

5.B Estudio del remonte de ola para tramo de costa comprendido entre los vértices 1841-1855 de Cala Fornells, término municipal de Calvià, Mallorca

A continuación, se detalla el cálculo del remonte de ola para el tramo costero situado en Cala Fornells, en el término municipal de Calvià. Dicho cálculo se basa en una serie de pasos necesarios hasta llegar al resultado final.

Para realizar el cálculo de remonte de ola, partiremos de los datos del punto SIMAR 2113114, de la red de Puertos del Estado, ya que es el que se encuentra en las inmediaciones de la ensenada de Santa Ponça.

El conjunto de datos SIMAR-44 está formado por series temporales de parámetros atmosféricos y oceanográficos procedentes de modelado numérico. El conjunto SIMAR-44 se constituye a partir de modelado numérico de alta resolución de atmósfera, nivel del mar y oleaje que cubre todo el entorno litoral español. La simulación de atmósfera y nivel del mar en todo el dominio de trabajo, así como la simulación de oleaje en la cuenca mediterránea han sido realizadas por Puertos del Estado en el marco del Proyecto Europeo HIPOCAS.

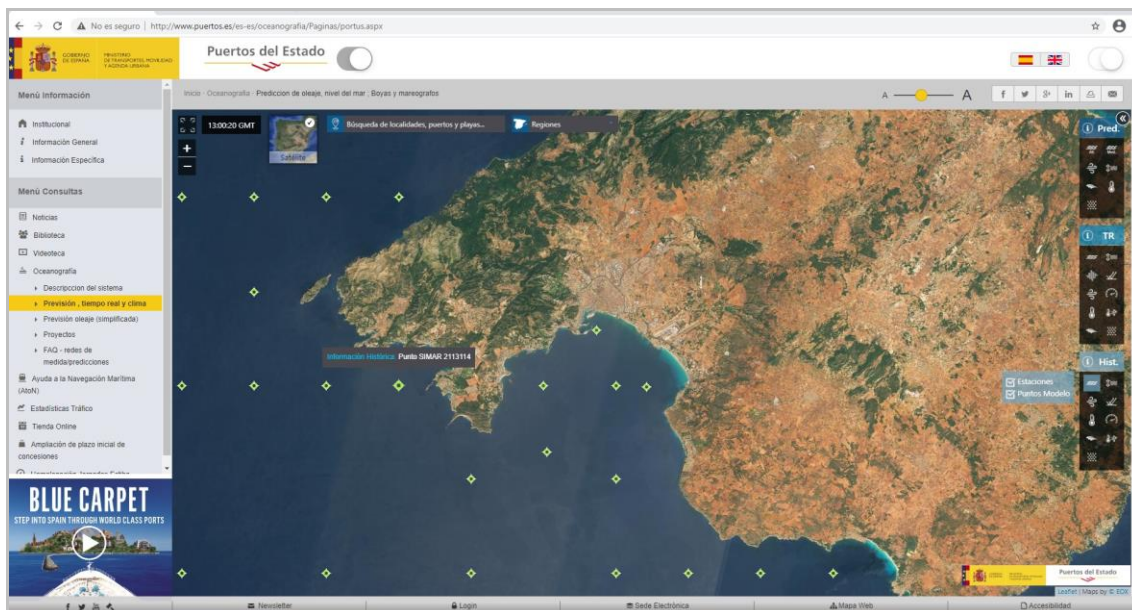
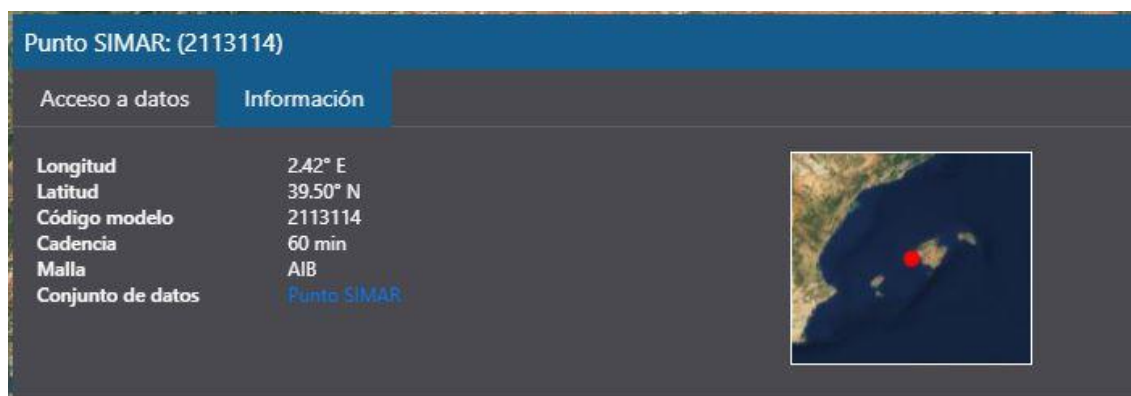


Fig. 1. Punto SIMAR 2113114, y parámetros a consultar.



