495"

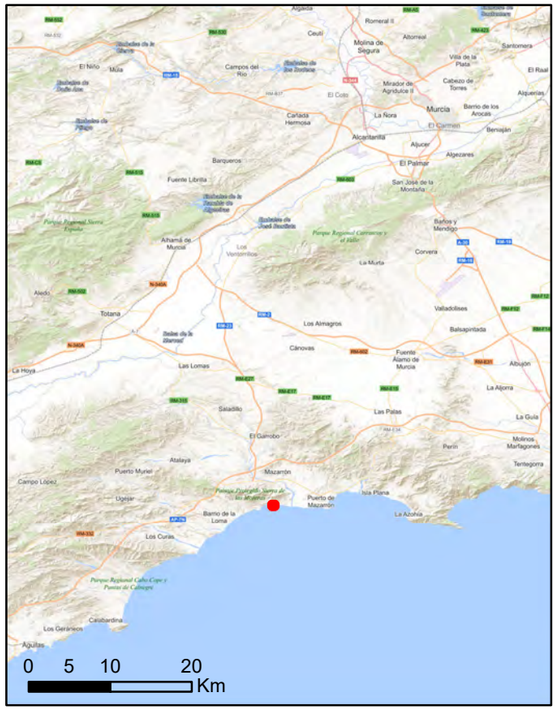
PLANO: **DL-55-MU Playa del Rincón (Mazarrón)**

Línea de costa

AGSOIL

FECHA: **Noviembre 2021**





Leyenda

SCE (m)	Líneas de costa
3.28 - 4.00	1956
4.01 - 5.00	1977
5.01 - 6.00	1981
6.01 - 7.00	1990
7.01 - 8.00	1997
8.01 - 9.00	2002
Línea base	2012
Calicatas	2019

ESCALA: 1:1,000

GOBIERNO DE ESPAÑA — MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO — Tragsatec

PROYECTO:

"ESTUDIOS JUSTIFICATIVOS NECESARIOS PARA LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS DE ASISTENCIA TÉCNICA A LA DEMARCACIÓN DE COSTAS EN MURCIA PARA EL APOYO EN LA EJECUCIÓN DE TRABAJOS PARA LA GESTIÓN DE LOS TRÁMITES DEL DESLINDE DEL DPMT EN LOS TRAMOS DE LA COSTA DE LA REGIÓN DE MURCIA EXPTE 30-1495"

PLANO: **DL-55-MU Playa del Rincón (Mazarrón)**

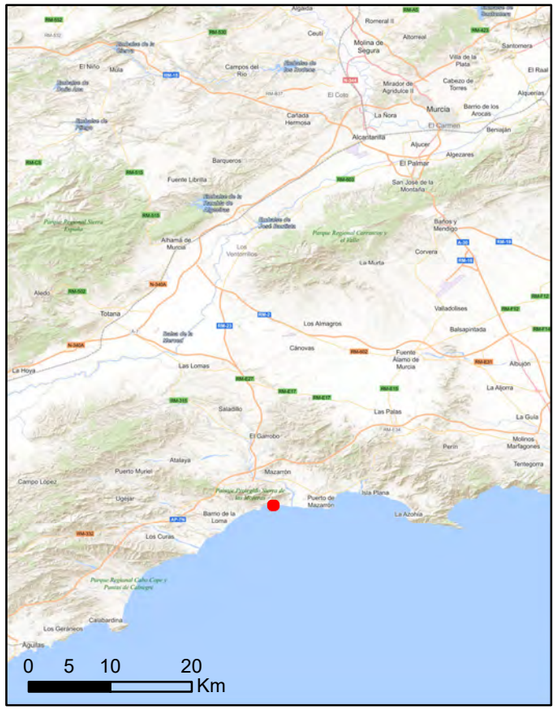
Evolución línea de costa (SCE)

AGSOIL

FECHA: **Noviembre 2021**

PLANOS DE UBICACIÓN DE CALICATAS





Leyenda

- Calicatas

ESCALA: 1:1.000

GOBIERNO DE ESPAÑA — MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO — Tragsatec

PROYECTO:

"ESTUDIOS JUSTIFICATIVOS NECESARIOS PARA LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS DE ASISTENCIA TÉCNICA A LA DEMARCACIÓN DE COSTAS EN MURCIA PARA EL APOYO EN LA EJECUCIÓN DE TRABAJOS PARA LA GESTIÓN DE LOS TRÁMITES DEL DESLINDE DEL DPMT EN LOS TRAMOS DE LA COSTA DE LA REGIÓN DE MURCIA EXPTE 30-1495"

PLANO: **DL-55-MU Playa del Rincón (Mazarrón)**

Ubicación calicatas

AGSOIL

FECHA: **Noviembre 2021**

COLUMNAS LITOESTRATIGRÁFICAS DE LAS CALICATAS

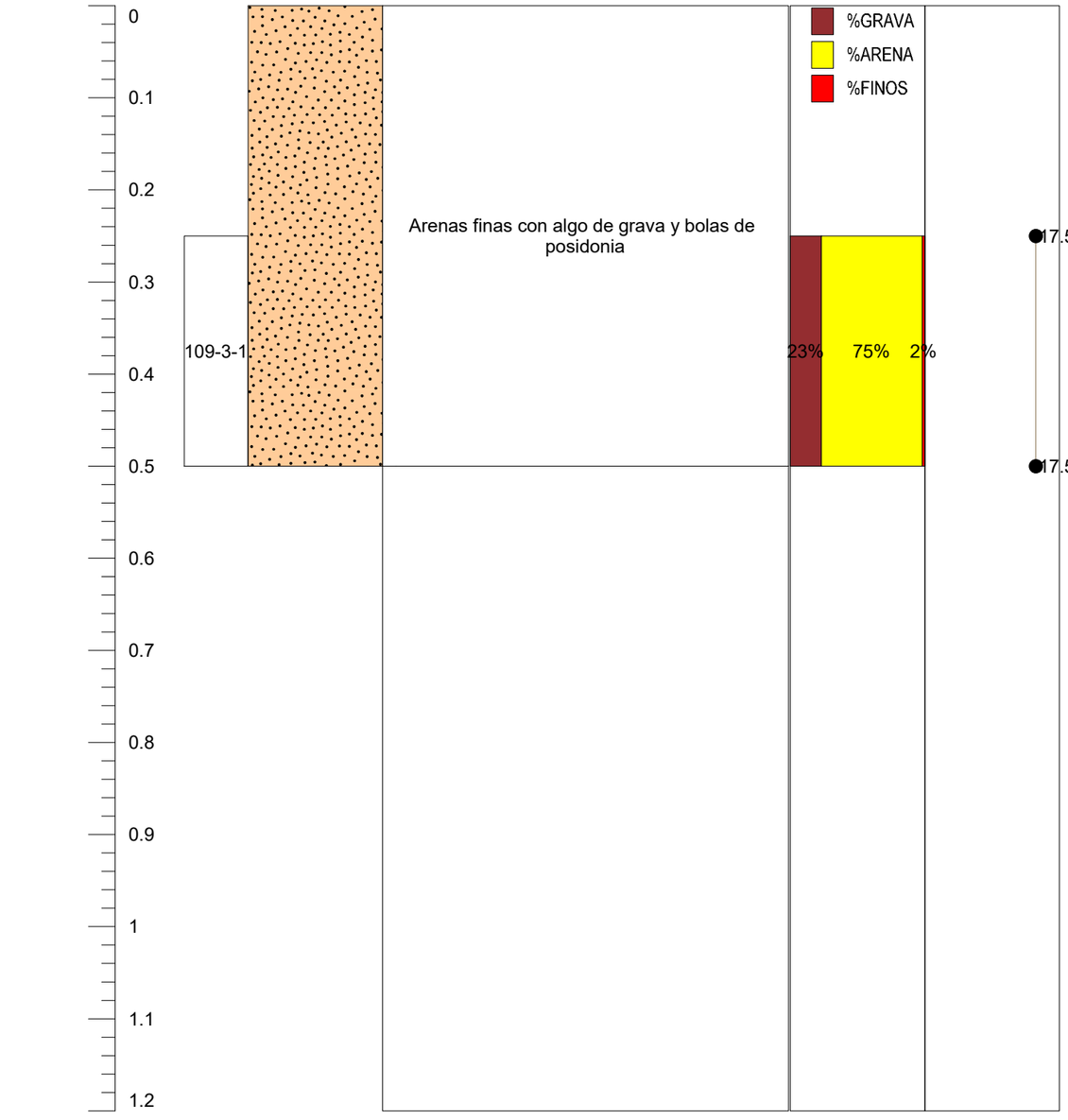
CÓDIGO:	CATA-1
X UTM (ERTS89):	648502.639
Y UTM (ERTS89):	4158618.95
COTA (msnm):	1.474
PROFUNDIDAD (m):	0.5
FECHA:	17/11/2021

