



ANEXO 13: ESTUDIO DE CLIMA MARÍTIMO Y DINÁMICA LITORAL

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

Interconexión eléctrica España-Francia por el
Golfo de Bizkaia

Abril 2021

**Estudio de Clima Marítimo y Dinámica Litoral
en el ámbito marino español de la interconexión
eléctrica España-Francia por el golfo de
Bizkaia**

elittoral

**Estudio de Clima Marítimo y Dinámica Litoral
en el ámbito marino español de la
interconexión eléctrica España-Francia por
el golfo de Bizkaia**

AUTORES

Noelia Arto

DICIEMBRE DE 2018

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| ÍNDICE DE FIGURAS | 6 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 8 |
| 1. INTRODUCCION..... | 9 |
| 2. OBJETIVO DEL ESTUDIO..... | 11 |
| 3. DEFINICIONES | 11 |
| 4. METODOLOGÍA..... | 15 |
| 4.1. Datos utilizados: viento, oleaje y nivel del mar y corrientes..... | 15 |
| 4.2. Viento procedente del mar | 20 |
| 4.3. Oleaje a profundidades indefinidas..... | 20 |
| 4.4. Nivel del mar..... | 20 |
| 4.5. Corrientes | 20 |
| 5. ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN | 21 |
| 5.1 Caracterización del viento procedente del mar..... | 21 |
| 5.2 Caracterización del oleaje en profundidades indefinidas | 34 |
| 5.2.1 Régimen medio del oleaje..... | 43 |
| 5.2.2 Régimen extremal | 47 |
| 5.2.3 Estimación de Profundidad de cierre..... | 48 |
| 5.3 Caracterización del nivel del mar..... | 50 |
| 5.4 Caracterización de las corrientes..... | 54 |
| 6. CONCLUSIONES | 61 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Dinámicas Litorales. | 9 |
| Figura 2. Entorno de la salida proyectada de los cables. | 10 |
| Figura 3. Localización de los puntos SIMAR, Boya Bilbao-Vizcaya y Mareógrafo Bilbao3..... | 16 |
| Figura 4. Histogramas globales de velocidad media del viento procedente del mar para el periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado. | 22 |
| Figura 5. Histograma estacional, de invierno, de velocidad media del viento procedente del mar para el periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado..... | 23 |
| Figura 6. Histograma estacional, de primavera, de velocidad media del viento procedente del mar para el periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado..... | 24 |
| Figura 7. Histograma estacional, de verano, de velocidad media del viento procedente del mar para el periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado. | 25 |
| Figura 8. Histograma estacional, de otoño, de velocidad media del viento procedente del mar para el periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado. | 26 |
| Figura 9. Rosa de los vientos global para el periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado. | 27 |
| Figura 10. Rosa de los vientos estacional, inviernos, periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado. | 28 |
| Figura 11. Rosa de los vientos estacional, primaveras (abril), periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado. | 29 |
| Figura 12. Rosa de los vientos estacional, veranos, periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado. | 30 |
| Figura 13. Rosa de los vientos estacional, otoños, periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado. | 31 |

Figura 14. Histogramas de Tp (s) y Hs (m) en profundidades indefinidas, periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado..... 35

Figura 15. Rosa de oleaje global de altura de ola significativa en profundidades indefinidas, para el periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado..... 37

Figura 16. Rosa de oleaje estacional (invierno (arriba izq.), primavera(arriba dcha.), verano abajo izq.) y otoño(arriba dcha.) de Hs (m) en profundidades indefinidas, periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 31620035. Fuente: Puertos del Estado. 39

Figura 17. Rosa de oleaje estacional (invierno (arriba izq.), primavera(arriba dcha.), verano abajo izq.) y otoño(arriba dcha.) de Hs (m) en profundidades indefinidas, periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035. Fuente: Puertos del Estado..... 40

Figura 18. Rosa de oleaje estacional (invierno (arriba izq.), primavera(arriba dcha.), verano abajo izq.) y otoño(arriba dcha.) de Hs (m) en profundidades indefinidas, periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 1072074. Fuente: Puertos del Estado..... 42

Figura 19. Régimen medio escalar de altura de ola significativa, global (superior), para la dirección NWN (inferior izq.) y para la dirección NW (inferior dcha.). SIMAR 3159035. Fuente: Puertos del Estado..... 44

Figura 20. Régimen medio escalar de altura de ola significativa, global (superior), para la dirección N (inferior izq.) y para la dirección NNW (inferior dcha.). SIMAR 3162035. Fuente: Puertos del Estado..... 45

Figura 21. Régimen medio escalar de altura de ola significativa, global (superior), para la dirección N (inferior izq.) y para la dirección NNW (inferior dcha.). SIMAR 1072074. Fuente: Puertos del Estado..... 46

Figura 22. Régimen extremal de Hs en aguas profundas, de la serie registrada por la boya Bilbao-Vizcaya para el periodo noviembre 1990-noviembre 2017. Fuente: Puertos del Estado. 47

Figura 23. Esquema Datum Mareógrafo REDMAR BILBAO3. Fuente: Puertos del Estado..... 50

Figura 24. Referencias del nivel del mar, así como carreras de marea máxima, media y mínima, para el periodo 1992-2013. Fuente: Puertos del Estado. 51

Figura 25. Distribución de frecuencia del nivel del mar total (superior), de la marea astronómica (inferior izq.) y residuo meteorológico (inferior dcha.) para el periodo 1992-2013. Fuente: Puertos del Estado..... 53

Figura 26. Rosa de corrientes anual (diciembre 2014-noviembre 2015). Fuente: Puertos del Estado. 55

Figura 27. Rosas de corrientes estacionales (invierno (superior izq.), primavera (superior dcha.), verano (inferior izq.) y otoño (inferior dcha.)) para el periodo (diciembre 2014-noviembre 2015). Fuente: Puertos del Estado..... 57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Hs-Tp del oleaje en profundidades indefinidas, periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado. 36

Tabla 2. Estadísticos de las pleamares y bajamares, expresados en centímetros para el periodo de 1992-2013: Puertos del Estado. 52

Tabla 3. Evolución mensual de la velocidad de la corriente (cm/s).Periodo diciembre de 2014-noviembre 2015. Fuente: Puertos del Estado. 54

Tabla 4. Distribución de Intensidad y Dirección de la Corriente. Periodo diciembre de 2014-noviembre 2015. Fuente: Puertos del Estado. 56

Tabla 5. Distribución de Intensidad y Dirección de la Corriente por estaciones (invierno (superior izq.), primavera (superior dcha.), verano (inferior izq.) y otoño (inferior dcha.)) para el periodo diciembre de 2014-noviembre 2015. Fuente: Puertos del Estado..... 59

1. INTRODUCCION

El presente ESTUDIO DE CLIMA MARÍTIMO y DINÁMICA LITORAL se enmarca como uno de los estudios que contemplan el "Estudio de Impacto Ambiental de la Interconexión Occidental España-Francia por el Golfo de Vizcaya-Gascogne".

Los estudios de dinámica litoral persiguen caracterizar los diferentes procesos costeros causados por las distintas hidrodinámicas actuantes sobre el medio marino. Un elemento esencial dentro de la dinámica marina es el transporte sedimentario debido a la acción del oleaje, el viento, las mareas y las corrientes.

La finalidad de predecir este transporte es vital a la hora de evaluar los posibles efectos sobre estructuras, descalzamientos o colmataciones de estructuras o de canales de navegación, cambios en el perfil y la planta de playas, canales de navegación. El estudio de las distintas hidrodinámicas (Figura 1), sus sinergias y correlaciones, y a través de la propagación de los escenarios más representativos suponen la herramienta para poder evaluar los efectos en una zona costera concreta.

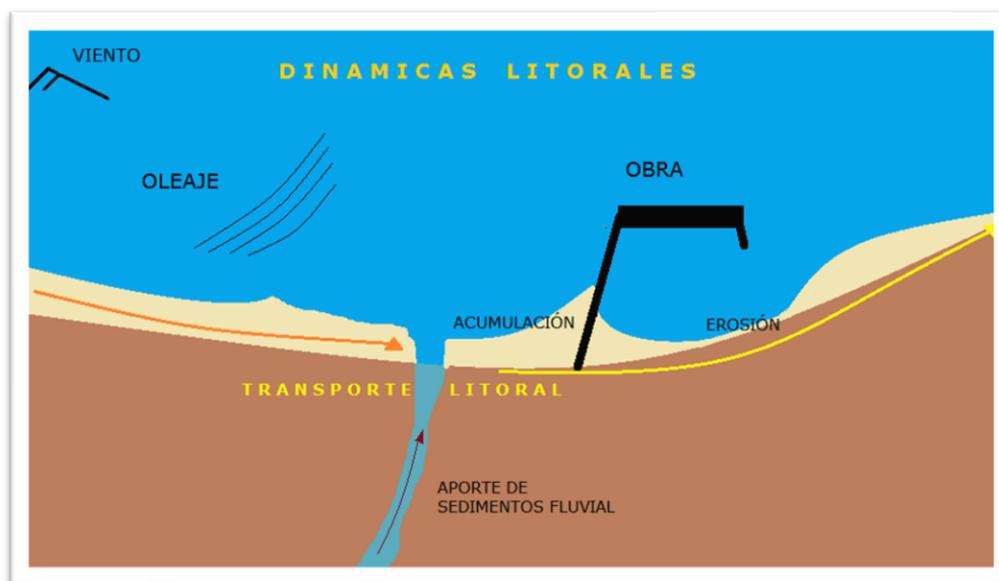


Figura 1. Dinámicas Litorales.

El clima marítimo, por su parte, consiste en estudiar o caracterizar el oleaje que incide en una zona. En zonas costeras, el conocimiento del clima marítimo permite conocer, en la medida de lo posible, prever y mitigar los posibles efectos negativos que el oleaje, el viento y las mareas puede producir en el litoral.

El estudio del clima marítimo comprende tanto la caracterización del régimen medio del oleaje (definido por la distribución estadística de los distintos estados del mar) como la caracterización de aquellos eventos extremos que se dan pocas veces al año pero que, por su magnitud y consecuencias, son de gran importancia, puesto que pueden producir daños estructurales y tasas de erosión anormales en áreas sedimentarias

En el presente ESTUDIO DE CLIMA MARÍTIMO y DINÁMICA LITORAL integrado en el del “Estudio de Impacto Ambiental de la Interconexión Occidental España-Francia por el Golfo de Vizcaya-Gascogne” se describe únicamente el estudio estadístico del oleaje y viento en profundidades indefinidas, así como la caracterización de la marea del tramo del cable que se localizará en territorio español.

En este estudio, no se va a realizar la propagación del oleaje hasta profundidades someras, ya que la zona de arranque del cable, la cual se localiza en el municipio costero Lemoiz de la provincia de Vizcaya, se produce en un entorno de sustrato duro, cuyo entorno es rocoso y acantilado (Figura 2), por lo que no sufrirá modificaciones morfodinámicas, ni cambios en cuanto a tasas de erosión y sedimentación.

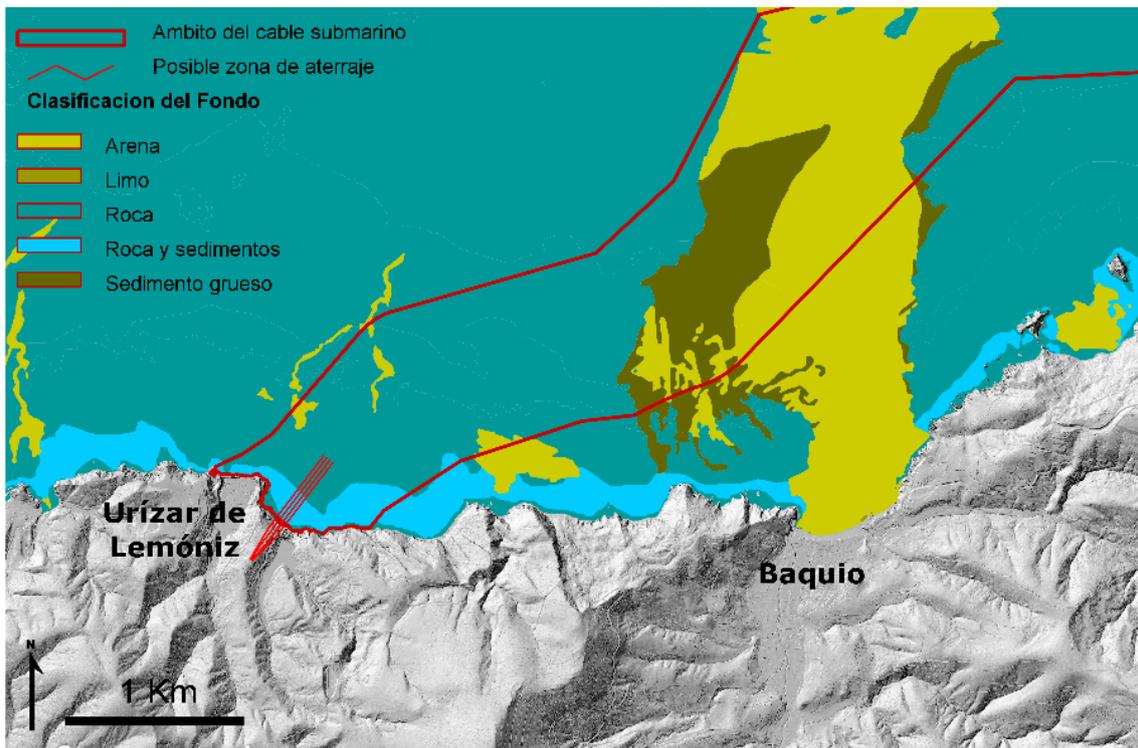


Figura 2. Entorno de la salida proyectada de los cables.

Cabe señalar, que la trayectoria que seguirá el cable tiene una tendencia a ir de menos a más profundo, es por ello, que, aunque si bien, el oleaje es una hidrodinámica muy

importe en costa, no resulta relevante su propagación hasta profundidades someras, ya que el comportamiento del oleaje y los efectos de su rotura no afectarán al cable por encontrarse situado a cota superior a la que podría considerarse la profundidad de cierre. Únicamente la zona de unión del cable con tierra, por profundidad, es la que podría verse afectada y como ya se mencionó, el hecho de producirse en sustrato duro y además a través de perforación dirigida hasta alcanzar la cota 16.

El conocimiento de las corrientes, mareas y vientos son parte integrante del modelo hidrodinámico propuesto para valorar la dispersión del sedimento que será puesto en suspensión durante el enterramiento del cable.

2. OBJETIVO DEL ESTUDIO

El presente estudio de Clima Marítimo y Dinámica Litoral para evaluar el Impacto Ambiental de la Interconexión Occidental España-Francia por el Golfo de Vizcaya-Gascogne tiene por objetivos:

- Evaluar si se produce afección de la obra sobre la dinámica litoral.
- Caracterizar las hidrodinámicas marinas, con el fin de que se pueda evaluar la afección o no de estos sobre la obra del cable.
- Proporcionar datos de base para el establecimiento del Plan de Vigilancia Ambiental durante las diferentes fases de la obra del tendido eléctrico.

3. DEFINICIONES

Se presentan algunas definiciones de los términos más utilizados a efectos de este informe, así como la descripción de los parámetros caracterizados. La mayoría de estas definiciones relacionadas con el oleaje están basadas en las ROM 0.3-91 (Recomendaciones para Obras Marítimas 0.3-91. Oleaje. Anejo I. Clima Marítimo en el Litoral Español), otras definiciones pertenecen al Documento Temático "Metodología e Información utilizada en la Elaboración del Documento Temático de Cota de Inundación" concretamente al Documento Complementario "Atlas de Inundación del Litoral Peninsular Español".

A continuación, se presentan dichas definiciones:

- AGUAS PROFUNDAS: Se considera oleaje en aguas profundas cuando la profundidad relativa, o cociente entre la profundidad del agua y la longitud de onda correspondiente a algún periodo representativo del oleaje (periodo medio o el periodo de pico) y obtenida en base al modelo de onda de Airy, es mayor de 0.5.
- ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE: Parámetro geométrico-estadístico representativo del oleaje, definido, a partir de discretizar un registro de oleaje en olas individuales según el Método de Paso por Cero, como la media aritmética de las alturas de ola del tercio de olas más altas del registro.
- ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE ESPECTRAL: Parámetro espectral del oleaje considerado como estructural o de escala. Se define como cuatro veces la raíz cuadrada del momento de orden cero del espectro o \cdot rea encerrada por la función de densidad espectral. A los efectos de este Anejo, los valores de la altura significativa estadística y espectral correspondientes a un mismo registro de oleaje pueden considerarse prácticamente coincidentes.
- CLIMA MARÍTIMO: caracterización del oleaje en periodos largos de tiempo o descripción estadística de la variación en el dominio del tiempo de los Estados del Mar en un emplazamiento dado.
- COEFICIENTE DE DIRECCIONALIDAD: Coeficiente que permite la obtención de regímenes extrémales direccionales de altura de ola significativa en aguas profundas a partir del régimen extremal escalar correspondiente a la zona analizada. El régimen extremal direccional se obtiene multiplicando las alturas de ola escalares correspondientes a los distintos periodos de retorno, transferidas a aguas profundas, por el coeficiente de direccionalidad asociado a la dirección considerada para la zona analizada.
- CONDICIÓN DE TEMPORAL: Estado del Mar que supera un determinado valor umbral de altura de ola significativa. Dicha altura de ola umbral es variable para cada zona en función de las características climáticas de la misma.
- CONDICIONES EXTREMAS: Actuación de las más severas condiciones medioambientales para las cuales se proyecta una estructura o instalación.
- CONDICIONES NORMALES DE OPERACIÓN: Estado en el que una instalación funciona sin limitaciones, no viéndose afectada su explotación u operatividad por las condiciones medioambientales.

- ESTADO DEL MAR: Situación temporal/espacial en la cual puede suponerse el fenómeno del oleaje real como estable energética y estadísticamente. Representa, por tanto, cada una de las situaciones en las que se puede separar la continua evolución del oleaje. En cada una de ellas el oleaje real puede ser tratado como un proceso estacionario en el tiempo, homogéneo en el espacio, y ergódico (muestras temporales/espaciales distintas de extensión finita suficiente, son estadísticamente iguales). Bajo estas condiciones, puede admitirse la descripción del oleaje durante periodos cortos de tiempo a partir de un único registro temporal.
- FRECUENCIA DE PICO: Frecuencia para la cual la función de densidad espectral alcanza su máximo valor (pico).
- OLAJE: Alteraciones producidas en la superficie del mar por la actuación continuada del viento sobre una superficie o área marítima durante un cierto periodo de tiempo; siempre y cuando dicho fenómeno de como resultado una gama de ondas aleatorias, de forma más o menos irregular y con diversas direcciones de propagación, con periodos entre 1 y 30 segundos.
- PERIODO DE PICO: Periodo para el cual la función de densidad espectral alcanza su máximo valor. Es el inverso de la frecuencia dominante del espectro.
- PERIODO DE PICO DEL OLAJE: periodo para el cual la función de densidad espectral del oleaje alcanza el valor máximo. Es el inverso de la frecuencia dominante del espectro del oleaje.
- PERIODO DE RETORNO: Se define como periodo de retorno de un valor determinado de la variable, el intervalo medio de tiempo en el que dicho valor es superado una sola vez; es decir, el tiempo medio entre dos excedencias consecutivas de dicho valor.
- PERIODO MEDIO: Parámetro geométrico-estadístico representativo del oleaje, definido, a partir de discretizar un registro de oleaje en olas individuales según el Método de Paso por Cero, como la media aritmética de los periodos de todas las olas individuales.
- PERIODO SIGNIFICANTE: Parámetro geométrico-estadístico representativo del oleaje, definido, a partir de discretizar un registro de oleaje en olas individuales según el Método de paso por Cero, como la media aritmética de los periodos asociados al tercio de olas más altas del registro.

- PROFUNDIDADES REDUCIDAS: Se considera que el oleaje esta en profundidades reducidas cuando la profundidad relativa, o cociente entre la profundidad del agua y la longitud de onda correspondiente a algún periodo representativo del oleaje (periodo medio o periodo de pico) y obtenida en base al modelo de onda de Airy, es menor de $1/25$.
- RÉGIMEN EXTREMAL DE ALTURA DE OLA: Función de distribución de los valores extremos de la variable altura de ola. Relaciona los valores máximos previsibles de esta variable con la probabilidad de que dichos valores no sean superados en un periodo de retorno determinado.
- RÉGIMEN MEDIO ESCALAR DE ALTURA DE OLA: Relación entre los diversos valores de la variable altura de ola con la probabilidad de que dichos valores no sean superados en el año climático medio.
- RÉGIMEN MEDIO DIRECCIONAL DE ALTURA DE OLA: Relación entre los diversos valores de la variable altura de ola con la probabilidad de que dichos valores no sean superados en el año climático medio con oleaje proveniente del sector direccional considerado. La probabilidad definida esta, por tanto, condicionada a que el oleaje tenga la dirección principal de propagación comprendida en el sector direccional analizado.
- TEMPORAL: Sucesión continua en el tiempo de Estados del Mar que superan un valor umbral de altura de ola significativa. Dicha altura de ola umbral es variable para cada zona en función de las características climáticas de la misma.
- MAREA ASTRONÓMICA: movimiento de ascenso-descenso del nivel del mar por efecto de la atracción gravitatoria de los astros.
- MAREA METEOROLÓGICA: el ascenso o descenso del nivel del mar por los efectos del clima.
- NIVEL DEL MAR: cota instantánea de la superficie del agua.
- NIVEL MEDIO DEL MAR: cota media del nivel del mar en una serie de datos suficientemente larga.
- NIVEL DE MAREA: nivel del mar sin tener en cuenta la acción del oleaje. Es el nivel que resulta al considerar la marea astronómica y la marea meteorológica.

