



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

Especialidad Mecánica

**DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE UN  
DISPOSITIVO DE APROVECHAMIENTO DE  
LA ENERGÍA DE LAS OLAS (UNDIMOTRIZ)  
PARA EL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO  
DE UNA POBLACIÓN COSTERA**

Autor: Marta Sanz Taboada

Director: María del Mar Cledera Castro

Pilar Palomar Herrero

Madrid

Julio 2018



## **AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO**

### **1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.**

La autora Dña. **Marta Sanz Taboada** DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: *Diseño y dimensionamiento de un dispositivo de aprovechamiento de la energía de las olas (unimotriz) para el abastecimiento energético de una población costera*, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### **2º. Objeto y fines de la cesión.**

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

### **3º. Condiciones de la cesión y acceso**

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

### **4º. Derechos del autor.**

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

### **5º. Deberes del autor.**

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa

de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

**6°. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**


La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a **8 de Julio** de **2018**

**ACEPTA**

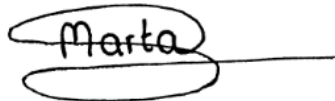
Fdo:

A handwritten signature in black ink that reads "Marta". The signature is written in a cursive style and is enclosed within a hand-drawn oval shape. A horizontal line extends from the right side of the oval.

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título *Diseño y dimensionamiento de un dispositivo de aprovechamiento de la energía de las olas (undimotriz) para el abastecimiento energético de una población costera* en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico **2.017/2.018** es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.:



Fecha: **08/07/2018**

Autorizada la entrega del proyecto  
LAS DIRECTORAS DEL PROYECTO



Fdo.: Maria del Cledera Castro

Fecha: 09 / 07 / 2018



Fdo.: Pilar Palomar Herrero

Fecha: 09 / 07 / 2018





ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

Especialidad Mecánica

**DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE UN  
DISPOSITIVO DE APROVECHAMIENTO DE  
LA ENERGÍA DE LAS OLAS (UNDIMOTRIZ)  
PARA EL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO  
DE UNA POBLACIÓN COSTERA**

Autor: Marta Sanz Taboada

Director: María del Mar Cledera Castro

Pilar Palomar Herrero

Madrid

Julio 2018



# DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE UN DISPOSITIVO DE APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA DE LAS OLAS (UNDIMOTRIZ) PARA EL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE UNA POBLACIÓN COSTERA

**Autor: Sanz Taboada, Marta**

Directores: Palomar Herrero, Pilar; Cledera Castro, María del Mar

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

El presente proyecto basado en el diseño y dimensionamiento de un dispositivo convertidor de energía undimotriz en electricidad, surge de la necesidad planteada en España de lograr una mayor independencia energética y contribuir al cuidado del medio ambiente. Mediante la explotación de esta fuente de energía limpia y renovable, se pretende reducir el consumo de combustibles fósiles y en consecuencia, las emisiones contaminantes derivadas de su combustión.

Hasta el momento, en España, esta forma de obtención de energía no ha llegado a desarrollarse ni explotarse comercialmente. Así, este trabajo se trata de un proyecto piloto que tiene por objetivo valorar la viabilidad de que en cierta zona de la costa española, parte de la energía derive de esta fuente renovable.

España, por su situación geográfica, es un país con un gran potencial energético, especialmente la zona costera del norte. Por ello, se ha seleccionado como emplazamiento el área costera de Galicia, concretamente Burela, para abastecer energéticamente al conjunto de viviendas residenciales de la localidad mediante la instalación de tecnologías de aprovechamiento de energía undimotriz.

El dispositivo a instalar seleccionado es Pelamis, un tipo de tecnología semisumergida situada mar adentro. Es una estructura alargada y articulada que transforma la fuerza del oleaje en energía eléctrica a través del empleo de un sistema oleohidráulico que se pone en funcionamiento gracias a los movimientos de cabeceo y oscilación vertical que las olas inducen con su movimiento en el dispositivo.

Para el correcto diseño y dimensionamiento, se realiza un estudio extensivo sobre las características del oleaje en la zona de ubicación con el fin de determinar la

cantidad de energía que podrá aportar a la población un único dispositivo Pelamis. En función de las necesidades de Burela y de su consumo eléctrico anual, se diseña el parque undimotriz.

Entre los resultados extraídos, se determina que en la zona de emplazamiento seleccionada, el oleaje cuenta con un potencial energético medio de 36,36 kW/m de frente de ola, siendo éste un valor apropiado para instalar un dispositivo aprovechador de energía undimotriz. En la zona seleccionada esta tecnología es capaz de generar 4.070.492,030 kWh/año y la población de costera de Burela posee un consumo energético de 22.125.132,97 kWh/año, por lo que para lograr su abastecimiento energético, el parque undimotriz debe constar de 6 dispositivos convertidores Pelamis.

Una vez determinado el diseño del parque undimotriz, se dimensiona todo el sistema de conversión energética, siempre teniendo en consideración las interacciones dispositivo-ola y las características del dispositivo.

En conclusión, tras el estudio realizado, se puede afirmar que la energía undimotriz constituye una forma de obtención de energía abundante, inagotable, limpia y con un gran potencial energético.

Sin embargo, la utilización rentable a día de hoy de este recurso es mínima debido principalmente a la alta financiación que supone la instalación de sus plantas operativas y a las dificultades tecnológicas que trae consigo operar en ambientes marinos.

Además, el hecho de que el desarrollo comercial con este tipo de energía haya sido bajo o prácticamente nulo, retrasa su implementación como consecuencia de la incertidumbre sobre la forma en que los ecosistemas marítimos se van a ver afectados por los dispositivos captadores de energía.

Por lo tanto, a día de hoy continúa en proceso de investigación esta forma de extracción energética.

# DESIGN AND SIZING OF A WAVE ENERGY CONVERTER FOR ELECTRICAL SUPPLY TO A COASTAL POPULATION

**Autor: Sanz Taboada, Marta**

Directores: Palomar Herrero, Pilar; Cledera Castro, María del Mar

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

## **PROJECT SUMMARY**

The present project based on the design and sizing of a wave energy converter device into electricity, arises from the need in Spain to achieve greater energy independence and contribute to the care of the environment. Through the exploitation of this clean and renewable source of energy, it is intended to reduce the consumption of fossil fuels and, consequently, the polluting emissions derived from their combustion.

So far, in Spain, this way of obtaining energy has not been developed nor exploited commercially. Thus, this work is a pilot project that aims to assess the feasibility of obtaining part of the energy from this type of renewable source in a certain area of the Spanish coast.

Spain, due to its geographical location, is a country with great energy potential, especially the northern coastal zone. For this reason, the coastal area of Galicia has been selected as the installation zone, specifically Burela, to supply energy to the group of residential houses in the locality through the installation of wave energy technologies.

The selected device to install is Pelamis, a semi-submerged technology type located offshore. It is an elongated and articulated structure that transforms wave power into electrical energy through the use of an oleohydraulic system that is put into operation thanks to the movements of pitch and vertical oscillation that the waves induce with their movements in the device.

For the correct design and sizing, an extensive study is carried out on the characteristics of the waves in the area of location in order to determine the amount of

energy that a single Pelamis device can provide to the population. Depending on the needs of Burela and its annual electric consumption, the wave park is designed.

Among the extracted results, it is determined that in the selected installation area, the wave energy potential average is of 36.36 kW / m, this being an appropriate value to install an energy converter device. In the selected area, this technology is capable of generating 4,070,492,030 kWh / year and the coast population of Burela has an energy consumption of 22,125,132.97 kWh / year, so in order to achieve its energy supply, the wave energy park must consist of 6 Pelamis converting devices.

Once the park design has been determined, the entire energy conversion system is sized, always taking into account the waves-device interactions and the characteristics of the technology.

In conclusion, after the study has been carried out, it can be said that wave energy constitutes an abundant, inexhaustible and clean way of obtaining energy and with a high energy potential.

However, the profitable use of this source of energy up until now has been minimal, mainly to the high financing that involves the installation of its operational plants and the technological difficulties that brings along operate on marine environments.

In addition, the fact that commercial development with this type of energy has been low or practically null, delays its implementation due to the uncertainty about the way in which marine ecosystems will be affected by energy-capturing devices.

Therefore, nowadays, this form of energy extraction continues in an investigation process.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

## **-DOCUMENTO 1, MEMORIA-..... 1-108**

### **CAPÍTULO I: Introducción..... 1**

#### **1. Presentación..... 1**

1.1. Motivaciones ..... 4

1.1.1. Justificación del proyecto ..... 5

1.2. Objetivos del proyecto ..... 7

1.2.1. Objetivo general ..... 7

1.2.2. Objetivos específicos..... 7

1.3. Metodología ..... 8

### **CAPÍTULO II: Generalidades.....11**

#### **2. La energía marina.....11**

2.1. Tipos de energía marina ..... 12

2.1.1. Energía undimotriz ..... 12

2.1.2. Energía mareomotriz ..... 12

2.1.3. Energía de las corrientes marinas ..... 13

2.1.4. Energía maremotérmica ..... 14

2.1.5. Energía asociada al gradiente salino ..... 15

### **CAPÍTULO III: La energía undimotriz. Estado del arte. ....19**

#### **3. La fuente de energía .....19**

3.1. Origen de la energía de las olas ..... 19

3.2. Acumulación de energía en las olas ..... 20

3.2.1. Energía cinética ..... 21

3.2.2. Energía potencial ..... 22

3.3. Potencial de las olas ..... 22

3.4. Ventajas y desventajas de la energía undimotriz ..... 25

3.4.1. Ventajas ..... 25

3.4.2. Desventajas ..... 27

3.5. Desarrollo de la energía undimotriz en el mundo ..... 28

3.5.1. Energía undimotriz en España.....	29
<b>4. Tecnologías de aprovechamiento de la energía undimotriz.....</b>	<b>30</b>
4.1. Clasificación de los dispositivos de conversión.....	30
4.1.1. Según su ubicación o distancia con respecto a la costa .....	30
4.1.2. Según su orientación o posición con respecto a la ola.....	34
4.1.3. Según su principio de funcionamiento .....	36
4.1.4. Según el proceso de captación de energía.....	36
4.2. Conversión de energía.....	41
4.2.1. Conversión primaria .....	41
4.2.2. Conversión secundaria .....	42
<b>5. La teoría de las olas.....</b>	<b>42</b>
5.1. Clasificación de las olas .....	43
5.2. Caracterización del oleaje .....	45
5.2.1. Parámetros de las olas .....	46
5.3. Técnicas de estudio de las olas .....	49
5.3.1. Oleaje regular .....	49
5.3.2. Oleaje irregular.....	56
 <b>CAPÍTULO IV: Estudio de la zona de emplazamiento .....</b>	 <b>61</b>
<b>6. Justificación de la explotación del recurso undimotriz en España .....</b>	<b>61</b>
6.1. Justificación de la elección del dispositivo Pelamis .....	62
6.2. Zonas energéticamente viables en España.....	63
6.2.1. Evaluación del potencial energético de las costas españolas .....	64
<b>7. Emplazamiento.....</b>	<b>66</b>
7.1. Selección del emplazamiento del dispositivo .....	66
7.2. Justificación del emplazamiento .....	67
7.2.1. Zona apta .....	68
7.2.2. Potencial energético .....	70
7.2.3. Distancia del dispositivo a la costa .....	72
7.2.4. Batimetría .....	73
7.2.5. Distancia a instalaciones terrestres.....	74
<b>8. Consumo energético de la población de Burela.....</b>	<b>79</b>
<b>9. Estudio del recurso undimotriz .....</b>	<b>80</b>
9.1. Parque undimotriz .....	81

<b>CAPÍTULO V: Desarrollo de un dispositivo aprovechador de energía undimotriz.....</b>	<b>83</b>
<b>10. Selección del dispositivo: Pelamis .....</b>	<b>83</b>
10.1. Introducción .....	83
10.2. Características .....	84
10.3. Sistema de conversión energética .....	87
10.3.1. Conversión primaria.....	88
10.3.2. Conversión secundaria .....	89
10.3.3. Diseño del circuito oleohidráulico .....	90
10.4. Pérdidas y rendimientos .....	103
10.5. Sistema de control.....	104
10.6. Parque undimotriz Pelamis .....	105
<b>CAPÍTULO VI: Evaluación del impacto ambiental.....</b>	<b>107</b>
<b>-DOCUMENTO 2, CÁLCULOS.....</b>	<b>109</b>
<b>1.CÁLCULOS I: Potencial enegético medio de la zona de emplazamiento.....</b>	<b>111</b>
<b>2.CÁLCULOS II: Estudio del recurso undimotriz .....</b>	<b>131</b>
2.1. Matriz de potencia de la ubicación.....	132
2.2. Matriz de potencia del convertidor .....	133
2.3. Procedimiento para determinar la energía producida por Pelamis .....	133
2.4. Cálculos energéticos .....	137
<b>-DOCUMENTO 3, PLANOS-.....</b>	<b>141</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>147-152</b>

**-DOCUMENTO 4, PRESUPUESTO-.....153-160**

**-DOCUMENTO 5, PLIEGO DE CONDICIONES- ..... 16182**

<b>1.Objeto y alcance .....</b>	<b>163</b>
<b>2.Informe del Contrato de Obra.....</b>	<b>163</b>
<b>3.Disposiciones facultativas.....</b>	<b>164</b>
3.1. Ingeniero Director .....	164
3.2. Ingeniero Técnico.....	165
3.3. Contratista .....	166
<b>4. Condiciones facultativas.....</b>	<b>167</b>
4.1. Plan de Higiene y Seguridad.....	167
4.2. Supervisión de los documentos que conforman el proyecto.....	167
4.3. Control de calidad .....	168
4.4. Representación del Contratista.....	168
4.5. Presencia en la obra del Contratista .....	168
4.6. Faltas de personal.....	169
4.7. Modificaciones, interpretaciones y aclaraciones del proyecto .....	169
4.8. Subcontratas .....	169
<b>5. Condiciones económicas .....</b>	<b>170</b>
5.1. Inicio de la obra.....	170
5.2. Orden de los trabajos.....	170
5.3. Facilidades para otros contratistas .....	170
5.4. Ampliación del proyecto por causas de fuerza mayor o imprevistos ..	171
5.5. Prórroga concedida por causas de fuerza mayor.....	171
5.6. Responsabilidad en el retraso de la obra de la dirección facultativa ..	171
5.7. Condiciones generales en la ejecución de las obras.....	172
5.8. Obras ocultas: documentación .....	172
5.9. Trabajos defectuosos.....	172
5.10. Vicios ocultos.....	172
5.11. Procedencia de los aparatos y materiales.....	173
5.12. Presentación de muestras .....	173
5.13. Materiales no utilizables .....	173

5.14. Aparatos y materiales defectuosos .....	174
5.15. Gastos generados por ensayos y pruebas .....	174
5.16. Limpieza de obras .....	174
5.17. Obras sin prescripciones .....	175
5.18. Documentación final de la obra .....	175
5.19. Plazo de garantía .....	175
5.20. Prórroga del plazo de garantía.....	175
5.21. Recepción definitiva.....	176
<b>6. Condiciones legales .....</b>	<b>17076</b>
6.1. Contratistas.....	176
6.2. Contrato.....	177
6.3. Adjudicación .....	177
6.4. Concursos y subastas .....	177
6.5. Formalización del contrato.....	178
6.6. Arbitraje obligatorio.....	178
6.7. Jurisdicción competente .....	179
6.8. Responsabilidad del Contratista.....	179
6.9. Accidentes de trabajo .....	179
6.10. Daños a terceros .....	180
6.11. Carteles y anuncios .....	180
6.12. Copia de documentos .....	180
6.13. Hallazgos.....	180
6.14. Rescisión de contrato .....	181
<b>-DOCUMENTO 6, ANEXOS- .....</b>	<b>183</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Esquema de una central mareomotriz .....	13
Ilustración 2: Turbinas para el aprovechamiento de la energía de las corrientes .....	14
Ilustración 3: Energía del gradiente térmico oceánico .....	15
Ilustración 4: Esquema de la ósmosis por presión retardada .....	16
Ilustración 5: Esquema de la electrodiálisis inversa .....	17
Ilustración 6: Proceso de formación de la ola a causa del viento .....	20
Ilustración 7: Movimiento de las partículas de agua .....	21
Ilustración 8: Energía cinética y potencial de la ola .....	22
Ilustración 9: Distribución de la potencia anual media en kW/m .....	24
Ilustración 10: Comparación impacto visual: energía eólica vs undimotriz ..	26
Ilustración 11: Tipos de dispositivos según su ubicación .....	31
Ilustración 12: Dispositivo OWC onshore .....	32
Ilustración 13: Sistema Pendulor y sistema TAPCHAN .....	33
Ilustración 14: Dispositivo Pelamis instalado offshore .....	34
Ilustración 15: Clasificación de los dispositivos según su orientación respecto a la ola.....	35
Ilustración 16: Esquema de los dispositivos según su principio de captación de energía .....	37
Ilustración 17: Dispositivo OWC .....	38
Ilustración 18: Equipo Arquímedes .....	39
Ilustración 19: Dispositivo Wave Dragon .....	40
Ilustración 20: Dispositivo Oyster .....	41
Ilustración 21: Parámetros de una ola .....	47
Ilustración 22: Diagrama Le Méhauté .....	51
Ilustración 23: Perfil de la ola de Ayri .....	52
Ilustración 24: Perfil de la ola de Stokes .....	54
Ilustración 25: Criterio de paso ascendente .....	57
Ilustración 26: Potencia media anual (kW/m) en el litoral español .....	65
Ilustración 27: Potencia media estacional (kW/m) en el litoral español .....	66
Ilustración 28: Zonas aptas y no aptas para la instalación de parques de energía undimotriz .....	70
Ilustración 29: Zona territorial perteneciente al estado español .....	72
Ilustración 30: Distancia desde el puerto de Burela hasta el dispositivo Pelamis .....	73
Ilustración 31: Batimetría desde el puerto de Burela hasta la zona de instalación de Pelamis representada por el punto azul .....	74
Ilustración 32: Mapa de las redes eléctricas cercanas a Burela .....	75
Ilustración 33: Leyenda de la Red Eléctrica Española .....	75
Ilustración 34: Dispositivo Pelamis .....	83
Ilustración 35: Características básicas de Pelamis .....	85
Ilustración 36: Movimiento producido por la acción del oleaje .....	86

Ilustración 37: Articulación izquierda permite movimiento en dirección vertical .....	86
Ilustración 38: Articulación derecha permite movimiento en dirección horizontal .....	86
Ilustración 39: Esquema del sistema de conversión energética.....	91
Ilustración 40: Matriz de potencia de la ubicación .....	132
Ilustración 41: Matriz de potencia del convertidor.....	133

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ecuaciones de la teoría de Ayri .....	13
Tabla 2: Ecuaciones de la teoría de Stokes de segundo orden .....	55
Tabla 3: Parámetros característicos de la descripción estadístico-geométrica.....	157
Tabla 4: Profundidad y coordenadas geográficas de la zona de emplazamiento .....	67
Tabla 5: Potencial medio estacional del oleaje en la zona de emplazamiento.....	71
Tabla 6: Estudio del recurso undimotriz .....	80



## ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1: Condicionantes a tener en cuenta para la elección de una zona ..	68
Esquema 2: Diagrama de bloques de las acciones de Pelamis .....	87
Esquema 3: Procedimiento seguido en el presente documento .....	131
Esquema 4: Procedimiento para el cálculo energético .....	131



**-DOCUMENTO 1,**  
**MEMORIA-**



## **CAPÍTULO I: Introducción**

### **1. Presentación**

Sin energía, la vida no sería posible. Los seres humanos precisamos de energía para cualquier tipo de actividad que llevamos a cabo. Todos los procesos que buscan satisfacer nuestras necesidades y comodidades día a día requieren de un consumo energético.

La obtención de energía se realiza a través de diferentes fuentes que se clasifican en dos grandes grupos: renovables y no renovables. Las primeras son inagotables, mientras que las segundas pueden acabar por desaparecer si su uso es continuado y elevado.

Desde el inicio de la Revolución Industrial hasta la actualidad, el sistema de obtención energético mundial ha estado basado en fuentes no renovables, principalmente en el consumo de energía nuclear y combustibles fósiles. La combustión desmedida de estos recursos trae consigo una elevada contaminación debido a la emisión de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global: el deshielo de los polos, sequías cada vez más severas, la desertificación, el aumento de las temperaturas... son algunos ejemplos de lo que conlleva el cambio climático. Estos grandes efectos nocivos en el clima afectan directamente a toda la humanidad.

El negativo impacto ambiental por un lado debido a su consumo, unido al agotamiento por otro, provocan la urgente necesidad de encontrar fuentes de energía alternativas e inagotables que garanticen una forma de obtención de energía no contaminante, limpia y sostenible a todos y cada uno de los habitantes de nuestro planeta: son las llamadas fuentes de energía renovables.

Depender de los combustibles fósiles ya no es considerada una opción y las energías renovables se presentan como la solución ante la creciente preocupación de la insostenibilidad medioambiental futura que se nos presenta. Estas fuentes son inagotables, se renuevan una y otra vez y provienen de recursos naturales. Dentro del grupo de las energías renovables se engloban:

- La hidráulica: aprovecha el potencial y la energía cinética que tienen los saltos de agua para producir electricidad.
- La solar o térmica: mediante paneles fotovoltaicos transforman la luz solar en electricidad o calor.
- La eólica: por medio de aerogeneradores se aprovecha la fuerza del viento para generar energía.
- La geotérmica: aprovecha el calor existente en el interior de la Tierra.
- La energía de la biomasa: utiliza la materia orgánica proveniente de la descomposición de las plantas durante la fotosíntesis para su transformación en energía eléctrica, térmica o en carburantes de origen vegetal.
- Y por último, la marina, la cual genera electricidad a partir del movimiento de los mares y océanos. En este grupo se incluye la energía undimotriz, en la cual se centra este trabajo y que se basa en el aprovechamiento del gran potencial energético que tiene el movimiento de las olas.

Como se observa, las formas de obtención de energía alternativas a los combustibles fósiles y la energía nuclear son numerosas. El interés de la industria y los gobiernos en el desarrollo de éstas ha crecido paulatinamente, sobre todo tras la gran crisis económica que se desencadenó a nivel mundial en los años 70 y que hizo que se dispararan los precios del petróleo. [1] Esto, unido a la conciencia general que se ha desarrollado sobre la importancia de proteger el planeta en el que vivimos, ha puesto de relieve la urgente necesidad de

encontrar una alternativa a la enorme dependencia que se tiene de los combustibles fósiles en todos y cada uno de los países.

De este modo, se comienza el desarrollo de la energía eólica, hidráulica y solar implantándose rápidamente y a gran escala en el mercado. En los últimos años, se ha tomado conciencia de la importancia que tienen a corto y sobre todo a largo plazo en vistas a un futuro con una mejora en la calidad de vida. Países como China, Estados Unidos, Alemania y en general los países desarrollados, han visto la importancia de estas fuentes de energía y han llevado a cabo una política medioambiental de reducción de las formas de obtención de energía contaminantes en favor de las renovables mediante la instalación de placas fotovoltaicas, aerogeneradores eólicos, centrales hidroeléctricas, etc

Sin embargo, estos recursos presentan una serie de limitaciones reales que no se pueden pasar por alto: su fuerte dependencia de las condiciones meteorológicas, la variabilidad y baja densidad energética y la falta de espacio para la instalación de sus dispositivos. Por todo ello, con el fin de hacer frente a estas restricciones, se ha impulsado la investigación de otras fuentes renovables como son las energías de origen marino.

En España, la situación no es diferente. Se tiene una alta dependencia de los recursos no renovables y además cuenta con la desventaja de que al no poseer reservas de petróleo, la mayor parte de éste debe ser importado, siendo un país con elevados niveles de dependencia en materia energética.

En los últimos años, con el incentivo de obtener una mayor independencia energética, nuestro país ha decidido apostar por la sostenibilidad. Aproximadamente, el 40% de la energía que se consume en España procede de fuentes renovables, siendo la tercera potencia mundial en lo que se refiere a energía eólica y la doceava en solar. [2] A pesar de ser datos bastante prometedores, todavía le queda un largo camino de mejora y numerosos

recursos aún sin explotar tal como sus costas. Nuestro país puede considerarse privilegiado en este aspecto pues todo él se encuentra rodeado de agua (5.978 km de costa aproximadamente). Esto lo convierte en un lugar idóneo para instalar centrales que exploten la energía undimotriz y multipliquen el volumen energético generado por el país.

Así, las energías renovables se están abriendo camino entre las formas de obtención de energía tradicionales. De entre ellas, queda claro que la energía marina, especialmente la undimotriz por el elevado potencial que posee el movimiento de las olas, no se debe infravalorar pues es una apuesta prometedora ante los crecientes problemas de insostenibilidad energética que se nos presentan. A pesar de que aún se encuentra en fase de desarrollo, es indiscutible que es una de las energías del futuro.

## 1.1. Motivaciones

El proyecto presentado surge a partir de la preocupación generalizada ante uno de los grandes problemas que afectan a nivel mundial: el calentamiento global. La principal motivación de este proyecto es el compromiso con el medio ambiente, por lo que se propone una instalación de energía undimotriz, ejemplo de fuente renovable inagotable y limpia. El modelo energético actual basado en el consumo de combustibles fósiles genera los gases de efecto invernadero amenazando con degradar la calidad de vida de todo ser humano. Así, mediante el diseño de un dispositivo de aprovechamiento de energía undimotriz se pretende disminuir el consumo de energías no renovables con el fin de contribuir a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, y frenar progresivamente el cambio climático.

Otra característica que hace de este proyecto una apuesta atractiva es la seguridad y fiabilidad de la energía undimotriz en comparación con otras formas

de obtención de energía renovable. Su no dependencia de las condiciones ambientales debido a que siempre existen olas hace que un 90 % del tiempo se realice su producción, frente a otros tipos de energía, tal como la solar y la eólica que sólo se aprovechan entre el 20% y el 30%. [3]

Además el gran potencial explotable que tiene esta forma de obtención de energía y especialmente en el Cantábrico, logra que se pueda abastecer eléctricamente a numerosos hogares de una población costera con tan solo una central de aprovechamiento de energía undimotriz. Esto resulta especialmente atrayente en España pues no se cuenta con combustibles fósiles siendo necesaria la importación continua de gas y petróleo para generar electricidad.

Mediante este proyecto se busca principalmente reducir la dependencia que se tiene de las energías no renovables, obteniendo electricidad sin tener que consumir combustibles fósiles y servir así de ejemplo al resto del mundo para que desarrolle proyectos de este tipo encaminados hacia la implementación de un modelo energético sostenible a nivel mundial.

### **1.1.1. Justificación del proyecto**

Hoy en día, uno de los mayores problemas sociales, ambientales y económicos a nivel mundial es el empleo de combustibles fósiles como fuente principal de generación eléctrica. Su combustión produce los gases de efecto invernadero responsables del cambio climático. Con el objetivo de disminuir el uso de éstos, se ha impulsado la investigación de otras fuentes de energía limpias para hacer frente a esta amenaza que tiene importantes efectos negativos sobre todos los seres vivos.

En el caso de España, en particular, el déficit energético constituye uno de los principales problemas de su economía. Es un país con una elevada

dependencia del exterior, de las importaciones de petróleo principalmente. Esto produce que la economía sufra las continuas oscilaciones en los precios y un déficit importante por cuenta corriente. De toda la energía que consumimos en nuestro país, tan solo un tercio se produce dentro de él, teniendo que importar el resto.

La independencia energética constituye un blindaje frente al aumento regular y constante que se produce en los precios de los combustibles fósiles y que da lugar a los procesos inflacionarios. Países como Canadá, que no dependen en absoluto de otros en lo que a energía se refiere, ha logrado que en veinticinco años se haya casi triplicado su PIB.

España, en consecuencia, tiene la necesidad de desarrollar fuentes de energía renovables y alternativas a las tradicionales para hacer frente a su déficit energético. Poseer cerca de 5.978 km de costa con olas de un gran potencial eléctrico (37.650 MW aproximadamente) hace que sus mares y océanos se conviertan en la posible solución a sus problemas energéticos. Es por ello que resulta evidente que el estudio sobre cómo generar energía eléctrica a partir del movimiento de las olas en el propio país es un gran incentivo y merecedor de ser investigado.

Así, mediante el desarrollo y dimensionamiento de un dispositivo convertidor de energía undimotriz en electricidad se pretende contribuir a lograr una mayor independencia energética en nuestro país así como al cuidado del medio ambiente. El dispositivo se situará en la zona costera del Mar Cantábrico por ser de las zonas de España con mayor potencial energético y buscará satisfacer la demanda energética de una población costera de la zona. Para ello, se seleccionará el tipo de dispositivo más adecuado a las características de la zona de emplazamiento.

Además, este proyecto busca servir como modelo para que esta forma de energía renovable que todavía se encuentra en fase de desarrollo en nuestro país crezca. El gran potencial con el que cuenta la costa española es inmenso. Su explotación haría que la demanda de combustibles fósiles disminuyera significativamente y en consecuencia, la calidad de vida iría en aumento.

## 1.2. Objetivos del proyecto

### 1.2.1. Objetivo general

Este proyecto tiene como objetivo la obtención de electricidad a partir de una fuente renovable: el movimiento de las olas. Es la denominada energía undimotriz. Con este trabajo, se pretende desarrollar un dispositivo de aprovechamiento de la energía de las olas para el abastecimiento energético de una población costera de Lugo (Burela). Se pretende diseñar un mecanismo semisumergido articulado conocido como Pelamis con este fin y que se adapte correctamente a las necesidades del emplazamiento.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- **Modelo sostenible.** Este convertidor de energía undimotriz debe ofrecer un modelo sostenible, una alternativa al empleo de combustibles fósiles en España, contribuyendo de este modo a la creación de una economía baja en carbono y gas.
- **Confiabilidad.** La fiabilidad de los dispositivos convertidores de energía de las olas es de suma importancia, pues fallos en los componentes resultan en un mantenimiento no planificado que influye en los costes de la energía de

las olas. Los costes de funcionamiento, el mantenimiento en alta mar así como el número de componentes se deben mantener en un mínimo.

- **Eficacia.** Se persigue situar el dispositivo en una zona de la costa española donde se obtenga una cantidad de energía suficiente como para que el desarrollo del convertidor consiga abastecer la demanda energética de la población costera seleccionada. Por ello, seleccionar el emplazamiento adecuado donde se garantice la eficacia del dispositivo será un objetivo a tener en cuenta.

El desafío de esta investigación es, por lo tanto, encontrar el mejor equilibrio entre confiabilidad, eficacia, y sostenibilidad cuando se diseña un mecanismo capaz de transformar el potencial de las olas en una forma utilizable de energía. Se trata de un proyecto piloto que tiene como objetivo valorar la viabilidad de que en cierta zona aislada del Mar Cantábrico parte de la energía derive de renovables.

### 1.3. Metodología

Para la consecución de este proyecto, en primer lugar, se realizará una introducción a las diferentes formas de aprovechamiento de la energía contenida en los mares. De entre todas ellas, se llevará a cabo el estudio detallado del estado del arte de la energía undimotriz: qué es, su potencial, sus ventajas y desventajas, el nivel de desarrollo hasta día de hoy, así como la descripción y clasificación de los dispositivos existentes que aprovechan esta fuente energética. También se hará un estudio generalizado sobre la teoría de las olas con el fin de poder analizar los diferentes estados de mar y la interacción dispositivo-ola.

En segundo lugar, se decidirá el lugar idóneo para la instalación del dispositivo Pelamis y se justificará la elección de éste. Se determinará el lugar donde es rentable, energéticamente hablando, situar el dispositivo en base al estudio realizado por “IDAE”. Posteriormente, se calculará el potencial energético que posee el oleaje en la zona de emplazamiento gracias al empleo de las bases de datos de “Puertos del Estado” donde aparecen series temporales de las condiciones marinas en la costa española. También se decidirá la distancia a la que deberá colocarse en relación a la costa y la batimetría de la zona de instalación mediante el uso de la herramienta “Instituto Hidrográfico de la Marina” y “GEBCO”. Al mismo tiempo, se decidirá la población costera a la que se quiere abastecer energéticamente, siendo en este caso, Burela.

A continuación, se calculará la cantidad de energía que consume la pequeña población costera y su dependencia energética tratando de contrarrestar esta dependencia mediante la instalación de varios dispositivos Pelamis en función de la cantidad de electricidad que son capaces de generar en la zona de emplazamiento. Para ello se llevará a cabo el estudio del recurso undimotriz mediante el empleo, de nuevo, de “Puertos del Estado”.

En tercer lugar, se procederá con el desarrollo del dispositivo seleccionado, en este caso, Pelamis. Se describirá en detalle el dispositivo: sus características, su sistema de conversión energética, sus materiales de construcción para evitar que se oxide o degrade con el paso del tiempo, etc. En esta parte se hará uso de Autocad y manuales de oleodinámica para la realización del esquema del circuito oleohidráulico responsable de la conversión energética y todo aquello necesario para el correcto diseño y dimensionamiento del dispositivo.

Finalmente, se llevará a cabo el estudio ambiental y el presupuesto que supone llevar a cabo la instalación del conjunto de dispositivos que buscan abastecer energéticamente a la población costera de Burela.

Todo lo anterior deberá realizarse en coherencia con la legislación vigente actual y respetando el pliego de condiciones que se incluye entre la documentación del proyecto presentado.

## CAPÍTULO II: Generalidades.

### 2. La energía marina

Un 71% de la superficie de nuestro planeta está constituido por agua. De este porcentaje, un 96,5% pertenece a los océanos y mares, siendo éstos los mayores acumuladores de energía existentes en nuestro planeta debido a su incesante movimiento: es lo que se conoce como energía marina. [1]

La energía marina posee un gran potencial que se pone de manifiesto de cinco diferentes formas:

- La energía de las olas o undimotriz.
- La energía mareomotriz.
- La energía de las corrientes marinas.
- La energía maremotérmica o asociada al gradiente térmico.
- La energía asociada al gradiente salino u osmótica.

Todas ellas basadas en el agua constituyen una forma de obtención de energía abundante, inagotable y limpia. Sin embargo, la utilización rentable a día de hoy de este recurso es mínima debido principalmente a la alta financiación que supone la instalación de sus plantas operativas y a las dificultades tecnológicas que trae consigo operar en ambientes marinos.

Además, el hecho de que el desarrollo comercial con este tipo de energía haya sido bajo o prácticamente nulo, retrasa su implementación como consecuencia de la incertidumbre sobre la forma en que los ecosistemas marítimos se van a ver afectados por los dispositivos captadores de energía.

Por lo tanto, a día de hoy continúa en proceso de investigación la extracción de energía a partir de los mares y océanos.

## 2.1. Tipos de energía marina

### 2.1.1. Energía undimotriz

Es aquella que permite la obtención de electricidad a partir de la energía cinética y potencial que poseen las olas con su movimiento. Éste es generado en su mayoría por la acción del viento sobre la superficie de los mares y océanos.

En esta forma de obtención de energía se centrará este trabajo y se tratará con detalle más adelante, en el siguiente capítulo.

### 2.1.2. Energía mareomotriz

Como su nombre indica, es aquella que se obtiene aprovechando el movimiento de las mareas.

Este fenómeno, basado en el descenso y ascenso del nivel del mar resulta de la atracción gravitatoria que ejercen el Sol y la Luna sobre nuestro planeta, combinado con la fuerza centrífuga que experimenta la Tierra como consecuencia de su rotación. La menor distancia de la Luna en comparación con el Sol hace que ésta sea la principal causante de las mareas.

Así, la diferencia que se genera de alturas entre dos volúmenes de agua se puede aprovechar para generar electricidad mediante la instalación de centrales mareomotrices.

El principio de funcionamiento de una planta mareomotriz consiste en instalar un dique con compuertas, de forma que se crea una especie de embalse natural. Cuando la marea es alta, se abren las compuertas y se deja pasar el agua que se almacena en el embalse. Cuando éste alcanza su máxima capacidad, se cierran las compuertas. A continuación, cuando desciende la marea por debajo del nivel que tiene el embalse, se vuelven a abrir las compuertas, liberando el agua a través de un canal donde se encuentran unas turbinas acopladas a un alternador. Al hacerlas girar, mueven el generador, produciendo de este modo electricidad.