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

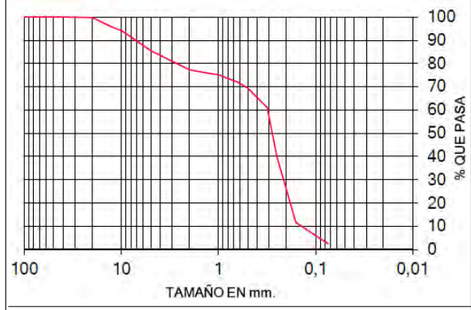
Tragsatec — GrupoTragsa

PROVINCIA:	MURCIA
TÉRMINO MUNICIPAL:	MAZARRÓN
PLAYA:	PLAYA DEL RINCÓN
DENOMINACIÓN:	DL-55-MU

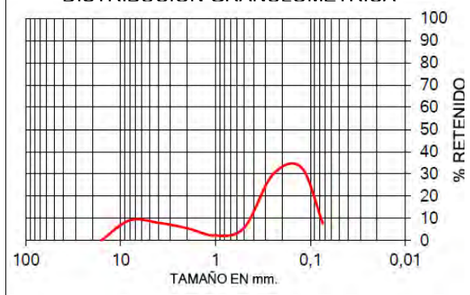
OBSERVACIONES:



CURVA GRANULOMÉTRICA



DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



CALICATA C-1



VISTA CON LUPA FRACCIÓN ARENOSA



PROYECTO: “ESTUDIOS JUSTIFICATIVOS NECESARIOS PARA LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS DE ASISTENCIA TÉCNICA A LA DEMARCACIÓN DE COSTAS EN MURCIA PARA EL APOYO EN LA EJECUCIÓN DE TRABAJOS PARA LA GESTIÓN DE LOS TRÁMITES DEL DESLINDE DEL DPMT EN LOS TRAMOS DE LA COSTA DE LA REGIÓN DE MURCIA. EXPTE 30-1495”. TRAMO DL-55-MU PLAYA DEL RINCÓN

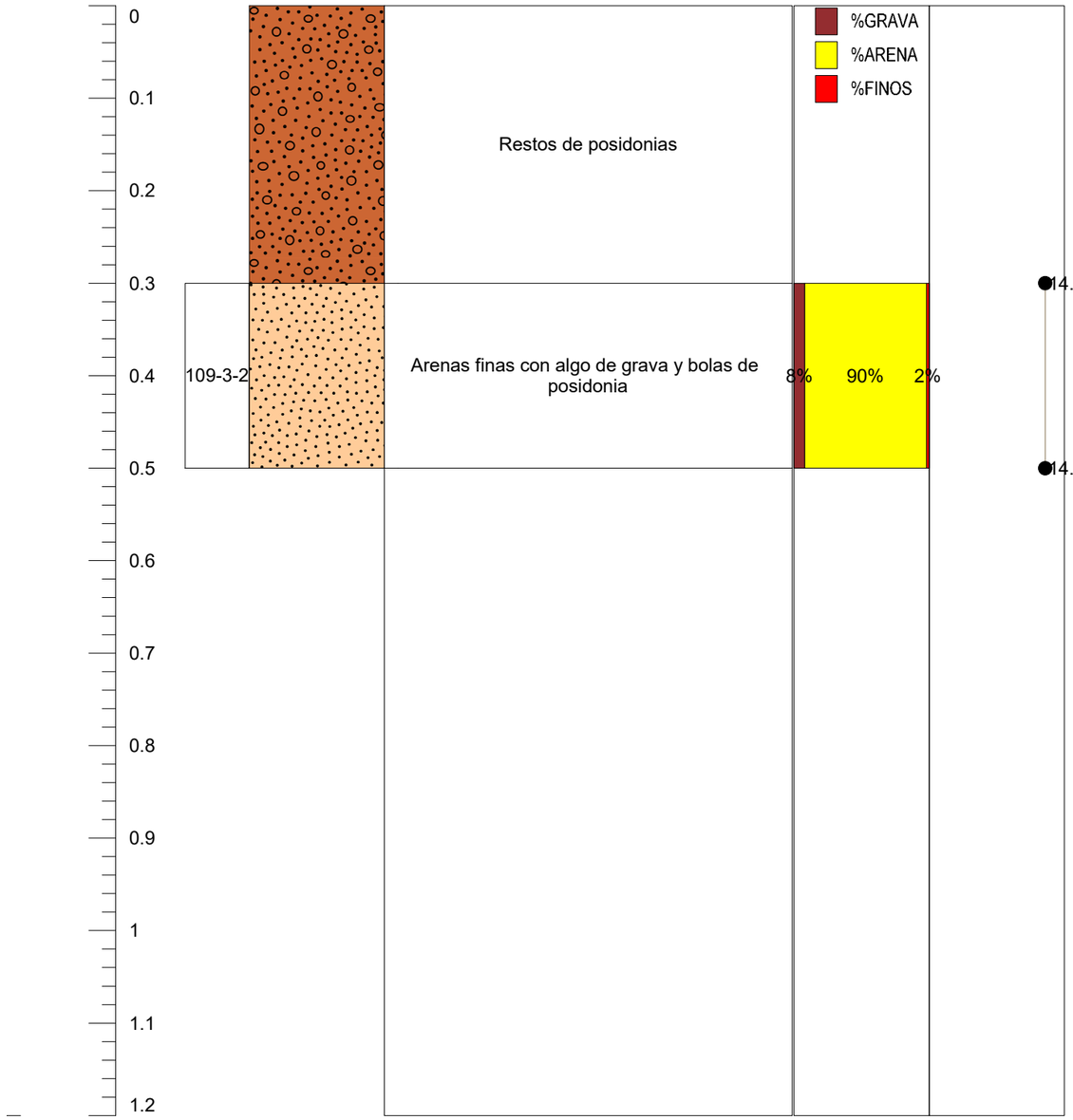
CÓDIGO:	CATA-2
X UTM (ERTS89):	648507.945
Y UTM (ERTS89):	4158642.98
COTA (msnm):	3.5
PROFUNDIDAD (m):	0.5
FECHA:	17/11/2021

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

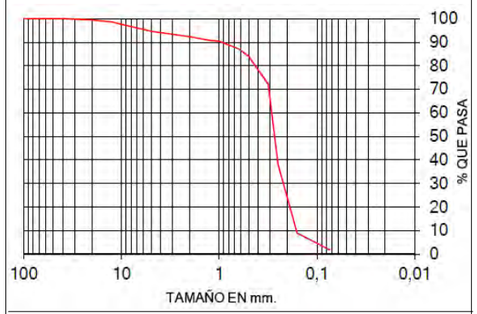
Tragsatec — GrupoTragsa

PROVINCIA:	MURCIA
TÉRMINO MUNICIPAL:	MAZARRÓN
PLAYA:	PLAYA DEL RINCÓN
DENOMINACIÓN:	DL-55-MU

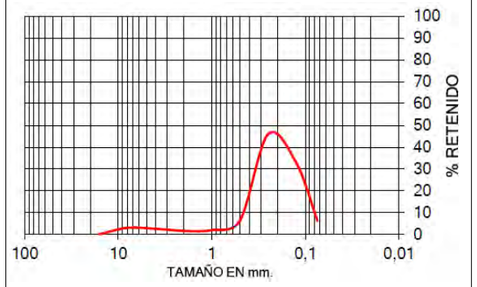
OBSERVACIONES:



CURVA GRANULOMÉTRICA



DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



CALICATA C-2



VISTA CON LUPA FRACCIÓN ARENOSA



PROYECTO: "ESTUDIOS JUSTIFICATIVOS NECESARIOS PARA LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS DE ASISTENCIA TÉCNICA A LA DEMARCACIÓN DE COSTAS EN MURCIA PARA EL APOYO EN LA EJECUCIÓN DE TRABAJOS PARA LA GESTIÓN DE LOS TRÁMITES DEL DESLINDE DEL DPMT EN LOS TRAMOS DE LA COSTA DE LA REGIÓN DE MURCIA. EXPTE 30-1495". TRAMO DL-55-MU PLAYA DEL RINCÓN

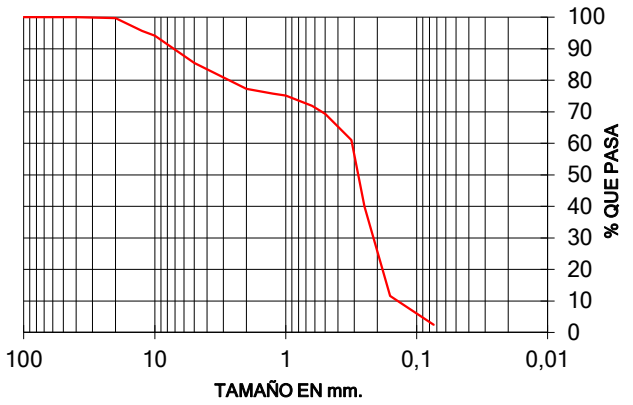
ACTAS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