4. METODOLOGÍA

El estudio de la dinámica litoral incluye el estudio de clima marítimo (caracterización del régimen medio del oleaje (definido por la distribución estadística de los distintos estados del mar) y caracterización de aquellos eventos extremos que se dan pocas veces al año pero que son de gran importancia ya que pueden producir daños estructurales y tasas de erosión anormales en las playas), la caracterización del viento, las variaciones del nivel del mar y corrientes.

La realización de estos estudios se basa en analizar series de datos, que hagan referencia a estos parámetros. Las series de datos provienen de entes públicos o privados que poseen instrumentación que lleva largos periodos de tiempo adquiriendo datos en campo, pero también existen entidades que han desarrollado metodologías para la generación y/o reconstrucción de bases de datos de alta resolución espacial y temporal de oleaje, viento, nivel del mar.

El análisis de las diferentes variables caracterizará las diferentes dinámicas marinas, de tal manera que al terminar el análisis se conocerá la variabilidad estadística y probabilística de los diferentes parámetros que caracterizan a cada una de estas dinámicas, además de las magnitudes se conocerán sus frecuencias y direcciones.

A continuación, se comenta los datos utilizados en el presente estudio.

4.1. Datos utilizados: viento, oleaje y nivel del mar y corrientes

La realización de estos estudios (viento, oleaje, nivel del mar y corrientes) se basa en analizar series de datos que hagan referencia a estos parámetros. En este caso, las series de datos de interés pertenecen al ente público Puertos del Estado. Este organismo desarrolla metodologías para la generación de bases de datos de alta resolución espacial y temporal del clima de oleaje, viento y tiene un registro de la Red de mareógrafos de Puertos del estado del nivel del mar así como una red de boyas, oceánicas y costeras.

En la siguiente Figura 3, se muestra la localización de los puntos SIMAR (3159035, 31620035 y 1072074) seleccionados para caracterizar el oleaje y el viento, así como la boya (Boya Bilbao-Vizcaya) que registra datos de corrientes y el mareógrafo (Mareógrafo Bilbao 3) más cercano al área de estudio.

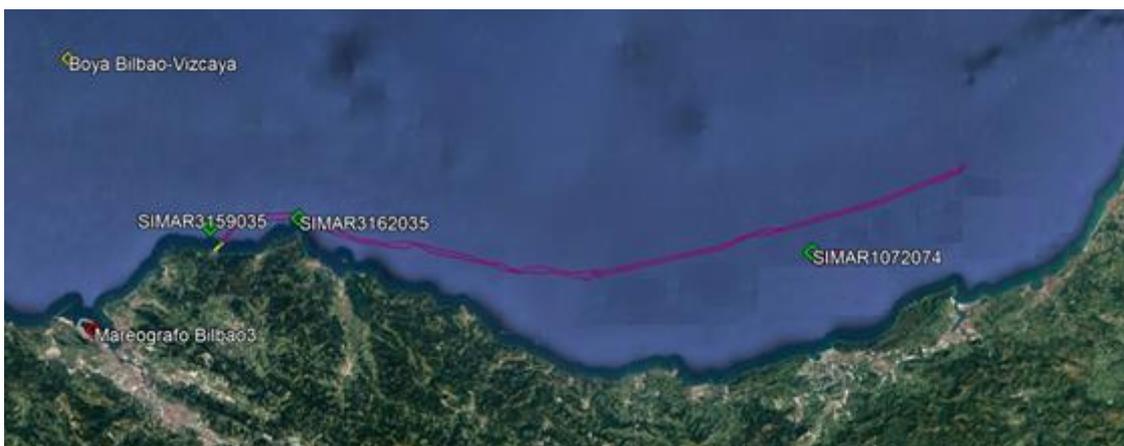


Figura 3. Localización de los puntos SIMAR, Boya Bilbao-Vizcaya y Mareógrafo Bilbao3.

Subconjunto SIMAR-44

El conjunto de datos SIMAR-44 ofrece información desde el año 1958 hasta la actualidad se construyó a partir de un modelado numérico de alta resolución de atmósfera, por lo tanto, se trata de datos sintéticos de series temporales de viento y oleaje, el cual cubre todo el entorno litoral español. Los datos del dominio Atlántico proceden de las simulaciones de oleaje y viento realizadas por Puertos del Estado y por Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (IMEDEA) en el marco del proyecto VANIMEDAT-II.

En el presente estudio se hace un análisis de los siguientes nodos:

| Nodo SIMAR | Longitud | Latitud | Cadencia | Inicio medidas | Fin medidas |
|----------------|----------|----------|----------|----------------|-------------|
| 3159035 | 2.88° W | 43.46° N | 1 h | 4-1-1958 | actualidad |
| 3162035 | 2.75° W | 43.47° N | 1 h | 4-1-1958 | actualidad |
| 1072074 | 2.00° W | 43.50° N | 1 h | 4-1-1958 | actualidad |

A continuación, se describe brevemente el modo en que se generó el viento y el oleaje.

Viento:

Los datos de viento del Atlántico son obtenidos mediante el modelo atmosférico regional RCA3.5 alimentado con los datos del reanálisis atmosférico global ERA-40. Las

simulaciones fueron realizadas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, www.aemet.es) con una resolución en la malla de 12' de latitud por 12' de longitud (aproximadamente 20 Km por 20 Km) (*Puertos del Estado. Clima Medio de oleaje. Nodo SIMAR 3159035*).

Debido a las resoluciones de las mallas utilizadas en los modelos REMO y RCA3.5, no es posible reproducir el efecto de accidentes orográficos de extensión inferior 50 Km. Tampoco quedan modelados la influencia en el viento de procesos de convección de escala local. No obstante, el modelo reproduce correctamente los vientos regionales inducidos por la topografía como el Cierzo, Tramontana, Mistral, etc. De modo general es más fiable la reproducción de situaciones con vientos procedentes de mar. (*Puertos del Estado. Clima Medio de oleaje. Nodo SIMAR 3159035*)

Oleaje:

Para los datos de oleaje, generación de campos de oleaje, se utilizó en modelo numérico WAM, modelo espectral de tercera generación que resuelve la ecuación de balance de energía sin establecer ninguna hipótesis *a priori* sobre la forma del espectro de oleaje.

Los datos se han generado con una cadencia horaria. Se ha realizado descomposición de mar de viento y mar de fondo. Con el fin de describir situaciones con mares de fondo cruzados, se ha considerado la posibilidad de dos contribuciones de mar de fondo. Para el área del Atlántico Norte se ha utilizado una malla de resolución 30' de longitud x 30' latitud, aumenta a 15' x 15' en zonas próximas a la Península Ibérica.

El modelo WAM utilizado para generar estos datos incluye efectos de refracción y asomeramiento. No obstante, dada la resolución del modelo, se pueden considerar despreciables los efectos del fondo. Por tanto, para uso práctico los datos de oleaje deben de interpretarse siempre como datos en aguas abiertas a profundidades indefinidas.

Conjunto REDMAR

El conjunto de datos REDMAR lo forman las medidas de la Red de Mareógrafos de Puertos del Estado, estos miden, graban, analizan y almacenan de forma continua y en tiempo real el nivel del mar en los puertos.

Las series históricas que cada mareógrafo proporciona permiten afrontar el estudio del régimen extremal y medio, que sirven de referencia a la hora de proyectar una obra en la costa a partir de la componente meteorológica del nivel del mar y para calibrar los modelos numéricos de corrientes y mareas.

Nivel del mar

El mareógrafo Bil3 cuenta con un sensor RADAR (Miros) desde julio de 2007, anteriormente, en 1992, contaba con un sensor acústico (SRD). El mareógrafo Bil 3 está situado, desde mayo de 2009 en la Longitud 3º 2' 42.47" W y Latitud 43º 21' 5.51" N, el cual se encuentra situado en el cantil del contradique de Santurtzi, a 1.07 Km, aproximadamente, del inicio del mismo. Presenta una cadencia de un dato minuto.

Los mareógrafos radar tienen un intervalo de muestreo de 0.5 segundos, realizando medidas durante todo un minuto. El dato minutil transmitido es el promedio de toda esa muestra.

En el caso de los mareógrafos acústicos se generan datos cada 5 minutos. No obstante, cada dato resulta de promediar registros tomados durante 30-40 segundos.

La serie de datos a analizar cubre el periodo de 1992-2013, siendo de julio 1992 a julio de 2007 datos del mareógrafo acústico y desde dicha fecha hasta enero de 2014 datos del mareógrafo radar.

Conjunto REDEXT

El conjunto de datos REDEXT lo forman las medidas de la Red de Boyas de Aguas Profundas, las boyas se fondean lejos de línea de costa y a cotas superiores a los 200m de profundidad. El oleaje no se ve afectado por efectos locales y proporciona observaciones representativas de grandes zonas litorales.

Las boyas cuentan con varios sensores, además de procesar, almacenan y transmiten datos vía satélite. La cadencia es un dato por hora, sin embargo, la medida es la media de un tiempo de observación y un tiempo sin medida. En el caso de la corriente, por ejemplo, esta es medida durante 10 minutos cada hora.

Los parámetros que presenta el conjunto REDEXT, de forma general, son los siguientes:

Oleaje

Parámetros escalares de cruce por cero y espectrales

- Altura Significante
- Periodo Medio el oleaje.
- 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

Meteorológicos (Datos registrados a 3 m. sobre la superficie)

- Velocidad y dirección media del Viento
- Velocidad de Racha del Viento
- Temperatura del Aire
- Presión del aire

Oceanográficos (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)

Las series históricas que cada mareógrafo proporciona permiten afrontar el estudio del régimen extremal y medio, que sirven de referencia a la hora de proyectar una obra en la costa a partir de la componente meteorológica del nivel del mar y para calibrar los modelos numéricos de corrientes y mareas.

4.2. Viento procedente del mar

El análisis del viento se ha realizado en base a los nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074 , contiene los datos del viento los cuales son:

Vv_m: Velocidad media del Viento, (m/s.).

Dv_m: Dirección media de Procedencia del viento (0° =N; 90° =E), (Deg.)

4.3. Oleaje a profundidades indefinidas.

El análisis del oleaje se realiza sobre nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074, los cuales presentan datos de varios parámetros de estado de mar, estos son:

Hs: Altura significativa Espectral (m.)

Tp: Periodo de pico (s.)

Dm: Dirección media de Procedencia de oleaje (0° =N; 90° =E), (Deg.)

4.4. Nivel del mar

La serie REDMAR, del mareógrafo de Bilbao, presenta los parámetros:

Nivel del Mar (series de 5 minutos)

Componente Astronómica (horario)

Componente Meteorológica (horario)

Sobre estas componentes se ha realizado el análisis del nivel del mar.

4.5. Corrientes

La serie REDEXT, en la boya Bilbao-Vizcaya, dentro de los parámetros de corrientes presenta datos de corrientes que integran las contribuciones energéticas de las corrientes de marea, las corrientes inerciales producidas por pulsos de viento y corrientes subinerciales debidas principalmente a flujos geostróficos inducidos por gradientes de presión, estos parámetros son:

Velocidad de la corriente

Dirección de la corriente

5. ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN

En el presente apartado se presentan los gráficos resultantes del análisis estadístico de las variables velocidad y dirección para el viento, así como de la altura de ola significativa y periodo de pico del oleaje, del registro de amplitudes al que responde el nivel del mar y de las corrientes.

5.1 *Caracterización del viento procedente del mar*

Para la caracterización del viento se han tenido en cuenta histogramas de velocidad de viento medio y rosas de viento, tanto anuales como estacionales del periodo 2008-2018, de los 3 puntos SIMAR indicados, mostrando las figuras de los tres nodos siempre correspondiéndose de oeste en cuanto al área de estudio, estas son las figuras:

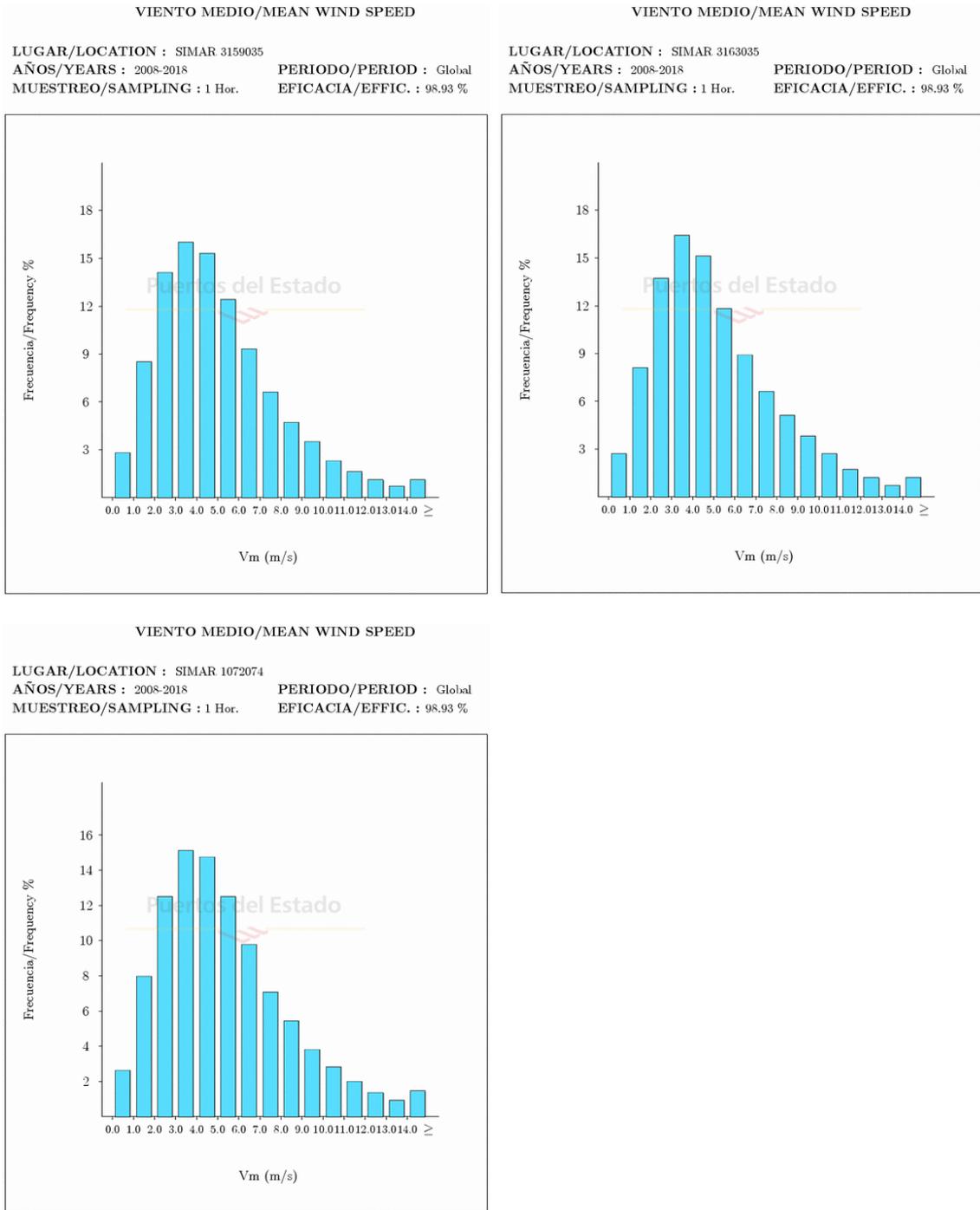


Figura 4. Histogramas globales de velocidad media del viento procedente del mar para el periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado.

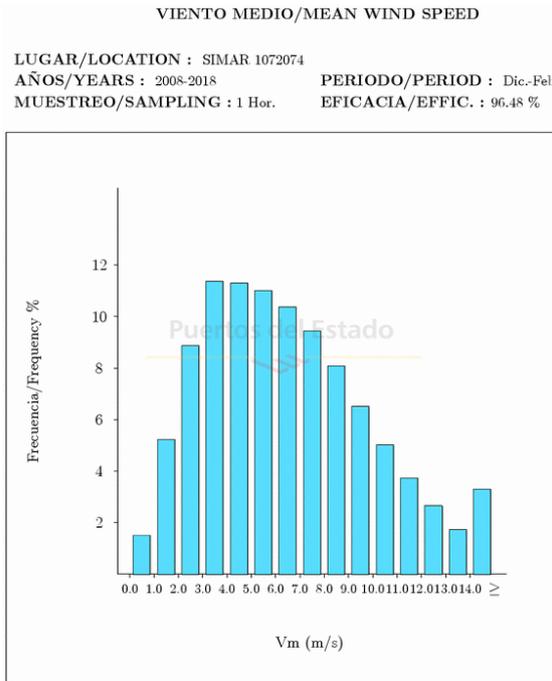
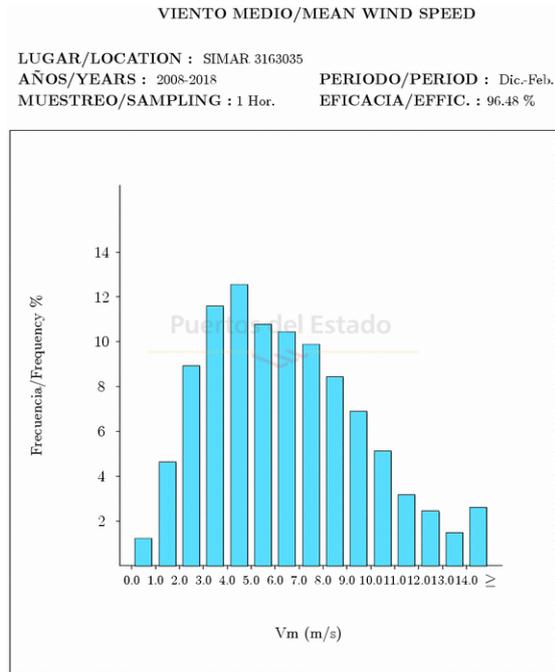
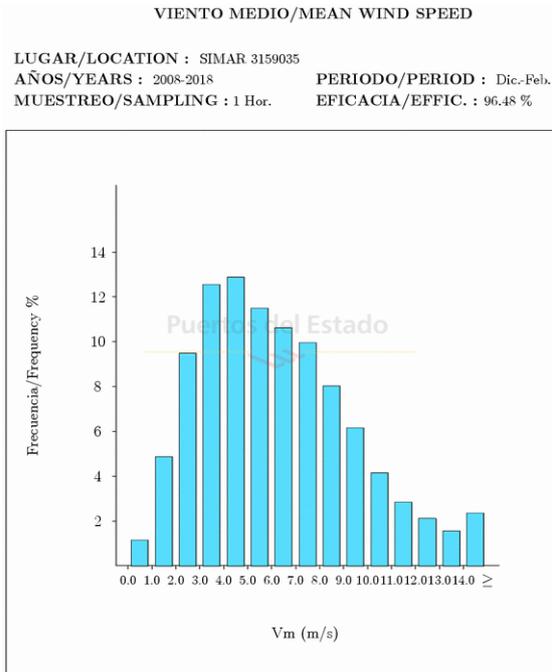


Figura 5. Histograma estacional, de invierno, de velocidad media del viento procedente del mar para el periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado.

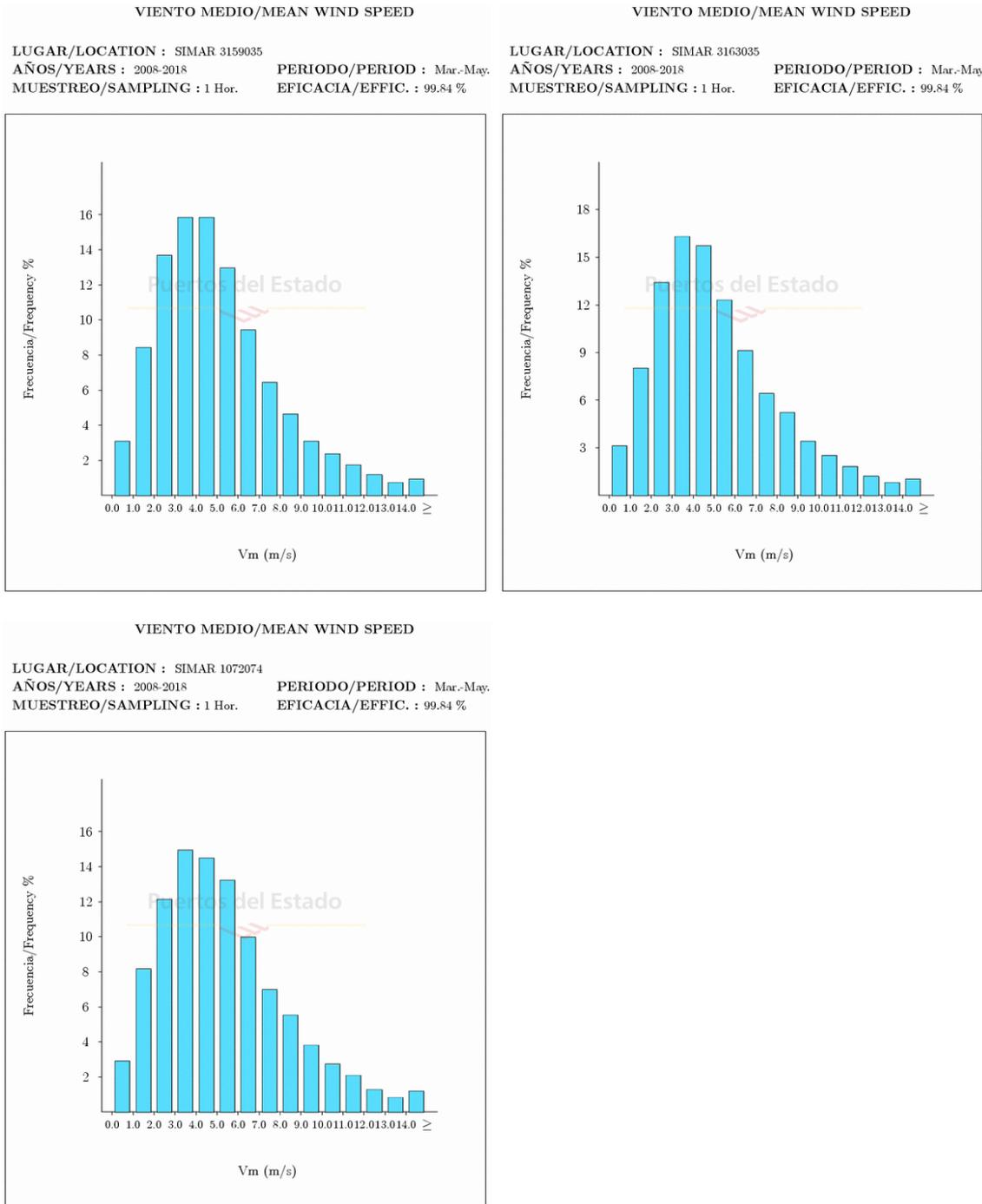


Figura 6. Histograma estacional, de primavera, de velocidad media del viento procedente del mar para el periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado.

