Fecha de Publicación: 06-06-2024

CONJUNTO DE DATOS: REDEXT

Introducción

El conjunto de datos REDEXT está formado por las medidas procedentes de la Red de Boyas de Exteriores (Red Exterior). Esta red unificó, amplió y actualizó las antiguas redes RAYO y EMOD.

Las boyas de esta red se caracterizan por estar **fondeadas lejos de la línea de costa**, en aguas abiertas y profundas (más de 200 metros de profundidad). Por tanto, las medidas de oleaje de estos sensores no están perturbadas por efectos locales y se puede considerar que cada boya proporciona observaciones representativas de grandes zonas litorales.

La Red Exterior está compuesta por boyas de dos tipos: Wavescan y SeaWatch. Se trata de boyas de gran tamaño que llevan a bordo múltiples sensores que miden tanto **oleaje** como **parámetros atmosféricos y oceanográficos**. Las boyas de tipo Wavescan inicialmente solo contaban con sensores de oleaje y variables atmosféricas, aunque en la actualidad también cuentan con sensores oceanográficos. En la figura 1 se puede ver una fotografía de los dos modelos de boya que se utilizan en la Red Exterior.

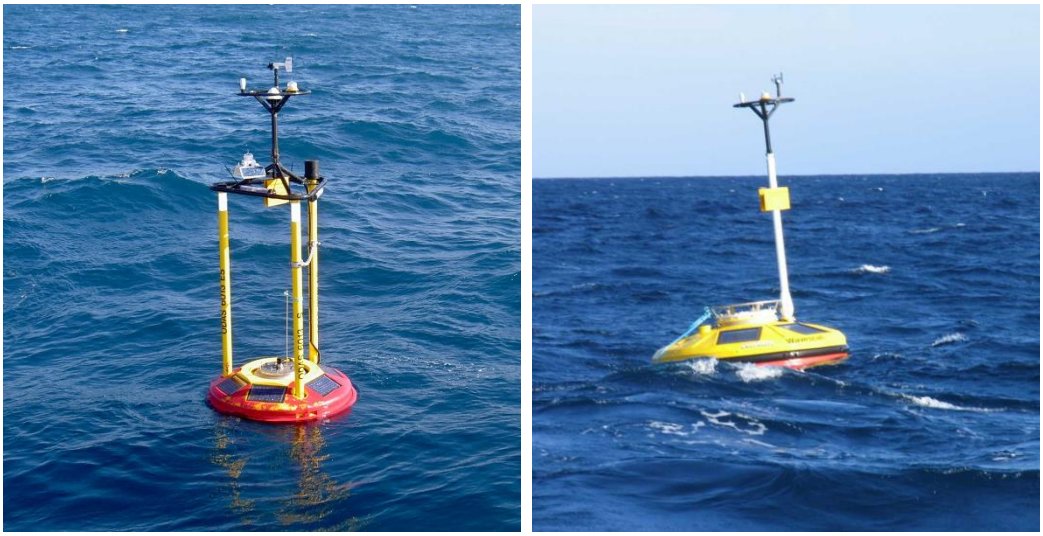

Figura 1. Fotografía de una boya Seawatch (izquierda) y una boya Wavescan (derecha) de la REDEXT en su posición de fondeo.

La figura 2 muestra un esquema del tipo de fondeo que se utiliza para una boya Seawatch de la Red Exterior. Los flotadores sumergidos permiten crear un falso fondo que evitan el arrastre de la línea de fondeo. La parte superior de la línea está formada por material elástico.

Es importante señalar que las características de estas boyas, en cuanto a dotación de sensores, han ido evolucionando a lo largo de su historia. En sus orígenes las boyas fondeadas en Cabo Silleiro, Golfo de Cádiz, Gran Canaria, Tenerife Sur, Mar de Alborán y Cabo de Gata no disponían de sensores de oleaje direccional. No fue hasta el año 2003 que todas las boyas disponen de este tipo de sensores .

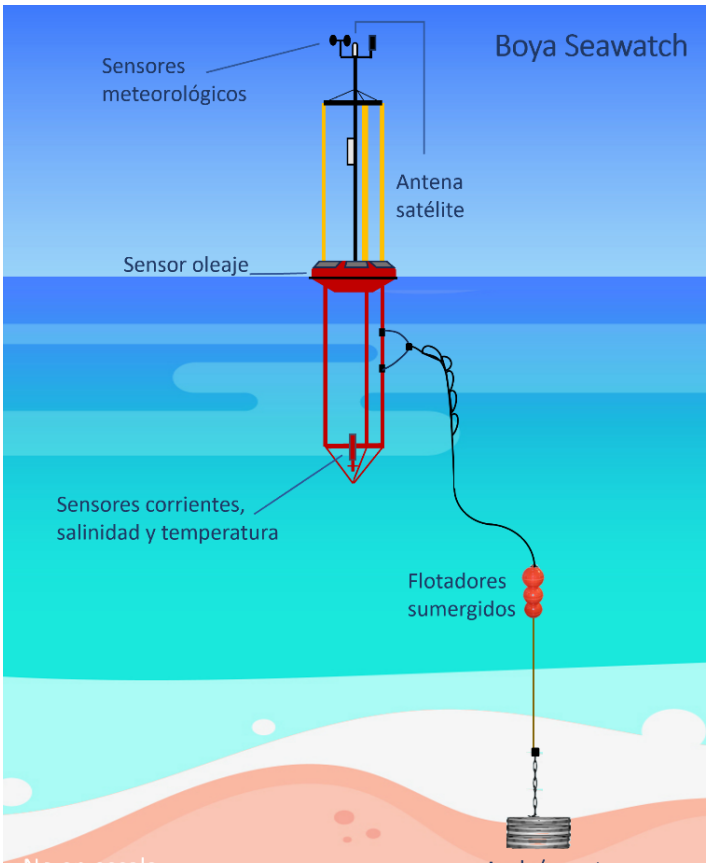

Figura 2. Línea de fondeo de una Boya Seawatch de la REDEXT

Obtención de datos

De manera general, las boyas de la Red Exterior están dotadas de varios tipos de sensores, así como de unidades de proceso, almacenamiento de datos y transmisión vía satélite.

Todos los valores medidos por los sensores se procesan y almacenan a bordo de la boya. De este modo, la boya genera internamente un conjunto de parámetros estadísticos que caracterizan cada uno de los agentes observados. Así, por ejemplo, se calculan de modo interno parámetros estadísticos de estado como la velocidad media del viento, o la altura significante de ola.