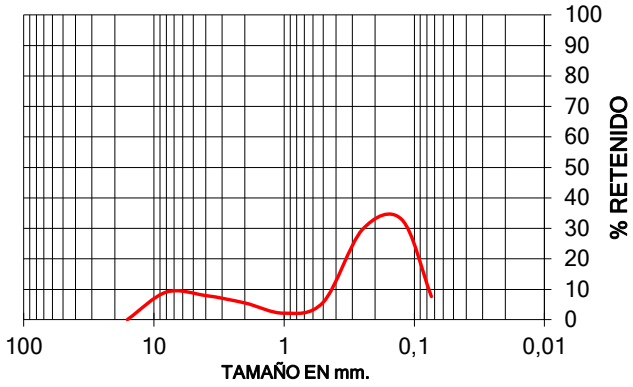
MUESTRAS DE SUELO

PROYECTO: TRAMO DL-55-MU PLAYA DEL RINCÓN
PETICIONARIO: TRAGSATEC
PROCEDENCIA MUESTRA: C-1
COTA: 0,25-0,50 m
REF. OBRA: 21/109-3 **REF. MUESTRA:** 109-3-1

CURVA GRANULOMÉTRICA ACUMULADA



DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



TAMIZ mm	% QUE PASA	% RETENIDO
100	100	0,0
80	100	0,0
40	100	0,0
20	100	0,2
12,5	96	4,4
10	94	5,8
5	86	14,5
2	77	22,7
1,25	76	24,3
1,00	75	24,8
0,63	72	28,1
0,50	69	30,6
0,32	61	39,0
0,25	40	60,1
0,16	12	88,4
0,08	2	97,6

SEDIMENTACION

0.008	
0.005	
0.001	

Φ_5	-3,46
Φ_{16}	-2,00
Φ_{50}	1,84
Φ_{84}	2,56
Φ_{95}	3,47
Φ_{25}	0,00
Φ_{75}	2,40

SELECCIÓN (σ)	2,19
SIMETRÍA (S_K)	-0,61
CURTOSIS (K_G)	1,19

MODA	0,13 mm
MEDIANA	0,28 mm
MEDIA	1,48 mm

D_5	11,00 mm
D_{16}	4,00 mm
D_{50}	0,28 mm
D_{84}	0,17 mm
D_{95}	0,09 mm
D_{25}	1,00 mm
D_{75}	0,19 mm

Descripción del suelo y observaciones:
Arenas finas con grava y bolas de posidonia. Mal sleccionada, curva bimodal, con una asimetría fuertemente gruesa. Grava de esquistos, carbonatos, rocas ígneas y cuarzo, subredondeados sin brillo y algún resto antrópico. Arenas con cuarzo y granates subangulosos, y carbonatos redondeados pulidos.

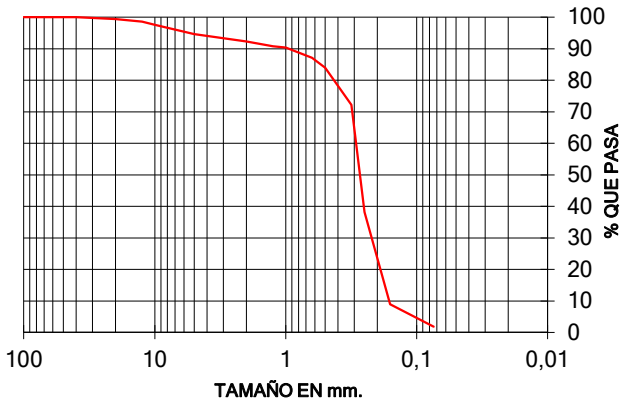
Fdo: Antonio Alcántara Peyres
Murcia, 29 de noviembre de 2021

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

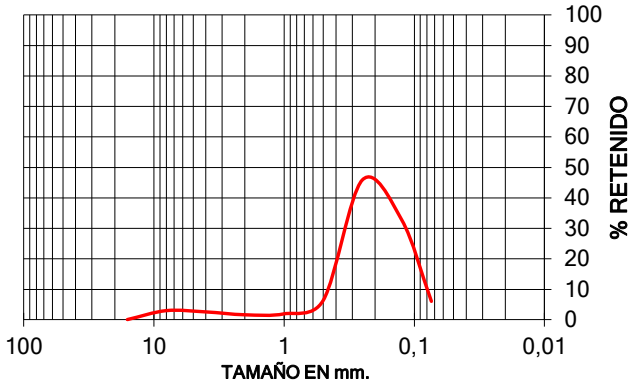
MUESTRAS DE SUELO

PROYECTO: TRAMO DL-55-MU PLAYA DEL RINCÓN
PETICIONARIO: TRAGSATEC
PROCEDENCIA MUESTRA: C-2
COTA: 0,25-0,50 m
REF. OBRA: 21/109-3 **REF. MUESTRA:** 109-3-2

CURVA GRANULOMÉTRICA ACUMULADA



DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



TAMIZ mm	% QUE PASA	% RETENIDO
100	100	0,0
80	100	0,0
40	100	0,0
20	99	0,6
12,5	99	1,4
10	98	2,4
5	95	5,3
2	92	7,7
1,25	91	9,2
1,00	90	9,6
0,63	87	12,8
0,50	84	16,0
0,32	72	27,8
0,25	38	61,8
0,16	9	91,0
0,08	2	98,2

SEDIMENTACION

0.008	
0.005	
0.001	

Φ_5	-2,32
Φ_{16}	1,00
Φ_{50}	1,84
Φ_{84}	2,47
Φ_{95}	3,18
Φ_{25}	1,56
Φ_{75}	2,25

SELECCIÓN (σ)	1,20
SIMETRÍA (S_K)	-0,32
CURTOSIS (K_G)	3,25

MODA	0,25 mm
MEDIANA	0,28 mm
MEDIA	0,32 mm

D_5	5,00 mm
D_{16}	0,50 mm
D_{50}	0,28 mm
D_{84}	0,18 mm
D_{95}	0,11 mm
D_{25}	0,34 mm
D_{75}	0,21 mm

Descripción del suelo y observaciones:
Arenas finas con grava y bolas de posidonia. Mal seleccionada, con una asimetría fuertemente gruesa. Grava de esquistos, carbonatos, rocas ígneas y cuarzo, subredondeados sin brillo y algún resto antrópico. Arenas con cuarzo y granates subangulosos, y carbonatos redondeados pulidos.

Fdo: Antonio Alcántara Peyres
Murcia, 29 de noviembre de 2021

ITC laboratorio de ensayos, S.L.L.
C/Río Pliego, 14
TLF. 868 041 810
FAX 968 262 456
30010 MURCIA
itc@itcsll.com

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

REFERENCIA	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	Nº ORDEN CÓDIGO DEL ACTA	CÓDIGO TARIFA	Nº DE ENSAYO
M-6972/EG	5566/2021	1 10054/2021	10107001	46229

PETICIONARIO:

(303237) AG SOIL CONSULTORES, S.L. (GEOLOGÍA Y ESTUDIOS GEOTÉCNICOS)

Av. General Primo de Rivera, 13 - Edificio "Roma" - Entresuelo "B"
30008. Murcia
CIF: ESB73716011

OBRA:

E.G. Bolnuevo 21/109-3 - -

MODALIDAD DE CONTROL DE CALIDAD: ET

ENSAYOS REALIZADOS:

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONATOS EN LOS SUELOS, POR EL MÉTODO DEL CALCÍMETRO DE BERNARD, S/ UNE 103200:1993.

TT. AG SOIL CONSULTORES, S.L. (GEOLOGÍA Y ESTUDIOS GEOTÉCNICOS
Av. General Primo de Rivera, 13 - Edificio "Roma" - Entresuelo "B"
30008 Murcia
(Murcia)

MUESTREO:

NORMA DE MUESTREO: ---
MODALIDAD DE MUESTREO: MP, Muestreado por peticionario
ALBARÁN LABORATORIO: 16449
FECHA DE RECEPCIÓN: 01/12/21
RECOGIDO POR: José Quero Aleo
CANTIDAD: 30 cm
PROCEDENCIA: C-1 (REF.: 21/109-3-1)
IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL: MATERIAL GRANULAR
LUGAR DE MUESTREO: MUESTRA RECOGIDA EN COTA DE -0.20 A -0.50 m

RESULTADOS DE ENSAYOS:

PESO CARBONATO CÁLCICO EMPLEADO EN EL TARADO (g)	0,20
VOLUMEN DE ANHÍDRIDO CARBÓNICO PRODUCIDO EN EL TARADO (ml)	47,4
PESO DE LA MUESTRA SECA ENSAYADA (g)	1,035
VOLUMEN DE ANHÍDRIDO CARBÓNICO PRODUCIDO EN EL ENSAYO (ml)	43,8
CONTENIDO MEDIO DE CARBONATOS EXPRESADO COMO CARBONATO CÁLCICO (%)	**17,5**

FECHA FIN DE ENSAYO: 02/12/2021

DATOS COMPLEMENTARIOS DE ENSAYO:

OBSERVACIONES:

COPIAS ENVIADAS A:
AG SOIL CONSULTORES, S.L. (GEOLOGÍA Y ESTUDIOS GEOTÉCNICOS)

En Murcia, a 3 de diciembre de 2021

EL RESPONSABLE TÉCNICO

VºBº DIRECTORE DE LABORATORIO

HOJA Nº 1 DE 1

EG
21

6972: E.G. Bolnuevo 21/109-3

"Laboratorio con Declaración Responsable según el R.D. 410/2010, con nº de registro en el CTE MUR-L-018".