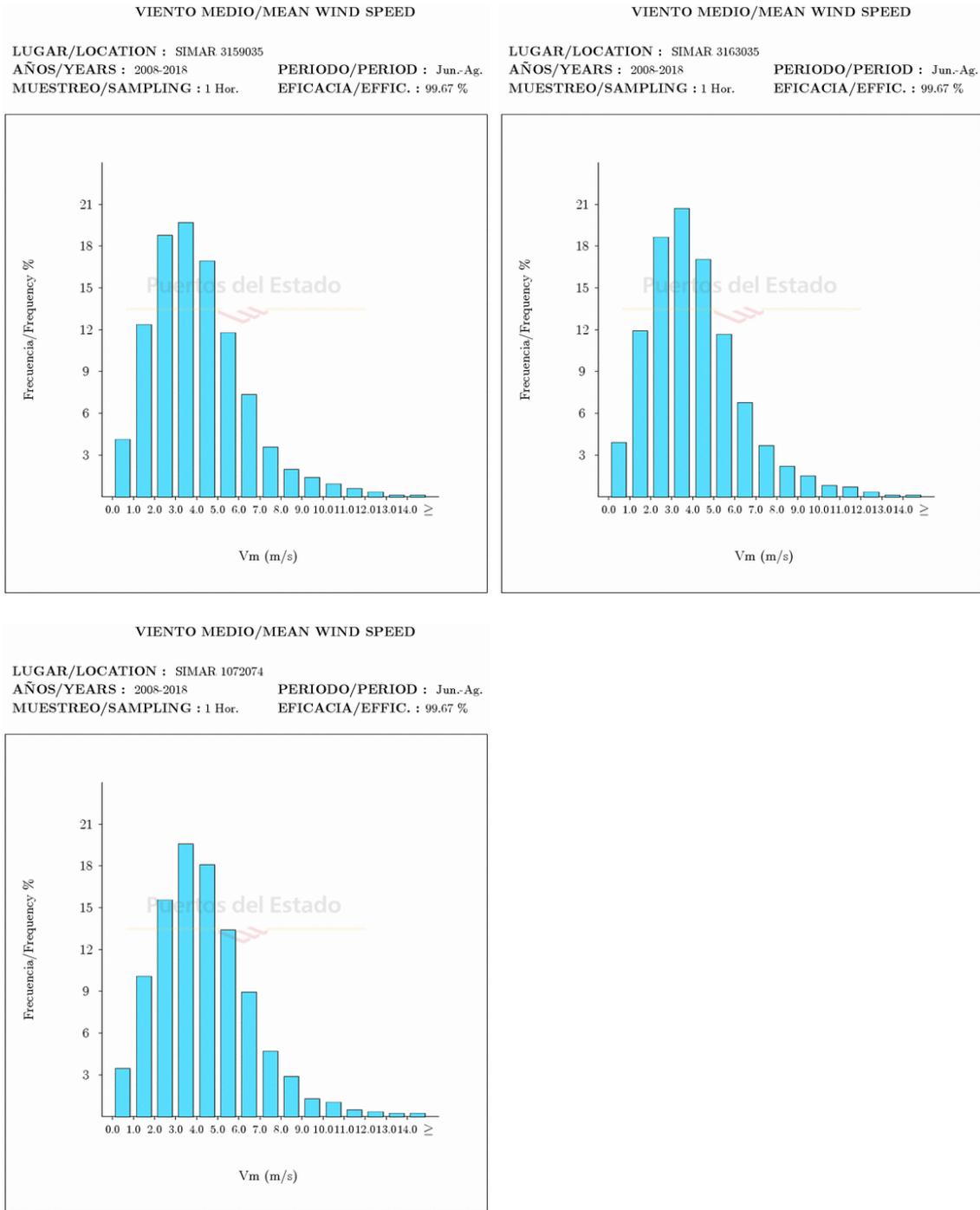


Figura 7. Histograma estacional, de verano, de velocidad media del viento procedente del mar para el periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado.

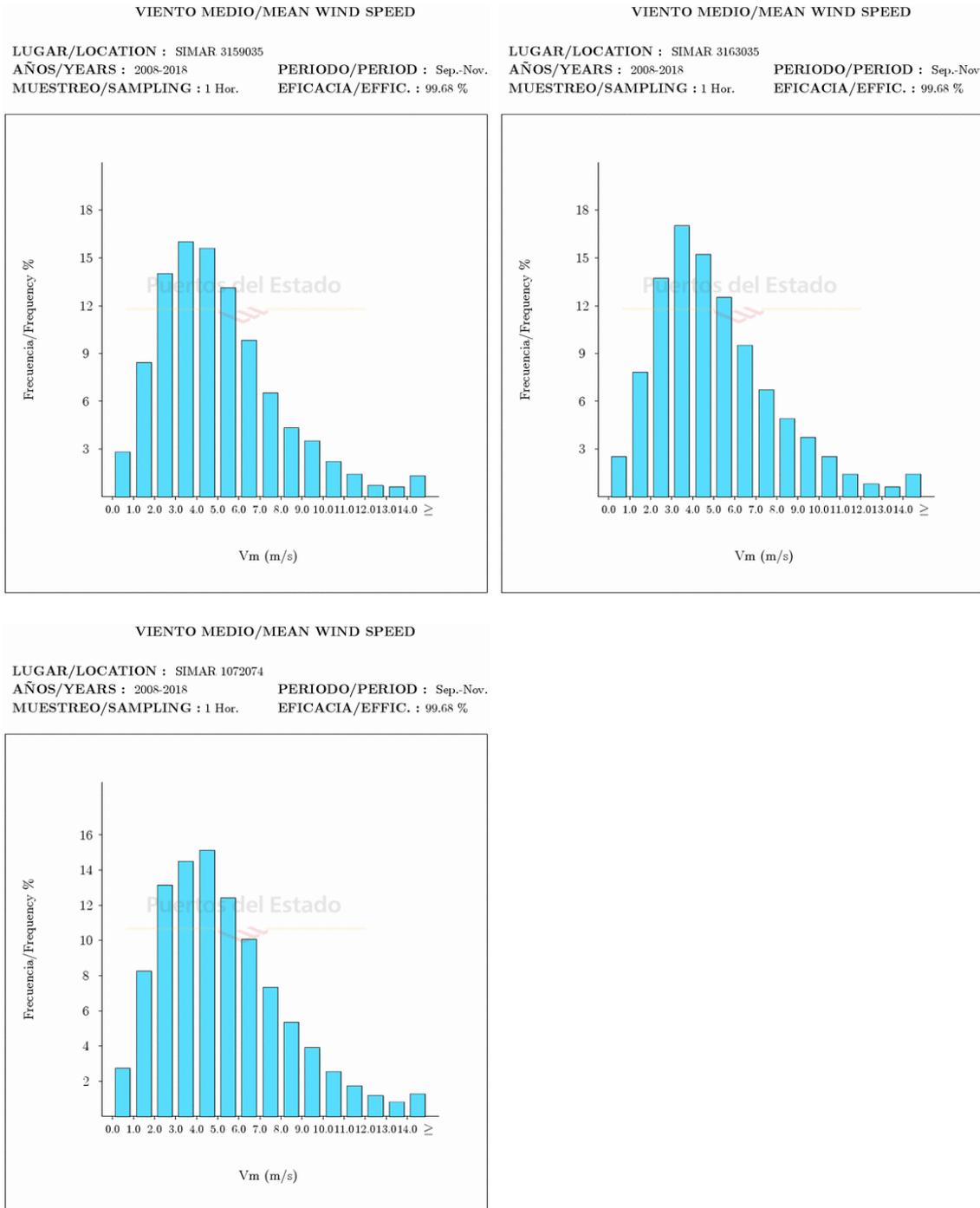


Figura 8. Histograma estacional, de otoño, de velocidad media del viento procedente del mar para el periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado.



Figura 9. Rosa de los vientos global para el periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado.

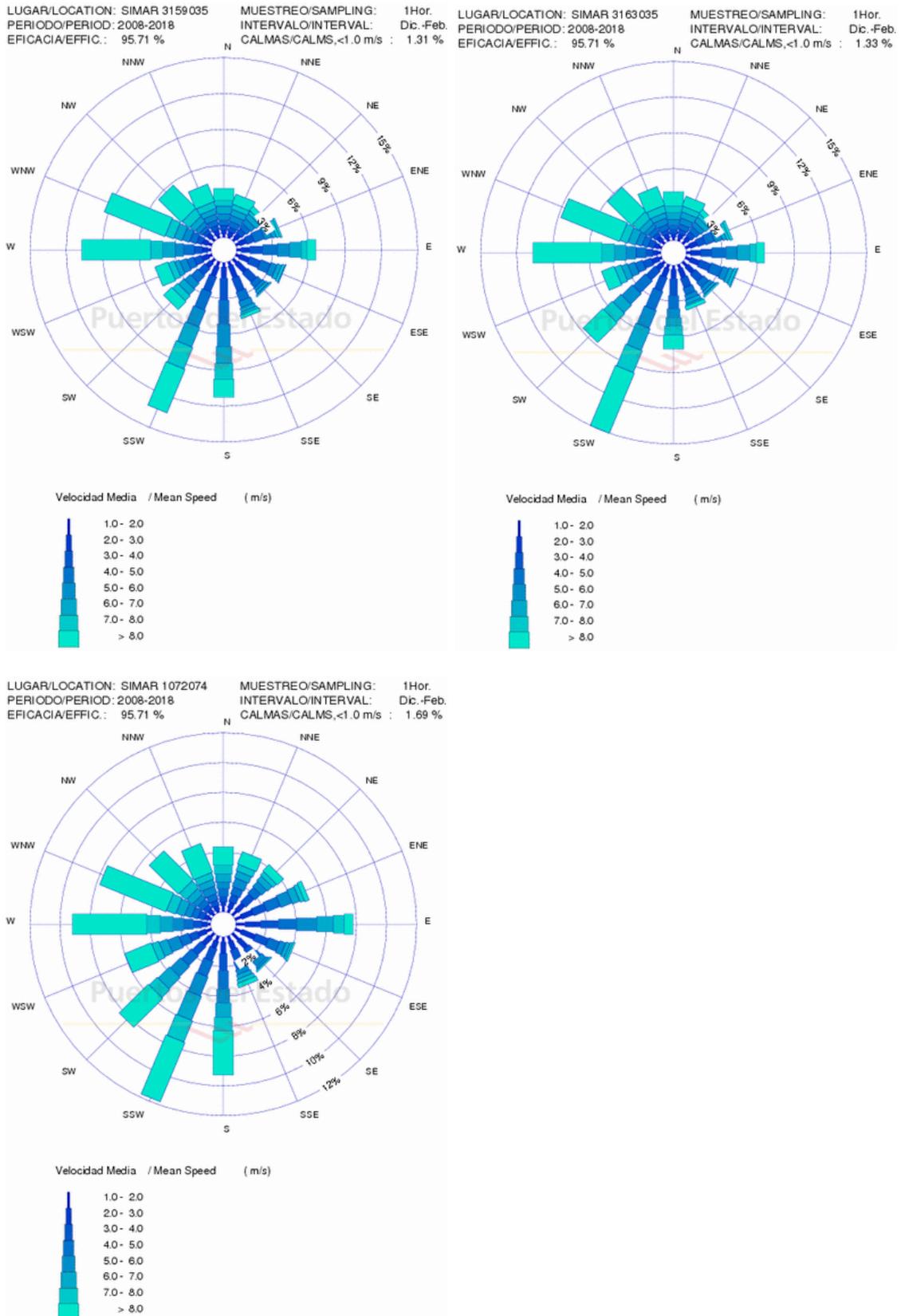


Figura 10. Rosa de los vientos estacional, inviernos, periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado.

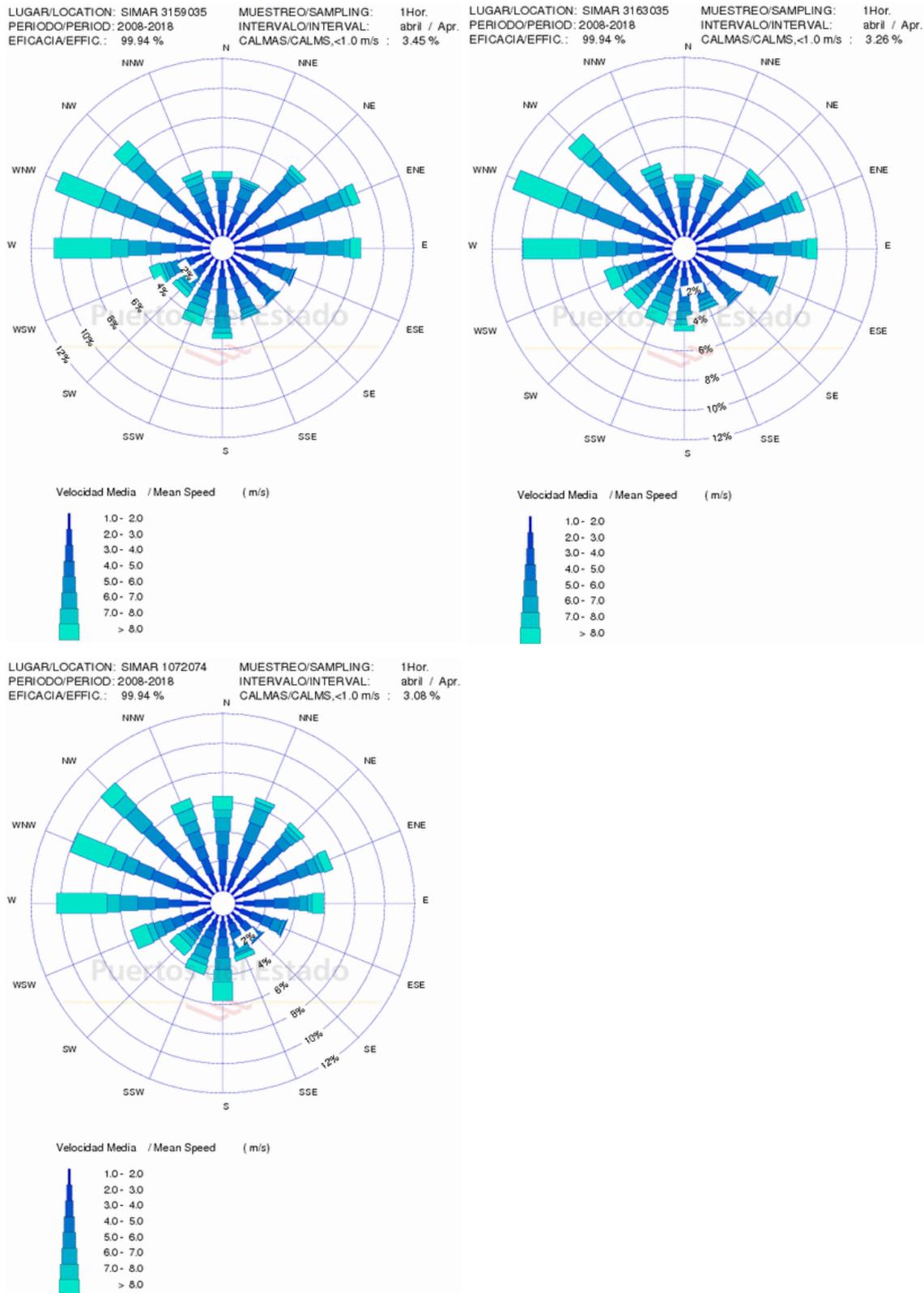


Figura 11. Rosa de los vientos estacional, primaveras (abril), periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado.

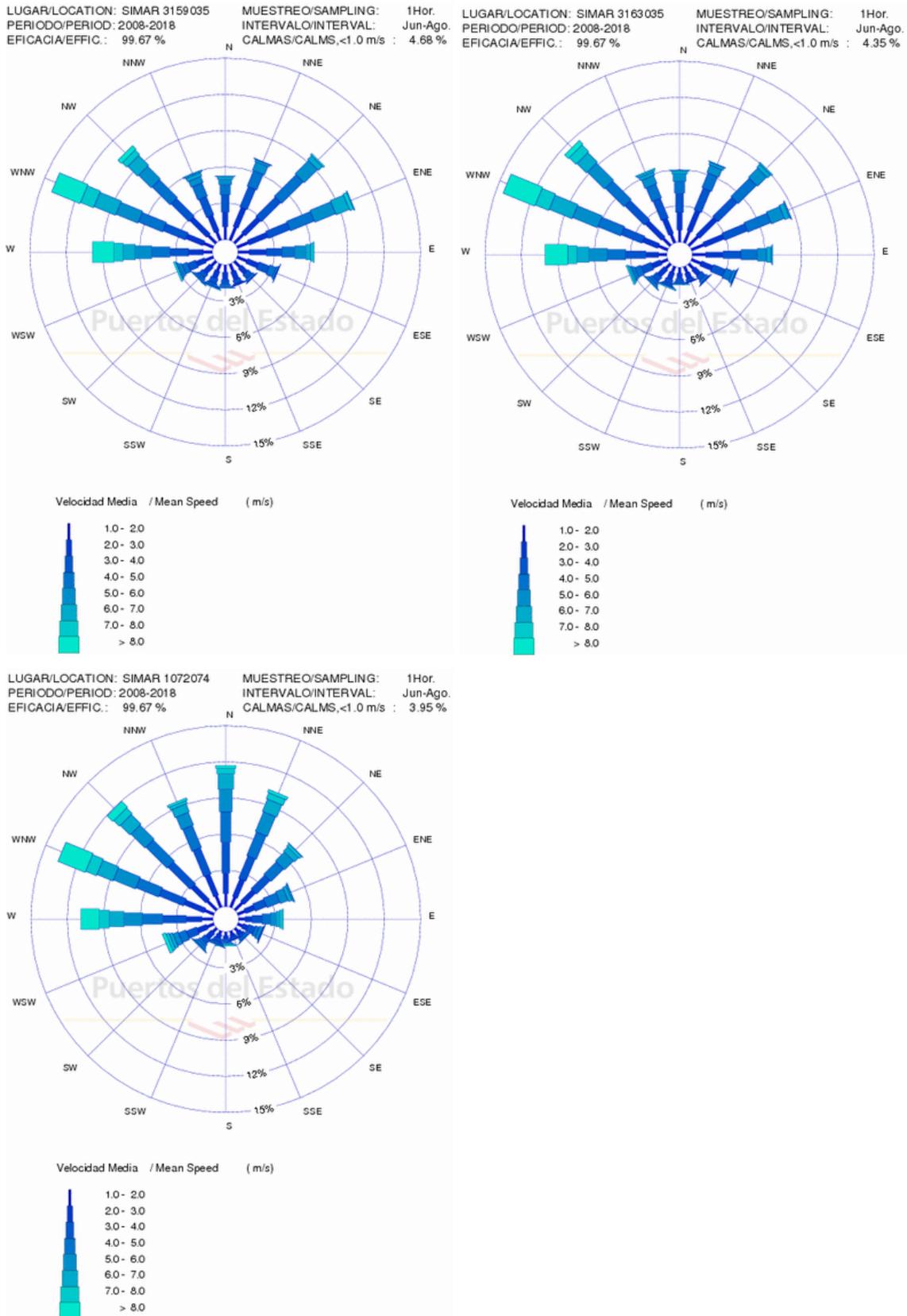


Figura 12. Rosa de los vientos estacional, veranos, periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado.

