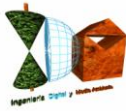


# **ESTUDIO DE COTA DE MÁXIMA INUNDACIÓN EN LOS TERRENOS SITUADOS A PONIENTE DEL PUERTO DE ESTEPONA, EN EL T.M. DE ESTEPONA (MÁLAGA)**





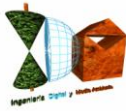
0.- INTRODUCCIÓN .....	3
1.- CÁLCULO DE LA COTA DE MÁXIMA INUNDACIÓN EN APLICACIÓN DEL REGLAMENTO GENERAL DE COSTAS (ART. 4 a. y 4 b.) .....	4
1.1- ASPECTOS GENERALES DE LA METODOLOGÍA APLICADA .....	4
1.2- ANÁLISIS DE DATOS DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN PARA EL DISEÑO DEL TEMPORAL.....	12
1.2.1- ANÁLISIS DE DATOS DE MAREÓGRAFOS.....	13
1.2.2- ANÁLISIS DE DATOS DE LAS BOYAS.....	33
1.3- PROPAGACIÓN DEL OLEAJE .....	48
1.3.1- PRIMERA FASE DESDE LA BOYA A AGUAS INDEFINIDAS SEGÚN DIRECCIONES PRINCIPALES .....	48
1.3.2- SEGUNDA FASE DESDE PROFUNDIDADES INDEFINIDAS HASTA PIE DE COSTA.....	48
1.3.2.1- Fenómeno de Refracción y cálculo del coeficiente .....	49
1.3.2.2- Fenómeno de Asomeramiento y cálculo del coeficiente .....	51
1.3.2.3- Cálculo del coeficiente de Propagación .....	52
1.3.2.4- Teoría de asomeramiento de Shuto.....	52
1.3.2.5- Propagación hasta pie de costa en la zona de poniente del Puerto de Estepona .....	53
1.4- CÁLCULOS DE RUN-UP .....	59
1.5- COTA DE MÁXIMA INUNDACIÓN.....	63
2- CÁLCULO DE LA COTA DE INUNDACIÓN PRODUCIDA POR EL TEMPORAL DEL 20 DE FEBRERO DE 2016.....	69
2.1- METODOLOGÍA APLICADA .....	69
2.2- DATOS DEL TEMPORAL DEL DÍA 20 DE FEBRERO DE 2016 .....	69
2.2.1- NIVELES MAREALES DEL DÍA 20-02-2016.....	69
2.2.2- REGISTROS DE LA BOYA DE ALGECIRAS-PUNTA CARNERO DEL DÍA 20-02-2016.....	70
2.3- PROPAGACIÓN DEL OLEAJE .....	73
2.3.1- PRIMERA FASE DESDE LA BOYA A AGUAS INDEFINIDAS SEGÚN DIRECCIONES PRINCIPALES .....	73
2.3.2- SEGUNDA FASE DESDE PROFUNDIDADES INDEFINIDAS HASTA PIE DE COSTA.....	73
2.4- CÁLCULOS DE RUN-UP .....	76
2.5- COTA DE MÁXIMA INUNDACIÓN.....	76
3.- CÁLCULO DE LA COTA DE INUNDACIÓN PRODUCIDA POR EL TEMPORAL DEL 1 DE NOVIEMBRE DE 2015.) .....	99
3.1.- METODOLOGÍA APLICADA.....	99
3.2.- DATOS DEL TEMPORAL DEL DÍA 1 DE NOVIEMBRE DE 2015.....	99
3.2.1.- NIVELES MAREALES DEL DÍA 01-11-2015.....	99
3.2.2.- REGISTROS DE LA BOYA DE ALGECIRAS-PUNTA CARNERO DEL DÍA 01-11-2015.....	100
3.3.- PROPAGACIÓN DEL OLEAJE .....	102
3.3.1.- PRIMERA FASE DESDE LA BOYA A AGUAS INDEFINIDAS SEGÚN DIRECCIONES PRINCIPALES .....	102
3.3.2.- SEGUNDA FASE DESDE PROFUNDIDADES INDEFINIDAS HASTA PIE DE COSTA.....	102
3.4.- CÁLCULOS DE RUN-UP .....	105
3.5.- COTA DE MÁXIMA INUNDACIÓN.....	105
4.- TRABAJOS DE CAMPO .....	125
4.1.- PROSPECCIONES SOBRE EL TERRENO.....	125
4.1.1.- FOTOGRAFÍAS DE LAS ZONAS DE MUROS DESMORONADOS Y DEL ESTADO GENERAL DE DETERIORO (FALLAS) .....	127
4.1.2.- FOTOGRAFÍAS DE LA PENETRACIÓN DEL AGUA DE MAR POR LAS ZONAS DERRUIDAS Y DETERIORADAS EN EL TEMPORAL DEL 20 DE FEBRERO DE 2016 .....	134
4.1.3.- FOTOGRAFÍAS DE LAS ZONAS DE ACUMULACIÓN DE MATERIALES SUELTOS (ARENAS SEDIMENTADAS) Y DE ZONAS DUNARES .....	138
4.1.4.- FOTOGRAFÍAS DE LAS INFILTRACIONES DEL AGUA DE MAR A TRAVÉS DE LAS ZONAS DERRUIDAS Y FALLAS DEL MURO, TAMBIÉN EN ESTADOS DE MAR ORDINARIOS DE AUSENCIA DE TEMPORAL .....	150
4.2.- LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON GPS DE PRECISIÓN .....	155



## 0. INTRODUCCIÓN

El presente estudio fue realizado, al objeto de determinar si los terrenos situados al oeste del Puerto de Estepona, en una plataforma emergente de terrenos ganados al mar, con una cota altimétrica reducida (inferior a 1,5 m. hasta las inmediaciones de la línea de edificaciones), resultaban inundables con temporales que cumplieran los criterios establecidos en el artículo 4 del Reglamento General de Costas (Real Decreto 876/2014). A lo largo del estudio se describen las metodologías y formulaciones empleadas, así como se establecen justificadamente los parámetros de partida para los cálculos, en cumplimiento de los criterios definidos en dicho artículo.

Los resultados justificados a lo largo del mismo, determinan que los temporales que cumplen con los preceptos reglamentarios, inundan la zona de estudio, habiéndose refutado esta conclusión, con los cálculos realizados en otros dos temporales concretos con alturas de ola inferiores al temporal que cumple con los criterios del Reglamento General de Costas, como fueron los sucedidos el día 1 de noviembre de 2015 y el 20 de febrero de 2016, en los que se constató la inundación de los terrenos de la plataforma.



## 1. CÁLCULO DE LA COTA DE MÁXIMA INUNDACIÓN EN APLICACIÓN DEL REGLAMENTO GENERAL DE COSTAS (ART. 4 a. y 4 b.)

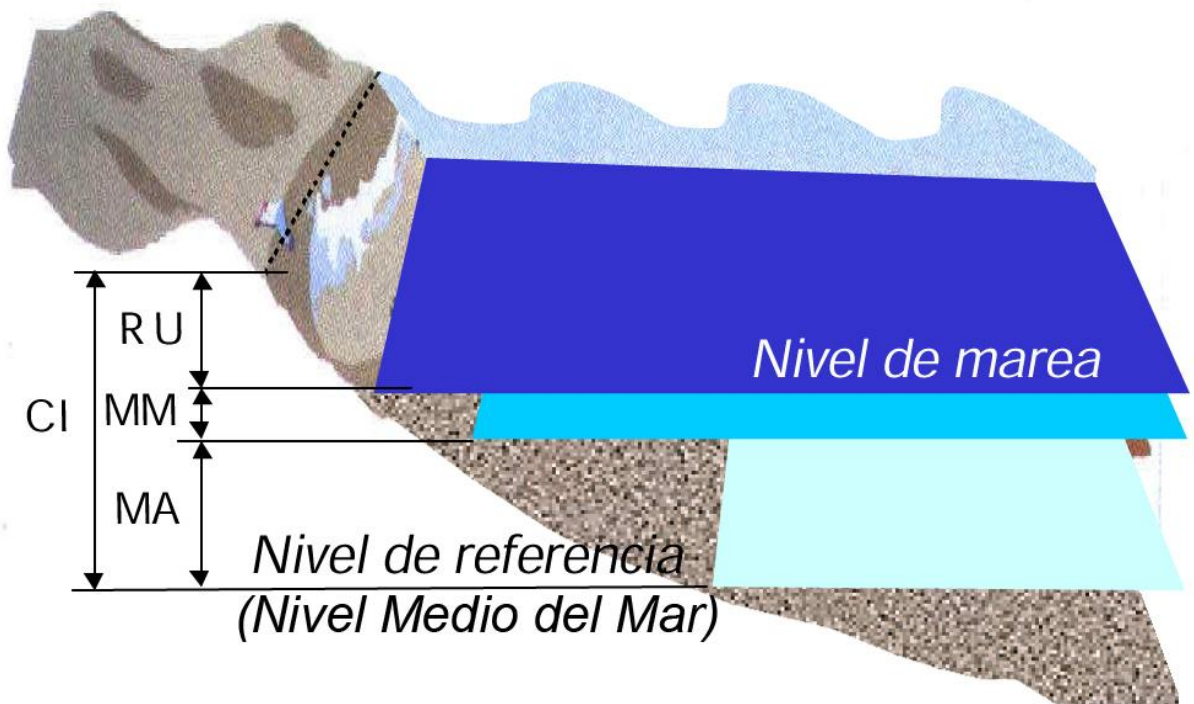
### 1.1 ASPECTOS GENERALES DE LA METODOLOGÍA APLICADA

Con base en los nuevos criterios del Reglamento General de Costas (Real Decreto 876/2014), y teniendo en cuenta aspectos metodológicos elaborados por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en colaboración con el G.I.O.C., Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria (documento temático del Atlas de Inundación del litoral peninsular español), para la estimación de los máximos niveles de inundación en episodios de temporal a pie del frente costero, se han realizado los estudios para la determinación de la cota de máxima inundación sobre los terrenos del frente costero de Estepona situados al oeste del Puerto, cuyos principales aspectos son los siguientes:

- Con carácter general, para el cálculo de cota de máxima inundación, 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 actúa 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 que se denomina run-up (RU). 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:



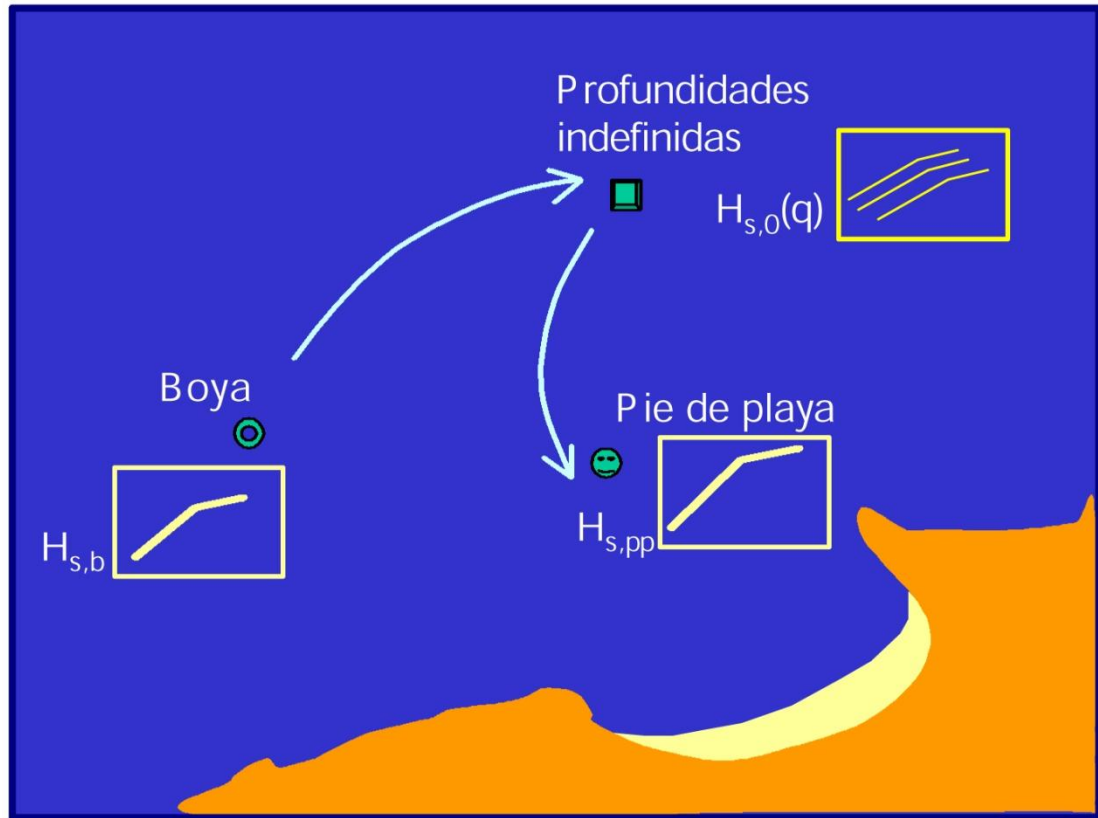
**MA:** Marea astronómica  
**MM:** Marea meteorológica  
**RU:** *Run-up*  
**CI:** Cota de inundación



- La cota de máximo alcance o cota de inundación CI, se evaluará a partir de los datos procedentes de medidas reales proporcionados por los instrumentos de medición de Puertos del Estado, y en concreto de los mareógrafos pertenecientes a la Red REDMAR y de las boyas de la Red REDCOS y REDEXT.
- Los datos de los mareógrafos proporcionarán los niveles de marea astronómica y marea meteorológica (residuo), y los datos de las boyas proporcionarán las alturas de oleajes a partir de los cuales se realizarán los cálculos para la estimación de la sobre elevación por oleaje debida al run-up.

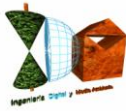
- En cumplimiento de lo establecido en el Reglamento General de Costas (Real Decreto 876/2014), se deberá obtener el alcance del oleaje de un temporal, cuya magnitud haya sido alcanzada cinco veces en un período de cinco años, a cuyo efecto se realizará un análisis de las series históricas de datos reales de oleajes de las boyas de la Red REDCOS, para determinar la altura de ola que cumpla con este precepto. Para la determinación del máximo alcance de este temporal (cota máxima) así determinado, se realizarán los cálculos y estimaciones del run-up con la altura de ola obtenida, a los que se sumarán los niveles mareales reales registrados por los mareógrafos de la Red REDMAR.
  
- La Red REDMAR, es la Red de instrumentos de medición de las mareas o mareógrafos, que el organismo de Puertos del Estado, tiene distribuidos a lo largo de la costa española, proporcionándonos datos mediante cada uno de estos dispositivos, de los niveles del mar de la zona geográfica en la que se encuentran instalados (suelen ubicarse en zonas portuarias), así como de su cronología. Las redes REDEXT y REDCOS son otras redes de instrumentos de medición también distribuidos por el litoral español, que nos proporcionan datos de los oleajes y parámetros de caracterización, como altura de ola significativa, altura de ola máxima, período de pico, dirección de procedencia, cronología de sucesos, etc..., mediante dispositivos denominados boyas que se encuentran fondeadas en el mar, en profundidades indefinidas los integrantes de la REDEXT y en profundidades intermedias o reducidas los de la REDCOS. Existen boyas escalares y boyas direccionales, cuya principal diferencia estriba en que estas últimas proporcionan la dirección de procedencia de los oleajes.
  
- Se admite la hipótesis de que los frentes de costa tienen batimetría recta y paralela (isobatas con una dirección predominante a lo largo de la franja de propagación), es decir, puede utilizarse la ley de Snell para obtener las características del oleaje en cualquier profundidad, conocidas las características en aguas profundas.
  
- La propagación del oleaje medido por la boya hasta pie de frente de costa se realiza en dos fases:

- ◇ a) 1ª fase: de la boya hacia aguas profundas (si es que se encuentra en aguas intermedias o de profundidades reducidas)
- ◇ b) 2ª fase: de aguas profundas hasta el frente de costa.



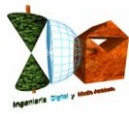
Se ilustran ambas fases en este ejemplo de propagación hasta el pie de un frente costero

- ◇ a) 1ª fase de propagación: de la boya hacia profundidades indefinidas. Tiene como objetivo fundamental recuperar la información direccional (cuando no se dispone de dicha información, en boyas escalares) del oleaje medido por la boya. En el procedimiento, se aplican los parámetros de ajuste que ligan la altura de ola significativa  $H_{s0}$  medida por la boya con la altura de ola visual  $H_{vo}$  de la base de datos de N.C.D.C. (National Climatic Data Center, de la que se asume tiene una información direccional correcta). Es decir, se intenta calibrar el régimen de altura de ola visual de modo tal que si se propagara hasta la boya, el régimen escalar en dicho punto coincidiera con el medido por la boya.
- ◇ b) 2ª fase de propagación: de profundidades indefinidas hasta el frente de costa. Una vez obtenido el régimen direccional en profundidades indefinidas, dicho régimen se propaga por Snell hasta



el frente de costa. En este punto se consideran las direcciones principales 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).

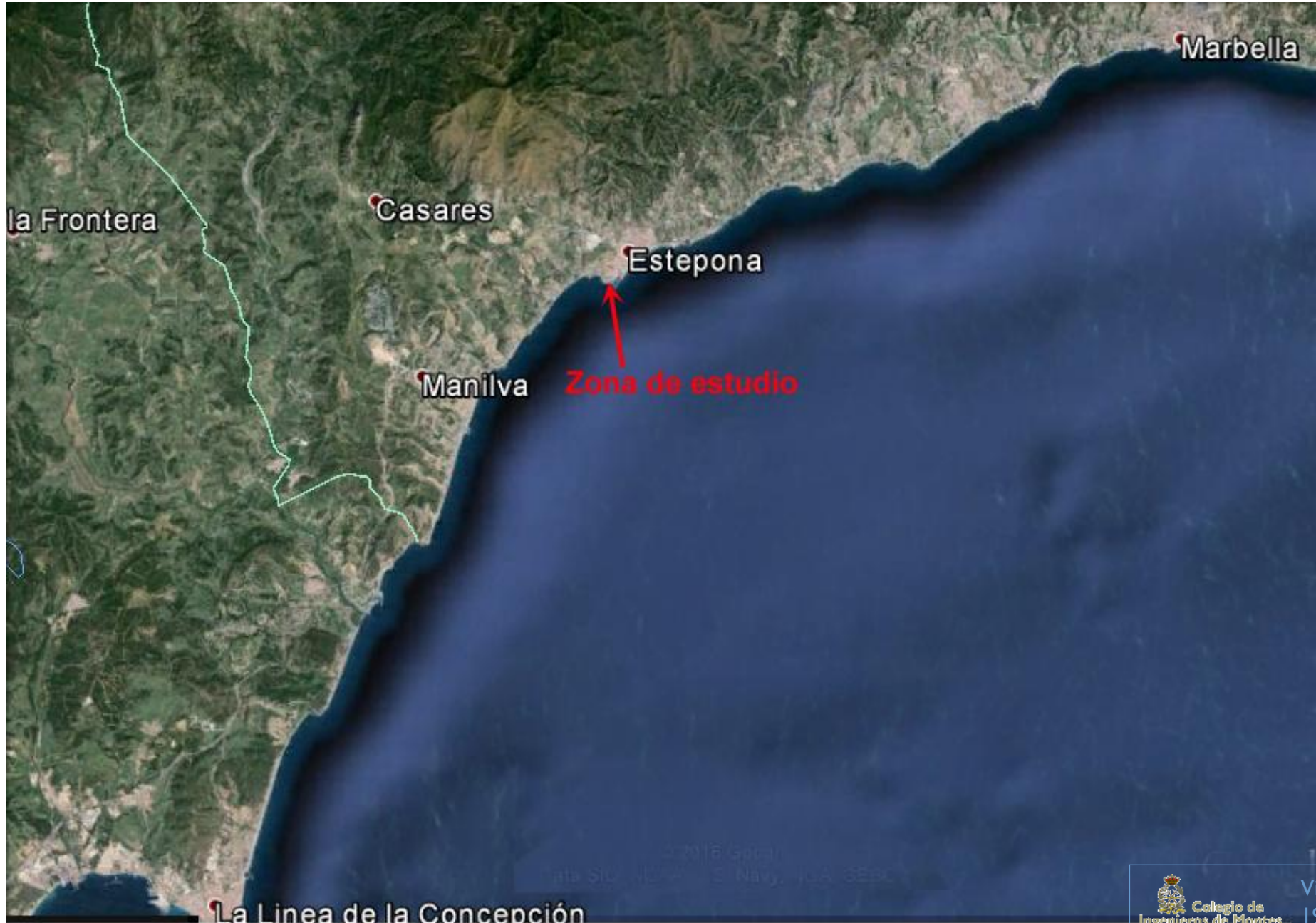
- Todos los trabajos han sido desarrollados sobre una base topobatimétrica-batimétrica a escala 1/1.000, con equidistancia de 1 m. en curvas de nivel e isobatas, a partir de los cuales se han obtenido los distintos parámetros de la morfología del frente de costa y del fondo marino, necesarios para las propagaciones y cálculos efectuados.



