

Red de boyas de aguas profundas.  
Informe de datos de la boya de Gran Canaria  
Periodo: Dic.2018 - Nov.2019.

Puertos del Estado



**Área de Medio Físico.**

Puertos del Estado.

Avenida del Partenón 10, 28042, Madrid

# Contenidos

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Descripción de los instrumentos de medida.</b>	<b>5</b>
2.1	La boya SeaWatch . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Descripción de los métodos empleados para la representación y el estudio de los datos.</b>	<b>7</b>
3.1	Control de calidad . . . . .	7
3.2	Métodos empleados para la representación y el estudio de los parámetros de oleaje.	7
3.2.1	Estadística de las series de oleaje. . . . .	8
3.3	Métodos empleados para la representación y el estudio de las corrientes . . . . .	8
3.3.1	Procedimientos de dibujo de las series. . . . .	9
3.3.2	Estadística de la serie de corrientes. . . . .	10
3.3.3	Espectro de densidad de energía . . . . .	10
3.3.4	Análisis de las corrientes de marea. . . . .	10
3.3.5	Análisis de las corrientes inerciales. . . . .	12
3.3.6	Análisis de las corrientes subinerciales. . . . .	12
3.4	Métodos empleados para la representación y el estudio de los parámetros atmosféricos. . . . .	12

3.5	Métodos empleados para la representación y el estudio de los parámetros hidrográficos.	13
<b>4</b>	<b>Gran Canaria</b>	<b>15</b>
4.1	Posición de fondeo . . . . .	16
4.2	Descripción general de los datos . . . . .	17
4.3	Análisis de los datos de oleaje . . . . .	21
4.4	Análisis de los datos de corrientes . . . . .	40
4.5	Análisis de los datos de viento y presión atmosférica . . . . .	73
4.6	Análisis de los datos de salinidad y temperatura . . . . .	86

# Puertos del Estado



# Capítulo 1

## Introducción

El objetivo de este informe es presentar los datos medidos y mostrar los resultados de un primer análisis de las series que ayude a conocer las características básicas de las mismas. No pretende, en ningún caso, ser un análisis definitivo de las series ni establecer comparaciones detalladas con las medidas de otros instrumentos o imágenes de satélite. La mayor parte de los resultados que aparecen en este informe son resultado de procedimientos automatizados desarrollados por el Área de Conocimiento de Medio Físico de Puertos del Estado.

---

Este informe está dividido en las siguientes partes:

- Descripción de los instrumentos de medida.
- Descripción de los métodos empleados para la representación y el estudio de los datos.
- Presentación y análisis de los datos medidos para cada instrumento incluido en el informe. Se incluyen los siguientes apartados:
  - Posición del fondeo.
  - Descripción general de los datos a través de las series subinerciales (aquellas en las que se han eliminado las oscilaciones de frecuencia superior a la inercial) y las series originales de oleaje. Los gráficos de esta sección ofrecen una primera visión general y rápida de todos los datos medidos y muestran su evolución en el tiempo.
  - Análisis de los datos de oleaje. Se muestran figuras representando las series medidas para el periodo completo y por meses. Se presentan análisis estadísticos escalares y direccionales (cuando hay datos direccionales) básicos (rosas de oleaje y tablas de encuentro entre altura-periodo y altura-dirección del oleaje).
  - Análisis de los datos de corrientes. Se presentan diversos dibujos de las series medidas (por componentes, módulo y dirección, vectores y vectores progresivos), análisis estadísticos básicos (rosas de corrientes, valores representativos por meses y tablas de

encuentro entre intensidad y dirección), cálculo de la densidad de energía espectral, análisis de las corrientes de marea y, por último, cálculo y representación de las corrientes inerciales, subinerciales y de alta frecuencia.

- Análisis de los datos atmosféricos. Se realiza una representación de los vientos similar a la de las corrientes, se presenta un análisis de la densidad espectral de energía y una estadística de parámetros fundamentales por meses. Las presiones atmosféricas son representadas por meses. Los datos de temperatura del aire se presentan en el siguiente apartado, junto con los de temperatura del agua.
- Análisis de los datos hidrográficos. Se presentan figuras, tanto mensuales como del periodo completo, de los datos medidos de salinidad y temperatura.