REV.0

Este Acta sólo afecta a los materiales o elementos ensayados y no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio.

ITC laboratorio de ensayos, S.L.L.
C/Río Pliego, 14
TLF. 868 041 810
FAX 968 262 456
30010 MURCIA
itc@itcsll.com

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

REFERENCIA	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	Nº ORDEN CÓDIGO DEL ACTA	CÓDIGO TARIFA	Nº DE ENSAYO
M-6972/EG	5567/2021	2 10055/2021	10107001	46230

PETICIONARIO:

(303237) AG SOIL CONSULTORES, S.L. (GEOLOGÍA Y ESTUDIOS GEOTÉCNICOS)

Av. General Primo de Rivera, 13 - Edificio "Roma" - Entresuelo "B"
30008. Murcia
CIF: ESB73716011

OBRA:

E.G. Bolnuevo 21/109-3 - -

MODALIDAD DE CONTROL DE CALIDAD: ET

ENSAYOS REALIZADOS:

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONATOS EN LOS SUELOS, POR EL MÉTODO DEL CALCÍMETRO DE BERNARD, S/ UNE 103200:1993.

TT. AG SOIL CONSULTORES, S.L. (GEOLOGÍA Y ESTUDIOS GEOTÉCNICOS
Av. General Primo de Rivera, 13 - Edificio "Roma" - Entresuelo "B"
30008 Murcia
(Murcia)

MUESTREO:

NORMA DE MUESTREO: ---
MODALIDAD DE MUESTREO: MP, Muestreado por peticionario
ALBARÁN LABORATORIO: 16449
FECHA DE RECEPCIÓN: 01/12/21
RECOGIDO POR: José Quero Aleo
CANTIDAD: 20 cm
PROCEDENCIA: C-2 (REF.: 21/109-3-2)
IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL: MATERIAL GRANULAR
LUGAR DE MUESTREO: MUESTRA RECOGIDA EN COTA DE -0.30 A -0.50 m

RESULTADOS DE ENSAYOS:

PESO CARBONATO CÁLCICO EMPLEADO EN EL TARADO (g)	0,20
VOLUMEN DE ANHÍDRIDO CARBÓNICO PRODUCIDO EN EL TARADO (ml)	47,4
PESO DE LA MUESTRA SECA ENSAYADA (g)	0,200
VOLUMEN DE ANHÍDRIDO CARBÓNICO PRODUCIDO EN EL ENSAYO (ml)	6,8
CONTENIDO MEDIO DE CARBONATOS EXPRESADO COMO CARBONATO CÁLCICO (%)	**14,1**

FECHA FIN DE ENSAYO: 02/12/2021

DATOS COMPLEMENTARIOS DE ENSAYO:

OBSERVACIONES:

COPIAS ENVIADAS A:
AG SOIL CONSULTORES, S.L. (GEOLOGÍA Y ESTUDIOS GEOTÉCNICOS)

En Murcia, a 3 de diciembre de 2021

EL RESPONSABLE TÉCNICO

VºBº DIRECTORE DE LABORATORIO

HOJA Nº 1 DE 1

EG
21

6972: E.G. Bolnuevo 21/109-3

"Laboratorio con Declaración Responsable según el R.D. 410/2010, con nº de registro en el CTE MUR-L-018".

REV.0

Este Acta sólo afecta a los materiales o elementos ensayados y no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio.

REPORTAJE FOTOGRÁFICO



Fotografía nº 1: Calicata C-1 – 0,25-0,50 – Fracción Grava



Fotografía nº 2: Calicata C-1 – 0,25-0,50 – Fracción Arena



Fotografía nº 3: Calicata C-2 – 0,30-0,50 – Fracción Grava



Fotografía nº 4: Calicata C-2 – 0,30-0,50 – Fracción Arena



Fotografía nº 5: Calicata C-1



Fotografía nº 6: Calicata C-2

ANEJO Nº 6.3. ESTUDIO GEOBOTÁNICO

Estudio geobotánico del DPMT en el tramo de deslinde DL-55. Playa del Rincón (T.M. de Mazarrón)

Septiembre de 2021

FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL

Una manera de hacer Europa

Índice

Introducción y objetivo 4
Localización 4
Descripción de los trabajos 5
Fitocenosis de la zona de estudio 7
Distribución de la vegetación en el espacio según la inluencia marina 11
Conclusiones 13

Introducción y objetivo

El objeto del presente informe es el de caracterizar la vegetación y los hábitats marinos en la zona correspondiente al entorno de los vértices del DPMT DP-688, DP688´ y DP-689. Los párrafos subrayados y marcados con gris en el texto hacen referencia exclusiva a la influencia marina sobre la vegetación.

Localización

Los vértices del DPMT antes descritos se encuentran situados en el paraje denominado Playa del Rincón, muy próximo a la Punta Cueva de los Lobos, al oeste del núcleo urbano de Bolnuevo, tal y como puede apreciarse en la fotografía 1.



Foto 1: localización de los vértices del DPMT DP-688, DP688´ y DP-689.

La zona presenta un valor ambiental elevado ya que se encuentra muy próxima a los Espacios Naturales Protegidos de Sierra de Las Moreras, Gredas de Bolnuevo e Islas e Islotes del Litoral Mediterráneo y las ZEPAs ES0000563 Laguna de las Moreras y ES0000270 Isla Cueva de Lobos (fotografía 2).



Foto 2: posición relativa de las zonas protegidas respecto a los vértices del DPMT DP-688, DP688´ y DP-689.

Descripción de los trabajos

Para el estudio de la biocenosis se realiza una primera aproximación consultando los posibles hábitats de la Directiva 92/43 CEE según la cartografía oficial de la CARM. El resultado de esta primera consulta se muestra en la foto 3.

Posteriormente, el día 24 de septiembre de 2021 se realiza una visita de campo a la zona objeto de estudio. Durante la prospección se realiza un inventario botánico de los taxones presentes en el entorno de los vértices. Para ello se realiza un transecto a pie fotografiando tanto las especies como las distintas comunidades vegetales que estas conforman (foto 4).

Una vez localizadas las especies y observado los distintos ambientes se procede a determinar los hábitats y comunidades vegetales, prestando especial atención a las especies directrices indicadoras de la presencia de asociaciones relacionadas con la influencia marina, que determina el DPMT.



Foto 3: vértices DP-688, DP-688´y DP-689 y capa de hábitats de la Directiva 92/43 CEE



Foto 4: vértices DP-688, DP-688´ y DP-689 y recorrido realizado (línea blanca). En cada uno de los puntos azules se realizan una o varias fotografías para el posterior análisis en gabinete.

Fitocenosis de la zona de estudio

Una vez finalizado el transecto y el reportaje fotográfico se realiza el inventario botánico. Las especies observadas en el terreno se muestran en la tabla 1.

Asteriscus maritimus
Cakile maritima
Capparis sicula
Chenopodium sp.
Frankenia corymbosa
Limonium cossonianum
Lygeum spartum
Mesembryanthemun nodiflorum
Salsola kali
Salsola papilosa
Suaeda spicata
Suaeda vera

Tabla 1: taxones vegetales observados en la zona de actuación

Estas especies caracterizan comunidades vegetales (que definen hábitats de la Directiva 92/43 CEE), aunque en ocasiones no se encuentren completamente desarrolladas. En estos casos, la presencia de las especies directrices indica la vocación del territorio para albergar la comunidad madura a la que representan:

Hábitat 1210. Vegetación anual sobre desechos marinos acumulados

Se trata de formaciones de especies en su mayoría de ciclo de vida anual, que aparecen en zonas de acumulación de materia orgánica de playas altas. La nitrificación del sustrato por el aporte de desechos principalmente marinos y la salinidad son los principales factores abióticos.