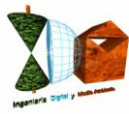
INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)

C/ Navarra nº 2, Urb. Alcor 1, 28280 El Escorial, Madrid

Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es



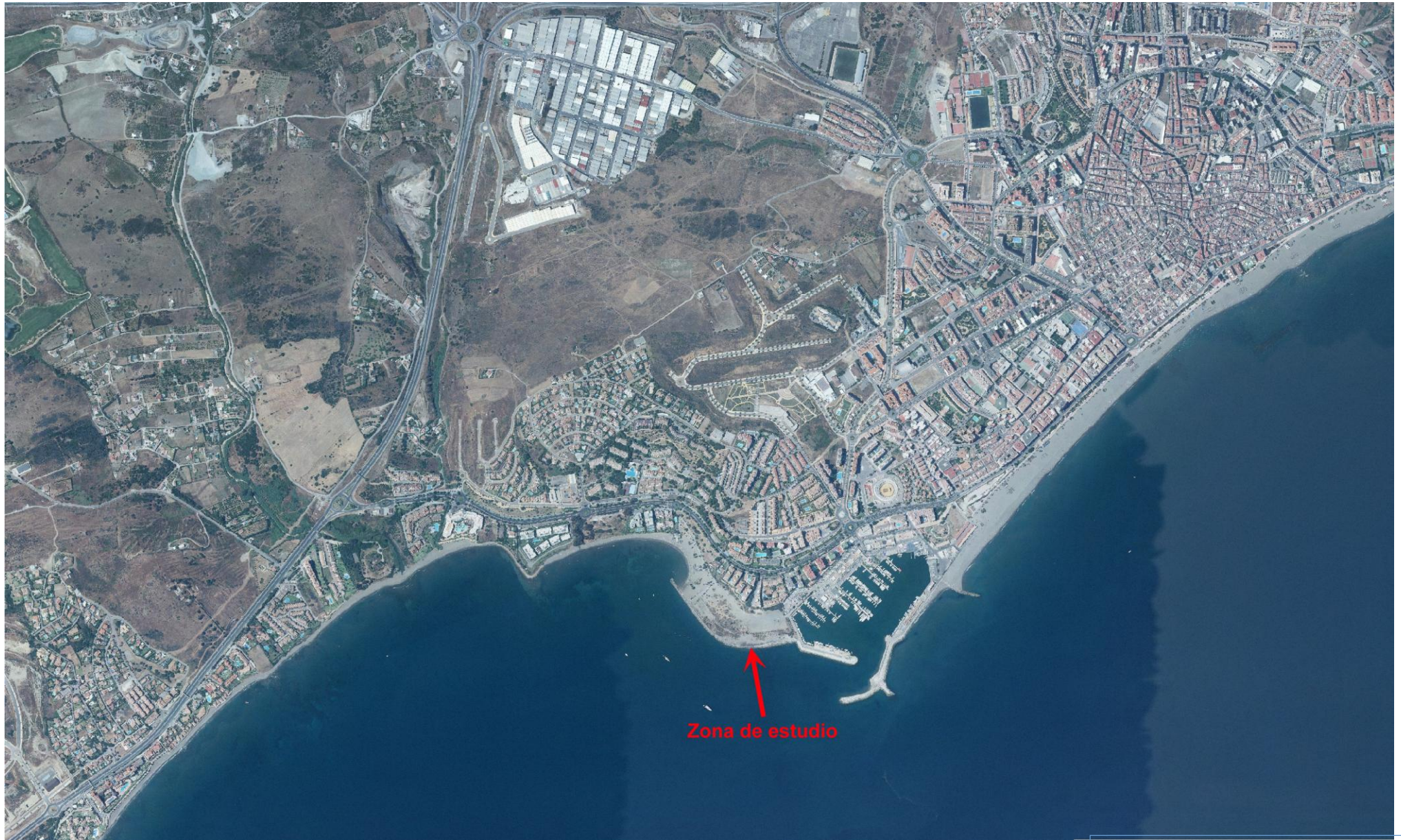




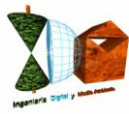
**INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)**

C/ Navarra nº 2, Urb. Alcor 1, 28280 El Escorial, Madrid

Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es







En color negro cotas terreno; líneas blancas finas en el mar = isobatas; líneas blancas en tierra = curvas de nivel; línea azul = curva de nivel cero.



## 1.2 ANÁLISIS DE DATOS DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN PARA EL DISEÑO DEL TEMPORAL

Para el cumplimiento del artículo 4.apartados a) y b) del Reglamento General de Costas (Real Decreto 876/2014), se ha estimado el alcance de la cota de máxima inundación en los terrenos situados al suroeste de la playa de la Rada, junto al Puerto de Estepona, sobre la base de los mayores temporales conocidos, definidos en el citado Reglamento, como aquéllos sucedidos con una recurrencia mínima de cinco ocasiones en un período de cinco años.

Al objeto de obtener los datos de los niveles del mar y parámetros del oleaje que determinan el temporal que cumple con los preceptos señalados, se ha realizado un análisis de las series históricas de datos reales de los mareógrafos de la Red REDMAR de Puertos del Estado de niveles de marea astronómica y marea meteorológica (residuo), así como de las series históricas de datos de los últimos cinco años de oleajes de las boyas de la Red REDEXT y REDCOS de Puertos del Estado, para determinar la altura de ola que se tomará como base para las estimaciones.

El artículo 4. a) y b) del Reglamento General de Costas (Real Decreto 876/2014) establece los criterios para la determinación de la zona marítimo-terrestre,

*“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. Dicho límite será el alcanzado al menos en 5 ocasiones en un periodo de 5 años, salvo en aquellos casos excepcionales en que la mejor evidencia científica existente demuestre la necesidad de utilizar otro criterio.*

*Para calcular el alcance de un temporal se utilizarán las máximas olas registradas con boyas o satélites o calculadas a través de datos oceanográficos o meteorológicos.*

*b) Las variaciones del nivel del mar debidas a las mareas incluirán los efectos superpuestos 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.”*

Teniendo en cuenta lo anterior, se han recopilado los datos históricos disponibles de los mareógrafos de Algeciras (3541) y Málaga (3546), de la Red REDMAR de Puertos del Estado de niveles de marea astronómica y marea meteorológica (residuo), así como de las boyas de Málaga (1514) REDCOS (Red de Boyas Costera), Alborán (1542) REDEXT (Red de Boyas de Aguas Profundas de Puertos del Estado) y Algeciras Punta Carnero (1504) REDCOS, para la obtención del temporal que cumpla con la condición Reglamentaria, de haber sido superado ó igualado en otros cuatro episodios de temporal (con lo cual se asegura una recurrencia de cinco temporales con magnitud igual ó superior a la del obtenido) en cuanto a los valores de cota de inundación producida, en un período de cinco años.

### 1.2.1. ANÁLISIS DE DATOS DE MAREÓGRAFOS

Para considerar la superposición completa de factores que pueden llegar a incidir en el nivel del mar en un episodio de temporal, se han tomado los registros reales de los mareógrafos de Málaga y Algeciras, que consideran tanto los componentes astronómicos, como los meteorológicos ó residuales. Estos valores de incrementos de niveles por ondas de largo período, deberán superponerse a los efectos de sobreelevación por remonte del oleaje (ondas de período corto), para la obtención del máximo nivel alcanzado.

Se adjunta a continuación los datos y parámetros de referencia de Algeciras (3541) y Málaga (3546) en las series históricas disponibles (Base documental de Puertos del Estado)

#### -MAREÓGRAFO DE ALGECIRAS

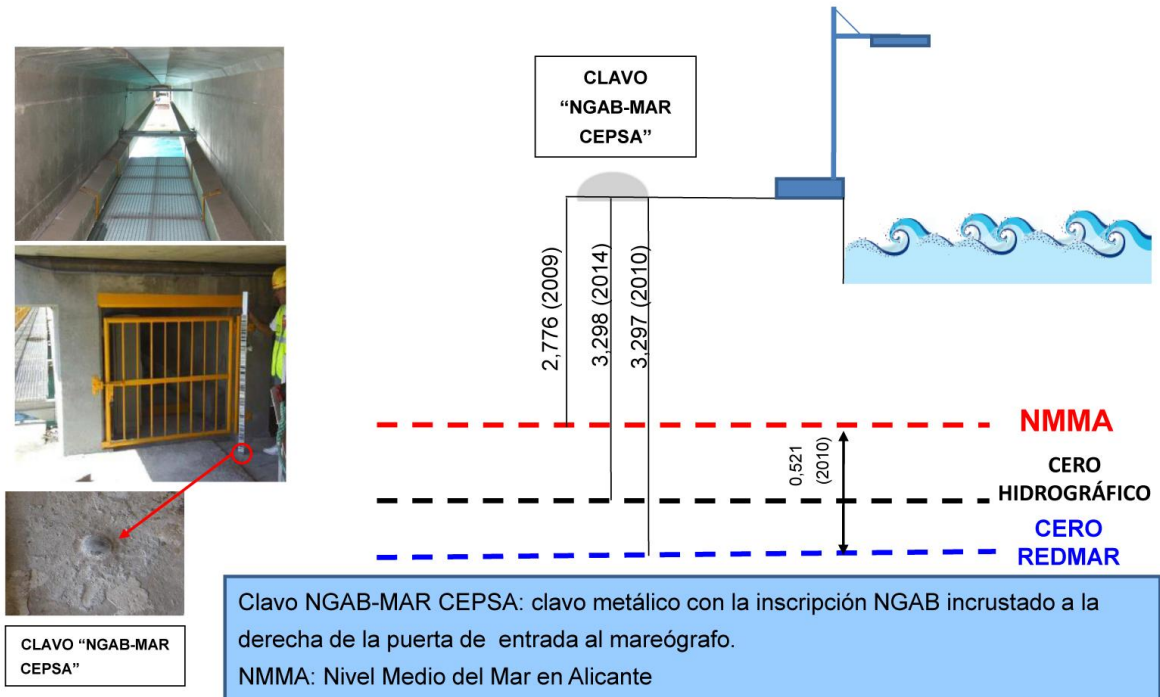
##### Datos del Mareógrafo

Nombre:	<b>Algeciras</b>
ID/Código:	<b>3541</b>
Longitud:	<b>5.40° W</b>
Latitud:	<b>36.18° N</b>
Cadencia:	<b>1 minutos</b>
Inicio de medidas:	<b>22/07/2009</b>
Fin de medidas:	<b>12/04/2016</b>
Tipo de sensor:	<b>Radar</b>
Modelo:	<b>Miros</b>
Conjunto de Datos:	<b>REDMAR</b>

Ubicación:	<b>Situado en pantalán de la refinería Gibraltar de CEPSA.</b>
------------	--

**Parámetros de Referencia Altimétrica**

**ESQUEMA DATUM MAREÓGRAFO REDMAR ALGECIRAS**  
 (cotas en metros)



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



**Series de Datos Anuales (Referencia Cero Redmar)**

AÑO 2009						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	-	-	-	-	-	0
Feb./Feb.	-	-	-	-	-	0
Mar./Mar.	-	-	-	-	-	0
Abr./Abr.	-	-	-	-	-	0
May./May.	-	-	-	-	-	0
Jun./Jun.	-	-	-	-	-	0
Jul./Jul.	-	130	22	9	25	49
Ago./Aug.	69	103	21	13	21	94
Sep./Sep.	72	122	19	7	19	98
Oct./Oct.	75	133	20	22	17	98
Nov./Nov.	66	120	2	13	3	100
Dic./Dec.	77	143	22	8	4	99

AÑO 2010						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	72	136	7	12	31	99
Feb./Feb.	81	152	16	14	2	100
Mar./Mar.	73	144	2	-1	31	100
Abr./Abr.	69	131	15	11	2	100
May./May.	64	113	1	11	29	100
Jun./Jun.	68	164	2	21	14	99
Jul./Jul.	70	124	12	16	14	99
Ago./Aug.	73	140	12	16	11	100
Sep./Sep.	74	135	9	9	9	100
Oct./Oct.	77	136	9	14	7	100
Nov./Nov.	71	138	30	10	8	100
Dic./Dec.	81	148	22	23	24	99



AÑO 2011						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	72	135	24	16	22	99
Feb./Feb.	61	119	20	-2	19	100
Mar./Mar.	70	128	22	5	19	100
Abr./Abr.	69	139	19	13	17	100
May./May.	71	129	19	12	16	100
Jun./Jun.	69	122	16	23	19	99
Jul./Jul.	69	127	31	19	16	100
Ago./Aug.	71	140	1	12	29	100
Sep./Sep.	70	134	28	8	28	100
Oct./Oct.	75	141	26	23	26	83
Nov./Nov.	-	126	26	16	25	78
Dic./Dec.	60	117	26	8	24	99

AÑO 2012						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	60	113	11	5	6	99
Feb./Feb.	57	118	11	-7	6	100
Mar./Mar.	57	107	9	-6	10	100
Abr./Abr.	64	122	7	7	8	86
May./May.	63	116	6	9	6	100
Jun./Jun.	63	116	7	13	5	99
Jul./Jul.	69	121	7	18	4	100
Ago./Aug.	71	135	2	18	31	100
Sep./Sep.	76	138	17	17	1	100
Oct./Oct.	76	142	18	18	15	100
Nov./Nov.	81	139	14	18	15	100
Dic./Dec.	64	133	14	10	16	99



AÑO 2013						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	56	119	13	5	11	100
Feb./Feb.	59	117	28	5	12	100
Mar./Mar.	72	127	28	7	14	99
Abr./Abr.	66	124	25	12	27	100
May./May.	64	116	27	6	23	100
Jun./Jun.	61	113	27	4	24	100
Jul./Jul.	69	132	24	18	23	100
Ago./Aug.	74	138	23	15	21	100
Sep./Sep.	74	128	5	9	18	100
Oct./Oct.	74	132	19	20	16	100
Nov./Nov.	71	125	18	-1	5	99
Dic./Dec.	68	130	5	16	5	92

AÑO 2014						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	-	129	19	11	31	71
Feb./Feb.	56	116	1	-6	28	100
Mar./Mar.	58	120	30	-12	3	100
Abr./Abr.	66	126	2	16	16	99
May./May.	67	129	17	9	15	100
Jun./Jun.	67	127	16	14	13	100
Jul./Jul.	67	128	14	18	11	100
Ago./Aug.	69	124	13	12	12	100
Sep./Sep.	73	134	10	16	10	100
Oct./Oct.	77	136	9	20	9	100
Nov./Nov.	80	151	28	10	8	100
Dic./Dec.	68	128	4	7	25	100

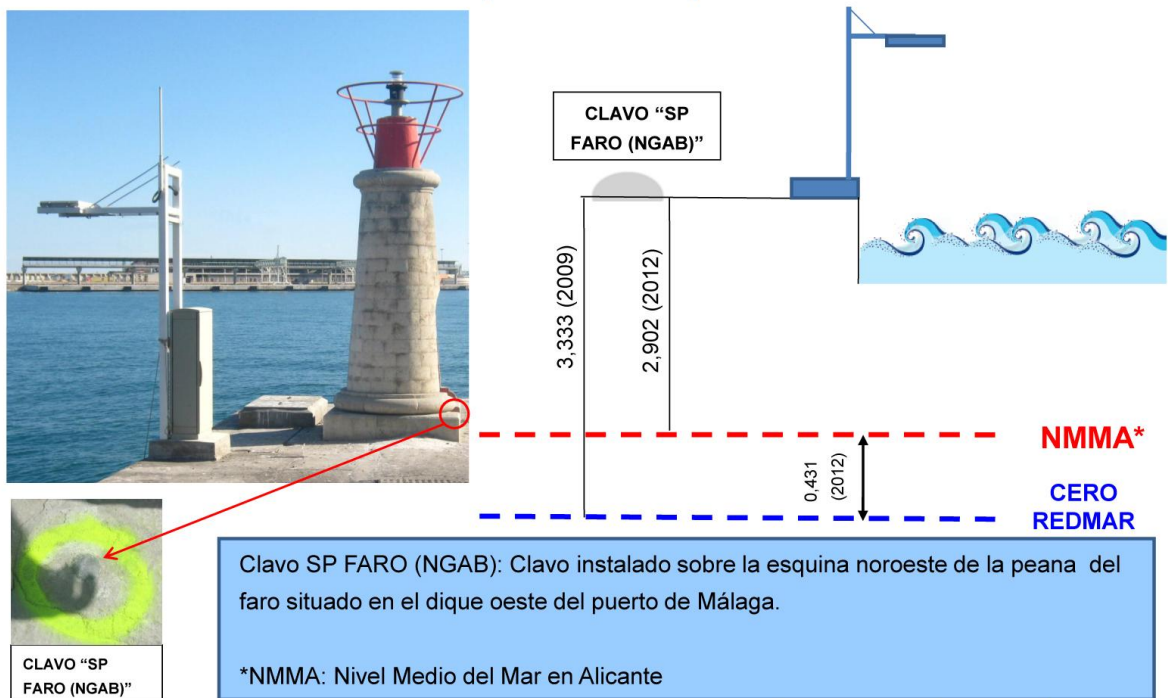
## -MAREÓGRAFO DE MÁLAGA

### Datos del Mareógrafo

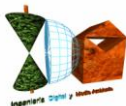
Nombre:	<b>Málaga 3</b>
Código:	<b>3546</b>
Longitud:	<b>4.42° W</b>
Latitud:	<b>36.71° N</b>
Cadencia:	<b>1 minutos</b>
Inicio de medidas:	<b>01/07/1992</b>
Fin de medidas:	<b>18/04/2016</b>
Tipo de sensor:	<b>Radar</b>
Modelo:	<b>Miros</b>
Conjunto de Datos:	<b>REDMAR</b>
Ubicación:	<b>Situado junto a la baliza roja en el Muelle 67 Transversal de poniente.</b>

### Parámetros de Referencia Altimétrica

#### ESQUEMA DATUM MAREÓGRAFO REDMAR MÁLAGA3 (cotas en metros)



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

**Series de Datos Anuales (Referencia Cero Redmar)**

AÑO 1992						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Jul./Jul.	61	101	30	18	3	100
Ago./Aug.	62	106	28	17	29	100
Sep./Sep.	57	107	26	18	1	100
Oct./Oct.	61	107	16	18	27	100
Nov./Nov.	49	87	24	14	11	100
Dic./Dec.	57	97	24	11	8	100

AÑO 1993						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	46	85	31	3	7	100
Feb./Feb.	53	93	4	11	9	100
Mar./Mar.	52	101	9	8	26	100
Abr./Abr.	49	86	9	7	7	100
May./May.	54	95	5	13	7	99
Jun./Jun.	53	94	21	17	3	100
Jul./Jul.	58	97	24	15	3	100
Ago./Aug.	61	110	20	24	18	96
Sep./Sep.	57	98	17	19	15	93
Oct./Oct.	60	109	31	11	3	99
Nov./Nov.	68	112	1	18	15	99
Dic./Dec.	50	98	14	5	31	100





AÑO 1994						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
<i>Month</i>	<i>Mean Level</i>	<i>Max. Level</i>	<i>Max. Level Date</i>	<i>Min. Level</i>	<i>Min. Level Date</i>	<i>Efficiency</i>
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	41	86	7	-10	28	99
Feb./Feb.	51	103	28	3	9	100
Mar./Mar.	46	99	1	8	27	99
Abr./Abr.	46	90	24	5	27	99
May./May.	53	91	23	12	25	99
Jun./Jun.	54	97	25	16	10	96
Jul./Jul.	62	97	23	25	10	100
Ago./Aug.	62	102	21	22	11	99
Sep./Sep.	61	107	7	18	19	99
Oct./Oct.	69	114	7	23	21	97
Nov./Nov.	61	118	4	20	18	99
Dic./Dec.	55	110	2	14	21	98

AÑO 1995						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
<i>Month</i>	<i>Mean Level</i>	<i>Max. Level</i>	<i>Max. Level Date</i>	<i>Min. Level</i>	<i>Min. Level Date</i>	<i>Efficiency</i>
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	47	94	1	1	2	95
Feb./Feb.	47	90	28	7	3	91
Mar./Mar.	51	100	16	10	5	90
Abr./Abr.	56	99	19	15	30	100
May./May.	53	90	16	9	14	100
Jun./Jun.	61	101	12	19	15	100
Jul./Jul.	61	101	13	24	12	99
Ago./Aug.	65	101	13	18	11	100
Sep./Sep.	59	101	1	22	27	99
Oct./Oct.	66	102	25	26	8	100
Nov./Nov.	68	113	11	25	22	100
Dic./Dec.	73	122	15	26	24	100

AÑO 1996						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
<i>Month</i>	<i>Mean Level</i>	<i>Max. Level</i>	<i>Max. Level Date</i>	<i>Min. Level</i>	<i>Min. Level Date</i>	<i>Efficiency</i>
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	75	126	22	32	2	100
Feb./Feb.	58	111	1	8	7	100
Mar./Mar.	64	106	8	26	18	100
Abr./Abr.	57	95	22	18	7	100
May./May.	56	101	4	22	20	100
Jun./Jun.	56	93	3	14	4	100
Jul./Jul.	60	104	2	16	3	99
Ago./Aug.	61	101	1	21	29	100
Sep./Sep.	-	104	1	38	1	22
Oct./Oct.	-	120	14	23	15	75
Nov./Nov.	57	115	12	8	26	100
Dic./Dec.	70	133	22	23	10	100

AÑO 1997						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
<i>Month</i>	<i>Mean Level</i>	<i>Max. Level</i>	<i>Max. Level Date</i>	<i>Min. Level</i>	<i>Min. Level Date</i>	<i>Efficiency</i>
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	69	109	20	20	10	100
Feb./Feb.	46	88	7	9	9	100
Mar./Mar.	55	100	25	14	8	100
Abr./Abr.	60	111	8	26	4	100
May./May.	60	101	25	16	8	100
Jun./Jun.	62	98	1	18	23	100
Jul./Jul.	57	101	22	14	7	99
Ago./Aug.	63	99	21	24	18	100
Sep./Sep.	70	114	17	29	15	100
Oct./Oct.	73	118	17	31	14	100
Nov./Nov.	67	115	3	18	30	100
Dic./Dec.	65	113	17	18	27	100