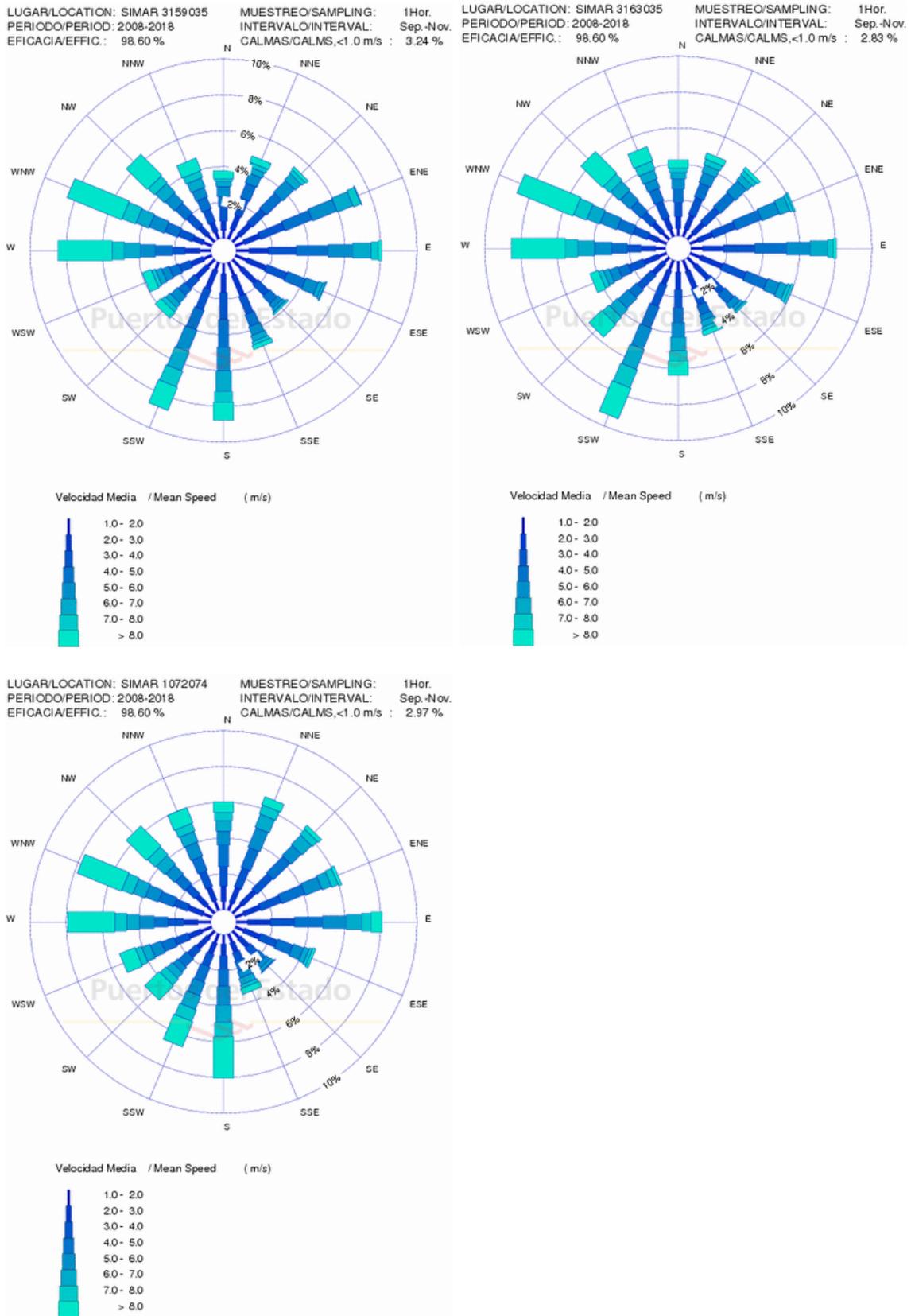


Figura 13. Rosa de los vientos estacional, otoños, periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado.

En la **Figura 4** *Histograma global de velocidad media del viento procedente del mar para el periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074*, se observa que en los tres puntos se sigue un mismo patrón de velocidades con unas frecuencias de presentación similares, el nodo SIMAR 1072074 aunque su respuesta es similar tiene una frecuencia que se distribuye algo más homogéneamente. En los tres nodos la velocidad más frecuente es de 3-4 m/s, con una frecuencia superior al 15%, le sigue la velocidad media de 4-5 m/s, y en el caso de los nodos situados más al oeste (SIMAR 3159035, 31620035) la velocidad de 2-3m/s con frecuencias que llegan al 14%, en el caso del nodo situado al este se presenta con la misma frecuencia, algo más del 12%, tanto la velocidad de 2-3m/s como de 5-6m/s.

En la **Figura 5** *Histograma estacional, de invierno, de velocidad media del viento procedente del mar para el periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074*. De nuevo se observa que en los tres puntos responden a un mismo patrón de velocidades con unas frecuencias de presentación similares, el nodo SIMAR 1072074 aunque su respuesta es similar tiene una frecuencia que se distribuye algo más homogéneamente en la franja de 3-7 m/s. En los nodos situados más al oeste (SIMAR 3159035, 31620035), en invierno la velocidad de 4-5m/s es la más frecuente con frecuencias aproximadas al 13%, en el caso del nodo situado al este se presenta con frecuencia de poco más del 11% la velocidad de 3-4m/s como la más frecuente, aunque casi con la misma frecuencia se presenta la velocidad de 4-5m/ y de 5-6m/s.

En la **Figura 6** *Histograma estacional, de primavera, de velocidad media del viento procedente del mar para el periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074*. Se mantiene el mismo patrón de velocidades con unas frecuencias de presentación similares, el nodo SIMAR 3159035 presenta con frecuencias de casi el 16% tanto velocidades de 3-4 m/s como de 4-5m/s , en el caso del SIMAR 31620035 es algo más frecuente la velocidad de 3-4 m/s con más del 16%, la misma velocidad resulta la más frecuente en el nodo SIMAR 1072074 pero con frecuencia del 15%.

En la **Figura 7** *Histograma estacional, de verano, de velocidad media del viento procedente del mar para el periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074*. Presentan un patrón similar pero más pronunciado en todos los nodos, las frecuencias superan el 20% para velocidades de 3-4m/s, siendo la velocidad media más representada en los tres nodos, y disminuyen los vientos superiores a los 7 m/s.

La **Figura 8** *Histograma estacional, de otoño, de velocidad media del viento procedente del mar para el periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074*, presenta un patrón similar a la primavera en cuanto a frecuencias y

velocidades. Siendo predominante en los dos nodos del oeste la velocidad de 3-4 m/s y en el nodo del este de 4-5 m/s.

La **Figura 9** Rosa de los vientos global para el periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Nos muestran que las 3 direcciones principales, de procedencia de los vientos, son iguales y con frecuencias prácticamente iguales en el caso de los nodos del oeste y muy similar al del oeste, aunque este último distribuye más homogéneamente todas las direcciones. Las tres direcciones principales son de componente oeste, en orden de frecuencia, son el WNW, W y el NW, superando el 25% de la frecuencia de ocurrencia, todas con frecuencias superiores al 2% de velocidades superiores a 8 m/s.

La **Figura 10** Rosa de los vientos estacional, inviernos, periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Presenta una gran diferencia respecto a la rosa global, esta es que la dirección más frecuente es del SSW y con más de un 4% de frecuencia de ocurrencia de vientos superiores a 8m/s.

La **Figura 11** Rosa de los vientos estacional, primaveras (abril), periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074, responde de nuevo al patrón global, aunque se marca cierta bimodalidad oeste-este, continua las frecuencias y direcciones de la componente oeste, pero cobran importancia, las direcciones ENE y E en la zona de estudio situada más al oeste. Además, en el nodo 1072074, el situado al este, se presentan homogéneamente las 3 direcciones del oeste W, WNW y NW, en cuanto a frecuencia.

La

Figura 12. Rosa de los vientos estacional, veranos, periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. responde de nuevo al patrón global, aunque se marca cierta bimodalidad oeste-este en los dos nodos SIMAR situados más al oeste, se mantienen las frecuencias y direcciones de la componente oeste, pero cobran importancia, las direcciones ENE y NE en la zona de estudio situada más al oeste. Por otra parte, en el nodo 1072074, el situado al este presenta de forma más homogénea todas las direcciones de componente norte, siendo las tres 3 direcciones principales WNW, NW y N, sin presentar bimodalidad.

La **Figura 13.** Rosa de los vientos estacional, otoños, periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Tiene presencia todas las direcciones, en el caso del nodo situado más al oeste (SIMAR 3159035) presenta como direcciones más habituales S, SSW y W y WNW con frecuencias todas de más del 8%, en el caso del 31620035 las más habituales son el SSW, WNW y W, también con frecuencias algo

superiores al 8%. De nuevo el nodo con mayor homogeneidad en cuanto a representación de direcciones es el nodo situado al este, destacando ligeramente las direcciones S, E y W.

5.2 Caracterización del oleaje en profundidades indefinidas

Para la caracterización del oleaje se han tenido en cuenta histogramas de periodo de pico (T_p) y altura de ola significativa (H_s) y tablas de T_p - H_s globales para el periodo 2008-2018, de los 3 puntos SIMAR indicados, además de las rosas de oleaje globales y estacionales para los tres nodos SIMAR, estas son las figuras:

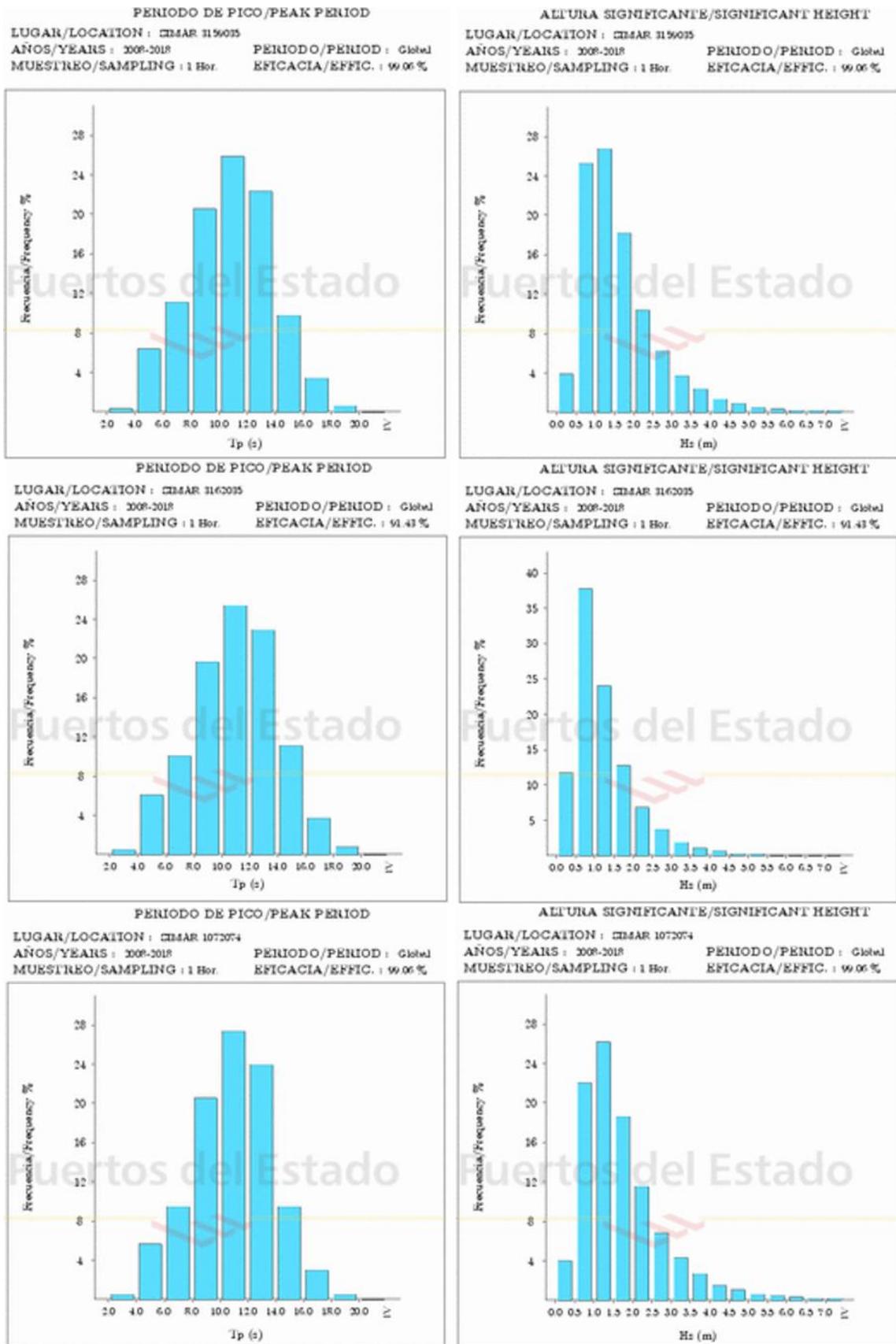


Figura 14. Histogramas de T_p (s) y H_s (m) en profundidades indefinidas, periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 3162035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado.

Tabla 1. Hs-Tp del oleaje en profundidades indefinidas, periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado.

| Tabla Hs vs Tp <i>SIMAR 3159035</i> | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|-------|-------|--------|--------|---------------|---------------|--------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| EFICACIA: 99.05% AÑO/YEAR: 2008-2018 | Tp (s) | | | | | | | | | | | | |
| | <=2.0 | 4.0 | 6.0 | 8.0 | 10.0 | 12.0 | 14.0 | 16.0 | 18.0 | 20.0 | >20.0 | TOTAL | |
| Hs (m) | <=1.0 | --- | 0.295 | 5.048 | 5.336 | 9.652 | 6.106 | 2.398 | 0.597 | 0.222 | 0.045 | 0.003 | 29.702 |
| | 2.0 | --- | 0.023 | 1.360 | 4.555 | 8.526 | 15.379 | 11.049 | 2.779 | 0.784 | 0.128 | 0.006 | 44.589 |
| | 3.0 | --- | --- | 0.018 | 1.091 | 1.549 | 2.872 | 6.437 | 3.454 | 0.897 | 0.097 | 0.012 | 16.426 |
| | 4.0 | --- | --- | --- | 0.048 | 0.690 | 0.982 | 1.536 | 1.847 | 0.752 | 0.093 | 0.007 | 5.955 |
| | 5.0 | --- | --- | --- | 0.004 | 0.097 | 0.421 | 0.559 | 0.586 | 0.337 | 0.104 | 0.006 | 2.115 |
| | 6.0 | --- | --- | --- | --- | 0.005 | 0.122 | 0.195 | 0.266 | 0.208 | 0.019 | --- | 0.816 |
| | 7.0 | --- | --- | --- | --- | --- | 0.009 | 0.079 | 0.082 | 0.076 | 0.045 | --- | 0.291 |
| | 8.0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.018 | 0.018 | 0.035 | --- | --- | 0.070 |
| | 9.0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.013 | 0.002 | 0.004 | --- | 0.019 |
| | 10.0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.001 | 0.002 | 0.001 | 0.007 | --- | 0.012 |
| | >10.0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.006 | --- | --- | --- | 0.006 |
| TOTAL | --- | 0.318 | 6.426 | 11.034 | 20.519 | 25.892 | 22.271 | 9.649 | 3.314 | 0.542 | 0.035 | 100% | |

| Tabla Hs vs Tp <i>SIMAR 3162035</i> | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|-----|-------|-------|-------|---------------|---------------|--------|--------|-------|-------|-------|---------------|
| EFICACIA: 99.05% AÑO/YEAR: 2008-2018 | Tp (s) | | | | | | | | | | | | |
| | <=2.0 | 4.0 | 6.0 | 8.0 | 10.0 | 12.0 | 14.0 | 16.0 | 18.0 | 20.0 | >20.0 | TOTAL | |
| Hs (m) | <=1.0 | --- | 0.502 | 5.507 | 7.016 | 15.263 | 13.683 | 5.828 | 1.525 | 0.462 | 0.093 | 0.006 | 49.884 |
| | 2.0 | --- | 0.008 | 0.591 | 2.799 | 3.506 | 9.880 | 12.943 | 5.001 | 1.177 | 0.208 | 0.010 | 36.123 |
| | 3.0 | --- | --- | 0.001 | 0.179 | 0.895 | 1.401 | 3.172 | 3.314 | 1.123 | 0.107 | 0.008 | 10.200 |
| | 4.0 | --- | --- | --- | 0.002 | 0.101 | 0.409 | 0.671 | 0.918 | 0.573 | 0.170 | 0.009 | 2.854 |
| | 5.0 | --- | --- | --- | --- | 0.001 | 0.044 | 0.146 | 0.250 | 0.271 | 0.075 | 0.002 | 0.789 |
| | 6.0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.024 | 0.028 | 0.039 | 0.037 | --- | 0.128 |
| | 7.0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.001 | 0.006 | 0.001 | 0.011 | --- | 0.019 |
| | 8.0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.002 | --- | --- | --- | 0.002 |
| | 9.0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.000 |
| | TOTAL | --- | 0.510 | 6.099 | 9.997 | 19.766 | 25.417 | 22.786 | 11.044 | 3.645 | 0.701 | 0.035 | 100% |

| Tabla Hs vs Tp <i>SIMAR 1072074</i> | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|-----|-------|-------|-------|--------|---------------|--------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| EFICACIA: 99.05% AÑO/YEAR: 2008-2018 | Tp (s) | | | | | | | | | | | | |
| | <=2.0 | 4.0 | 6.0 | 8.0 | 10.0 | 12.0 | 14.0 | 16.0 | 18.0 | 20.0 | >20.0 | TOTAL | |
| Hs (m) | <=1.0 | --- | 0.473 | 4.214 | 4.742 | 8.500 | 5.665 | 2.087 | 0.539 | 0.245 | 0.036 | 0.002 | 26.503 |
| | 2.0 | --- | 0.023 | 1.384 | 3.791 | 9.827 | 16.264 | 10.295 | 2.162 | 0.539 | 0.085 | 0.004 | 44.373 |
| | 3.0 | --- | --- | 0.033 | 0.909 | 1.495 | 3.595 | 7.993 | 3.383 | 0.663 | 0.072 | 0.004 | 18.147 |
| | 4.0 | --- | --- | --- | 0.051 | 0.684 | 1.115 | 2.271 | 2.047 | 0.709 | 0.045 | 0.004 | 6.925 |
| | 5.0 | --- | --- | --- | 0.002 | 0.099 | 0.466 | 0.650 | 0.790 | 0.421 | 0.062 | --- | 2.490 |
| | 6.0 | --- | --- | --- | --- | 0.006 | 0.169 | 0.342 | 0.289 | 0.171 | 0.035 | --- | 1.011 |
| | 7.0 | --- | --- | --- | --- | --- | 0.025 | 0.128 | 0.119 | 0.088 | 0.027 | --- | 0.387 |
| | 8.0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.041 | 0.025 | 0.035 | 0.009 | --- | 0.110 |
| | 9.0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.009 | 0.016 | 0.004 | --- | --- | 0.029 |
| | 10.0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.001 | 0.005 | 0.003 | 0.007 | --- | 0.017 |
| | >10.0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.005 | 0.001 | --- | --- | 0.006 |
| | TOTAL | --- | 0.496 | 5.631 | 9.495 | 20.612 | 27.298 | 23.817 | 9.381 | 2.878 | 0.378 | 0.015 | 100% |

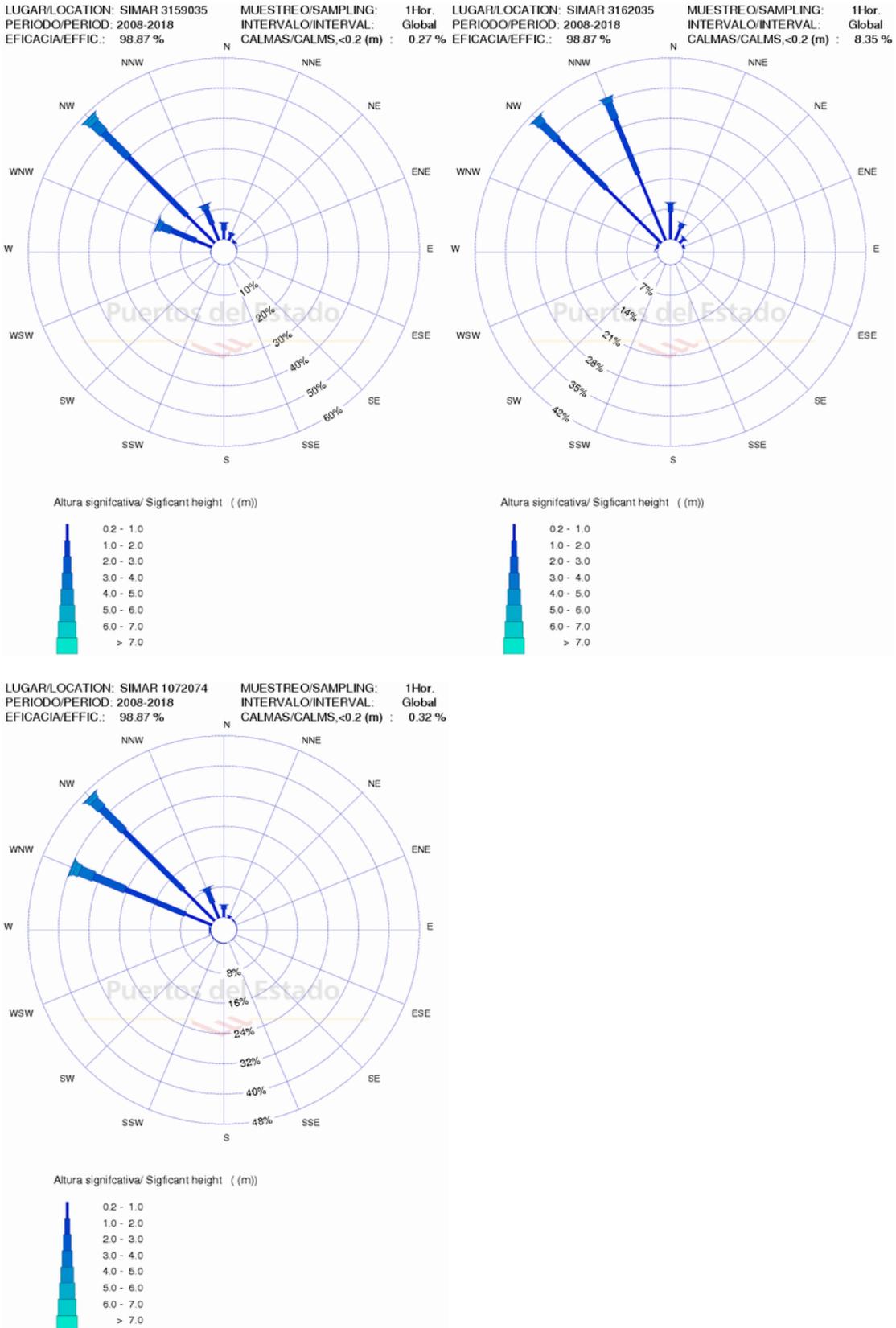
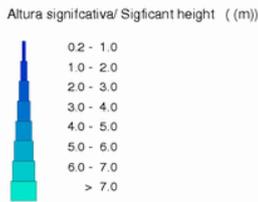
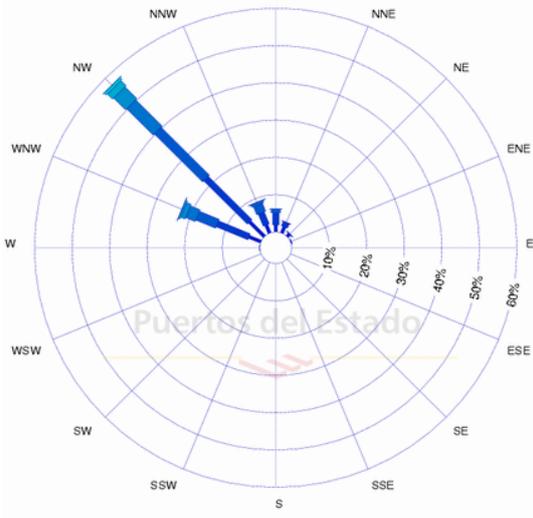


Figura 15. Rosa de oleaje global de altura de ola significativa en profundidades indefinidas, para el periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074. Fuente: Puertos del Estado.