# Puertos del Estado



# Capítulo 2

## Descripción de los instrumentos de medida.

### 2.1 La boya SeaWatch

Las boyas de tipo SeaWatch (ver figura 2.1; <http://www.oceanor.com/systems/seawatch/>) constituyen una plataforma estable en la que se pueden mantener una serie de instrumentos para la medida y monitorización en tiempo real del entorno marino. El despliegue, mantenimiento y explotación de estos aparatos constituye el núcleo principal de la Red de Aguas Profundas de puertos del Estado.

Las boyas constan de una parte central de forma lenticular, que proporciona flotabilidad y aloja el ordenador y diversos equipos electrónicos, y de tres mástiles o soportes verticales de 6 metros de largo, ubicados de forma tal que la mitad de su longitud queda por encima del agua (proporcionado soporte para los sensores meteorológicos) y la otra mitad por debajo (alojando los sensores oceanográficos). Las baterías que proporcionan energía al conjunto se alimentan a través de placas solares. La longitud total de la boya (incluyendo los sensores) es de unos 6.5 m, su diámetro de 1.8 m y su peso aproximado de 600 Kg.

Receptor/transmisor vía satélite	THRANE/TRIMBLE GALAXY/IRIDIUM
Sensor de velocidad del viento	YOUNG/AANDERA 2740
Sensor de dirección del viento	YOUNG/AANDERAA 3590
Sensor de orientación de la boya	AANDERAA 2864/Precision Navigation Inc
Sensor de temperatura del aire	OMEGA O-905-4403/AANDERAA 3455
Sensor de presión atmosférica	VAISALA PTB 200/220/330 A(D)
Correntímetro ultrasónico	FSI/Aquadopp
Sensor de conductividad y temperatura del agua	SEABIRD SBE37/AANDERAA 3919 A
Sensor de oleaje	DATAWELL Mark II DWR/WAVESENSE

Tabla 2.1: Sensores incluidos en Las boyas SeaWatch de la Red de Aguas Profundas

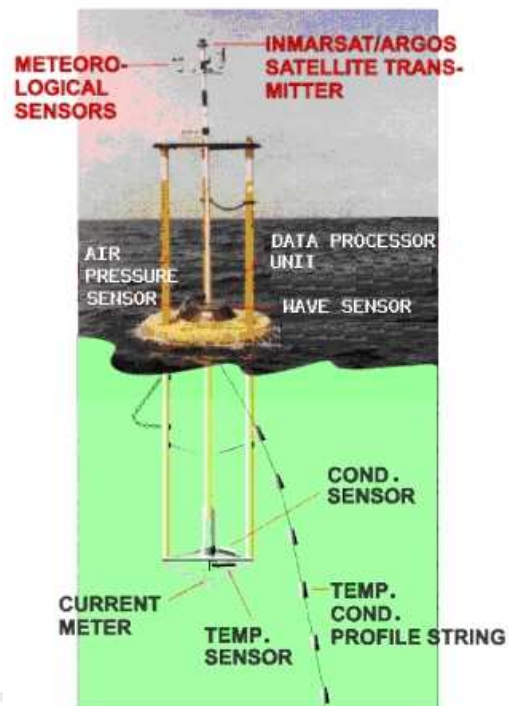


Figura 2.1: Esquema de una boya SeaWatch.

La tabla 2.1 enumera los sensores incluidos en Las boyas SeaWatch de la Red de Aguas Profundas.

## Capítulo 3

# Descripción de los métodos empleados para la representación y el estudio de los datos.

### 3.1 Control de calidad

---

El control de calidad básico que se ha establecido para todos los parámetros consiste en rechazar aquellos que superen un valor máximo y aquellos que presenten diferencias con los datos adyacentes mayores que un determinado umbral. Los valores específicos mencionados han de ser fijados por la experiencia para cada estación y parámetro . Este sencillo control de calidad limpia la inmensa mayor parte de los datos espúreos, pero no impide que algunos datos anómalos puedan ser considerados como correctos, por lo que conviene realizar, posteriormente, una última corrección "*manual*".

### 3.2 Métodos empleados para la representación y el estudio de los parámetros de oleaje.

Las alturas, periodos y dirección (cuando existen datos direccionales) del oleaje se representan, tanto para el periodo completo como por meses. El gráfico del periodo completo se incluye en la sección "Descripción general de los datos".



### 3.2.1 Estadística de las series de oleaje.

Se incluyen tres tipos de estadísticas: distribuciones conjuntas de altura y periodo, y cuando tenemos datos direccionales, rosas de oleaje y distribuciones conjuntas de altura y dirección de oleaje.