Los parámetros estadísticos calculados por la boya no solo se almacenan a bordo, sino que además se transmiten vía satélite con periodicidad horaria a Puertos del Estado. Esta transmisión **permite disponer de los datos medidos en tiempo real**, aunque estos están afectados por la resolución limitada en la transferencia de datos por satélite. Esta limitación se solventa mediante la recuperación a posteriori y de forma periódica (generalmente durante los mantenimientos) de la información almacenada a bordo de las boyas y su incorporación al Banco de Datos Oceanográficos.

Además, en el caso del oleaje, la boya no solo genera parámetros estadísticos o de estado, sino que, además, almacena las series brutas de desplazamientos inducidos por el oleaje. Dichas series

brutas son recuperadas y procesadas en diferido por Puertos del Estado. Este proceso genera un segundo conjunto de parámetros de estado de oleaje, que es más amplio que el generado por la boya, y tiene, además, la ventaja de no depender de los algoritmos específicos de cada boya.

La figura 3 esquematiza los procesos implicados en la generación y almacenamiento del conjunto de datos REDEXT.

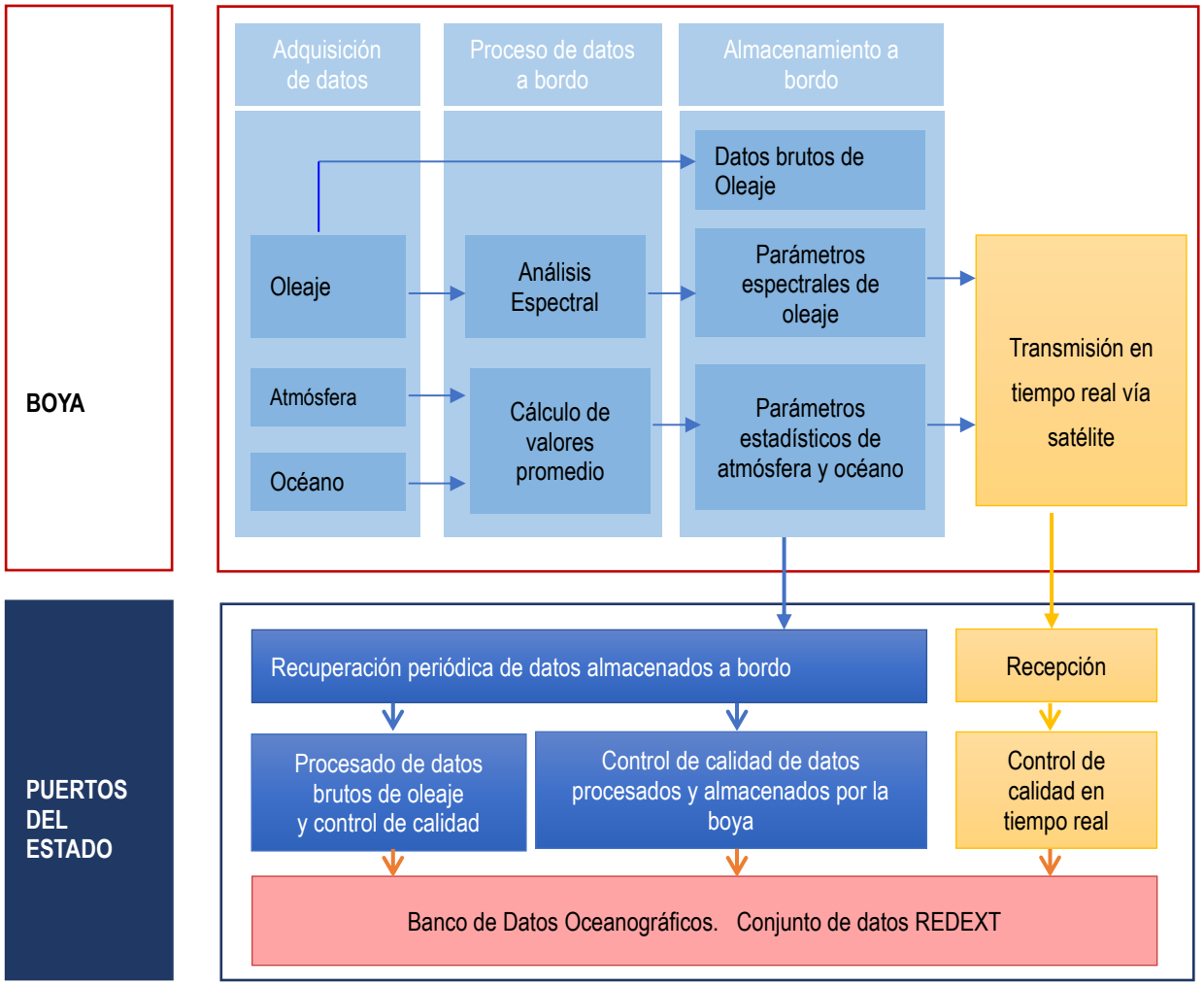

Figura 3. Esquema de generación, transmisión, proceso y almacenamiento de los datos REDEXT.

Control de calidad

Como se ha indicado, todos los parámetros de Oleaje, Atmósfera y Océano calculados por la boya son transmitidos por satélite en tiempo real y recibidos en Puertos del Estado. La recepción y almacenamiento de estos datos se complementa con un control de calidad que garantiza que los

valores disponibles se han obtenido en condiciones de correcto funcionamiento de todos los equipos de medida. Se marcan además todos los datos que presentan valores anómalos, o cuyo grado de variabilidad es anormalmente alto o bajo.

Por otro lado, el proceso especifico realizado a posteriori sobre los datos brutos de oleaje incluye un estricto control de calidad que permite asignar a cada dato de oleaje un nivel de calidad o fiabilidad. Del mismo modo, el resto de los parámetros almacenados en la boya pasan por un riguroso control de calidad en Puertos del Estado tras ser recuperados durante los mantenimientos.

Tiempo de muestreo

En la actualidad la cadencia de medida de estas boyas es de un dato por hora. Sin embargo, aunque la cadencia de generación de observaciones sea horaria, los parámetros que se proporcionan no se miden a lo largo de toda la hora. Así, por ejemplo, los sensores de viento miden durante 10 minutos una vez cada hora. Por este motivo, aunque cada hora se genera un dato de velocidad media, dicho valor de velocidad media está calculado sobre ese periodo de 10 minutos en el que se muestrea.