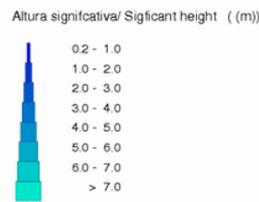
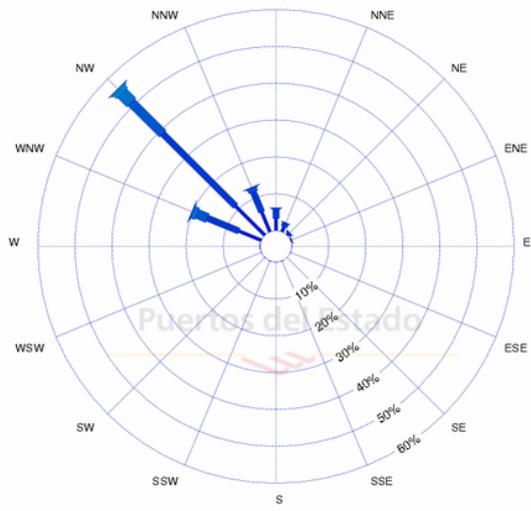
LUGAR/LOCATION: SIMAR 3159035
 PERIODO/PERIOD: 2008-2018
 EFICACIA/EFFIC.: 96.06 %

MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
 INTERVALO/INTERVAL: Dic.-Feb.
 CALMAS/CALMS,<0.2 (m) : 0.26 %



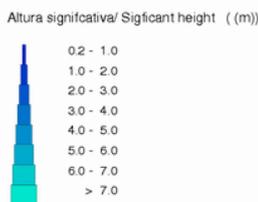
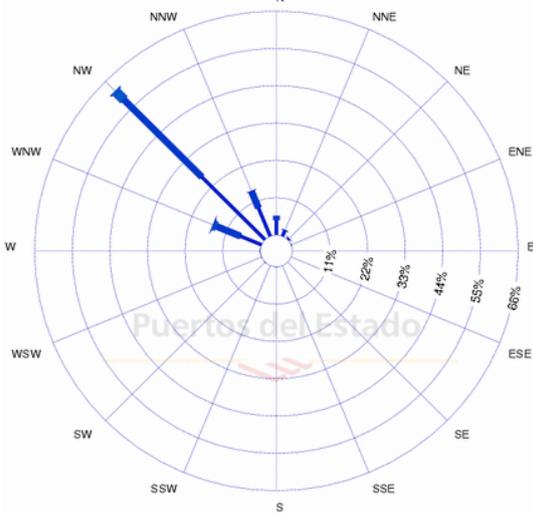
LUGAR/LOCATION: SIMAR 3159035
 PERIODO/PERIOD: 2008-2018
 EFICACIA/EFFIC.: 99.88 %

MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
 INTERVALO/INTERVAL: Mar.-May.
 CALMAS/CALMS,<0.2 (m) : 0.24 %



LUGAR/LOCATION: SIMAR 3159035
 PERIODO/PERIOD: 2008-2018
 EFICACIA/EFFIC.: 99.67 %

MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
 INTERVALO/INTERVAL: Jun.-Ago.
 CALMAS/CALMS,<0.2 (m) : 0.18 %



LUGAR/LOCATION: SIMAR 3159035
 PERIODO/PERIOD: 2008-2018
 EFICACIA/EFFIC.: 98.78 %

MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
 INTERVALO/INTERVAL: Sep.-Nov.
 CALMAS/CALMS,<0.2 (m) : 0.40 %

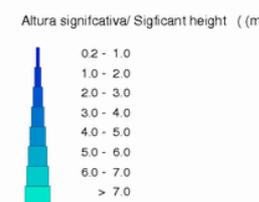
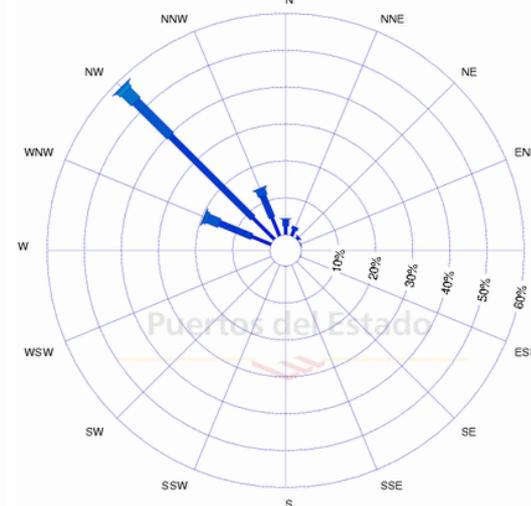
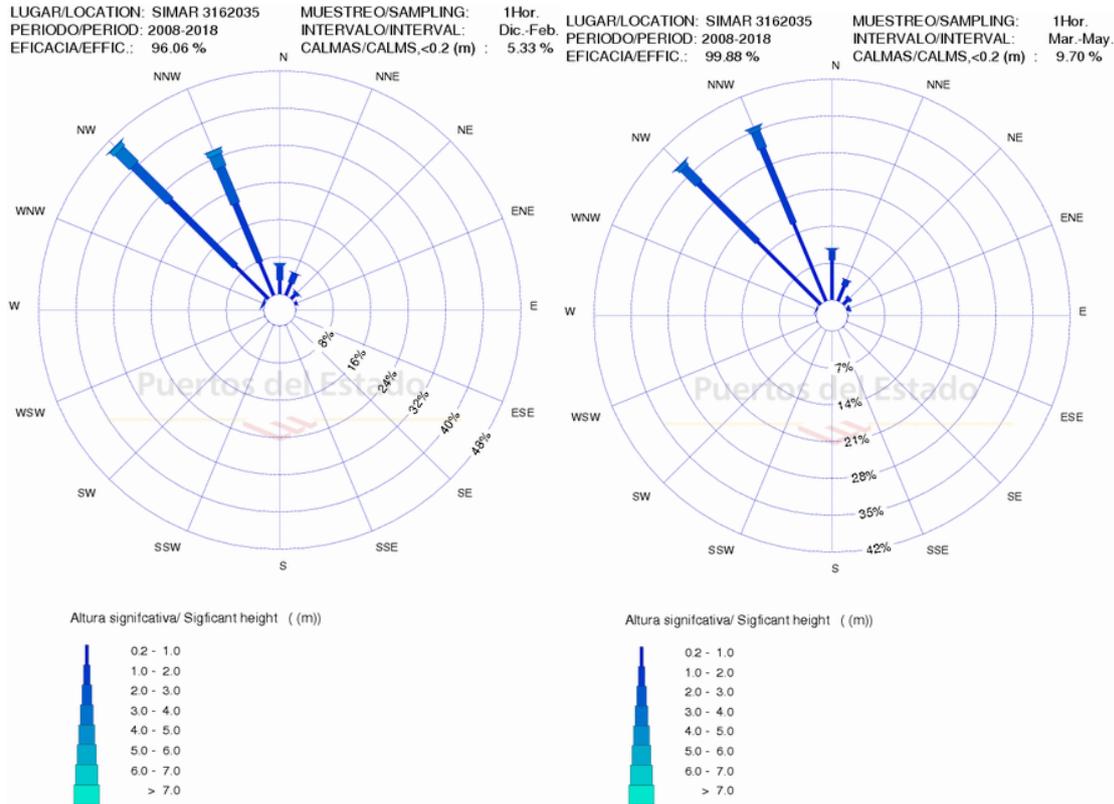


Figura 16. Rosa de oleaje estacional (invierno (arriba izq.), primavera(arriba dcha.), verano abajo izq.) y otoño(arriba dcha.) de Hs (m) en profundidades indefinidas, periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 31620035. Fuente: Puertos del Estado.



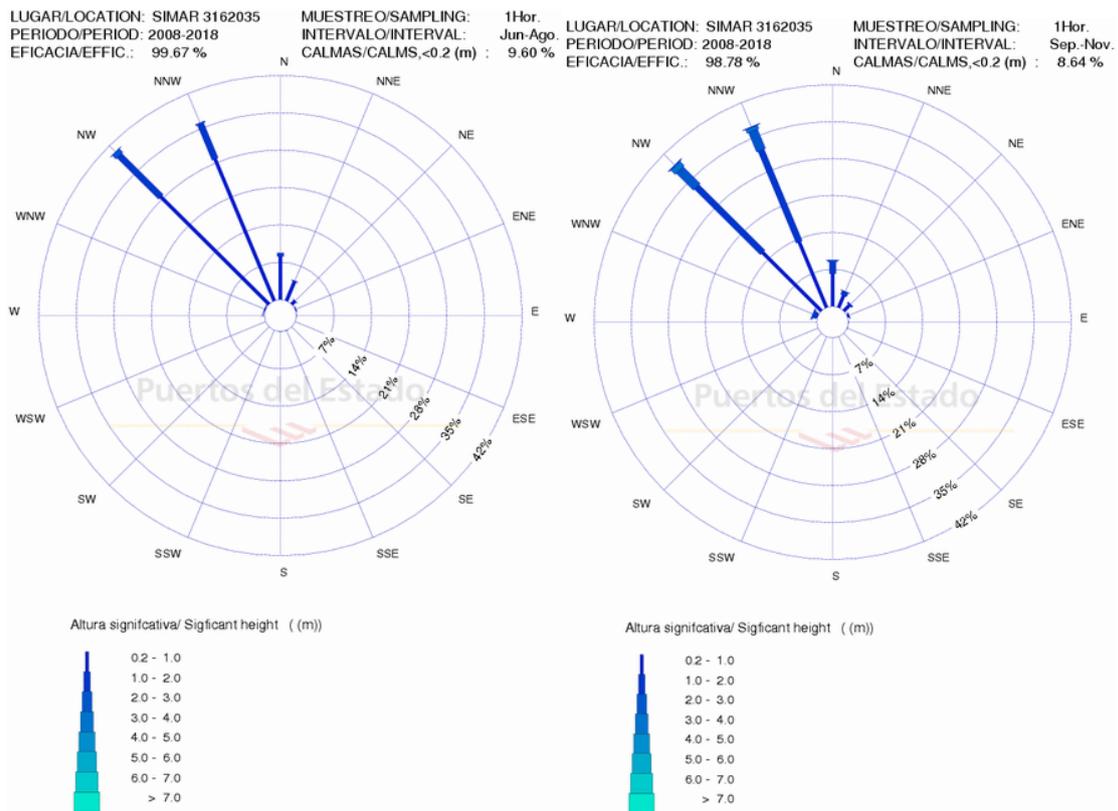
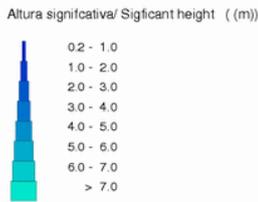
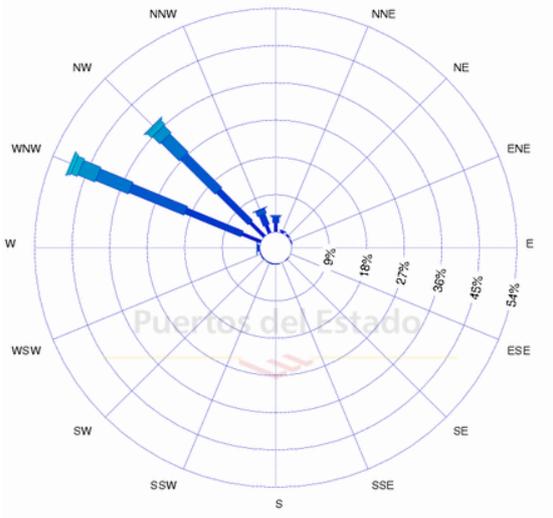


Figura 17. Rosa de oleaje estacional (invierno (arriba izq.), primavera(arriba dcha.), verano abajo izq.) y otoño(arriba dcha.) de Hs (m) en profundidades indefinidas, periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 3159035. Fuente: Puertos del Estado.

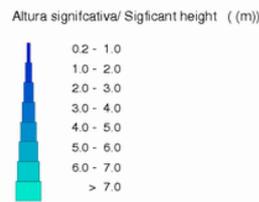
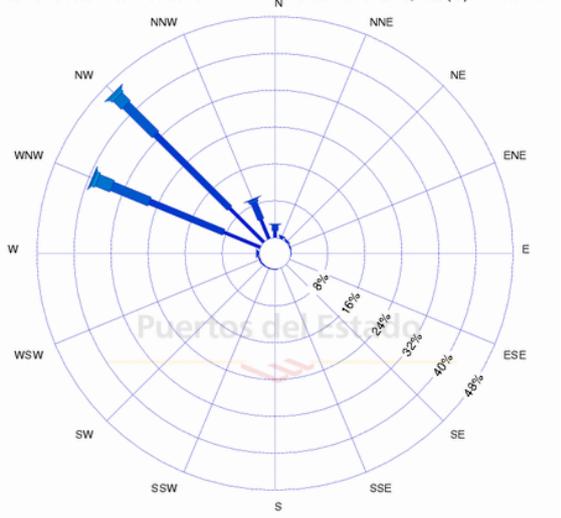
LUGAR/LOCATION: SIMAR 1072074
 PERIODO/PERIOD: 2008-2018
 EFICACIA/EFFIC.: 96.06 %

MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
 INTERVALO/INTERVAL: Dic.-Feb.
 CALMAS/CALMS,<0.2 (m) : 0.46 %



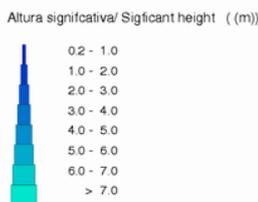
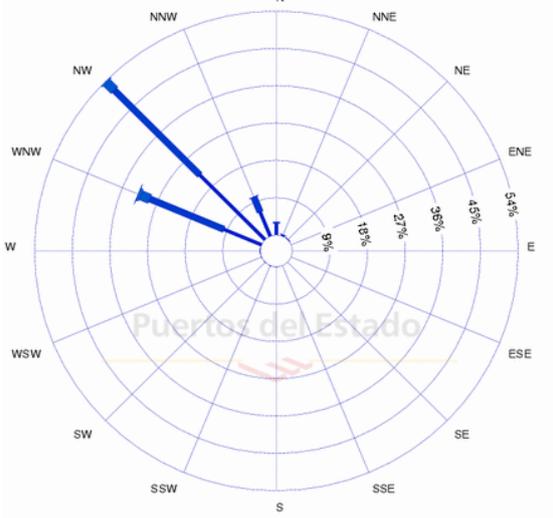
LUGAR/LOCATION: SIMAR 1072074
 PERIODO/PERIOD: 2008-2018
 EFICACIA/EFFIC.: 99.88 %

MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
 INTERVALO/INTERVAL: Mar.-May.
 CALMAS/CALMS,<0.2 (m) : 0.34 %



LUGAR/LOCATION: SIMAR 1072074
 PERIODO/PERIOD: 2008-2018
 EFICACIA/EFFIC.: 99.67 %

MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
 INTERVALO/INTERVAL: Jun.-Ago.
 CALMAS/CALMS,<0.2 (m) : 0.25 %



LUGAR/LOCATION: SIMAR 1072074
 PERIODO/PERIOD: 2008-2018
 EFICACIA/EFFIC.: 98.78 %

MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
 INTERVALO/INTERVAL: Sep.-Nov.
 CALMAS/CALMS,<0.2 (m) : 0.23 %

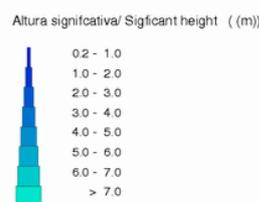
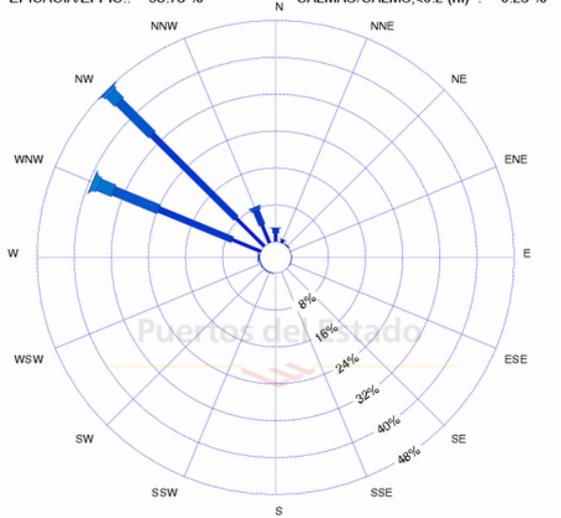


Figura 18. Rosa de oleaje estacional (invierno (arriba izq.), primavera(arriba dcha.), verano abajo izq.) y otoño(arriba dcha.) de Hs (m) en profundidades indefinidas, periodo 2008-2018. Nodos SIMAR 1072074. Fuente: Puertos del Estado.

Las Figura 14, Figura 15, Figura 16, Figura 17, Figura 18 y Tabla 1, referentes al oleaje, altura de ola significativa y periodo de pico, son descritas a continuación.

La **Figura 14** muestra los histogramas globales para el periodo 2008-2018 de frecuencias de Tp, a la izquierda, y Hs, a la derecha, de los tres nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074, de arriba hacia abajo respectivamente. En cuanto al Tp el patrón es igual para los 3 puntos, así como la frecuencia, predomina un Tp de 10-12 segundos (s) con más del 25% de frecuencia de ocurrencia, al cual le sigue un periodo de 12-14s con un 23-24% de frecuencia y un periodo de 8-10s con una frecuencia del 20%. Es decir, casi el 70% del oleaje presente en la zona se desarrolla con un periodo de 8-14s. En cuanto a la Hs, el nodo situado más al este y el del oeste son prácticamente iguales, con una frecuencia de más del 26 % de altura de ola comprendidas entre 1-1.5 metros (m), con frecuencia próxima al 24% de 0.5-1m y en torno a un 18% de 1.5-2m, en el caso del nodo central, 31620035, se presenta una Hs de 0.5-1m con casi un 40% de frecuencia de ocurrencia y una Hs de 1-1.5m con un 25% de frecuencia.

La **Tabla 1** de Hs-Tp, para el periodo 2008-2018, indica para el *SIMAR 3159035*, el situado más al oeste, muestra que el mayor porcentaje de Hs está comprendido entre 1-2m con un 44.6% de frecuencia de ocurrencia, y el Tp más frecuente va de 10-12s con un 25.9% de frecuencia, la combinación más frecuente del oleaje lo presenta de igual forma una Hs entre 1-2m y de 10-12 s, quedando esto representado con un 15.4% de frecuencia. Para el *SIMAR 3162035*, la tabla muestra que el mayor porcentaje de Hs es menor a 1m con un 49.9% de frecuencia de ocurrencia, y el Tp más frecuente va de 10-12s con un 25.4% de frecuencia, sin embargo, la combinación más frecuente del oleaje lo presenta una Hs entre menor de 1 y con un Tp de 8-10 s, quedando esto representado con un 15.3% de frecuencia. Finalmente, el *SIMAR 1072074*, el mayor porcentaje de Hs está comprendido entre 1-2m con un 44.4%, y el Tp más frecuente va de 10-12s con un 27.3% de frecuencia, siendo la combinación más frecuente del oleaje una Hs de 1-2m y con un Tp de 10-12 s, quedando esto representado con un 16.3% de frecuencia.