En las rosas de oleaje se representan la altura y dirección del oleaje asociadas a su probabilidad de ocurrencia. Se han preparado rosas tanto para la serie total como para cada una de las estaciones. Estas figuras incluyen un cabecera con la siguiente información: nombre de la estación, periodo y fechas analizadas, número de datos medidos, tanto por ciento de valores útiles durante el periodo considerado, altura significativa media y altura significativa máxima.

Las distribuciones conjuntas de altura y periodo de pico muestran, para la serie total y por estaciones, una descripción estadística de la serie que contiene la siguiente información:

- Una cabecera similar a la empleada en las rosas.
- Histograma de altura significativa.
- Histograma de periodo de pico.
- Tabla de encuentro entre alturas y periodos de pico.

La distribución conjunta de altura y dirección muestra, para la serie total y por estaciones, una descripción estadística de la serie que contiene la siguiente información:

- Una cabecera similar a la empleada en las rosas.
- Histograma de altura significativa.
- Histograma de dirección del oleaje.
- Tabla de encuentro entre direcciones y alturas.

## 3.3 Métodos empleados para la representación y el estudio de las corrientes

A la hora de realizar el análisis de las series de corrientes existe un conjunto de técnicas que han de ser aplicadas sistemáticamente. (Godin, 1991; Alonso *et al*, 1993). En esta sección se describen los procedimientos creados siguiendo estas técnicas para el tratamiento de series de

corrientes, haciendo especial hincapié en sus objetivos y principios físicos que han guiado su diseño.

Antes de describir los procedimientos desarrollados es conveniente recordar que las corrientes suelen estar caracterizadas por tres contribuciones energéticas importantes que pueden ser clasificadas en función de su frecuencia:

- Corrientes de marea, principalmente de tipo semidiurno (periodos en torno a 12 horas).
- Corrientes inerciales, producidas por pulsos de viento que, debido a la rotación de la Tierra, inducen movimientos oscilatorios en la masa de agua con una frecuencia idéntica a la de Coriolis ( $f = 2\omega \sin \theta$ , siendo  $\omega$  la velocidad angular de rotación de nuestro planeta y  $\theta$  la latitud).
- Corrientes de largo periodo o subinerciales, debidas principalmente a flujos de tipo geostrófico, inducidos por gradientes de presión tanto barotrópicos como baroclínicos.

Como se vera más adelante, estas contribuciones energéticas son estudiadas individualmente.

---

### 3.3.1 Procedimientos de dibujo de las series.

Todo análisis de corrientes debe iniciarse con la representación directa de las corrientes medidas o brutas (Godin, 1991). Existen diversas formas de representarlas, permitiendo cada una de ellas apreciar con mayor claridad alguna de sus características. En primer lugar, se incluyen representaciones por componentes y por módulo y dirección de las series brutas. El criterio de direcciones es tal que  $0^\circ$  corresponde a una corriente hacia el norte y los ángulos se incrementan en el sentido de las agujas del reloj. La variabilidad temporal de las corrientes brutas es muy alta, con lo que no se puede representar un periodo muy largo sin crear una figura confusa. Nosotros hemos optado por su representación por meses.

Un tercer tipo de representación es en forma vectorial. En estos gráficos se dibuja, para cada instante de tiempo, el vector velocidad medido. En estas figuras es sencillo apreciar, por ejemplo, tendencias generales en el flujo y errores en el control de calidad

Otro tipo de representación útil es en forma de vector progresivo. Este consiste en un dibujo de la trayectoria que seguiría una partícula virtual sometida a un campo de velocidades constante espacialmente y que toma los mismos valores en el tiempo que los medidos por el correntímetro. En estas figuras, los valores positivos del eje  $x$  corresponden al este y los del  $y$  al norte. Las variaciones debidas a la marea y a las oscilaciones inerciales tienden a anularse (su media es cercana a cero) y las partículas tienden a seguir las trayectorias marcadas por las corrientes de menor frecuencia.

### 3.3.2 Estadística de la serie de corrientes.

Se incluyen tres tipos de estadísticas sobre la serie de corrientes: tablas de evolución mensual de la velocidad de la corriente, rosas de corrientes y, por último, distribuciones conjuntas de intensidad y dirección de corriente.

Las tablas de evolución mensual de la velocidad de la corriente aportan información sobre la intensidad y dirección de la corriente resultante (concepto equivalente a la velocidad media con la que se desplaza la partícula virtual de los vectores progresivos), sobre la velocidad máxima registrada y sobre la media y desviación típica del módulo de la velocidad.