La siguiente tabla (Tabla 1) detalla la duración de la medida para cada uno de los agentes observados en las boyas de la Red Exterior, así como la altura/profundidad a la que se encuentran los sensores instalados en la boya:

Agente observado	Duración de la medida	Altura/profundidad sensor
Oleaje	30 minutos (aproximadamente)	Superficial
Velocidad del Viento	10 minutos	3 metros de altura
Velocidad de Corriente	10 minutos	3 metros de profundidad
Temperatura del Aire	Instantánea	3 metros de altura
Presión del Aire	Instantánea	3 metros de altura
Salinidad de Agua	Instantánea	3 metros de profundidad
Temperatura del Agua	Instantánea	3 metros de profundidad

Tabla 1. Duración del muestreo de los parámetros registrados por las boyas de la Red Exterior.

Parámetros disponibles

De manera general el conjunto REDEXT dispone de los parámetros indicados más abajo.

- **Oleaje**
  - Parámetros escalares de cruce por cero y espectrales
    - Altura significante,
    - Periodo medio,
    - Periodo de pico,
    - Altura máxima,
    - Periodo asociado a la altura máxima,
    - Periodo significante.
  - Parámetros direccionales
    - Dirección media
    - Dirección media en el pico de energía
    - Dispersión de la dirección en el pico de energía
  - Espectros direccionales codificados en bandas de frecuencia
- **Meteorología** (Datos registrados a 3 m. sobre la superficie)
  - Velocidad y dirección media del viento,
  - Velocidad de Racha del viento,
  - Temperatura del aire,
  - Presión atmosférica.
- **Oceanografía** (Datos registrados a 3 m bajo la superficie)
  - Velocidad y dirección media de corriente,
  - Temperatura del agua,
  - Salinidad (deducida a partir de medidas de conductividad).

Puntos de Medida disponibles

La figura 4 muestra las posiciones de las boyas de la Red Exterior disponibles en el Banco de Datos Oceanográficos. La tabla inferior indica los nombres de dichas boyas y los códigos de identificación en la base de datos.

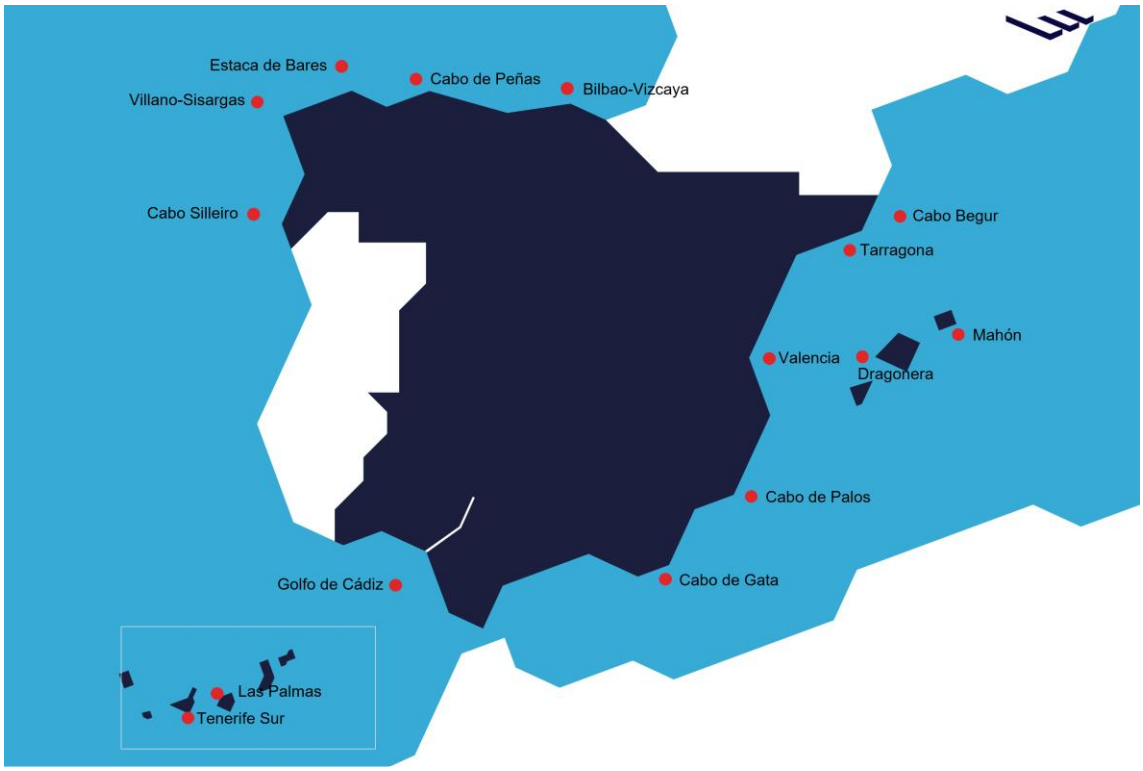

Figura 4. Posiciones de medida de la Red Exterior

En la siguiente tabla (Tabla 2) se enumeran las boyas que forman o han formado parte de la Red de Exterior junto con la información de las profundidades de fondeo:

Código BD	Nombre	Profundidad fondeo (m)	Modelo
2136	Bilbao Vizcaya	600	Seawatch
2242	Cabo de Peñas	615	Seawatch
2244	Estaca de Bares	2000	Seawatch
2246	Villano Sisargas	386	Seawatch
2248	Cabo Silleiro	600	Seawatch
2342	Golfo de Cádiz	450	Seawatch
2542	Mar de Alborán (retirada en 2006)	585	Seawatch
2548	Cabo de Gata	536	Seawatch
2610	Cabo de Palos	230	Seawatch
2620	Valencia	260	Seawatch
2720	Tarragona	688	Seawatch
2798	Cabo de Begur	1200	Wavescan
2838	Mahón	300	Wavescan
2820	Dragonera	135	Wavescan
2442	Gran Canaria	780	Seawatch
2446	Tenerife Sur	710	Seawatch

Tabla 2. Lista de boyas de la Red Exterior con su profundidad de fondeo.

Las boyas de tipo Wavescan inicialmente solo disponían de medidas de oleaje y atmósfera, los sensores de oceanografía se fueron incorporando con posterioridad. La boya de Dragonera cuenta con sensores de temperatura del agua y corrientes desde agosto de 2009 y las boyas de Cabo Begur y de Mahón desde noviembre de 2021.

Por otro lado, las boyas de Cabo Silleiro, Golfo de Cádiz, Gran Canaria, Tenerife Sur, Mar de Alborán y Cabo de Gata disponen de sensores de oleaje direccional, desde 2003, siendo boyas escalares con anterioridad a dicho año. La boya de Bilbao fue de tipo Wavescan hasta diciembre de 2006, que pasó a ser una boya de tipo Seawatch, por tanto, desde esa fecha registra también información de corrientes, temperatura y salinidad.