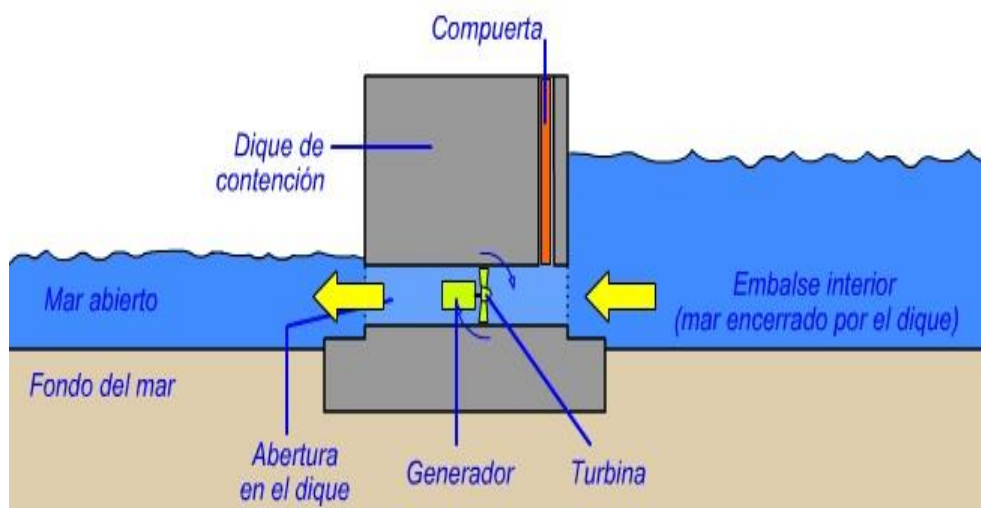


Ilustración 1: Esquema de una central mareomotriz [2]

### 2.1.3. Energía de las corrientes marinas

Se basa en el aprovechamiento de la energía cinética que tienen las corrientes marinas, siendo éstas masas de agua que poseen desplazamientos propios dentro de los océanos y mares. Su existencia se debe a distintos factores: diferencias de salinidad y temperatura, vientos, mareas...

Se han desarrollado diversas tecnologías que extraen la energía contenida en las corrientes. Básicamente, en todas ellas el proceso de captación de energía se basa en la instalación de convertidores de energía cinética tal como turbinas para producir electricidad.



**Ilustración 2: Turbinas para el aprovechamiento de la energía de las corrientes**

[3]

#### **2.1.4. Energía maremotérmica**

Su principio de funcionamiento consiste en transformar en electricidad la diferencia de temperaturas existentes entre la superficie y el fondo del mar u océano. La radiación solar es la causante de este fenómeno, ya que un 38% de la radiación que entra en la atmósfera de nuestro planeta se absorbe por la superficie de océanos y mares en forma de calor. A las profundidades, por el contrario, no les llega ésta y por ello se crea una diferencia térmica entre el fondo y la superficie.

El aprovechamiento de este tipo de energía se basa en la instalación de una máquina térmica. Ésta está compuesta por una turbina y varios

intercambiadores de calor los cuales producen trabajo mediante el aprovechamiento del gradiente de temperaturas. Posteriormente, ese trabajo se transforma en electricidad.

Cuanto mayor es la diferencia de temperaturas, más significativa es la cantidad de energía generada. Lo óptimo y rentable es que haya una diferencia igual o superior a 20 °C.

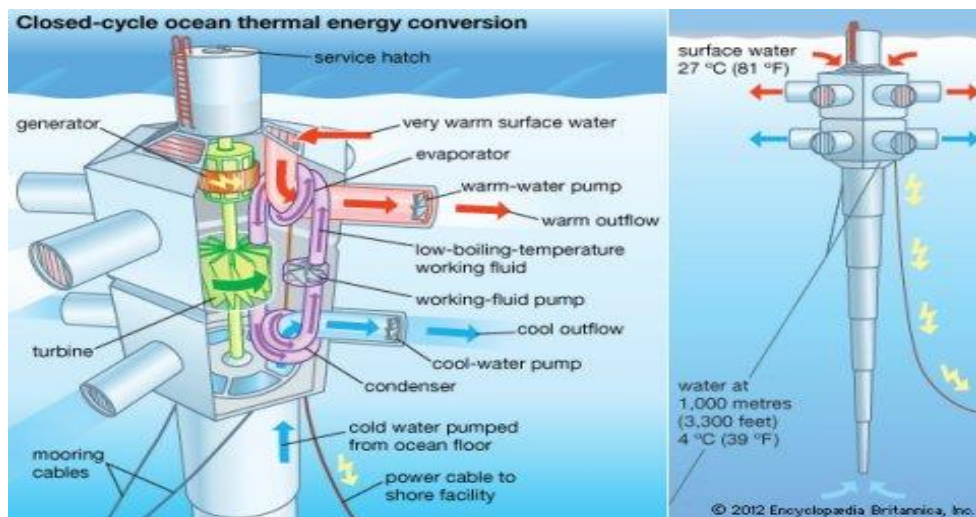


Ilustración 3: Energía del gradiente térmico oceánico [4]

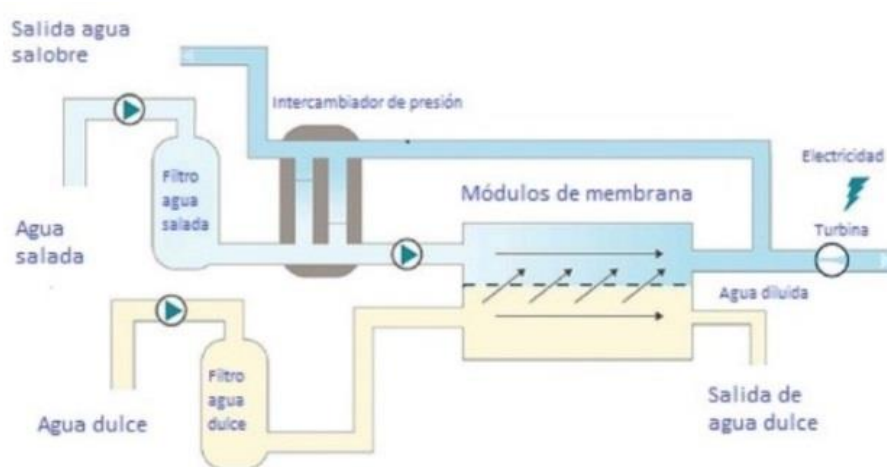
### 2.1.5. Energía asociada al gradiente salino

Esta forma de obtención de energía consiste en el aprovechamiento de la diferencia de concentración salina existente entre el agua de río y de mar para producir electricidad.

También es conocida por el nombre de potencia osmótica o energía azul. A día de hoy, se emplean principalmente dos tecnologías para su extracción energética, basadas en el empleo de membranas:

● **La ósmosis por presión retardada:**

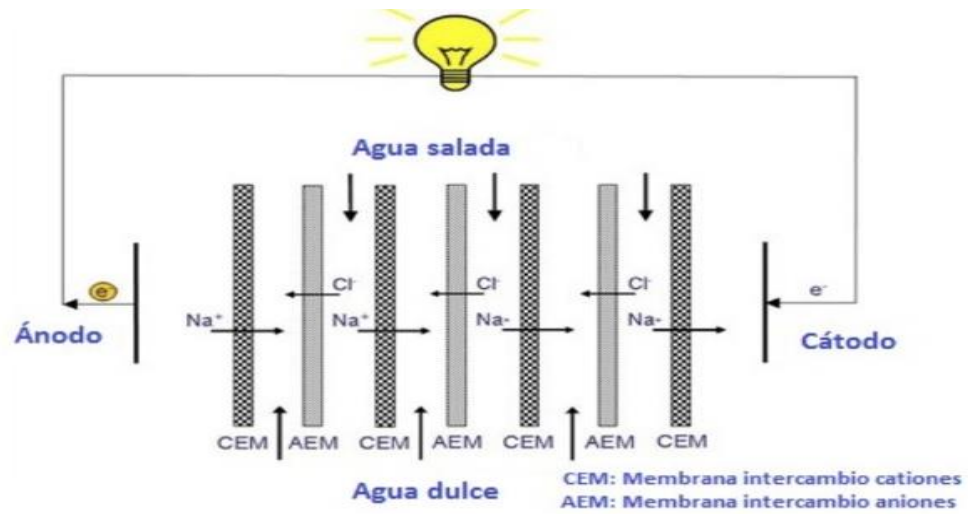
Se basa en el empleo de una membrana que pone en contacto los dos fluidos (agua de mar y agua de río), impidiendo el paso de la sal a través de ella; sólo permite el paso de agua. De esta forma, se genera una diferencia de presión que puede ser aprovechada por una turbina para la generación de electricidad.



**Ilustración 4: Esquema de la ósmosis por presión retardada [5]**

● **La electrodiálisis inversa:**

Se basa en el transporte a través de distintas membranas de iones. La diferencia entre los dos tipos de agua en lo referente a su potencial químico, hace que a través de membranas de intercambio aniónico, pasen los iones negativos y los iones positivos atraviesen las membranas de intercambio catiónico. De esta forma, se genera una corriente iónica que a partir de diferentes reacciones en los electrodos de un circuito externo puede ser transformada en corriente eléctrica.



**Ilustración 5: Esquema de la electrodiálisis inversa [5]**

Se estima que mediante este método de producción de energía, aprovechando la diferencia de concentración de sal existente entre las aguas fluviales y marinas de todo el mundo se podría generar un 20% del consumo eléctrico total. [6]



## **CAPÍTULO III: La energía undimotriz. Estado del arte.**

### **3. La fuente de energía**

La energía undimotriz o de las olas constituye uno de los cinco tipos de energía marina existentes. Por lo tanto, se trata de una fuente limpia que tiene como fin el aprovechamiento del potencial contenido en las olas para la generación de electricidad.

#### **3.1. Origen de la energía de las olas**

La energía undimotriz proviene del movimiento de las olas, siendo éstas oscilaciones que se forman en la superficie del agua. Las causas que las generan son diversas: el viento, las mareas, erupciones volcánicas, movimientos tectónicos, etc. Sin embargo, de entre todas ellas, el viento es el causante principal de la formación de oleaje. Por ello, se puede considerar a la energía undimotriz como una forma indirecta de energía solar, pues es el Sol el que hace posible la formación de las olas.

Los rayos de Sol no calientan de manera equitativa toda la atmósfera. El reparto desigual hace que unas zonas de la superficie de la Tierra se calienten más que otras. Esto resulta en una diferencia de temperaturas que trae como consecuencia la aparición de los vientos.

Cuando el viento sopla sobre la superficie del mar u océano, se crean unas fuerzas de fricción entre las partículas del agua y aire. Este rozamiento provoca el arrastre de unas gotas de agua sobre otras, produciéndose así unas ondas, fruto de la acumulación de las gotas. Inicialmente, estas ondas tienen tan sólo unos pocos milímetros de altitud y longitud y se conocen con el nombre de capilares. Si el viento se mantiene soplando a lo largo de varios metros o

kilómetros, la fricción es mayor y el tamaño de las ondas capilares aumenta, resultando en la formación de las olas.

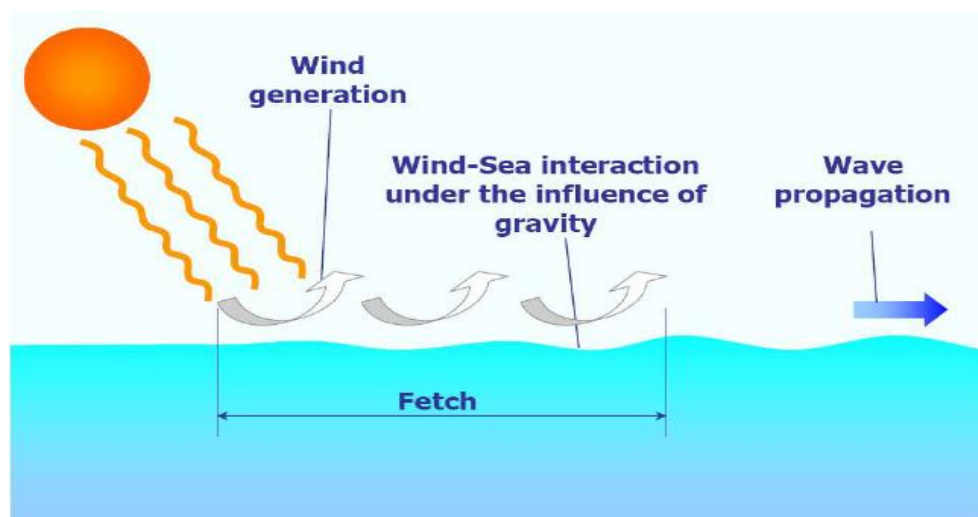


Ilustración 6: Proceso de formación de la ola a causa del viento [1]

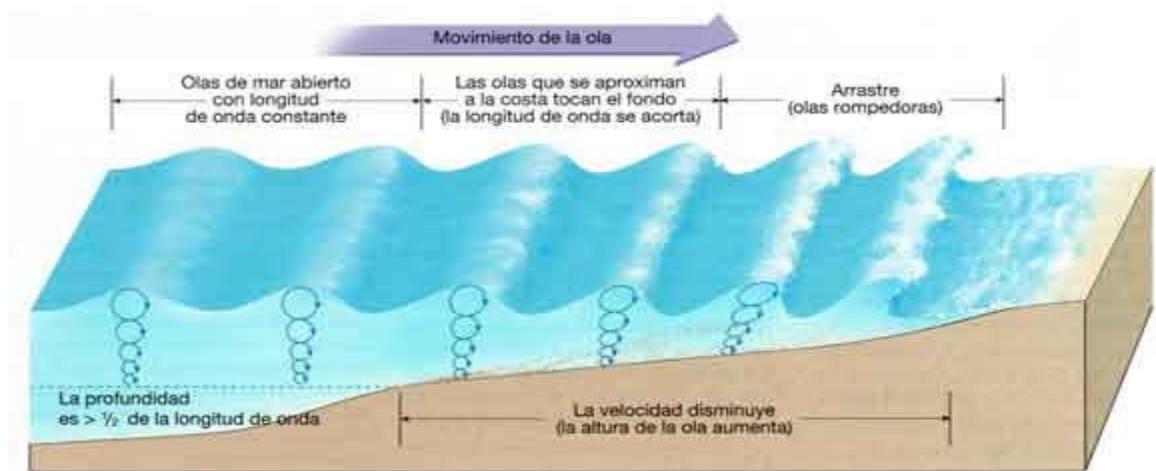
### 3.2. Acumulación de energía en las olas

El viento es el transmisor de energía al agua y el responsable de la formación de las olas. Éstas actúan como acumuladoras de energía: reciben la energía, la transportan y la almacenan. Las ondas formadas son capaces de recorrer grandes distancias sin apenas perder potencia. De esta forma, es posible que en lugares donde no esté soplando el viento, exista oleaje.

La energía se transfiere en forma de movimientos circulares. De este modo, las partículas de agua no se trasladan horizontalmente, sino que lo hacen verticalmente: siguen una trayectoria circular y vuelven a su punto de partida.

El fondo marino no tiene ningún efecto sobre la ola hasta que la profundidad a la que viaja ésta es menor o igual a la mitad de la longitud de onda de la ola.

De esta forma, en aguas de poca profundidad, a causa de la fricción, el fondo disminuye la velocidad de avance de la ola y hace que las partículas de agua ya no se muevan en órbitas circulares, sino elípticas.



**Ilustración 7: Movimiento de las partículas de agua [2]**

La ola por lo tanto es movimiento de energía, la cual se puede descomponer en dos formas diferentes:

### 3.2.1. Energía cinética

Es función de la velocidad que lleva la ola.

Las olas están compuestas por moléculas de agua que siguen trayectorias circulares. Estos movimientos en la superficie del agua alcanzan un tamaño igual a la altura de la ola pero disminuyen según se desciende hacia el fondo, por debajo de la superficie.

La trayectoria circular pasa a ser elipsoidal según las olas se van desplazando hacia aguas poco profundas.

El movimiento elipsoidal o circular se puede aprovechar en la generación de electricidad mediante diferentes dispositivos formados por columnas de agua oscilantes o hélices.

### 3.2.2. Energía potencial

Es función de la altura de la ola.

Los movimientos de ascenso y descenso que experimentan las partículas por encima de la línea inmóvil del agua durante su trayectoria se traducen en una acumulación de energía potencial.

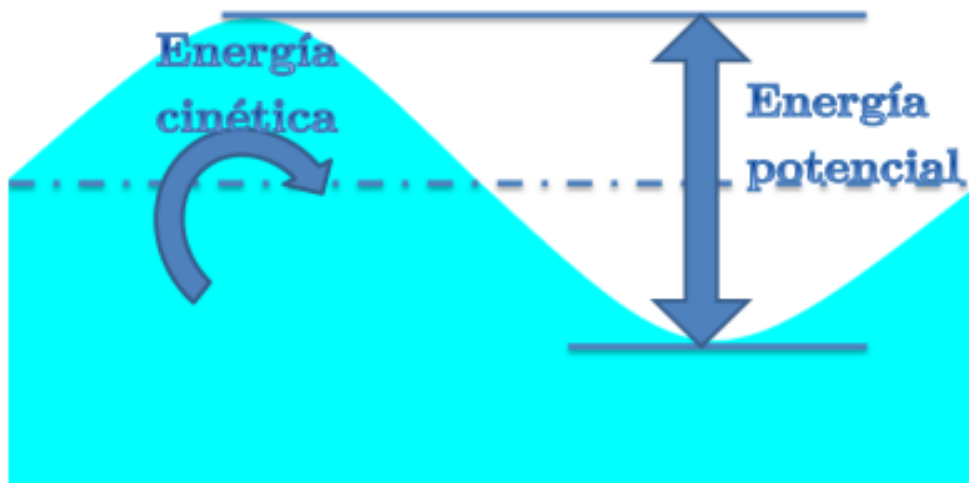


Ilustración 8: Energía cinética y potencial de la ola [3]

### 3.3. Potencial de las olas

La energía contenida en las olas del océano es más que suficiente para suministrar la mitad de las necesidades eléctricas mundiales: esta forma de obtención de energía posee un potencial altísimo, tanto es así que es la líder en

el conjunto de energías renovables, del orden que sería capaz de generar 80.000 TWh/año.

El tamaño de las olas y la cantidad de energía que es transferida a lo largo de los océanos y mares está determinada por una serie de factores: la velocidad a la que va el viento, el tiempo durante el cual está soplando éste así como la distancia durante la cual sopla. Esto afecta directamente a la altura que alcanzan las olas, la velocidad y longitud de onda, así como al período del movimiento, factores determinantes para cuantificar la potencia de la ola.

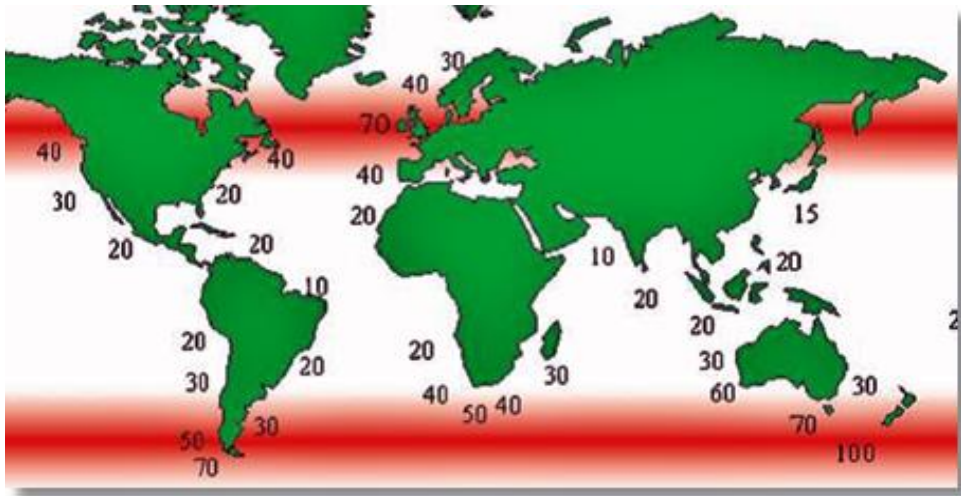
Se debe tener en consideración que según la ola avanza hacia la costa donde cada vez hay menor profundidad, va perdiendo energía y por lo tanto, potencia. Esto se debe a la fricción que sufren las partículas del agua que forman la onda con la superficie terrestre.

En las zonas de generación y en los alrededores, las olas formadas dan lugar a un mar caótico, irregular, pero estas olas continúan viajando en la dirección en la que fueron formadas aún si el viento deja de soplar. En aguas profundas, las olas pierden muy lentamente energía, pudiendo viajar grandes distancias con pérdidas de energía mínimas. Estas olas son regulares y son capaces de persistir a kilómetros del lugar donde se formaron.

De esta forma, debido a que el flujo de viento está directamente relacionado con la energía undimotriz, las costas expuestas a aquellos vientos dominantes con intensidades, velocidades y persistencias elevadas tienden a poseer los oleajes más energéticos, como ocurre con África del Sur, Australia, Europa, Nueva Zelanda o las costas occidentales americanas.

Esta forma de energía está desigualmente distribuida alrededor del mundo. Los mayores niveles de potencia ocurren entre las latitudes de 30° a 60° tanto en el Hemisferio Norte como en el Hemisferio Sur. Estas zonas tienen el mayor potencial energético debido a las fuertes tormentas y los vientos

regulares, en especial los alisios. España, más concretamente la zona del litoral cantábrico y Galicia, se puede considerar privilegiada pues posee uno de los mayores potenciales en lo que a energía undimotriz se refiere del mundo. Otras partes del planeta situadas fuera de estas latitudes también tienen oleajes significativos pero no tan sustanciales. Sus niveles de potencia bajos se compensan con una menor variabilidad de ésta.



**Ilustración 9: Distribución de la potencia anual media en kW/m<sup>2</sup>**

De todo lo expuesto anteriormente se puede extraer la conclusión de que el lugar rentable para instalar los dispositivos convertidores de energía undimotriz será en aquellas zonas donde mayores velocidades de viento se produzcan, pues será ahí donde se produzcan asimismo, las mayores potencias por unidad de frente de ola.

### 3.4. Ventajas y desventajas de la energía undimotriz

La extracción de energía a partir de las olas posee numerosas ventajas por tratarse de una fuente inagotable, abundante y limpia. Sin embargo, todos estos beneficios se contrarrestan con la enorme dificultad y elevado coste que supone la instalación de sus plantas operativas.

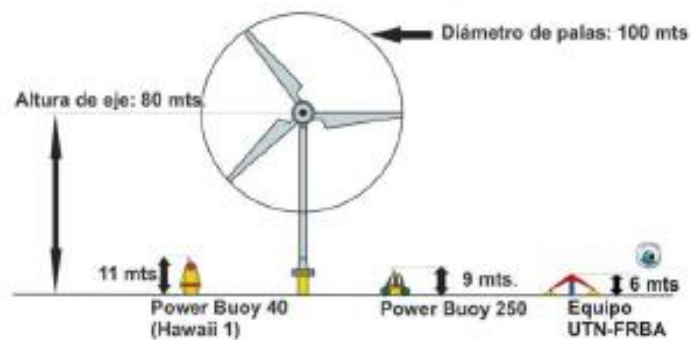
Así, sus desventajas están muy a la par con sus ventajas lo que explica por qué no se ha llegado a explotar al máximo este recurso y su lento desarrollo.

#### 3.4.1. Ventajas

- Se trata de una **fuentes de energía limpia**. El aprovechamiento de la energía contenida en las olas no implica la generación de desechos ni la emisión de gases contaminantes responsables de la aparición del efecto invernadero. Así, la energía undimotriz se presenta como una gran alternativa al empleo de combustibles fósiles y contribuye a evitar una de las mayores preocupaciones actuales a nivel mundial como es el cambio climático.
- Posee un **gran potencial energético**. De entre todas las fuentes de energía renovables, las olas son los mayores acumuladores de energía. Pueden generar hasta mil veces más energía que otros recursos, tal como el viento. Se estima que en condiciones normales, se pueden obtener entre 20 kW y 40 kW por cada metro que tenga la ola de altura. Además, las olas se pueden desplazar durante distancias largas sin apenas pérdidas de energía.
- Es **renovable**. La formación de las olas únicamente depende de recursos naturales inagotables: agua, viento y sol. La explotación de la energía undimotriz con el fin de obtener electricidad permite hacer frente al grave

problema de la escasez y agotamiento de recursos no renovables como el carbón y petróleo.

- Es una fuente **segura, fiable, y continua**. Su pequeña dependencia de las condiciones ambientales debido a que siempre existen olas hace que un 90 % del tiempo se realice su producción. Este rasgo supone una importante diferencia con otros tipos de energía renovables, como la eólica, donde es imprescindible la presencia de viento para su obtención, dependiendo así completamente de las condiciones climatológicas. De esta forma se evitan los periodos de escasez por el clima característicos de las demás fuentes de energía renovables.
- **Menor impacto visual**. Como su potencial es muy elevado, el impacto visual de sus dispositivos es menor que cualquier otra forma de energía renovable, pues es capaz de producir la misma cantidad de energía con máquinas más pequeñas.



**Ilustración 10: Comparación impacto visual: energía eólica vs undimotriz [5]**

- Es un **recurso predecible**. Se puede controlar la cantidad de potencia que se va a producir día a día si se conocen las tormentas en alta mar, las corrientes

atmosféricas y los vientos, gracias a la propiedad que poseen de propagarse a lo largo de largas distancias sin que se degrade apenas su energía (la propagación dura de 2 a 3 días). Esto proporciona una gran ventaja respecto a las demás fuentes de energía renovables donde la predicción resulta menos fiable y complicada.

### 3.4.2. Desventajas

- **Desconocimiento sobre los efectos en la flora y fauna.** Debido a que todavía no se ha llegado a comercializar con este tipo de tecnología, se desconoce cómo estas tecnologías van a afectar a los hábitats de las especies vegetales y animales que se encuentran en los fondos marinos y que es necesario tener en consideración.
- **Costes elevados.** Se precisa una gran inversión para la construcción de sus plantas operativas y su posterior mantenimiento. Además, el sistema de amarre precisa de revisiones periódicas para controlar que ninguna pieza se haya soltado y quede a la deriva poniendo en peligro a cualquier ser vivo o al tráfico marítimo.
- **Efecto corrosivo del agua salada.** El agua salada tiene un efecto corrosivo en los diferentes materiales que puede traer consigo consecuencias negativas. Como ejemplo, provoca la oxidación del acero o la disolución del cobre.
- Es una **energía variable.** La existencia de olas es continua, ya que éstas no dependen de las condiciones climatológicas. Sin embargo, la energía obtenida no es la misma siempre, ya que su cantidad depende de los diferentes parámetros de las olas. El potencial, por lo tanto, es variable.

### **3.5. Desarrollo de la energía undimotriz en el mundo**

En 1799, dos ingenieros franceses, Pierre-Simon Girard y su hijo, patentaron en Francia el primer convertidor de energía undimotriz. Desde entonces, entre 1800 y 1973, 340 patentes más fueron archivadas. Sin embargo, no es hasta finales del siglo XX cuando comienza el verdadero desarrollo de esta técnica de obtención de energía.

Escocia y Noruega fueron las pioneras en explotar este tipo de energía y actualmente son líderes en lo que respecta al empleo de esta tecnología.

En 1985, Noruega instaló la primera central con este fin cerca de Bergen. El sistema utilizado era una columna de agua oscilante combinado con un canal rematado en punta. Por otro lado, Escocia, más concretamente en la isla de Islay, también ha utilizado este tipo de tecnología incorporando un nuevo desarrollo basado en unos conos que al oscilar con el oleaje impulsan un generador. Esta tecnología es conocida con el nombre de “pato de salter”.

Otros países como Australia, E.E.U.U., China, India, Japón o Suecia se han unido a esta nueva forma de obtención de energía y en los últimos años han estado diseñando y probando diferentes sistemas para la obtención de electricidad.

En cuanto a la tecnología Pelamis, en la que se centrará este proyecto, fue ideada por Ocean Power Delivery, una firma escocesa. El invento se inauguró en Portugal con el objetivo de iluminar 1.500 hogares con una capacidad de 2,5 MW convirtiéndose así en el primer parque de olas del mundo. Sin embargo, el proyecto tuvo que pararse a medio camino debido a la alta financiación necesaria para llevarlo a cabo.

Desde su descubrimiento, han sido numerosos los prototipos y proyectos llevados a cabo que buscan explotar este tipo de energía en comparación con

otros tipos de fuentes de energía renovables. Actualmente, se cuenta con más de 1.000 patentes de generadores energéticos de aprovechamiento de las olas.

### **3.5.1. Energía undimotriz en España**

En cuanto a España, la energía undimotriz no se ha llegado a explotar comercialmente. En los últimos años, se han centrado todas las miradas en el gran potencial existente en el Atlántico y Cantábrico, siendo Galicia, Cantabria y Guipúzcoa los lugares idóneos para instalar estas centrales. En estas dos últimas provincias se han llegado a desarrollar tecnologías que se encuentran en fase piloto.

En Santoña, Cantabria, se han instalado boyas eléctricas que gracias al oleaje, poseen un movimiento ascendente y descendente. Dicho movimiento se traduce en energía mecánica acumulada que hace accionar una bomba hidráulica la cual hace mover un alternador generando electricidad.

En el País Vasco, más concretamente en Mutriku (Guipúzcoa) se ha desarrollado un dispositivo conocido como la “columna de agua oscilante”. Mediante la entrada de las olas en la columna, el agua hace girar las turbinas generando electricidad.

Centrándonos en la tecnología Pelamis, ésta todavía no ha sido implantada en España aunque se espera que en los próximos años se pueda desarrollar en Galicia.

## 4. Tecnologías de aprovechamiento de la energía undimotriz

Desde que se patentó en 1799 la primera idea que buscaba explotar este tipo de energía, se han desarrollado numerosas tecnologías para aprovechar el gran potencial energético que presenta esta fuente de energía tan accesible.

Así, a lo largo de todos estos años se han diseñado una gran cantidad de dispositivos: actualmente existen más de mil patentes. Su diferente nivel de desarrollo y la dispersión tecnológica que existe a día de hoy, dificulta su clasificación.

Una manera de categorizarlos sería atendiendo a los siguientes criterios:

- Según su ubicación, su distancia con respecto a la costa.
- Según su orientación, su posición con respecto a la ola.
- Según su principio de funcionamiento.
- Según el proceso de captación de energía

### 4.1. Clasificación de los dispositivos de conversión

#### 4.1.1. Según su ubicación o distancia con respecto a la costa

Una primera clasificación de los dispositivos convertidores de energía undimotriz sería atendiendo a su posición relativa con respecto a la costa y en función de la distancia a la que son instalados en relación al fondo marino.

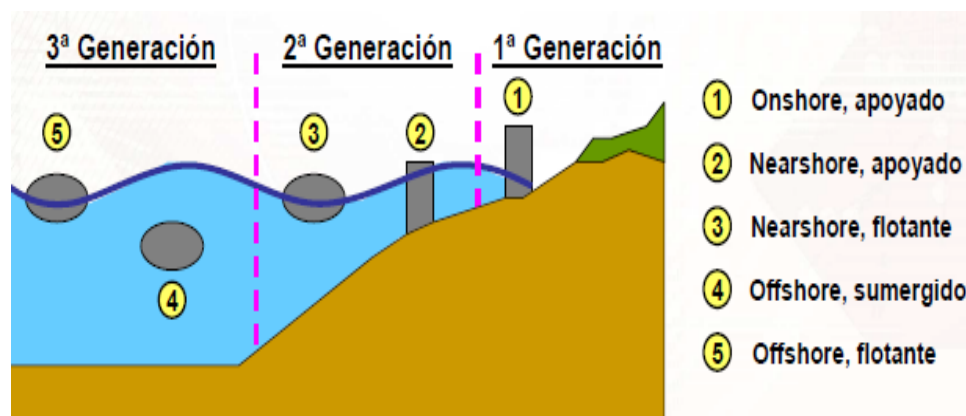


Ilustración 11: Tipos de dispositivos según su ubicación [6]

- **Onshore:** Se trata de instalaciones en la costa. Son los más accesibles lo que facilita su construcción y mantenimiento. Suelen situarse en acantilados rocosos junto al mar o estar incorporados a estructuras en la zona donde rompen las olas.

El hecho de estar en la costa le proporciona dos ventajas: que el sistema de amarre es sencillo y que por ser la profundidad mínima, las longitudes que se precisan de cable submarino son pequeñas.

Sin embargo, este tipo de centrales no suelen ser rentables por ser el potencial energético insuficiente, en comparación con aquellas centrales situadas en alta mar. Además, suelen ser los que más rechazo social reciben porque producen el mayor impacto visual.

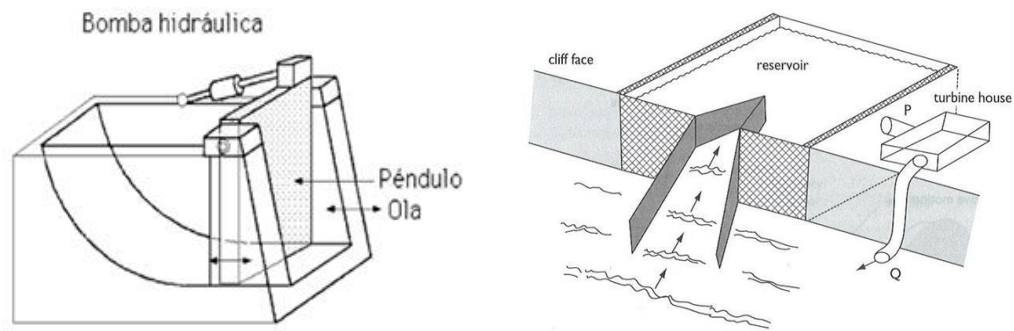
Se considera que este tipo de dispositivos son idóneos si se precisa cubrir pequeñas necesidades pues su capacidad nominal unitaria es bastante mayor que cualquier otro tipo de tecnología situada en lugares más alejados de la costa. Así por ejemplo, en una zona con una comunidad pequeña una unidad onshore con una potencia de 4 MW sí tendría un significativo impacto.



**Ilustración 12: Dispositivo OWC onshore [7]**

Podemos distinguir tres tipos de modelos onshore: OWC, TAPCHAN o canal cerrado y el sistema Pendulor.

Los dispositivos onshore también son conocidos con el nombre de 1ª generación.



**Ilustración 13: Sistema Pendulo (izq) [8] y sistema TAPCHAN (dcha) [9]**

- **Nearshore:** Se encuentran a unos cientos de metros de la costa donde la profundidad varía entre los 10 y 40 metros. Posee todas las ventajas anteriormente descritas que presentan las onshore y además la característica adicional de que está expuesto a mayores potenciales energéticos de oleaje.

Los dispositivos nearshore también son conocidos con el nombre de 2ª generación y pueden encontrarse o bien anclados en el fondo marítimo o ser flotantes.

- **Offshore:** Son los que sitúan más alejados de la costa y en aguas profundas. Por lo tanto, son los que poseen los potenciales de energía más altos, pues la densidad energética es mayor cuanto más lejos se esté de la costa.

Este incremento en el potencial se ve contrarrestado con la dificultad de acceso a sus tecnologías, la complicación que supone el transporte de energía y su mantenimiento.

Los dispositivos offshore también son conocidos con el nombre de 3ª generación y pueden estar sumergidos o ser flotantes.



**Ilustración 14: Dispositivo Pelamis instalado offshore [10]**

#### **4.1.2. Según su orientación o posición con respecto a la ola**

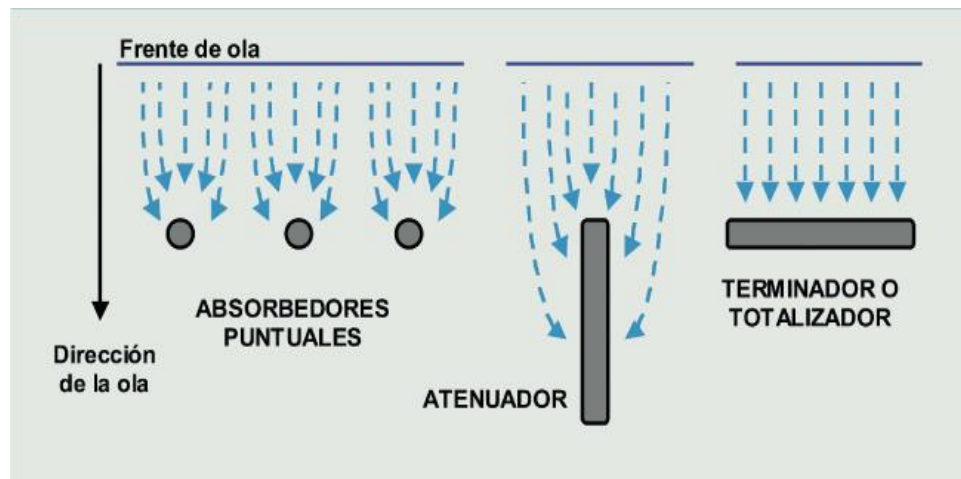
Una segunda clasificación sería atendiendo a la orientación del dispositivo empleado, a su posición con respecto a la ola:

- **Atenuadores:** se trata de convertidores con forma alargada que se disponen paralelamente a la dirección en la que avanzan las olas, es decir, con el eje perpendicular al frente de la onda. La extracción de energía se realiza de forma progresiva: tanto aquella que va en la dirección en la que avanza la ola como la existente a los dos lados del convertidor.

Los daños a los que están expuestos son reducidos y precisan de menores esfuerzos de anclaje que otro tipo de dispositivos conocidos como terminadores. Esto es así gracias a la capacidad que tienen para captar energía a sus dos lados, compensando así los esfuerzos.