Una vez seleccionado el Punto SIMAR inmediato a nuestra zona de estudio, se puede consultar en él datos históricos de oleaje, viento, temperatura del agua, corrientes, nivel del mar, agitación entre otros parámetros. Para nuestros cálculos consultaremos la base de datos de oleaje.




Fig. 2. Punto SIMAR 2113114, y análisis interactivos.

Dentro del cuadro de diálogo seleccionamos las gráficas de series temporales, y las analizaremos anualmente, seleccionando quinta mayor ola registrada en 5 años consecutivos. Para ello se tomó el intervalo temporal 2016 a 2021.

De análisis de las series temporales se obtiene el siguiente de registro de los mayores temporales entre 2016 y 2021.

Orden	Fecha	Hora	Hs. Máx.(m)	Tp (s)
1º	28/10/2020	5:00	5,74	10,01
2º	28/12/2020	6:00	5,34	10,01
3º	28/12/2020	4:00	5,20	9,10
4º	11/12/2017	11:00	4,94	10,49
5º	11/12/2017	12:00	4,92	10,96
6º	28/12/2020	7:00	4,89	9,10
7º	11/12/2017	13:00	4,73	10,89
8º	01/02/2019	10:00	4,73	10,01

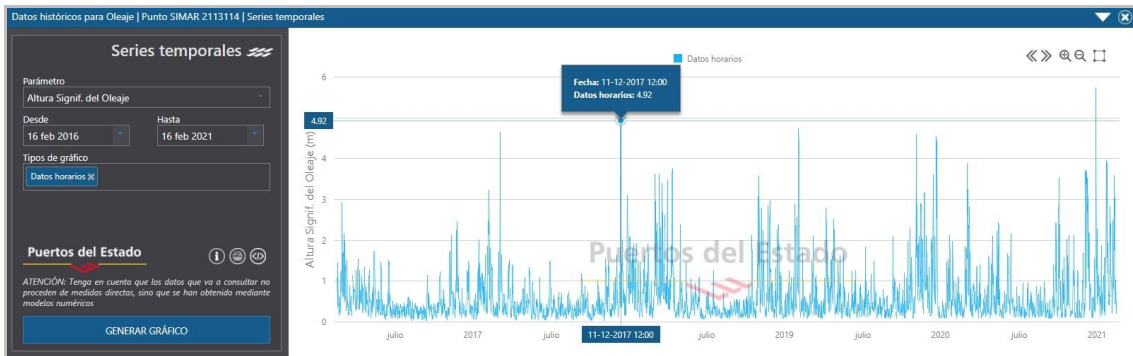


Fig. 3. Tabla de altura significativa de oleaje, desde febrero de 2016 a febrero 2021. Punto SIMAR 2113114.

La quinta mayor ola registrada en dicho intervalo temporal corresponde, es la que se detectó el 11 de diciembre de 2017, a las 12:00, con una altura de 4,92 m.

Con los datos obtenidos del Punto SIMAR 2113114, para dicha ola, se procederá a realizar el cálculo de remonte de ola según cálculos según el CEM (Coastal Engineering Manual).

Para hacer los cálculos según el CEM (Coastal Engineering Manual), es necesario obtener la altura de la ola significativa en aguas profundas (H_0), para calcular la altura de la ola significativa según el CEM (H'_0). Pero como los datos obtenidos en el punto SIMAR son simulaciones de oleaje para ese punto, el valor que obtenemos en el punto SIMAR es el H'_0 .