1998						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
<i>Month</i>	<i>Mean Level</i>	<i>Max. Level</i>	<i>Max. Level Date</i>	<i>Min. Level</i>	<i>Min. Level Date</i>	<i>Efficiency</i>
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	57	112	28	12	2	99
Feb./Feb.	56	110	3	7	26	98
Mar./Mar.	52	109	29	11	15	95
Abr./Abr.	52	89	26	9	28	100
May./May.	59	99	27	25	25	100
Jun./Jun.	58	94	27	19	13	100
Jul./Jul.	63	98	14	22	11	99
Ago./Aug.	67	105	9	31	22	96
Sep./Sep.	67	106	22	27	9	100
Oct./Oct.	56	103	5	16	7	100
Nov./Nov.	61	107	4	27	6	99
Dic./Dec.	57	110	2	19	21	100

1999						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
<i>Month</i>	<i>Mean Level</i>	<i>Max. Level</i>	<i>Max. Level Date</i>	<i>Min. Level</i>	<i>Min. Level Date</i>	<i>Efficiency</i>
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	53	108	1	7	3	99
Feb./Feb.	52	91	27	11	17	100
Mar./Mar.	55	92	20	12	18	100
Abr./Abr.	50	101	15	6	17	99
May./May.	54	98	16	12	19	100
Jun./Jun.	58	101	1	19	14	98
Jul./Jul.	62	103	17	21	1	100
Ago./Aug.	64	100	25	22	11	100
Sep./Sep.	66	104	11	25	28	94
Oct./Oct.	67	114	25	30	27	99
Nov./Nov.	67	109	12	23	7	100
Dic./Dec.	51	94	23	7	26	97

AÑO 2000						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
<i>Month</i>	<i>Mean Level</i>	<i>Max. Level</i>	<i>Max. Level Date</i>	<i>Min. Level</i>	<i>Min. Level Date</i>	<i>Efficiency</i>
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	56	96	20	20	18	100
Feb./Feb.	48	90	19	8	9	100
Mar./Mar.	52	96	21	11	8	100
Abr./Abr.	57	106	2	5	18	100
May./May.	60	105	4	24	1	100
Jun./Jun.	58	106	4	21	2	100
Jul./Jul.	62	105	3	23	30	99
Ago./Aug.	62	106	31	23	28	99
Sep./Sep.	64	103	29	26	30	99
Oct./Oct.	60	109	12	21	17	100
Nov./Nov.	57	100	13	17	26	100
Dic./Dec.	62	112	22	16	13	100

AÑO 2001						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
<i>Month</i>	<i>Mean Level</i>	<i>Max. Level</i>	<i>Max. Level Date</i>	<i>Min. Level</i>	<i>Min. Level Date</i>	<i>Efficiency</i>
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	56	104	12	14	30	100
Feb./Feb.	52	97	7	4	9	99
Mar./Mar.	60	102	7	19	30	98
Abr./Abr.	52	96	24	2	9	99
May./May.	56	93	23	21	5	100
Jun./Jun.	58	102	24	23	19	100
Jul./Jul.	58	102	23	12	22	100
Ago./Aug.	65	102	20	23	21	100
Sep./Sep.	-	115	18	33	17	60
Oct./Oct.	-	97	31	39	31	14
Nov./Nov.	73	121	15	26	29	97
Dic./Dec.	68	109	15	26	16	96



AÑO 2002						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
<i>Month</i>	<i>Mean Level</i>	<i>Max. Level</i>	<i>Max. Level Date</i>	<i>Min. Level</i>	<i>Min. Level Date</i>	<i>Efficiency</i>
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	57	106	2	17	28	100
Feb./Feb.	54	100	28	18	1	100
Mar./Mar.	58	112	28	23	18	100
Abr./Abr.	63	116	11	20	24	100
May./May.	55	91	1	12	24	100
Jun./Jun.	59	94	24	16	10	100
Jul./Jul.	63	96	20	23	12	100
Ago./Aug.	64	102	9	21	11	100
Sep./Sep.	68	110	8	25	10	100
Oct./Oct.	66	117	8	30	11	100
Nov./Nov.	66	122	14	15	4	100
Dic./Dec.	66	105	27	18	31	100

AÑO 2003						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
<i>Month</i>	<i>Mean Level</i>	<i>Max. Level</i>	<i>Max. Level Date</i>	<i>Min. Level</i>	<i>Min. Level Date</i>	<i>Efficiency</i>
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	55	96	2	12	19	100
Feb./Feb.	59	111	19	7	1	99
Mar./Mar.	60	107	22	10	2	100
Abr./Abr.	65	109	16	20	17	100
May./May.	60	101	17	22	15	100
Jun./Jun.	66	101	13	24	15	100
Jul./Jul.	60	99	15	23	16	100
Ago./Aug.	66	106	28	24	29	100
Sep./Sep.	68	109	28	24	11	100
Oct./Oct.	75	129	25	38	8	100
Nov./Nov.	72	134	23	29	26	100
Dic./Dec.	68	115	10	14	23	100



AÑO 2004						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
<i>Month</i>	<i>Mean Level</i>	<i>Max. Level</i>	<i>Max. Level Date</i>	<i>Min. Level</i>	<i>Min. Level Date</i>	<i>Efficiency</i>
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	58	94	24	15	21	100
Feb./Feb.	61	128	21	12	8	100
Mar./Mar.	57	99	29	12	23	100
Abr./Abr.	60	101	9	16	20	100
May./May.	62	110	2	18	5	100
Jun./Jun.	62	102	7	19	4	99
Jul./Jul.	65	107	6	26	3	100
Ago./Aug.	65	108	2	28	15	100
Sep./Sep.	68	106	29	28	16	100
Oct./Oct.	69	108	28	28	14	100
Nov./Nov.	68	115	12	29	14	100
Dic./Dec.	64	109	12	7	28	100

AÑO 2005						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
<i>Month</i>	<i>Mean Level</i>	<i>Max. Level</i>	<i>Max. Level Date</i>	<i>Min. Level</i>	<i>Min. Level Date</i>	<i>Efficiency</i>
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	52	95	24	9	12	100
Feb./Feb.	56	115	28	3	11	100
Mar./Mar.	60	108	1	15	28	100
Abr./Abr.	53	110	8	7	10	100
May./May.	54	95	30	8	24	100
Jun./Jun.	63	104	27	26	27	100
Jul./Jul.	64	102	24	22	21	100
Ago./Aug.	67	110	19	24	22	99
Sep./Sep.	64	108	17	27	19	100
Oct./Oct.	69	107	18	24	16	100
Nov./Nov.	67	114	29	19	17	100
Dic./Dec.	62	103	2	20	31	100

AÑO 2006						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
<i>Month</i>	<i>Mean Level</i>	<i>Max. Level</i>	<i>Max. Level Date</i>	<i>Min. Level</i>	<i>Min. Level Date</i>	<i>Efficiency</i>
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	59	113	30	16	1	100
Feb./Feb.	56	95	3	13	28	100
Mar./Mar.	52	100	18	8	12	100
Abr./Abr.	55	99	15	14	2	100
May./May.	60	94	1	22	26	99
Jun./Jun.	66	106	14	30	10	100
Jul./Jul.	64	102	14	31	9	100
Ago./Aug.	66	109	12	28	22	100
Sep./Sep.	67	108	9	31	26	100
Oct./Oct.	70	117	26	16	6	100
Nov./Nov.	69	125	6	19	22	99
Dic./Dec.	55	98	2	13	6	100

AÑO 2007						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
<i>Month</i>	<i>Mean Level</i>	<i>Max. Level</i>	<i>Max. Level Date</i>	<i>Min. Level</i>	<i>Min. Level Date</i>	<i>Efficiency</i>
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	52	98	29	4	2	100
Feb./Feb.	53	94	19	15	17	100
Mar./Mar.	51	89	20	7	20	100
Abr./Abr.	58	101	18	16	4	100
May./May.	56	98	20	10	17	100
Jun./Jun.	60	93	12	24	2	100
Jul./Jul.	62	102	16	23	30	100
Ago./Aug.	70	121	27	29	31	100
Sep./Sep.	71	116	28	32	1	100
Oct./Oct.	77	123	26	40	10	96
Nov./Nov.	72	118	25	31	10	100
Dic./Dec.	64	115	20	23	8	100

AÑO 2008						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
<i>Month</i>	<i>Mean Level</i>	<i>Max. Level</i>	<i>Max. Level Date</i>	<i>Min. Level</i>	<i>Min. Level Date</i>	<i>Efficiency</i>
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	57	97	3	12	22	100
Feb./Feb.	62	102	18	15	7	96
Mar./Mar.	55	99	10	18	12	99
Abr./Abr.	57	114	10	16	3	100
May./May.	60	101	6	22	5	100
Jun./Jun.	60	94	29	17	4	100
Jul./Jul.	64	104	3	27	5	100
Ago./Aug.	65	106	19	26	3	100
Sep./Sep.	68	113	28	30	15	100
Oct./Oct.	73	123	28	29	15	100
Nov./Nov.	69	109	1	25	13	100
Dic./Dec.	62	109	14	19	11	100

AÑO 2009						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
<i>Month</i>	<i>Mean Level</i>	<i>Max. Level</i>	<i>Max. Level Date</i>	<i>Min. Level</i>	<i>Min. Level Date</i>	<i>Efficiency</i>
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	56	96	9	15	28	100
Feb./Feb.	62	113	2	15	11	100
Mar./Mar.	59	114	28	18	13	100
Abr./Abr.	54	100	25	14	28	100
May./May.	59	98	10	19	27	100
Jun./Jun.	65	107	24	31	12	100
Jul./Jul.	62	106	22	21	25	100
Ago./Aug.	67	105	20	29	22	100
Sep./Sep.	69	104	8	22	19	100
Oct./Oct.	70	120	20	29	23	100
Nov./Nov.	62	102	2	27	7	100
Dic./Dec.	71	126	22	11	4	100

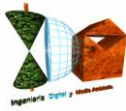
AÑO 2010						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
<i>Month</i>	<i>Mean Level</i>	<i>Max. Level</i>	<i>Max. Level Date</i>	<i>Min. Level</i>	<i>Min. Level Date</i>	<i>Efficiency</i>
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	65	115	5	21	30	100
Feb./Feb.	73	133	16	21	2	100
Mar./Mar.	66	126	3	12	31	100
Abr./Abr.	61	106	15	18	2	99
May./May.	59	98	27	16	15	100
Jun./Jun.	64	99	15	27	14	100
Jul./Jul.	67	111	7	16	25	100
Ago./Aug.	69	109	12	35	26	100
Sep./Sep.	70	116	24	24	9	100
Oct./Oct.	74	117	9	30	9	99
Nov./Nov.	66	126	30	23	4	100
Dic./Dec.	75	141	22	28	24	100

AÑO 2011						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
<i>Month</i>	<i>Mean Level</i>	<i>Max. Level</i>	<i>Max. Level Date</i>	<i>Min. Level</i>	<i>Min. Level Date</i>	<i>Efficiency</i>
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	66	109	27	21	21	100
Feb./Feb.	56	107	17	9	18	100
Mar./Mar.	64	105	12	22	21	99
Abr./Abr.	64	117	19	24	3	100
May./May.	66	111	2	21	28	100
Jun./Jun.	65	98	17	26	19	100
Jul./Jul.	66	105	31	23	12	100
Ago./Aug.	67	122	1	25	29	99
Sep./Sep.	64	107	29	25	28	100
Oct./Oct.	69	120	27	32	8	100
Nov./Nov.	70	118	4	29	23	100
Dic./Dec.	53	91	10	12	24	100



AÑO 2012						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
<i>Month</i>	<i>Mean Level</i>	<i>Max. Level</i>	<i>Max. Level Date</i>	<i>Min. Level</i>	<i>Min. Level Date</i>	<i>Efficiency</i>
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	52	92	17	14	6	100
Feb./Feb.	49	94	8	4	6	99
Mar./Mar.	49	85	8	2	8	100
Abr./Abr.	56	100	10	17	8	100
May./May.	55	96	18	13	7	100
Jun./Jun.	59	99	7	22	5	93
Jul./Jul.	64	105	26	22	3	100
Ago./Aug.	66	107	2	29	31	100
Sep./Sep.	69	109	19	25	1	100
Oct./Oct.	70	118	30	31	15	100
Nov./Nov.	73	120	8	25	29	100
Dic./Dec.	57	105	13	14	29	100

AÑO 2013						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
<i>Month</i>	<i>Mean Level</i>	<i>Max. Level</i>	<i>Max. Level Date</i>	<i>Min. Level</i>	<i>Min. Level Date</i>	<i>Efficiency</i>
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	50	95	13	12	15	99
Feb./Feb.	52	98	28	11	12	100
Mar./Mar.	64	110	17	9	14	100
Abr./Abr.	58	98	1	22	26	100
May./May.	58	98	14	13	23	100
Jun./Jun.	55	89	27	12	25	100
Jul./Jul.	63	106	24	28	22	100
Ago./Aug.	68	107	23	27	9	100
Sep./Sep.	68	102	7	29	9	99
Oct./Oct.	68	106	4	33	6	100
Nov./Nov.	64	107	18	8	5	100
Dic./Dec.	58	104	2	15	31	100



AÑO 2014						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
<i>Month</i>	<i>Mean Level</i>	<i>Max. Level</i>	<i>Max. Level Date</i>	<i>Min. Level</i>	<i>Min. Level Date</i>	<i>Efficiency</i>
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Ene./Jan.	56	110	19	6	5	100
Feb./Feb.	50	93	1	0	28	100
Mar./Mar.	50	98	29	-1	4	96
Abr./Abr.	59	102	2	21	4	100
May./May.	61	105	17	20	14	100
Jun./Jun.	61	100	15	23	13	100
Jul./Jul.	62	100	13	23	16	100
Ago./Aug.	64	100	10	22	12	100
Sep./Sep.	68	108	9	30	11	100
Oct./Oct.	70	109	11	31	22	100
Nov./Nov.	73	133	28	21	7	100
Dic./Dec.	60	112	4	14	26	100

Tras el análisis de los datos, se ha comprobado que los máximos valores mareales fueron los siguientes, referidos al cero Redmar:

**MAREÓGRAFO DE ALGECIRAS 3541**

AÑO 2010. NIVELES REFERIDOS AL CERO REDMAR						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Jun./Jun.	68	164	2	21	14	99

**MAREÓGRAFO DE MÁLAGA 3546**

AÑO 2010. NIVELES REFERIDOS AL CERO REDMAR						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Dic./Dec.	75	141	22	28	24	100

A partir de los parámetros de nivelación y referencias altimétricas de los mareógrafos, que proporciona Puertos del Estado, se transformaron los niveles anteriores referidos al cero REDMAR, a niveles referidos al N.M.M.A. para su homogenización y compatibilidad con el cero del sistema cartográfico-batimétrico sobre el que se realiza el presente estudio. Los valores de los niveles mareales anteriores, referidos al N.M.M.A. (cero geodésico, I.G.N.) fueron los siguientes:

**MAREÓGRAFO DE ALGECIRAS 3541**

AÑO 2010. NIVELES REFERIDOS AL N.M.M.A.						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Jun./Jun.	15,90	111,90	2	-31,1	14	99

**MAREÓGRAFO DE MÁLAGA 3546**

AÑO 2010. NIVELES REFERIDOS AL N.M.M.A.						
Mes	Nivel Medio	Nivel Máximo	Día del Máximo	Nivel Mínimo	Día del Mínimo	Eficacia
	(cm)	(cm)		(cm)		(%)
Dic./Dec.	31,90	97,90	22	-15,10	24	100

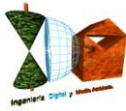
La zona de estudio del T.M. de Estepona, se encuentra ubicada geográficamente entre la posición de ambos mareógrafos, si bien mas próxima a la posición del mareógrafo de Algeciras.





Dado que se trata de obtener el valor de las variaciones del nivel del mar por mareas, superpuestos los efectos astronómicos y meteorológicos según se recoge en el artículo 4.b del Reglamento General de Costas, se ha de tomar los valores máximos registrados por tales efectos, al objeto de cuantificar la variación posible por la superposición de ambas ondas de marea. Los valores máximos de ambos mareógrafos, se corresponden con mareas que tuvieron lugar en el año 2.010. Sobre esta base, se adopta el valor promedio de ambos máximos mareales, como valor de la variación posible por superposición de marea astronómica y meteorológica, indicándose que, en todo caso, la zona de estudio se encuentra mas próxima al mareógrafo que obtuvo el valor mas elevado (Algeciras).

INCREMENTO MÁXIMO DEL NIVEL DEL MAR EN LA ZONA DE ESTUDIO DEL T.M. DE ESTEPONA, POR SUPERPOSICIÓN DE MAREA ASTRONÓMICA Y MAREA METEOROLÓGICA, SEGÚN REGISTROS DE LOS MAREÓGRAFOS DE ALGECIRAS Y MÁLAGA DEL AÑO 2.010. REFERENCIA AL N.M.M.A. (m.)
<b>PROMEDIO DE REGISTROS MÁXIMOS DE 2.010 DE AMBOS MAREÓGRAFOS: 1,04 m.</b>



No obstante lo anterior, y que dicho valor del incremento mareal se podría producir sobre cualquier episodio de temporal en el período de cinco años de estudio, dado que es causado por oscilaciones de largo período, a diferencia del oleaje, producido por oscilaciones de corto período, de forma que su superposición es una situación posible a efectos de un temporal de diseño, para garantizar la seguridad de los resultados finales de cota de máxima inundación, se utilizará el valor de nivel mareal que se produjo el día del temporal seleccionado que cumpla con los criterios del Reglamento General de Costas, es decir, el nivel de marea registrado por el mareógrafo a la hora y día del temporal de cálculo.

### 1.2.2. ANÁLISIS DE DATOS DE LAS BOYAS

Han sido analizadas las series históricas de datos de la boyas de Puertos del Estado mas próximas a la zona de estudio. Como la boya de Alborán, la mas cercana, dejó de estar activa en el año 2.006, se ha analizado también las boya activa en la actualidad mas próxima, que es la de Algeciras-Punta Carnero. Las tablas que se irán adjuntando de cada una de las boyas analizadas, incluyen los siguientes datos:

#### **Series de Datos Anuales, altura de ola significativa:**

Hs: Altura de oleaje significativo en m. sobre el NMM

Tp: Períodos de pico en seg. asociado a las alturas de ola

Dir: Direcciones de procedencia en grados sexagesimales (N=0°)

Día: Día del suceso

Mes: Mes del suceso

Hora: Hora del suceso



**BOYA DE ALGECIRAS PUNTA CARNERO (1504)**

**Datos de la boya**

Nombre	<b>Algeciras-Pta. Carnero</b>
Código:	<b>1504</b>
Longitud:	<b>5.42° W</b>
Latitud:	<b>36.07° N</b>
Cadencia:	<b>60 minutos</b>
Profundidad:	<b>40 m</b>
Inicio de medidas:	<b>11/11/2010</b>
Fin de medidas:	<b>11/04/2016</b>
Tipo de sensor:	<b>Direccional</b>
Modelo:	<b>WatchKeeper</b>
Comentarios:	<b>Sensores adicionales desde julio 2013</b>
Conjunto de Datos:	<b>REDCOS</b>

Boya de Algeciras-Pta. Carnero II (1503+1504) Año 2010					
Mes/Month	Hs Max./Max. Hs	Tp	Dir	Dia/Day	Hora/Hour
Noviembre/November	2.9	7.7	76	27	1
Diciembre/December	3.8	9.1	83	11	1

Boya de Algeciras-Pta. Carnero II (1503+1504) Año 2011					
Mes/Month	Hs Max./Max. Hs	Tp	Dir	Dia/Day	Hora/Hour
Enero/January	1.7	8.0	88	26	15
Febrero/February	1.9	4.8	197	15	11
Marzo/March	4.2	8.0	106	22	23
Abril/April	3.6	10.0	94	6	16
Mayo/May	2.0	7.7	101	16	17
Junio/June	1.6	6.7	90	3	15
Julio/July	1.2	7.7	110	29	5
Agosto/August	1.9	8.3	96	11	4
Septiembre/September	1.6	7.1	96	30	22
Octubre/October	1.9	6.9	97	1	10
Noviembre/November	1.9	7.7	105	14	8
Diciembre/December	2.4	7.7	95	26	3



Boya de Algeciras-Pta. Carnero II (1503+1504) Año 2012					
Mes/Month	Hs Max./Max. Hs	Tp	Dir	Dia/Day	Hora/Hour
Enero/January	2.0	8.3	109	17	17
Febrero/February	2.0	7.4	98	9	3
Marzo/March	1.8	6.7	86	10	6
Mayo/May	1.4	6.9	105	31	22
Junio/June	1.7	7.7	96	1	2
Julio/July	1.9	7.9	111	17	6
Agosto/August	1.4	7.7	109	8	9
Septiembre/September	2.0	7.7	110	7	9
Octubre/October	1.6	7.7	97	28	21
Noviembre/November	3.9	9.1	97	7	14
Diciembre/December	1.1	3.6	210	7	15

Boya de Algeciras-Pta. Carnero II (1503+1504) Año 2013					
Mes/Month	Hs Max./Max. Hs	Tp	Dir	Dia/Day	Hora/Hour
Enero/January	3.0	7.0	97	3	16
Febrero/February	1.7	5.5	103	4	14
Julio/July	1.2	7.2	88	31	23
Agosto/August	1.7	7.6	95	30	5
Septiembre/September	1.5	6.0	94	2	16
Octubre/October	1.8	6.9	89	9	16
Noviembre/November	4.1	8.6	104	29	2
Diciembre/December	3.1	7.6	87	11	5