La **Figura 15** muestra las rosas de oleaje global, para el periodo 2008-2018, en el que se presenta la altura de ola significativa (en metros) por direcciones. Los tres nodos presentan en común las direcciones de componente oeste y norte. La rosa situada arriba a la izquierda se corresponde con el nodo situado al oeste, en el cual la dirección más probable es el NW con casi un 60% de frecuencia, el WNW con un 20% y el NNW

con casi un 15%. El nodo central, rosa de oleaje situada arriba a la derecha, presenta con un 40% de frecuencia la dirección NW, con un 36% el NNW y con un 9 % el norte. Finalmente, el nodo situado más al este, y representado por la rosa de oleaje situada abajo en la figura, presenta una frecuencia del 47% para la dirección NW, un 40 para el WNW y un 9% para el NNW.

De igual modo las **Figura 16, Figura 17 y Figura 18**, que se corresponden con las rosas estacionales de los nodos SIMAR 3159035, 31620035 y 1072074, respectivamente, muestran para el SIMAR 3159035 (Figura 16) la dirección más probable es el NW con casi un 60% de frecuencia de ocurrencia en todas las estaciones, y el WNW con un 20%, responde de igual forma que el patrón global. El nodo central (Figura 17) muestra dos direcciones predominantes en todas las estaciones, de nuevo el NW y el NNW, ambas con más del 35% de frecuencia de ocurrencia. Por último, el nodo situado más al este, y representado por las rosas de oleaje de la Figura 18, presenta un poco más de variabilidad estacional, en invierno predomina la dirección WNW y en el resto de las estaciones el NW, aunque ambas direcciones se presentan con frecuencias superiores a 30% para todas las estaciones.

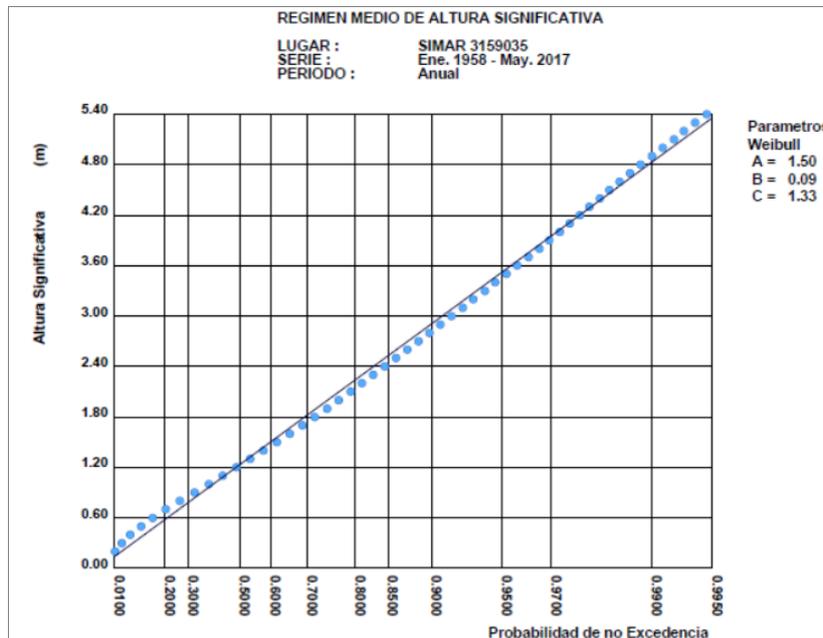
5.2.1 Régimen medio del oleaje

Para la caracterización del régimen medio del oleaje en aguas profundas se ha tenido en cuenta el total del registro de cada uno de los nodos SIMAR, teniendo estas series de datos un periodo de enero de 1958 a mayo de 2017.

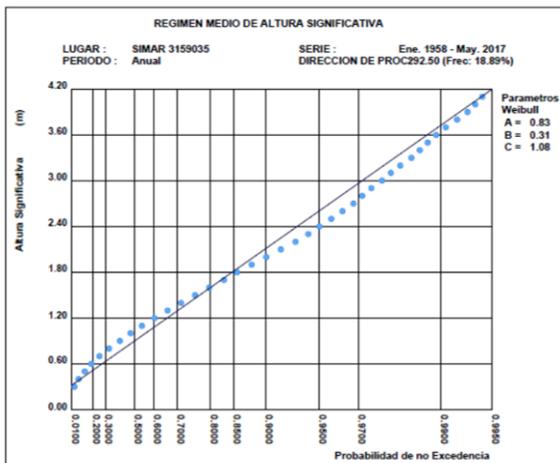
El régimen medio representa la distribución estadística del valor de un parámetro de mar en un tiempo determinado, en este caso será la altura de ola. El régimen medio de oleaje permite caracterizar la probabilidad de no superación de diferentes niveles de altura de ola en condiciones medias, ajustando las alturas de ola a la función de distribución acumulada Weibull de mínimos.

A continuación, se muestran para cada nodo, el ajuste de todos los datos muestrales de altura de ola significativa frente a la fundición de Weibull de mínimos, por una parte, del registro global y, por otra parte, respecto al oleaje de las 2 direcciones más frecuentes de cada uno de los nodos SIMAR.

SIMAR 3159035



WNW



NW

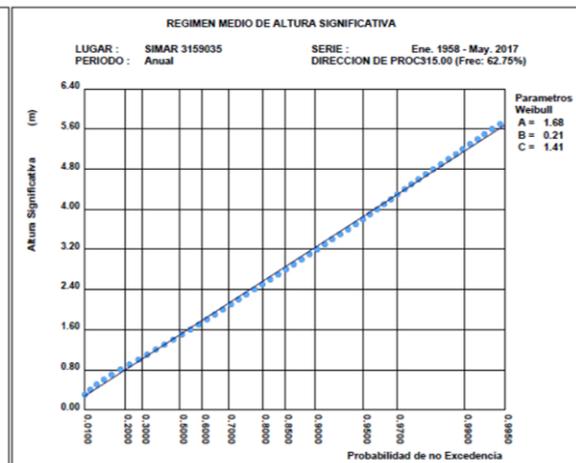
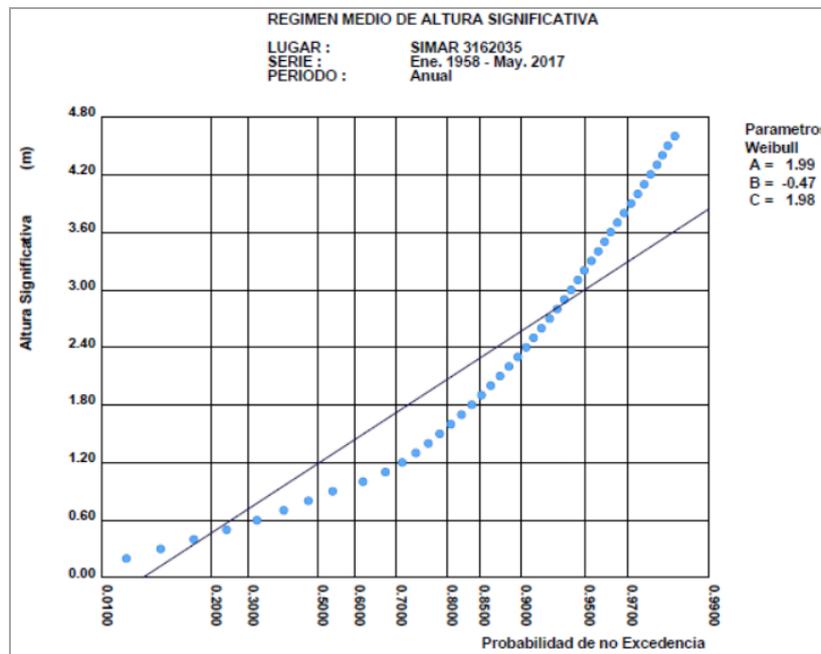


Figura 19. Régimen medio escalar de altura de ola significativa, global (superior), para la dirección NWN (inferior izq.) y para la dirección NW (inferior dcha.). SIMAR 3159035. Fuente: Puertos del Estado.

La **Figura 19** muestra la probabilidad de no excedencia de una determinada altura de ola en profundidades indefinidas, la lectura de la gráfica superior es que el 99% del tiempo la altura de ola significante en profundidades indefinidas no supera los 4.8 metros. Sin embargo, en la gráfica para la dirección WNW, con el mismo porcentaje la altura se reduce a 3.7 metros, y en el caso de la dirección NW, también para una probabilidad de no excedencia del 99%, incrementa hasta 5.1 metros.

SIMAR 3162035



N

NNW

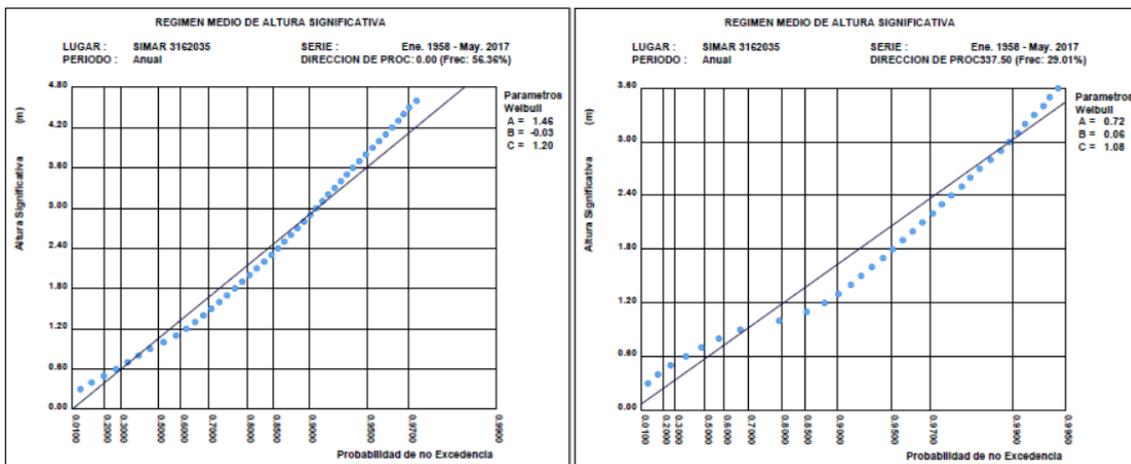
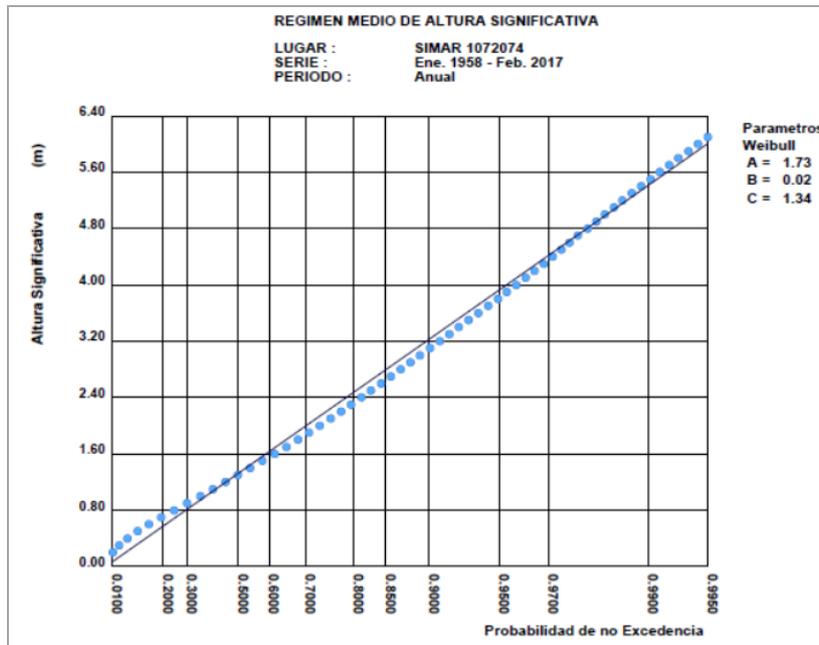


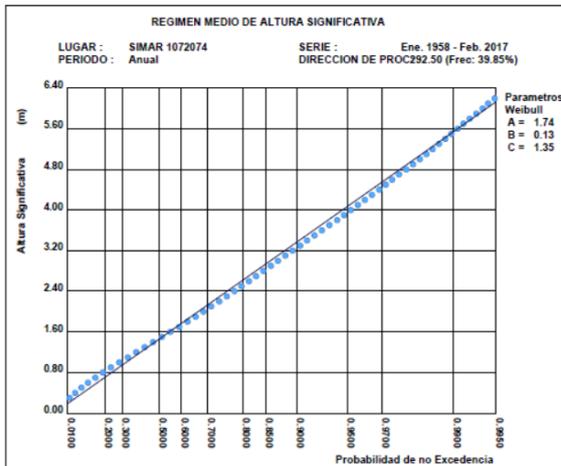
Figura 20. Régimen medio escalar de altura de ola significativa, global (superior), para la dirección N (inferior izq.) y para la dirección NNW (inferior dcha.). SIMAR 3162035. Fuente: Puertos del Estado.

La **Figura 20** muestra la probabilidad de no excedencia de una determinada altura de ola en profundidades indefinidas, la lectura de la gráfica superior es que el 95% del tiempo la altura de ola significativa en profundidades indefinidas no supera los 3 metros. Sin embargo, en la gráfica para la dirección N, la altura es de 3.6 metros, y en el caso de la dirección NNW, para una probabilidad de no excedencia del 95%, es de 2.1 metros.

SIMAR 1072074



WNW



NW

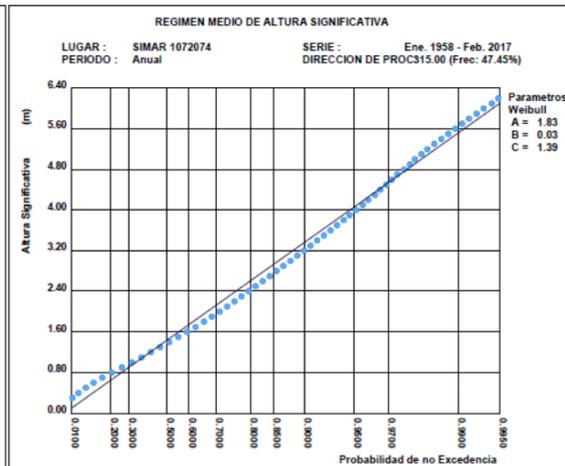


Figura 21. Régimen medio escalar de altura de ola significativa, global (superior), para la dirección N (inferior izq.) y para la dirección NNW (inferior dcha.). SIMAR 1072074. Fuente: Puertos del Estado.

La **Figura 21** muestra la probabilidad de no excedencia de una determinada altura de ola en profundidades indefinidas, en este caso, las tres gráficas muestran, tanto globalmente como par la dirección WNW y NW, que el 95% del tiempo la altura de ola significativa en profundidades indefinidas no supera los 4 metros, aproximadamente.

5.2.2 Régimen extremal

De nuevo, la caracterización descrita y el estudio probabilístico de las componentes oceanográficas lleva a explicar un régimen extremal, definido como la variable con un periodo de retorno, de nuevo la variable es la altura de ola significativa, a través de la siguiente **Figura 22**, que muestra el periodo de retorno de las distintas alturas de ola significativa registradas, en este caso, por la Boya de aguas profundas (a 600 metros de profundidad) denominada Bilbao-Vizcaya.

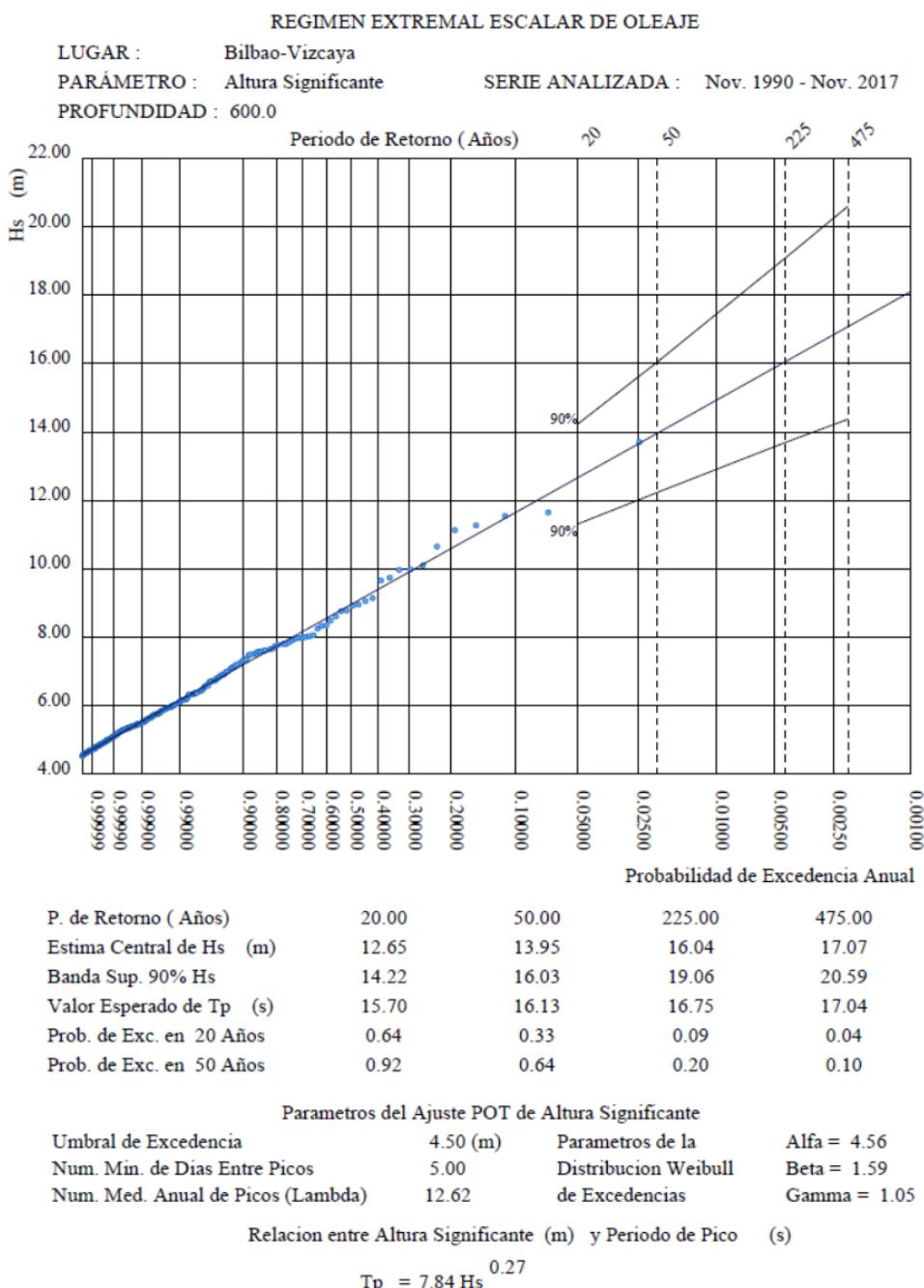


Figura 22. Régimen extremal de Hs en aguas profundas, de la serie registrada por la boya Bilbao-Vizcaya para el periodo noviembre 1990-noviembre 2017. Fuente: Puertos del Estado.

El método POT (Peak Over Threshold) analiza los valores máximos registrados durante un periodo de tiempo determinado, este tiempo debe ser superior al considerado como muestral, ya que se analizan los valores máximos. Este método utiliza la estadística de extremos ordenados, para ello primero se ordenan las alturas de ola significantes máximas que superan cierto valor límite, en este caso el umbral de excedencia es de 4.5m.

El método POT supone que los máximos que superan un umbral (4.5m de Hs) y que están separados un cierto intervalo de tiempo (5 días) son independientes entre sí. Es decir, los temporales son independientes, la existencia de un temporal un año no implica que la probabilidad de que ese mismo año existieran o no otros temporales importantes. Los máximos seleccionados cumplen la condición de independencia. El método define el número medio de temporal al año, λ , como la relación entre el número total de temporales registrados y el tiempo efectivo de la medida, siendo en el presente estudio de 12.62 temporales al año de media.

Gráficamente se puede observar el ajuste de todos los picos ordenados en orden creciente, a partir del umbral establecido de altura de ola (4.5 m) hasta el máximo registro de la serie de 1990-2017 (13.7 m), aportando la probabilidad de excedencia anual y con esto caracterizando los periodos de retorno de diferentes alturas significantes de ola. Para un periodo de retorno de 50 años, el ajuste lineal indica una altura de ola significativa de 13.95m, como estima central, se han establecido unas bandas de confianza del 90%, superior e inferior, que indica que esa altura podría incluso alcanzar 16.03m, esta altura presenta una probabilidad de excedencia en 20 años de 0.33 y en 50 años de 0.64.

5.2.3 Estimación de Profundidad de cierre

A pesar de ubicarse la salida del cable sobre un sustrato duro, el entorno de Lemoiz mostrado en la Figura 2, se ha optado por hacer uso de la formulación de Birkermeier (1985) para estimar lo que podría ser la profundidad de cierre en dicho entorno, obviando que dicha formulación responde a entornos sedimentarios y que esta formulación aporta valores donde se pueden producir cambios en el perfil de playa. Dicha formula es la que sigue:

$$h_c = 1.75H_{s12} - 57.9 \frac{H_{s12}^2}{gT_s^2}$$

Sin embargo, conocer esta profundidad puede ayudar a valorar si ciertos oleajes serán susceptibles de alcanzar la cota objetivo a la que se proyecta la salida del cable de Interconexión Occidental España-Francia por el Golfo de Vizcaya-Gascogne.

Se ha realizado este calcula tomando diferentes valores.

En primer lugar, se han tomado los datos referentes al nodo SIMAR 3159035 por estar situado más cerca del emplazamiento donde se tiene proyectado el arranque del cable. Este nodo muestra que la dirección más frecuente es de noroeste, coincidiendo este con la presentación de la Hs más alta, siendo esta de 5.7 metros, Figura 19 (inferior dcha). A su vez, se relaciona esta altura con el periodo más probable, este se encuentra en la franja de 16-18s (Tabla 1), para estar del lado de la seguridad se asume el periodo de 18s. Con este supuesto estaríamos hablando de una profundidad de cierre **9.54 m**.