La fórmula para calcular según el CEM H'_0 , se utiliza la fórmula siguiente:

$$H'_0 = K_s \cdot K_r \cdot H_0$$

Donde $K_s \cdot K_r$ son coeficientes de **shoaling** y **refracción** respectivamente. Es un parámetro que se debe calcular, según el CEM, mediante iteraciones entre varias fórmulas, y el H_0 es el obtenido en el paso anterior (según los criterios del ROM). Para el cálculo de $K_s \cdot K_r$, se utilizan las siguientes fórmulas:

$$L_0 = 1.56 T^2$$

, donde:

- L_0 =Longitud de ola profunda
- $T=T_p$ =Periodo punta (obtenido del ATESSN2001)

$$\frac{1}{2} C_0 = \frac{1}{2} (1.56 T)$$

, donde:

- C_0 =Celeridad en aguas profundas (m/s).
- $T=T_p$ =Periodo punta (obtenido del ATESSN2001)

$$C_s = nC = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{4\pi d/L}{\sinh(4\pi d/L)} \right) \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$$

, donde:

- C_g =Celeridad de grupo (m/s).
- $T=Tp$ =Periodo punta (obtenido del ATESSN2001) (s).
- L_1 =Longitud de ola a 10m de profundidad (m).
- d =Profundidad de rotura (m).
- g =Gravedad (m/s).

$$K_s = \left(\frac{C_{g0}}{C_{g1}} \right)^{\frac{1}{2}}, \text{ donde:}$$

- C_{g0} =Celeridad de grupo en aguas profundas (m/s).
- C_{g1} =Celeridad de grupo en agua superficial (m/s).

$$\sin \theta = \frac{C_1 \sin \theta_0}{C_0}, \text{ donde:}$$

- θ_0 =Ángulo que forman las batimétricas (W-E) y la orientación de las olas,

$$C_0 = 1.56 \cdot Tr, \text{ donde:}$$

- C_0 =Celeridad en aguas profundas (m/s).
- Tr =periodo de retorno.

$$C_1 = \frac{L_1}{T_r}, \text{ donde:}$$

- C_1 =Celeridad a 10 m de profundidad.
- L_1 =Longitud de ola a 10 metros de profundidad.
- Tr =periodo de retorno (s).

$$K_r = \left(\frac{1 - \sin^2 \theta_0}{1 - \sin^2 \theta_1} \right)^{\frac{1}{4}}$$

Para el cálculo de L_1 , se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$L = \frac{g T^2}{2 \pi} \tanh \left(\frac{2 \pi d}{L} \right)$$

- $T=Tp$ =Periodo punta (obtenido del ATESSN2001) (s).
- L_1 =Longitud de ola a 10m de profundidad (m).
- d =Profundidad de rotura (m).

- g =gravedad (m/s).

Sin embargo, como H'_0 y H_0 tienen el mismo valor, suponemos que k_s y k_r son igual a 1.

Una vez calculado $K_s K_r$, se obtiene el valor de H'_0 y de L_0 , a partir de:

$$L_0 = g T^2 / (2\pi)$$

$$H'_0 = K_s \cdot K_r \cdot H_0$$

Para el cálculo de la profundidad (db), se utilizan las siguientes fórmulas:

$$\Omega_b = 0.56 \left(\frac{H'_0}{L_0} \right)^{-\frac{1}{5}}, \text{ donde:}$$

- Ω_b =Altura de ruptura de ola según Komar & Gaughan (1973).
- L_0 =Longitud de ola en aguas profundas (m).

$$\Omega_b = \frac{H_b}{H_0}$$

$\tan \beta = 0.065$, para el tramo costero objeto de estudio. Se trata de la pendiente de la zona bajo el mar, según la batimetría obtenida en <http://www.navionics.com/es>.

$$a = 43.8 (1 - e^{-19 \tan \beta})$$

$$b = \frac{1.56}{(1 + e^{-19.5 \tan \beta})}$$

“a” y “b” son parámetros empíricos en función de la pendiente de la playa.

$$\gamma_b = b - a \frac{H_b}{g T^2}$$

γ_b , es el índice de profundidad de rotura.