La boya de Alborán fue retirada del agua de forma permanente en el año 2006 debido a los constantes accidentes que sufría. Estas circunstancias hacían imposible conseguir una serie temporal de datos continua que permitiera estudiar las condiciones del mar en la zona.

Puesto que las redes de medida se encuentran en constante evolución se aconseja consultar periódicamente la composición de la Red Exterior en la página web de oceanografía de Puertos del Estado a través de la ruta:

www.puertos.es > Oceanografía > Portus

o bien, con el enlace directo:

https://portus.puertos.es/

Dicho enlace, en la sección de Datos en Tiempo Real, proporciona información detallada de la configuración actual y del emplazamiento de cada boya además de permitir consultar la posición y los datos generados por dicha red en tiempo real. Los datos pasados también están disponibles desde la sección de Datos Históricos en forma de tablas, rosas, gráficas y de informes históricos y climáticos realizados sobre toda la serie de datos disponibles. Dichos informes se encuentran en formato pdf y muestran, por separado, el comportamiento del rango medio y el rango extremal de los datos.

Descarga de datos

Desde el apartado de Datos Históricos se pueden descargar las series temporales de los datos de las boyas REDEXT, así como otro tipo de datos oceanográficos y meteorológicos obtenidas a partir de los sistemas de monitorización del medio marino de Puertos del Estado. Para ampliar información sobre el servicio de descarga de datos puede consultar el manual de usuario.

Los ficheros descargados tendrán extensión csv y un nombre en el que se incluye el código numérico que identifica la boya REDEXT, el parámetro (WAVE para el oleaje) y la fecha inicial y final seleccionada por el usuario en la descarga. Estos archivos contendrán los datos en formato texto de forma que cada columna estará separada por un tabulador.

Valor nulo: -9999.9

Fecha (GMT)	Altura Signif. del Oleaje (m)	Periodo Medio Tm02 (s)	Periodo de Pico (s)	Altura Máxima del Oleaje (m)	Periodo de la Ola Maxima (s)	Canal de obtencion	Direcc. media de proced. (0=N,90=E)	Direcc. de pico de proced. (0=N,90=E)	Dispersión angular en el pico de energía espectral (grados)	Canal de obtencion	Temperatura del Agua (ºC)	Salinidad (psu)	Velocidad media de Corriente (cm/s)	Dir. de prop. de la Corriente (0=N,90=E)	Canal de obtencion	Presion atmosférica (hpa)	Temperatura del Aire (ºC)	Velocidad media del viento(m/s)	Direc. de proced. del Viento (0=N,90=E)	Ca ob
2013 01 01 00	3.99	7.69	12.5	7.07	11.35	1	290.0	317.0	29.0	1	14.1	35.91	1.1	222.0	2	1018.0	13.4	7.2	-9999.9	2
2013 01 01 01	3.85	7.55	11.79	7.38	11.9	1	298.0	324.0	29.0	1	14.1	35.91	12.8	8.0	2	1018.0	13.1	5.8	-9999.9	2
2013 01 01 02	4.11	7.57	11.7	7.26	10.34	1	303.0	329.0	29.0	1	14.1	35.91	16.4	22.0	2	1018.0	13.0	7.7	-9999.9	2
2013 01 01 03	4.02	7.6	11.11	5.89	9.72	1	308.0	329.0	28.0	1	14.1	35.86	17.5	45.0	2	1018.0	13.3	7.5	-9999.9	2
2013 01 01 04	4.21	7.74	11.11	6.32	11.22	1	304.0	317.0	26.0	1	14.1	35.86	22.2	45.0	2	1019.0	13.3	7.2	-9999.9	2
2013 01 01 05	3.82	7.5	10.5	4.84	10.46	1	305.0	328.0	29.0	1	14.1	35.86	19.9	42.0	2	1019.0	13.3	7.9	-9999.9	2
2013 01 01 06	3.88	7.45	10.57	5.82	10.69	1	306.0	318.0	27.0	1	14.2	35.91	24.6	59.0	2	1019.0	13.2	7.2	-9999.9	2
2013 01 01 07	3.49	7.44	11.03	5.74	10.75	1	307.0	321.0	33.0	1	14.2	35.91	21.0	78.0	2	1020.0	13.2	6.7	-9999.9	2
2013 01 01 08	3.37	7.33	11.11	4.76	12.35	1	303.0	313.0	33.0	1	14.2	35.91	16.7	98.0	2	1020.0	13.1	5.8	-9999.9	2
2013 01 01 09	3.37	7.35	11.11	5.78	11.44	1	296.0	317.0	32.0	1	14.1	35.86	16.4	129.0	2	1022.0	13.2	6.3	-9999.9	2
2013 01 01 10	3.38	7.38	11.16	5.35	11.18	1	287.0	301.0	44.0	1	14.1	35.86	16.4	165.0	2	1022.0	13.0	7.5	-9999.9	2
2013 01 01 11	3.5	7.68	11.11	5.39	10.45	1	289.0	299.0	30.0	1	14.1	35.86	16.4	205.0	2	1023.0	13.4	4.6	-9999.9	2
2013 01 01 12	3.51	7.69	11.11	5.39	12.36	1	289.0	299.0	28.0	1	14.1	35.91	8.2	230.0	2	1023.0	13.2	4.6	-9999.9	2
2013 01 01 13	4.02	8.28	11.11	5.97	12.52	1	287.0	294.0	23.0	1	14.1	35.91	4.6	253.0	2	1023.0	12.8	2.8	-9999.9	2
2013 01 01 14	3.68	7.9	11.11	5.39	9.97	1	291.0	298.0	23.0	1	14.1	35.86	14.0	317.0	2	1024.0	13.0	4.6	-9999.9	2
2013 01 01 15	3.38	7.78	11.69	4.88	12.44	1	297.0	306.0	31.0	1	14.1	35.86	14.0	337.0	2	1024.0	12.4	4.4	-9999.9	2
2013 01 01 16	3.29	8.09	11.11	5.35	11.63	1	303.0	308.0	28.0	1	14.2	35.91	16.4	11.0	2	1024.0	12.6	3.7	-9999.9	2
2013 01 01 17	3.16	7.75	11.11	4.37	11.65	1	309.0	312.0	26.0	1	14.2	35.91	23.4	8.0	2	1025.0	12.6	3.0	-9999.9	2
2013 01 01 18	3.17	7.8	11.11	5.93	11.92	1	305.0	303.0	28.0	1	14.2	35.91	23.4	22.0	2	1025.0	12.6	5.1	-9999.9	2
2013 01 01 19	3.07	7.78	10.5	5.97	10.92	1	312.0	308.0	29.0	1	14.2	35.96	25.7	39.0	2	1026.0	12.6	4.4	-9999.9	2
2013 01 01 20	2.82	7.51	10.51	4.6	12.83	1	310.0	310.0	30.0	1	14.2	35.91	22.2	73.0	2	1026.0	12.7	5.6	-9999.9	2
2013 01 01 21	2.96	7.55	10.46	4.6	10.47	1	309.0	310.0	41.0	1	14.2	35.91	19.9	67.0	2	1027.0	12.6	5.6	-9999.9	2
2013 01 01 22	3.05	7.79	11.11	4.49	11.47	1	302.0	300.0	34.0	1	14.1	35.86	21.0	137.0	2	1028.0	12.4	4.4	-9999.9	2
2013 01 01 23	3.09	7.87	10.51	4.84	11.75	1	295.0	298.0	31.0	1	14.1	35.86	16.4	163.0	2	1029.0	12.6	4.6	-9999.9	2
2013 01 02 00	3.5	8.2	11.11	5.39	10.85	1	293.0	291.0	26.0	1	14.1	35.86	11.7	196.0	2	1029.0	12.7	4.6	-9999.9	2
2013 01 02 01	3.61	8.35	12.49	5.31	12.56	1	295.0	287.0	17.0	1	14.1	35.86	7.0	222.0	2	1029.0	12.7	5.6	-9999.9	2
2013 01 02 02	3.36	7.89	11.83	4.68	10.87	1	298.0	290.0	25.0	1	14.1	35.91	2.3	247.0	2	1029.0	12.5	5.6	-9999.9	2
2013 01 02 03	3.38	8.0	11.15	4.8	12.75	1	303.0	299.0	25.0	1	14.1	35.86	2.3	2.0	2	1029.0	12.6	4.4	-9999.9	2
2013 01 02 04	3.3	8.07	11.72	4.45	13.39	1	303.0	297.0	32.0	1	14.1	35.86	16.4	343.0	2	1029.0	12.6	3.7	-9999.9	2