Lo que los caracteriza como rasgo distintivo es que no anulan la ola incidente sobre ellos, sino que la atenúan.

- **Terminadores o totalizadores:** son aquellos que se disponen paralelamente al frente de la onda, es decir, con el eje perpendicular a la dirección en la que avanza la ola. A diferencia de los anteriores, estos sí eliminan la ola que incide sobre ellos. De esta forma, tras ellos sólo se propaga la onda generada como consecuencia de su oscilación.
- **Absorbedores puntuales:** poseen un pequeño tamaño si se comparan con las olas que inciden sobre ellos y suelen tener una forma cilíndrica. Su disposición frente a la ola es indiferente. Captan la energía de las olas aprovechando el efecto antena que éstas tienen (convergencia y concentración).



**Ilustración 15: Clasificación de los dispositivos según su orientación respecto a la ola [11]**

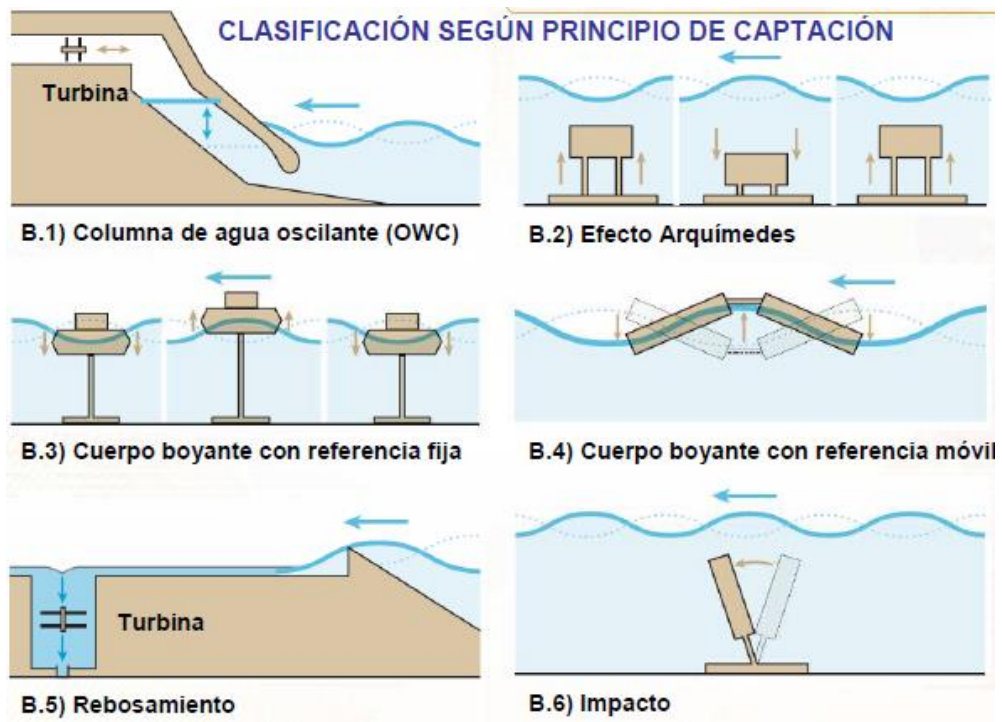
### 4.1.3. Según su principio de funcionamiento

Se pueden distinguir dos grandes grupos:

- **Sistemas estáticos o pasivos:** son aquellos en los que la energía se extrae a partir del movimiento del agua, pues la estructura permanece fija durante el proceso de conversión. Ej: sistema TAPCHAN.
- **Sistema oscilante o activo:** el proceso de generación de energía se basa en el aprovechamiento del movimiento existente relativo entre las partes móviles y fijas de los elementos que configuran el dispositivo. Se distinguen dos tipos:
  - En el primero, las olas actúan directamente sobre el cuerpo móvil.
  - En el segundo tipo, el aire es desplazado por las olas y a su vez éste es el que desplaza al cuerpo móvil. En resumidas palabras, se requiere de una interfaz agua-aire sobre la que actúa el oleaje.

### 4.1.4. Según el proceso de captación de energía

Esta clasificación se centra en el comportamiento del convertidor, diferenciándose así entre los que aprovechan las diferencias de presión, la energía que se genera a partir del impacto de las olas sobre un cuerpo o al mover un cuerpo que es flotante. Es probablemente la más importante de entre todas las clasificaciones existentes:

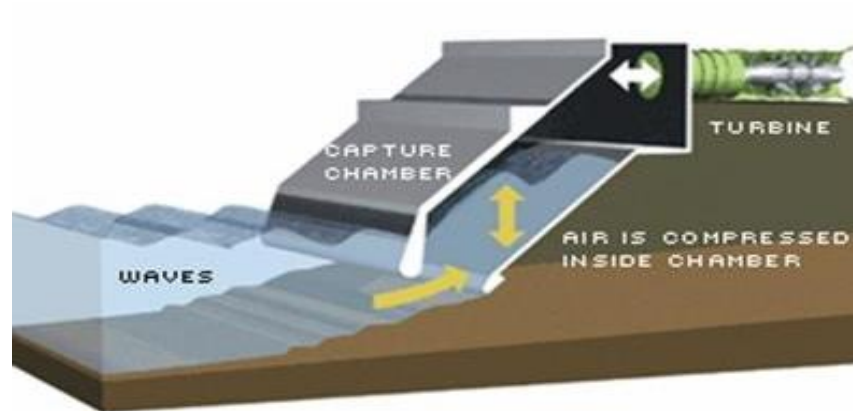


**Ilustración 16: Esquema de los dispositivos según su principio de captación de energía [4]**

- **Dispositivos aprovechadores de la diferencia de presión:** son aquellos cuyo principio de funcionamiento se basa en el aprovechamiento de la diferencia de presión que generan las olas en el aire. Se distinguen dos fenómenos:

- Columna de agua oscilante (OWC):

Se trata de una cavidad hueca, que se encuentra semisumergida y abierta al mar por la parte inferior. La oscilación de las olas origina cambios de presión del aire contenido dentro del dispositivo debido a las subidas y bajadas del nivel del agua en el interior de dicha cámara. Esto se traduce en una expansión y compresión continua del aire lo que produce el accionamiento de una turbina, generando de este modo electricidad.



**Ilustración 17: Dispositivo OWC [12]**

- Efecto Arquímedes:

Dispositivo completamente sumergido. Está compuesto por una cámara de aire cerrada que es capaz de variar su volumen dependiendo de la presión a la que se vea sometida como resultado del paso de las olas: su parte superior se mueve verticalmente como consecuencia del movimiento del oleaje, mientras que la inferior se encuentra anclada al fondo del mar. El movimiento entre la parte fija y móvil hace que el aire contenido en la cámara se comprima para conseguir equilibrar presiones. Gracias a un conjunto motor-generador y un sistema hidráulico, este movimiento es transformado en electricidad.

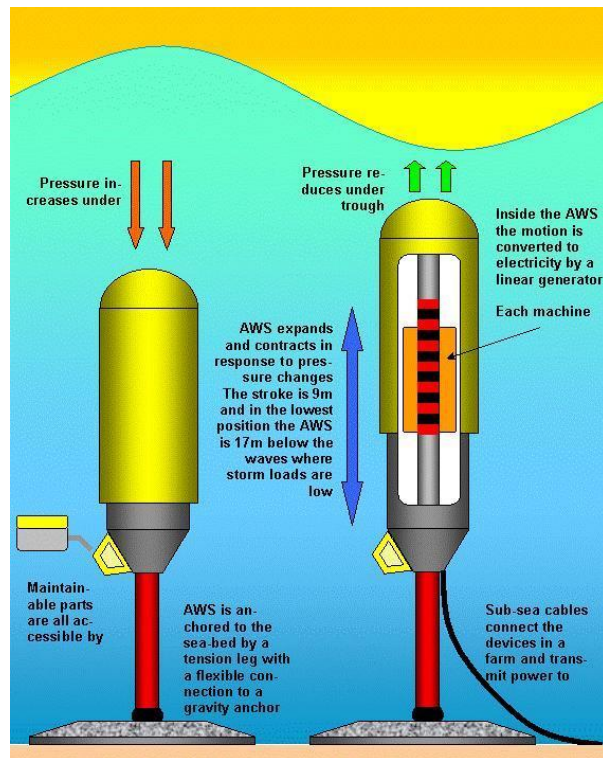


Ilustración 18: Equipo Arquímedes [13]

- **Cuerpos flotantes:** son dispositivos movidos por las olas y que se encuentran flotando en la superficie del mar. El movimiento oscilatorio aprovechable puede ser horizontal, de cabeceo, vertical o una combinación de ellos. Por otro lado, este tipo de movimiento puede ser o bien absoluto entre una parte fija y el propio cuerpo flotante o bien relativo si es entre dos cuerpos o más. El movimiento del oleaje acciona dispositivos hidromecánicos o mecánicos contenidos en dicha tecnología que producen la energía que se transmite al generador de electricidad. El dispositivo más característico que se incluye en este grupo es Pelamis.
- **Sistemas de impacto o rebosamiento:** Son dispositivos en los cuales al incidir las olas sobre ellos, aumentan su energía potencial, cinética o ambas:

- **Sistemas de rebosamiento:** son aquellos que fuerzan a que el agua pase por encima de la estructura, la rebase. La energía cinética que posee la ola se transforma en energía potencial mediante el almacenamiento del agua en tanques. Después se hace pasar el agua a través de una turbina que transmite su movimiento de rotación a un generador. Wave Dragon es un ejemplo de este tipo de tecnología.



**Ilustración 19: Dispositivo Wave Dragon [14]**

- **Sistemas de impacto:** son aquellas estructuras que han de ser flexibles o articuladas sobre la que chocan las olas. Los dispositivos Oyster son sistemas de impacto.



**Ilustración 20: Dispositivo Oyster [15]**

## 4.2. Conversión de energía

Una vez clasificados los distintos convertidores se va tratar el proceso de conversión de energía y los sistemas empleados para llevar a cabo ésta.

El proceso de conversión de la energía contenida en las olas en electricidad precisa de diferentes sistemas cuyo principal problema es que son bajas las velocidades de intercambio. Una disminución de las fuerzas y una amplificación de la velocidad es la solución que se busca.

Se distinguen principalmente dos conversiones de energía en este proceso de transformación energética: la primaria, condicionada por los valores de la altura y el periodo de las olas y la secundaria, más sensible al valor que posee la energía del oleaje.

### 4.2.1. Conversión primaria

Se trata de la conversión del movimiento del oleaje en el movimiento de un flujo de aire o cuerpo mediante el empleo de un sistema o bien mecánico o

bien hidráulico. El objetivo es transformar el movimiento oscilatorio de las olas en un movimiento unidireccional.

#### **4.2.2. Conversión secundaria**

Se trata de la conversión en electricidad la energía del movimiento de las olas. La transformación de energía se lleva a cabo mediante un sistema mecánico que logra convertir las velocidades bajas de rotación en altas aptas para conectarse a un generador. Se pueden utilizar dispositivos de inducción magnética, transmisión mecánica, turbinas hidráulicas y neumáticas.

### **5. La teoría de las olas**

Para el buen desarrollo de los distintos dispositivos convertidores de energía undimotriz es preciso conocer los mecanismos de propagación del oleaje así como su dinámica. Esto se debe a que para modelarlos correctamente, se debe conocer a la perfección la interacción dispositivo-ola. Su buen análisis también comprende tanto a los estudios del clima como de la meteorología.

Es a partir del siglo XX cuando se obtienen los primeros resultados prácticos y teóricos que permitían caracterizar el oleaje adecuadamente. Así, a día de hoy este conocimiento es utilizado para lograr la optimización en el diseño de los diferentes dispositivos mediante la predicción del oleaje.

## 5.1. Clasificación de las olas

Para seleccionar adecuadamente los sistemas y mecanismos y garantizar su buena eficiencia, es imprescindible determinar las características de la ola, tanto físicas como teóricas, así como la cantidad de energía que es capaz de almacenar.

Las olas son una sucesión de ondas que se forman en la superficie de los mares y océanos. La clasificación de las distintas ondas es muy extensa: senoidales, troncoidales, amortiguadas... Básicamente, existen todos aquellos modelos que la física y las matemáticas describen como ondas tipo en un plano.

Por ello, la clasificación más común que se hace es según si son transitorias, estacionarias o libres, ya que todas las ondas naturales anteriormente descritas pueden englobarse en uno de estos tres grupos.

También se puede hacer una distinción por el tipo de fuerza perturbadora que generan las olas. Las generadas por el viento son las que almacenan mayor energía y por lo tanto, son las que se aprovechan para la obtención de electricidad.

### ● Ondas estacionarias:

Son aquellas que tienen puntos en los que el movimiento es inexistente, permanecen inmóviles (puntos nodales) y uno o más puntos en los que se produce un desplazamiento máximo, su amplitud de vibración y energía es la máxima (puntos ventrales). Las dimensiones de la cuenca son las responsables de la frecuencia de oscilación y distancia entre nodos que se produzcan en dichas ondas.

Suelen ser el resultado de sacudidas bruscas.

● **Ondas transitorias o progresivas:**

Son aquellas olas que pueden variar sus dimensiones y por lo tanto su amplitud, temporal y espacialmente. Se pueden formar tanto en la superficie generadas por los vientos como en el interior de la masa oceánica, a causa de los gradientes de temperatura y salinidad.

● **Ondas libres:**

Son aquellas que se generan cuando se aplica una fuerza perturbadora puntual que cesa de inmediato, de forma que la ola sigue su curso libremente a pesar de que la fuerza que la creó ya no esté presente.

Dentro de este grupo se incluyen las olas forzadas en las cuales la perturbación que las origina se aplica de forma continua.

La periodicidad de la fuerza en el tiempo es lo que diferencia a las ondas libres de las forzadas.

Asimismo existe una subclasificación dentro de este grupo basado en el periodo que dura la ola, distinguiéndose:

- 1.- De periodo largo (entre 5 min y 24 h)
- 2.- De gravedad (entre 1 seg y 30 seg)
- 3.- Capilares (menos de 0,1 seg)

## 5.2. Caracterización del oleaje

Para determinar qué estado presenta el mar en una zona determinada, se precisa que tanto las fuerzas restauradoras como generadoras que intervienen estén en equilibrio y que esta situación se mantenga estacionaria durante un pequeño periodo de tiempo.

El estado del mar queda definido por la dirección de propagación, una altura y período significativos, refiriéndose con significativo al promedio del tercio obtenido a partir de las olas que son más altas. Para ello, es preciso conocer el oleaje real. Éste se compone de ondas sinusoidales que se propagan independientemente y se distinguen tres zonas diferenciadas en su desarrollo: área generadora, de propagación y su extinción final en la costa. Cada una de las olas avanza individualmente con una velocidad igual a su longitud de onda, conocida como velocidad de fase pero para el estudio se considera que el conjunto de las olas avanzan con una velocidad común, en grupo, siendo las portadoras de energía.

Se puede distinguir dos tipos diferentes de mar:

- **Mar de viento:** Como su propio nombre indica, es el viento el principal causante de este tipo de mar y se da en las zonas generadoras. Es muy irregular, el período y la longitud de las crestas no están bien definidas, siendo imposible una medición precisa. Las numerosas direcciones de avance existentes y la pequeña longitud de las crestas son las causas de que exista este caos.
- **Mar de fondo:** Es aquel que se da una vez se abandona la zona generadora. La pérdida de energía, la dispersión radial y angular y soldadura son los tres fenómenos que sufre el oleaje. Así pues, el caos que se forma sobre la superficie del mar de viento, se simplifica una vez se abandona la zona de generación y a medida que las olas se alejan del origen de la perturbación.

Las olas formadas incidentes en la costa son más regulares: las crestas tienen longitudes definidas de varios centenares de metros y el período de éstas es similar si se comparan entre ellas. Además, la altura apenas varía de una a otra ola consecutiva. Existe cierta ritmicidad y direcciones predominantes en el fenómeno.

Las olas quedan definidas y estudiadas mediante modelos matemáticos que utilizan descripciones tanto espectrales como estadísticas. La densidad de energía es el elemento fundamental que describe el grupo de olas, pues en ésta se refleja su período o frecuencia y dirección. Así, cada ola se puede simplificar considerándola como una onda sinusoidal.

Los parámetros característicos de una ola pueden cambiar en función de la profundidad a la que se encuentra el fondo del mar. Esta variación depende de la relación entre la profundidad a la que se encuentra el fondo marino (designada por  $d$ ) y la longitud de onda (designada por  $L$ ):  $d/L$ .

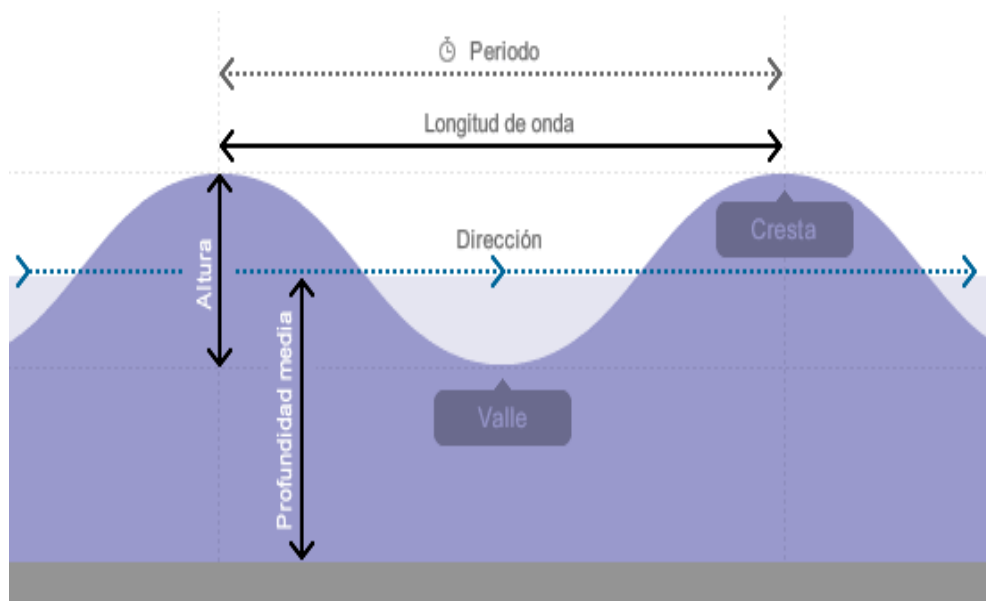
Si  $d/L > 0,5$ , la profundidad del fondo no ejerce apenas influencia en el movimiento de las moléculas de agua que componen una ola que posee una longitud  $L$  de onda. Por el contrario, si  $d/L \leq 0,5$ , el fondo sí tiene influencia. A este primer tipo de agua se les llama profundas y al segundo, someras. Dentro de este último grupo, se distinguen las aguas poco profundas si  $d/L \leq 0,05$  y las aguas en profundidades de transición o intermedias, si  $0,05 \leq d/L \leq 0,5$ .

### 5.2.1. Parámetros de las olas

Los diferentes parámetros que caracterizan una ola y a través de los cuales se determina su potencial son los siguientes:

- Valle: es el punto más bajo de la onda

- Cresta o pico: es el punto más alto de la onda.
- Longitud de la onda (L): es la distancia entre dos crestas (picos) consecutivas.
- Altura de la onda (H): es la distancia entre un valle y una cresta (el doble de la amplitud de la onda).
- Periodo (T): se trata del tiempo medido en segundos, que tarda una cresta o un valle en recorrer una distancia igual a su longitud de onda.
- Pendiente:  $\text{Altura de la onda} / \text{Longitud de la onda}$  (H/L).
- Velocidad de propagación:  $\text{Longitud de la onda} / \text{Periodo}$  (H/T).



**Ilustración 21: Parámetros de una ola [16]**

El tamaño de la ola que será determinante en la cantidad de energía acumulada depende de cuatro factores:

- Velocidad que lleva el viento (intensidad).

- Tiempo durante el cual el viento está soplando (duración)
- Distancia sobre la cual el viento transmite energía a la superficie del océano y mar para formar las olas (alcance).
- Profundidad a la que se encuentra el fondo marino.

Estos factores que causan la formación de las olas no son constantes. Por lo tanto, las olas reales son irregulares y como consecuencia, sus parámetros variables. Es por ello que para poder analizar una ola, se hace una aproximación: se considera un conjunto de olas irregulares cuyo patrón se va repitiendo en el tiempo, es decir es una manera de analizar la ola regular, considerando a ésta como un conjunto de olas irregulares.

Así, para definir el oleaje real se emplean los siguientes parámetros:

- Altura significativa ( $H_s$ ): es la altura promedio del tercio obtenido a partir de las olas que son más altas.
- Periodo de pico ( $T_p$ ): es el periodo del oleaje significativo (el más energético).

Para un correcto diseño y dimensionamiento de dispositivos captadores de energía undimotriz, es necesario una correcta caracterización y estudio del oleaje. A pesar de que éste es irregular, las variaciones que se producen de un año a otro son insignificantes, por lo que es posible la asignación de niveles energéticos a las distintas zonas del mar.

La energía que son capaces de almacenar las olas es enorme. Actualmente, se ha determinado que la energía mundial explotable alcanza el valor de 2 TWh al año, con la que se cubriría el 10 % de la demanda global de electricidad.

La potencia  $P$  medida en kW/m contenida en una ola suponiendo condiciones ideales (onda senoidal, longitud y periodo bien definidos y amplitud constante), se determina mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{g^2 \rho H^2 T}{32\pi} \text{ [kW/m]}$$

Para determinar el periodo y la altura de una ola, se utilizan diferentes dispositivos y satélites que son capaces de medir la variación del nivel del mar medio durante un periodo de tiempo.

Una vez recopilados los datos extraídos de estos dispositivos, se puede calcular la altura significativa de la ola siendo ésta el promedio del tercio obtenido a partir de las olas más altas registradas y el periodo energético, definido como el 80% del  $T_P$  (periodo peak).

### 5.3. Técnicas de estudio de las olas

Las olas representan movimiento de energía, no de un flujo de agua. Por lo tanto, el estudio del oleaje consiste en hallar el contenido medio de energía contenido en un grupo de olas. Las técnicas empleadas para este análisis diferencian entre oleaje regular e irregular.

#### 5.3.1. Oleaje regular

Son aquellas olas cuyos parámetros se mantienen constantes, son olas periódicas. En función de la forma que adquiere el perfil característico, esta

regularidad puede ser no lineal o lineal con su correspondiente sistema de modelado.

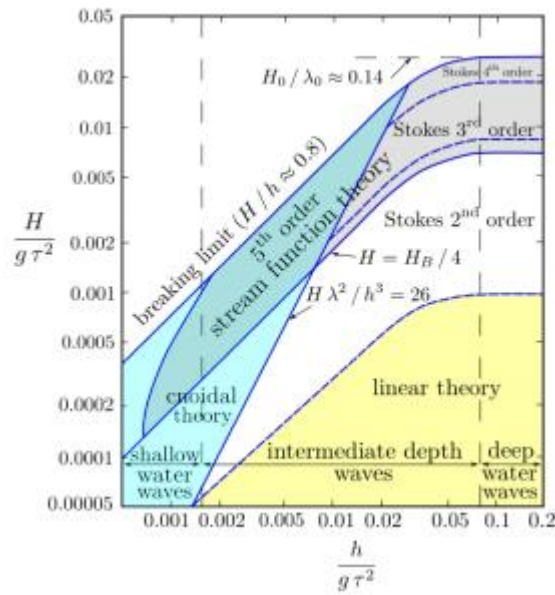
Existen diversas teorías que describen el oleaje regular en función de la distancia a la que se sitúa el dispositivo captador de energía.

De esta forma, para dispositivos offshore, donde las aguas son profundas, el movimiento de las olas se aproxima por una onda sinusoidal, pues la altura que alcanzan éstas en comparación con su longitud es muy pequeña. La teoría de Ayri es la que mejor se adapta a esta situación.

Para dispositivos situados nearshore, donde la profundidad es intermedia, las partículas de agua que forman las olas sí se ven afectadas por el rozamiento del fondo marino por lo que las ondas se deforman y dejan de ser sinusoidales volviéndose asimétricas. Este tipo de olas se definen por la teoría de Stokes.

Finalmente, para los dispositivos situados onshore donde la profundidad es escasa se utilizan las teorías de onda cnoidal o solitaria en el modelado. En esta zona la energía y el potencial del oleaje es el menor, por ello son las menos utilizadas.

Con el fin de determinar cuál de las anteriores teorías resulta idónea para el modelado, se emplea el gráfico de Le Méhauté. En él se relacionan los parámetros de profundidad y altura de onda con el cuadrado del período por la gravedad, resultando así un punto en el gráfico que nos indica la teoría de entre todas las existentes que mejor se adapta a las características del conjunto de olas.



**Ilustración 22: Diagrama Le Méhauté [18]**

Existe, adicionalmente, un parámetro adimensional, el número de Ursell, que se emplea para determinar si utilizar la teoría Cnoidal o de Stokes en aguas poco profundas. Si  $U_R > 21,6$  se emplearía la teoría Cnoidal. En caso contrario, la teoría de Stokes.

$$U_r = \frac{HL^2}{d^3}$$

Siendo:

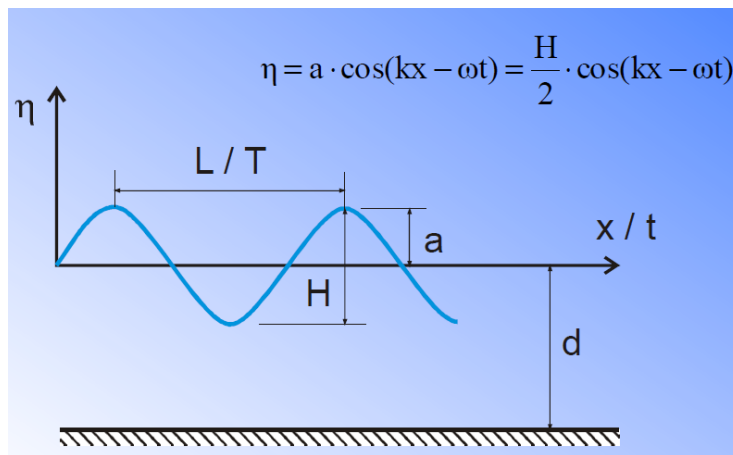
H: altura promedio

L: Longitud de onda promedio

d: Profundidad media a la que se encuentra el fondo marino.

### Teoría de Ayri

Se trata de una simplificación fruto del análisis que se lleva a cabo de la ola cuando se propaga en un fluido. El perfil de la ola en dicha teoría viene descrito mediante una función coseno y es simétrico.



a=amplitud de onda
H=altura de la ola
d= profundidad del fondo marino
L= longitud de onda
T= periodo

**Ilustración 23: Perfil de la ola de Ayri [20]**

La ola analizada es el resultado de la superposición de un conjunto de olas, cada una de las cuales presenta unas características diferentes al resto (altura, dirección y período) y por lo tanto, una velocidad propia. A partir de estas velocidades propias se extrae una velocidad promedio de grupo de olas que será la que se emplee en el cálculo del potencial aprovechable en una determinada zona del mar.

Las expresiones utilizadas para definir el oleaje en la teoría de Ayri se presentan en la siguiente tabla:

Profundidad relativa	Aguas poco profundas $\frac{1}{20} > \frac{d}{L}$	Aguas intermedias $\frac{1}{20} < \frac{d}{L} < 0,5$	Aguas profundas $\frac{d}{L} > 0,5$
Perfil $\eta$	$\eta = \frac{H}{2} \cos\left[\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right]$	$\eta = \frac{H}{2} \cos\left[\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right]$	$\eta = \frac{H}{2} \cos\left[\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right]$
Celeridad de ola $c$	$c = \sqrt{gd}$	$c = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left[\frac{2\pi d}{L}\right]$	$c = \frac{gT}{2\pi}$
Longitud de onda $L$	$L = T\sqrt{gd}$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left[\frac{2\pi d}{L}\right]$	$L = \frac{gT^2}{2\pi}$
Velocidad de grupo de olas $c_g$	$c_g = c = \sqrt{gd}$	$c_g = \frac{c}{2} \left[1 + \frac{4\pi d/L}{\sinh 4\pi d/L}\right]$	$c_g = c/2 = \frac{gT}{4\pi}$
Velocidad del componente horizontal del agua $u$	$u = \frac{H}{2} \sqrt{\frac{g}{d}} \cos\theta$	$u = \frac{HgT \cosh[2\pi(d+z)/L]}{2L \cosh[2\pi d/L]} \cos\theta$	$u = \frac{\pi H}{T} e^{\left(\frac{2\pi z}{L}\right)} \cos\theta$
Velocidad del componente vertical del agua $w$	$w = \frac{H\pi}{T} \left[1 + \frac{z}{d}\right] \sin\theta$	$w = \frac{HgT \sinh[2\pi(d+z)/L]}{2L \cosh[2\pi d/L]} \sin\theta$	$w = \frac{\pi H}{T} e^{\left(\frac{2\pi z}{L}\right)} \sin\theta$

**Tabla 1: Ecuaciones de la teoría de Ayri. Fuente: elaboración propia**

Finalmente, el cálculo de la energía potencial y cinética se obtendría de la siguiente manera:

$$E_P = \frac{\rho g H^2}{16}$$

$$E_c = \frac{\rho g^2 H^2}{16} \frac{k}{w^2} \operatorname{tanh}(kd) = \frac{\rho g H^2}{16}$$

Así, la energía que la ola transporta, por metro de frente de ola, será la suma de la energía potencial más cinética:

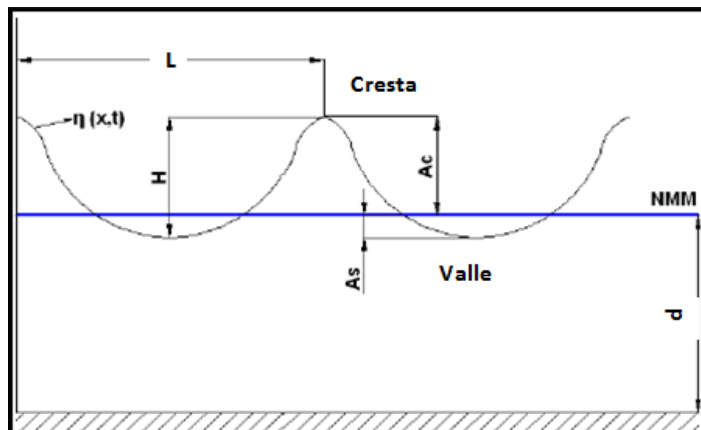
$$E = E_p + E_c = \frac{\rho g H^2}{8}$$

Y la potencia por unidad de frente de ola sería:

$$P = \frac{\rho g H^2}{8} C_g$$

### Teoría de Stokes de segundo orden

El perfil de la ola en dicha teoría viene descrito mediante crestas delgadas y altas y valles anchos y planos.



a=amplitud de onda
H=altura de la ola
d= profundidad del fondo marino
L= longitud de onda
T= periodo

**Ilustración 24: Perfil de la ola de Stokes [18]**

Como en el anterior caso, la ola analizada es el resultado de la superposición de un conjunto de olas, cada una de las cuales presenta unas

características diferentes al resto (altura, dirección y período) y por lo tanto, una velocidad propia. A partir de estas velocidades propias se extrae una velocidad promedio de grupo de olas que será la que se emplee en el cálculo del potencial aprovechable en una determinada zona del mar.

Profundidad relativa	Aguas intermedias $\frac{1}{20} < \frac{d}{L} < 0,5$
Perfil $\eta$	$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - wt) + \frac{\pi H^2}{2L} \frac{\cosh(kd)[2 + \cosh(2kd)]}{(\sinh(kd))^3} \cos(kx - wt)$
Celeridad de ola $c$	$c = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left[\frac{2\pi d}{L}\right]$
Longitud de onda $L$	$c = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left[\frac{2\pi d}{L}\right]$
Velocidad de grupo de olas $c_g$	$c_g = \frac{c}{2} \left[1 + \frac{4\pi d/L}{\sinh 4\pi d/L}\right]$
Velocidad del componente horizontal del agua $u$	$u = \frac{H\pi}{T} \frac{gT}{L} \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \cos(kx-wt) + \frac{3}{4} \left(\frac{H\pi}{L}\right) c \frac{\cosh 2k(d+z)}{\sinh^4 kd} \cos 2(kx-wt)$
Velocidad del componente horizontal del agua $w$	$w = \frac{H\pi}{T} \frac{gT}{L} \frac{\sinh k(d+z)}{\sinh kd} \sin(kx-wt) + \frac{3}{4} \left(\frac{H\pi}{L}\right) c \frac{\sinh 2k(d+z)}{\sinh^4 kd} \sin 2(kx-wt)$

**Tabla 2: Ecuaciones de la teoría de Stokes de segundo orden.**

**Fuente: elaboración propia**

La energía que la ola transporta, por metro de frente de ola y la potencia contenida se calcula de la siguiente forma:

$$E = \frac{\rho g H^2}{16} \left[ 1 + \frac{9}{64} \frac{H^2}{\left(\frac{2\pi}{L}\right)^4 d^6} \right]$$

$$P = c_g \frac{\rho g H^2}{16} \left[ 1 + \frac{9}{64} \frac{H^2}{\left(\frac{2\pi}{L}\right)^4 d^6} \right]$$

### 5.3.2. Oleaje irregular

El oleaje real es irregular, pues es un fenómeno aleatorio en función del tiempo y el espacio en el cual los parámetros no se mantienen constantes.

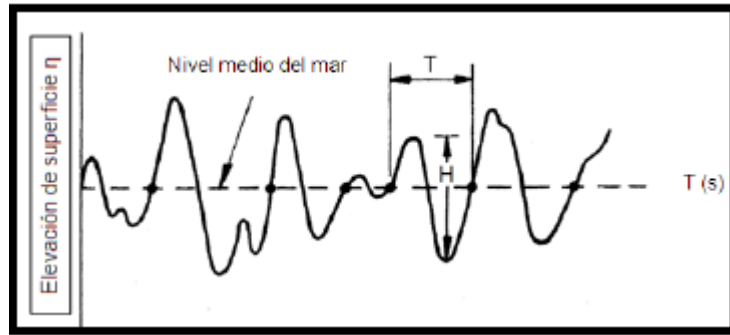
La descripción del movimiento que llevan dos puntos cercanos de la misma ola es diferente y sólo tienen parecido sus parámetros estadísticos. Por ello, se emplean dos tipos de descripciones para evaluar el potencial energético que presenta el oleaje real en función de cómo se gestionen los datos obtenidos de un registro: descripción espectral y estadístico-geométrica.

Debido a la variabilidad de los parámetros en el tiempo, para evaluar este potencial, se emplean registros con una duración corta, generalmente una hora, que reciben el nombre de estados del mar. Su duración es suficiente para que exista fiabilidad estadística.

#### **Descripción estadístico-geométrica**

Esta descripción describe el comportamiento de las olas mediante parámetros estadísticos. Esto se obtiene descomponiendo en olas individuales un registro que pueden ser diferenciadas mediante el criterio de paso ascendente. Éste define una ola como el comportamiento que presenta el mar, el cual queda registrado entre dos fases de ascenso sucesivas de la superficie por encima de un nivel predeterminado medio del mar. Así se registra para todas y cada una de las olas su periodo  $T_i$  y su altura  $H_i$ .

Mediante esta descripción se define una distribución discreta de las distintas frecuencias lo que puede resultar un inconveniente.



**Ilustración 25: Criterio de paso ascendente [18]**

En cada estado de mar se registran unos datos a partir de los N valores que se obtienen de periodo y altura de las diferentes olas. A partir de ellos se obtienen los parámetros característicos que se muestran en la siguiente tabla:

Parámetro	Descripción
Altura ola media cuadrática $H_{rms}$	$H_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i^2}$
Altura de ola significativa $H_s$	Promedio de altura del tercio mayor, de alturas, de las olas de un registro de N olas.
Altura máxima $H_{max}$	Es el valor mayor de las alturas del registro.
Periodo medio estadístico $T_z$	$T_z = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i$
Periodo significativo $T_s$	Promedio de periodo del tercio mayor, de alturas, de las olas de un registro de N olas.
Periodo entre crestas $T_c$	Tiempo que transcurre entre dos crestas sucesivas.
Parámetro de irregularidad $r$	$r = \frac{T_c}{T_z}$

**Tabla 3: Parámetros característicos de la descripción estadístico-geométrica [18]**

Cada una de las olas tiene un perfil y unos parámetros característicos que se calculan del mismo modo que en la teoría de Ayri. Para el cálculo del perfil de la onda total obtenido a partir de un registro obtenido a partir de N olas, se emplea la serie de Fourier:

$$\eta_N(t) = \sum_{i=1}^N a_i \cos(k_i x - w_i t)$$

Los parámetros característicos de esta onda total se calculan del mismo modo que en la teoría de Ayri pero sustituyendo los valores promedio de las olas regulares por los característicos obtenidos a partir del conjunto de las irregulares y descritos en la tabla anterior.