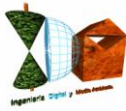


Boya de Algeciras-Pta. Carnero II (1503+1504) Año 2014					
Mes/Month	Hs Max./Max. Hs	Tp	Dir	Dia/Day	Hora/Hour
Enero/January	1.7	7.3	83	11	0
Febrero/February	1.6	5.9	101	23	14
Marzo/March	2.9	7.4	91	10	3
Abril/April	1.1	3.3	223	20	17
Mayo/May	2.3	8.3	97	16	18
Junio/June	1.0	7.1	116	2	0
Julio/July	0.9	6.6	105	17	6
Agosto/August	1.9	7.4	107	18	1
Septiembre/September	1.9	7.7	105	27	21
Octubre/October	2.5	8.4	98	1	10
Noviembre/November	2.8	8.2	87	21	4
Diciembre/December	2.5	6.6	109	30	1

Boya de Algeciras-Pta. Carnero II (1503+1504) Año 2015					
Mes/Month	Hs Max./Max. Hs	Tp	Dir	Dia/Day	Hora/Hour
Enero/January	1.8	5.1	114	9	11
Febrero/February	4.2	9.0	88	19	3
Marzo/March	2.9	7.7	87	5	16
Abril/April	4.1	7.7	91	8	1
Mayo/May	1.4	6.6	89	29	0
Junio/June	0.9	5.6	122	4	10
Julio/July	0.9	5.6	153	18	9
Agosto/August	1.2	7.1	96	3	16
Septiembre/September	1.8	7.1	96	29	3
Octubre/October	1.4	6.2	94	26	7
Noviembre/November	4.0	8.2	106	1	10
Diciembre/December	2.3	7.7	98	27	12



Boya de Algeciras-Pta. Carnero II (1503+1504) Año 2016					
Mes/ <i>Month</i>	Hs Max./ <i>Max.</i> Hs	Tp	Dir	Dia/ <i>Day</i>	Hora/ <i>Hour</i>
Enero/ <i>January</i>	2.1	6.0	94	16	23
Febrero/ <i>February</i>	4.9	9.6	102	20	19
Marzo/ <i>March</i>	1.1	3.6	222	7	13
Abril/ <i>April</i>	2.6	8.2	90	19	17
Mayo/ <i>May</i>	2.5	7.0	93	2	11
Junio/ <i>June</i>	1.4	7.6	95	28	19
Julio/ <i>July</i>	2.0	8.3	91	4	15
Agosto/ <i>August</i>	2.1	9.1	104	13	5
Septiembre/ <i>September</i>	1.2	7.4	99	2	7
Octubre/ <i>October</i>	1.8	8.7	105	28	17
Noviembre/ <i>November</i>	3.2	8.3	88	30	10
Diciembre/ <i>December</i>	2.7	9.5	90	1	4



## BOYA DE ALBORÁN (2542)

### Datos de la boya

Nombre	<b>Alborán</b>
Código:	<b>2542</b>
Longitud:	<b>5.03° W</b>
Latitud:	<b>36.27° N</b>
Cadencia:	<b>1 minutos</b>
Profundidad:	<b>530 m</b>
Inicio de medidas:	<b>14/06/1997</b>
Fin de medidas:	<b>25/02/2006</b>
Tipo de sensor:	<b>Direccional Oce-Met.</b>
Modelo:	<b>SeaWatch</b>
Comentarios:	<b>Estación cerrada por alta siniestralidad</b>
Conjunto de Datos:	<b>REDEXT</b>

### Series de Datos Anuales, altura de ola significativa:

Hs: Altura de oleaje significativa en m. sobre el NMM

Tp: Períodos de pico en seg. asociado a las alturas de ola

Dir: Direcciones de procedencia en grados sexagesimales (N=0°)

Boya de Alboran Año 1997					
Mes/Month	Hs Max./Max. Hs	Tp	Dir	Dia/Day	Hora/Hour
Junio/June	1.4	4.8	-	22	15
Julio/July	0.8	3.5	-	1	18
Noviembre/November	1.4	5.1	-	26	8
Diciembre/December	1.7	5.0	-	17	5



Boya de Alboran Año 1998					
Mes/Month	Hs Max./Max. Hs	Tp	Dir	Dia/Day	Hora/Hour
Enero/January	2.5	8.3	-	10	16
Febrero/February	3.2	8.5	-	8	16
Marzo/March	1.3	5.6	-	29	9
Abril/April	1.5	4.7	-	17	6
Mayo/May	2.1	8.0	-	8	15
Junio/June	1.6	6.6	-	18	13
Julio/July	1.2	7.1	-	12	23
Agosto/August	1.6	6.7	-	3	15
Septiembre/September	2.8	8.0	-	21	11
Octubre/October	0.8	3.6	-	5	16
Diciembre/December	2.0	5.7	-	31	19

Boya de Alboran Año 1999					
Mes/Month	Hs Max./Max. Hs	Tp	Dir	Dia/Day	Hora/Hour
Enero/January	3.0	9.1	-	12	17
Febrero/February	4.1	8.5	-	14	16
Marzo/March	4.0	9.1	-	23	19
Abril/April	1.5	6.9	-	10	13
Junio/June	1.5	8.0	-	23	3
Julio/July	1.3	4.9	-	4	15
Agosto/August	1.3	4.4	-	18	18
Septiembre/September	2.4	6.7	-	19	14
Octubre/October	3.5	8.5	-	8	22
Noviembre/November	3.8	8.3	-	30	12
Diciembre/December	3.4	7.5	-	30	13

Boya de Alboran Año 2000					
Mes/Month	Hs Max./Max. Hs	Tp	Dir	Dia/Day	Hora/Hour
Enero/January	3.0	7.8	-	27	4
Febrero/February	1.5	4.7	-	16	16
Marzo/March	1.4	4.7	-	28	13
Abril/April	2.2	5.1	-	2	16
Mayo/May	1.4	6.7	-	16	5
Junio/June	1.5	5.1	-	10	17
Julio/July	2.0	7.1	-	17	13
Agosto/August	2.2	7.8	-	8	0
Septiembre/September	1.5	8.0	-	6	1
Octubre/October	1.5	4.9	-	12	2
Diciembre/December	3.8	8.0	-	22	6

Boya de Alboran Año 2001					
Mes/Month	Hs Max./Max. Hs	Tp	Dir	Dia/Day	Hora/Hour
Enero/January	1.8	5.6	-	18	16
Febrero/February	3.6	8.5	-	19	15
Marzo/March	2.5	6.2	-	2	16
Abril/April	1.8	6.7	-	1	16
Mayo/May	1.2	4.6	-	4	16
Junio/June	2.3	8.0	-	19	15

Boya de Alboran Año 2002					
Mes/Month	Hs Max./Max. Hs	Tp	Dir	Dia/Day	Hora/Hour
Marzo/March	4.8	10.2	-	28	13
Abril/April	1.8	7.3	-	2	0
Mayo/May	1.8	7.5	-	30	23
Junio/June	2.3	7.5	-	13	8
Julio/July	1.5	4.6	-	10	14
Agosto/August	1.5	5.0	-	10	13
Septiembre/September	1.6	7.1	-	30	22
Octubre/October	2.5	7.5	-	1	20
Noviembre/November	2.2	5.3	-	14	10
Diciembre/December	1.3	4.5	-	2	22



Boya de Alboran Año 2003					
Mes/Month	Hs Max./Max. Hs	Tp	Dir	Dia/Day	Hora/Hour
Marzo/March	6.2	10.7	-	17	16
Abril/April	1.9	6.1	-	5	13
Mayo/May	1.9	6.9	114	28	18
Junio/June	1.2	4.5	232	2	11
Septiembre/September	1.5	7.1	108	18	19
Octubre/October	2.5	9.1	112	6	23

Boya de Alboran Año 2004					
Mes/Month	Hs Max./Max. Hs	Tp	Dir	Dia/Day	Hora/Hour
Mayo/May	0.7	6.2	109	25	6
Junio/June	1.8	8.3	107	15	12
Julio/July	1.8	8.3	94	15	19
Agosto/August	1.3	7.7	115	7	16

Boya de Alboran Año 2005					
Mes/Month	Hs Max./Max. Hs	Tp	Dir	Dia/Day	Hora/Hour
Enero/January	2.3	9.1	93	30	19
Febrero/February	4.8	11.6	82	28	23
Marzo/March	4.6	12.2	91	1	0
Abril/April	1.2	3.8	247	15	19
Mayo/May	1.9	9.8	122	24	22
Septiembre/September	2.5	7.4	141	14	18
Octubre/October	1.6	6.5	89	4	5
Noviembre/November	3.3	8.3	104	20	11
Diciembre/December	5.1	8.3	84	21	17

Boya de Alboran Año 2006					
Mes/Month	Hs Max./Max. Hs	Tp	Dir	Dia/Day	Hora/Hour
Enero/January	4.3	9.1	100	25	12
Febrero/February	1.9	4.8	225	19	5

El resumen de los cinco máximos temporales en cuanto a altura de ola significativa, según las boyas anteriores, tomando períodos de cinco años consecutivos, y tomando los temporales con direcciones de procedencia con incidencia en la zona de estudio cuando se disponen de datos direccionales, se recoge en las tablas siguientes:

**BOYA DE ALGECIRAS PUNTA CARNERO (1504)**

**PERÍODO DE 5 AÑOS: DE MARZO DE 2011 A FEBRERO DE 2016**

<b>AÑO</b>	<b>Mes</b>	<b>Hs Max.</b>	<b>Tp</b>	<b>Dir</b>	<b>Dia</b>	<b>Hora</b>
2011	Marzo	4.2	8.0	106	22	23
2013	Noviembre	4.1	8.6	104	29	2
2015	Febrero	4.2	9.1	113	19	7
2015	Abril	4.1	7.7	91	8	1
2016	Febrero	4.9	9.6	102	20	19

**BOYA DE ALBORÁN (2542)**

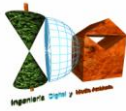
**PERÍODO DE 5 AÑOS: FEBRERO DE 2001 A ENERO DE 2006**

<b>AÑO</b>	<b>Mes</b>	<b>Hs Max.</b>	<b>Tp</b>	<b>Dir</b>	<b>Dia</b>	<b>Hora</b>
2002	Marzo	4.8	10.2	-	28	13
2003	Marzo	6.2	10.7	-	17	16
2005	Febrero	4.8	11.6	82	28	23
2005	Marzo	4.6	12.2	91	1	0
2005	Diciembre	5.1	8.3	84	21	17

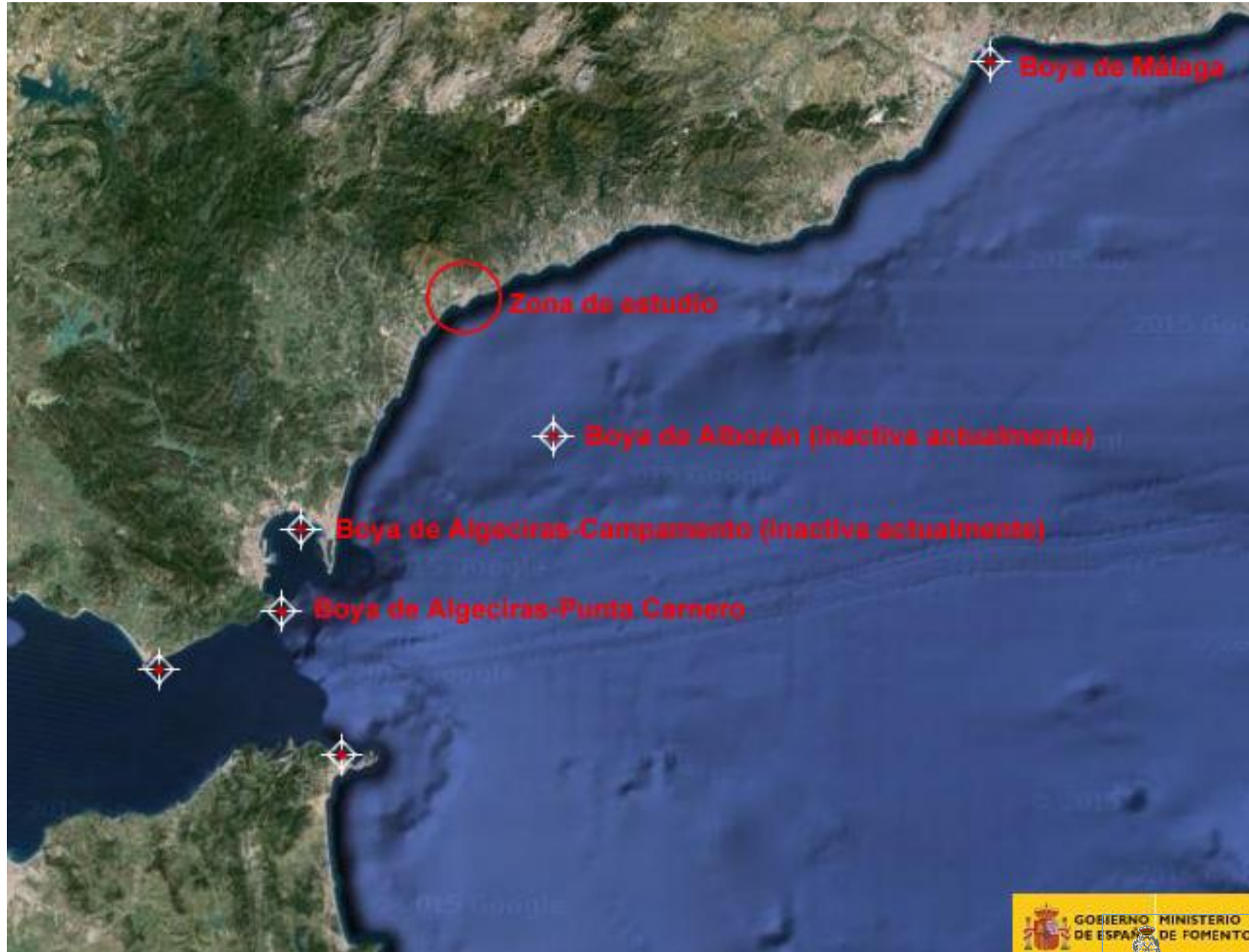
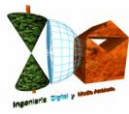
Por tanto, según el análisis de los registros de las 2 boyas, obtenemos dos temporales que cumplen con lo establecido en el artículo 4.a. del Reglamento General de Costas, y con direcciones de procedencia con incidencia en la zona de estudio:

<b>BOYA</b>	<b>AÑO</b>	<b>Mes</b>	<b>Hs Max.</b>	<b>Tp</b>	<b>Dir</b>	<b>Dia</b>	<b>Hora</b>
ALGECIRAS-PUNTA CARNERO	2013	Noviembre	4.1	8.6	104	29	2
ALBORÁN	2005	Marzo	4.6	12.2	91	1	0

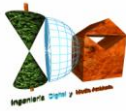
Dado que la boya de Alborán, la de mayor proximidad a la zona de estudio, ahora en la actualidad se haya inactiva disponiéndose tan solo de datos hasta el año 2.006, y dado que las otra boya activa en la actualidad mas próxima se encuentra a mayor



distancia del T.M. de Estepona que la boya de Alborán, se plantea el problema de que los registros de la boya que caracterizaría con mayor precisión (por proximidad) los valores de los temporales que afectan a la zona de estudio están limitados hasta el año 2.006, y que los registros disponibles hasta día de hoy, corresponde a una boya mas alejada del T.M. de Estepona.







Al objeto de contrastar, validar y calibrar los registros de las dos boyas, se ha realizado una comparativa de los temporales obtenidos de las mismas, con los datos provenientes de los denominados puntos “Simar”, con los mismos criterios reglamentarios. Estos puntos propagados a ubicaciones de mayor proximidad al frente de costa del estudio, aportan datos históricos de temporales, obtenidos a partir de modelos numéricos que calculan los valores basándose en datos climatológicos y meteorológicos.

Con tal finalidad, se ha estudiado la serie histórica disponible de máximos temporales según la altura de ola significativa del punto “Simar” 2023077 (el mas próximo a la zona de estudio), con las direcciones de procedencia que fueran similares a las tomadas en las boyas, con incidencia en el frente costero de estudio, y con el criterio establecido en el artículo 4.a. del Reglamento General de Costas. Los resultados han sido los siguientes:

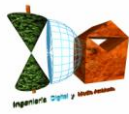
**PUNTO SIMAR 2023077**

**PERÍODO DE 5 AÑOS: ENERO DE 2007 A DICIEMBRE DE 2011**

<b>AÑO</b>	<b>Mes</b>	<b>Hs Max.</b>	<b>Tp</b>	<b>Dir</b>	<b>Dia</b>	<b>Hora</b>
2007	Enero	5.34	10.22	102	28	15
2008	Octubre	6.62	10.46	103	11	3
2010	Enero	4.76	10.31	103	28	3
2010	Marzo	4.86	9.20	108	6	9
2010	Abril	4.12	9.25	108	5	15

Por tanto, el temporal que cumple con los requisitos establecidos en el citado artículo, según los datos del punto “Simar” 2023077 de mayor proximidad a la zona de estudio, tiene los siguientes parámetros:

<b>AÑO</b>	<b>Mes</b>	<b>Hs Max.</b>	<b>Tp</b>	<b>Dir</b>	<b>Dia</b>	<b>Hora</b>
2010	Abril	4.12	9.25	108	5	15



**INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)**

C/ Navarra nº 2, Urb. Alcor 1, 28280 El Escorial, Madrid

Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es





El resumen de los temporales que cumplen los criterios reglamentarios según los registros de las dos boyas (la mas próxima inactiva en la actualidad, y la mas próxima activa en la actualidad) y de los datos del Punto Simar mas próximo se recoge en la siguiente tabla:

<b>BOYA/FUENTE DE DATOS</b>	<b>AÑO</b>	<b>Mes</b>	<b>Hs Max.</b>	<b>Tp</b>	<b>Dir</b>	<b>Dia</b>	<b>Hora</b>
ALGECIRAS-PUNTA CARNERO	2013	Noviembre	4.1	8.6	104	29	2
ALBORÁN	2005	Marzo	4.6	12.2	91	1	0
PUNTO SIMAR 2023077	2010	Abril	4.12	9.25	108	5	15

En este sentido, el punto Simar, fuente de datos oficial de mayor proximidad a la zona de estudio, nos sirve por una parte, para validar los valores de la boya de Algeciras-Punta Carnero proporcionando valores del temporal que es igualado o superado en cinco ocasiones en un período de cinco años, prácticamente idénticos a los de esta boya, y por otra, para asegurar que desde el 2006 hasta la actualidad, el período de inactividad de la boya de Alborán, no hubiera proporcionado un resultado de un temporal con mayores magnitudes en cuanto a parámetros de caracterización, es decir, nos asegura los valores del temporal obtenido con la boya de Alborán en un período de cinco años, a pesar de no haberse dispuesto de datos de esta boya desde el año 2006.

Por tanto, se tomará el temporal obtenido a partir de los registros de la boya de Alborán, que cumple con lo establecido en el artículo 4.a. del Reglamento General de Costas, para los cálculos de la cota de máxima inundación en la zona de estudio del T.M. de Estepona, caracterizado por los siguientes parámetros:

<b>Altura significativa Hs (m.)</b>	<b>Período de pico Tp (seg.)</b>	<b>Dirección de procedencia (grados sex.)</b>
4.6	12.2	91

### 1.3. PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

#### 1.3.1. PRIMERA FASE: DESDE LA BOYA A AGUAS INDEFINIDAS SEGÚN DIRECCIONES PRINCIPALES

La relación que establece la ROM 03.91 entre las alturas de ola escalares tomadas por la boya, y las propagadas en una primera fase a aguas indefinidas con valores de altura direccionales, es la siguiente:

$$H_{s,0} = H_{s,R} * (K_{\alpha} / K_R) \text{ siendo:}$$

$H_{s,0}$  : Altura de ola significativa en aguas profundas para una dirección determinada (tomaremos las correspondientes a las propagaciones hasta la costa, en las direcciones principales de incidencia).

$H_{s,R}$  : Altura de ola significativa obtenida del régimen extremal escalar instrumental (boya de medición).

$K_{\alpha}$  : Coeficiente de reparto direccional para la dirección considerada.

$K_R$ : Coeficiente de refracción-shoaling en el punto de medida para la dirección considerada, y el periodo establecido asociado a dicha altura de ola.

Sin embargo, dado que la boya de Alborán se encuentra a una profundidad de 530 metros, los datos del temporal considerado corresponderán a valores de profundidades indefinidas, por lo que se hace innecesaria la aplicación de los coeficientes anteriores a la altura de oleaje (para propagar desde el instrumento de medición a profundidades indefinidas).

#### 1.3.2. SEGUNDA FASE: DESDE PROFUNDIDADES INDEFINIDAS HASTA PIE DE COSTA

En esta segunda fase de propagación, el objetivo será el de obtener los datos del oleaje a pie de costa, frente a la zona de estudio junto al Puerto de Estepona.

En función de la batimetría y de la cartografía a escala 1/1.000, los datos de los que ya se dispone antes de realizar esta segunda fase para obtener el régimen de oleaje propagado a pie de costa son:



- Los parámetros del régimen direccional del oleaje en profundidades indefinidas.
- Ángulo B de orientación de la batimetría.
- Ángulo de incidencia del oleaje  $\vartheta$ .
- Profundidad a considerar a pie de talud.