Atendiendo al mismo nodo la Hs más alta del conjunto aparece con un valor de 11.64 m y un asociado a un periodo de 15.62s en enero de 2009, también de dirección noroeste (dato extraído de la página de Puertos del Estado. Tabla de Alturas Máximas por Meses, del periodo completo del punto SIMAR 3159035 1958-2018) siendo este caso muy conservador por elegir la mayor altura de ola. Estos valores dan lugar a una profundidad de cierre de **17.09 m**.

Finalmente, se realiza un supuesto tomando como valor de Hs el extraído del régimen extremal, en este caso, del registro de la Boya Bilbao-Vizcaya (figura 22), el cual presenta para un periodo de retorno de 20 años unas Hs de 12.65m, asociado a un periodo de pico de 15.70s, valores para los cuales se establece una profundidad de cierre de **18.31m**.

Cabe señalar que este último valor de altura de ola (12.65m) se contempla en el documento "Cathie Associates. Technical Note. Project Title: Biscay Gulf Project. Report Title: Rock Placement Study (7/12/2018)" donde indican que toman los datos del documento "Artelia, Biscay Gulf Western Interconnector - Metocean Study, Doc. ref: 8 71 3734 3 / FGN-SAL-DLS-HBB (March 2018)". Este dato de altura de ola lo toman para aplicarlo al cálculos de diseño de la estructura denominada Remedial Berm que protegerá al cable desde la cota de salida en sustrato duro hasta alcanzar el sustrato blando. En este caso y asumiendo el mismo periodo máximo que el que indican en dicho informe, la profundidad de cierre se situaría a **20.27m**, si bien en dicho informe estos valores los asocian a un periodo de retorno de 100 años.

5.3 Caracterización del nivel del mar.

A la hora de caracterizar el nivel del mar, lo primero que se debe conocer es el esquema Datum de niveles (Figura 23). En este caso el Clavo de Referencia, MAREÓGRAFO 2 (NEW), indicada su situación y georreferenciación anteriormente, se encuentra a 6.954 metros sobre el Cero REDMAR al mismo nivel del Cero del Puerto, refiriéndose el cero hidrográfico a un nivel de +0.07 metros, y para referir al cero geodésico nacional(IGN) o al NMMA a un nivel de -2.063 m

ESQUEMA DATUM MAREÓGRAFO REDMAR BILBAO3
(cotas en metros)

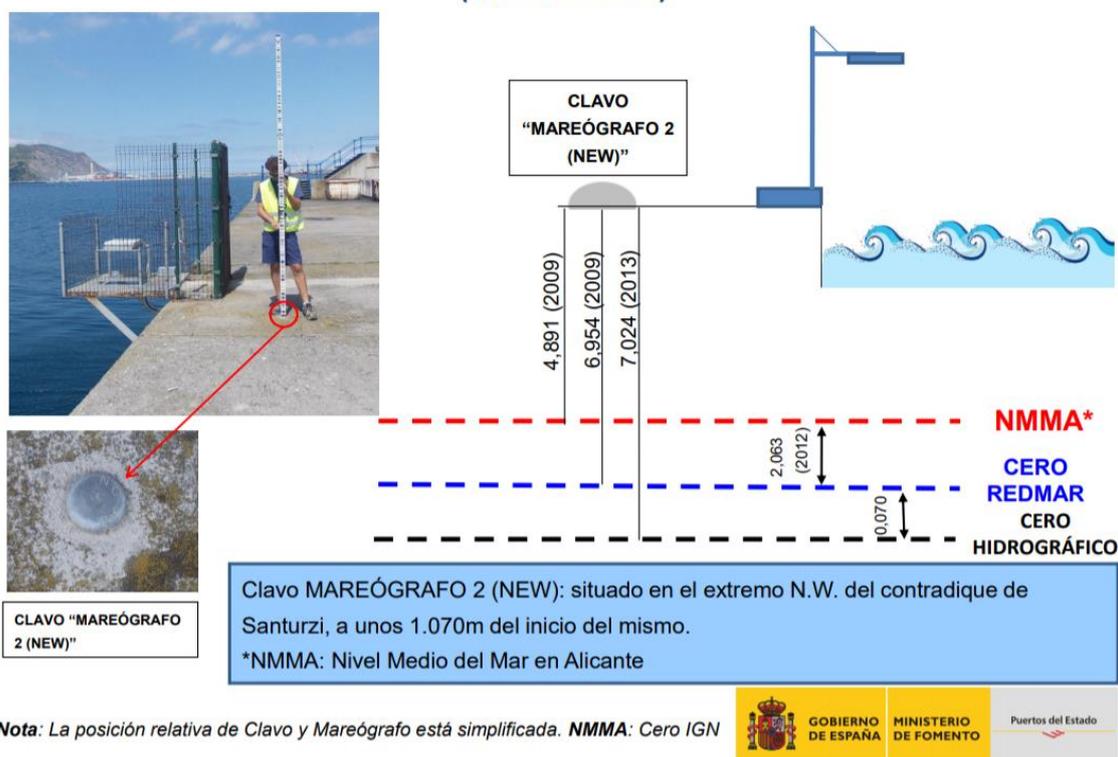


Figura 23. Esquema Datum Mareógrafo REDMAR BILBAO3. Fuente: Puertos del Estado.

Por otra parte, la **Figura 25** muestra la variabilidad del nivel de mar en el puerto, esta figura de Referencia de los niveles del mar ofrece las marcas de los niveles y alturas observadas y astronómicas más utilizados para hacer referencias, utiliza como unidad de medida los centímetros, también expone las carreras máxima, mínima y la media registradas durante el periodo 1992-2013.

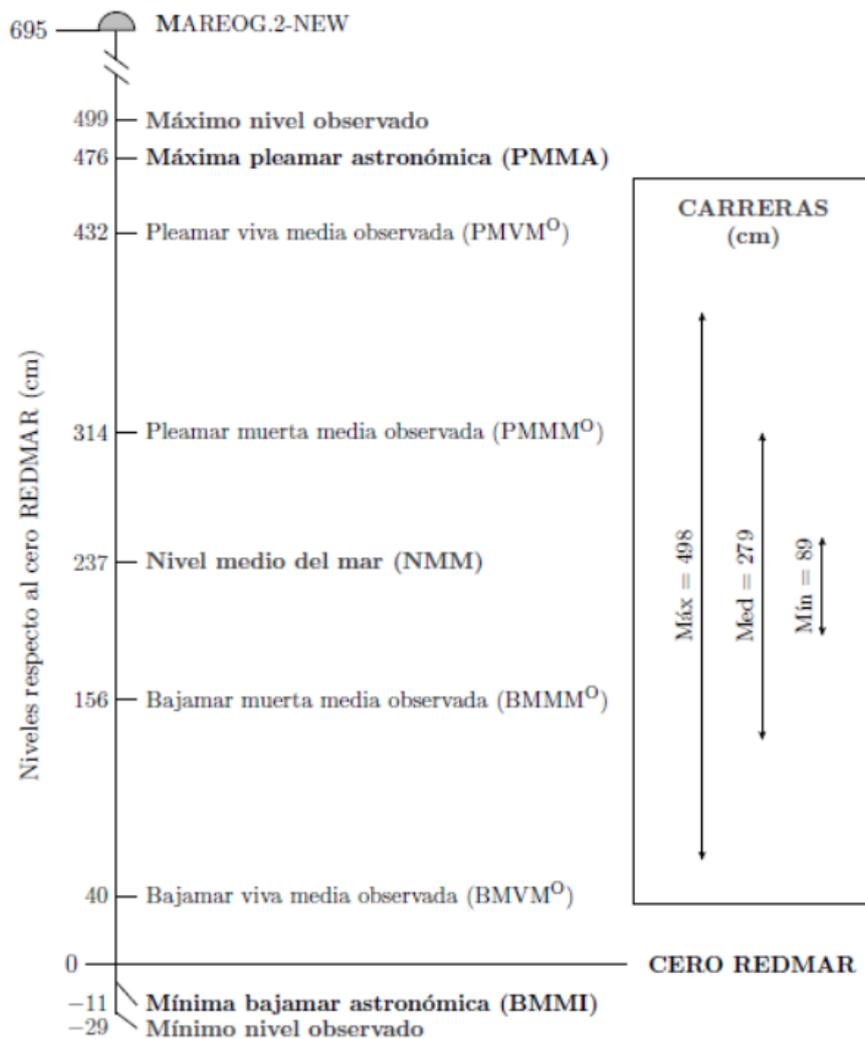


Figura 24. Referencias del nivel del mar, así como carreras de marea máxima, media y mínima, para el periodo 1992-2013. Fuente: Puertos del Estado.

Esta figura nos indica la amplitud de una marea que puede alcanzar los casi 5 metros y cuyo rango de carrera media está en 2.8 metros.

A continuación, se muestra la Tabla 2, donde se puede observar las mismas referencias y otros estadísticos referentes a bajamares y pleamares.

Tabla 2. Estadísticos de las pleamares y bajamares, expresados en centímetros para el periodo de 1992-2013: Puertos del Estado.

| Niveles (cm) | Observados | | | | Marea astronómica | | | |
|----------------|------------|-----|-----|------|-------------------|-----|-----|------|
| | Máx | Mín | Med | D.E. | Máx | Mín | Med | D.E. |
| Pleamar | 499 | 274 | 374 | 41 | 476 | 273 | 371 | 40 |
| Bajamar | 206 | -29 | 95 | 42 | 200 | -11 | 97 | 41 |
| Pleamar viva | 499 | 372 | 432 | 26 | 476 | 376 | 427 | 23 |
| Bajamar viva | 140 | -29 | 40 | 28 | 95 | -11 | 43 | 26 |
| Pleamar muerta | 393 | 274 | 314 | 19 | 346 | 273 | 312 | 17 |
| Bajamar muerta | 206 | 109 | 156 | 21 | 200 | 115 | 157 | 18 |

La Tabla 2 muestra como la máxima y la mínima pleamar observada y astronómica coincide con una pleamar viva y una bajamar muerta, de igual modo sucede con las bajamares máxima que incide con la bajamar muerta y mínima bajamar coincide con la bajamar viva.

Finalmente, para caracterizar el nivel del mar, cabe señalar que este es debido a la suma de la marea, oleaje, bajas presiones y otros factores. En nivel del mar total, se diferencia en niveles observados (registrados) y en la marea que es predecible, aquella que denominamos astronómica (de la cual se conoce su frecuencia, amplitud y fase y por tanto es predecible).

Los mareógrafos registran nivel del mar total, pero conocida la marea astronómica es fácil derivar que marea es residual o meteorológica. En la siguiente Figura 25 se muestran las diferentes referencial del nivel del mar en el mareógrafo de Bilbao3.

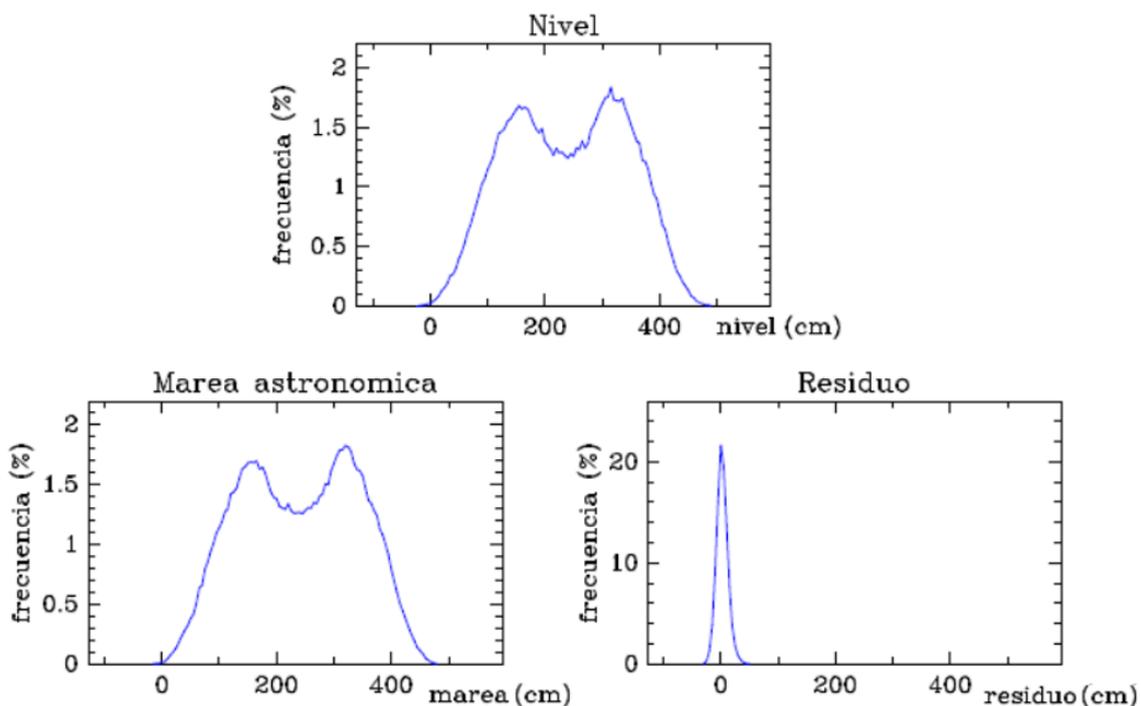


Figura 25. Distribución de frecuencia del nivel del mar total (superior), de la marea astronómica (inferior izq.) y residuo meteorológico (inferior dcha.) para el periodo 1992-2013. Fuente: Puertos del Estado.

El nivel del mar o marea, imagen superior, coincide con la marea observada, siendo esta la suma de los efectos de los armónicos de marea (marea astronómica), y los debidos a los efectos meteorológicos (residuo o marea meteorológica). Es decir, la marea observada es el nivel que resulta de considerar la marea astronómica y la marea meteorológica. Coincidiendo con los -29 cm y los 499 cm de los niveles observados y que están indicados en la Figura 24

Por su parte, la marea astronómica, grafico inferior izquierda, es la oscilación periódica del nivel del mar que se ve inducida por fuerzas gravitacionales actuando sobre las partículas de agua de la Tierra. El análisis armónico de la marea es el método más utilizado, basado en el conocimiento de que la marea observada está formada por un número de componentes armónicas cuyos periodos vienen establecidos por los periodos de algunos de los movimientos astronómicos relativos entre la tierra, el sol y la luna. La figura muestra como la marea astronómica más alta alcanzó los 476 cm y la más baja se situó a los -11 cm.

Por último, el gráfico del Residuo, la marea meteorológica (storm surge), es la respuesta del nivel medio del mar a las tensiones tangenciales inducidas por el viento y a generación de campos de presión atmosférica en forma de esfuerzos normales,

pudiendo generar sobreelevaciones y depresiones del nivel medio. La figura muestra como las altas y bajas presiones registradas, a lo largo del periodo de datos registrados han llegado a suponer una elevación sobre la marea astronómica de 48 cm y un descenso de hasta -33 cm.

5.4 Caracterización de las corrientes.

La caracterización de las corrientes se realiza tomando la serie de datos original, es decir teniendo en cuenta todas las contribuciones energéticas indicadas en el apartado 4.5. Corrientes. La caracterización de las corrientes se basará en los parámetros de velocidad y dirección de las corrientes registradas por la boya Bilbao-Vizcaya de aguas profundas en el periodo diciembre 2014- noviembre 2015.

Tabla 3. Evolución mensual de la velocidad de la corriente (cm/s).Periodo diciembre de 2014- noviembre 2015. Fuente: Puertos del Estado.

| Mes Analizado | Velocidad Resultante | | Velocidad Máxima | | Módulo de la Velocidad | | Eficacia de la Medida % |
|------------------|-------------------------|--------|---------------------|--------|---------------------------|----------|-------------------------------|
| | Int. | Dir. | Int. | Dir. | Med. | σ | |
| Dic. | 3.38 | 70.57 | 29.20 | 323.00 | 9.51 | 5.30 | 100.00 |
| Ene. | 5.69 | 63.54 | 25.70 | 120.00 | 9.29 | 5.39 | 100.00 |
| Feb. | 2.53 | 230.26 | 26.90 | 184.99 | 9.16 | 5.27 | 100.00 |
| Mar. | 2.89 | 258.59 | 28.10 | 264.00 | 10.34 | 5.71 | 100.00 |
| Abr. | 4.32 | 311.67 | 32.20 | 185.01 | 12.00 | 6.71 | 99.58 |
| May. | 1.01 | 0.02 | 50.00 | 281.00 | 16.08 | 8.05 | 100.00 |
| Jun. | 2.96 | 322.28 | 41.29 | 323.00 | 14.38 | 8.36 | 100.00 |
| Jul. | 2.17 | 267.29 | 50.30 | 323.00 | 16.11 | 8.52 | 100.00 |
| Ago. | 0.36 | 197.53 | 43.30 | 180.00 | 14.69 | 8.70 | 100.00 |
| Set. | 0.84 | 135.23 | 38.60 | 191.01 | 14.81 | 8.34 | 100.00 |
| Oct. | 2.72 | 111.11 | 35.10 | 277.99 | 10.98 | 6.62 | 100.00 |
| Nov. | 17.40 | 91.13 | 63.20 | 75.00 | 21.99 | 11.87 | 99.86 |

En la Tabla 3 se observa en primer lugar la velocidad resultante, tanto intensidad como dirección responden a la suma vectorial de todas las medias, seguido se muestra la máxima velocidad registrada en cada uno de los meses y su dirección, le sigue el módulo de la velocidad media y la desviación típica del módulo de la velocidad.

Este registro nos muestra que las velocidades más intensas se registraron en noviembre, julio y mayo, superando los 50 cm/s, las tres de componente norte, siendo respectivamente ENE, NW y WNW, siendo las medias de las velocidades más altas los mismos tres meses.

A continuación, se presenta la rosa de corrientes anual.

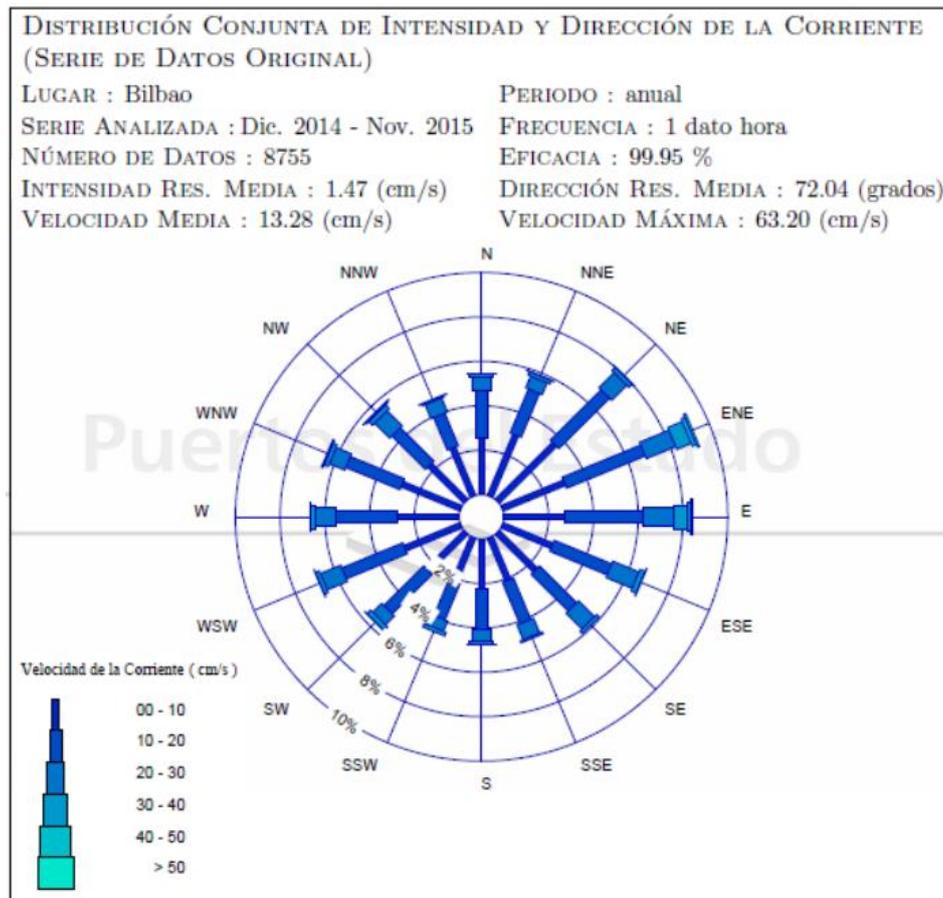


Figura 26. Rosa de corrientes anual (diciembre 2014-noviembre 2015). Fuente: Puertos del Estado.

Atendiendo a la Rosa de corrientes anual, **Figura 26**, se observa que las dieciséis direcciones en las que se divide la rosa quedan representadas, siendo la menos representada el SSW con un 4.5% de frecuencia y la más frecuente el ENE con un 9.2%. Todas las direcciones tienen velocidades de 0-10 cm/s o de 10-20% como las más frecuentes, siendo muy escasos los valores por encima de 30cm/s.

El gráfico aporta información textual como que la velocidad media es de 13.28 cm/s y la máxima es de 63.2 cm/s, este dato unido a la velocidad máxima que se aportaba en la Tabla 3, confirma que se da en noviembre y cuya dirección es de 75°, es decir ENE, resultando esta dirección la más frecuente y la que presenta la mayor intensidad.

A continuación, se presenta una tabla de distribución de la velocidad de la corriente por dirección.