- Asociación 121014 *Salsolo kali-Cakiletum maritimae* + Costa & Mansanet 1981 corr. Rivas- Martínez, Costa & Loidi 1992:

  Se manifiesta en forma de herbazales generalmente muy abiertos, dominados por *Salsola kali* subsp. *kali*, aspecto estival, y *Cakile maritima*, aspecto invernal y primaveral, que se instalan en playas de arena fina. (fotos 5 y 6)

La presencia de la asociación 121014 *Salsolo kali-Cakiletum maritimae* (punto amarillo de la foto 6) determina la influencia marina.





Fotos 5: *Salsola kali* y *Cakile marítima* como manifestación del hábitat 1210. Foto 6: punto amarillo corresponde al lugar de realización de la fotografía.

1240 Acantilados con vegetación de las costas mediterráneas con *Limonium* spp. endémicas

Se trata de vegetación de acantilados marinos y orillas rocosas de la zona mediterránea, mediterráneo templada atlántica (suroeste de la Península Ibérica), con *Asteriscus maritimus, Crithmum maritimum, Daucus sp. pl. y Limonium sp*. pl. El sustrato rocoso, así como la salinidad proveniente de la maresía y de las olas al chocar con la roca son los condicionantes que más determinan la presencia de este tipo de vegetación.

- 124019 *Limonio cossoniani-Lycietum intricati* + Esteve 1973 corr. Alcaraz, P. Sánchez, De la Torre, Ríos & J. Alvarez 1991:

  Herbazal-matorral muy claro dominado generalmente por *Crithmum maritimum*, *Limonium cossonianum* y *Asteriscus maritimus*. En ocasiones pueden añadirse individuos de otras especies ya claramente leñosas y de mayor porte, como *Lycium intricatum* e incluso *Suaeda vera* subsp. *vera*, que suponen una transición por nitrificación a los matorrales del *Withanio Lycietum intricati*. Se presentan en acantilados y rocas con menos pendiente, generalmente con una muy baja cobertura del suelo.

  La presencia de *Asteriscus maritimus* (punto amarillo de la foto 9) determina la influencia marina.





Fotos 7 y 8: *Limoniun cossonianum* (izquierda) y *Asteriscus maritimus* (derecha) como manifestación del hábitat 1240.



Foto 9. Punto amarillo indicando el lugar de realización de las fotografías 7 y 8, indicadoras del hábitat 1240

1510 * Estepas salinas mediterráneas (Limonietalia)

Asociaciones ricas en especies vivaces rosuladas (*Limonium* sp. pl.) y albardinales (*Lygeum* spartum) que se encuentran a lo largo de las costas mediterráneas y en los márgenes de las cuencas salinas de la Península Ibérica, sobre suelos temporalmente humedecidos (pero no inundados) por aguas salinas y sujetos a una extrema sequía estival, con formación de afloramientos salinos.

151045 *Limonio caesii-Lygeetum sparti* * Rivas-Martínez & Alcaraz in Alcaraz 1984

Albardinales (*Lygeum spartum*) de cobertura variable, ricos en especies del género *Limonium* tanto de hojas arrosetadas (acelgas bordes) como de hojas efímeras y tallos clorofílicos (sopaenvino: *Limonium caesium*), siendo el último taxón citado especie diferencial de carácter geográfico.





Fotos 10 y 11: *Lygeum spartum* en primer plano como especie directriz del hábitat 1510*. A la derecha se muestra la localización de la foto (punto amarillo).

Otras comunidades vegetales.

En las laderas con pendiente elevada o en puntos altos de la zona de estudio destaca la presencia de rodales de *Salsola papilosa*. Estas formaciones podrían ser indicadoras del hábitat 5330 "Matorrales mediterráneos y preestépicos" concretamente de la asociación 433413 *Limonio insignis-Anabasietum hispanicae* + Rivas Goday & Esteve 1968. Sin embargo la ausencia de especies como *Limonium insigne* o *Anabasis hispánica* impide incluir las manchas de *Salsola papilosa* dentro de la asociación citada.

El interés de esta comunidad de *Salsola papilosa* (en ocasiones acompañada por *Frankenia corymbosa*) radica en que la especie está catalogada como vulnerable en el Decreto nº 50/2003, por el que se crea el Catálogo Regional de Flora Silvestre Protegida de la Región de Murcia. La especies incluidas en esta categoría corren el riesgo de pasar a la categoría de "en peligro de extinción" en un futuro inmediato si los factores adversos que actúan sobre ellas no son corregidos.

Salsola papilosa es un endemismo murciano-almeriense que en la Región de Murcia se distribuye de forma dispersa por toda la zona costera, desde las islas del Mar Menor (Isla Perdiguera) hasta Cuatro Calas (Águilas). Aunque esta especie penetra al interior hasta la falda sur de la Sierra de la Torrecilla (Lorca), su presencia suele estar asociada a la influencia marina.





Fotos 12 y 13: *Salsola papilosa* en un punto alto del entorno de los vértices DPMT DP-688, DP-688´ y DP-689. A la derecha se muestra la localización de la foto (punto amarillo).

Distribución de la vegetación en el espacio según la influencia marina

Las especies de la zona de actuación se distribuyen en el espacio en función los condicionantes ecológicos. Tanto la maresia como la acumulación de nitrogeno procedente de la acumulación de desechos marinos influyen decisivamente en la aparición de determinadas especies como *Salsola kali* o *Cakile maritima*. A medida que nos alejamos de esta doble influencia, encontramos el resto de especies, adaptadas tambien a la maresía pero con una menor dependencia del nitrógeno procedente de la materia orgánica arrastrada por el mar. La altura y la pendiente condicionan la existencia de especies adaptadas a un menor grado de humedad edáfica, tales como *Lygeum spartum, Frankenia corymbosa o Salsola papilosa* (foto 14).

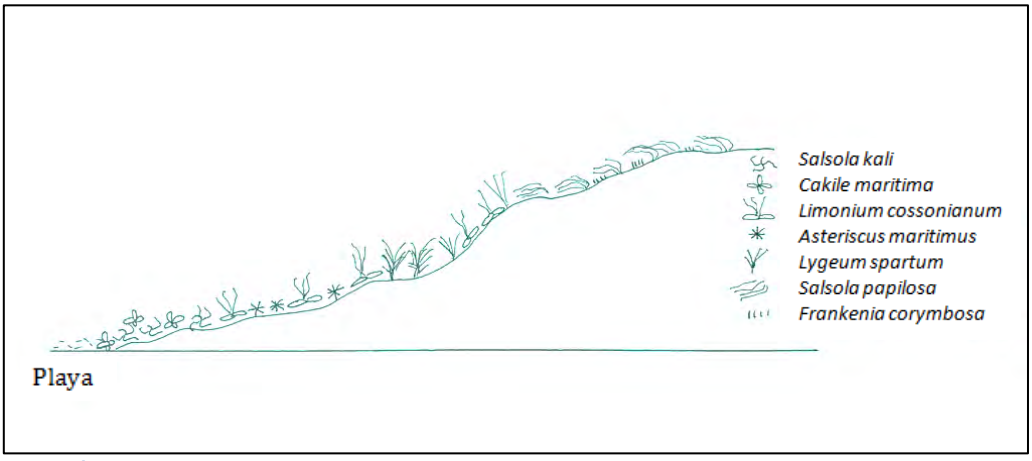


Foto 14: distribución de las principales especies.

En cuanto a la distribución de los hábitats, tanto el hábitat 1210 "Vegetación anual sobre desechos marinos acumulados" como el 1240 "Acantilados con vegetación de las costas

mediterráneas con *Limonium* spp. endémicas" ponen de manifiesto la fuerte influencia de factores ecológicos estrechamente relacionados con la influencia del mar (foto 15).



Foto 15: distribución de los hábitats. En el polígono azul dominan los hábitats 1210 1240 y 1510 *, mientras que en los dos polígonos rojos encontramos el 1510* y los rodales de *Salsola papilosa* y *Frankenia corymbosa.*



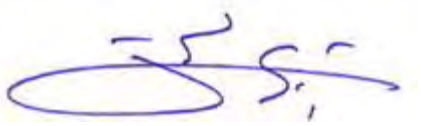
Foto 16: distribución de los hábitats respecto a los vértices de DPMT objeto de estudio.

Conclusiones

Los habitas observados en el campo no han de entenderse ni como comunidades vegetales completas ni como unidades ambientales aisladas. La vegetación está definida por algunas de las especies directrices de las comunidades antes descritas, no observándose por tanto todo el cortejo florístico caracterizador de un hábitat bien consolidado. Por otra parte, los hábitats se observan solapados y solamente en los puntos extremos (donde los factores ecológicos son más estrictos) es posible ver especies que los definen individualmente.