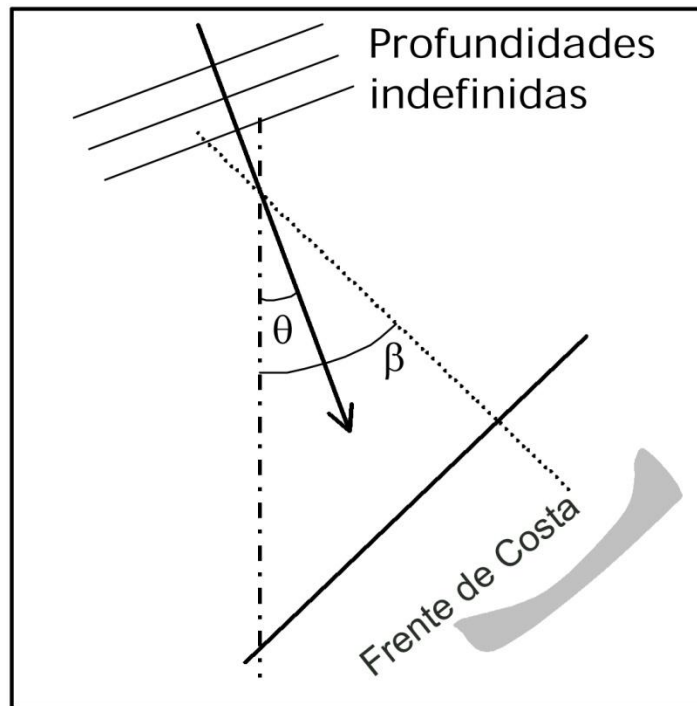


Gráfico del ángulo de incidencia

- $\alpha_0 = B - \vartheta$  para la dirección principal de incidencia, es el ángulo que forma el rayo con la normal a la batimetría en profundidades indefinidas

$H_{spp} = K_r * K_s * H_{s0}$ , donde:

$H_{spp}$  = altura de ola significativa a pie de costa

$K_r$  = coeficiente de refracción

$K_s$  = coeficiente de asomeramiento

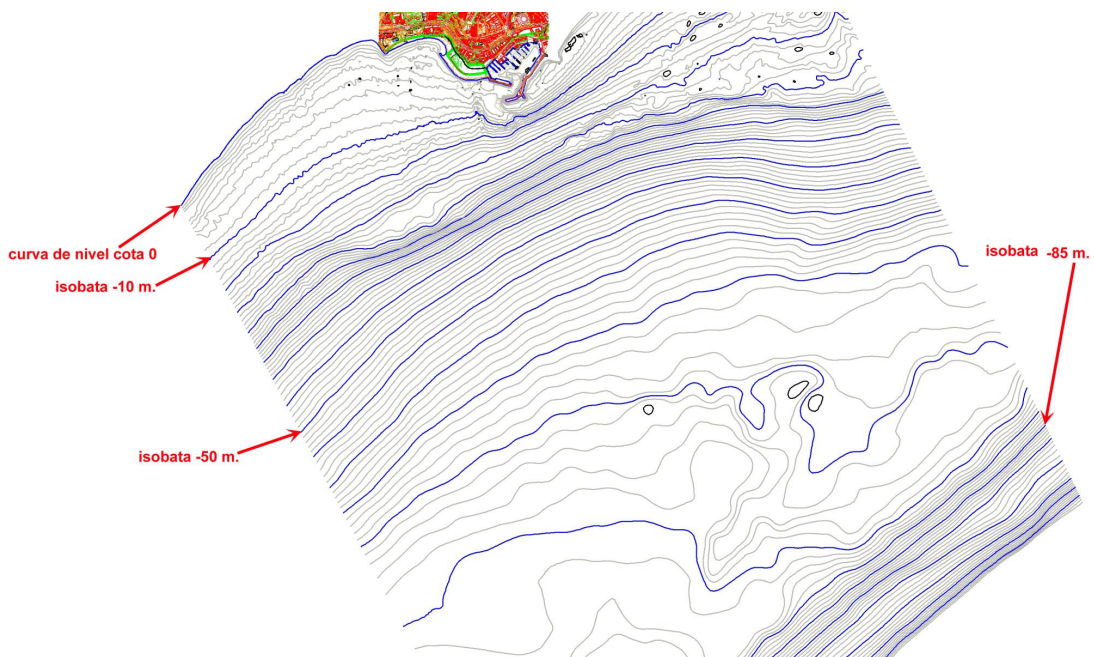
$H_{s0}$  = altura de ola significativa en profundidades indefinidas

Los coeficientes de refracción y asomeramiento cuantificarán la variación de altura de ola por la influencia del fondo marino a partir de la altura de ola en aguas profundas.

#### 1.3.2.1. Fenómeno de Refracción y cálculo del coeficiente

Se ha partido de la hipótesis de batimetría que se puede considerar recta y paralela, por lo que resulta suficientemente válido aceptar la ley de Snell.

Se considera una batimetría recta y paralela, cuando en la zona de propagación, se mantiene una dirección predominante de las isobatas (líneas que unen puntos de igual profundidad) desde el inicio de la propagación hasta la profundidad objetivo (pié de costa), tal y como sucede en el caso de Estepona. En la siguiente exportación, se refleja tal circunstancia en la zona de propagación hasta el Puerto de Estepona.



Con batimetría recta y paralela, podemos aplicar la Ley de Snell para el oleaje cuyo frente de onda forma un ángulo al inicio de la zona de la propagación, permitiéndonos calcular el ángulo “refractado” que formará el frente de oleaje tras atravesar la zona batimétrica hasta la profundidad objetivo a pié de costa.

Con estas hipótesis, en la propagación se cumplirá que el coeficiente de refracción  $K_r$  tiene la expresión:

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}}$$

donde:

$\alpha_0$  = ángulo que forma el rayo con la normal a la batimetría en profundidades indefinidas.

$\alpha$

= ángulo que forma el rayo con la normal a la batimetría a pie de costa, en la profundidad h .

Para obtener el valor de  $\alpha$ , se utiliza la ley de Snell, en cuya aplicación se cumple que:

$(\text{Sen}\alpha_0/\text{sen}\alpha) = c_0/c=L_0/L$  ( $L_0$  y  $L$  longitudes de onda en profundidades indefinidas y en la profundidad h del punto a dónde propagamos a pie de costa)

Es decir

$$\frac{c_0}{\text{sen}\alpha_0} = \frac{c}{\text{sen}\alpha}$$

Dónde  $c_0$  y  $c$  son las celeridades en profundidades indefinidas y en la profundidad h (en nuestro caso a pie de costa, antes del inicio de la rotura), y de dónde:

$$\alpha = \arcsen((c/c_0) * \text{sen}\alpha_0)$$

### 1.3.2.2. Fenómeno de Asomeramiento y cálculo del coeficiente

El coeficiente de asomeramiento  $K_s$  viene dado por la expresión:

$$K_s = \sqrt{\frac{c_{g0}}{c_g}}$$

donde:

$c_{g0}$  = es la celeridad de grupo en profundidades indefinidas.

$c_g$  = es la celeridad de grupo a la profundidad h.

y se obtienen:

$$c_{g0} = \frac{c_0}{2} = \frac{g}{4\pi} T$$

$$c_g = \frac{c}{2} \left[ 1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right]$$

siendo:

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

### 1.3.2.3. Cálculo del coeficiente de Propagación

Por tanto el coeficiente de propagación  $K_p = K_r \cdot K_s$ , tendrá la expresión:

$$K_p = K_r \cdot K_s = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \sqrt{\frac{c_{g0}}{c_g}}$$

### 1.3.2.4. Teoría de asomeramiento de Shuto

La teoría de Shuto (1974), se fundamenta en un modelo de curva de asomeramiento compuesta de tres tramos: el primero basado en la teoría lineal, el segundo un tramo según una relación de H y d (profundidad) respecto de una constante y el último una aproximación a la ecuación de KdV mediante un método de perturbación. Este último tramo corresponde aproximadamente al asomeramiento de una onda cnoidal. Las expresiones matemáticas que describen la variación de H con la profundidad son las siguientes:

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{c}{2 c_g \tanh(Kd)}} ; \quad \frac{g H T^2}{d^2} < 30$$

$$H d^{\frac{2}{7}} = A ; \quad 30 < \frac{g H T^2}{d^2} < 50$$

$$H d^{\frac{5}{2}} \left[ \sqrt{\frac{g H T^2}{d^2}} - 2\sqrt{3} \right] = B ; \quad \frac{g H T^2}{d^2} > 50$$

donde A, B = constantes de Shuto.

### 1.3.2.5. Propagación hasta pie de costa en la zona de poniente del Puerto de Estepona

Previamente a los cálculos, se han extraído de la base carto-batimétrica de detalle a escala 1/1.000, los valores de pendientes batimétricas medias, pendiente en zona de rompientes (estimación previa de zona de rompientes), pendientes en superficies de incidencia emergentes, direcciones de incidencia a los frentes de costa y frentes de costa de los estanys, etc....., que serán necesarios para las formulaciones de los incrementos por run-up del oleaje.

Se realizará una estimación de la profundidad de rotura de las olas máximas del temporal de diseño según las direcciones de procedencia que tengan mayor incidencia en la zona de estudio. Se obtiene previamente la altura de ola en rotura por algunos de los criterios existentes, como los recomendados en el Shore Manual Protection que incluye ábacos, tablas y gráficas (para estimaciones según índices de rotura cálculo del índice de rotura), o con criterios como el de Komar y Gaughan (1.973) que relaciona la altura de ola en rotura con los valores parámetros del temporal según la expresión:

$$\Omega_b = \frac{H_b}{H_0} = 0.56 \cdot \left( \frac{H_0'}{L_0} \right)^{-1/5}$$

Del mismo tipo que la anterior, es el criterio de Sunamura y Horikawa (1974), que tiene la expresión:

$H_b/H_0 = m^{0,2} * (H_0/L_0)^{-0,25}$ ; donde  $H_b$ =altura de ola en rotura y  $m$  = pendiente batimétrica cte. desde aguas indefinidas hasta el inicio de rompientes

El módulo del software SMC de “Propagación y Rotura”, tiene asimismo integrados varios criterios de rotura, que nos proporcionarán la altura de ola en rotura a partir de los parámetros en aguas indefinidas, de los que disponemos.

A partir de la altura de ola en rotura, se obtendrá la profundidad de rotura, con criterios que relacionan la profundidad de rotura con la altura de ola en rotura, como el de Weggel (1972), siendo este criterio de rotura el recomendado por el Shore Protection Manual del CERC. Su expresión, para obtener la relación deseada entre la altura de ola en rotura  $H_b$  y la profundidad de rotura  $h_b$ , y su relación con la pendiente del fondo del frente de costa  $m$ , es la siguiente:



$$\frac{H_b}{h_b} = B(m) - A(m) \frac{H_b}{g T^2}$$

donde:

$$A(m) = 43.75 (1 - e^{-19m})$$

$$B(m) = 1.56 (1 + e^{-19.5m})^{-1}$$

Este criterio de rotura, junto con otros como Goda, Sunamura, Kaminsky-Krauss, Onda Solitaria, etc...., que relacionan la altura de la ola en rotura con la profundidad de rotura, nos servirán para obtener la profundidad de rotura en función de la altura de ola en rotura estimada previamente, y se encuentran integrados en el módulo de cálculo "Rotura" de la aplicación informática SMC.

Aplicando lo desarrollado en el apartado anterior para la propagación hasta la costa, Snell y la teoría de asomeramiento de Shuto (SMC, paquete informático Sistema de Modelado Costero de la UC, módulo de Propagación de Ondas), así como los criterios de rotura implementados en dicho software, se han realizado las propagaciones desde profundidades indefinidas con los valores obtenidos y justificados a partir de los registros de las boyas (Alborán), del temporal que cumple con lo establecido en el Reglamento General de Costas, del que además de los valores de altura de ola significativa y período de pico, disponemos de  $\alpha_0$  inicial de la dirección de procedencia del oleaje considerada respecto de las batimétricas (considerando la penetración por el flanco de muros desmoronados en la zona de los terrenos en posiciones hacia levante), junto con los distintos parámetros extraídos de la base carto-batimétrica asociados a la morfología costera de dicha zona. La propagación se realizará hasta una profundidad estimada con el software, antes de producirse el fenómeno de rotura, obteniéndose de este modo los parámetros que caracterizan el temporal con sus valores a pie de costa;  $H_{spp}$ ,  $T_p$  y  $\alpha$  con los que se calculará el incremento por run-up a consecuencia del oleaje.

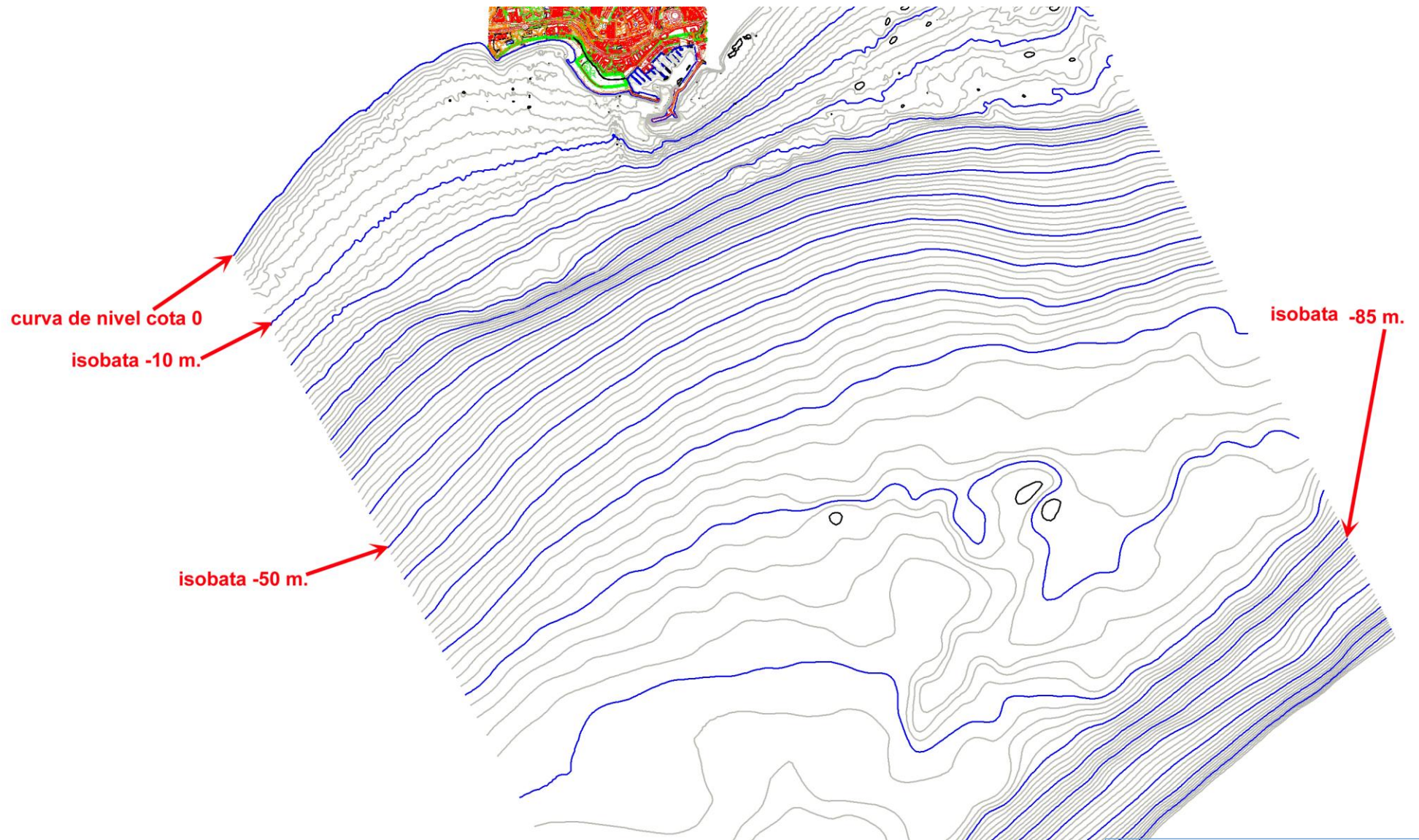
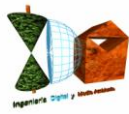
Los valores del temporal de estudio en aguas indefinidas son:

<b>H<sub>0</sub></b> (altura en m. de ola significante en aguas indefinidas)	<b>T<sub>p</sub></b> (período de pico en seg.)	<b>α<sub>0</sub></b> (suponiendo batimetría recta y paralela, ángulo en aguas indefinidas entre el frente de oleaje y las batimétricas en grados sex.)
4.6	12.2	64º

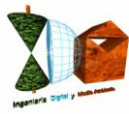
Con las formulaciones descritas, implementadas en el módulo de propagación del programa SMC, los valores anteriores del temporal, y considerando una pendiente batimétrica promedio para la propagación de  $m=0,015$  desde aguas indefinidas, calculada desde la isóbata -85 (límite de profundidades indefinidas para este temporal de estudio) hasta la zona de rompientes, como valor promediado y considerado constante, y de  $m=0,045$  en la zona de rompientes, obtenemos los siguientes valores propagados a pie de costa, hasta una profundidad levemente superior a la profundidad de rotura previamente estimada, al objeto de que no se haya iniciado el proceso de rotura de la ola.

Los valores de partida son:

<b>H<sub>0</sub> (m.)</b>	<b>T<sub>p</sub> (seg.)</b>	<b>α<sub>0</sub> (grados sex.)</b>	<b>Pendiente m media desde aguas indef.</b>	<b>Pendiente m media en zona de rompientes</b>
4.6	12.2	64	0,015	0,045







Los valores de la propagación son:

H <sub>b</sub> , estimación de la altura de ola (m.) en rotura , con teoría de asomeramiento de Shuto.	5,18
d <sub>b</sub> (d <sub>b</sub> en adelante, profundidad de rotura) Onda solitaria (m.)	6,65
d <sub>b</sub> Weggel (m.)	5,12
d <sub>b</sub> Goda (m.)	5,59
d <sub>b</sub> Sunamura (m.)	5,94
d <sub>b</sub> Kamisky-Krauss (m.)	5,43
d <sub>b</sub> Miche (m.)	5,86
d <sub>b</sub> Ostendorf-Madsen (m.)	5,80
d <sub>b</sub> Battjes (m.)	6,08
d <sub>b</sub> Kamphuis (m.)	7,35
d <sub>b</sub> Larson-Krauss (m.)	5,78
d <sub>b</sub> promedio varios autores (m.)	5,96
d <sub>b</sub> incrementado +1 m. para cálculos de propagación, para asegurar que no ha tenido lugar el inicio del fenómeno de rotura (m.)	6,96
H <sub>spp</sub> altura de ola significativa propagada a pie de costa (m.), a la profundidad -6,96 m.	5,09
T <sub>p</sub> período de pico	12,2
α ángulo de incidencia del oleaje a la profundidad de propagación en grados sex.	28,39

Por tanto, los valores resultantes tras la propagación, que servirán para los cálculos del run-up, son los siguientes:

H <sub>spp</sub> (m.)	T <sub>p</sub> (seg.)	α	Profundidad de propagación previa a la rotura (m.)	Pendiente media m en zona de rompientes
5,09	12,2	28,39	6,96	0,045



#### 1.4. CÁLCULOS DE RUN-UP

Una vez obtenidos y calculados los valores del temporal propagados a pie de costa de la zona a poniente del Puerto del T.M. de Estepona, se calculará la sobreelevación del mar por efecto del run-up.

Estos terrenos, tienen un muro perimetral de protección tras escollera, con una altura (cota de coronación del muro) de 2,6 m. sobre el N.M.M.A., si bien dicho muro con escollera presenta amplias zonas derruidas (en dos zonas discontinuas de decenas de metros en los que el muro y la escollera se han desmoronado por la acción del oleaje), así como fallas a lo largo de gran parte de su recorrido en su base. Esta situación de deterioro, propicia la entrada directa del mar por las zonas donde el muro está caído, así como un caudal que se difunde por las fallas basales del muro desde el mar de forma continua cuando los niveles marinos alcanzan el nivel de las fallas (normalmente las fallas ó grietas se encuentran, en una cota de 0,5 m. sobre N.M.M.A.).

Por ello, se aplica un tratamiento de morfología de bajo relieve, dado que los terrenos objeto de estudio, componen una morfología de plataforma emergida, de pendiente casi nula e incluso en zonas con pendiente negativa hacia el interior, con una cota altimétrica sobre el NMMA muy reducida (la mayor parte de la superficie en el entorno de la cota +1 m. sobre NMMA), y la existencia del muro perimetral con escollera desde su conexión con el puerto en el extremo de levante hasta la playa de su extremo de poniente en un estado de alto grado de deterioro, con fallas en toda su extensión y dos grandes zonas de desmoronamiento, desactivan su función de protección frente a la acción del oleaje y a la inundación desde el frente costero, al contar la zona de estudio con tres grandes zonas de penetración directa del mar (la playa en su extremo de poniente, y las dos zona de muros desmoronados hacia levante). En las distintas imágenes de los reportajes fotográficos que se adjuntan en el presente estudio, se visualiza la penetración directa del mar por estas tres zonas.