### **Descripción espectral**

En este caso, el oleaje se define como una señal compleja y se caracteriza por su función de densidad espectral o espectro de energía. De esta forma se trabaja con toda la información con el objetivo de acercarse lo máximo posible a la realidad.

Para el cálculo del perfil de la superficie y su variación a través del tiempo se emplea la integral de Fourier:

$$\eta(t) = \int_0^{\infty} A(w) e^{iwt} dw$$

Existen diversos modelos espectrales los cuales se generan a partir de la predicción de un estado de mar determinado, con lo que nos refleja una situación hidrodinámica y meteorológica concreta. Los más usados y que más se aproximan a la realidad son los siguientes:

- Espectro de Pierson Moscowitz (1964): Este espectro se obtuvo a partir de estudios realizados en el mar del norte. Se utiliza para representar estados del mar completamente desarrollados producidos por el viento. La duración y alcance se consideran infinitos.

$$P = 0,549H_s^2 T_z$$

- Espectro de ISSC (1964): es una modificación pequeña del espectro de Bretchneider.

$$P = 0,595H_s^2T_z$$

- Espectro de Bretchneider-Mitsuyasu (1970): este espectro es fruto de una propuesta llevada a cabo por Bretchneider donde los periodos y alturas siguen la distribución de Rayleigh. A continuación, Mitsuyasu llevo a cabo un ajuste para que el alcance del estado de mar fuese limitado.

$$P = 0,441H_s^2T_z$$

- Espectro de Jonswap (1973): Este espectro representa picos agudos en un alcance limitado de olas desarrolladas, bajo la acción de vientos fuertes.

$$P = 0,458H_s^2T_z$$



## **CAPÍTULO IV: Estudio de la zona de emplazamiento**

### **6. Justificación de la explotación del recurso undimotriz en España**

Centrándonos en España y en la energía mareomotriz, nuestro país no dispone de las localizaciones necesarias para llevar a cabo la instalación de este tipo de centrales, pues hay importantes barreras que lo impiden: un gran desembolso económico, impactos estructurales sobre el paisaje de la costa y visuales, etc. Excepcionalmente, existen zonas portuarias con unas dimensiones considerables donde se podrían llevar a cabo estas obras civiles pero entrarían en conflicto con otras actividades de la zona.

Por otro lado, la energía maremotérmica tampoco se presenta como una opción pues España no cuenta en sus costas con la diferencia de temperatura necesaria (20°C) para la implementación de dispositivos aprovechadores de esta energía.

En energía de las corrientes marinas, el sur peninsular presenta un importante potencial. Sin embargo, su viabilidad está limitada debido a las numerosas restricciones ocasionadas por el intenso tráfico marítimo.

En cuanto a la energía undimotriz, los mayores potenciales energéticos se encuentran en las latitudes comprendidas entre 30° y 60°. España forma parte de este rango lo que convierte a sus costas en un lugar idóneo para explotar este recurso. Todo el país se encuentra rodeado por agua, posee cerca de 5.978 km de costa con olas de un gran potencial eléctrico (37.650 MW aproximadamente), especialmente la zona del Mar Cantábrico y Galicia por su situación geográfica. Si se aprovechara este recurso, se lograría cubrir el 20%

del consumo eléctrico total en España [1]. Es por ello que resulta evidente que el estudio sobre cómo generar energía eléctrica a partir del movimiento de las olas en el propio país es un gran incentivo y merecedor de ser investigado.

Así, mediante la explotación de esta fuente de energía renovable y como consecuencia, haciendo un uso menor de los combustibles fósiles se contribuiría a lograr una mayor independencia energética de nuestro país así como al cuidado del medio ambiente.

Por todo ello, debido a las características de nuestras costas, la energía undimotriz es la única que se presenta como un recurso viable y prometedor para su futura explotación.

## **6.1. Justificación de la elección del dispositivo Pelamis**

Para elegir la tecnología adecuada, es necesario tener en cuenta una serie de condicionantes o restricciones que se quieren satisfacer:

Mediante el diseño de un dispositivo aprovechador de energía undimotriz, se busca, en primer lugar, disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> de la zona mediante una reducción del empleo de combustibles fósiles.

Además, se desea situar el dispositivo construido en alta mar con el fin de reducir el impacto visual para contar con el apoyo de la comunidad de la zona. A esa distancia de la costa, la tecnología empleada debe hacer frente a condiciones marinas y ambientales adversas, soportar ciclones y tormentas.

También tiene que ser resistente a las importantes fuerzas que se generan offshore como consecuencia del oleaje profundo.

Por último, se quiere que el mantenimiento del dispositivo sea mínimo para reducir costes y también que deje la menor huella posible en el ambiente cuando su vida útil acabe y sea necesario su desmantelamiento.

Pelamis ha sido diseñado con el fin de cumplir todos los requisitos anteriormente descritos. En lugar de optar por la optimización del sistema con el fin de generar la máxima energía posible, se ha preferido desarrollarlo de tal manera que sea resistente a las condiciones marinas adversas que se generan en alta mar. Así, en lugar de absorber toda la energía que acumulan las olas, solamente aprovecha una parte. De esta forma, se logra que el convertidor pueda estar durante un período prolongado de tiempo en funcionamiento sin necesidad de mantenimiento.

Por todo ello, la tecnología seleccionada que cumple todas las características mencionadas anteriormente y la que consideramos idónea es el sistema Pelamis.

## **6.2. Zonas energéticamente viables en España**

Con el fin de determinar si una zona reúne las características de viabilidad y rentabilidad para ser explotada energéticamente el potencial contenido en sus aguas, es necesario analizar una serie de parámetros que poseen sus olas: la altura significativa de la ola, su potencial y su energía media anual.

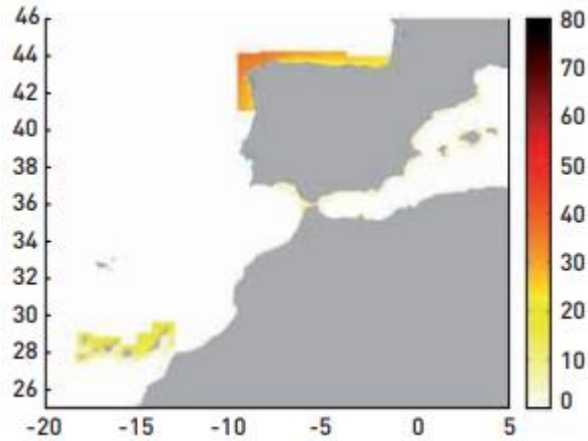
### 6.2.1. Evaluación del potencial energético de las costas españolas

España cuenta con un gran potencial energético marítimo, siendo la energía undimotriz, por las características de sus costas, la más viable y prometedora de desarrollo. Se estima que si se aprovechara este recurso, se podría cubrir hasta un 20% de la demanda eléctrica total de nuestro país. [1]

Por esta razón, el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDAE) ha llevado a cabo el “Estudio de la Evaluación del Potencial de Energía de las Olas en España” con el fin de realizar un atlas que analice el potencial de la energía contenida en las olas para toda la costa española con el objetivo de integrarlo en el Plan de Energías Renovables 2011-2020. Tras los resultados obtenidos, se extraen las siguientes conclusiones [2]:

- Los mayores niveles de potencial se encuentran en Galicia, teniendo sus costas una potencia media de 40-45 kW/m en profundidades indefinidas.
- En segundo lugar, el Mar Cantábrico es la siguiente zona costera con mayor potencial después de Galicia, con una potencia media de 30 kW/m y que disminuye de Oeste a Este.
- El norte de las islas Canarias se encuentra en tercer lugar con una potencia media de 20 kW/m.
- Por último, con una potencia media de menos de 10 kW/m destacarían el sur de las Islas Canarias, el Golfo de Cádiz y el Mediterráneo español.
- Los resultados que se han obtenido progresivamente van disminuyendo con el calado del medio marino.

- Las estaciones influyen fuertemente en la potencia generada, alcanzando hasta 35 kW/m en el Norte de Canarias, 50 Kw/m en Cantabria y 75 kW/m en Galicia dependiendo del mes en el que nos encontremos.



**Ilustración 26: Potencia media anual (kW/m) en el litoral español [3]**

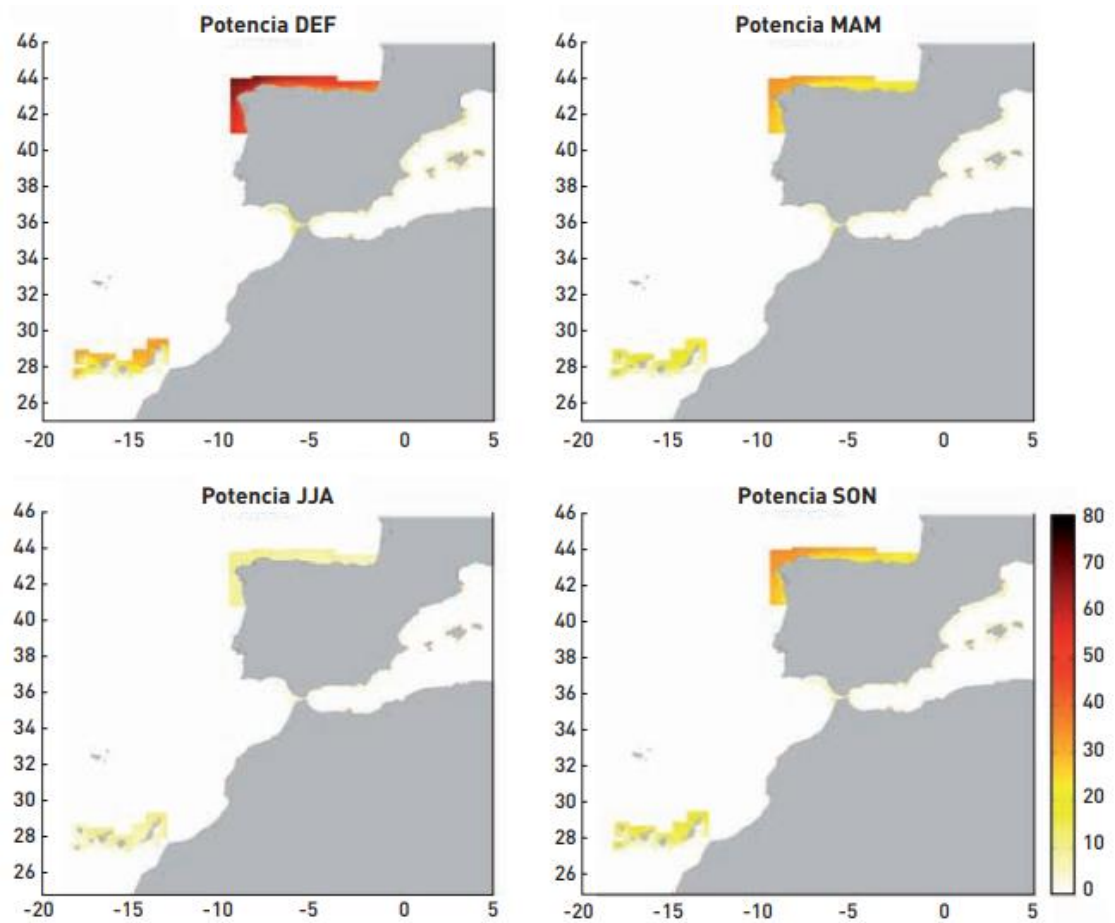


Ilustración 27: Potencia media estacional (kW/m) en el litoral español [3]

## 7. Emplazamiento

### 7.1. Selección del emplazamiento del dispositivo

A partir de los datos extraídos del estudio realizado por IDAE, se procede a instalar el dispositivo Pelamis en la zona costera de la Comunidad Autónoma de Galicia por ser ésta la región española con mayores niveles de potencial de aprovechamiento de la energía undimotriz para la generación de electricidad.

Puesto que se quiere emplazar en el Mar Cantábrico, se situará en una zona costera de Lugo, concretamente en las proximidades de la población de Burela a la que se quiere abastecer energéticamente mediante la instalación de este parque undimotriz.

Las coordenadas geográficas exactas de instalación del dispositivo y la batimetría de la zona se presentan en la siguiente tabla:

LONGITUD (°)	LATITUD (°)	PROFUNDIDAD
07° 16' 49.6'' O	43° 40' 00.9'' N	55 m

**Tabla 4: Profundidad y coordenadas geográficas de la zona de emplazamiento.**

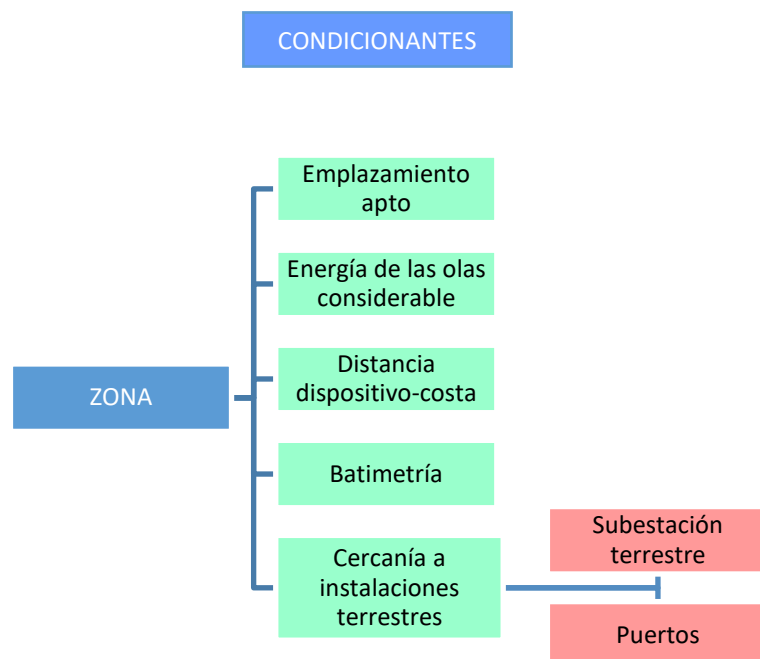
**Fuente: elaboración propia**

## 7.2. Justificación del emplazamiento

La zona ha sido seleccionada por la razón de cumplir una serie de condicionantes necesarios para la instalación de un dispositivo Pelamis. Estos son:

- Tipo de ubicación apta para la explotación de la energía undimotriz y la instalación de su correspondiente parque marino para la generación de electricidad según la “*Normativa del estudio estratégico ambiental del litoral español para la instalación de parques marinos*”.
- Posibilidad de obtener una cantidad de electricidad suficiente debido a que el potencial energético de esa zona es considerable.

- Existencia de una profundidad suficiente (superior a los 50 m) a una distancia con respecto a la costa adecuada (5 -10 km) para la instalación de un convertidor de tipo Pelamis.
- Cercanía a un puerto, lo que permite minimizar los costes referentes a la logística de transporte, que en el tipo de instalaciones undimotrices son de una gran consideración.



**Esquema 1: Condicionantes a tener en cuenta para la elección de una zona.**

**Fuente: elaboración propia**

### 7.2.1. Zona apta

Mediante la “*Normativa del estudio estratégico ambiental del litoral español para la instalación de parques marinos*”, se estudian aquellas zonas de dominio público terrestre-marítimo favorables y viables para la implementación

de parques marítimos teniendo en consideración los efectos ambientales. En esta normativa se diferencian tres tipos de zona:

- **Aptas:** representadas en color verde. Presenta las condiciones ambientales más adecuadas para la instalación y buen funcionamiento de un parque de energía undimotriz. Como se observa en el mapa, el emplazamiento seleccionado para la instalación de nuestro dispositivo Pelamis, se corresponde con una zona apta.
- **Con condicionantes medioambientales:** representadas en color amarillo. Algún factor ambiental condiciona el buen desarrollo del parque por lo que debe ser estudiado con el fin de determinar los posibles impactos sobre el paisaje de las instalaciones.
- **Rojas:** representadas en color rojo. Se debe evitar instalar en estas zonas los dispositivos undimotrices por dos motivos: presencia de efectos ambientales que entran en conflicto con la instalación de la tecnología o ser zonas destinadas ya a otros usos con imposibilidad de coexistir con la presencia de un parque de generación eléctrica.



**Ilustración 28: Zonas aptas y no aptas para la instalación de parques de energía undimotriz [4]**

Además, la costa gallega únicamente permite la instalación de dispositivos offshore y nearshore, pero no onshore pues sus costas son territorio protegido según informes de “Geoportal”

### 7.2.2. Potencial energético

La rentabilidad de la instalación de un dispositivo convertidor de energía undimotriz en electricidad depende de la energía almacenada por las olas del mar, producidas principalmente como consecuencia de la acción del viento al friccionar con la superficie del agua. La potencia almacenada por la ola depende en gran medida de su altura (cuanto más altura más potencia), siendo ésta mayor cuanto mayor es el viento incidente.

De los datos archivados en “Puertos del Estado” y en la “Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)” sobre el oleaje y los vientos en las aguas de la costa gallega del Mar Cantábrico, se extraen ciertas conclusiones: por un lado, los

vientos predominantes provienen del oeste (especialmente el WNW y WSW) con una velocidad entre 7 y 9 m/s en la escala Beaufort y el oleaje característico es el del cuarto cuadrante (entre el NW y N sobre todo). Esto nos indica la presencia de un mar de fondo procedente de temporales atlánticos entre el NW y N y por encima de los 45° N.

Las olas que dominan tienen una altura comprendida entre 1,5 y 2 metros y un período comprendido entre 5 y 10 segundos. Destaca el mar de fondo. El potencial medio estacional en kW/m en la zona de emplazamiento se muestra en la siguiente tabla y los procedimientos y cálculos para llegar a estos resultados se muestran en el “DOCUMENTO 2, CÁLCULOS” sección “CÁLCULOS I: Potencial energético medio de la zona de emplazamiento”:

<b>INVIERNO</b>	<b>PRIMAVERA</b>	<b>VERANO</b>	<b>OTOÑO</b>
60,73	33,00	13,37	38,32

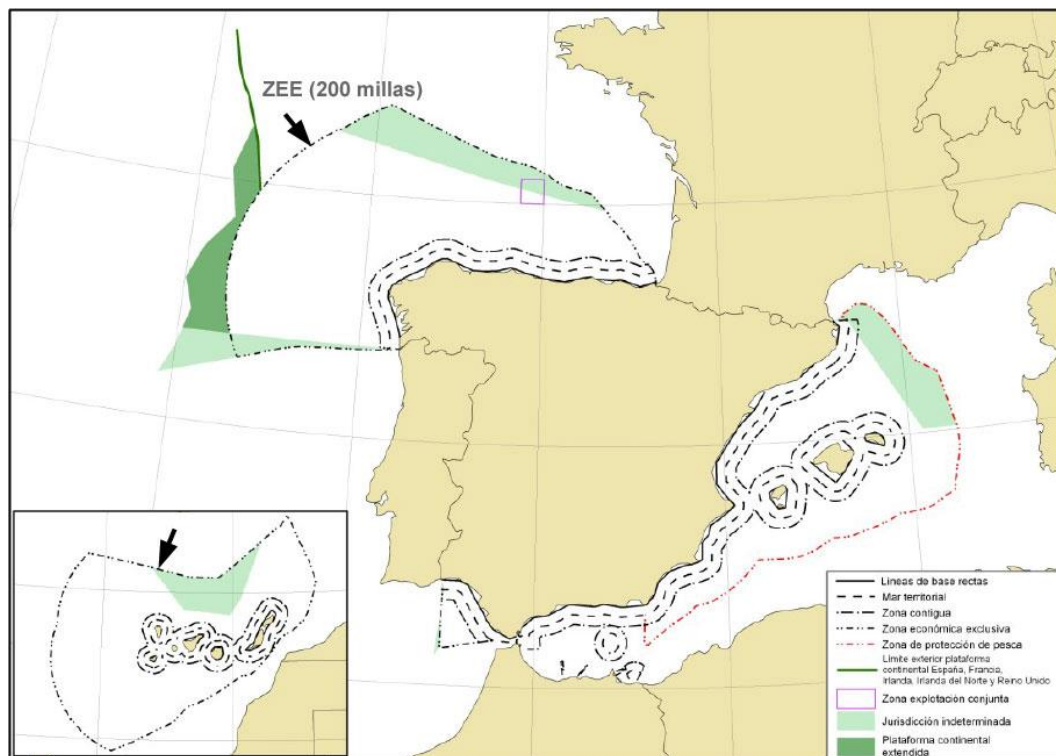
**Tabla 5: Potencial medio estacional del oleaje en la zona de emplazamiento.**

**Fuente: elaboración propia**

Así, el potencial medio anual de la zona de emplazamiento del dispositivo es de 36,36 kW/m de frente de ola, siendo éste un valor apropiado para instalar un dispositivo aprovechador de la energía undimotriz, tal y como lo determina la investigación llevada a cabo por IDAE sobre esta forma de obtención energética.

### 7.2.3. Distancia del dispositivo a la costa

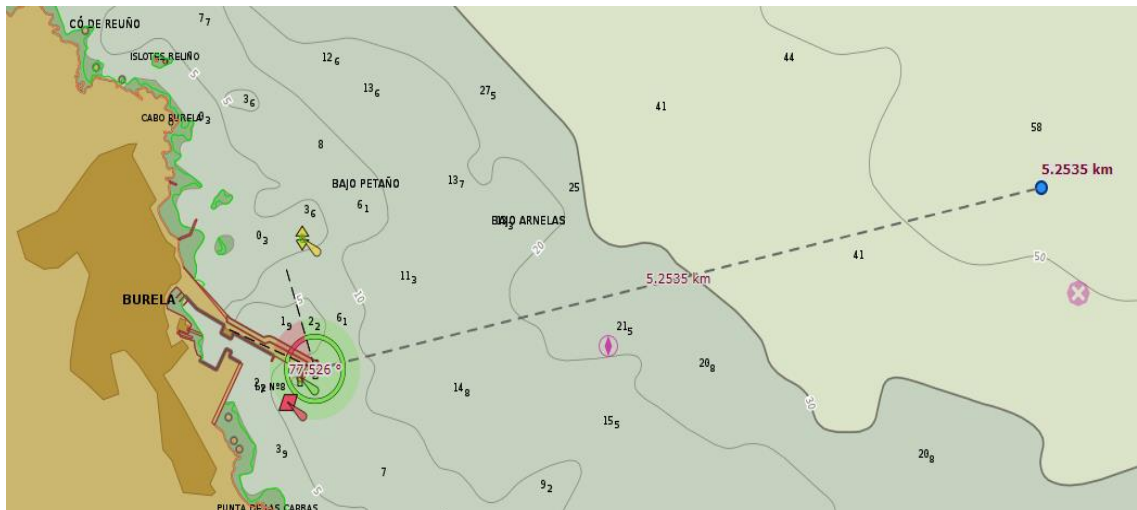
El dispositivo a diseñar deberá ser situado en una zona donde el Estado español ejerza plena soberanía. Conforme al Real Decreto legislativo 2/2011, esta zona se extiende hasta aproximadamente una distancia de 20 km (doce millas náuticas). Esta medida es tomada a partir de líneas de base desde donde se mide su anchura.



**Ilustración 29: Zona territorial perteneciente al estado español [5]**

El dispositivo Pelamis debe ser situado a una distancia comprendida entre los 5 y 10 km con respecto a la costa. Esto es así porque cuanto más lejos se encuentra de la costa, mayores niveles de potencial alcanzará el oleaje y por lo tanto, más electricidad se generará, obteniendo así una rentabilidad del dispositivo. Además, se logra que el impacto visual sea lo menor posible.

Este parámetro es decisivo en la determinación del coste total que supone la instalación del parque, dado que cuanto más alejado se encuentre el dispositivo de la costa, será necesaria una longitud mayor de los cables, incrementándose, como consecuencia, el precio. Por ello se ha instalado el dispositivo lo más cerca de la costa que la batimetría ha permitido.



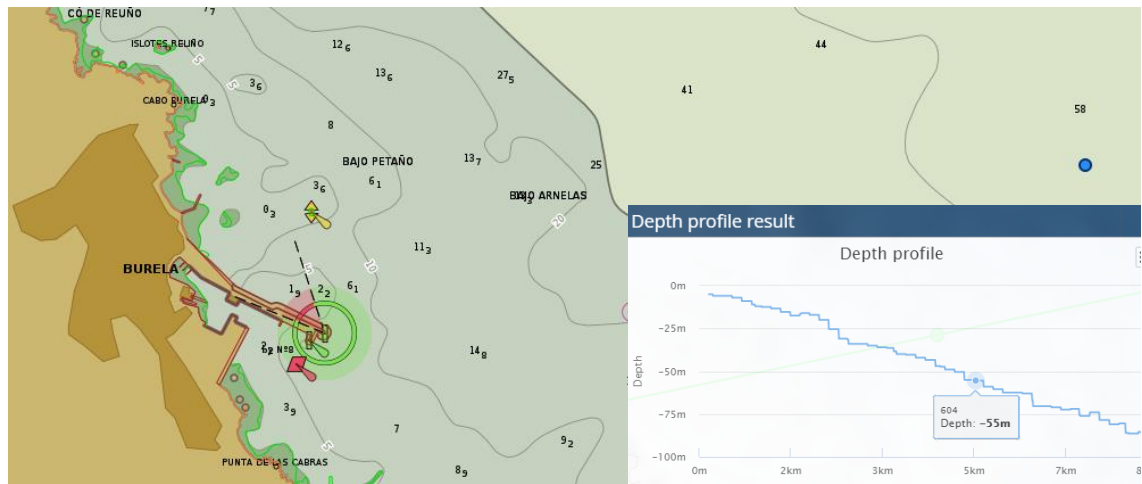
**Ilustración 30: Distancia desde el puerto de Burela hasta el dispositivo Pelamis**

[6]

#### 7.2.4. Batimetría

La profundidad del fondo marino es un parámetro importante cuando se quiere instalar un parque de aprovechamiento de energía undimotriz. En el caso del convertidor proyectado, para su buen funcionamiento la batimetría debe ser superior a los 50 m.

La costa gallega cuenta con la ventaja de que a poca distancia de la costa, las profundidades son considerables.



**Ilustración 31: Batimetría desde el puerto de Burela hasta la zona de instalación de Pelamis representada por el punto azul [7]**

### 7.2.5. Distancia a instalaciones terrestres

Otro parámetro fundamental a tener en cuenta a la hora de seleccionar dónde ubicar un parque undimotriz está relacionado con la proximidad a las subestaciones terrestres a las que se envía la corriente eléctrica generada por el dispositivo. La cercanía a una estación de transformación eléctrica supone una reducción del coste de instalación ya que cuanto menor es esta distancia, la cantidad de cable necesitado también es menor.



Ilustración 32: Mapa de las redes eléctricas cercanas a Burela [8]

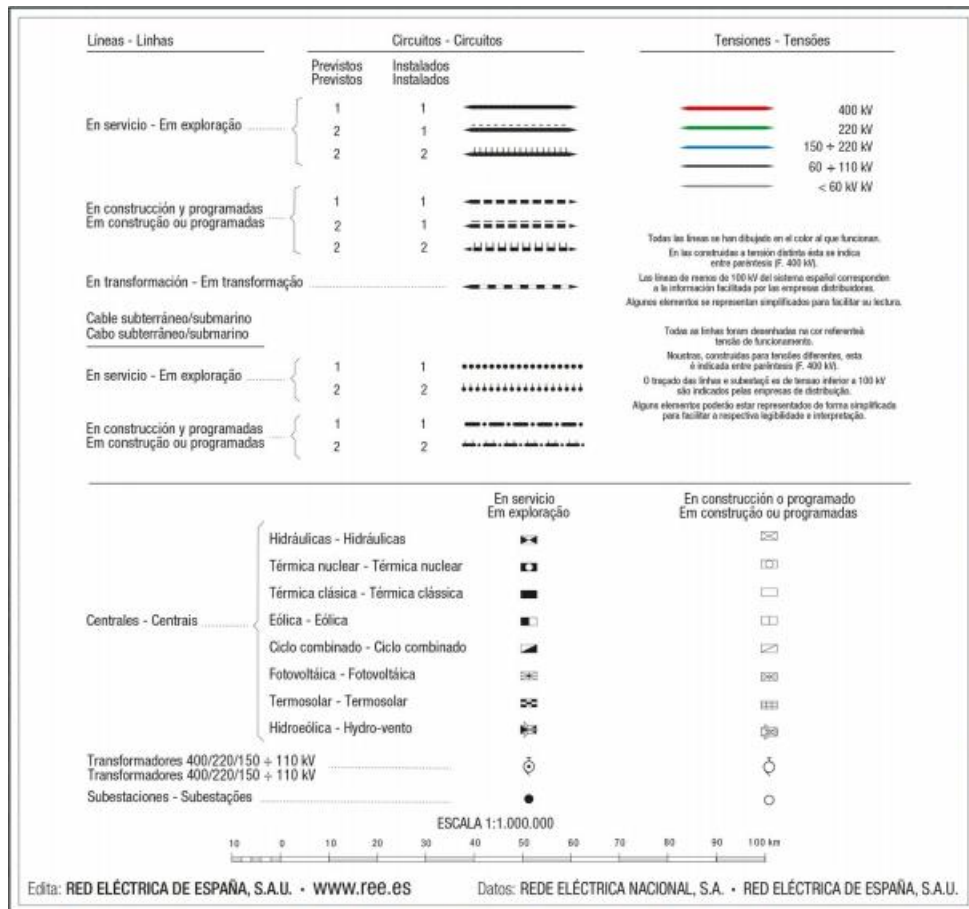
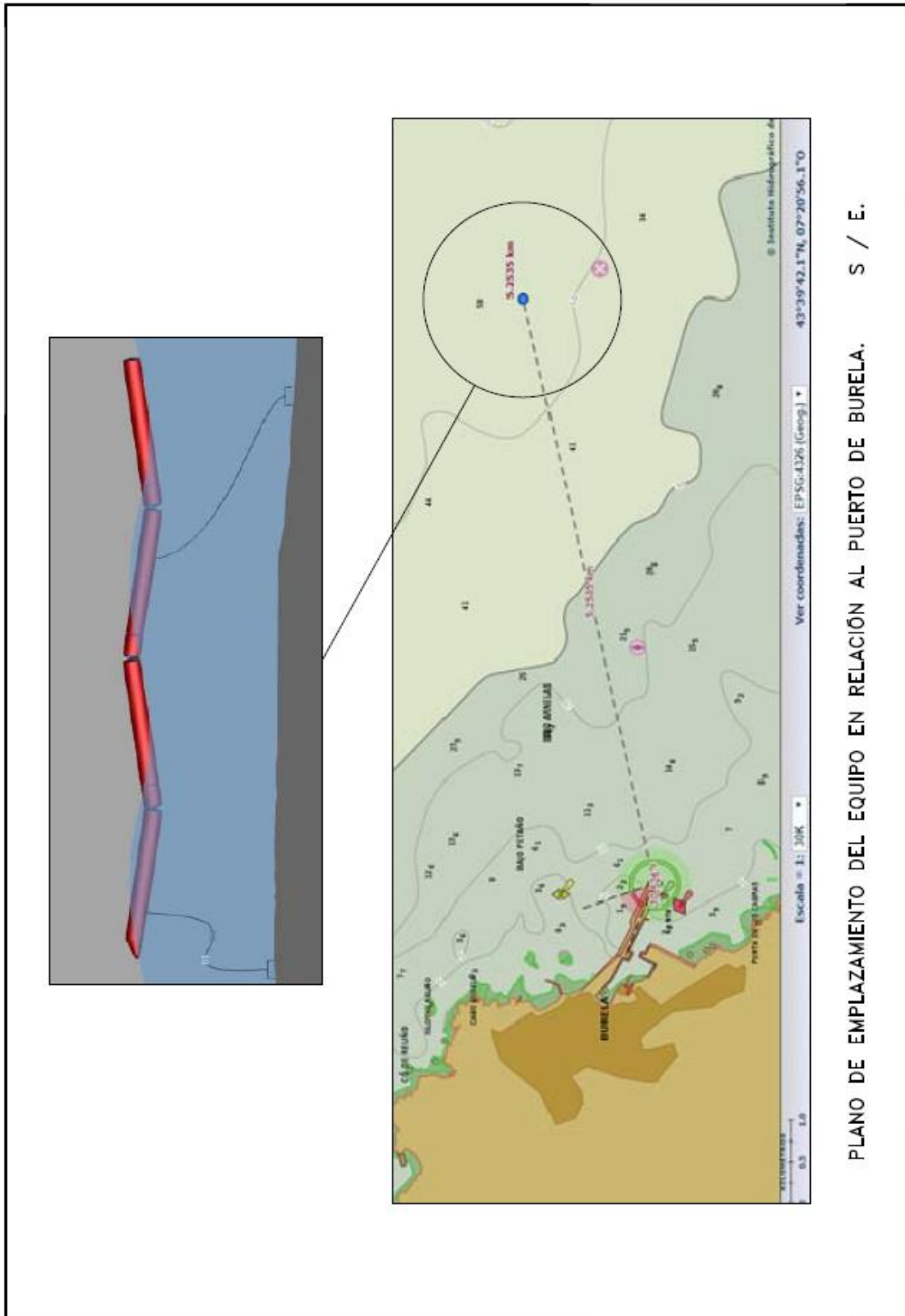


Ilustración 33: Leyenda de la Red Eléctrica Española [8]

Además, aparte de ser necesaria la consideración de la proximidad de estaciones, también es conveniente que el parque undimotriz que se instale se encuentre cerca de astilleros o puertos, de forma que la distancia que precisan recorrer los buques de transporte de los diferentes equipos y materiales empleados en el parque sea la menor posible, consiguiendo así una reducción del coste. Dado el gran tamaño de este tipo de instalaciones, el transporte es uno de los mayores costes a hacer frente.



PLANO DE SITUACIÓN DEL MUNICIPIO Y DEL PUERTO DE BURELA  
EN LA COSTA DE LUGO. ( MAR CANTÁBRICO ). ESCALA : S / E



PLANO DE EMPLAZAMIENTO DEL EQUIPO EN RELACIÓN AL PUERTO DE BURELA. S / E.

## 8. Consumo energético de la población de Burela

Este proyecto tiene como objetivo el abastecimiento energético del conjunto de viviendas residenciales de una población costera de la provincia de Lugo, concretamente Burela.

Actualmente, cuenta con una población, según el “Concello de Burela,” de aproximadamente 9.552 habitantes. Para determinar el consumo energético del conjunto de sus habitantes suponemos que cada vivienda está habitada por cuatro personas, lo que corresponde a la familia nuclear.

Así suponiendo que cuatro personas viven en cada vivienda obtenemos un total de:

$$\frac{9.524 \text{ habitantes}}{4} = 2.381 \text{ viviendas}$$

Ahora se procede a determinar el consumo energético de la hipótesis realizada considerando que Burela cuenta con un total de 2.381 viviendas. Este cálculo se realiza en base al estudio llevado a cabo por IDAE sobre “Consumos del Sector Residencial en España,” (para consulta se encuentra en: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_Documentacion\\_Basica\\_Residencial\\_Unido\\_c93da537.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Documentacion_Basica_Residencial_Unido_c93da537.pdf))

En base al estudio anteriormente mencionado, el consumo energético medio de una vivienda en el Atlántico Norte es de 0,799 tep como media anual siendo:

$$1 \text{ tep} = 11.630 \text{ kWh}$$

Por lo tanto el consumo energético anual de una vivienda sería:

$$0,799 \times 11.630 = 9.292,37 \text{ kWh/año}$$

Y el consumo total del conjunto de viviendas que se quiere cubrir mediante la instalación de dispositivos es:

$$9.292,37 \times 2.381 = 22.125.132,97 \text{ kWh/año}$$

## 9. Estudio del recurso undimotriz

Se busca cuantificar la energía total producida por un dispositivo Pelamis en la zona de emplazamiento así como las horas de funcionamiento de dicho convertidor y mediante el factor de capacidad, el uso de la capacidad del parque de generación undimotriz. Dichos cálculos energéticos y el procedimiento para su determinación se hallan en el “-DOCUMENTO 2, CÁLCULOS-” sección “CÁLCULOS II: Estudio del recurso undimotriz”

En la tabla siguiente se muestra un resumen de los valores obtenidos: el total de la energía obtenida por un convertidor Pelamis en un año en la ubicación seleccionada de emplazamiento, su factor de capacidad en valor porcentual y el tiempo de funcionamiento:

<b>Energía total generada (kWh/año)</b>	<b>FC (%)</b>	<b>Tiempo de funcionamiento (h)</b>
<b>4.070.492,030</b>	<b>61,956</b>	<b>5.427,323</b>

**Tabla 6: Estudio del recurso undimotriz. Fuente: elaboración propia**

## 9.1. Parque undimotriz

Mediante la instalación de dispositivos Pelamis, se busca abastecer energéticamente a la población costera de Burela que tiene un consumo medio anual de 22.125.132,97 kWh/año. Puesto que una unidad de un dispositivo Pelamis, según lo determinado en el “-DOCUMENTO 2, CÁLCULOS-” sección “CÁLCULOS II: Estudio del recurso undimotriz” genera 4.070.492,030 kWh/año:

$$\frac{22.125.132,97}{4.070.492,030} = 5,44$$

Por lo tanto, serán necesarios seis dispositivos Pelamis para lograr abastecer energéticamente a la población de Burela.