La presencia de la asociación 121014 *Salsolo kali-Cakiletum maritimae* (punto amarillo de la foto 6) determina la influencia marina. El hábitat 1210 "Vegetación anual sobre desechos marinos acumulados" y el 1240 "Acantilados con vegetación de las costas mediterráneas con *Limonium* spp. endémicas" ponen de manifiesto la fuerte influencia de factores ecológicos estrechamente relacionados con la influencia del mar (fotos 15 y 16). Se observan sobre el terreno, en los puntos indicados en las fotografías 6 y 9, especies directrices de los hábitats descritos.

El nuevo DP-688´ se sitúa en un entorno con una serie de factores ecológicos que determinan la presencia de hábitats y especies adaptadas a la influencia marina.



Fdo. Francisco Javier Giménez Martín.
Titulado Superior / Tragsatec (Lcdo. en Ciencias Biológicas)

ANEJO Nº 6.4.ESTUDIO DE PENDIENTES

ESTUDIO DE PENDIENTES

Estudio de pendientes para la justificación del DPMT en los tamos 700 a 703 y 705 a 709 del DES01/14/30/0001 de Punta de la Cueva de Lobos, en el TM de Mazarrón.



1. LOCALICACION

La zona objeto de estudio se enmarca en el tramo la costa del TM de Mazarrón, en la zona sur de la Región de Murcia, concretamente en la Punta de la Cueva de Lobos, en el extremo occidental de la playa de Bolnuevo. Plano 1.

2. ANTECEDENTES

El 30 de mayo del 2005 se dicta la Orden Ministerial por la que se aprueba el deslinde de los bines de dominio público marítimo-terrestre del tramo de costa de unos 6195 metros de longitud, comprendido desde la Playa de Cabezo de la Pelea hasta la Punta de Cueva de Lobos, en el término municipal de Mazarrón (Murcia.

Contra dicha resolución se interpuso el Recurso Contencioso-Administrativo 1/294/05 en cuya demanda, se pretende la anulación del deslinde ente los vértices 700 a 709 alegando que no se está ante un acantilado sensiblemente vertical al no presentar una inclinación mayor o igual a 60° sexagesimales definidos en el artículo 6.3 del Reglamento para la aplicación de la Ley de Cotas.

En este sentido, la Sentencia de la Audiencia Nacional de fecha 21 de noviembre de 2007, en su Fundamento de Derecho cuarto, considera que la Administración no ha acreditado que la delimitación del deslinde trazada respecto de los vértices DP-700 a DP-703 y DP-705 a DP-709 cumpla los requisitos exigidos para tener la condición de acantilado a los efectos del

artículo 4.4 de la Ley de Costas, por lo que falla estimar en parte el recurso contencioso-administrativo anulando el tramo entre los vértices DP-700 a DP-703 y DP-705 a DP-709.

Por Orden Ministerial de 27 de julio de 2011, en cumplimiento de la Sentencia de la Audiencia Nacional de 21 de noviembre de 2007, la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar resolvió anular la Orden Ministerial de 30 de mayo d e2005, en el tramo comprendido entre los vértices DP-700 a DP-703 y DP-705 a DP-709.

A su vez, ordena a la Demarcación de Costas en Murcia que inicie las actuaciones oportunas para elevar a la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar nueva propuesta de delimitación de los bienes de dominio público marítimo terrestre en el tramo anulado, de forma que este se adapte a lo establecido en los artículo 3, 4 y 5 de la Ley de Costas.

3. OBJETIVO DEL ESTUDIO

De lo anteriormente expuesto, se marca como objetivo del estudio la determinación de puntos del terreno que cumplan con la Ley de Costas en los tramos comprendidos entre los vértices DP-700 a DP-703 y DP-705 a DP-709, y así proponer una línea de deslinde.

Para ello se realizarán perfiles en estos tramos a partir de un modelo digital del terreno (MDT).

4. METODOLOGIA

La metodología que se va a seguir será la de realizar unos perfiles perpendiculares a las curvas de nivel del Modelo Digital del Terreno (MDT) en los tramos de estudio, comprobar que los acantilados son sensiblemente verticales (pte≥60°) y en caso afirmativo localizar el punto sobre el terreno el punto que cumpla ese criterio.

4.1. MODELO DIGITAL DEL TERRENO

Aunque se dispone del modelo digital del terreno de la cartografía de costas, este no presenta elevaciones en la zona de estudio, figura 1. Por lo que se ha generado un MDT del terreno a partir de los datos lidar de la zona, descargados del IGN, figura 2. Estos ficheros realizados en 2016-2017, se presentan en formato LAZ, y una resolución de 0.5 ptos/m². El fichero en concreto ha sido: PNOA-2016-MUR-VAL-CLM-648-4160-ORT-CLA-RGB.LAZ.

Con la nube de puntos lidar se ha generado el MDT mediante el software OpenRoads Designer de la empresa Bentley.

Los datos lidar se utilizan el sistema de coordenadas ETRS89, huso 30, siendo las alturas ortométricas. Por lo que las coordenadas se encuentran en ese sistema.

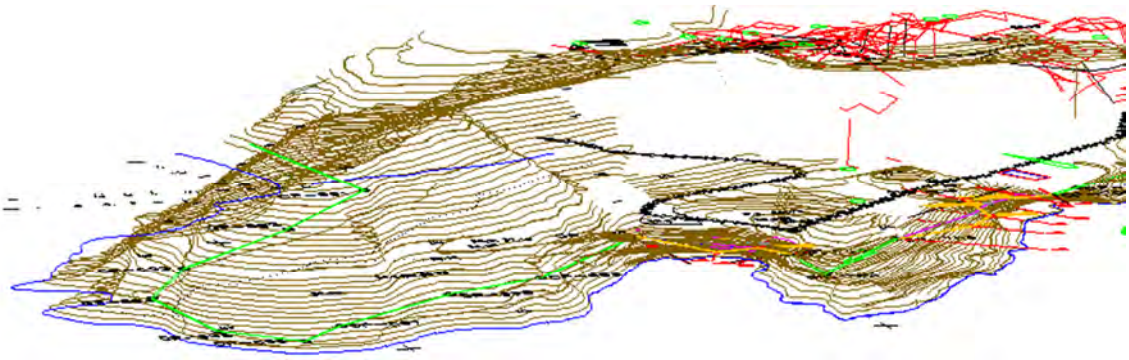


Figura 4.1.- MDT de la cartografía por Costas.



Figura 4.2.- MDT de la cartografía LIDAR.

4.2. GENERACION DE PERFILES

Una vez creado el MDT, con el software PowerCivil SS2 de la mima empresa que el anterior software, se procedió a realizar el curvado del mismo con una equidistancia de curvas de nivel de 0.5 metros, plano 2.

En los dos tramos de estudio se trazaron ejes lo más perpendiculares posible a las curvas de nivel, plano 3, generando a partir de ellos los perfiles del terreno planos 4A y 4B, correspondientes a cada tramo de estudio.

4.3. DETERMINACION DE PENDIENTES Y PUNTOS PROPUESTOS

La determinación para que un acantilado sea sensiblemente vertical se realiza tomando la media de la inclinación de los puntos donde se situaran los vértices o el paso de la línea que une los mismos.

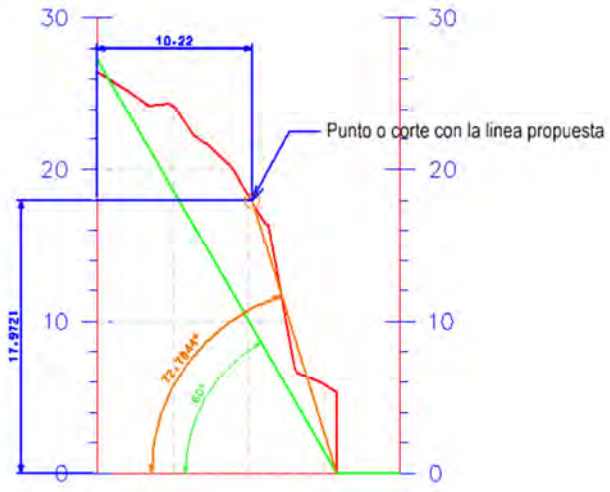
En el presente estudio se han realizado dos conjuntos de perfiles, unos para el tramo comprendido entre el DP700 y el DP703, y otros para el tramo entre el DP 705 y el DP709.

En ambos casos se propone la situación de los vértices y se comprueba que la media de inclinación es igual o superior a 60º sexagesimales.

En el primer tramo se han realizado tres perfiles mientras que en el segundo cuatro, plano 4A y 4B

La medición de ángulos se realiza desde la curva de nivel de cota 0 con la horizontal.

Para la determinación de las coordenadas del punto, se toma la distancia en el perfil y se traslada sobre la traza o planta correspondiente, obteniendo la planimetría. Por otro lado la cota del punto se obtiene sobre el perfil.