Figura 5. Ejemplo de un fichero de datos descargado para la boya REDEXT de Villano-Sisargas

Tal y como se puede ver en la figura 5 el formato es compatible con cualquier editor de texto. Los ficheros contendrán una cabecera auto explicativa y los datos vendrán organizados en columnas. El número de columnas incluido en el fichero dependerá de la cantidad de parámetros solicitados, que, en el caso de las boyas REDDEXT, podrían ser las siguientes:

- **Fecha (GMT)**: fecha y hora de referencia del dato. El formato utilizado es AAAA MM DD HH, donde AAAA representa el año, MM el mes, DD el día y HH la hora, donde la hora es UTC (hora solar). Para convertir la hora solar en hora local hay que hacer la conversión considerando el huso horario que corresponde a cada lugar.

- **Altura significante espectral del oleaje,** en metros.

- **Periodo medio espectral** del oleaje, obtenido de los momentos de orden 0 y 2 (Tm02), en segundos.

- **Periodo de pico del oleaje** Tp, en segundos.

- **Altura máxima del oleaje**, en metros.

- **Periodo asociado a la ola máxima**, en segundos.

- Canal de obtención de los datos para el oleaje escalar. Pudiendo tomar los siguientes valores:

    - 0, significa que no existen datos para dicho grupo.

    - 1, significa que los parámetros de oleaje proceden del proceso de datos y control de calidad exhaustivo que realiza Puertos del Estado a partir de las series brutas almacenadas en la boya.

    - 2, significa que los parámetros de oleaje se han obtenido mediante del proceso ejecutado y almacenado a bordo de la boya. Estos datos pasan un control de calidad riguroso cuando son recuperados y almacenados en Puertos del Estado.

- 3, significa que los datos proceden del proceso ejecutado a bordo de la boya y transmitido en tiempo real, pasando por un control de calidad automático a la llegada a Puertos del Estado.

- **Dirección media de procedencia del oleaje**, en grados. Siendo el criterio de ángulos creciente en sentido horario, siendo 0º el N y 90º el E.

- **Dirección media de procedencia del oleaje en el pico espectral**, en grados. Siendo el criterio de ángulos creciente en sentido horario, siendo 0º el N y 90º el E.

- **Dispersión angular en el pico de energía espectral**, en grados. Siendo el criterio de ángulos creciente en sentido horario, siendo 0º el N y 90º el E.

- Canal de obtención de los datos de oleaje direccional. Pudiendo tomar los siguientes valores:

  - 0, significa que no existen datos para dicho grupo.

  - 1, significa que los parámetros de oleaje proceden del proceso de datos y control de calidad exhaustivo que realiza Puertos del Estado a partir de las series brutas almacenadas en la boya.

  - 2, significa que los parámetros de oleaje se han obtenido mediante del proceso ejecutado y almacenado a bordo de la boya. Estos datos pasan un control de calidad riguroso cuando son recuperados y almacenados en Puertos del Estado.

  - 3, significa que los datos proceden del proceso ejecutado a bordo de la boya y transmitido en tiempo real, pasando por un control de calidad automático cuando llegan a Puertos del Estado.

- **Temperatura superficial del agua**, en grados Celsius.

- **Salinidad**, en psu.

- **Velocidad media de corriente**, en cm/s.

- **Dirección de propagación de la corriente**, en grados. Siendo el criterio de ángulos creciente en sentido horario, siendo 0º el N y 90º el E.

- Canal de obtención de los datos de corrientes, salinidad y temperatura del agua. Pudiendo tomar los siguientes valores:

  - 0, significa que no existen datos para dicho grupo.

  - 2, significa que los datos se han obtenido y almacenado a bordo de la boya. Estos datos pasan un control de calidad riguroso cuando son recuperados y almacenados en Puertos del Estado.

  - 3, significa que los datos se han transmitido en tiempo real, pasando por un control de calidad automático cuando llegan a Puertos del Estado.

- **Presión atmosférica** media, en Hpa.
- **Temperatura media del Aire**, en grados Celsius.
- **Velocidad media del viento**, en m/s.
- **Dirección de procedencia del viento**, en grados. Siendo el criterio de ángulos creciente en sentido horario, siendo 0º el N y 90º el E.
- Canal de obtención de los datos de parámetros atmosféricos. Pudiendo tomar los siguientes valores:
    - 0, significa que no existen datos para dicho grupo.
    - 2, significa que los datos se han obtenido y almacenado a bordo de la boya. Estos datos pasan un control de calidad riguroso cuando son recuperados y almacenados en Puertos del Estado.
    - 3, significa que los datos proceden del proceso ejecutado a bordo de la boya y transmitido en tiempo real, pasando por un control de calidad automático cuando llegan a Puertos del Estado.