De este modo, teniendo en cuenta que la potencia nominal de cada dispositivo Pelamis es de 750 kW, el parque a instalar será de 4,5 MW



## **CAPÍTULO V: Desarrollo de un dispositivo aprovechador de energía undimotriz**

### **10. Selección del dispositivo: Pelamis**

#### **10.1. Introducción**

El dispositivo a instalar es Pelamis. Este convertidor se suele conocer con el nombre de “serpiente marina”, pues la traducción de Pelamis es serpiente en griego, nombre que recibe como resultado de la forma serpenteante que tiene su estructura. Fue desarrollado por “Ocean Power Delivery Ltd. (OPD),” una empresa escocesa y tras el éxito alcanzado tras el diseño de este convertidor, ha hecho que actualmente se la conozca como “Pelamis Wave Power (PWP).”

Se trata de una tecnología de tipo atenuador semisumergida offshore que tiene como objetivo transformar la fuerza del oleaje en energía eléctrica.



**Ilustración 34: Dispositivo Pelamis [1]**

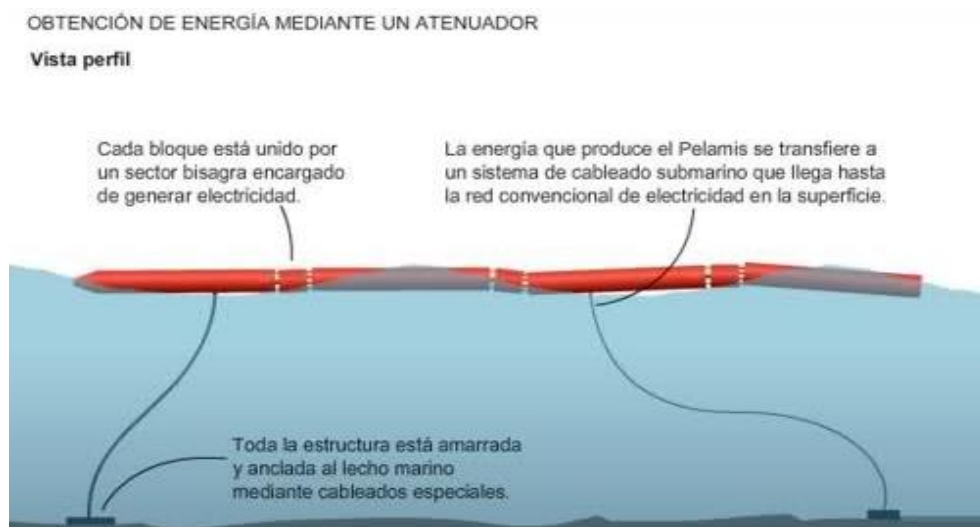
## **10.2. Características**

Pelamis es una estructura alargada y articulada. Se compone de cuatro secciones cilíndricas unidas entre sí mediante articulaciones o juntas de bisagras a los módulos de conversión energética. La longitud total del dispositivo es de 120 metros y ocupa una superficie aproximada de 490 m<sup>2</sup>. Cada una de las cuatro secciones cilíndricas de mayor tamaño posee 24 metros de longitud y 3,5 metros de diámetro. Los módulos (donde se aloja el sistema de conversión energética) miden 8 metros de longitud. Cada uno de estos dispositivos es capaz de generar una potencia nominal de 750 kW, lo que supone el abastecimiento energético de aproximadamente 500 hogares. Su peso unitario es de 700 toneladas.

Entre sus características, destacan:

- Se trata de una instalación offshore: diseñado para trabajar entre 5 y 10 km desde la costa y a una profundidad de 50 m o mayor que es a partir de donde las olas alcanzan los mayores valores de potencial.
- Se trata de un sistema de tipo activo; la forma de obtener energía se logra aprovechando el movimiento relativo existente entre los cuatro cilindros que configuran el dispositivo. Este movimiento es generado por el propio oleaje que incide sobre Pelamis y lo acciona.
- Es un atenuador, pues su eje se dispone paralelamente a la dirección en la que avanzan las olas, permitiendo de esta forma que el anclaje al fondo pueda ser flojo.
- Es una estructura semisumergida (la parte mojada corresponde a un 66% aproximadamente) y flotante, que se encuentra anclada al fondo mediante un tipo de sujeción floja. Esto se logra a través de un sistema de pesos y flotadores que permiten la oscilación del dispositivo y evitan que éste quede a la deriva.

- Tiene como función la obtención de energía eléctrica a través del empleo de un sistema oleohidráulico mediante el aprovechamiento de los movimientos de cabeceo y oscilación vertical.
- Es un dispositivo de tipo oscilante que posee juntas articuladas.

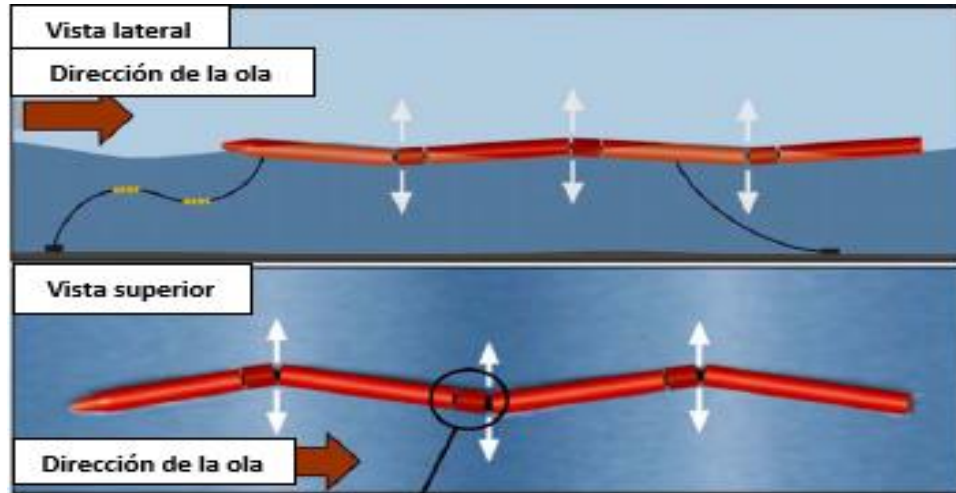


**Ilustración 35: Características básicas de Pelamis [2]**

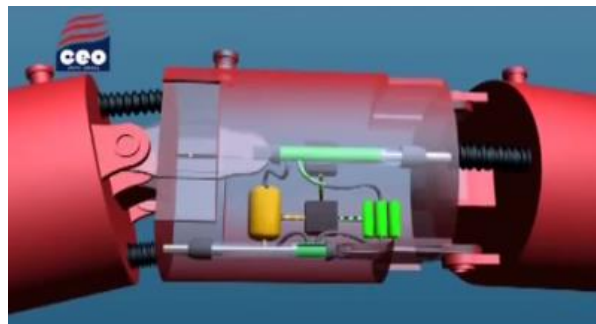
La forma que poseen, el hecho de ser un dispositivo alargado y esbelto, es lo que hace posible que soporte unas duras condiciones climatológicas. Si se da este caso, es capaz de limitar o reducir el movimiento relativo entre los cilindros, es decir, de las uniones y como consecuencia, también la cantidad de potencia que absorbe. Además, posee capacidad de autoorientación al tratarse de un dispositivo atenuador, lo que hace que siempre esté en una orientación óptima.

Por último, cabe destacar que las bisagras de unión de los cilindros permiten que este dispositivo tenga dos grados de libertad, por cada una de las secciones cilíndricas. En el eje horizontal está colocada una junta articulada la

cual oscila verticalmente y en el eje vertical existe otra junta que oscila ante los movimientos de cabeceo.



**Ilustración 36: Movimiento producido por la acción del oleaje [3]**



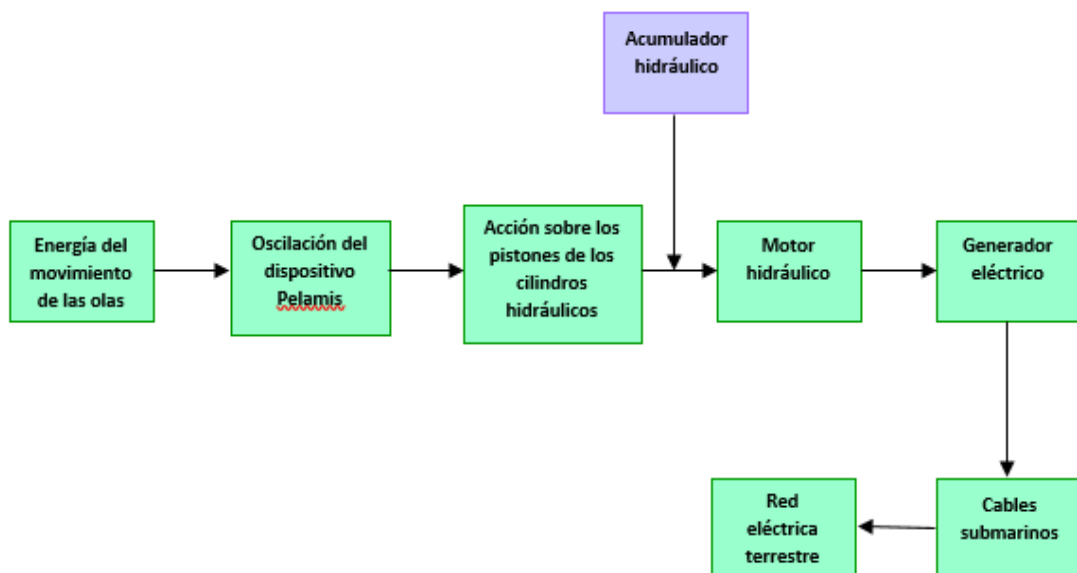
**Ilustración 37: Articulación izquierda permite movimiento en dirección vertical [3]**



**Ilustración 38: Articulación derecha permite movimiento en dirección horizontal [3]**

### 10.3. Sistema de conversión energética

El dispositivo Pelamis es una estructura semisumergida flotante compuesta por cuatro secciones cilíndricas articuladas entre sí, que permiten la flexión tanto en dirección horizontal como vertical. El movimiento del oleaje acciona cilindros hidráulicos, los cuales bombean aceite a alta presión hasta un sistema de motores hidráulicos pasando a través de acumuladores reguladores. Los motores accionan los generadores a los que se encuentran acoplados, produciendo así electricidad.



**Esquema 2: Diagrama de bloques de las acciones de Pelamis. Fuente: elaboración propia**

La conversión de energía, como mencionado anteriormente, se produce en los tres módulos de conversión energética. Éstos funcionan de manera independiente y cada uno de ellos posee un sistema de conversión de potencia de 250 kW. En ellos no sólo se absorbe el movimiento de las olas iniciándose así el proceso de conversión, sino que además es donde se produce el

accionamiento de los motores hidráulicos y donde tiene lugar la generación de electricidad.

### **10.3.1. Conversión primaria**

En esta primera etapa, se convierte la energía proveniente del movimiento de las olas en energía del fluido de trabajo. Los cilindros hidráulicos y las juntas articuladas se encargan de realizar esta conversión.

Unos manguitos flexibles se encargan de proteger a las juntas articuladas que se encuentran en los tres módulos de la acción del agua. Dos de estas juntas, aprovechan el movimiento en el eje horizontal y otras dos en torno al eje vertical. Cuando las juntas se desplazan a causa del movimiento del oleaje, producen el movimiento del aceite, fluido de trabajo. De esta forma, el aceite es bombeado hasta un acumulador de gas a alta presión. Así, cada cilindro hidráulico unido a las juntas articuladas, es el responsable de que se inicie el funcionamiento del sistema hidráulico.

El acumulador es de vital importancia en el proceso de conversión energética. Su función es servir a acorto plazo como sistema de almacenamiento de energía. Esto permite que se vierta continuamente el aceite a alta presión al motor hidráulico. En resumen, este dispositivo permite la absorción de energía con un intervalo muy grande de variación y que su generación tenga un valor constante. Esto se traduce en la posibilidad de absorber potencias mayores que aquella motora que ha sido asignada al generador.

### **10.3.2. Conversión secundaria**

Este tipo de conversión corresponde a la transformación de la energía del fluido (que se encuentra almacenada en los acumuladores) en energía eléctrica. Un generador y un motor hidráulico realizan esta conversión.

El generador se corresponde con una máquina asíncrona (máquina rotativa de inducción) la cual gira a una velocidad fija. La velocidad se puede ver disminuida si el aceite se contamina. Esto es ocasionado por la rotura de los manguitos flexibles, encargados de proteger a este fluido de su contacto con el agua.

Una vez generada la electricidad, ésta es transportada a la costa. Dado que un dispositivo Pelamis se sitúa entre 5 y 10 km de distancia con respecto a la costa, la manera de transportar la electricidad hasta ésta es mediante un cable submarino y tipo de corriente alterna.

Descripción del sistema de conversión:

A continuación, se expone el principio de trabajo desempeñado por cada par de juntas articuladas.

En cada uno de los módulos se disponen cuatro juntas articuladas trabajando de dos en dos en función de si oscilan en el plano vertical u horizontal. Cuando los vástagos (o juntas) se mueven, impulsan al fluido, provocando su circulación hasta llegar al acumulador de alta presión desde el cilindro hidráulico. Una vez en el acumulador, fluye al motor hidráulico, al cual se encuentra acoplado el generador y tras pasar a través de él, se almacena en el llamado tanque de almacenamiento de baja presión. Desde este tanque volverá al cilindro hidráulico.

Los colores rojo y azul que aparecen a continuación en el esquema de la Ilustración 39 indican las ramas a alta y baja presión en el momento en el que

el cilindro hidráulico superior se encuentra desplazándose hacia la izquierda y el inferior, hacia la derecha. Las válvulas antirretorno son las encargadas de regular en uno u otro sentido el paso del fluido.

Cada uno de los dispositivos Pelamis tiene instalado dos sistemas de conversión completos por cada par de juntas articuladas. Esto le proporciona una gran ventaja con respecto a otros tipos de dispositivos aprovechadores de la energía undimotriz, pues en el diseño de un parque constituido por estas tecnologías, no hay problemas de dependencia entre unos convertidores y otros, ya que los sistemas de conversión trabajan de manera independiente.

### **10.3.3. Diseño del circuito oleohidráulico**

Debido a la escasa información disponible en la bibliografía acerca del diseño y dimensionamiento de un dispositivo Pelamis, me he visto en la necesidad de ponerme en contacto con Quoceant, empresa consultora en Edimburgo cuyos fundadores trabajaron en el diseño del prototipo desarrollado en Escocia. Ellos me dieron acceso a la biblioteca digital sobre energías del mar: <https://library.waveenergyscotland.co.uk/>.

Gracias a este recurso, me ha sido posible obtener al menos información teórica acerca del funcionamiento del sistema de conversión energético (explicado con anterioridad) y parámetros de entrada empleados en el diseño de su prototipo instalado. Esto me ha servido como inspiración para poder realizar el esquema de la instalación que presento a continuación y el dimensionamiento de sus componentes, es decir, proceder con el desarrollo del dispositivo a instalar desarrollado en este proyecto en la zona de emplazamiento seleccionada en el Capítulo IV.

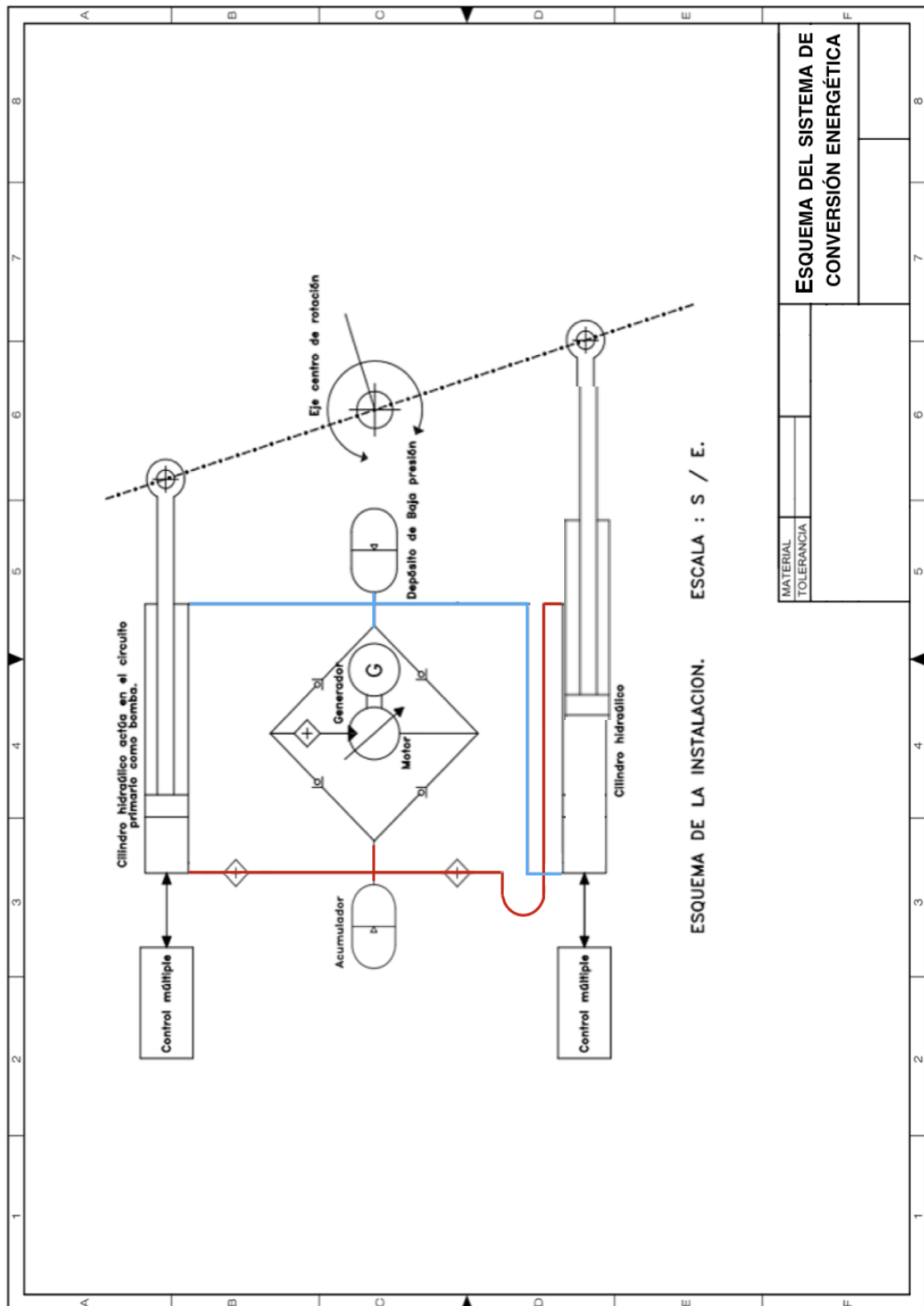


Ilustración 39: Esquema del sistema de conversión energética. Fuente: elaboración propia

A continuación, se va a proceder con el diseño y dimensionamiento del circuito oleohidráulico. Para llevarlo a cabo, se parte de unos parámetros de entrada comunes a los dispositivos Pelamis extraídos de la biblioteca digital escocesa: <https://library.waveenergyscotland.co.uk/> y que son los que han inspirado el diseño mostrado a continuación.

Del mismo modo, también se ha hecho uso de manuales de componentes oleohidráulicos para instalaciones industriales de donde se han seleccionado los diferentes componentes que forman parte de la instalación, seleccionando aquellos que resultan más adecuados según los parámetros característicos obtenidos de cada uno de ellos a lo largo del dimensionamiento.

Los parámetros de entrada para proceder con el dimensionamiento son los siguientes:

- El **ángulo  $\alpha$  máximo de oscilación** de las secciones articuladas, es de : +/- **25°**.
- La **potencia nominal** o máxima de absorción **de cada módulo** es de **250 kW** y, por lo tanto, la **total** del dispositivo Pelamis, **750 kW**.
- La **presión máxima** de funcionamiento es de **250 bar**.
- La **presión mínima** de funcionamiento es de **30 bar**.
- Radio de rotación de las juntas articuladas: **1,5 m**.
- El alternador gira a **n=1500 rpm**.
- Los **cilindros hidráulicos** poseen una **potencia nominal de 250 kW**.

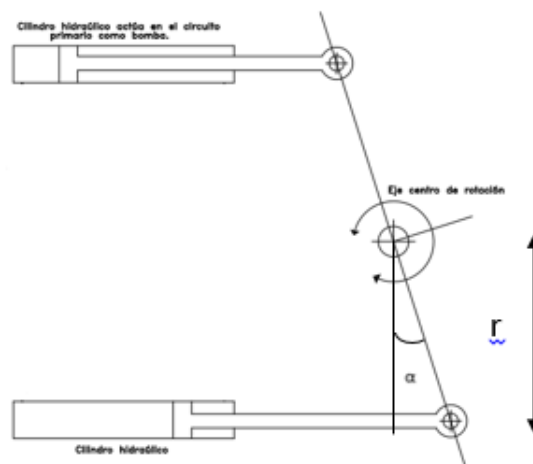
A partir de estos valores, se lleva a cabo a continuación el dimensionamiento de los diferentes elementos que componen el circuito. Se diseña el sistema a

partir de las condiciones más desfavorables a la que puede verse sometido, esto es, los valores nominales o máximos de funcionamiento:

### Cilindro hidráulico

- **Carrera c del pistón: 3 m**

En primer lugar, a partir del ángulo  $\alpha$  máximo de rotación y el radio al que se encuentran las juntas articuladas calculado desde el centro de rotación, el cual posee un valor de 1,5 m, se halla la carrera mínima del pistón oleohidráulico siendo ésta:



$$\frac{c}{2} > (1,5 \operatorname{tg}(25^\circ))$$

$$c > 2 (1,5 \operatorname{tg}(25^\circ))$$

$$c > \mathbf{1,4 \text{ m}}$$

Dado que los cilindros oleohidráulicos de doble efecto del sistema pueden absorber una potencia máxima de 250 kW, se utiliza la guía Roquet con el fin de obtener los parámetros que caracterizan a estos elementos que se encuentra

en el “-DOCUMENTO 6, ANEXOS-”, al final del presente documento y se denomina “Cilindros doble efecto PN-250”.

La carrera de los cilindros hidráulicos debe ser como mínimo de 1,4 metros. Para evitar el contacto del pistón con las bases laterales, se selecciona una carrera mayor que la calculada anteriormente y que se encuentra normalizada en la guía anteriormente mencionada, en este caso, **c = 3 m**.

- **Presiones de funcionamiento de los cilindros**

Presión máxima: 250 bar y presión mínima: 30 bar (parámetros de entrada).

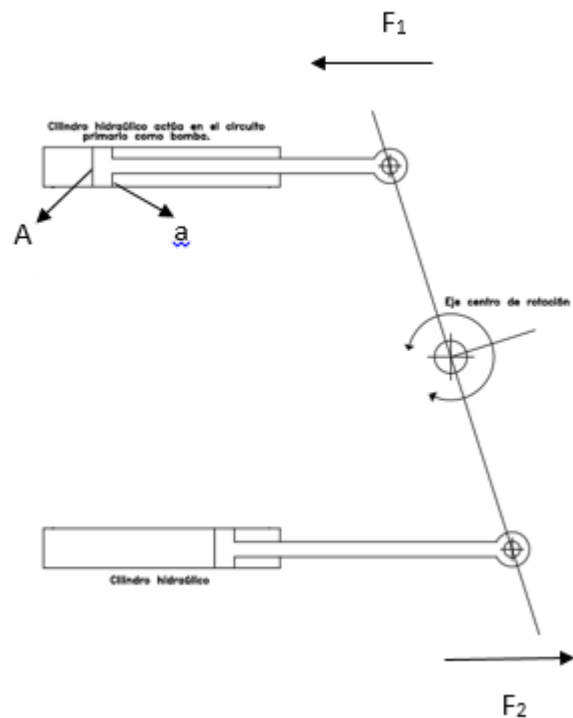
- **Velocidad v del émbolo: 25 m/min**

Asimismo, para este tipo de cilindros Roquet, la **velocidad máxima admisible del émbolo es de 25 m/min**. Esta será la que se utilice para el dimensionamiento. (Consultar la guía de cilindros Roquet en la sección anexos)

- **Fuerza máxima (por potencia) F que pueden soportar los cilindros (si el dispositivo trabaja a su máxima capacidad):**

$$F1= 600.000 \text{ N y } F2= 342.857,14 \text{ N}$$

Se procede a determinar la fuerza máxima que pueden soportar los cilindros hidráulicos del sistema de conversión energética del dispositivo Pelamis:



$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2 = (F_1 + F_2) v_{\text{máx}}$$

Se dimensionan los cilindros con sus condiciones extremas de funcionamiento: uno deberá actuar a su potencia nominal y a partir de la relación existente entre las fuerzas de tracción y compresión en los cilindros, se determina la potencia del segundo cilindro oleohidráulico:

$$P_1 = F_1 \cdot v_{\text{máx}}$$

$$250 \cdot 10^3 \text{ W} = F_1 \cdot 25 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$F_1 = 600 \cdot 10^3 \text{ N} = 60.000 \text{ kg}$$

Teniendo en cuenta que  $F_1/F_2 = 1,5-2,5$  por fabricación estandarizada, iteramos hasta encontrar una relación que dé resultados coherentes y acordes al dimensionamiento. Así, utilizaremos la relación  $F_1/F_2 = 1,75$ , obteniendo:

$$F_2 = 342.857,14 \text{ N}$$

Y por lo tanto, usando la expresión:

$$P_2 = F_2 \cdot v_{\text{máx}}$$

El segundo cilindro generará una potencia:

$$P_2 = 142.857,14 \text{ W}$$

$$F_1 = 600.000 \text{ N}$$

$$F_2 = 342.857,14 \text{ N}$$

Las F1 y F2 obtenidas del catálogo son las capacidades de fuerza de cada cilindro oleohidráulico.

● **Fuerza máxima (por presión) F que pueden soportar los cilindros:**

A partir de las cuales se obtienen las áreas del émbolo y el vástago.

$$F_1 = p_1 \cdot A - p_2 \cdot a = 250 \cdot A - 30 \cdot a$$

$$F_2 = p_1 \cdot a - p_2 \cdot A = 250 \cdot a - 30 \cdot A$$

$$F_1 = p_{\text{máx}} A_e; \quad A = 0,02602 \text{ m}^2 = 260,2 \text{ cm}^2$$

$$F_2 = p_{\text{máx}} a; \quad a = 0,016837 \text{ m}^2 = 168,37 \text{ cm}^2$$

● **Diámetro émbolo = 182 mm.**

A partir de las áreas calculadas del vástago y émbolo en el apartado anterior, se determinan los diámetros:

$$A = \pi r^2 = \pi \frac{d^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \mathbf{182 \text{ mm}}$$

● **Diámetro vástago = 108,13 mm.**

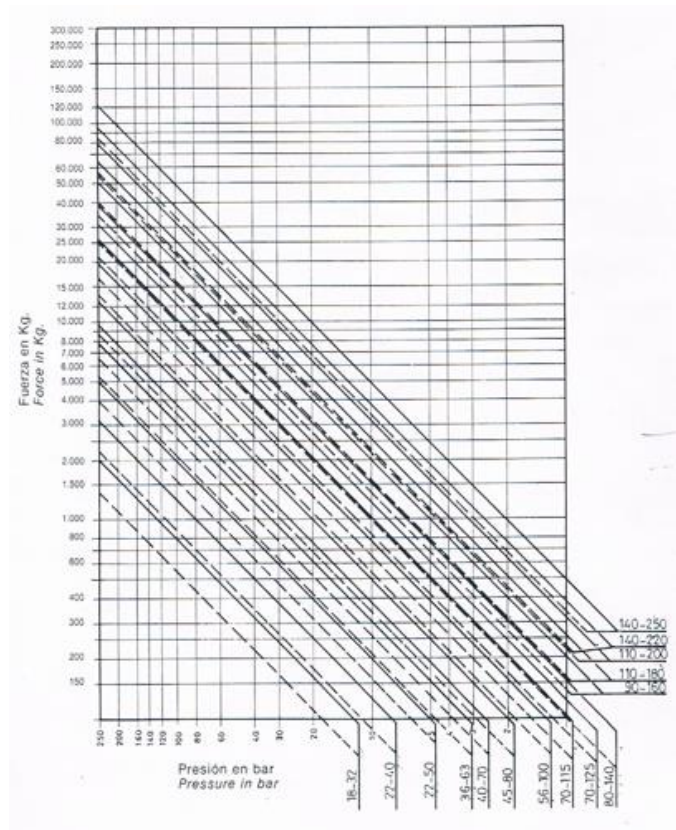
El área del vástago se determinaría restando las áreas efectivas calculadas en el anterior apartado:

$$\text{Área vástago} = 0,02602 - 0,016837 = 0,009183 \text{ m}^2$$

Y a partir del área, se determina el diámetro:

$$d = \sqrt{\frac{4a}{\pi}} = \mathbf{108,13 \text{ mm}}$$

Se selecciona del catálogo Roquet el cilindro hidráulico que más se aproxima a los valores obtenidos. A partir de las fuerzas de tracción y compresión que se generan en el cilindro, se obtiene, usando la gráfica mostrada a continuación, los diámetros del émbolo y vástago, siendo éstos: 110-180 mm. La gráfica ha sido obtenido del documento “-DOCUMENTO 6, ANEXOS-”, al final del presente documento y se denomina “Cilindros doble efecto PN-250”. Las líneas en trazo continuo representan esfuerzos a compresión y las líneas en trazo discontinuo representan esfuerzos a tracción calculados con el vástago de menor tamaño.



● **Caudales de entrada y salida de los cilindros**

Por último, se procede a determinar los caudales máximos de entrada y salida de cada cilindro hidráulico funcionando el conjunto a su máxima potencia:

$$Q_s = A \cdot v = 0,02602 \text{ m}^2 \cdot 25 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 650,5 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

$$Q_e = a \cdot v = 0,016837 \text{ m}^2 \cdot 25 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 420,925 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

## **Motor hidráulico**

El tipo de motor seleccionado es un producto de Hydromatik GMBH. Es de pistones axiales de **cilindrada fija**, siendo ésta **de 180 cm<sup>3</sup>**. En el “- Documento 6, Anexos-” se muestran las características del motor seleccionado.

El alternador se encuentra girando a **n = 1.500 rpm**.

Existe un acoplamiento directo entre el motor hidráulico y el alternador.

### **• Caudal de llegada al motor: 682 l/min**

Ahora se procede con el cálculo del caudal de llegada al motor, es decir, el caudal total de aceite que impulsan los cilindros en su movimiento para obtener la potencia máxima del módulo en la zona de emplazamiento.

Según la guía, la **presión de trabajo máxima** de los cilindros hidráulicos Roquet es de **250 bar**. La **mínima** es de **30 bar** y por lo tanto la  **$\Delta p$  máx = 220 bar**. **Estas presiones coinciden con las presiones máxima y mínima de entrada y salida al motor hidráulico.**

El caudal depende tanto de la potencia como de la variación de presión. La potencia máxima de generación de un único sistema de conversión del dispositivo es de 250 kW.

Y eso se correspondería con un caudal de llegada al motor de:

$$P = Q \cdot \Delta p$$

$$250 \cdot 10^3 = Q \cdot 220 \cdot 10^5$$

$$Q = 1,136 \cdot 10^{-2} \frac{m^3}{s} = 682 \frac{l}{min}$$

- **Caudal máximo que puede atravesar un solo motor hidráulico de tipo pistones axiales de cilindrada fija  $V=180 \text{ cm}^3$ :**

El caudal máximo que puede atravesar un motor hidráulico depende de su velocidad de giro y cilindrada de la forma:

$$Q_{\text{máx 1 motor}} = 10^{-3} \cdot V \cdot n = 10^{-3} \cdot 180 \cdot 1500 = 270 \frac{l}{\text{min}}$$

Así, el caudal máximo que puede atravesar al motor hidráulico seleccionado es de  $270 \frac{l}{\text{min}}$

Sin embargo, desde los cilindros hidráulicos, como calculado anteriormente, puede llegar al motor un caudal total de  $682 \frac{l}{\text{min}}$ . Por lo tanto, para poder soportar este caudal, es necesario poner tres de estos motores en paralelo para que el caudal máximo que pueda atravesar estos motores sea de:

$$Q_{\text{máx 3 motores}} = 270 \cdot 2 = 810 \frac{l}{\text{min}} > 682 \frac{l}{\text{min}}$$

Poniendo tres motores hidráulicos en paralelo se logra que la cantidad de caudal que llega a ellos sea dos veces mayor que el caudal que podría soportar uno sólo. Así, estos tres soportarían el caudal que provendría de los cilindros hidráulicos.

- **Velocidad de giro y  $\Delta p$  del motor hidráulico:**

El tipo de motor seleccionado tendría como características:

$$n_{\text{máx}} = 2.650 \text{ rpm} > 1500 \text{ rpm}$$

$$\Delta p_{\text{máx}} = 350 \text{ bar} > 220 \text{ bar}$$

Estas características se adjuntan en el “-DOCUMENTO 6, ANEXOS-”, al final del presente documento y se denomina “Motor constante A2FM Serie 61”

Estos valores cumplirían con las restricciones impuestas con el diseño de los circuitos hidráulicos haciendo viable y siendo adecuada la selección del tipo de motor.

### **Acumuladores**

#### **● Presiones del acumulador:**

Las presiones del acumulador deben ser las mismas que la de los cilindros hidráulicos de tal forma que:

$$p_{\text{máx}} = 250 \text{ bar}$$

$$p_{\text{min}} = 30 \text{ bar}$$

#### **● Tamaño y presión de carga:**

A continuación, para dimensionar los acumuladores es preciso determinar su tamaño y la presión de carga:

$$P_{\text{carga}} = \frac{p_{\text{min}}}{1,1} = \frac{30}{1,1} = 27,27 \text{ bares}$$

La función del acumulador es absorber potencias que aquella motora que ha sido asignada al generador. Por lo tanto, se deberá determinar el caudal total que debe ser capaz de almacenar, su tamaño:

Al motor le puedo llegar un caudal máximo de  $682 \frac{l}{min}$ . Sin embargo, los cilindros hidráulicos, pueden impulsar hasta  $Q = 650,5 + 420,925 = 1071,425 \frac{l}{min}$ .

Por lo tanto, el acumulador debe ser capaz de almacenar el exceso de caudal:

$$Q = 1071,425 - 682 = 389,425 \frac{l}{min}.$$

El tipo de acumulador seleccionado es de la marca OLEAR.

### **Tuberías**

Si el motor hidráulico funcionara a su velocidad nominal de  $n = 2650$  rpm, a través de él pasaría un caudal de:

$$Q_{\text{máx 1 motor}} = 10^{-3} \cdot V \cdot n = 10^{-3} \cdot 180 \cdot 1500 = 477 \frac{l}{min}$$

El tipo de motor seleccionado requiere unas tuberías de diámetro = 40 mm.

### **Válvulas antirretorno**

Según la información, proporcionada por un profesor, las válvulas antirretorno empleadas en tuberías de 40 mm de diámetro, son del tipo RK7 cuyas características se muestran a continuación:

Modelo básico y tamaño	Caudal $Q_{\text{max}}$ (l/min)	Presión $P_{\text{max}}$ (bar)	Rosca	Presión de apertura (bar)
RK 7	620	420	G 1 1/2 A	0,1

## **10.4. Pérdidas y rendimientos**

Dado la gran variabilidad que presentan las condiciones de funcionamiento de este tipo de convertidor, es muy complicado determinar las pérdidas con exactitud en todas y cada una de las situaciones. A pesar de ello, se puede hacer una estimación de carácter global afirmando que las pérdidas totales alcanzan un 20% de la potencia total. Las pérdidas son debidas principalmente a los cojinetes, al rozamiento en las tuberías y válvulas, a los sistemas de cierre hermético empleados en los arietes hidráulicos y a las características referentes a la compresibilidad del fluido.

Los convertidos, debido a la variabilidad del oleaje, han sido diseñados para trabajar con distintos valores de potencia, alcanzando los mayores rendimientos cuando la potencia de incidencia es baja. Esto supone una gran ventaja, pues éstas suelen ser las condiciones más frecuentes de funcionamiento.

En la conversión primaria, se calcula una eficiencia en torno al 88% y 94%, dependiendo de los parámetros de control tenido en consideración, la magnitud de la energía que reaccione y de los valores pico de la potencia entrante. Estos tres parámetros tienen en consideración las pérdidas en los manguitos, las válvulas y galerías del colector (son los que mayor influencia tienen en la determinación de la eficiencia), las pérdidas ocasionadas por la fricción en los cierres empleados en los arietes y los efectos deducidos de la compresibilidad del fluido.

El equipo de generación eléctrica, en distintas condiciones de funcionamiento y numerosas pruebas, se ha estimado que da un rendimiento de más de un 80%.