En consecuencia resultan de aplicación las formulaciones de run-up en zonas de playa, si bien, se ha aplicado el factor de corrección (reductor) de Van Der Meer y Janssen (1995) que permite determinar el run-up Ru en un perfil compuesto por dos alineaciones, ponderando el cambio brusco de una pendiente mas pronunciada en la zona de rompientes y en la zona sumergida de la escollera, a la pendiente casi plana de los terrenos emergidos objeto de estudio, de forma que se tiene en cuenta la morfología específica de la zona.

Además tienen lugar fenómenos de rebase del oleaje por todo el muro, en los que el mar sobrepasa tras la rotura de la ola la cota superior del muro, alcanzando en este rebase por su parte superior, los terrenos situados tras el mismo, si bien en los cálculos efectuados, no se ha considerado este efecto. En las fotos del temporal del día 20 de febrero de 2016 que se adjuntan a lo largo del presente estudio, así como en un vídeo de temporal del año 2008 (se adjunta CD en la contraportada), se aprecia claramente el rebase del oleaje sobre las estructuras superiores no derribadas del muro.

De esta forma, el modelo aplicado en frentes costeros con morfología de pendientes muy tendidas como la de la presente zona de estudio, para el cálculo del alcance del run-up ó remonte del oleaje, se basa en la formulación propuesta por Nielsen y Hanslow (1991), para la obtención de los run up, cuyo valor son superados en un porcentaje de tiempo inferior al 2% del temporal, es decir, es decir, el valor de ascenso que es superado por el 2% de las olas. Los estudios que dieron lugar a la formulación del modelo propuesto por Nielsen y Hanslow derivados de las observaciones de exhaustivas campañas de campo sobre seis playas del sudeste de la costa australiana, pusieron de manifiesto la independencia de los resultados del run-up de la pendiente de la playa en el caso de playas cuyo valor de pendiente  $m = \tan \alpha < 1/10$ , como es el caso del presente estudio.

Este método de Nielsen y Hanslow para oleaje irregular, es en que se basa el propuesto por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente y por la Universidad de Cantabria en su estudio y publicación del “Atlas de Inundación del litoral peninsular español” para el cálculo del run-up en playas, que incorpora el factor de corrección de Van Der Meer y Janssen (1995) que permite determinar el run-up Ru en un perfil compuesto por dos alineaciones a y b conocido el run-up que tendría en la primera alineación  $R_{u0}$  (Nielsen y Hanslow), y factores que tienen en cuenta las características de rugosidad y percolación de la segunda alineación (playa seca). Asimismo en uno de los métodos implementados en el módulo Run-up en playas del paquete informático SMC.

La formulación y modelo empleado de Nielsen-Hanslow con los coeficientes de adaptación a la morfología específica de cada playa o zona costera de bajo perfil introducidos por Van Der Meer y Janssen, se esquematiza a continuación:

$$R_{2\%} = 1,98 * 0,04 * (H_0 L_0)^{1/2}, \text{ para pendientes } < 10\% (m < 0,1), \text{ y}$$
$$R_{2\%} = 1,98 * 0,47 * (H_0 L_0)^{1/2} * m \text{ para pendientes } > 10\% (m > 0,1),$$

donde:

$R_{2\%}$  = Run-up cuyo valor es superado en un porcentaje de tiempo inferior al 2% del temporal

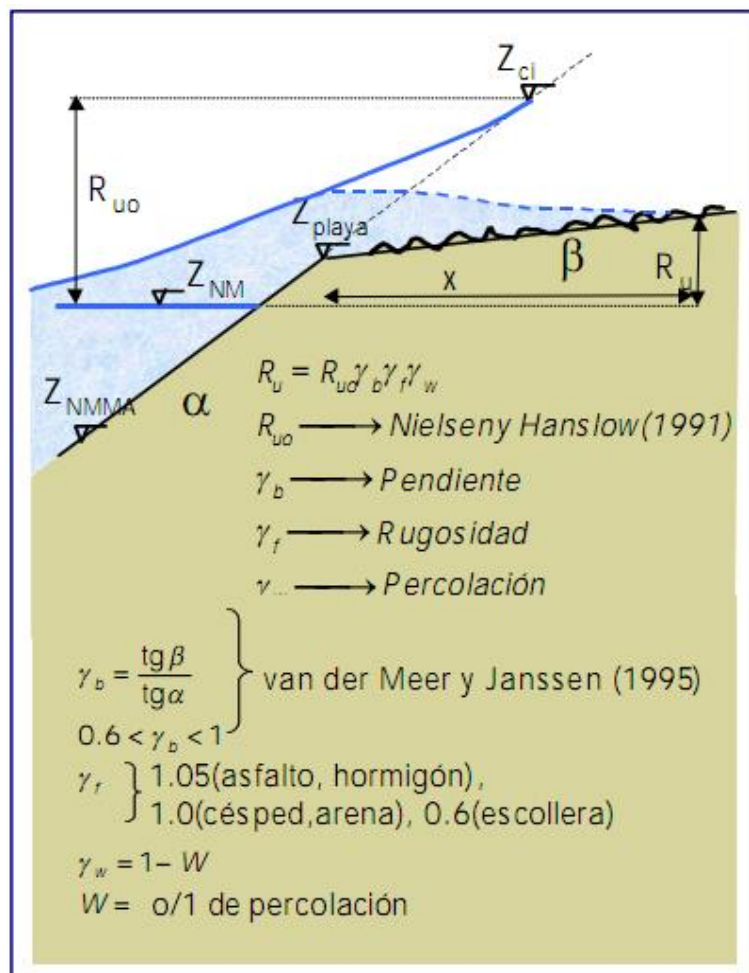
$H_0$  y  $L_0$  son la altura de ola significativa y la longitud de onda del oleaje en profundidades indefinidas

Siendo:

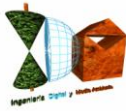
$$L_0 = gT_s^2 / 2\pi \quad (T_s = \text{período significativo})$$

$m = \tan \alpha$ , donde  $\alpha$  es el ángulo de la pendiente media de la playa.

Los factores de corrección de Van Der Meer y Jansen y rugosidad y percolación, matizan la formulación a las condiciones mas específicas de cada zona, ponderando la existencia de doble pendiente, rugosidad o percolación en la superficie de incidencia (playa seca), según se refleja en el siguiente gráfico:



**Gráfico ilustrativo de los factores de corrección**



La pendiente promediada en la zona de rompientes es de  $m=0,045$  (aunque es irregular, muy tendida entre la isobata -7 a la -4, y pronunciada desde la -4 a la 0 en la proximidad a la base de la escollera de defensa que bordea los terrenos de la zona de estudio en la zona de rompientes). Como la pendiente de los terrenos emergidos es  $m=0,015$ , desde la cota cero hasta la +2 del fondo de la plataforma en estudio, se hace necesaria la ponderación con el factor de pendiente  $\gamma_b$ . Dado que  $\gamma_b = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha}$ , siendo  $\beta$  el ángulo que forma el perfil de la playa seca con la horizontal, y  $\alpha$  el ángulo que forma el perfil de la playa en rompientes hasta la línea de orilla, y que resulta  $\gamma_b = 0,015/0,045 < 0,6$ , se adoptará el valor de  $\gamma_b=0,6$ . Este factor es el mas severo de los posibles en relación al cambio de talud entre la zona de rompientes y la superficie emergida en cuanto a reductor del run-up se refiere, si bien se considera adecuado en el presente caso desde el punto de vista de la seguridad del resultado (de los intereses particulares frente al d.p.m.t.), dada además la existencia de muro perimetral que protege parcialmente parte de los terrenos de estudio, lo que retarda la acción de inundación que ha de penetrar por dos extensiones de desmoronamiento del muro de defensa que suman 47 metros de longitud (además de su penetración por la playa a poniente de la zona) en comparación a lo que sería su penetración por la totalidad del perímetro en ausencia total de muro perimetral, de forma que la máxima disminución del run-up con el valor adoptado de 0,6 pondera holgadamente dicha circunstancia.

El factor de rugosidad de la superficie de incidencia  $\gamma_f$ , tomará el valor de 1, al estar integrada la zona de estudio por terrenos de tierra compactada de granulometrías finas (salvo la escollera perimetral).

En cuanto al factor de percolación  $\gamma_w$ , se adoptará el valor de  $\gamma_w=1$ , puesto que los terrenos emergidos de la plataforma que se estudia, están constituidos por un suelo compactado-estabilizado, mezcla de varios diámetros de partículas finas, (arenas, limos y arcillas), con diámetro efectivo tal que su porosidad resulta despreciable, y por tanto resulta  $\gamma_w=1$ .

Por tanto para el presente estudio, la expresión final del Run up corregida por estos coeficientes, será  $R_{2\%} = R_{02\%} * \gamma_f * \gamma_b * \gamma_w$ , reflejándose los valores de los coeficientes de cambio de pendiente, rugosidad y percolación, en la siguiente tabla:

$\gamma_f$	$\gamma_b$	$\gamma_w$
1	0,6	1

Los resultados del run-up  $R_{02\%}$  en la zona de estudio, que se han realizado con la aplicación informática SMC, módulo de Run-up en playas que lleva implementada la formulación de Nielsen y Hanslow (1991), se recogen en la siguiente tabla:

<b>CÁLCULOS DE RUN-UP</b>	
Pendiente zona emergida	$m = 0,015$
Pendiente media en zona de rompientes	$m=0,045$
Parámetros oleaje a pie de costa	$H_{pp}=5,09$ m, $T_p = 12,2$ seg., $\alpha = 28,39^\circ$
Run-up $R_{02\%}$ según Nielsen Hanslow (1.991)	$R_{0(2\%)} = 2,72$ m.

Por tanto, el valor final de Run-up será de

$$R_{2\%} = R_{02\%} * \gamma_f * \gamma_b * \gamma_w = 1,89 * 1 * 0,6 * 1 = \mathbf{1,63 \text{ m.}}$$

#### 1.5. COTA DE MÁXIMA INUNDACIÓN

La cota de máximo alcance del nivel del mar en episodios de temporal según los criterios establecidos en el artículo 4.a. y 4.b. del Reglamento General de Costas, se obtendrá superponiendo los efectos descritos de mareas (astronómica y meteorológica) y run-up, por lo que para la obtención de la máxima cota de inundación posible bajo dichos preceptos reglamentarios, se podría sumar el valor obtenido del máximo nivel mareal (marea astronómica + marea meteorológica) según el estudio de los registros de los mareógrafos (apartado 1.2.1), que se correspondieron con un valor de 1,04 m. sobre el N.M.M.A., con el de run-up de 1,63 m, dado que se trata de registros reales en el período de 5 años que podrían haber tenido lugar el mismo día, y como se señaló en el apartado 1.2.1, ambos incrementos (mareal y run-up) responden a oscilaciones de distinto tipo, por lo que su superposición a efectos prácticos hubiera sido posible de haberse dado coincidencia en el tiempo.

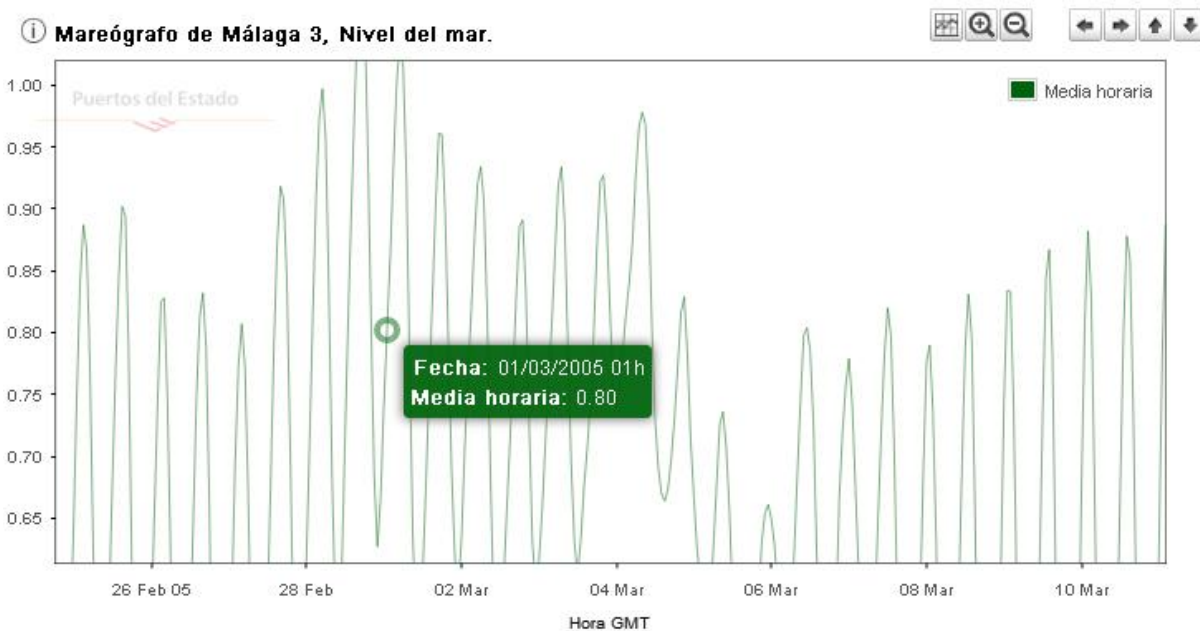
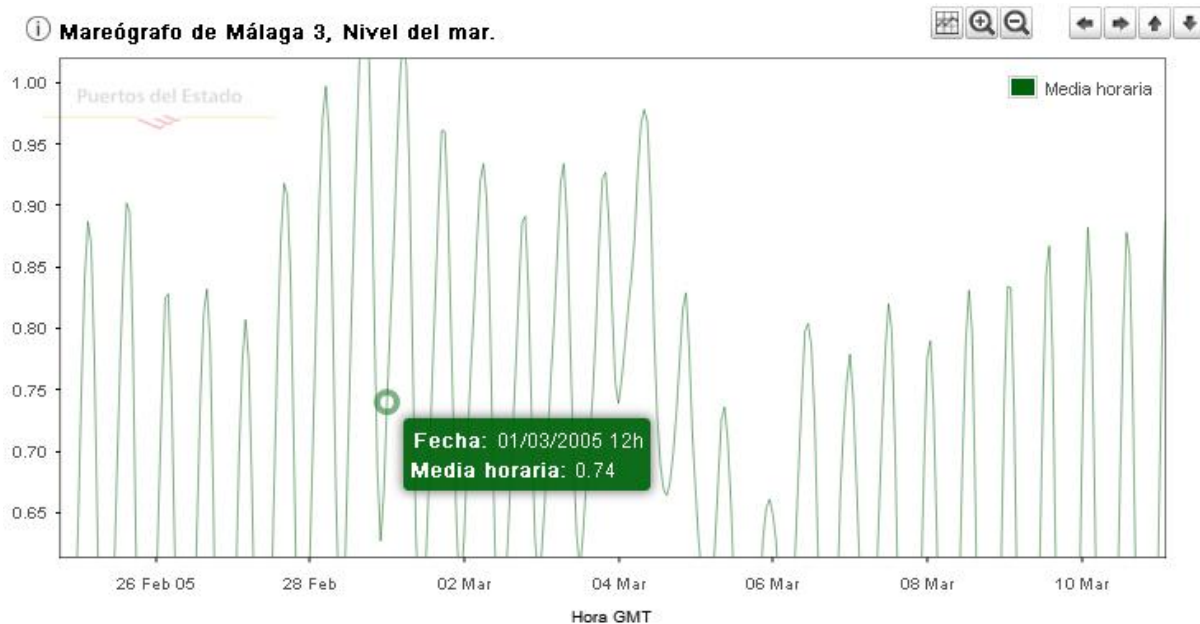
Sin embargo, para garantizar la seguridad del resultado de cota de inundación en cuanto a su cumplimiento estricto de los criterios reglamentarios, estableciendo la premisa de sucesos consumados de inundación, se tomará el incremento mareal de la hora del episodio del temporal de estudio (según mareógrafo), que tuvo lugar el 1 de marzo del año 2005.

Los datos del temporal son:



BOYA	AÑO	Mes	Hs Max.	Tp	Dir	Dia	Hora
ALBORÁN	2005	Marzo	4.6	12.2	91	01	00

Por tanto, se obtienen de Puertos del Estado, los datos del mareógrafo para el día 1 de marzo de 2005, a la 00:00. El mareógrafo mas próximo a la zona de estudio es el de Algeciras, si bien, dicho mareógrafo no comenzó su actividad hasta el año 2009, por lo que se han recabado los datos del mareógrafo de Málaga, con el resultado que se refleja en las siguientes gráficas (resultado en m., sobre el cero Redmar:)



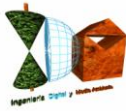
El nivel a las 00:00 fue de 74 cm sobre el cero Redmar, y el de las 01:00 fue de 80 cm. Se ha tomado también el nivel de la hora siguiente, dado que como la boya de Alborán se encuentra en aguas indefinidas, a una distancia aproximada de 21 km de la costa, de modo que por la celeridad de la onda (entorno de 19 m/s) asociada a la longitud de onda del temporal calculado, una ola tardaría en propagarse desde la boya a la orilla entre 20 y 30 minutos (con la reducción de profundidad la celeridad disminuye), por lo que realmente el registro de la ola de las 00:00, llegará a pié de costa sobre las 00:30 UTC. Suponiendo un incremento constante del nivel mareal, se tomará para las 00:30 un nivel de 77 cm., que trasladados al cero geodésico (N.M.M.A.) según los datos del mareógrafo proporcionaría:

**MAREÓGRAFO DE MÁLAGA 3546**

NIVEL REFERIDO AL N.M.M.A.				
AÑO	MES	DÍA	HORA	NIVEL (cm)
2005	Marzo	1	00:30	34

Sobre la base metodológica y teórica desarrollada anteriormente, con las formulaciones descritas, y con los paquetes y herramientas informáticas SMC desarrolladas por el GIOC de la Universidad de Cantabria y por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, se ha realizado la estimación de cota de máxima inundación en la zona de estudio de los terrenos anexos situados a poniente del Puerto de Estepona, obteniéndose el siguiente valor, que por lo expuesto y razonado, cumple con lo establecido en el artículo 4. Apartados a) y b) del Reglamento General de Costas, así como con lo establecido en el artículo primero apartado dos de 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.

ZONA	NIVEL MAREAL (astronómica + meteorológica m.)	INCREMENTO POR RUN-UP (m.)	COTA DE MÁXIMA INUNDACIÓN (m.)
Plataforma de terrenos ganados al mar a poniente del Puerto de Estepona	0,34	1,63	<b>1,97</b>



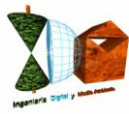
Por tanto la cota de máxima inundación del temporal igualado ó superado en cinco ocasiones en la zona de estudio, en un período de cinco años, es de **1,97 m.**, lo que implica que, a la vista de la topografía de los terrenos objeto de estudio, con cotas inferiores tanto en el levantamiento fotogramétrico como en el levantamiento taquimétrico G.P.S. (se adjunta en apartado 4 del presente estudio) a la obtenida, que **toda la plataforma emergida entre el Puerto y la playa, circundada por un muro de protección tras escollera con un avanzado estado de deterioro por desmoronamiento, es inundable con el temporal de diseño que cumple con los preceptos reglamentarios de definición de “mayores temporales conocidos” (Reglamento General de Costas).**

En los siguientes planos ortofotográficos se evidencia esta circunstancia de inundabilidad:

-en la primera ortofotografía se incluye el levantamiento fotogramétrico a escala 1/1.000 sobre ortofoto, curvas de nivel y su elevación en blanco y puntos de cota altimétrica en negro.

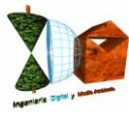
-en la segunda ortofotografía, se refleja la línea de inundación de 1,97 m. sobre el N.M.M.A. (en color fuxia), obtenida por propagación de la misma sobre el modelo digital del terreno (MDT del terreno) emergido, realizado a partir de la altimetría de la ecocartografía y del levantamiento con equipos G.P.S. realizado de la zona. Dicha línea de inundación, que cumple con los preceptos reglamentarios, se refleja asimismo con las delimitaciones demaniales del Proyecto de deslinde caducado.





Ortophotografía con la altimetría del terreno, curvas de nivel en blanco, y puntos acotados del terreno en negro.






**LÍNEA DE INUNDACIÓN  
1,97 m. SOBRE N.M.M.A.**

**LÍNEA DE D.P.M.T.  
PROYECTO ANULADO**

**RIBERA DEL MAR  
PROYECTO ANULADO**

Ortofotografía con la línea de inundación obtenida de 1,97 m. sobre el N.M.M.A., y con las delimitaciones demaniales del Proyecto Anulado

 **Visado E006468**  
19/05/2017



## 2. CÁLCULO DE LA COTA DE INUNDACIÓN PRODUCIDA POR EL TEMPORAL DEL 20 DE FEBRERO DE 2016

### 2.1 METODOLOGÍA APLICADA

Se aplicará la misma metodología, formulaciones y software SMC del GIOC (Universidad de Cantabria), que la desarrollada y especificada a lo largo del anterior apartado 1., salvo en lo referente a la obtención del temporal de estudio, ya que en el presente apartado 2. se realizará un estudio específico de la cota de inundación que produjo el temporal que tuvo lugar el día 20 de febrero de 2016.