Es importante tener en cuenta que no todos los datos estarán siempre disponibles. Por diferentes motivos, como pueden ser fallos en los sensores o fallos en la transmisión de datos, podrían presentarse huecos en la serie. **En el caso de que un dato no exista en el fichero se mostrará un número que representa el valor nulo: -9999.9.**

Espectros de oleaje

El servicio online también permite descargar los datos de los espectros de oleaje transmitidos en tiempo real por las boyas de la Red Exterior.

Con el objeto de aligerar y facilitar el almacenamiento, los espectros descargados se encuentran codificados de una forma específica. **Al final de este capítulo se incluye un código python para reconstruir el espectro** a partir de esta información. La información espectral del oleaje se codifica del siguiente modo:

- Se calcula la energía entre 0.025 hercios y 0.635 hercios, y la raíz cuadrada de esta cantidad se almacena en la columna "**Raiz cuadrada del espectro**". La energía se calcula integrando el espectro original, es decir, calculando el área cerrada por la curva. Inicialmente dicho área estaría dada en **centimetros**, por lo que es **importante dividir entre 100 para corregir unidades.**
- Se descompone el espectro de energía en bandas cada una de las cuales tiene una fracción prefijada de la energía:

- BANDA BASE = 1/512 de m0,
- BANDA 0 = 1/256 de m0,
- BANDA 1 = 1/128 de m0,
- BANDA 2 = 1/64 de m0,
- BANDA 3 = 1/32 de m0,
- BANDA 4 = 1/16 de m0,
- BANDA 5 = 1/8 de m0,
- BANDA 6 = 1/8 de m0,
- BANDA 7 = 1/8 de m0,
- BANDA 8 = 1/8 de m0,
- BANDA 9 = 1/8 de m0,
- BANDA 10 = 1/8 de m0,
- BANDA 11 = 1/16 de m0,
- BANDA 12 = 1/32 de m0,
- BANDA RESTANTE = fracción restante de m0.

- La **BANDA BASE** es aquella definida entre 0.025 hercios y la frecuencia que determina el **límite inferior de la Banda 0**.

- Laa **BANDA RESTANTE** es la definida entre la última frecuencia calculada incrementalmente y 0.635 hercios. La BANDA RESTANTE contiene algo más de 1/30 de m0 y suele ser muy ancha. A efectos prácticos es importante considerar dicha energía como si estuviera centrada en un punto intermedio entre la última frecuencia calculada incrementalmente y 0.4 hercios.

- Para cada banda se definen los siguientes parámetros:

  - **fP_K**. Anchura de la K-ésima banda.
  - **mDir_K**. Direccion media de la K-ésima banda.
  - **spread_K**. Dispersion angular de la K-ésima banda.

Para conocer el valor del espectro escalar en cada banda basta con hacer el siguiente cálculo:

energia_en_la_banda/anchura_de_la_banda

Por ejemplo, para la banda 0, el cálculo sería:

$$S(f0) = ((sqrt_m0/100)^2/\ 256)/fP_K$$

Debido al límite de resolución en la transferencia de datos por satélite puede darse que "fP_K" sea cero para alguna banda. En ese caso se puede hacer fP_K = 0.003 hercios. El valor 0.003 es la mitad de la resolución mínima transferible.

Valor nulo: -9999.9

Fecha (GMT)	Raiz cuadrada del area del espectro(cm)	Frecuencia que determina el limite inferior de la Banda 0(Hz)	Anchura Banda 0 que contiene 1/256 de la varianza(o m0)(Hz)	Direc. Media de Procedencia Banda 0(0=N,90=E)	Dispersion angular de la direcc. en Banda 0 (Rad)	Anchura Banda 1 que contiene 1/128 de la varianza(o m0)(Hz)	Direc. Media de Procedencia Banda 1 (0=N,90=E)	Dispersion angular de la direcc.n Banda 1 (Rad)	Anchura Banda 2 que contiene 1/64 de la varianza(o m0)(Hz)	Direc. Media de Procedencia Banda 2 (0=N,90=E)	Dispersion angular de la direcc.n Banda 2 (Rad)	Anchura Banda 3 que contiene 1/32 de la varianza(o m0)(Hz)	Direc. Media de Procedencia Banda 3 (0=N,90=E)	Dispersion angular de la direcc.n Banda (Rad)
2014 01 01 00	36.462	0.108	0.013	258.75	1.189	0.007	213.75	1.189	0.005	236.25	1.02	0.005	241.875	0.87
2014 01 01 01	31.767	0.101	0.022	202.5	1.38	0.005	253.125	0.87	0.005	230.625	0.87	0.005	225.0	0.87
2014 01 01 02	31.767	0.104	0.016	202.5	1.189	0.011	191.25	1.189	0.003	230.625	0.623	0.005	230.625	0.623
2014 01 01 03	28.873	0.053	0.053	281.25	1.02	0.018	196.875	1.189	0.008	202.5	0.87	0.007	225.0	0.43
2014 01 01 04	24.857	0.101	0.022	174.375	1.38	0.007	219.375	1.02	0.008	230.625	0.739	0.005	230.625	0.623
2014 01 01 05	23.6	0.104	0.02	196.875	1.189	0.01	225.0	1.02	0.004	230.625	0.739	0.003	230.625	0.739
2014 01 01 06	23.6	0.104	0.02	241.875	1.38	0.008	264.375	1.189	0.007	247.5	1.189	0.005	241.875	0.87
2014 01 01 07	24.857	0.108	0.013	258.75	1.02	0.011	213.75	1.189	0.008	219.375	1.02	0.004	230.625	0.739
2014 01 01 08	22.382	0.116	0.013	180.0	1.38	0.005	180.0	1.189	0.007	208.125	0.87	0.004	230.625	0.739
2014 01 01 09	22.382	0.104	0.016	264.375	1.189	0.005	180.0	1.189	0.008	213.75	1.189	0.008	241.875	0.87
2014 01 01 10	22.382	0.112	0.011	174.375	1.189	0.007	236.25	1.189	0.003	236.25	0.739	0.007	236.25	0.43
2014 01 01 11	24.857	0.116	0.011	258.75	1.189	0.003	275.625	0.87	0.003	275.625	0.87	0.005	225.0	0.739
2014 01 01 12	24.857	0.116	0.01	286.875	1.189	0.001	281.25	1.189	0.005	258.75	1.02	0.005	253.125	0.87
2014 01 01 13	26.154	0.101	0.02	236.25	1.02	0.01	157.5	1.189	0.005	225.0	0.87	0.007	225.0	0.623
2014 01 01 14	26.154	0.116	0.011	241.875	1.189	0.005	225.0	1.189	0.005	213.75	1.189	0.007	219.375	0.87
2014 01 01 15	26.154	0.112	0.018	230.625	1.189	0.005	241.875	1.02	0.005	236.25	0.87	0.004	230.625	0.623
2014 01 01 16	26.154	0.101	0.026	157.5	1.189	0.005	196.875	1.02	0.008	213.75	0.87	0.003	225.0	0.623
2014 01 01 17	22.382	0.087	0.035	258.75	1.189	0.008	219.375	1.189	0.008	230.625	0.87	0.005	225.0	0.739
2014 01 01 18	23.6	0.104	0.02	236.25	1.02	0.008	236.25	1.02	0.005	230.625	1.02	0.01	236.25	0.87
2014 01 01 19	23.6	0.116	0.013	202.5	1.189	0.007	219.375	1.02	0.004	225.0	0.87	0.005	236.25	0.739
2014 01 01 20	22.382	0.112	0.016	225.0	0.87	0.008	230.625	1.02	0.007	241.875	1.189	0.004	213.75	0.623
2014 01 01 21	23.6	0.112	0.016	151.875	1.189	0.01	135.0	1.189	0.005	140.625	1.189	0.005	157.5	1.02
2014 01 01 22	28.873	0.116	0.013	196.875	1.189	0.007	163.125	1.189	0.008	174.375	1.189	0.003	264.375	1.189
2014 01 01 23	27.493	0.09	0.042	202.5	1.38	0.008	112.5	1.189	0.007	258.75	1.38	0.003	281.25	1.189
2014 01 02 00	28.873	0.104	0.026	185.625	1.38	0.007	174.375	1.189	0.008	202.5	1.189	0.008	247.5	1.189
2014 01 02 01	27.493	0.116	0.011	135.0	1.38	0.011	270.0	1.38	0.005	298.125	1.189	0.008	286.875	1.189
2014 01 02 02	26.154	0.116	0.016	270.0	1.189	0.008	196.875	1.189	0.007	236.25	1.189	0.004	225.0	0.87
2014 01 02 03	28.873	0.12	0.013	225.0	1.02	0.008	213.75	1.02	0.005	236.25	0.87	0.005	225.0	0.739
2014 01 02 04	33.283	0.112	0.024	219.375	1.189	0.007	202.5	1.02	0.005	202.5	0.87	0.007	196.875	0.739