## **10.5. Sistema de control**

En primer lugar, gracias al sistema de rótulas que posee Pelamis, se puede aprovechar y sintonizar prácticamente todo el rango de frecuencias de las olas. De esta forma, para sacar el máximo rendimiento del trabajo generado por las olas sobre la máquina, se realiza un control de los arietes hidráulicos a tiempo real en cada ciclo de onda. Un colector de admisión y escape es el responsable del control, regulando el caudal del fluido de trabajo que circula hasta el acumulador y tanque de almacenamiento desde los cilindros hidráulicos y viceversa.

Este sistema no solo permite llevar a cabo el control de las oscilaciones en ambos sentidos, sino que además puede realizarse de manera independiente. En una estación central es donde se lleva a cabo, actuando como puente de comunicación entre los sistemas de control existentes en cada junta y un PC externo que se encuentra situado en la costa. Por radio módem o a través de ethernet se realiza la comunicación.

Unas electroválvulas (válvulas solenoidales) con un funcionamiento similar a los relés, son las que controlan a las válvulas de mayor tamaño. Son las responsables de qué éstas se cierren o se abran en función de la presión hidráulica que las suministran.

En segundo lugar, cabe destacar la inclinación de los dos ejes de cada módulo hacia la horizontal. Gracias a esta característica, el dispositivo es capaz de reaccionar y resistir mejor al movimiento relativo angular presente entre juntas. De esta forma, cada eje, horizontal y vertical, del sistema, induce una respuesta proporcional a la del eje vertical, siendo ésta conjunta inclinada. Así, la frecuencia es dependiente de la pendiente o inclinación, resultando en un funcionamiento más suave del sistema hidráulico.

Asimismo, dado que Pelamis la mayor parte del tiempo se encuentra sometido a un tipo de oleaje irregular, es conveniente trabajar con un ancho de banda amplio. Mediante este control, se consigue que en un gran rango de frecuencias la energía de reacción sea mínima funcionando así de forma cuasiresonante para diferentes perturbaciones. Además, este sistema permite que la predicción de variables y la cantidad de estrategias de control empleadas en el sistema de extracción sea menor.

En conclusión, de este modo se consigue un sistema resonante. En función de las condiciones del mar, se reducirá o ampliará la respuesta resonante mediante el ajuste de las sujeciones mecánicas presentes en las juntas. En condiciones adversas se limitará el poder de captación mientras que si es necesario una maximización de la potencia absorbida, se ampliará. En otras palabras, mediante el control activo del movimiento de las articulaciones, se hace uso de la resonancia. Ésta es un fenómeno que hace posible que la respuesta se reduzca en condiciones adversa, durante tormentas y por el contrario, maximizar la generación eléctrica cuando el mar está calmo.

## **10.6. Parque undimotriz Pelamis**

Cada parque generador de electricidad se compone de un conjunto de varias estructuras Pelamis, todas conectadas a un cable situado en el fondo marino que dirige la corriente a tierra. Varios generadores pueden estar conectados a un mismo cable submarino, encargado de trasladar la energía a la costa.



## CAPÍTULO VI: Evaluación del impacto ambiental

Se va a proceder a la evaluación del impacto ambiental que supone la instalación de nuestros dispositivos Pelamis offshore.

Dado que en España no se ha llevado a cabo ningún proyecto a gran escala de energía undimotriz, el conocimiento actual acerca de los posibles impactos, se fundamenta en los proyectos pilotos puestos en marcha y otras fuentes de energía renovable con las cuales comparte algunas semejanzas, tal como la eólica mar adentro.

A pesar del poco conocimiento, sí se puede afirmar que de entre todas las fuentes de obtención de energía renovables, la undimotriz es la más benigna en cuanto a su efecto en el medio ambiente. De todas formas, al igual que todas las formas de generación eléctrica, sí que produce una serie de impactos a tener en cuenta:

- **Tendido de los cables submarinos.** Con el fin de transportar la electricidad generada por el dispositivo Pelamis hasta la costa, se emplean cables submarinos de grandes longitudes. Éstos tienen un potencial impacto sobre otros usuarios del mar: afectan al hábitat de las especies marinas que viven en la zona, a la actividad pesquera y a la explotación minera del fondo marino, entre otros. Por ello, para abordar el problema, se debe hacer un estudio extensivo sobre el área por la que se van a instalar los cables con el objetivo de evitar las zonas más sensibles y las que poseen mayor biodiversidad.
- **Escape de fluido oleohidráulico.** Fallos en los sistemas herméticos de cierre destinados a evitar fugas de aceite se traducen en una contaminación del agua del mar y por lo tanto, una degradación de la calidad de la misma. Esto tiene repercusiones directas sobre la vida marina. Con el fin de evitar este impacto se debe hacer un control para evitar posibles escapes de fluido.

- **Ruido submarino.** El ruido constante del convertidor durante el proceso de conversión energética puede tener un impacto perjudicial sobre las especies que habitan en los alrededores de la zona, tal como ballenas o delfines, pues sus sistemas de orientación basados en sonidos se ven perjudicados.
- **Ecosistema marino.** Las especies marinas pueden ser vulnerables a las estructuras flotantes. Éstas pueden actuar como barreras a la migración o movimientos marinos influyendo directamente sobre la flora y fauna del fondo marino. Además, al ser un dispositivo offshore, está amarrado al suelo lo que puede suponer una amenaza de enredos para algunos animales.
- **Peligros en la navegación.** Existen posibles peligros en el tráfico marítimo debido a las dificultades que puede suponer detectar los dispositivos por el radar de un barco. Además, otro riesgo presente son los posibles impactos con embarcaciones a causa de una mala iluminación por la noche o a desprendimientos de los sistemas de anclaje ocasionando que los dispositivos queden a la deriva.
- **Impacto visual.** Es inevitable el hecho de que exista un impacto visual, por pequeño que sea, por el hecho de instalar un dispositivo externo al ecosistema de la zona. Sin embargo, de entre todos los dispositivos existentes (onshore, nearshore y offshore), el proyectado, al ser offshore y situarse a varios kilómetros de la costa es el que menor impacto visual presenta.
- **Industria pesquera.** La industria pesquera se podría ver afectada por la instalación de dispositivos offshore. En primer lugar, los sistemas de anclaje y los cables de transporte de electricidad, restringen el uso de redes. Además, los convertidores pueden servir como refugios a las especies marinas, proporcionando el beneficio a éstas añadido de que no es posible la pesca en la zona de emplazamiento pero perjudicando desde el punto de vista socioeconómico.

**-DOCUMENTO 2,**  
**CÁLCULOS**



## 1. CÁLCULOS I: Potencial energético medio de la zona de emplazamiento

A partir del ente público “Puertos del Estado” y sus datos históricos, se procede a determinar el potencial medio mensual del oleaje en los últimos veinte años en las proximidades de Burela, exactamente donde tendrá lugar la instalación del dispositivo Pelamis.

El potencial depende de la altura efectiva y del período medio del oleaje. Por ello, a partir de los datos históricos de la entidad “Puertos del Estado”, se extraen estos dos datos desde el año 1998 hasta el 2017 y en los meses comprendidos entre enero y diciembre. Una vez se tienen estos valores, se calcula el promedio mensual de la altura efectiva y del periodo medio de los últimos veinte años y a partir de ellos, el potencial medio de los doce meses del conjunto de esos veinte años. Esto tiene como objetivo prever cómo se comportará el oleaje en los años posteriores a la implementación del dispositivo ya que para el buen dimensionamiento de un dispositivo convertidor de energía undimotriz es preciso conocer a la perfección la interacción dispositivo-ola y por lo tanto, la dinámica del oleaje.

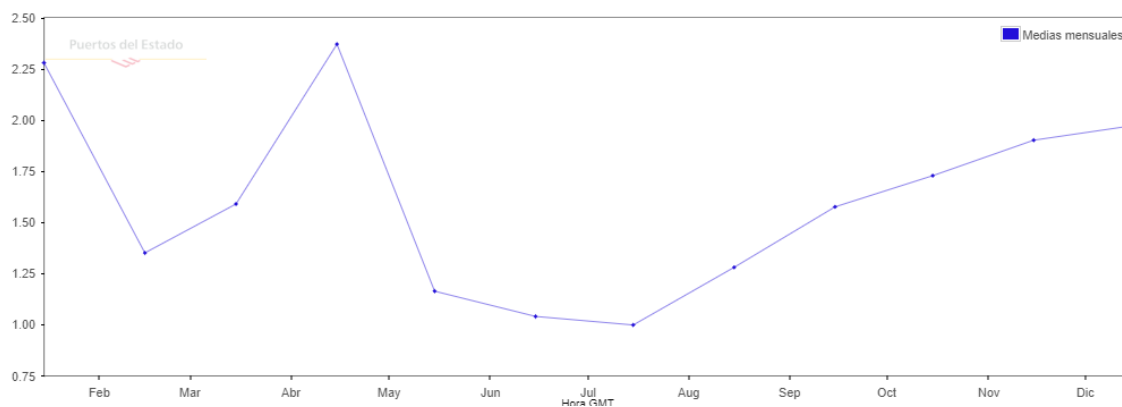
Una vez se tienen calculados los doce potenciales, se determinará el potencial medio mensual de cada una de las estaciones para comprobar que es rentable y viable la instalación del dispositivo en la zona seleccionada. Asimismo, se tendrán en cuenta los valores obtenidos para el diseño del dispositivo Pelamis, pues deberá soportar esos niveles de fuerza que el oleaje ejerce sobre él sin romperse.

Para determinar los valores de altura efectiva y período medio del oleaje en la zona de estudio se utiliza el punto SIMAR (3052040). SIMAR es un

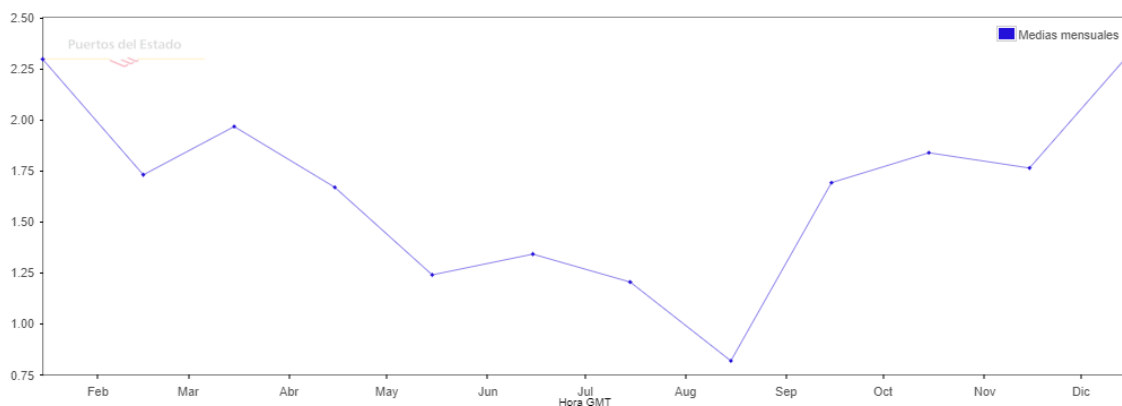
conjunto de datos que comprende series temporales de parámetros de oleaje y vientos procedentes de modelado numérico.

● **Alturas significativas:**

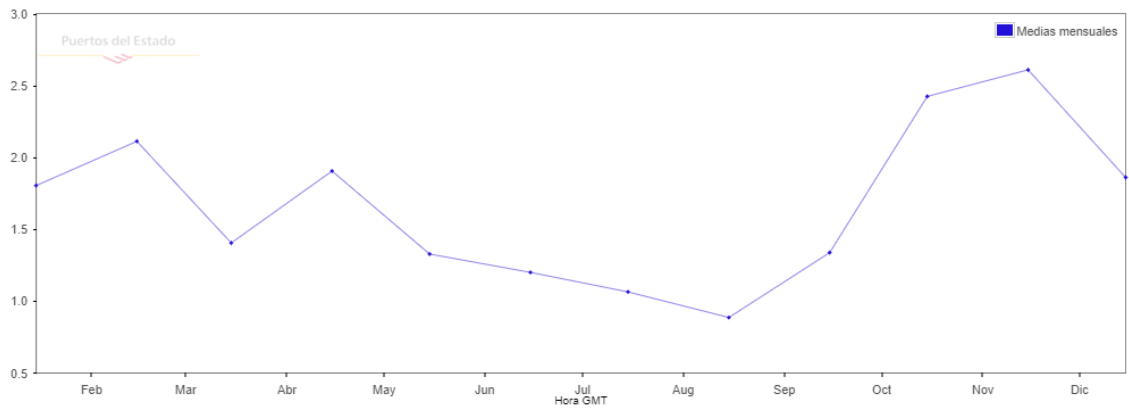
A continuación, se muestran las gráficas de donde se han extraído los diferentes valores de la altura significativa del oleaje. Dichos valores se encuentran en la base de datos de “Puertos del Estado” (para consulta: <http://www.puertos.es/es-es>). El eje de abscisas representa los años y el de ordenadas los valores de altura significativa.



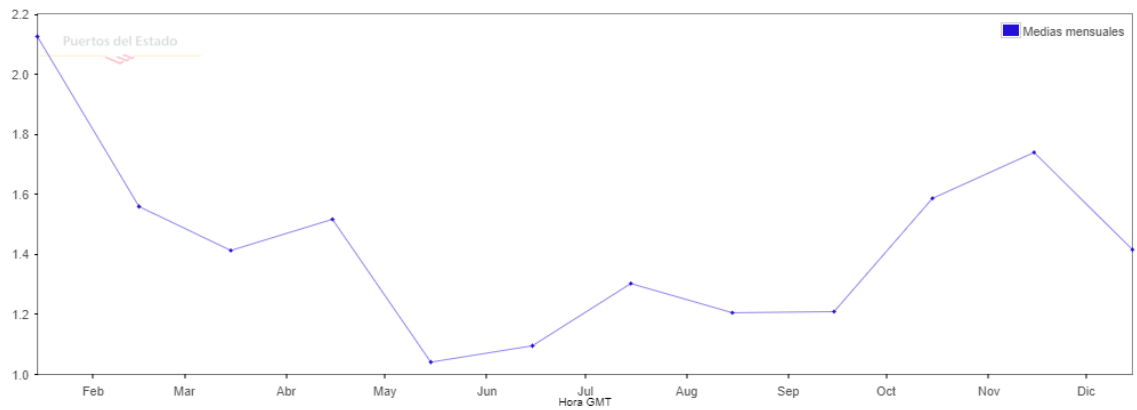
**Año 1998**



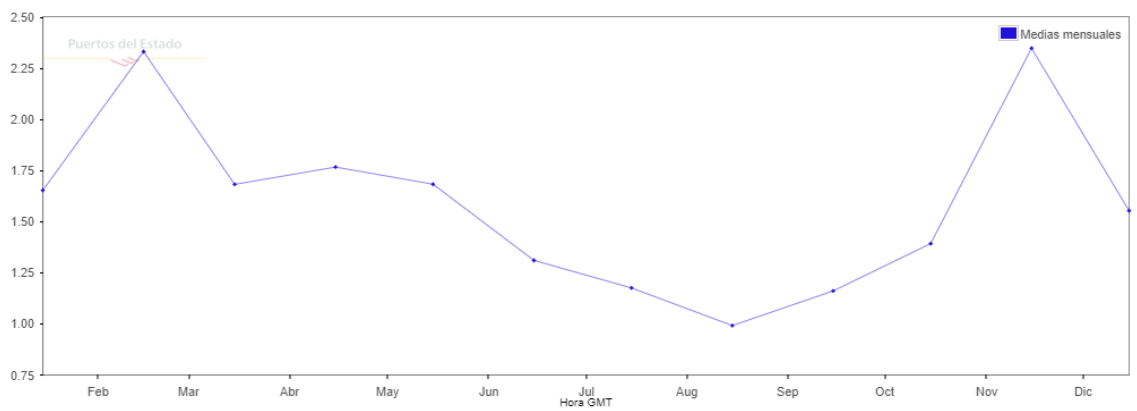
**Año 1999**



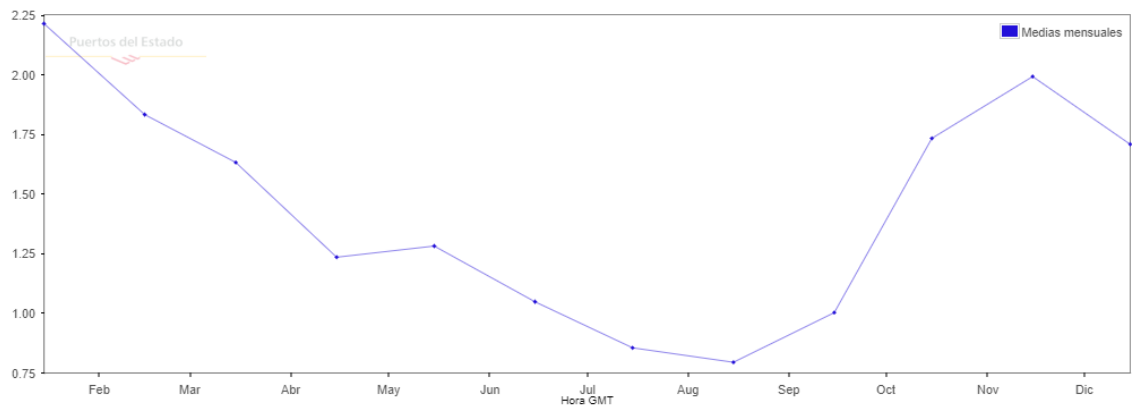
**Año 2000**



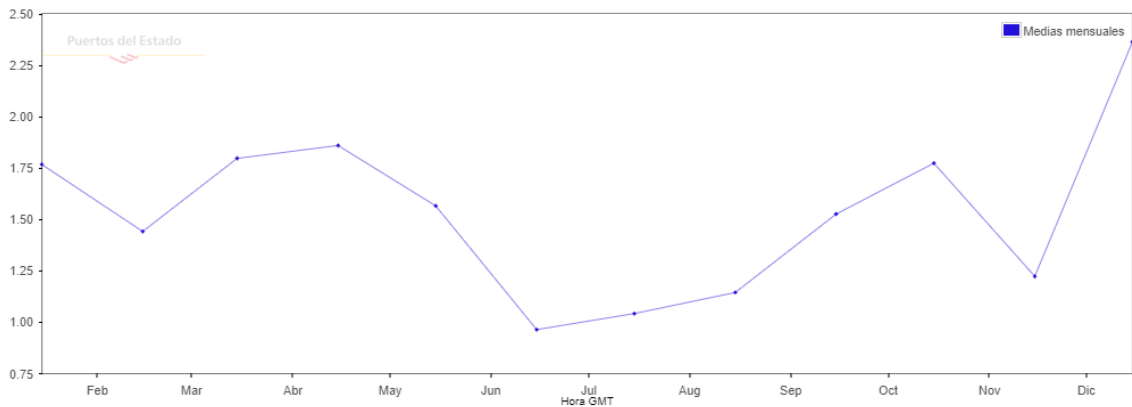
**Año 2001**



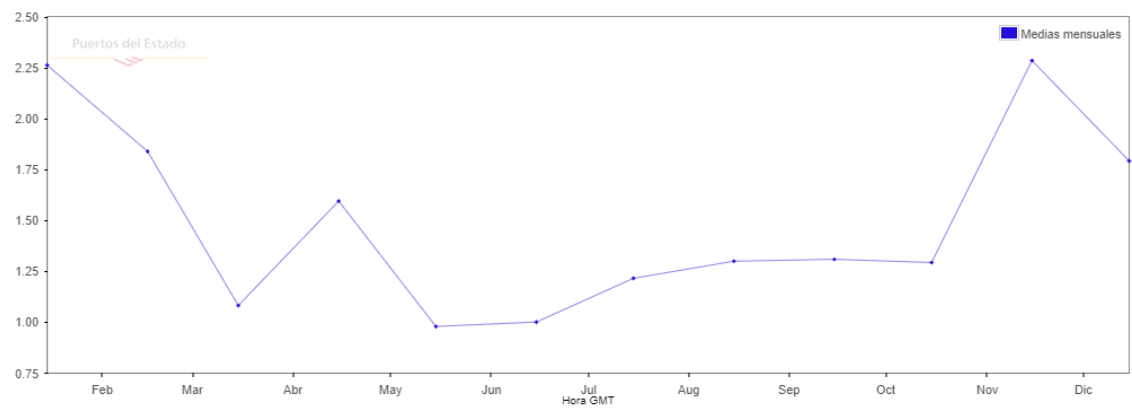
**Año 2002**



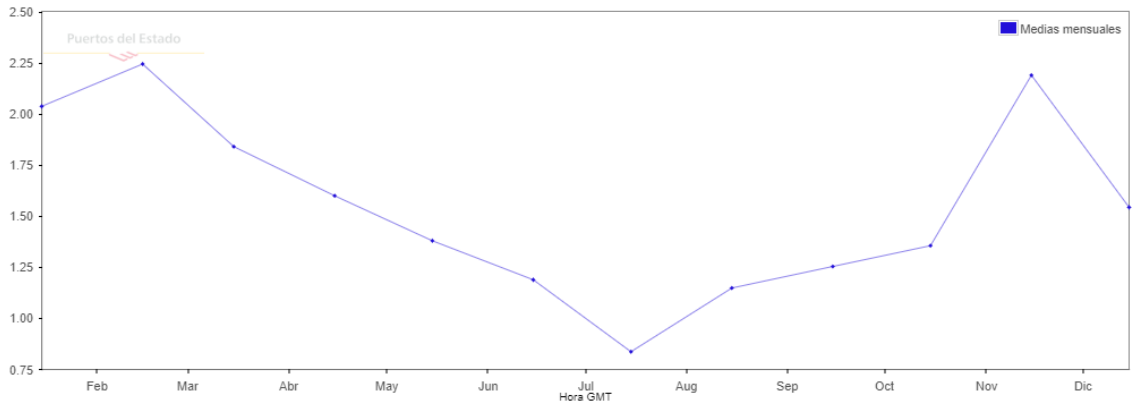
**Año 2003**



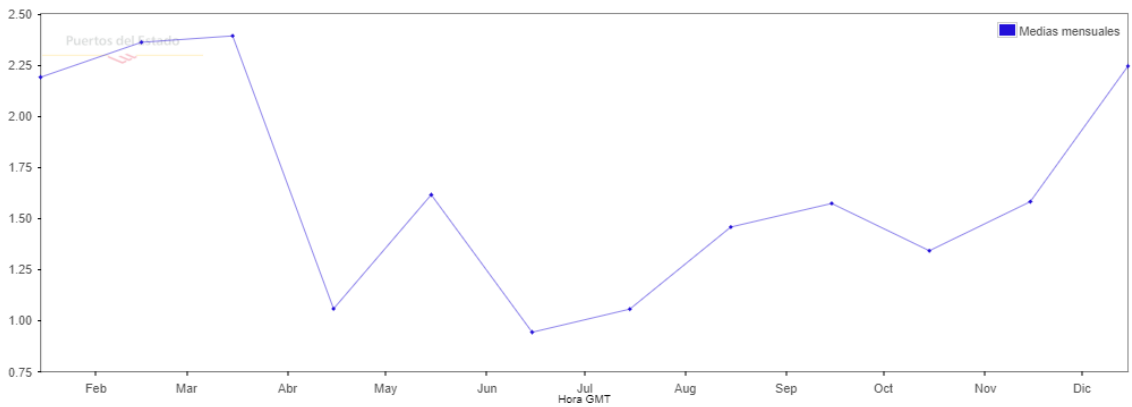
**Año 2004**



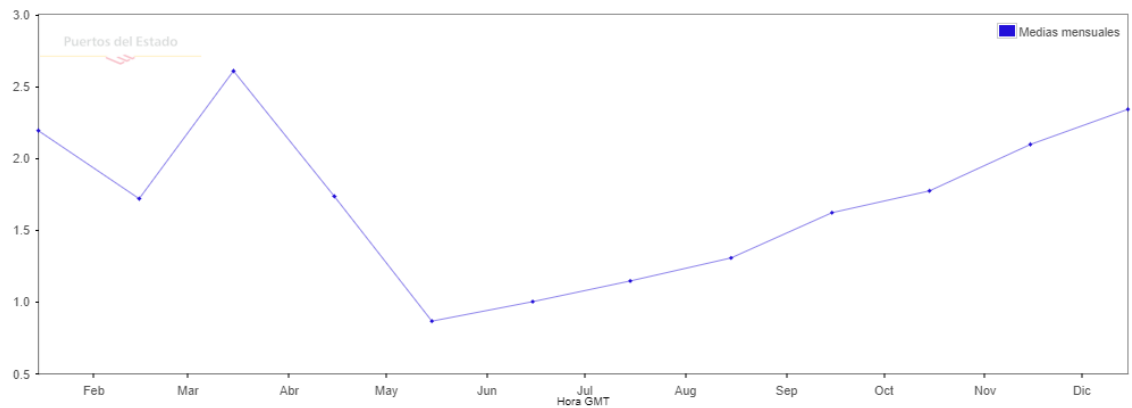
**Año 2005**



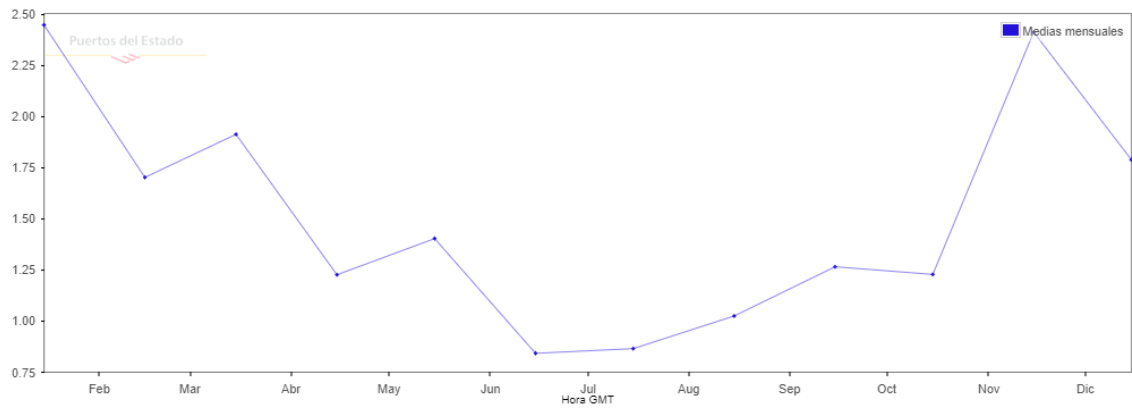
**Año 2006**



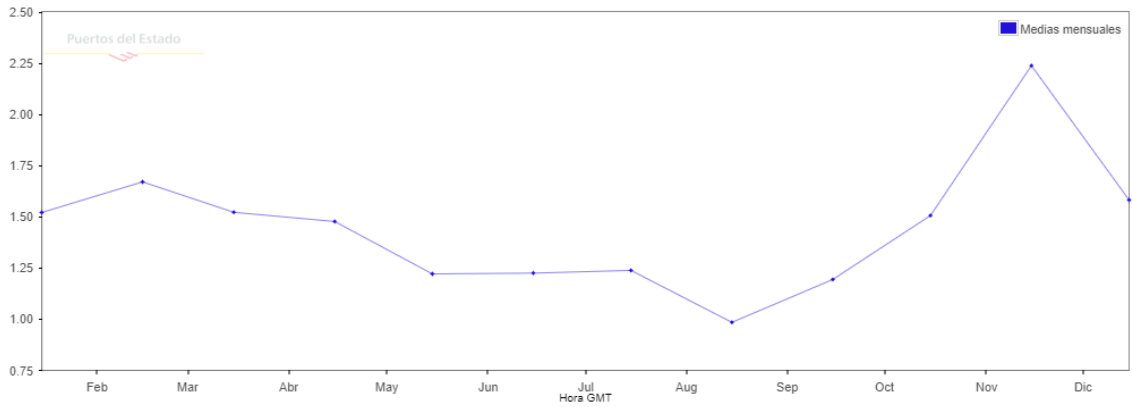
**Año 2007**



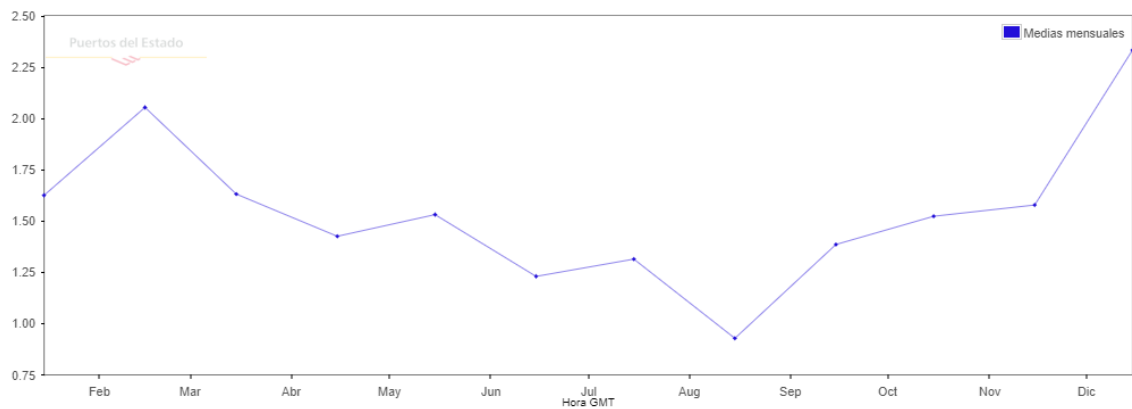
**Año 2008**



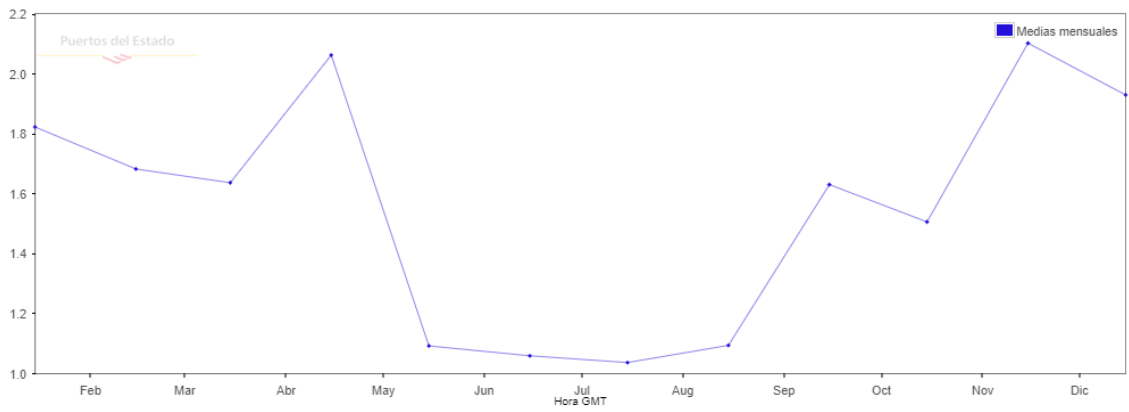
**Año 2009**



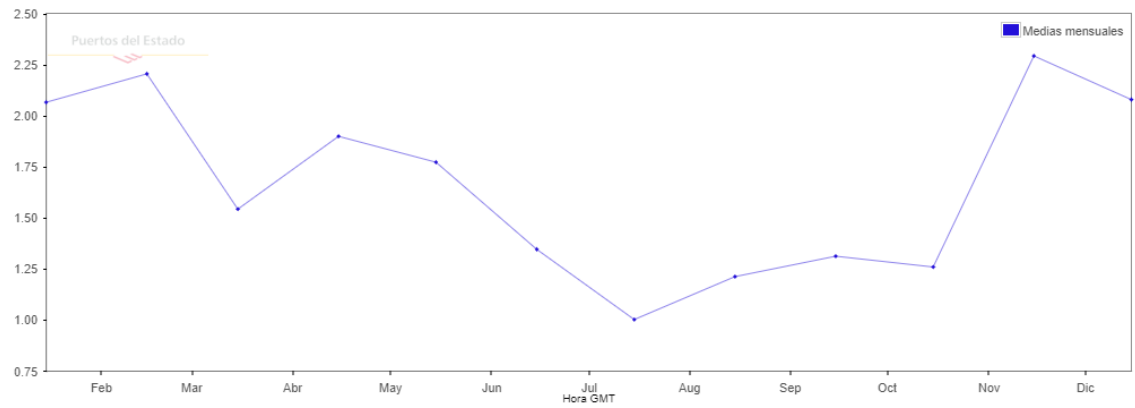
**Año 2010**



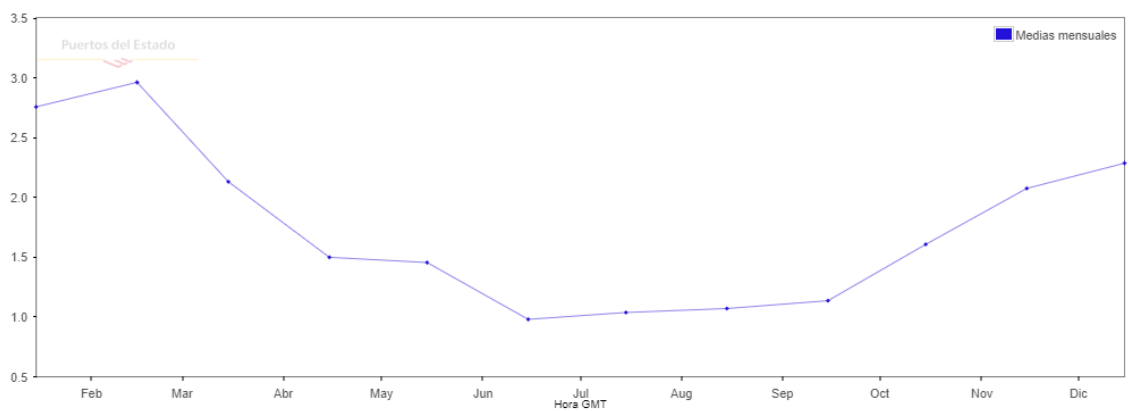
**Año 2011**



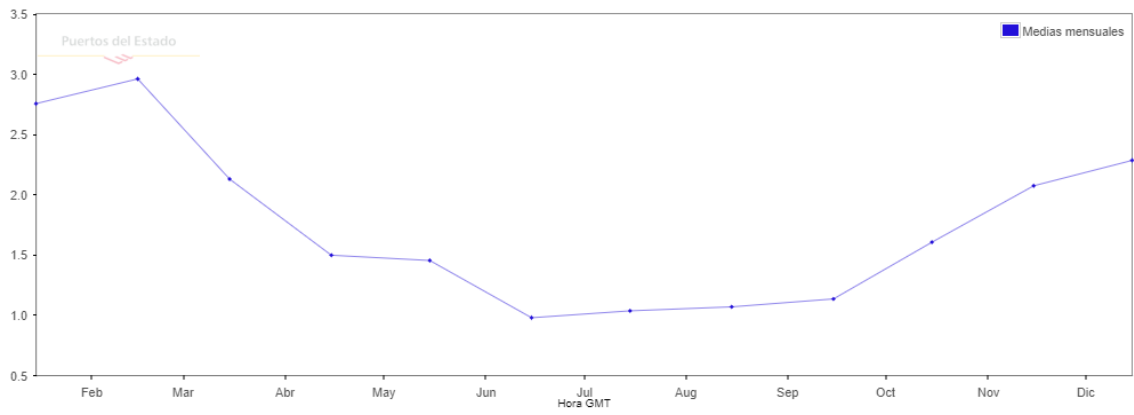
**Año 2012**



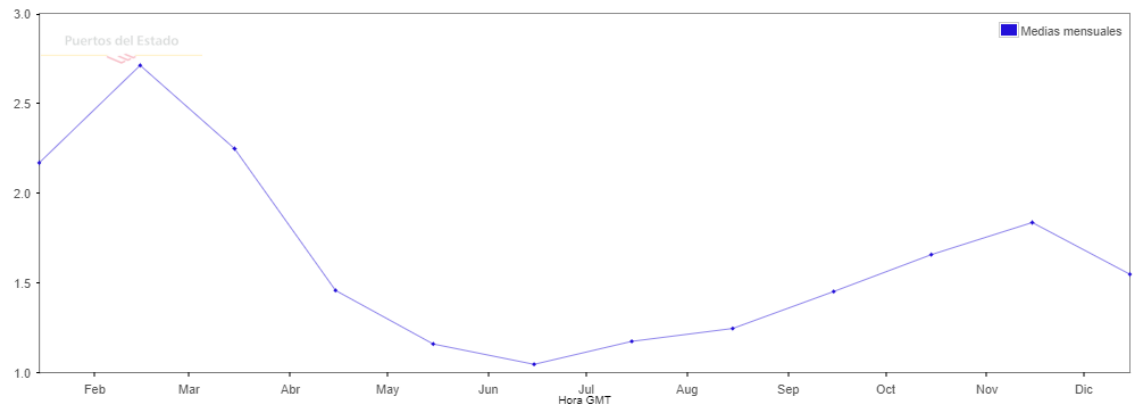
**Año 2013**



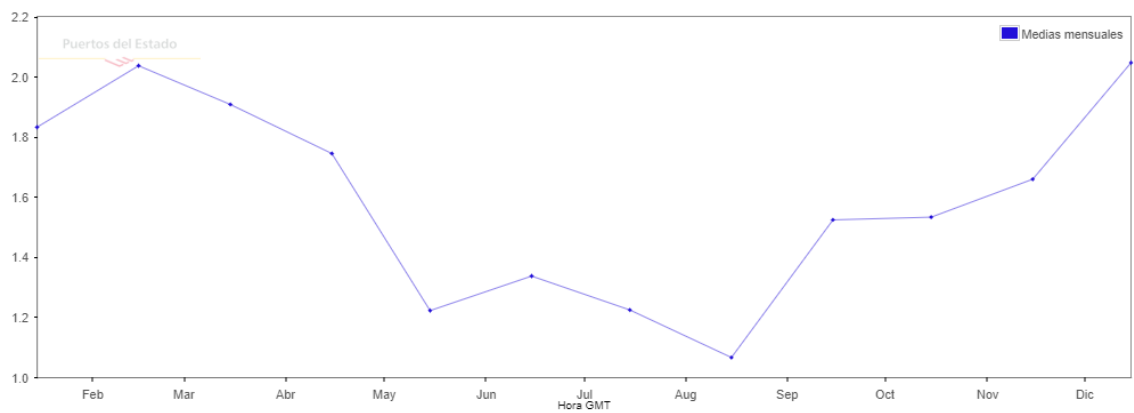
**Año 2014**



**Año 2015**



**Año 2016**



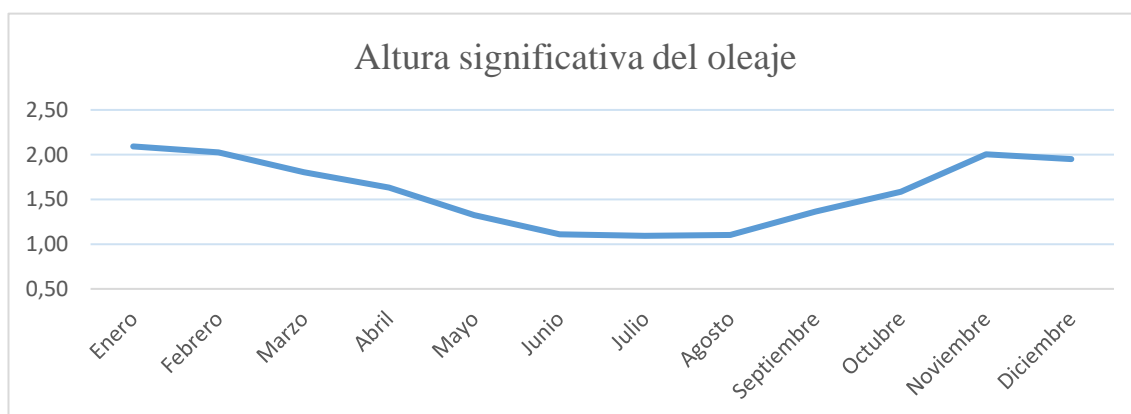
**Año 2017**

Seguidamente, se muestra la información extraída de las anteriores gráficas sobre los valores de altura significativa (m) según el mes y el año en la siguiente tabla:

		MESES											
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
AÑOS	1998	2,28	1,35	1,59	2,37	1,16	1,04	1	1,28	1,58	1,73	1,9	1,97
	1999	2,3	1,73	1,97	1,67	1,24	1,34	1,21	0,82	1,69	1,84	1,76	2,31
	2000	1,81	2,11	1,41	1,91	1,33	1,2	1,06	0,89	1,34	2,43	2,61	1,86
	2001	2,13	1,56	1,41	1,52	1,04	1,1	1,3	1,21	1,21	1,59	1,74	1,42
	2002	1,65	2,33	1,68	1,77	1,68	1,31	1,18	0,99	1,16	1,39	2,35	1,55
	2003	2,21	1,83	1,63	1,24	1,28	1,05	0,86	0,79	1	1,73	1,99	1,71
	2004	1,77	1,44	1,8	1,86	1,57	0,96	1,04	1,14	1,53	1,77	1,22	2,36
	2005	2,26	1,84	1,08	1,6	0,98	1	1,22	1,3	1,31	1,29	2,29	1,79
	2006	2,04	2,25	1,84	1,6	1,38	1,19	0,84	1,15	1,25	1,36	2,19	1,54
	2007	2,19	2,36	2,39	1,06	1,62	0,94	1,06	1,46	1,57	1,34	1,58	2,25
	2008	2,19	1,72	2,61	1,74	0,87	1	1,15	1,31	1,62	1,77	2,1	2,34
	2009	2,45	1,7	1,91	1,23	1,4	0,84	0,87	1,02	1,27	1,23	2,46	1,79
	2010	1,52	1,67	1,52	1,48	1,22	1,23	1,24	0,98	1,19	1,51	2,24	1,58
	2011	1,63	2,05	1,63	1,43	1,53	1,23	1,31	0,93	1,39	1,52	1,58	2,33
	2012	1,82	1,68	1,64	2,06	1,09	1,06	1,04	1,09	1,63	1,51	2,1	1,93
	2013	2,07	2,21	1,54	1,9	1,77	1,35	1	1,21	1,31	1,26	2,29	2,08
	2014	2,76	2,96	2,13	1,5	1,46	0,98	1,04	1,07	1,14	1,61	2,08	2,29
	2015	2,76	2,96	2,13	1,5	1,46	0,98	1,04	1,07	1,14	1,61	2,08	2,29
2016	2,17	2,71	2,25	1,46	1,16	1,05	1,17	1,25	1,45	1,66	1,84	1,55	
2017	1,83	2,04	1,91	1,75	1,22	1,34	1,23	1,07	1,53	1,53	1,66	2,05	

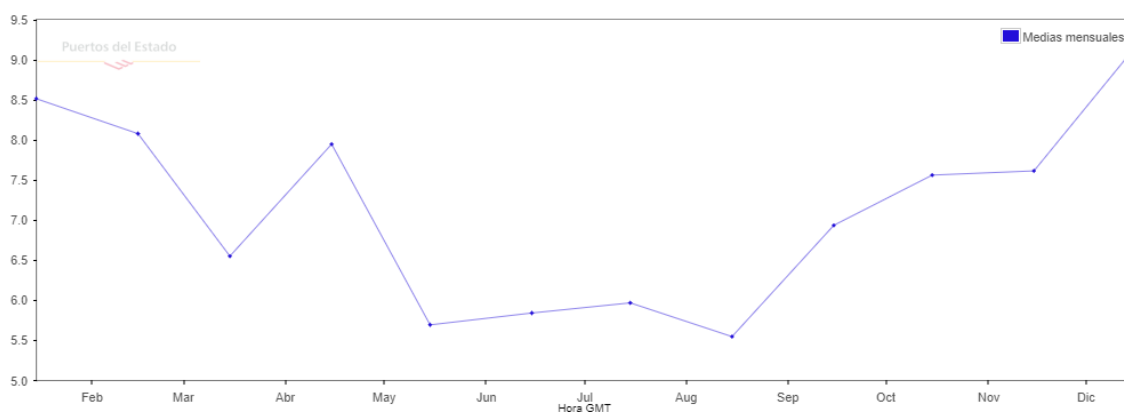
Y su correspondiente media mensual de los últimos veinte años y gráfica asociada:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>MEDIA</b>	2,09	2,03	1,80	1,63	1,32	1,11	1,09	1,10	1,37	1,58	2,00	1,95

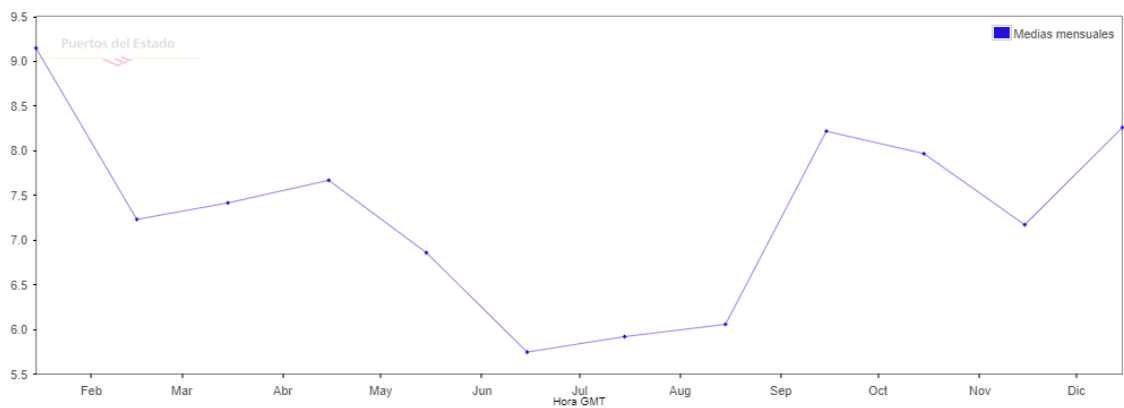


● **Período medio:**

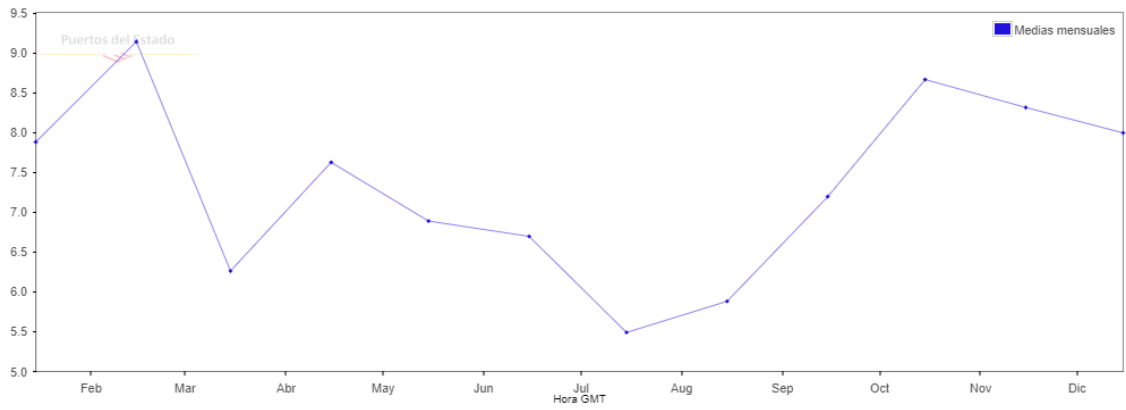
A continuación, se muestran las gráficas de donde se han extraído los diferentes valores del período medio del oleaje. Como en el caso anterior, la información se ha extraído de la base de datos “Puertos del Estado.” El eje de abcisas representa los años y el de ordenadas los valores de período medio.



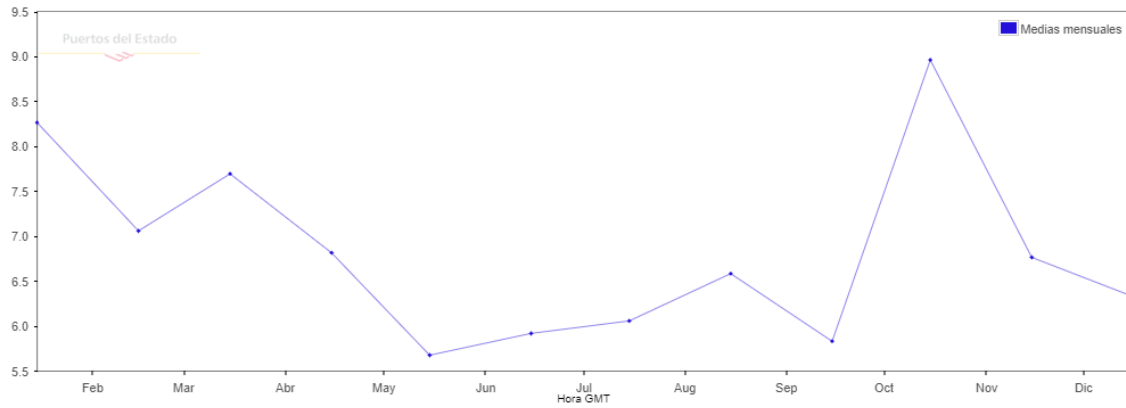
**Año 1998**



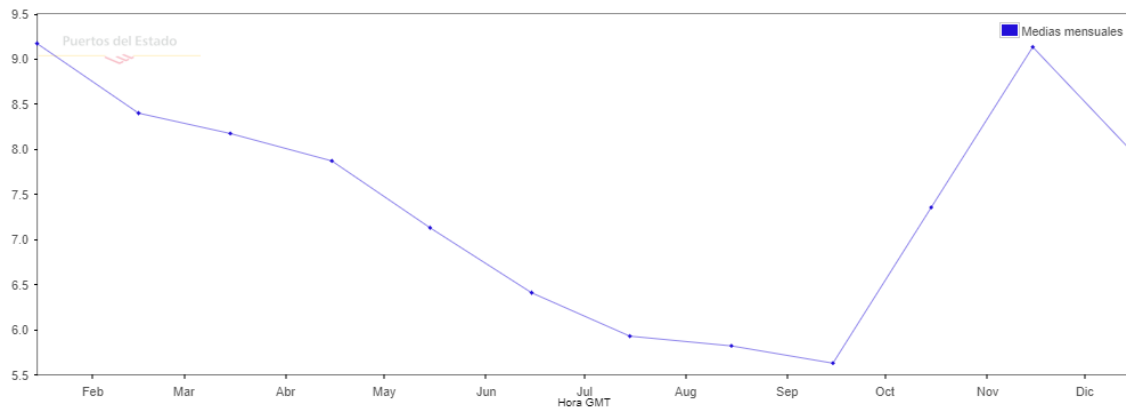
**Año 1999**



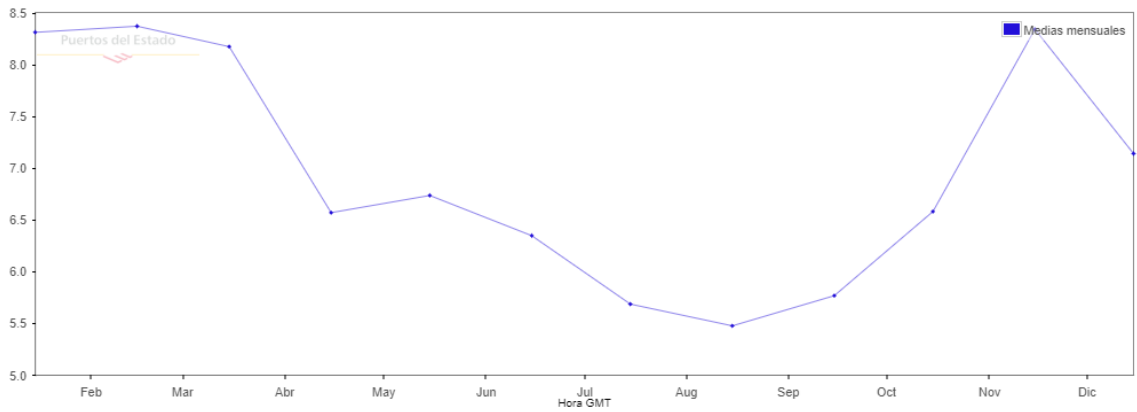
**Año 2000**



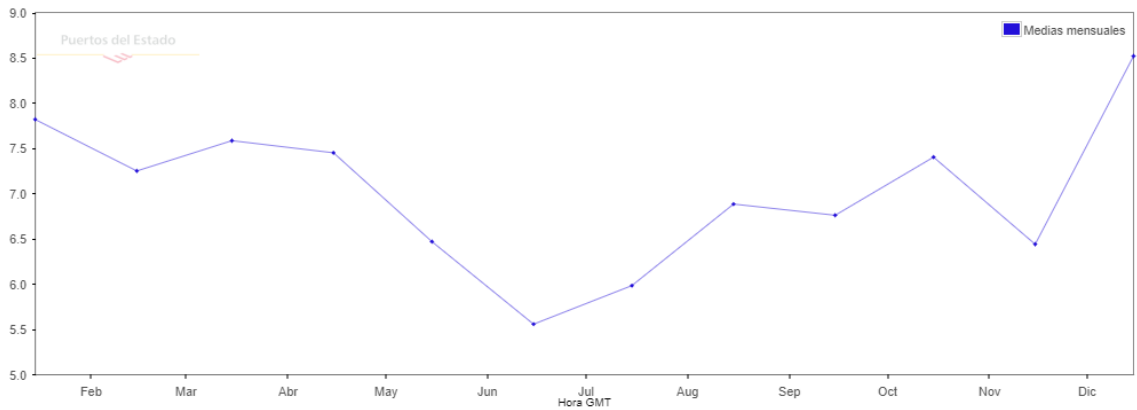
**Año 2001**



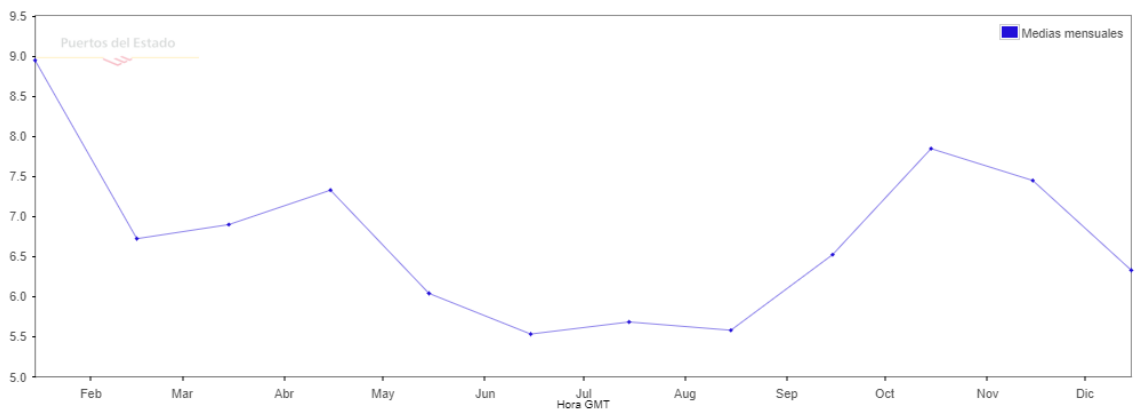
**Año 2002**



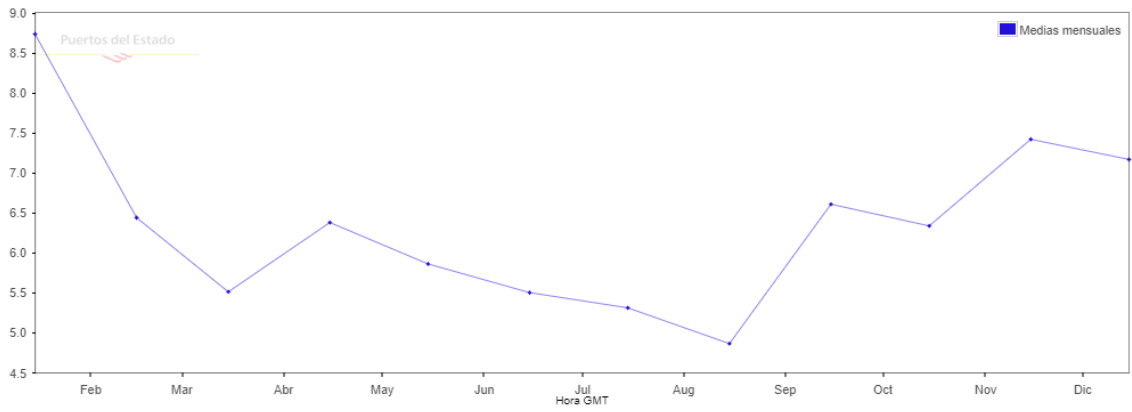
**Año 2003**



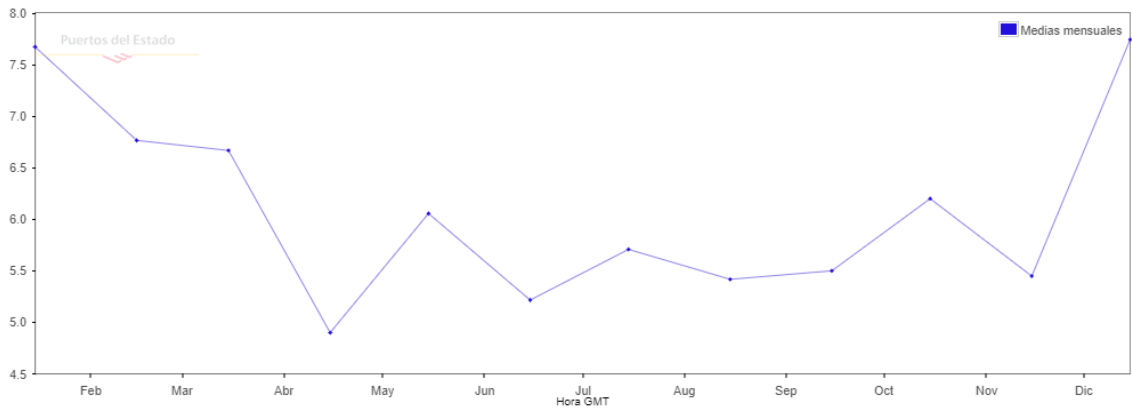
**Año 2004**



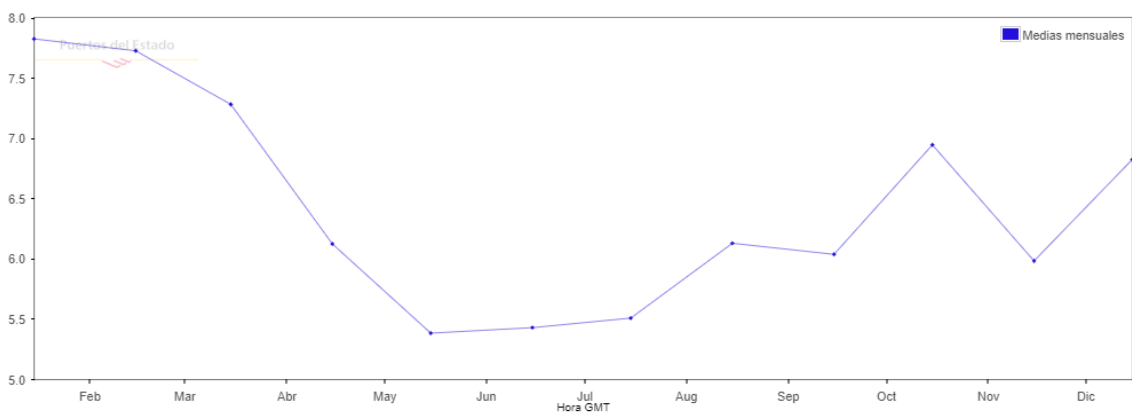
**Año 2005**



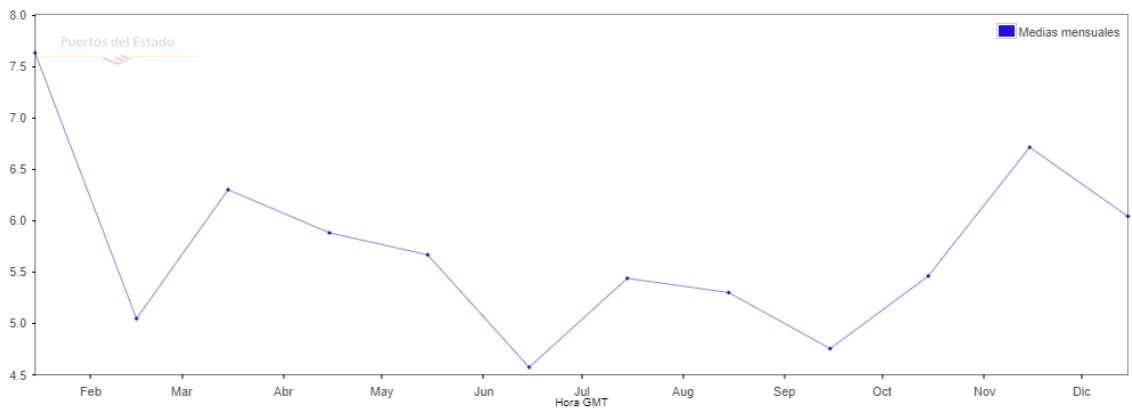
**Año 2006**



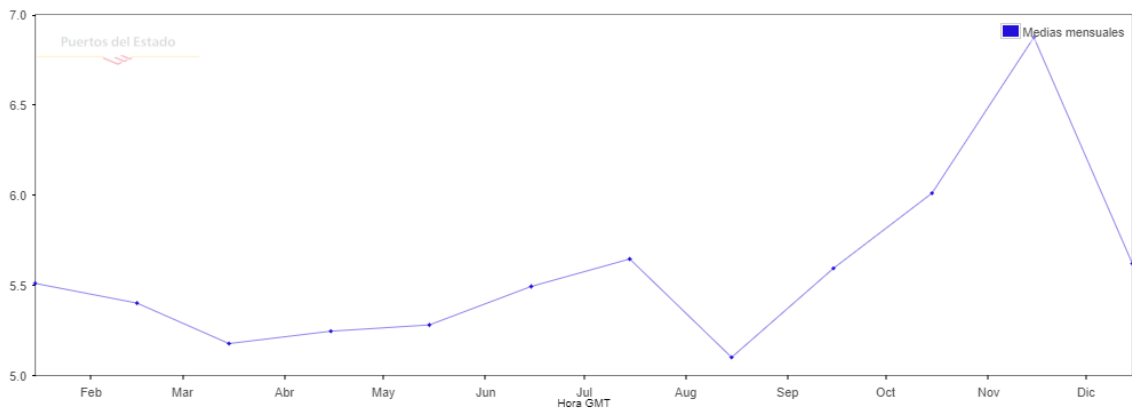
**Año 2007**



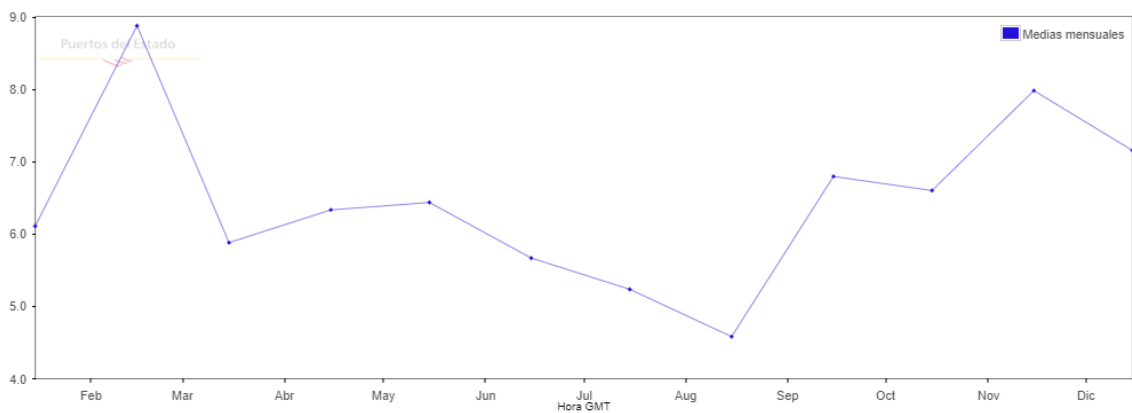
**Año 2008**



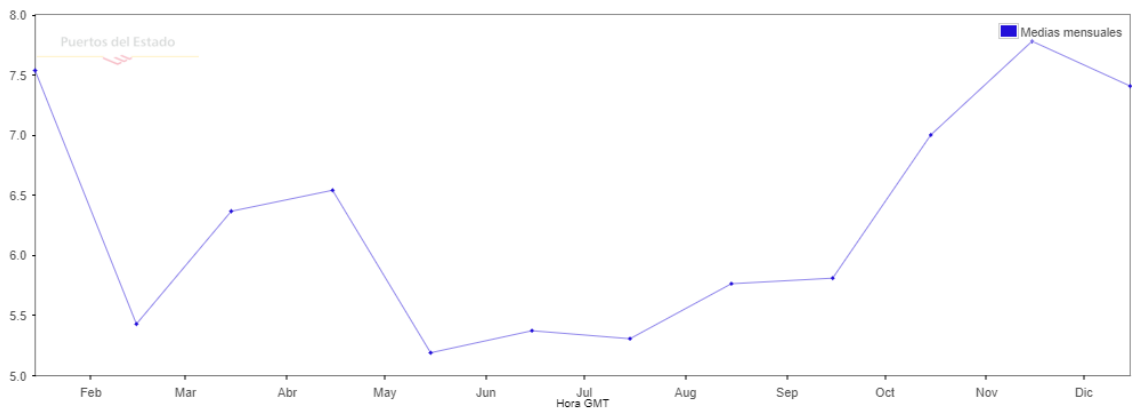
**Año 2009**



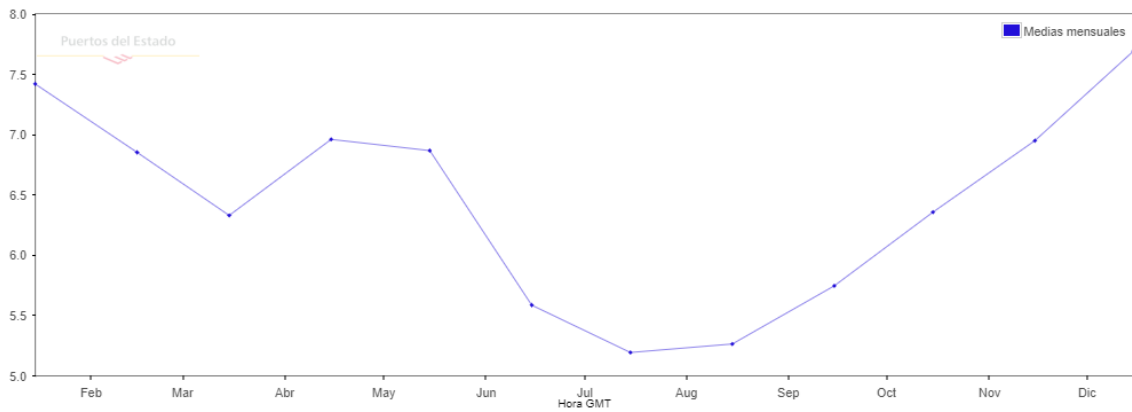
**Año 2010**



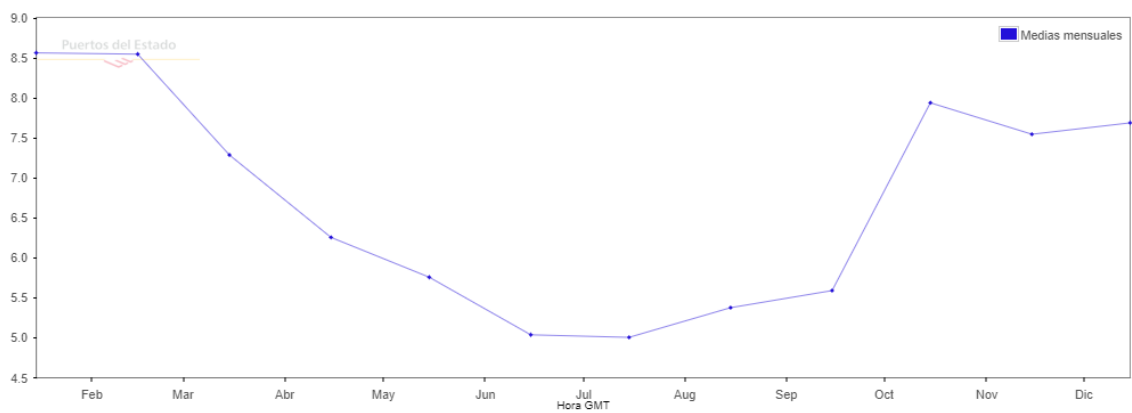
**Año 2011**



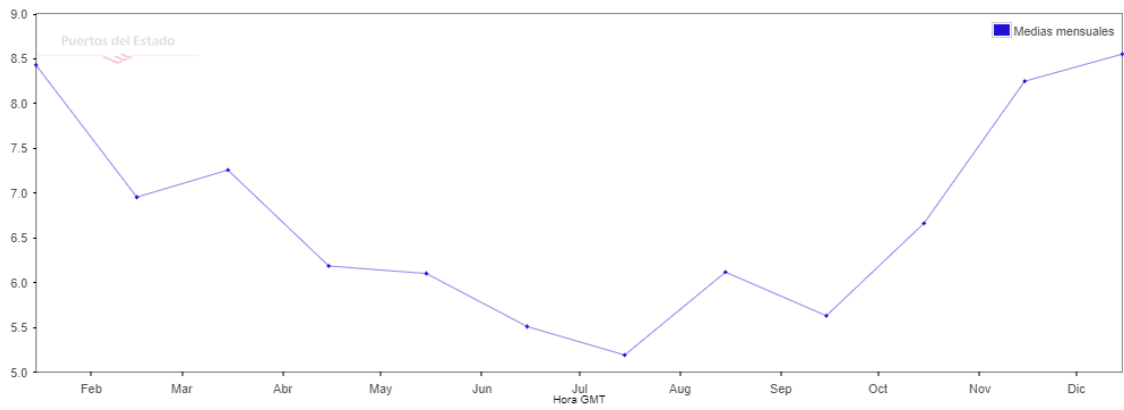
**Año 2012**



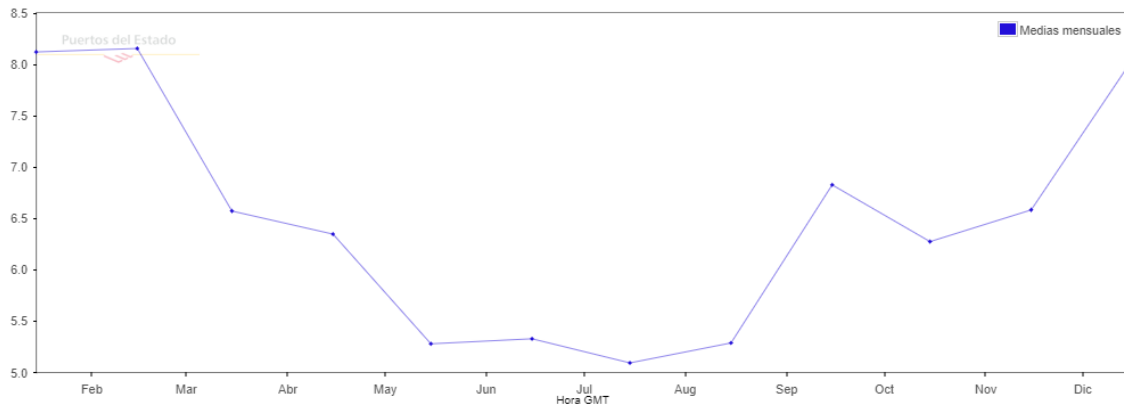
**Año 2013**



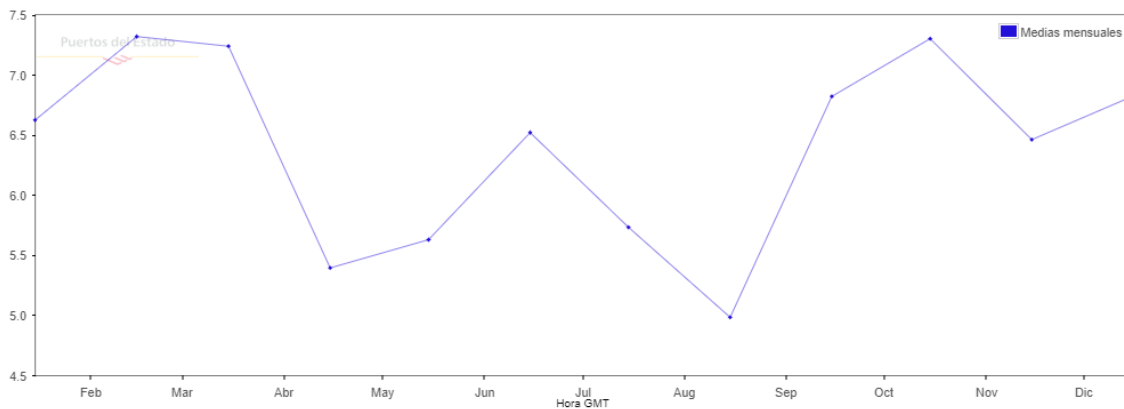
**Año 2014**



**Año 2015**



**Año 2016**



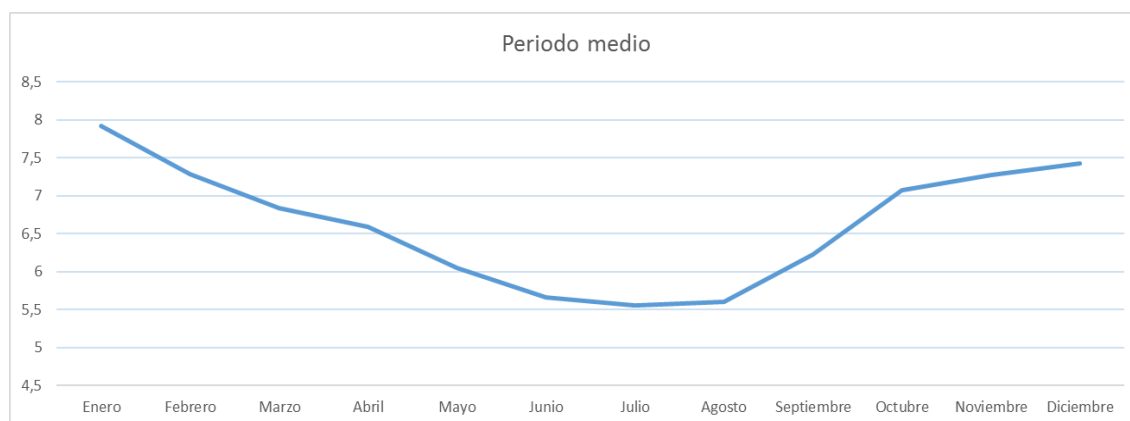
**Año 2017**

Seguidamente, se muestra la información extraída de las anteriores gráficas sobre los valores de período medio (s) según el mes y el año en la siguiente tabla:

		MESES											
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
AÑOS	1998	8,52	8,08	6,55	7,95	5,69	5,84	5,97	5,55	6,94	7,56	7,62	9,12
	1999	9,15	7,23	7,42	7,67	6,86	5,75	5,92	6,06	8,22	7,97	7,17	8,26
	2000	7,88	9,14	6,26	7,62	6,89	6,7	5,49	5,88	7,19	8,66	8,31	7,99
	2001	8,27	7,06	7,7	6,82	5,68	5,92	6,06	6,59	5,83	8,97	6,77	6,34
	2002	9,17	8,4	8,18	7,87	7,13	6,41	5,93	5,82	5,63	7,36	9,14	7,99
	2003	8,31	8,37	8,17	6,57	6,74	6,35	5,69	5,48	5,77	6,58	8,36	7,14
	2004	7,82	7,25	7,59	7,45	6,47	5,56	5,99	6,89	6,76	7,41	6,44	8,52
	2005	8,95	6,72	6,9	7,33	6,04	5,53	5,68	5,58	6,52	7,85	7,45	6,33
	2006	8,74	6,44	5,51	6,38	5,86	5,5	5,31	4,87	6,61	6,34	7,42	7,17
	2007	7,67	6,77	6,67	4,9	6,06	5,22	5,71	5,42	5,5	6,2	5,45	7,74
	2008	7,83	7,73	7,28	6,13	5,39	5,43	5,51	6,13	6,04	6,95	5,98	6,83
	2009	7,63	5,05	6,3	5,88	5,67	4,57	5,44	5,3	4,75	5,46	6,71	6,04
	2010	5,51	5,4	5,18	5,25	5,28	5,49	5,65	5,1	5,59	6,01	6,95	5,62
	2011	6,11	8,88	5,88	6,33	6,44	5,67	5,24	4,58	6,8	6,6	7,98	7,16
	2012	7,54	5,43	6,37	6,54	5,19	5,37	5,31	5,76	5,81	7	7,78	7,41
	2013	7,42	6,85	6,33	6,96	6,87	5,59	5,19	5,26	5,75	6,36	6,95	7,69
	2014	8,56	8,55	7,29	6,26	5,76	5,04	5,01	5,38	5,59	7,94	7,55	7,69
2015	8,43	6,95	7,26	6,19	6,1	5,51	5,19	6,12	5,63	6,66	8,25	8,55	
2016	8,12	8,16	6,57	6,35	5,28	5,33	5,09	5,29	6,83	6,27	6,58	8	
2017	6,63	7,32	7,24	5,4	5,63	6,52	5,73	4,99	6,82	7,3	6,46	6,82	

Y su correspondiente media mensual de los últimos veinte años y gráfica asociada:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Media	7,91	7,29	6,83	6,59	6,05	5,67	5,56	5,60	6,23	7,07	7,27	7,42



● **Determinación del potencial:**

En la zona de instalación del dispositivo Pelamis según los datos extraídos de AEMET, destaca el mar de fondo. Esto se traduce en que el oleaje real se puede aproximar por ondas senoidales regulares puesto que las crestas tienen longitudes definidas de varios centenares de metros y el período de éstas es similar si se comparan entre ellas. Además, la altura apenas varía de una a otra ola consecutiva.