Así se proponen entre los DP700 Y 703 situar dos vértices, en las coordenadas:

A, 648586.242, 4158473.807, 27.128

B, 648591.524, 4158466.396, 23.659

Y entre los DP705 y 709 tres:

C, 648640.896, 4158482.320, 18.037

D, 648646.748, 4158491.682, 19.471

E, 648656.703, 4158499.218, 20.259

Estos puntos se reflejan en el plano 5, junto con la poligonal resultante.

5. ANALISIS DE RESULTADOS

Siguiendo la metodología antes descrita se han obtenido los vértices de las poligonales para cada tramo, DP-700 a DP-703 y DP-705 a DP-709,

El análisis de la verticalidad del primer tramo, da como media de inclinación 64.08 grados sexagesimales, y por tanto cumple con la norma.

Perfil	Inclinación	Cumple
1	66.93	Si
2	62.35	Si
3	62.96	Si
Media	64.08	

El análisis del segundo tramo da como media 63.34 grados sexagesimales y por tanto también cumple con la norma.

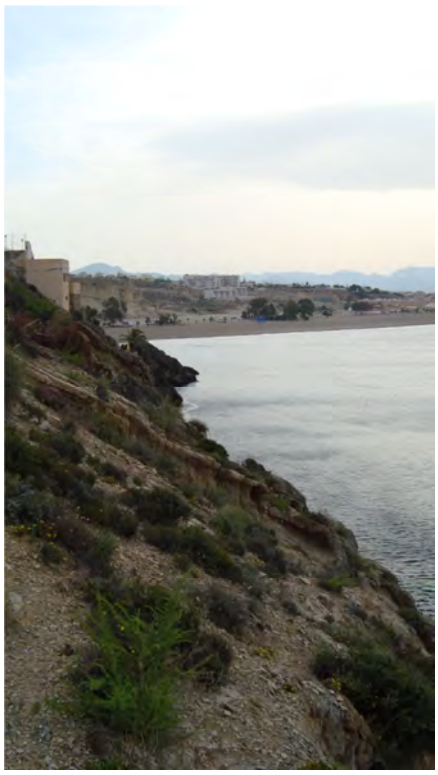
Perfil	Inclinación	Cumple
4	59.05	No
5	56.16	No
6	65.39	Si
7	72.78	Si
Media	63.345	

Por otro lado, los puntos propuestos nunca están por el interior de la línea de ZMT, Plano 6.

6. ANEJO FOTOGRAFICO















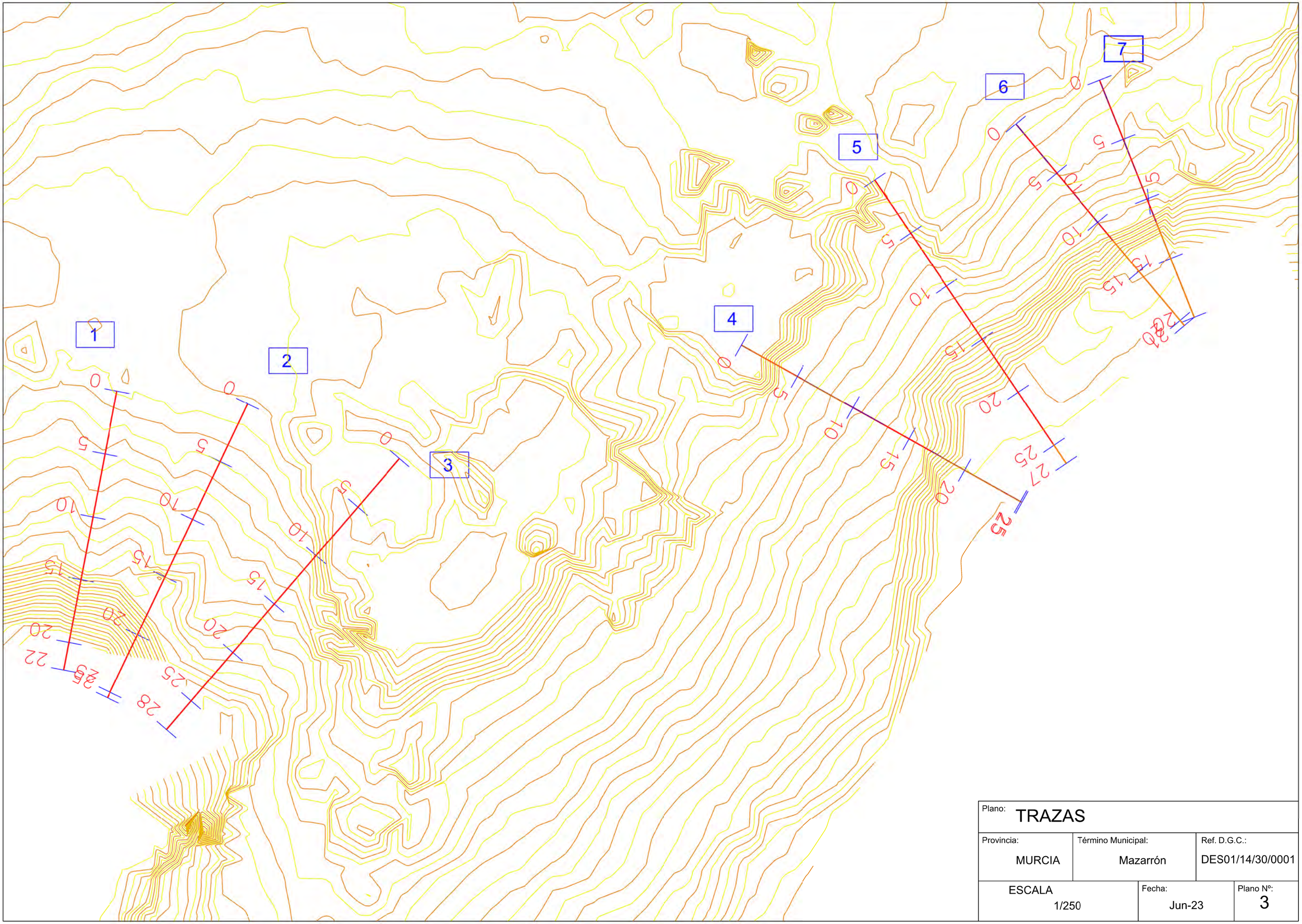




Plano: SITUACION			
Provincia: MURCIA	Término Municipal: Mazarrón	Ref. D.G.C.: DES01/14/30/0001	
ESCALA 1/5.000	Fecha: Jun-23	Plano Nº: 1	

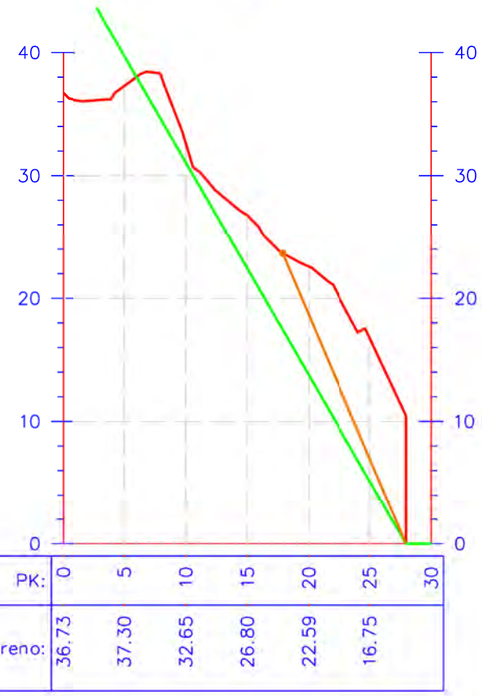


Plano: CURVADO			
Provincia: MURCIA	Término Municipal: Mazarrón	Ref. D.G.C.: DES01/14/30/0001	
ESCALA 1/1.000	Fecha: Jun-23	Plano Nº: 2	



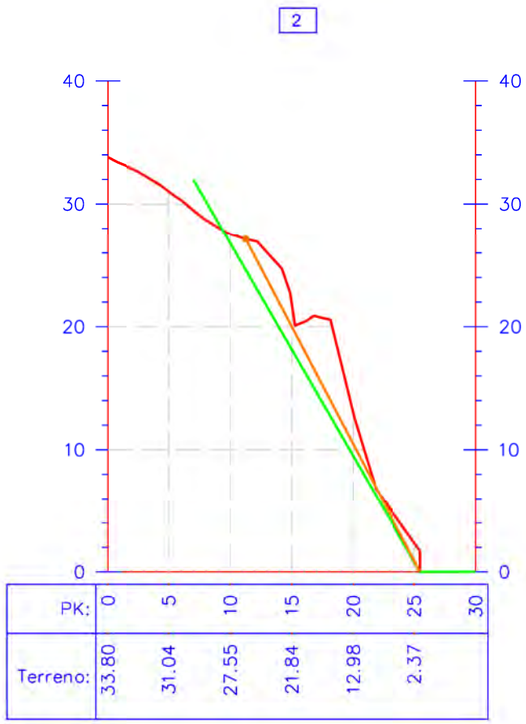
Plano: TRAZAS		
Provincia: MURCIA	Término Municipal: Mazarrón	Ref. D.G.C.: DES01/14/30/0001
ESCALA 1/250	Fecha: Jun-23	Plano Nº: 3