Tabla 4. Distribución de Intensidad y Dirección de la Corriente. Periodo diciembre de 2014-noviembre 2015. Fuente: Puertos del Estado.

| Dirección (grados) | V. de Corriente (cm/s) | | | | | | Total |
|-----------------------|------------------------|---------------|---------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| | (00-10] | (10-20] | (20-30] | (30-40] | (40-50] | > 50 | |
| N 0.0 | 2.563 | 2.117 | .641 | .092 | .023 | - | 5.435 |
| NNE 22.5 | 2.987 | 2.140 | .572 | .160 | .023 | - | 5.882 |
| NE 45.0 | 3.616 | 3.204 | .961 | .195 | .023 | - | 7.999 |
| ENE 67.5 | 3.009 | 3.799 | 1.419 | .698 | .183 | .103 | 9.212 |
| E 90.0 | 2.746 | 3.456 | 1.407 | .584 | .183 | .080 | 8.456 |
| ESE 112.5 | 2.403 | 2.781 | 1.270 | .240 | .023 | - | 6.717 |
| SE 135.0 | 2.392 | 2.346 | 1.018 | .160 | - | - | 5.916 |
| SSE 157.5 | 2.094 | 2.014 | .721 | .092 | - | - | 4.920 |
| S 180.0 | 2.231 | 1.854 | .481 | .183 | .023 | - | 4.772 |
| SSW 202.5 | 2.163 | 1.762 | .492 | .172 | - | - | 4.589 |
| SW 225.0 | 2.392 | 2.517 | .572 | .229 | .011 | - | 5.721 |
| WSW 247.5 | 2.701 | 2.952 | .984 | .183 | .011 | - | 6.831 |
| W 270.0 | 2.781 | 2.701 | .950 | .206 | .046 | - | 6.683 |
| WNW 292.5 | 2.838 | 2.620 | .744 | .195 | .069 | - | 6.465 |
| NW 315.0 | 2.289 | 2.117 | .961 | .229 | .069 | .011 | 5.676 |
| NNW 337.5 | 2.357 | 1.591 | .687 | .069 | .023 | - | 4.726 |
| Total | 41.561 | 39.970 | 13.880 | 3.685 | .709 | .195 | 100 % |

En la Tabla 4, se observa lo mencionado anteriormente que la dirección ENE es, anualmente, la más frecuente y con los índices de intensidad más altos. Se observa cierta bimodalidad con tendencia ENE-WSW, siendo las tres direcciones del este (ENE, E y NE) ligeramente superiores a las del oeste (WSW, W y WNW).

De igual forma, se puede ver como el 41.6% del registro corresponde a intensidades de 0-10cm/s y otro 40 % a velocidades de 10-20 cm/s.

A continuación, se describe estacionalmente tanto la intensidad como las direcciones, haciendo uso de rosas de corrientes y tablas de distribución conjunta de dirección e intensidad.

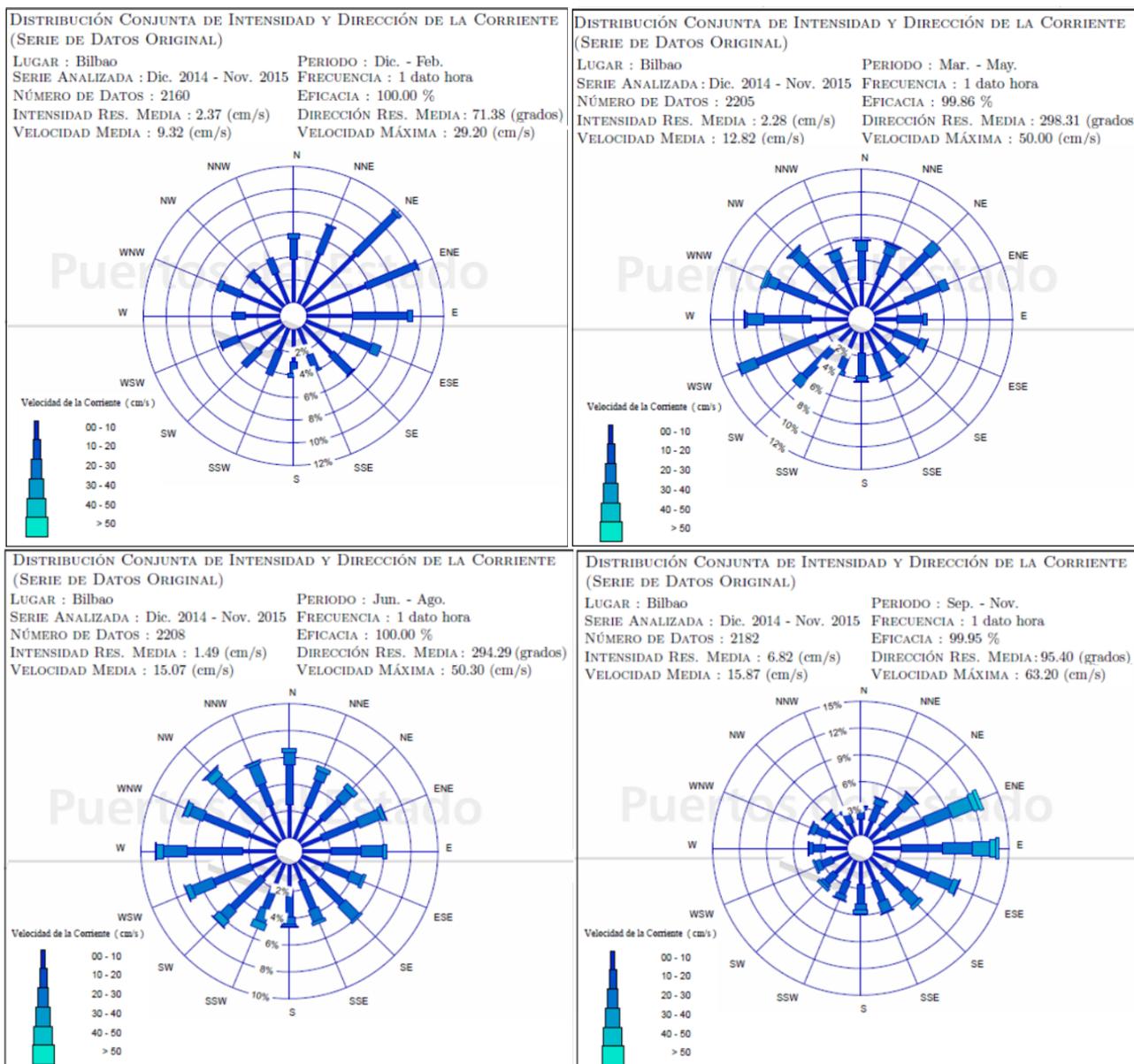


Figura 27. Rosas de corrientes estacionales (invierno (superior izq.), primavera (superior dcha.), verano (inferior izq.) y otoño (inferior dcha.)) para el periodo (diciembre 2014-noviembre 2015). Fuente: Puertos del Estado.

La rosa de corrientes estacional de invierno (superior izq.) indica que la dirección más frecuente es de componente este, destacando el NE, ENE y E, con una intensidad de 0-10cm/s mayoritariamente, sin presencia corrientes con velocidades superiores a 30cm/s.

Para la primavera (superior dcha.), la rosa de corrientes estacional muestra que la dirección más frecuente es de componente oeste, destacando el WSW seguido del W. También resultan representativas las direcciones del NE y del WNW con una intensidad

de 0-10cm/s mayoritariamente, sin presencia corrientes con velocidades superiores a 30cm/s. Se hace presente corrientes con velocidades superiores a los 30 cm, sobre todo en la dirección WNW.

La rosa de corrientes estacional de verano (inferior izq.) muestra una distribución más homogénea en cuanto a direcciones, siendo la menos representativa con un 4.7% el S y la más frecuente el W con un 9%. Otras direcciones frecuentes son el WNW y el NW. En cuanto a velocidad la más representativa se encuentra entre 10-20 cm/s y se observan velocidades superiores a los 30 cm en todas la direcciones y superiores a 40cm/s en direcciones de componente oeste, S y ENE.

Finalmente, en otoño, la rosa de corrientes (inferior dcha.) muestra una direccionalidad muy marcada de componente este. La dirección más frecuente es el E, seguido del ENE y ESE, se pierde la bimodalidad observada en otras estaciones. Además, cabe señalar que las intensidades en estas direcciones son las más altas de todo el registro, tanto de la estación del año como del registro anual, observándose velocidades superiores a 50 cm/s. De componente este se observa también para las direcciones ESE y NE velocidades superiores a 40cm/s.

De igual forma que con la rosa de corrientes anual, las rosas de corrientes estacionales aportan información textual, esta información muestra de formar resumida que la velocidad media más baja se registra en invierno con 9.32 cm/s, en primavera es de 12.82cm/s, verano 15.07cm/s y aumenta en otoño hasta 15.87 cm/s. En cuanto a velocidad máximas, en invierno se registra 29.2 cm/s, en primavera 50cm/s, verano 50.3 cm/s y en otoño 63.2 cm/s. En cuanto a dirección resultante media en invierno es de 71.38° (ENE), en primavera 298.31° (WNW), en verano 294.29° (WNW) y en otoño 95.4° (E).

A continuación, se presenta una tabla que contiene a su vez las tablas de distribución de la velocidad de la corriente por dirección y estación del año.

Tabla 5. Distribución de Intensidad y Dirección de la Corriente por estaciones (invierno (superior izq.), primavera (superior dcha.), verano (inferior izq.) y otoño (inferior dcha.)) para el periodo diciembre de 2014-noviembre 2015. Fuente: Puertos del Estado.

| INVIERNO (DIC - FEB) | | | | | |
|------------------------|------------------------|---------|---------|-------|--------|
| Dirección (grados) | V. de Corriente (cm/s) | | | | Total |
| | (00-10] | (10-20] | (20-30] | | |
| N | 0.0 | 3.766 | 1.860 | .418 | 6.044 |
| NNE | 22.5 | 4.742 | 2.557 | .139 | 7.438 |
| NE | 45.0 | 6.462 | 4.974 | .325 | 11.762 |
| ENE | 67.5 | 5.672 | 4.788 | .139 | 10.600 |
| E | 90.0 | 3.998 | 4.835 | .418 | 9.252 |
| ESE | 112.5 | 3.347 | 2.789 | .837 | 6.974 |
| SE | 135.0 | 3.487 | 2.371 | .093 | 5.951 |
| SSE | 157.5 | 2.510 | 1.395 | .186 | 4.091 |
| S | 180.0 | 2.836 | 1.023 | .372 | 4.231 |
| SSW | 202.5 | 2.139 | 2.278 | - | 4.417 |
| SW | 225.0 | 3.022 | 1.953 | - | 4.974 |
| WSW | 247.5 | 3.998 | 1.674 | .046 | 5.718 |
| W | 270.0 | 3.068 | 1.116 | - | 4.184 |
| WNW | 292.5 | 3.719 | 1.813 | .372 | 5.904 |
| NW | 315.0 | 3.161 | .883 | .139 | 4.184 |
| NNW | 337.5 | 2.836 | 1.441 | - | 4.277 |
| Total | | 58.763 | 37.750 | 3.487 | 100 % |

| PRIMAVERA (MAR - MAY) | | | | | | | |
|-------------------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|-------|--------|
| Dirección (grados) | V. de Corriente (cm/s) | | | | | Total | |
| | (00-10] | (10-20] | (20-30] | (30-40] | (40-50] | | |
| N | 0.0 | 2.226 | 2.590 | .909 | - | .091 | 5.816 |
| NNE | 22.5 | 2.953 | 1.954 | .727 | .182 | .091 | 5.906 |
| NE | 45.0 | 3.907 | 2.999 | 1.181 | - | - | 8.087 |
| ENE | 67.5 | 2.953 | 3.226 | .727 | - | - | 6.906 |
| E | 90.0 | 1.863 | 2.272 | .363 | - | - | 4.498 |
| ESE | 112.5 | 1.817 | 2.408 | .591 | .045 | - | 4.861 |
| SE | 135.0 | 1.954 | 1.499 | .636 | .045 | - | 4.134 |
| SSE | 157.5 | 1.999 | 2.045 | .409 | .045 | - | 4.498 |
| S | 180.0 | 1.772 | 2.045 | .409 | .136 | - | 4.362 |
| SSW | 202.5 | 2.181 | 1.454 | .363 | - | - | 3.998 |
| SW | 225.0 | 2.363 | 3.498 | 1.000 | - | - | 6.861 |
| WSW | 247.5 | 2.999 | 5.725 | 1.590 | .045 | - | 10.359 |
| W | 270.0 | 3.226 | 4.089 | 1.499 | .182 | .091 | 9.087 |
| WNW | 292.5 | 3.090 | 3.589 | .909 | .227 | .227 | 8.042 |
| NW | 315.0 | 2.272 | 3.362 | 1.318 | .182 | .136 | 7.269 |
| NNW | 337.5 | 2.453 | 1.908 | .863 | .045 | .045 | 5.316 |
| Total | | 40.027 | 44.662 | 13.494 | 1.136 | .682 | 100 % |

| VERANO (JUN - AGO) | | | | | | | |
|-----------------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|
| Dirección (grados) | V. de Corriente (cm/s) | | | | | Total | |
| | (00-10] | (10-20] | (20-30] | (30-40] | (40-50] | | |
| N | 0.0 | 2.492 | 2.945 | .952 | .272 | - | 6.661 |
| NNE | 22.5 | 2.537 | 2.130 | .725 | .317 | - | 5.709 |
| NE | 45.0 | 2.401 | 1.858 | .952 | .408 | - | 5.618 |
| ENE | 67.5 | 1.586 | 2.900 | 1.722 | .317 | .045 | 6.570 |
| E | 90.0 | 2.084 | 2.220 | 1.586 | .362 | - | 6.253 |
| ESE | 112.5 | 1.722 | 2.039 | .952 | .227 | - | 4.939 |
| SE | 135.0 | 2.130 | 2.356 | 1.450 | .181 | - | 6.117 |
| SSE | 157.5 | 1.359 | 2.266 | .952 | .227 | - | 4.803 |
| S | 180.0 | 1.812 | 2.130 | .498 | .136 | .091 | 4.667 |
| SSW | 202.5 | 1.948 | 1.676 | 1.042 | .544 | - | 5.211 |
| SW | 225.0 | 1.767 | 3.172 | .906 | .589 | .045 | 6.479 |
| WSW | 247.5 | 1.994 | 3.036 | 1.676 | .453 | .045 | 7.204 |
| W | 270.0 | 2.447 | 4.123 | 1.767 | .544 | .091 | 8.971 |
| WNW | 292.5 | 2.220 | 3.580 | 1.087 | .408 | .045 | 7.340 |
| NW | 315.0 | 2.084 | 2.809 | 1.631 | .589 | .136 | 7.295 |
| NNW | 337.5 | 2.673 | 1.722 | 1.495 | .227 | .045 | 6.162 |
| Total | | 33.258 | 40.961 | 19.393 | 5.800 | .544 | 100 % |

| OTOÑO (SEP - NOV) | | | | | | | | |
|-----------------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|--------|
| Dirección (grados) | V. de Corriente (cm/s) | | | | | | Total | |
| | (00-10] | (10-20] | (20-30] | (30-40] | (40-50] | > 50 | | |
| N | 0.0 | 1.789 | 1.055 | .275 | .092 | - | - | 3.211 |
| NNE | 22.5 | 1.743 | 1.927 | .688 | .138 | - | - | 4.495 |
| NE | 45.0 | 1.743 | 3.028 | 1.376 | .367 | .092 | - | 6.606 |
| ENE | 67.5 | 1.881 | 4.312 | 3.073 | 2.477 | .688 | .413 | 12.844 |
| E | 90.0 | 3.073 | 4.541 | 3.257 | 1.972 | .734 | .321 | 13.899 |
| ESE | 112.5 | 2.752 | 3.899 | 2.706 | .688 | .092 | - | 10.138 |
| SE | 135.0 | 2.018 | 3.165 | 1.881 | .413 | - | - | 7.477 |
| SSE | 157.5 | 2.523 | 2.339 | 1.330 | .092 | - | - | 6.284 |
| S | 180.0 | 2.523 | 2.202 | .642 | .459 | - | - | 5.826 |
| SSW | 202.5 | 2.385 | 1.651 | .550 | .138 | - | - | 4.725 |
| SW | 225.0 | 2.431 | 1.422 | .367 | .321 | - | - | 4.541 |
| WSW | 247.5 | 1.835 | 1.330 | .596 | .229 | - | - | 3.991 |
| W | 270.0 | 2.385 | 1.422 | .505 | .092 | - | - | 4.404 |
| WNW | 292.5 | 2.339 | 1.468 | .596 | .138 | - | - | 4.541 |
| NW | 315.0 | 1.651 | 1.376 | .734 | .138 | - | - | 3.899 |
| NNW | 337.5 | 1.468 | 1.284 | .367 | - | - | - | 3.119 |
| Total | | 34.541 | 36.422 | 18.945 | 7.752 | 1.606 | .734 | 100 % |

En la Tabla 5, se observa de forma numérica lo observado en las rosas de corriente estacionales.

La tabla de corrientes estacional de invierno (superior izq.) indica que la dirección más frecuente es de componente este, destacando el NE con una frecuencia de 11.8%, ENE con un 10.6% y E con un 9.2%, la intensidad de 0-10cm/s se presenta con una frecuencia de 58.8% siendo la más frecuente, la velocidad de 10-20 cm/s con un 37.7% y de 20-30 cm/s con un 3.5%.

En primavera (superior dcha.), la tabla de corrientes estacional muestra que la dirección más frecuente es de componente oeste, destacando el WSW con una frecuencia de 10.4%, seguido del W (9.1%), y el NE (8.1%). En cuanto a intensidades, se presenta mayoritariamente una velocidad comprendida entre 10-20cm/s con un 44.7%, de 0-10cm/s con un 40%, de 20-30 con 13.5%, además de un 1.1% de velocidades entre 30-40cm/s y con 0.7% velocidades de 40-50cm/s, el mayor porcentaje, siendo este de 0.2% lo presenta la dirección WNW.

La tabla de corrientes estacional de verano (inferior izq.) muestra una distribución más homogénea en cuanto a direcciones y frecuencias, siendo la menos representativa con un 4.7% el S y la más frecuente el W con un 9%. Las direcciones más frecuentes son el W, WNW y el NW, con un 9% el W y un 7.3% las otras dos. En cuanto a velocidad la más representativa se encuentra entre 10-20 cm/s con un 41%, de 0-10% se presenta un 33.3%, y se un 19.4 para las velocidades entre 20-30 cm/s, y un 5.85 para las comprendidas entre 30-40cm/s y 0.5 para las de 40-50 cm/s, éstas últimas solo en direcciones de componente oeste, además de para el S y el ENE.

Finalmente, en otoño, la tabla de corrientes (inferior dcha.) se observa la importancia de la componente este, presentando las mayores intensidades y además de las mayores frecuencias. La dirección más frecuente es el E con un 13.9%, seguido del ENE (12.8%) y ESE (10.1%). La dirección E y ENE presentan con 0.4% y 0.3% respectivamente, velocidades superiores a 50cm/s. La intensidad más frecuente se registra en 10-20cm/s con un 36.4%, le sigue de 0-10cm/s con un 34.5% y de 20-30 cm/s con 18.9%, para velocidades entre 30-40 cm/s la frecuencia es de 7.7%, y de 40-50cm/s un 1.6%.

En las tablas aparece indicado en azul aquellas dirección más frecuente en cada estación, así como las mayores frecuencias registradas, y en naranja las tres direcciones e intensidades más frecuentes. Se observa que en invierno y otoño es predominante la componente este, y en primavera y verano la componente oeste. El invierno presenta mayoritariamente intensidades de 0-10cm/s sin presencia de velocidades superiores a

30cm/s, en primavera y verano si se observan intensidades entre 40-50 cm/s y en otoño se registran corrientes con velocidades superiores a 50cm/s.

6. CONCLUSIONES

El caracterización de las diferentes hidrodinámicas marinas (viento, oleaje, nivel del mar y corrientes), unido a las características del entorno de salida y localización del tendido del cable de la Interconexión Occidental España-Francia por el Golfo de Vizcaya-Gascogne, lleva a las siguientes conclusiones:

- El viento no se verá afectado, debido a que la obra se localiza por debajo de la superficie libre y no suponen barrera de ningún tipo no se verá afectado.
- El nivel del mar, esta dinámica no está sujeta implícitamente a este tipo de actuaciones, no se verá afectada
- El oleaje:
 - En condiciones medias no se verá afectado, ya que la profundidad a la que se realizará la obra de protección se considera que el oleaje no toca fondo. Es decir, continúa desarrollándose en la capa más superficial.
 - En condiciones de régimen extremal y de temporal cabe la posibilidad de que se vea afectado. El caso más desfavorable que atiende a un periodo de retorno de 100 años indica que el oleaje se vería afectado en su propagación desde la cota 20.27m. Sin embargo, el hecho de situarse en sobre un sustrato duro implica que no se producirán modificaciones batimétricas, no darán lugar a modificaciones morfodinámicas.
- Las corrientes
 - En términos generales y atendiendo a la integración de la columna de agua las corrientes no se verán modificadas.
 - En aquellas zonas donde el cable de interconexión sea enterrado, sin suponer obstáculo, más allá que el que se genere durante la fase de enterramiento, no dará lugar a alteración de las corrientes.
 - De forma específica, en el tramo donde va a realizarse la protección del cable con la estructura denominada Remedial Berm no se puede concluir que las corrientes asociadas a las capas más profundas de la columna de agua no se verán afectadas. Sin embargo, *a priori* no hay elementos en la zona que puedan verse afectados por una modificación de las mismas.