Finalmente, la profundidad (db), se obtiene mediante:

$$H_b = \gamma_b d_b$$

Una vez obtenida la profundidad (db), ya se puede calcular el SET-UP, mediante las fórmulas:

- Elevación media sobre el nivel del mar:

$$\overline{\eta_b} = -1/16 (0.84)^2 (3.2)$$

- Elevación media de la ola sobre el litoral:

$$\bar{\eta}_s = -0.14 + (3.2 + 0.14) + 1/(1 + 8/(3 (0.84)^2))$$

- Cálculo de la decaída de la ola cuando llega a la playa:

$$d\bar{\eta}/dx = 1/(1 + 8/(3 (0.84)^2))(1/100)$$

- Desplazamiento de la ola hacia la costa:

$$\Delta x = \frac{\bar{\eta}_s}{\tan \beta - \frac{d\bar{\eta}}{dx}}$$

- Máximo de la ola en la costa:

$$\bar{\eta}_{\max} = \bar{\eta}_s + \frac{d\bar{\eta}}{dx} \Delta x$$

Los datos obtenidos de elevación máxima de la ola se muestran en las siguientes tablas:

Fecha	Hora	Hs	Tp	Dirección	K α	Krs	SETUP (η_{\max}) m	Δx (m)
11/12/2017	12:00	4,92	10.96	SW	1	1	1,900	29,61

Tabla 1. Resultado setup máximo.

Seguidamente, se procede a calcular el remonte de la ola (**RUN-UP**), objeto de este estudio. Para ello, son necesarias las siguientes ecuaciones:

- Longitud de ola profunda:

$$L_o = g T^2 / (2\pi)$$

- Parámetro de ruptura de la ola:

$$\xi_o = \tan \beta (H_o/L_o)^{1/2}$$

- Máximo RUNUP

$$R_{\max} = 2.32 H_o \xi_o^{0.77}$$

- RUNUP significativo

$$R_{1/3} = 1.38 H_o \xi_o^{0.70}$$

Los datos obtenidos para el cálculo de remonte de ola en Cala Fornells:

Fecha	Hora	Hs	Tp	Dirección	K α	Krs	RUN-UP (Rmax) m	Elevación media marea (m)	RUN-UP (Rmax) +marea
11/12/2017	12:00	4,92	10.96	SW	1	1	5,58	0,27	5,85

Tabla 2. Resultado Run-up.

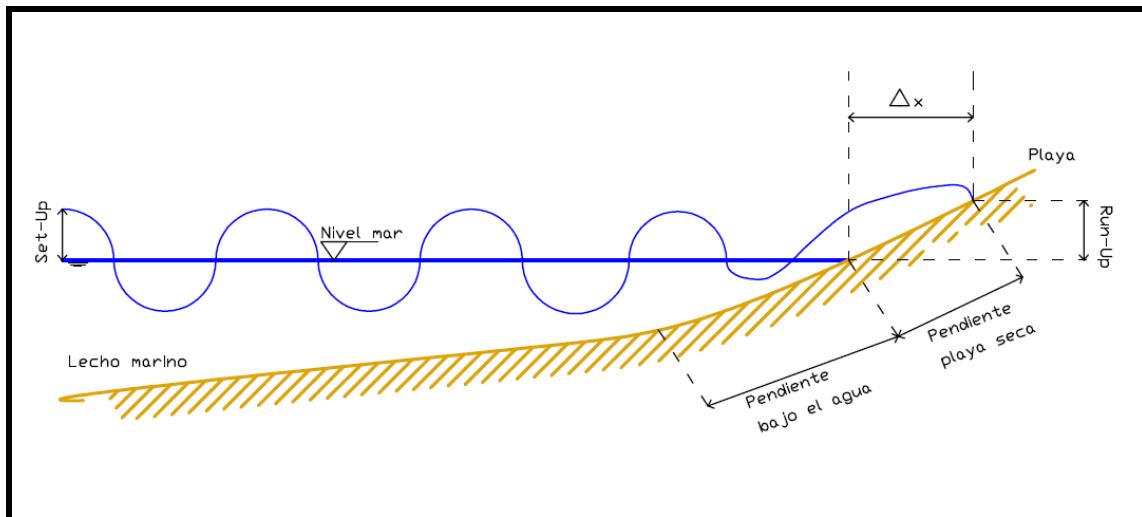


Fig. 4. Parámetros calculados

A continuación, se muestran los datos de distancia horizontal hasta la que llegaría el agua.

Fecha	Hora	Hs	Tp	Dirección	$\Delta x(m)$	RUNUP (Rmax)+ efecto de marea (m)
11/12/2017	12:00	4,92	10.96	SW	29,61	5.85

Tabla 3. Resultado superficie alcanzada por el oleaje.

A tenor de los resultados obtenidos podemos decir que la ola generada el 11 de diciembre de 2017, alcanzó la costa rocosa con una altura de 5,85 m.