### 2.2 DATOS DEL TEMPORAL DEL DÍA 20 DE FEBRERO DE 2016

#### 2.2.1. NIVELES MAREALES DEL DÍA 20-02-2016

Siguiendo el mismo criterio de garantizar la seguridad del resultado con sucesos de inundación consumados aplicado en el apartado de cálculos según los supuestos reglamentarios, se recabaron los datos del mareógrafo mas próximo a la zona de estudio, el mareógrafo de Algeciras 3541, a la misma hora (las 13:00 UTC) del registro de la boya de altura de ola significativa que se tomará del día 20 de febrero de 2016:

#### MAREÓGRAFO DE ALGECIRAS 3541

NIVELES REFERIDOS AL CERO REDMAR					
MES	DÍA	Hora (UTC)	Nivel cm)	Marea Astronómica (cm)	Marea Meteorológica (cm)
FEB.	20	13	107	101	6

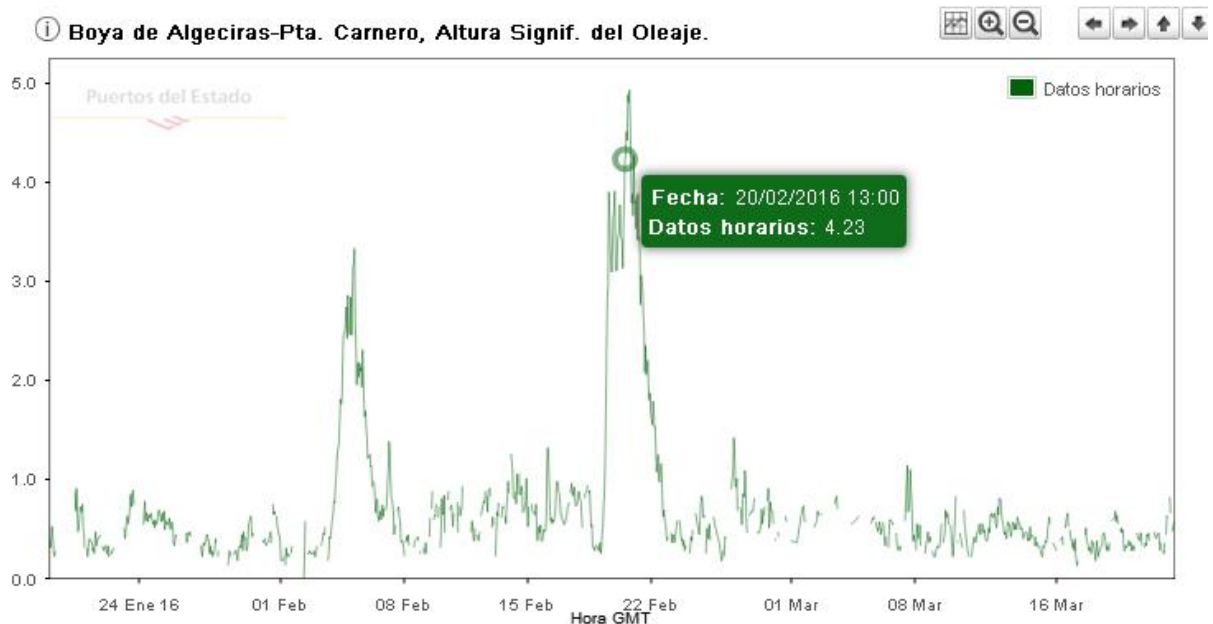
A partir de los parámetros de nivelación y referencias altimétricas de los mareógrafos, que proporciona Puertos del Estado, se transformaron los niveles anteriores referidos al cero REDMAR, a niveles referidos al N.M.M.A. para su homogenización y compatibilidad con el cero del sistema cartográfico-batimétrico sobre el que se realiza el presente estudio. Los valores de los niveles mareales anteriores, referidos al N.M.M.A. (cero geodésico, I.G.N.) fueron los siguientes:

MAREÓGRAFO DE ALGECIRAS 3541

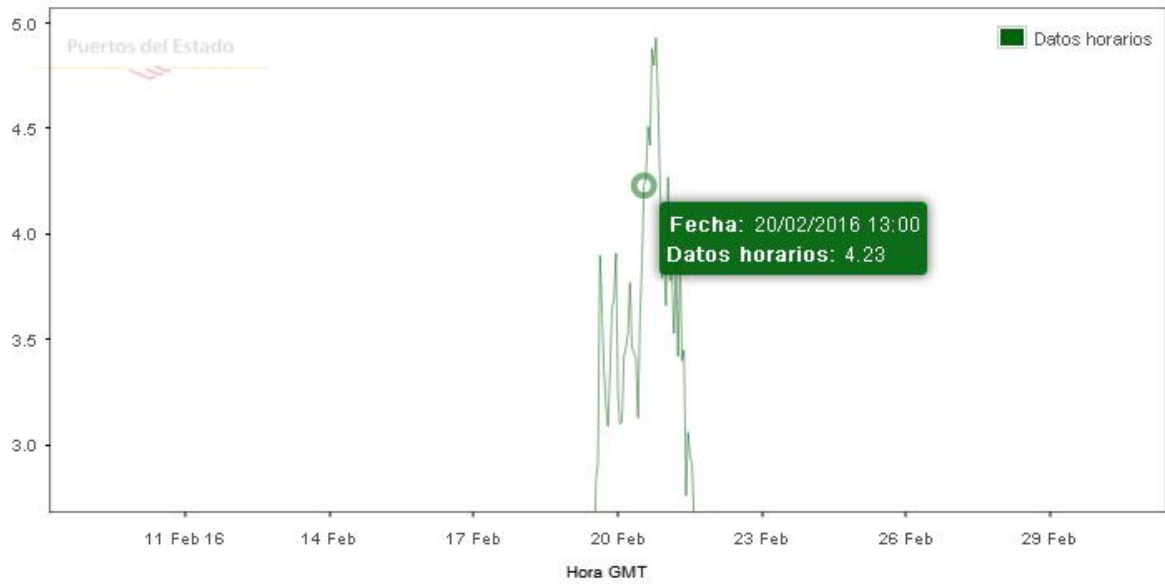
NIVELES REFERIDOS AL N.M.M.A.				
MES	DÍA	Hora (UTC)	Nivel cm	Nivel (m.)
FEBRERO	20	13	54,90	<b>0,54</b>

2.2.2. REGISTROS DE LA BOYA DE ALGECIRAS-PUNTA CARNERO DEL DÍA 20-02-2016

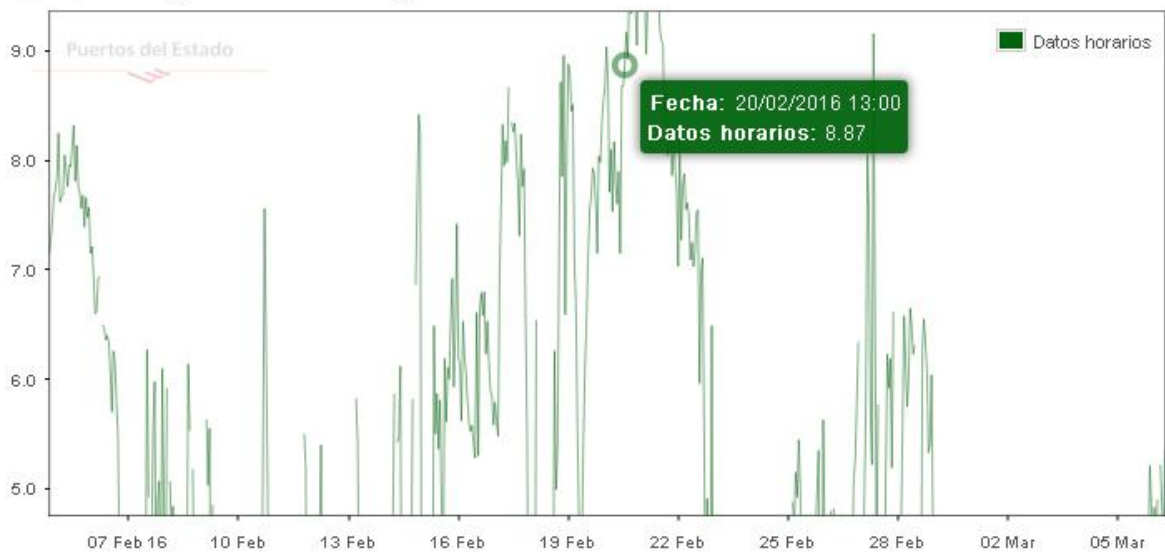
La boya activa de mayor proximidad a la zona de estudio de Estepona, la de Algeciras-Punta Carnero, y cuyos resultados han sido calibrados en el apartado anterior con las magnitudes del punto Simar de mayor proximidad con los resultados de la aplicación de los criterios reglamentarios en un período de estudio de cinco años, proporciona los siguientes datos del temporal del día 20 de febrero de 2016 a las 13:00:

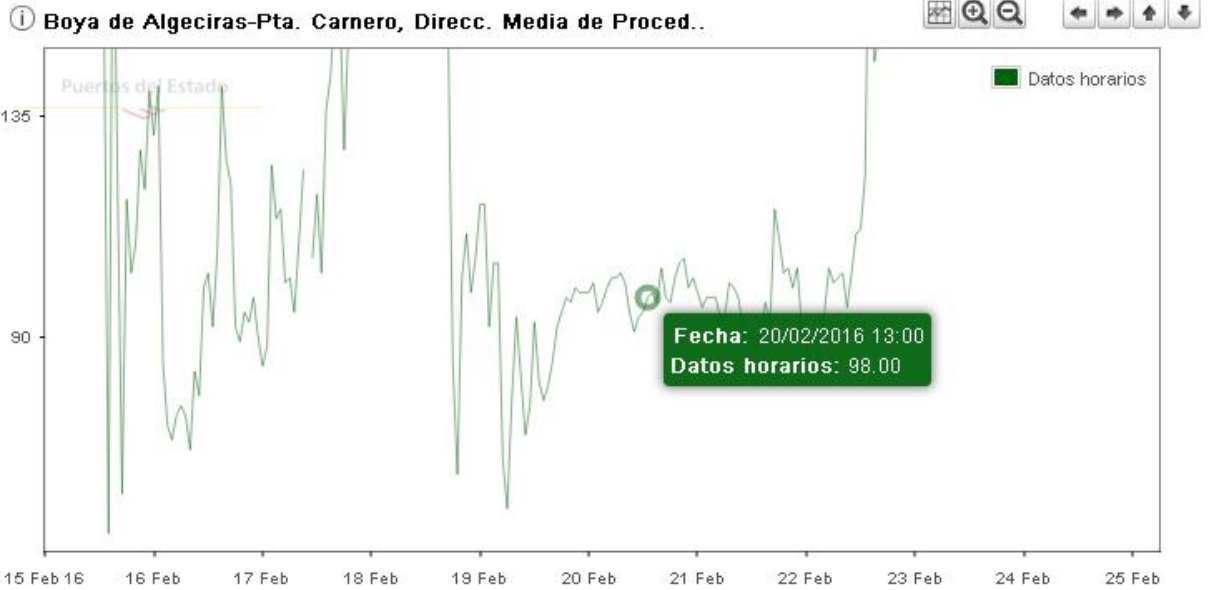


① **Boya de Algeciras-Pta. Carnero, Altura Signif. del Oleaje.**



① **Boya de Algeciras-Pta. Carnero, Periodo de Pico.**





BOYA DE ALGECIRAS-PTA. CARNERO 1504					
MES/AÑO	DÍA	HORA	Altura significante (m.)	Período de pico (seg)	Dirección Procedencia (º sex.)
Febrero 2016	20	13:00	4,23	8,87	98º

Al objeto de su utilización en los cálculos de máximos niveles de inundación, estos datos de la boya, serán tratados con una doble propagación, teniendo en cuenta que la boya no se encuentra en aguas profundas sino en aguas intermedias (40 m. de profundidad), por lo que se realizará una primera propagación hasta profundidades indefinidas, y desde allí hasta pie de costa de la zona de estudio.

## 2.3 PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

### 2.3.1. PRIMERA FASE: DESDE LA BOYA A AGUAS INDEFINIDAS SEGÚN DIRECCIONES PRINCIPALES

Como la profundidad de la boya de Algeciras-Punta Carnero, no corresponde a aguas indefinidas, se hace necesaria una primera propagación hasta profundidades indefinidas. Al tratarse de una boya direccional, y conocerse la dirección de procedencia del oleaje, se aplicará la teoría de asomeramiento de Shuto descrita en el apartado 1., a los siguientes valores que caracterizan el temporal:

Hs (m.) a 40 m. de prof.	Tp (seg.)	$\alpha_0$ ángulo inicial frente oleaje batimetría (grados sex.) a 40 m. de prof.	Pendiente <b>m</b> promedio de batimetría en zona de propagación (desde 85m.)	Distancia aproximada de la boya a la costa (m.)
4,23	8,87	57	0,015	1.660

Para aguas indefinidas, y aplicando asomeramiento de Shuto, obtenemos una altura de ola en profundidades indefinidas de **4,15 m.**

### 2.3.2. SEGUNDA FASE: DESDE PROFUNDIDADES INDEFINIDAS HASTA PIE DE COSTA

En función de los datos del temporal, de la batimetría y de la cartografía, los datos de los que ya se dispone antes de realizar esta segunda fase para obtener el régimen de oleaje propagado a pie de costa son:

Hs (m.) a 40 m. de prof.	Hs (m.) en aguas indef.	Tp (seg.)	$\alpha_0$ ángulo inicial frente oleaje batimetría (grados sex.) a 40 m. de prof.	Pendiente promedio batimetría zona propagación desde (-85 m.)	m de en de	Pendiente promedio en zona de rompientes	m	Distancia aproximada de la boya a la costa (m.)
4,23	4,15	8,87	57	0,015		0,045		1.660

Aplicando la teoría de asomeramiento de Shuto, los criterios de rotura y el software SMC (módulos de Propagación y de Rotura) descritos en el apartado 1 del presente estudio (cálculos con los criterios del Reglamento General de Costas), se obtienen los valores propagados a pie de costa, hasta una profundidad levemente superior a la profundidad de rotura previamente estimada, al objeto de que no se haya iniciado el proceso de rotura de la ola, como ya se indicó en los cálculos de dicho apartado. Los valores de propagación han sido los siguientes:



H <sub>b</sub> , estimación de la altura de ola (m.) en rotura , con teoría de asomeramiento de Shuto.	4,36
d <sub>b</sub> Onda solitaria (m.)	5,59
d <sub>b</sub> Weggel (m.)	4,55
d <sub>b</sub> Goda (m.)	4,93
d <sub>b</sub> Sunamura (m.)	5,27
d <sub>b</sub> Kamisky-Krauss (m.)	4,82
d <sub>b</sub> Miche (m.)	5,00
d <sub>b</sub> Ostendorf-Madsen (m.)	4,95
d <sub>b</sub> Battjes (m.)	5,18
d <sub>b</sub> Kamphuis (m.)	6,32
d <sub>b</sub> Larson-Krauss (m.)	5,15
d <sub>b</sub> promedio varios autores (m.)	5,17
d <sub>b</sub> incrementado +1 m. para cálculos de propagación, para asegurar que no ha tenido lugar el inicio del fenómeno de rotura (m.)	6,1
d <sub>b</sub> con teoría de asomeramiento de Shuto (m.)	6,08
H <sub>spp</sub> altura de ola significativa propagada a pie de costa a la profundidad de 6,1 m., antes del inicio de proceso de rotura (m.)	4,35
T <sub>p</sub> período de pico	8,87
α ángulo de incidencia del oleaje a la profundidad de propagación en grados sex.	29,41

Por tanto, los valores resultantes tras la propagación, que servirán para los cálculos del run-up, son los siguientes:

H <sub>spp</sub> (m.)	T <sub>p</sub> (seg.)	α	Profundidad de propagación previa a la rotura (m.)	Pendiente media m en zona de rompientes
4,35	8,87	29,41	6,1	0,045

## 2.4 CÁLCULOS DE RUN-UP

Una vez obtenidos y calculados los valores del temporal propagados a pie de costa de la zona a poniente del Puerto del T.M. de Estepona, se calculará la sobreelevación del mar por efecto del run-up.

Se aplica la misma metodología descrita en los cálculos del apartado 1., obteniendo los resultados del run-up  $R_{02\%}$  con la aplicación informática SMC, módulo de Run-up en playas que lleva implementada la formulación de Nielsen y Hanslow (1991), aplicando posteriormente para la obtención del  $R_{2\%}$  la corrección de Van Der Meer. Los factores correctores ya obtenidos en dicho apartado fueron :

$\gamma_f$	$\gamma_b$	$\gamma_w$
1	0,6	1

CÁLCULOS DE RUN-UP	
Pendiente zona emergida	$m = 0,015$
Pendiente media en zona de rompientes	$m=0,045$
Parámetros oleaje a pie de costa	$H_{pp}=4,35$ m, $T_p = 8,87$ seg., $\alpha = 29,41^\circ$
Run-up $R_{02\%}$ según Nielsen Hanslow (1.991)	$R_{0(2\%)} = 1,82$ m.

Por tanto, el valor final de Run-up será de

$$R_{2\%} = R_{02\%} * \gamma_f * \gamma_b * \gamma_w = 2,34 * 1 * 0,6 * 1 = \mathbf{1,092 \text{ m.}}$$

## 2.5 COTA DE MÁXIMA INUNDACIÓN

Al igual como se procedió en los cálculos del apartado 1., la cota de máximo alcance del nivel del mar en el episodio de temporal del día 20 de febrero de 2016, se obtiene superponiendo los efectos de mareas (astronómica y meteorológica) y run-up, por lo que se suma el valor del nivel mareal (marea astronómica + marea meteorológica) dado por el mareógrafo en el citado día y a la misma hora de los registros del oleaje, es decir, a

las 13:00 horas, al del run-up obtenido. Dada la celeridad de la onda y la distancia de la boya a la orilla de 1.660 m., la ola registrada por la boya, tardará aproximadamente 2 minutos en llegar a la orilla, por lo que no resulta necesario sincronizar el registro de la boya con un registro posterior del mareógrafo al de las 13:00.

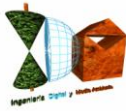
Los resultados referidos al N.M.M.A. son los siguientes:

ZONA	MÁXIMO NIVEL MAREAL (astronómica + meteorológica m.)	INCREMENTO POR RUN-UP (m.)	COTA DE MÁXIMA INUNDACIÓN (m.)
Plataforma de terrenos ganados al mar a poniente del Puerto de Estepona	0,54	1,092	<b>1,63</b>

Por tanto la cota de máxima inundación del temporal que tuvo lugar el día 20 de febrero de 2016 en la zona de estudio, fue de **1,63 m.**, por lo que, **en función de la cota de inundación obtenida, la plataforma es inundable con los parámetros del temporal calculado**, tal y como se evidencia en el ortofoto-plano topográfico de la página 96.

Este resultado confirma el obtenido según los criterios reglamentarios en el apartado 1 en cuanto a la inundabilidad de los terrenos objeto de estudio, dado que con un temporal con valores inferiores de magnitud a los del temporal seleccionado según los preceptos del Reglamento General de Costas (altura de ola y período de pico), se ha constatado la inundación de los mismos, tanto sobre el propio terreno (reportaje fotográfico) como con los cálculos teóricos.

Se adjunta un reportaje fotográfico de campo realizado el día 20 de febrero durante el episodio de temporal realizadas por los técnicos del Servicio de Vigilancia de la Demarcación de Costas en Málaga, junto con una serie de exportaciones GIS de detalle de la topografía de la zona interior de los terrenos, al objeto de ubicar las fotografías así como constatar que el resultado de cota de inundación obtenido sobre la topografía de los terrenos objeto de estudio, son coherentes con las fotografías de inundación del mismo día del temporal obtenidas sobre el terreno.



Antes del reportaje, se incluye copia de un certificado del Centro Meteorológico de Málaga en el que se acredita que los días previos al 20 de febrero de 2016 no hubo precipitaciones en la zona, exceptuando las cantidades irrelevantes de los días 18 y 19 ambas inferiores a los 4 mm en 24 horas, con lo que se elimina la posibilidad de aportes pluviales a la zona como causa de las inundaciones visibles en dichas fotografías.

No obstante lo anterior, en las propias fotografías se visualiza la penetración del mar en la acción del temporal por las zonas de desmoronamiento de los muros, por la playa del extremo de poniente, así como el rebase en zonas de muros no derruidos, lo que incide en el sentido de la procedencia marina de las inundaciones.

Pablo Aguayo Maldonado, Jefe de la Sección de Climatología del Centro Meteorológico de Málaga, y a solicitud de  
**MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE.**  
**DEMARCACIÓN DE COSTAS.**

**Certifica:**

Que en base a los datos disponibles en los archivos de este Centro Meteorológico,

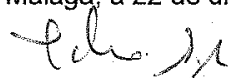
Los datos de precipitación diaria registrados en la estación **Estepona (6058I)** los días **15 al 22 de febrero de 2016** son los que se detallan a continuación:

FECHA	P24
15/02/2016	0.0
16/02/2016	0.0
17/02/2016	0.0
18/02/2016	1.4
19/02/2016	3.8
20/02/2016	0.0
21/02/2016	0.0
22/02/2016	0.0

P24.- Precipitación de 0 a 24 horas y expresada en mm (l/m<sup>2</sup>).

El presente certificado se emite a los efectos oportunos.

Málaga, a 22 de diciembre de 2016





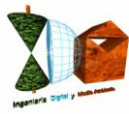
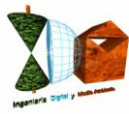


Imagen de la topografía general de la zona sobre ortofoto. Puntos de cota terreno en negro, isobatas y curvas de nivel y su elevación en blanco. En función de la cota de inundación obtenida, toda la plataforma es inundable con los parámetros del temporal calculado.





**INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)**

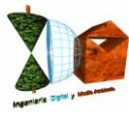
C/ Navarra nº 2, Urb. Alcor 1, 28280 El Escorial, Madrid

Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es



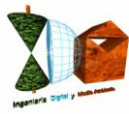
*Foto nº 1. Terrenos de estudio inundados en su totalidad dada su morfología de pendiente casi nula y cota altimétrica promedio de 1,2 m., inferior a la cota +1,63 m. calculada (salvo sobreelevaciones puntuales aisladas), desde el muro perimetral exterior hasta la base de línea de edificaciones interior dónde el terreno empieza a acercarse a la cota +2 (sobre N.M.M.A.), desde dónde se tomó la fotografía.*





Ubicación de toma (punto rojo) y cobertura de panorámica de la foto nº 1 (sombreada en azul) sobre ortofoto-plano topográfico de la zona.





**INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)**

C/ Navarra nº 2, Urb. Alcor 1, 28280 El Escorial, Madrid

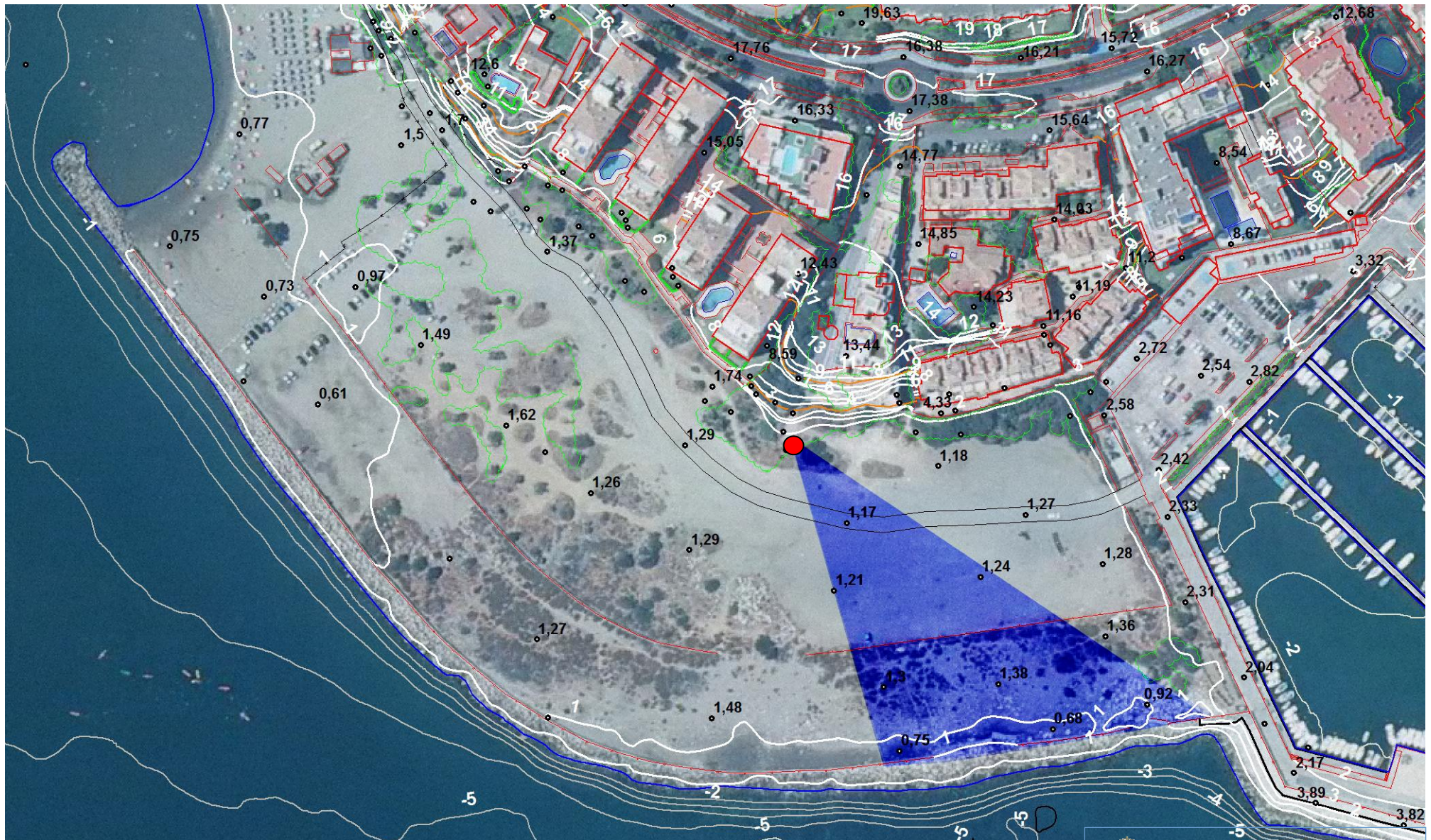
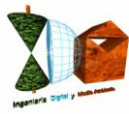
Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es



Foto nº2. Imagen con panorámica desplazada hacia levante respecto de la anterior (hacia el Puerto). En primer plano, los terrenos de estudio inundados, en el fondo del plano, la penetración directa del mar por las zonas de desmoronamiento del muro, así como el rebase en zonas mantenidas.

 Colegio de Ingenieros de Montes  
Visado E006468  
19/05/2017

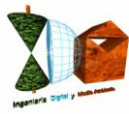




Ubicación de toma (punto rojo) y cobertura de panorámica de la foto nº 2 (sombreada en azul) sobre ortofoto-plano topográfico de la zona.

Visado E006468  
19/05/2017  
Ingenieros de Montes





**INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)**

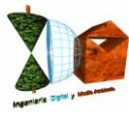
C/ Navarra nº 2, Urb. Alcor 1, 28280 El Escorial, Madrid

Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es



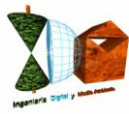
*Foto nº 3. Penetración del mar por una de las dos grandes zonas de desmoronamiento del muro de protección tras escollera. En primer plano, zona inundada comprendida entre muro perimetral exterior tras escollera y muro interior.*





Ubicación de toma (punto rojo) y cobertura de panorámica de la foto nº 3 (sombreada en azul) sobre ortofoto-plano topográfico de la zona.





**INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)**

C/ Navarra nº 2, Urb. Alcor 1, 28280 El Escorial, Madrid

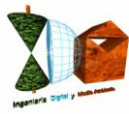
Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es



*Foto nº 4. Terrenos de estudio inundados en su totalidad desde el muro perimetral exterior hasta la base de línea de edificaciones interior, dónde el terreno aumenta de cota (empieza a acercarse a la cota +2 sobre N.M.M.A.) con cordón de vegetación que se aprecia en primer plano de la foto.*

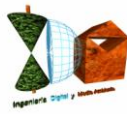
 **Visado E006468**  
Colegio de Ingenieros de Montes **19/05/2017**





Ubicación de toma (punto rojo) y cobertura de panorámica de la foto nº 4 (sombreada en azul) sobre ortofoto-plano topográfico de la zona.





**INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)**

C/ Navarra nº 2, Urb. Alcor 1, 28280 El Escorial, Madrid

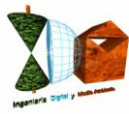
Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es



*Foto nº 5. Inundación evidente hasta la base de línea de edificaciones, dónde el terreno aumenta de cota (empieza a acercarse a la cota +2 sobre N.M.M.A.) con cordón de vegetación (izquierda de la imagen). A la derecha dunas con vegetación sobreelevadas de la cota media de la zona.*

 **Visado E006468**  
Colegio de Ingenieros de Montes **19/05/2017**

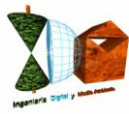




Ubicación de toma (punto rojo) y cobertura de panorámica de la foto nº 5 (sombreada en azul) sobre ortofoto-plano topográfico de la zona.







**INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)**

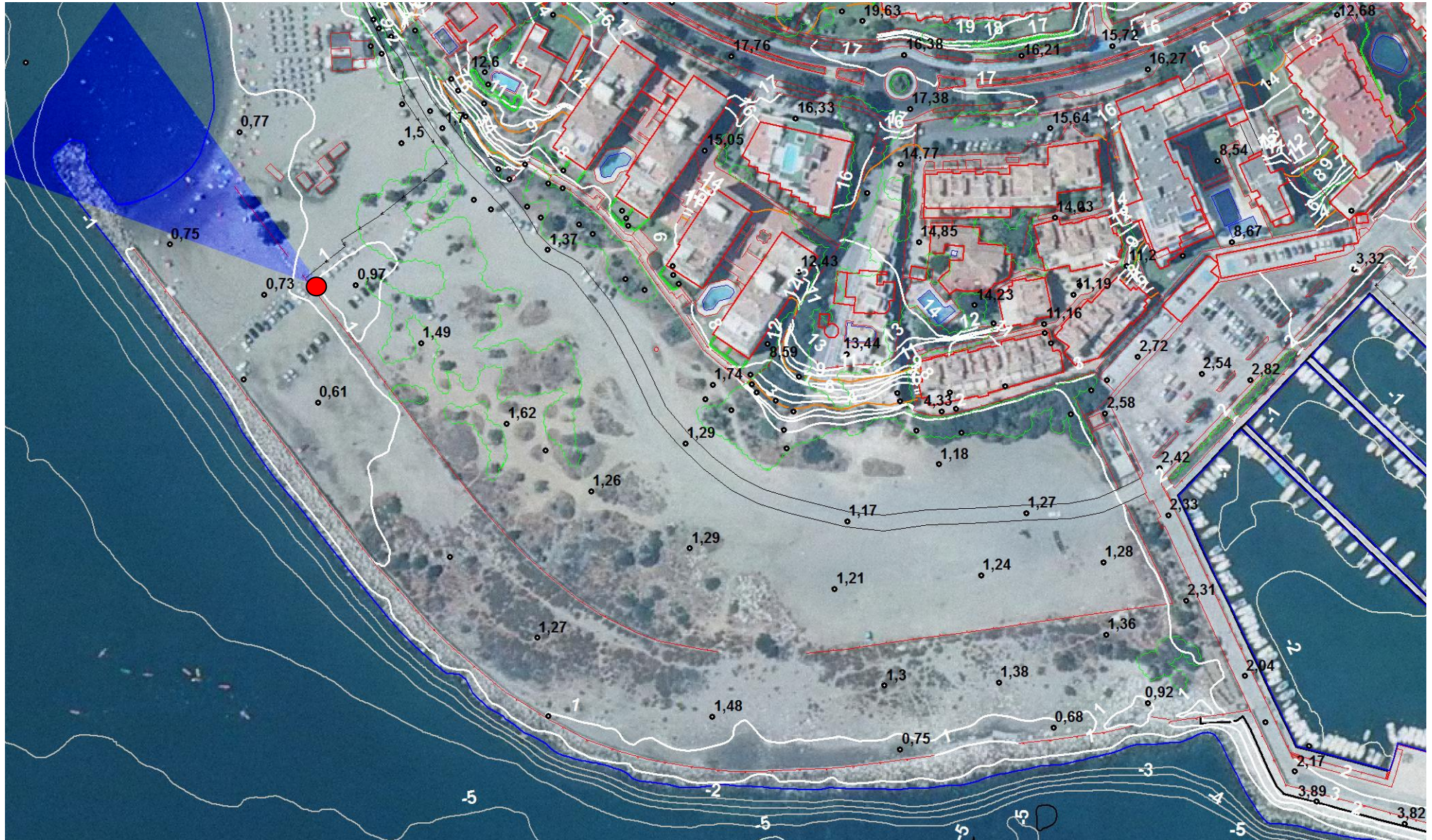
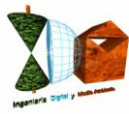
C/ Navarra nº 2, Urb. Alcor 1, 28280 El Escorial, Madrid

Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es



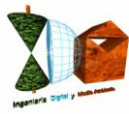
*Foto nº 6. Penetración directa del mar a la zona de estudio desde la playa del extremo de poniente*





Ubicación de toma (punto rojo) y cobertura de panorámica de la foto nº 6 (sombreada en azul) sobre ortofoto-plano topográfico de la zona.





**INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)**

C/ Navarra nº 2, Urb. Alcor 1, 28280 El Escorial, Madrid

Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es



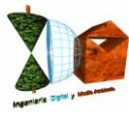
Foto nº 7. Vista a la izquierda de la imagen de la zona de conexión a levante de los terrenos de estudio con el espigón del Puerto. La fotografía está tomada desde la rampa de salida de los edificios a la zona, dónde comienza a elevarse la cota altimétrica del terreno y el cordón vegetativo.



Colegio de  
Ingenieros de Montes

Visado E006468  
19/05/2017

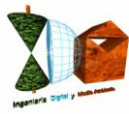




Ubicación de toma (punto rojo) y cobertura de panorámica de la foto nº 7 (sombreada en azul) sobre ortofoto-plano topográfico de la zona.







**INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)**

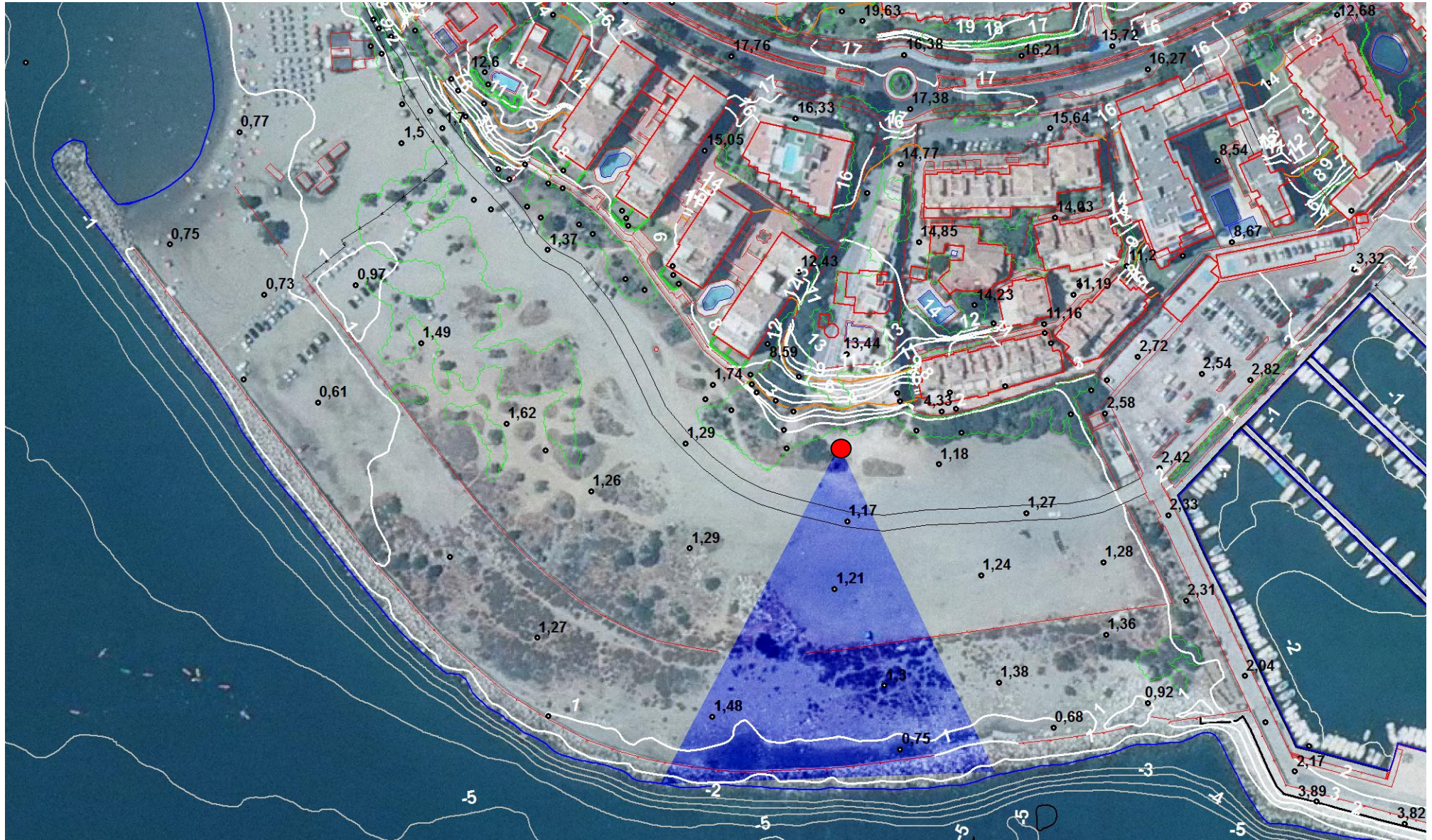
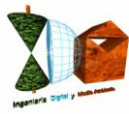
C/ Navarra nº 2, Urb. Alcor 1, 28280 El Escorial, Madrid

Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es



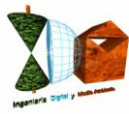
*Foto nº 8. Vista tomada desde la rampa de salida de los edificios a la zona (junto al punto de la toma anterior) hacia el muro perimetral exterior, apreciándose la inundación completa de los mismos y la penetración directa del mar por zona de desmoronamientos.*





Ubicación de toma (punto rojo) y cobertura de panorámica de la foto nº 8 (sombreada en azul) sobre ortofoto-plano topográfico de la zona.





**INGENIERIA DIGITAL Y MEDIO AMBIENTE S.L. (IDYMA)**

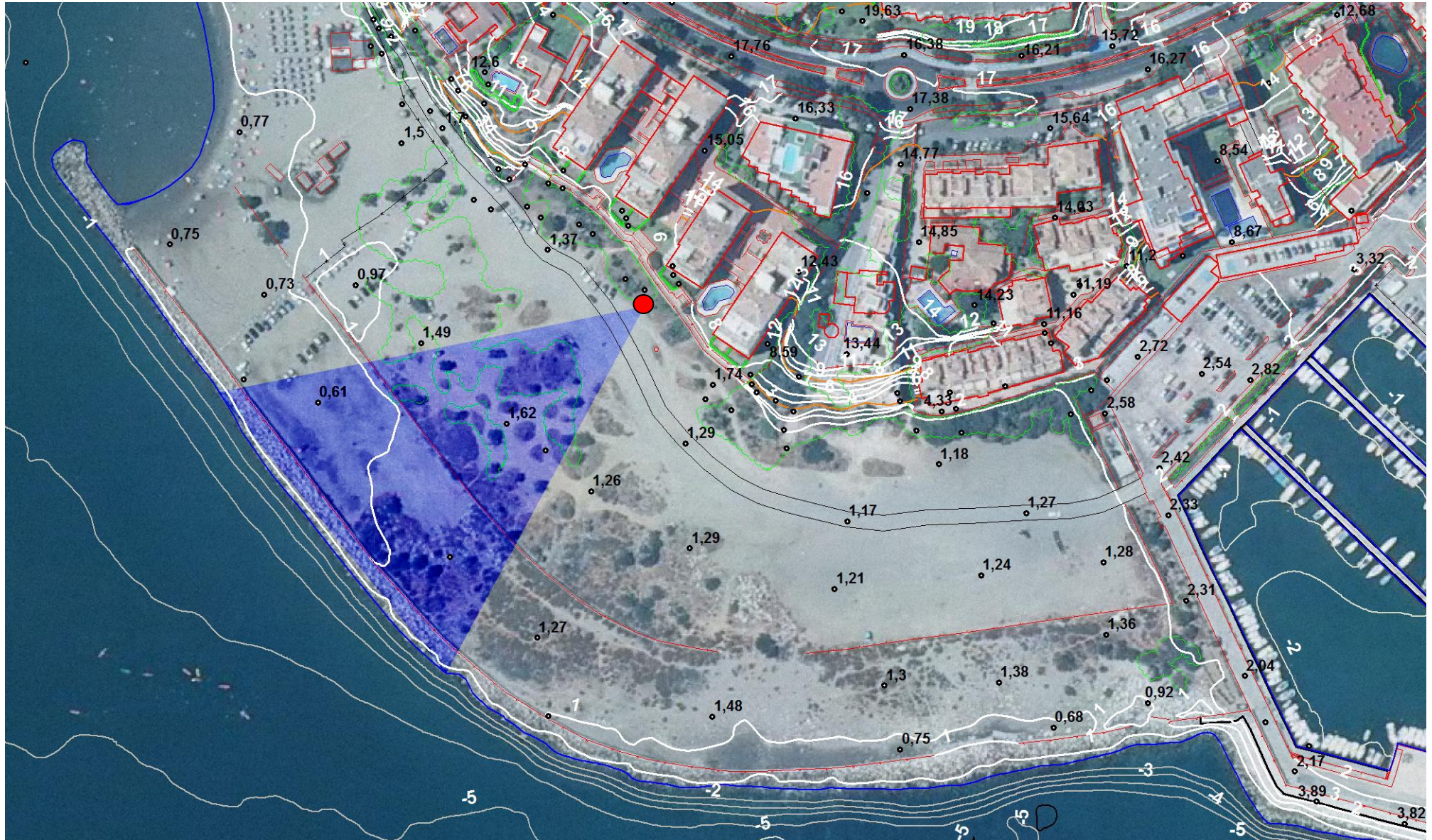
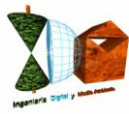
C/ Navarra nº 2, Urb. Alcor 1, 28280 El Escorial, Madrid

Tfno.: 918961731; Fax: 918903410; e-mail: idyma@idyma.es



Foto nº 9. Vista desde el interior de los terrenos de estudio, dónde comienza a elevarse la cota altimétrica del terreno y el cordón vegetativo, junto a la línea de fachada de los edificios, hacia zona de muros (sin desmoronar), dónde no obstante se aprecia el fenómeno de rebase por el oleaje.





Ubicación de toma (punto rojo) y cobertura de panorámica de la foto nº 9 (sombreada en azul) sobre ortofoto-plano topográfico de la zona.