El segundo tipo de representación estadística utilizado es el de las rosas de corrientes. En estas se representan las velocidades y direcciones de la corriente asociadas a su probabilidad de ocurrencia. Se han preparado rosas tanto para la serie total como para cada una de las estaciones. Estas figuras incluyen un cabecera con la siguiente información: nombre de la estación, periodo y fechas analizadas, frecuencia de muestreo, número de datos medidos, tanto por ciento de valores útiles durante el periodo considerado, intensidad y dirección resultante media, velocidad media (media de los módulos de la velocidad) y velocidad máxima.

Por último, la distribución conjunta de intensidad y dirección muestra, para la serie total y por estaciones, una descripción estadística de la serie que contiene la siguiente información:

- 
- Una cabecera similar a la empleada en las rosas.
  - Histograma de módulos de la corriente.
  - Histograma de direcciones.
  - Tabla de encuentro entre direcciones y velocidades.

### 3.3.3 Espectro de densidad de energía

Se muestran los resultados de realizar el cálculo de la densidad de energía espectral a cada una de las componentes de la corriente mediante un análisis de Fourier con 13 grados de libertad. Sobre cada gráfico aparecen marcadas una serie de frecuencias de marea características (M2, N2 y S2 representando a las componentes semidiurnas y K1 a las diurnas) y la frecuencia inercial ( $f$ ).

### 3.3.4 Análisis de las corrientes de marea.

El siguiente análisis consiste en calcular las elipses de marea mediante el programa de Foreman (Foreman, 1977), que utiliza una técnica de ajuste por mínimos cuadrados a frecuencias

conocidas. Se ha respetado el criterio de ángulos del programa de Foreman: corrientes hacia el este corresponden a  $0^\circ$  y hacia el norte a  $90^\circ$ . El signo del semieje menor marca el sentido de rotación de la elipse. Un signo menos indica un giro en el sentido de las agujas del reloj, mientras que un valor positivo corresponde al sentido contrario.

La última columna de la tabla, denominada CC (Control de Calidad), pretende estimar el grado de fiabilidad del cálculo del semieje mayor de cada elipse. El CC se basa en la aplicación del "credo de smoothness" (Pugh, 1987). Según éste, la amplificación que la batimetría introduce en la amplitud de la marea de equilibrio es función de la frecuencia y, en consecuencia, similar para armónicos de la misma especie. Esto es aplicable tanto a elevaciones como a corrientes, siempre que el punto de estudio no esté localizado cerca de un anfídromo.

Dados dos armónicos genéricos, de especie diurna (X1) y semidiurna (X2), el CC se evalúa siguiendo las siguientes expresiones:

$$CC = \frac{A(M2)}{A(X2)} / \frac{C(M2)}{C(X2)} \quad CC = \frac{A(K1)}{A(X1)} / \frac{C(K1)}{C(X1)} \quad (3.1)$$

Correspondiendo los respectivos valores de  $A$  a las amplitud de los armónicos medidas en cm por un mareógrafo de referencia cercano al punto de estudio y los de  $C$  a las longitudes en cm/s de los semiejes mayores de las elipses.

Por definición, el CC es igual a uno para M2 y K1. Partiendo de la suposición de que los resultados para estos armónicos son correctos, la fiabilidad de los datos de los demás será mayor cuanto más se acerque el valor del CC correspondiente a la unidad. Aquellos armónicos que tienen una clara firma en el espectro, tienden también a tener un valor del CC satisfactorio. Sin embargo, cuando la señal de un armónico es indistinguible del ruido de fondo, el CC toma valores que se alejan de la unidad.

El análisis armónico se repite para las series de alta frecuencia (series donde toda la energía de la banda subinercial ha sido eliminada por medio de un filtro de paso alto). Este segundo análisis tiene como objeto principal estudiar la magnitud de los residuos de alta frecuencia, es decir, de aquellas oscilaciones rápidas no asimilables a la acción de la marea. Si la magnitud de estos residuos (denominada "RMS (ER.RESID.)" en la tabla) es claramente menor que la desviación típica de la serie de altas frecuencias (denominada "D. EST"), el análisis armónico es correcto y las mareas resultan importantes para estudiar las oscilaciones rápidas (con periodos inferiores a 30 días).

Una vez que se conocen las constantes armónicas se pueden realizar estimaciones de las corrientes de marea. Las velocidades que resultan de restar las de marea de las brutas se denominan corrientes residuales. Se incluye una figura que muestra los espectros de las componentes de las series de residuos. Si el análisis armónico es correcto, al compararlos con los de las series originales se manifiesta una notable reducción en la energía contenida en las bandas de marea. El contenido en el resto de las frecuencias no debe verse alterado.