Figura 6. Ejemplo de un fichero de datos descargado para la boya REDEXT de Mahón.

Siempre que en la configuración de la descarga de oleaje de una boya de la Red Exterior se seleccione la casilla "Incluir datos espectrales", el usuario podrá descargar 2 ficheros de datos, uno que contendrá los parámetros integrados del oleaje y otro con los datos del espectro en el rango temporal seleccionado.

Tal y como se puede ver en la figura 6, el formato de los ficheros es análogo al resto de los descargados en este servicio, son compatibles con cualquier editor de texto. Los ficheros contendrán una cabecera auto explicativa y los datos vendrán organizados en columnas separadas por tabuladores. La información contenida en cada fichero será la siguiente:

- **Fecha (GMT)**: fecha y hora de referencia del dato. El formato utilizado es AAAA MM DD HH, donde AAAA representa el año, MM el mes, DD el día y HH la hora, donde la hora es UTC (hora solar). Para convertir la hora solar en hora local hay que hacer la conversión considerando el huso horario que corresponde a cada lugar.
- **Raíz cuadrada del espectro**: raíz cuadrada del área del espectro, en cm. El área del espectro es igual a la varianza e igual a m0:

$$Hm0 = \frac{4.\sqrt{(m0)}}{100}$$

- **Frecuencia que determina el límite inferior de la BANDA 0,** en hercios. Entre 0.025 hercios y esta frecuencia queda contenida 1/512 de la varianza (o de m0).

- **Anchura de la BANDA 0 de frecuencia que contiene 1/256 de la varianza (o de m0)**, en hercios.

- **Dirección Media de Procedencia del oleaje en la BANDA 0**, en grados. Donde el criterio de ángulos es creciente en sentido horario, siendo 0º el N y 90º el E.

- **Dispersión angular de la dirección del oleaje en BANDA 0**, expresada en radianes.

- **Anchura de la BANDA 1 de frecuencia que contiene 1/128 de la varianza (o m0)**, expresado en hercios.

- **Dirección media de procedencia del oleaje en la BANDA 1**, en grados. Donde el criterio de ángulos es creciente en sentido horario, siendo 0º el N y 90º el E.
- **Dispersión angular de la dirección del oleaje en BANDA 1**, expresada en radianes.
- **Anchura de la BANDA 2 de frecuencia que contiene 1/64 de la varianza (o m0)**, expresado en hercios.
- **Dirección Media de procedencia del oleaje en la BANDA 2**, en grados. Donde el criterio de ángulos es creciente en sentido horario, siendo 0º el N y 90º el E.
- **Dispersión angular de la dirección del oleaje en BANDA 2**, expresada en radianes.
- **Anchura de la BANDA 3 de frecuencia que contiene 1/32 de la varianza (o m0)**, expresado en hercios.
- **Dirección media de procedencia del oleaje en la BANDA 3**, en grados. Donde el criterio de ángulos es creciente en sentido horario, siendo 0º el N y 90º el E.
- **Dispersión angular de la dirección del oleaje en BANDA 3**, expresada en radianes.
- **Anchura de la BANDA 4 de frecuencia que contiene 1/16 de la varianza (o m0)**, expresado en hercios.
- **Dirección media de procedencia del oleaje en la BANDA 4**, en grados. Donde el criterio de ángulos es creciente en sentido horario, siendo 0º el N y 90º el E.
- **Dispersión angular de la dirección del oleaje en BANDA 4**, expresada en radianes.
- **Anchura de la BANDA 5 de frecuencia que contiene 1/8 de la varianza (o m0)**, expresado en hercios.
- **Dirección media de procedencia del oleaje en la BANDA 5**, en grados. Donde el criterio de ángulos es creciente en sentido horario, siendo 0º el N y 90º el E.
- **Dispersión angular de la dirección del oleaje en BANDA 5**, expresada en radianes
- **Anchura de la BANDA 6 de frecuencia que contiene 1/8 de la varianza (o m0)**, expresado en hercios.
- **Dirección media de procedencia del oleaje en la BANDA 6**, en grados. Donde el criterio de ángulos es creciente en sentido horario, siendo 0º el N y 90º el E.
- **Dispersión angular de la dirección del oleaje en BANDA 6**, expresada en radianes.
- **Anchura de la BANDA 7 de frecuencia que contiene 1/8 de la varianza (o m0)**, expresado en hercios.