1



PK:	0	5	10	15	20	25	30
Terreno:	36.73	37.30	32.65	26.80	22.59	16.75	

2



PK:	0	5	10	15	20	25	30
Terreno:	33.80	31.04	27.55	21.84	12.98	2.37	

3

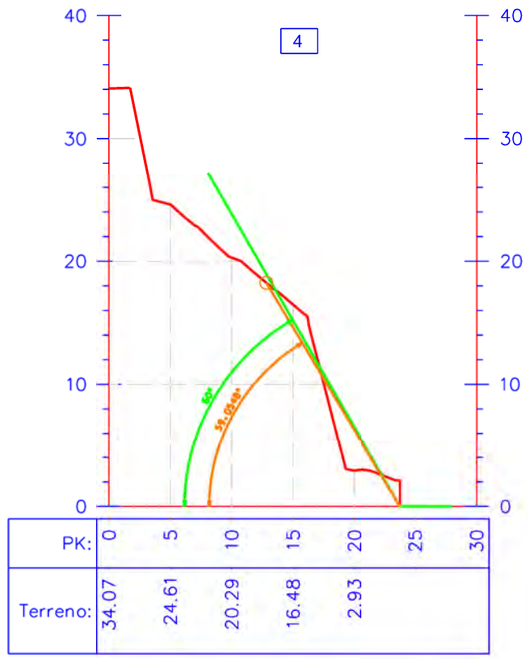


PK:	0	5	10	15	20	25
Terreno:	33.20	29.78	26.80	19.99	1.65	

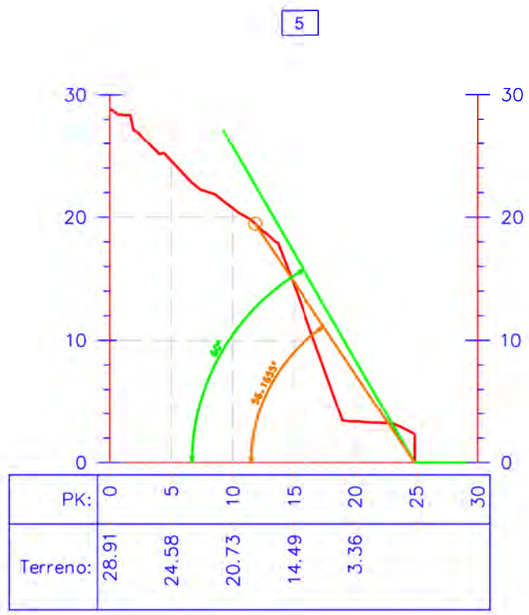
Plano: PERFILES

Provincia:	Término Municipal:	Ref. D.G.C.:
MURCIA	Mazarrón	DES01/14/30/0001

ESCALA	Fecha:	Plano Nº:
1/250	Jun-23	4A



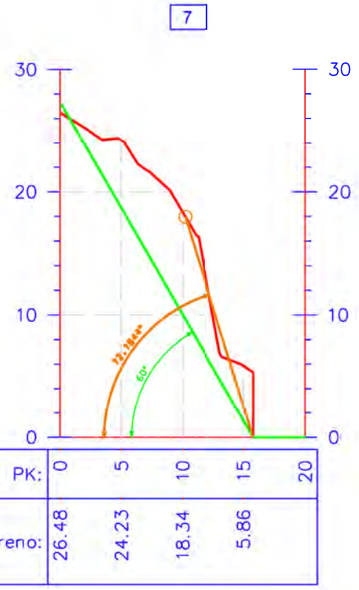
PK:	0	5	10	15	20	25	30
Terreno:	34.07	24.61	20.29	16.48	2.93		



PK:	0	5	10	15	20	25	30
Terreno:	28.91	24.58	20.73	14.49	3.36		

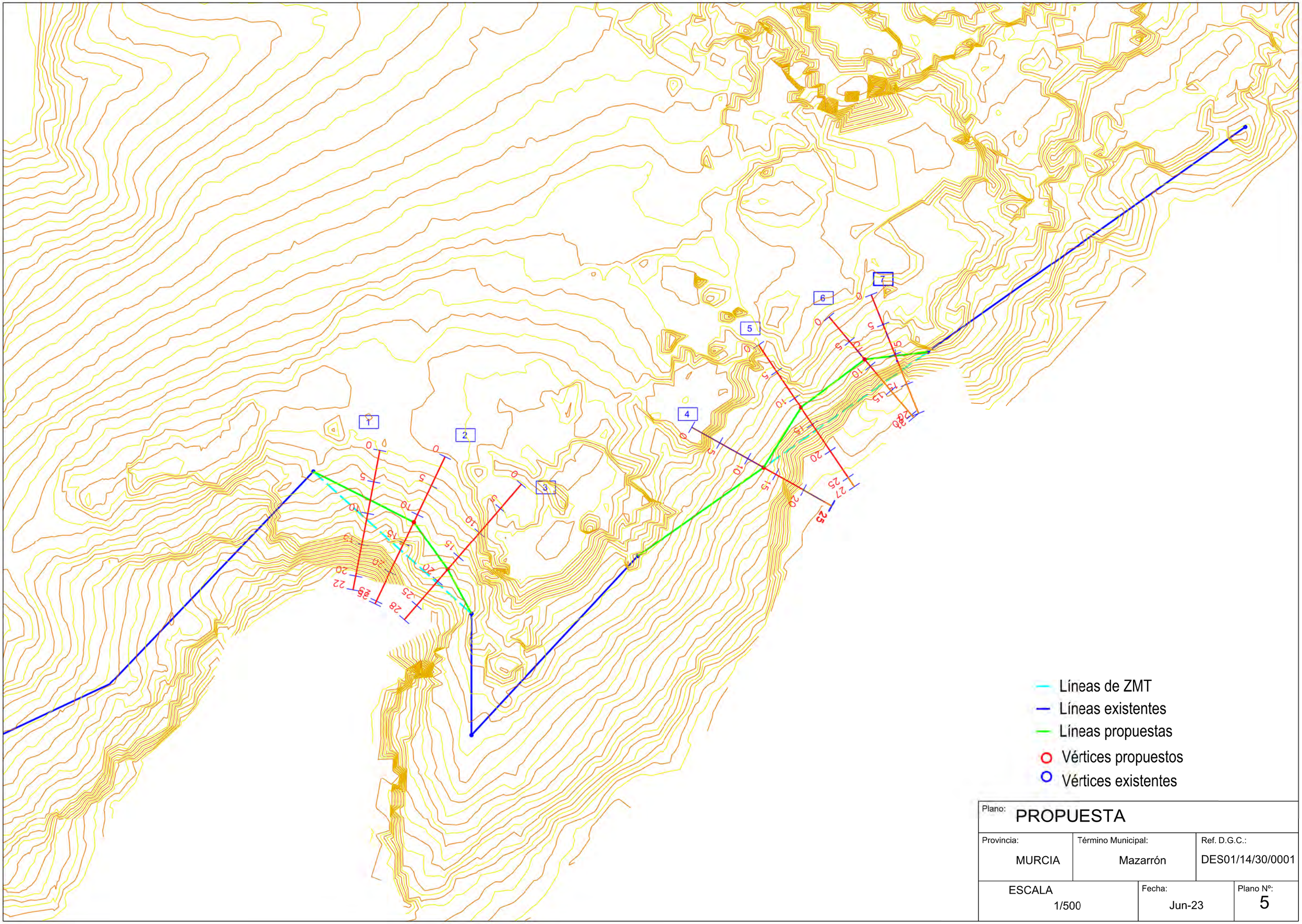


PK:	0	5	10	15	20	25
Terreno:	27.81	24.11	18.09	6.22		



PK:	0	5	10	15	20
Terreno:	26.48	24.23	18.34	5.86	

Plano: PERFILES		
Provincia: MURCIA	Término Municipal: Mazarrón	Ref. D.G.C.: DES01/14/30/0001
ESCALA 1/250	Fecha: Jun-23	Plano Nº: 4B



Plano: PROPUESTA		
Provincia: MURCIA	Término Municipal: Mazarrón	Ref. D.G.C.: DES01/14/30/0001
ESCALA 1/500	Fecha: Jun-23	Plano Nº: 5



Plano: PROPUESTA SOBRE ORTOFOTO

Provincia:	Término Municipal:	Ref. D.G.C.:
MURCIA	Mazarrón	DES01/14/30/0001

ESCALA	Fecha:	Plano Nº:
1/500	Jun-23	6