Adicionalmente se representan, siguiendo la representación de módulo y dirección, las velocidades residuales.

### 3.3.5 Análisis de las corrientes inerciales.

Se ha empleado un filtro en el dominio de las frecuencias para aislar las corrientes en una banda de frecuencia cercana a la inercial (con una anchura de 3 horas y centrada en  $f$ ). Los resultados se representan por módulo y dirección.

### 3.3.6 Análisis de las corrientes subinerciales.

Las corrientes subinerciales se han calculado aplicando un filtro de medias móviles del tipo  $A_{24}A_{24}A_{25}$ . Este filtro tiene un periodo de corte de unas 30 horas, por lo que todas las señales cuyo periodo de oscilación quede por debajo, son eliminadas (Fraguela *et al.*, 1997). Este tipo de filtro se aplica a todos los datos medidos por los diferentes sensores.

Las series subinerciales muestran el comportamiento del océano a largo plazo (periodos superiores a las 30 horas), pues las oscilaciones más rápidas (marea e inerciales) suelen tener media igual a cero.

Al tener menor variabilidad temporal, se pueden realizar representaciones claras de periodos largos. Esto se ha aprovechado para presentar todas las series subinerciales del periodo completo en una misma página (ubicada al principio del informe de cada estación), dando una visión general de todas las medidas obtenidas.

Por último, teniendo en cuenta que las series subinerciales representan el comportamiento a largo plazo de la corriente, se ha incluido un estudio estadístico de las mismas (tablas de evolución mensual y rosas de corrientes).

## 3.4 Métodos empleados para la representación y el estudio de los parámetros atmosféricos.

El estudio y representación de los datos de viento tiene muchos puntos en común con el de corrientes, aunque, como es lógico, no se realizan todos los análisis relacionados con la distribución particular de la energía que se da en el océano (corrientes de marea e inerciales).

Se incluyen gráficos mensuales de los vientos (por módulo y dirección, componentes y en forma vectorial) así como de los correspondientes vectores progresivos. El criterio de ángulos

empleado es idéntico al de las corrientes ( $0^\circ$  corresponde a un viento hacia el norte y los ángulos se incrementan en el sentido de las agujas del reloj).

Se presenta adicionalmente una estadística por meses similar a la empleada en las corrientes y un gráfico con la densidad de energía del viento. En este último se han marcado, al igual que en el de las corrientes, las frecuencias de marea, aunque no es esperable encontrar una contribución especial de energía en estas bandas (con excepción del K1, cuyo periodo es prácticamente idéntico al del régimen de brisas).

La presión atmosférica se representa por meses.

La temperatura del aire se representa junto con la del agua (ver siguiente apartado).

Las componentes subinerciales del viento y las presiones son calculadas por medio de un filtro de medias móviles del tipo  $A_{24}A_{24}A_{25}$  y se presentan, junto con las demás series subinerciales, en la sección denominada "Descripción general de los datos a través de las series subinerciales". Se incluye, adicionalmente, una representación de la serie subinercial de vientos en forma de vector progresivo de todo el periodo registrado.

### **3.5 Métodos empleados para la representación y el estudio de los parámetros hidrográficos.**

---

La salinidad y las temperaturas del aire y del agua se representan, tanto para el periodo completo como por meses.

Las series subinerciales, calculadas por medio de un filtro de medias móviles del tipo  $A_{24}A_{24}A_{25}$ , se incluyen en la sección "Descripción general de los datos".

Se incluyen diagramas TS. La temperatura se ha corregido adiabáticamente a fin de colocar todos los sensores en una misma referencia (0 dbar).

# Puertos del Estado



# Capítulo 4

## Gran Canaria

### Puertos del Estado





## 4.1 Posición de fondeo

La posición de fondeo se puede observar en la figura 4.1.



Figura 4.1: Detalle de la carta náutica y posición de la boya de Gran Canaria.

Las coordenadas al inicio del periodo de estudio fueron:  $28^{\circ} 11.538' N$ ,  $15^{\circ} 47.486' W$ , con una profundidad en el punto de fondeo de 604 m. En Noviembre de 2019 cambió ligeramente de posición, a  $28^{\circ} 11.422' N$ ,  $15^{\circ} 48.073' W$ , con una profundidad en el punto de fondeo de 640 m.