- **Dirección media de procedencia del oleaje en la BANDA 7**, en grados. Donde el criterio de ángulos es creciente en sentido horario, siendo 0º el N y 90º el E.

- **Dispersión angular de la dirección del oleaje en BANDA 7**, expresada en radianes.

- **Anchura de la BANDA 8 de frecuencia que contiene 1/8 de la varianza (o m0)**, expresado en hercios.

- **Dirección media de procedencia del oleaje en la BANDA 8**, en grados. Donde el criterio de ángulos es creciente en sentido horario, siendo 0º el N y 90º el E.

- **Dispersión angular de la dirección del oleaje en BANDA 8**, expresada en radianes.

- **Anchura de la BANDA 9 de frecuencia que contiene 1/8 de la varianza (o m0)**, expresado en hercios.

- **Dirección media de procedencia del oleaje en la BANDA 9**, en grados. Donde el criterio de ángulos es creciente en sentido horario, siendo 0º el N y 90º el E.

- **Dispersión angular de la dirección del oleaje en BANDA 9**, expresada en radianes.

- **Anchura de la BANDA 10 de frecuencia que contiene 1/8 de la varianza (o m0)**, expresado en hercios.

- **Dirección media de procedencia del oleaje en la BANDA 10**, en grados. Donde el criterio de ángulos es creciente en sentido horario, siendo 0º el N y 90º el E.

- **Dispersión angular de la dirección del oleaje en BANDA 10**, expresada en radianes.

- **Anchura de la BANDA 11 de frecuencia que contiene 1/16 de la varianza (o m0)**, expresado en hercios.

- **Dirección media de procedencia del oleaje en la BANDA 11**, en grados. Donde el criterio de ángulos es creciente en sentido horario, siendo 0º el N y 90º el E.

- **Dispersión angular de la dirección del oleaje en BANDA 11**, expresada en radianes.

- **Anchura de la BANDA 12 de frecuencia que contiene 1/32 de la varianza (o m0)**, expresado en hercios.

- **Dirección media de procedencia del oleaje en la BANDA 12**, en grados. Donde el criterio de ángulos es creciente en sentido horario, siendo 0º el N y 90º el E.

- **Dispersión angular de la dirección del oleaje en BANDA 12**, expresada en radianes.

- **Dirección media de procedencia del oleaje restante (BANDA RESTANTE)**, expresada en grados. Donde el criterio de ángulos es creciente en sentido horario, siendo 0º el N y 90º el E. La BANDA RESTANTE transcurre desde el último punto de frecuencias construido y la frecuencia 0.635 hercios. Esta banda llega a tener más de 1/30 de m0 y suele ser muy

ancha. A efectos prácticos se considerará que la energía de dicha banda está centrada entre la última banda y 0.4 hercios (este valor puede no ser el centro real de la BANDA RESTANTE).

- Flag Calidad Espectro. Identificador del control de calidad del espectro. Solo los valores 1 y 2 se consideran datos válidos.

En el caso de que un dato espectral no exista en el fichero se mostrará un número que representa el valor nulo: -9999.9.

Código Python para la reconstrucción del espectro de oleaje:

```
# Input data:
#
#  - dfb[k]: band width
#  - mdir[k]: mean direction
#  - sigma[k]: angular spreading

# Import numpy library:

import numpy as np

#
# This is the frefixed amount of energy in every band: energy = m0/divE:
 divE = np.array([256.0, 128.0, 64.0, 32.0, 16.0, 8.0, 8.0, 8.0, 8.0, 8.0, 8.0, 16.0, 32.0, 30.12])

# Total energy in the spectrum:
m0 = (row[2] / 100.0) * (row[2] / 100.0)

# Reconstruct spectrum:

# Fr will contain the central frequency in every band:
Fr = np.empty(14)

# S will contain the value of the scalar spectral density:
S = np.empty(14)

for k in range(0,13):
# This is only to assure that no band is empty:
   if dfb[k] == 0.000:
            dfb[k] = 0.0003
   # The first frequency ban starts at fr0 and ends at fr1 = fro+dfb[0]:
   fr1 = fr0 + dfb[k]
   # The central frequency id the middle point between fr0 and fr1:
   Fr[k] = (fr1 + fr0) / 2.0
   # And we go for the next band:
   fr0 = fr1
   # Set up the final frecuency:
   if fr0 < 0.5:
            ffin = 0.5
   else:
            ffin = 0.635
   # These are the values for the last band:
   Fr[13] = ((ffin + fr0) / 2.0)
   dfb[13] = (ffin - fr0)
   sigma[13] = sigma[12]

# Finally, set up the values for the spectral density dividing the total amount of energy (m0) by the frefixed ammount divE and the band width:
for k in range(14):
```

```
S[k] = (m0 / divE[k] ) / dfb[k]

# So you have now your spectrum defined by the following arrays with k corresponding to every frequency band from 0 to 13:
#
#  - Fr[k] : central frequency
#  - dfb[k]: band width
#  - S[k]: scalar sspectral density
#  - mdir[k]: mean direction
#  - sigma[k]: angular spreading
```

Uso de datos y referencias

Aunque el servicio de descargas online sea un servicio abierto, los usuarios deben tener en cuenta que **Puertos del Estado solo autoriza el uso de los datos para el propósito específico de la descarga**, y, en ningún caso, se permite la transferencia de los datos a terceros.

Cuando se utilicen los datos en cualquier soporte, como informe, presentación o artículo, el origen de los mismos (**Puertos del Estado) debe quedar siempre debidamente acreditada.**

Puertos del Estado no se hace responsable del uso que se haga con los datos una vez descargados a través de este servicio. Aunque, en general, todos los datos han pasado por análisis de calidad, no todos los conjuntos pasan por controles igual de exhaustivos y completos, por lo que es responsabilidad de los usuarios utilizarlos con la cautela pertinente.

Referencia

ÁLVAREZ-FANJUL, E., ALFONSO, M., RUIZ, M. I., LOPEZ, J. D., AND RODRIGUEZ, I. (2003). Real time monitoring of Spanish coastal waters: the deep water network. Elsevier Oceanogr. Ser. 69, 398–402. doi: 10.1016/S0422-9894(03)80066-1

DE ALFONSO, M. (2020). Los ojos de España en la mar (La Red Exterior de Puertos del Estado). Ministry of Transport, Mobility and Urban Agenda (MITMA) Magazine N. 706. September 2020. pp 34-39. (in Spanish). https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/comodin/recursos/rp0706.pdf