Además, el fondo marino tiene la suficiente profundidad como para evitar que ejerza influencia alguna en la variación de los diferentes parámetros de las olas, permitiendo así que la aproximación que se hace del oleaje real a regular sea válida.

Para un dispositivo offshore, como es el caso de Pelamis, donde las aguas son profundas, el movimiento de las olas se aproxima por una onda sinusoidal, pues la altura que alcanzan éstas en comparación con su longitud es muy pequeña.

Por todas estas características, para el cálculo del potencial del oleaje en la zona de emplazamiento se utiliza la teoría de Ayri: la ola analizada es el resultado de la superposición de un conjunto de olas, cada una de las cuales presenta unas características diferentes al resto: altura, dirección y período, y por lo tanto, una velocidad propia. A partir de estos datos mostrados en las tablas anteriores se extrae una velocidad, altura significativa y periodo promedio del grupo de olas que será la que se emplee en el cálculo del potencial aprovechable mensualmente en los últimos diez años en la zona de instalación del dispositivo Pelamis.

Siguiendo la teoría de Ayri, la potencia por unidad de frente de ola se calcula de la siguiente manera:

$$P = \frac{\rho g H^2}{8} C_g$$

Siendo:

$$c_g = c/2 = \frac{gT}{4\pi}$$

Por lo tanto:

$$P = \frac{g^2 \rho H^2 T}{32\pi}$$

Así a partir de los valores medios mensuales de la altura significativa del oleaje, período medio y siendo:

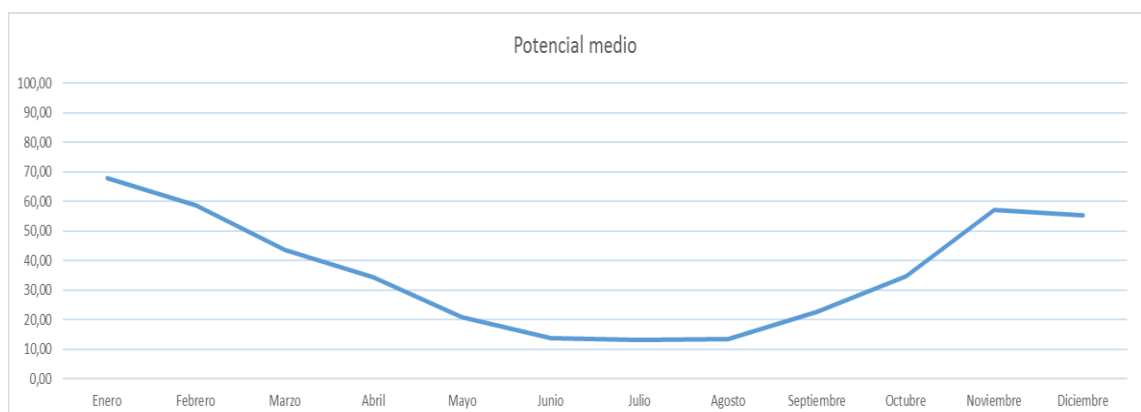
$$g = 9,80665 \frac{m}{s^2}$$

$$\pi = 3,1415927$$

$$\text{densidad del agua salada} = \rho = 1.027 \frac{kg}{m^3}$$

Se obtienen los valores de potencial medio mensual (kW/m) y su correspondiente gráfica:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Media	68,05	58,73	43,67	34,52	20,81	13,70	13,04	13,36	22,82	34,87	57,28	55,41

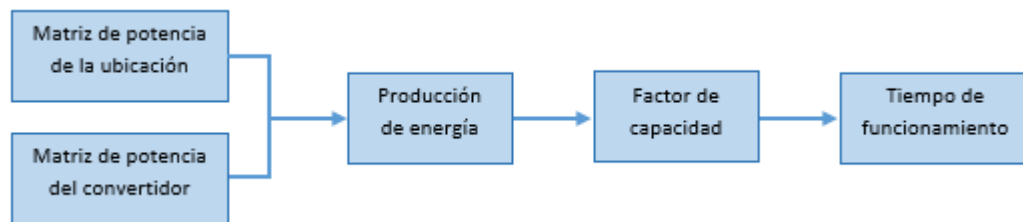


Y a partir de los valores obtenidos anteriormente, se determina el potencial medio estacional en kW/m:

<b>Invierno</b>	<b>Primavera</b>	<b>Verano</b>	<b>Otoño</b>
60,73	33,00	13,37	38,32

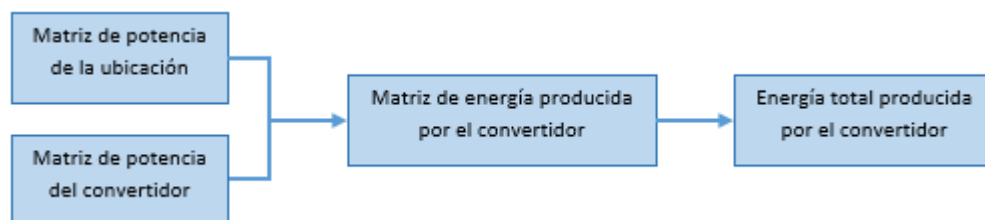
## 2. CÁLCULOS II: Estudio del recurso undimotriz

El objetivo es cuantificar el potencial del oleaje para la zona de instalación del dispositivo Pelamis, así como la producción energética de éste. El proceso llevado a cabo es el siguiente:



**Esquema 3: Procedimiento seguido en el presente documento. Fuente: elaboración propia**

Para la determinación de la cantidad de electricidad que puede generar este convertidor es necesario el empleo de dos matrices de potencia: la del convertidor a instalar y la de la ubicación. El procedimiento seguido para este cálculo sería el siguiente:



**Esquema 4: Procedimiento para el cálculo energético. Fuente: elaboración propia**

## 2.1. Matriz de potencia de la ubicación

La matriz de potencia del lugar de emplazamiento del parque undimotriz se obtiene a través de “Puertos del Estado,” plataforma perteneciente al Ministerio de Fomento de España. Cada zona costera corresponde con un punto denominado SIMAR de dicha plataforma.

El punto seleccionado que corresponde con el emplazamiento seleccionado es **SIMAR 3052040**.

Este tipo de matriz nos da la posibilidad de conocer el tiempo durante el cual está presente un oleaje de un período concreto y determinada altura.

Dado que el tiempo durante el cual está presente un oleaje determinado está en tanto por cien, la suma del total de los tiempos que conforma la ubicación es del 100%.

La matriz de potencia utilizada se corresponde con los valores porcentuales de los últimos veinte años.

EFICACIA: 98.98% AÑO/YEAR: 1998-2017		Tp (s)									TOTAL
		3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	>10.0	
Hs (m)	<=0.5	0.001	0.046	0.296	0.300	0.346	0.536	0.670	0.577	0.697	3.468
	1.0	0.005	0.128	1.409	2.835	2.186	3.007	3.457	4.098	6.995	24.121
	1.5	---	0.021	0.880	2.697	2.238	2.085	2.808	4.140	13.277	28.147
	2.0	---	0.002	0.059	1.229	1.841	1.405	1.071	2.047	11.997	19.650
	2.5	---	---	0.009	0.111	0.739	0.925	0.682	0.845	8.225	11.536
	3.0	---	---	0.001	0.006	0.100	0.440	0.296	0.412	4.945	6.200
	3.5	---	---	0.001	---	0.006	0.101	0.169	0.214	2.849	3.342
	4.0	---	---	---	---	---	0.010	0.048	0.081	1.438	1.577
	4.5	---	---	---	---	---	---	0.010	0.052	0.747	0.810
	5.0	---	---	---	---	---	---	0.001	0.005	0.546	0.552
	> 5.0	---	---	---	---	---	---	---	0.001	0.595	0.596
	TOTAL		0.007	0.197	2.655	7.178	7.457	8.510	9.212	12.473	52.310

Ilustración 40: Matriz de potencia de la ubicación [1]

## 2.2. Matriz de potencia del convertidor

La matriz de potencia de un convertidor viene proporcionada por el fabricante. En ella, para un período concreto ( $T_p$ ) y determinada altura de las olas ( $H_m$ ), se muestra, en kW, la producción de electricidad.

En el caso del dispositivo Pelamis proyectado, la máxima cantidad de potencia que puede generar, es decir, su potencia nominal se corresponde con 750 kW.

		Tp (s)								
		3	4	5	6	7	8	9	10	>10
Hs (m)	<=0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1	-	-	-	29,0	37,0	38,0	35,0	29,0	23,3
	1,5	-	-	32,0	65,0	83,0	86,0	78,0	65,0	45,2
	2	-	-	57,0	115,0	148,0	152,0	138,0	116,0	79,8
	2,5	-	-	89,0	180,0	231,0	238,0	216,0	181,0	125,0
	3	-	-	129,0	260,0	332,0	332,0	292,0	240,0	177,5
	3,5	-	-	-	354,0	438,0	424,0	377,0	326,0	229,8
	4	-	-	-	462,0	540,0	530,0	475,0	384,0	292,0
	4,5	-	-	-	544,0	642,0	628,0	562,0	473,0	345,7

Ilustración 41: Matriz de potencia del convertidor [2]

## 2.3. Procedimiento para determinar la energía producida por Pelamis

A continuación, se detallan las operaciones necesarias a realizar para determinar la energía producida por Pelamis en el emplazamiento seleccionado.

Se realizará el estudio de la energía total generada por el convertidor en el período de un año. La equivalencia en horas de un año se calcula:

$$t = 365 \text{ días} \times 24 \text{ horas} = 8.760 \text{ horas/año} \quad [1]$$

siendo  $t$  el tiempo de estudio.

Para la determinación de esta energía, es preciso conocer durante el tiempo de un año, la presencia de olas durante un período concreto de tiempo y una altura determinada.

Este tiempo se halla multiplicando la matriz de potencia de la ubicación por el número de horas que posee un año, es decir, el tiempo de estudio.

$$t_{\text{año}} = \frac{\text{valores de la matriz de potencia de la ubicación}}{100} t \quad [2]$$

siendo:

$t_{\text{año}}$  = matriz de tiempo de la ubicación obtenido para un período y altura determinada durante un año (h/año)

valores de la matriz de potencia de la ubicación = matriz de valor porcentual que refleja el tiempo para un período y altura de ola determinada (%)

Una vez se obtienen las horas anuales para las que se producen una altura determinada de olas para un periodo concreto, se calcula la energía producida por el convertidor Pelamis proyectado en un año. Para poder realizar este cálculo es necesario que ambas matrices, la del convertidor y la de la zona de emplazamiento posean las mismas dimensiones, esto es, mismos valores de período de tiempo y altura de ola considerados.

Una vez las matrices tienen las mismas dimensiones, se determina la energía total producida por Pelamis multiplicándolas entre sí. Se multiplica la matriz de tiempo de la ubicación obtenido para un período y altura determinada durante un año por la matriz del convertidor, para ese mismo período y altura determinada durante un año como se expresa en la siguiente ecuación:

$$E_{\text{prod}} = t_{\text{año}} \times \text{valores de la matriz de potencia del convertidor} \quad [3]$$

siendo:

$E_{\text{prod}}$  = Energía producida por Pelamis para un período y altura de ola determinada a lo largo de un período de tiempo, en nuestro caso, un año. (kWh/año)

valores de la matriz de potencia del convertidor = matriz que refleja la potencia producida por el convertidor para el mismo período y altura de ola determinada (kW)

Finalmente, se hace el sumatorio del conjunto de la energía producida para cada uno de los períodos de pico y alturas de ola, obteniendo de esta forma el total de la energía producida por el convertidor a lo largo de un año en la zona de instalación seleccionada:

$$E_{\text{prod máx}} = \sum E_{\text{prod}} \quad [4]$$

siendo:

$E_{\text{prod máx}}$  = cantidad de energía total producida por el convertidor a lo largo de un período de tiempo, en nuestro caso, un año. (kWh/año)

A continuación, se calcula el factor de capacidad con el fin de determinar la calidad energética que presenta el parque de aprovechamiento undimotriz, ya que determina el grado de empleo del dispositivo convertidor.

Este factor se calcula como la relación entre la cantidad de energía total producida por el convertidor a lo largo de un período de tiempo (en nuestro caso un año) y la energía que hubiera generado si trabajara a condiciones nominales, es decir, a plena carga:

$$t = \frac{E_{\text{prod máx}}}{E_{\text{convertidor}}} 100 \quad [5]$$

siendo:

FC = factor de capacidad (%)

$E_{\text{convertidor}}$  = Energía que produciría el convertidor si trabajara a condiciones nominales, es decir, a plena carga durante todo el año (kW/año)

Esta energía que produciría el convertidor si trabajara a condiciones nominales se calcula empleando la siguiente expresión:

$$E_{\text{convertidor}} = P_{\text{Nconvertidor}} \times t \quad [6]$$

siendo:

$P_{\text{Nconvertidor}}$  = potencia nominal del dispositivo convertidor (kW)

t = tiempo de estudio

Por último, se determina el número de horas de funcionamiento del convertidor a lo largo del año:

$$t_{\text{funcionamiento}} = FC \times t \quad [7]$$

siendo:

$t_{\text{funcionamiento}}$  = tiempo de funcionamiento a lo largo de un período de tiempo (en nuestro caso, un año) del convertidor (h)

## 2.4. Cálculos energéticos

A continuación, se llevará a cabo el cálculo para determinar la energía producida por Pelamis en el emplazamiento seleccionado. El procedimiento seguido se detalla en el apartado anterior.

[1] tiempo de estudio:

$$t = 365 \text{ días} \times 24 \text{ horas} = 8.760 \text{ horas/año}$$

A partir de la matriz de potencia de la ubicación en valores porcentuales que refleja el tiempo para un período y altura determinada (%):

**Matriz de potencia de la ubicación en valores porcentuales**

EFICACIA: 98,98% AÑO: 1998-2017		Tp(s)									TOTAL
		3	4	5	6	7	8	9	10	>10	
Hs (m)	<=0,5	0,001	0,046	0,296	0,300	0,346	0,536	0,670	0,577	0,697	3,469
	1	0,005	0,128	1,409	2,835	2,186	3,007	3,457	4,098	6,995	24,120
	1,5	0,000	0,021	0,880	2,697	2,238	2,085	2,808	4,140	13,277	28,146
	2	0,000	0,002	0,059	1,229	1,841	1,405	1,071	2,047	11,997	19,651
	2,5	0,000	0,000	0,009	0,111	0,739	0,925	0,682	0,845	8,225	11,536
	3	0,000	0,000	0,001	0,006	0,100	0,440	0,296	0,412	4,945	6,200
	3,5	0,000	0,000	0,001	0,000	0,006	0,101	0,169	0,214	2,849	3,340
	4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,048	0,081	1,438	1,577
	>4,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,058	1,888	1,957
<b>TOTAL</b>	<b>0,006</b>	<b>0,197</b>	<b>2,655</b>	<b>7,178</b>	<b>7,456</b>	<b>8,509</b>	<b>9,212</b>	<b>12,472</b>	<b>52,311</b>	<b>100,000</b>	

[2] Se calcula  $t_{\text{año}}$ , la matriz de tiempo de la ubicación obtenido para un período y altura determinada durante un año (h/año):

**Matriz de tiempo de la ubicación para un período y altura determinados**

EFICACIA: 98,98% AÑO: 1998-2017		Tp(s)									TOTAL
		3	4	5	6	7	8	9	10	>10	
Hs (m)	<=0,5	0,088	4,030	25,930	26,280	30,310	46,954	58,692	50,545	61,057	303,884
	1	0,438	11,213	123,428	248,346	191,494	263,413	302,833	358,985	612,762	2112,912
	1,5	0,000	1,840	77,088	236,257	196,049	182,646	245,981	362,664	1163,065	2465,590
	2	0,000	0,175	5,168	107,660	161,272	123,078	93,820	179,317	1050,937	1721,428
	2,5	0,000	0,000	0,788	9,724	64,736	81,030	59,743	74,022	720,510	1010,554
	3	0,000	0,000	0,088	0,526	8,760	38,544	25,930	36,091	433,182	543,120
	3,5	0,000	0,000	0,088	0,000	0,526	8,848	14,804	18,746	249,572	292,584
	4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,876	4,205	7,096	125,969	138,145
	4,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,964	5,081	165,389	171,433
<b>TOTAL</b>	<b>0,526</b>	<b>17,257</b>	<b>232,578</b>	<b>628,793</b>	<b>653,146</b>	<b>745,388</b>	<b>806,971</b>	<b>1092,547</b>	<b>4582,444</b>	<b>8759,650</b>	

A partir de esta última matriz,  $t_{\text{año}}$ , y la matriz de potencia del convertidor:

		Matriz de potencia del convertidor								
		Tp(s)								
		3	4	5	6	7	8	9	10	>10
Hs (m)	<=0,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	1	0,000	0,000	0,000	29,000	37,000	38,000	35,000	29,000	23,300
	1,5	0,000	0,000	32,000	65,000	83,000	86,000	78,000	65,000	45,200
	2	0,000	0,000	57,000	115,000	148,000	152,000	138,000	116,000	79,800
	2,5	0,000	0,000	89,000	180,000	231,000	238,000	216,000	181,000	125,000
	3	0,000	0,000	129,000	260,000	332,000	332,000	292,000	240,000	177,500
	3,5	0,000	0,000	0,000	354,000	438,000	424,000	377,000	326,000	229,800
	4	0,000	0,000	0,000	462,000	540,000	530,000	475,000	384,000	292,000
4,5	0,000	0,000	0,000	544,000	642,000	628,000	562,000	473,000	345,700	

[3] Se halla  $E_{\text{prod}}$ , la matriz de energía producida por Pelamis para un período y altura determinada a lo largo de un año:

		Eprod								
		Tp(s)								
		3	4	5	6	7	8	9	10	>10
Hs (m)	<=0,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	1	0,000	0,000	0,000	36010,170	35426,316	50048,508	52995,810	52052,796	71386,773
	1,5	0,000	0,000	12334,080	76783,590	81360,252	78537,780	95932,512	117865,800	262852,735
	2	0,000	0,000	1472,994	61904,730	119340,984	93539,280	64735,524	104003,976	419323,943
	2,5	0,000	0,000	350,838	8751,240	74770,542	96425,700	64522,656	66989,910	450318,750
	3	0,000	0,000	56,502	683,280	14541,600	63983,040	37857,216	43309,440	384449,025
	3,5	0,000	0,000	0,000	0,000	1151,064	18756,912	27906,294	30556,632	286758,688
	4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2321,400	9986,400	13623,552	183914,448
4,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2707,716	12016,092	285874,541	

[4] Se calcula  $E_{\text{prod máx}}$ , la cantidad de energía producida por el convertidor en un año (kWh/año) a partir de la suma de todos los valores de la anterior matriz:

$$E_{\text{prod máx}} = 4.070.492,030 \text{ kWh/año}$$

[5] Se calcula el factor de capacidad del dispositivo, FC (%):

$$FC = 61,956 \%$$

[6] A partir de  $E_{\text{convertidor}}$ , función de la  $P_{\text{Nconvertidor}}$ :

$$P_{\text{Nconvertidor}} = 750 \text{ kW}$$

$$\mathbf{E_{convertidor} = 6570000 \text{ kWh}}$$

[7] Por último, se obtiene el tiempo de funcionamiento de nuestro dispositivo de estudio, Pelamis, durante un año (h):

$$\mathbf{t_{funcionamiento} = 5.427,323 \text{ h}}$$



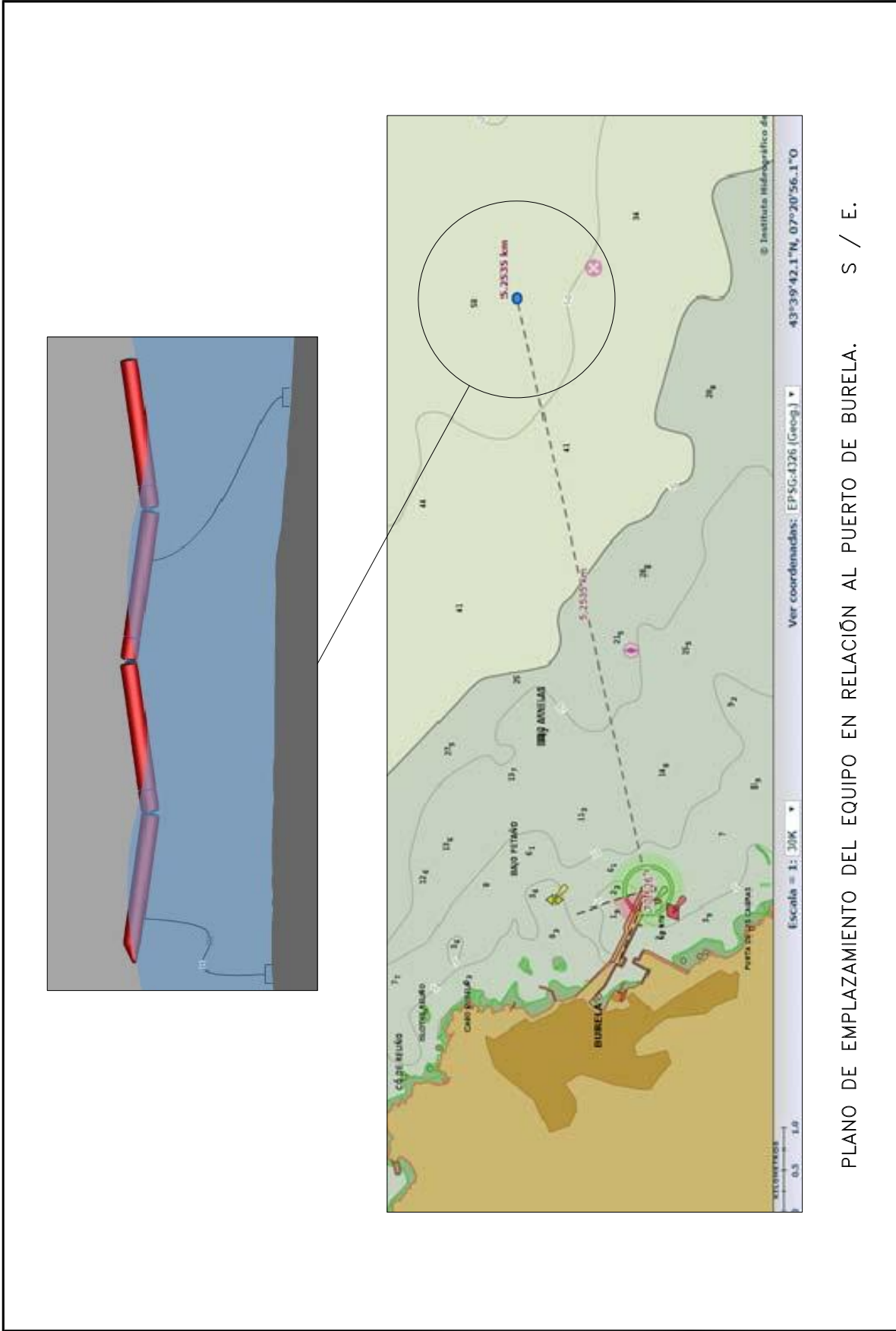
**-DOCUMENTO 3,**

**PLANOS-**

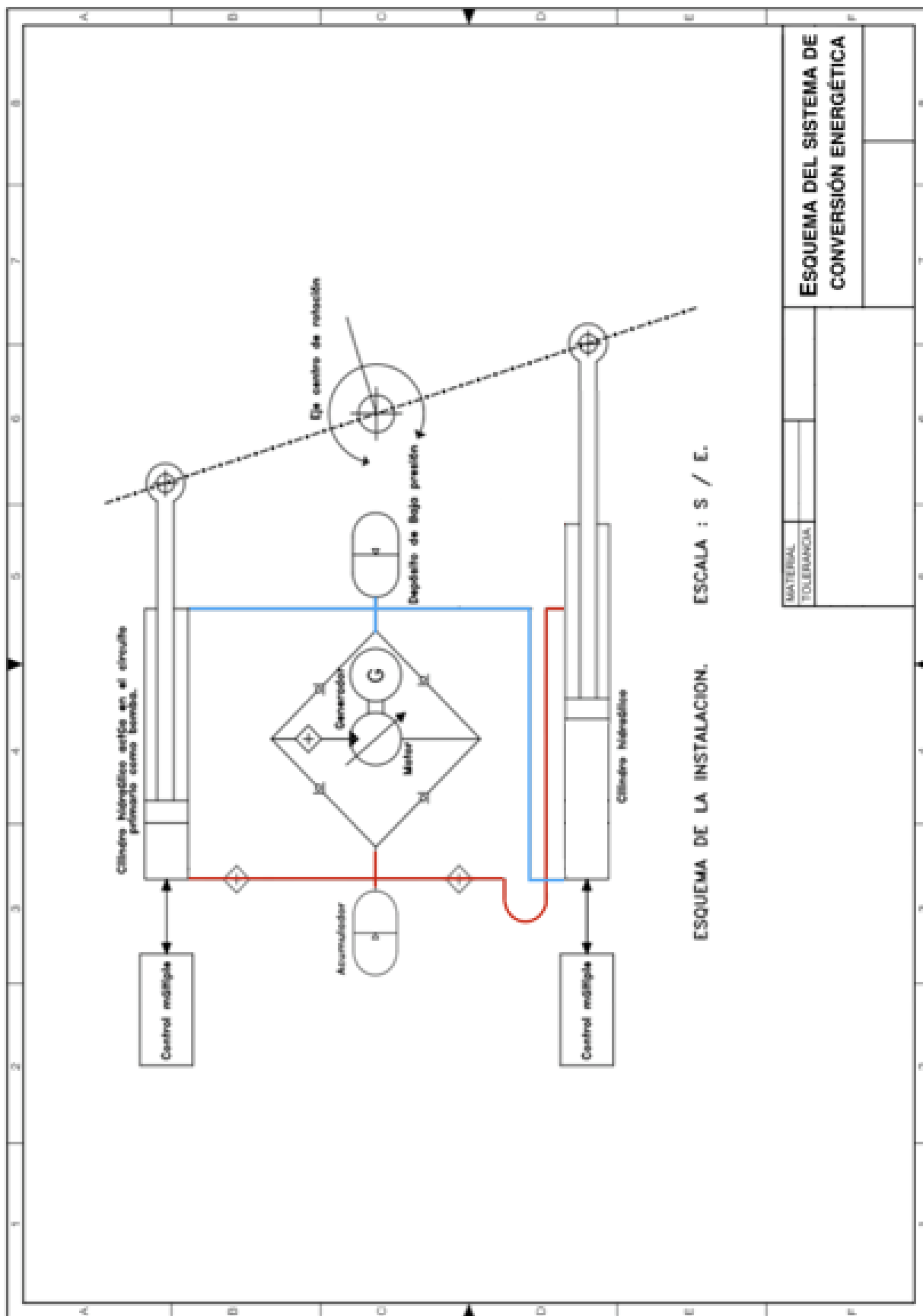




PLANO DE SITUACIÓN DEL MUNICIPIO Y DEL PUERTO DE BURELA EN LA COSTA DE LUGO. ( MAR CANTÁBRICO ). ESCALA : S / E



PLANO DE EMPLAZAMIENTO DEL EQUIPO EN RELACIÓN AL PUERTO DE BURELA. S / E.



ESQUEMA DEL SISTEMA DE CONVERSIÓN ENERGÉTICA	
MATERIAL	
TOLERANCIA	



## **BIBLIOGRAFÍA**

### **Capítulo I:**

[<sup>1</sup>] Economipedia, Crisis del petróleo 1973,

<http://economipedia.com/definiciones/crisis-del-petroleo-1973.html>

[<sup>2</sup>] Appa, Renovables en España,

<http://www.appa.es/01energias/03renovablesespana.php>

[<sup>3</sup>] La Vanguardia, El mar ‘esconde’ una fuente de energía que podría ayudar a millones de personas,

<http://www.lavanguardia.com/natural/20170307/42518054015/olas-fuente-energia.html>

### **Capítulo II:**

[<sup>1</sup>] Vix, Marga Arzabal, ¿Qué porcentaje del planeta Tierra es agua?,

<https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/7616/que-porcentaje-del-planeta-tierra-es-agua>

[<sup>2</sup>] Consellería de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria, Producción y distribución de la energía eléctrica,

[https://www.edu.xunta.gal/centros/cpidomingofontanportas/aulavirtual2/pluginfile.php/11640/mod\\_resource/content/0/PRODUCCION\\_Y\\_DISTRIBUCION\\_DE\\_LA\\_ENERGIA\\_ELECTRICA/TEMA\\_PRODUCCION\\_Y\\_DISTRIBUCION\\_ENERGIA.pdf](https://www.edu.xunta.gal/centros/cpidomingofontanportas/aulavirtual2/pluginfile.php/11640/mod_resource/content/0/PRODUCCION_Y_DISTRIBUCION_DE_LA_ENERGIA_ELECTRICA/TEMA_PRODUCCION_Y_DISTRIBUCION_ENERGIA.pdf)

[<sup>3</sup>] Arisumisa, Escocia apuesta por generar energía de las corrientes marinas,

<https://arisumisa.blogspot.com/2011/03/escocia-apuesta-por-generar-energia-de.html>

[4] IES Rayuela de Móstoles, Recursos: Gradiente térmico oceánico, <http://ies.rayuela.mostoles.educa.madrid.org/Publicaciones/ApuntesCienciasTierra/x-recursos/GradineteTermicoOceanico.htm>

[5] Ignacio Tomé Fdez., Energía potencial osmótica: Un buen sustituto de los combustibles fósiles, [https://www.upo.es/moleqlla/export/sites/moleqlla/documentos/Numero19/Destacado\\_2.pdf](https://www.upo.es/moleqlla/export/sites/moleqlla/documentos/Numero19/Destacado_2.pdf)

[6] Comisión Europea, cordis.europa., La energía de gradiente salino: una opción ecológica, [https://cordis.europa.eu/result/rcn/90491\\_es.html](https://cordis.europa.eu/result/rcn/90491_es.html)

### Capítulo III:

[1] Julia Fernández Chozas, Una aproximación al aprovechamiento de la energía de las olas para la generación de electricidad, septiembre 2008

[2] Nauticonil, El mar de leva o mar de fondo, <http://nauticonil.es/wp-content/uploads/2015/11/EL-MAR-DE-LEVA-O-MAR-DE-FONDO.pdf>

[3] Evelyn Valeria Morales Calisto, Universidad de Chile, Análisis de un dispositivo oscilante como medio de captación de energía undimotriz, <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/139160/Analisis-de-un-dispositivo-oscilante-como-medio-de-captacion-de-energia-undimotriz.pdf?sequence=1>

[4] Tecnalía, Energías de las olas: Situación y futuro, [https://www.udc.es/iuem/documentos/doc\\_xornadas/anaeco/APROVEITAMENTODAENERXIADASOLAS.pdf](https://www.udc.es/iuem/documentos/doc_xornadas/anaeco/APROVEITAMENTODAENERXIADASOLAS.pdf)

[5] Haim Pablo Alejandro, Energía Undimotriz, <https://es.slideshare.net/ItaloHuamani/undimotriz-haim>

[6] Jose Miguel Camacho Barradas, El posible aprovechamiento de las corrientes marinas en Veracruz, <https://docplayer.es/42825412-Universidad-veracruzana.html>

- [7] Christopher Fernandes, The University of Edinburg, Oscillating Water Column Scaling, <http://owc-wec.weebly.com/oscillating-water-columns.html>
- [8] Acera A.G., Por la promoción de energías renovables, <http://www.acera.cl/energias-renovables/>
- [9] Textos científicos.com, Dispositivos de generación de energía a través de las olas, <https://www.textoscientificos.com/energia/dispositivos-generacion-energia-olas>
- [10] Youtube, Pelamis Wave Power, Pelamis machine in Portugal, <https://www.youtube.com/watch?v=cwhGbrRCirc>
- [11] Anales de Mecánica y Electricidad, Energías renovables en el medio marino, [https://revista-anales.icaei.es/web/n\\_14/seccion\\_8.html](https://revista-anales.icaei.es/web/n_14/seccion_8.html)
- [12] Tendencias de la energía, Un dispositivo capta más energía de las olas que otros sistemas ya existentes, [https://www.tendencias21.net/Un-nuevo-dispositivo-capta-mas-energia-de-las-olas-que-otros-sistemas-ya-existentes\\_a2847.html](https://www.tendencias21.net/Un-nuevo-dispositivo-capta-mas-energia-de-las-olas-que-otros-sistemas-ya-existentes_a2847.html)
- [13] DanaDona C.H., Pinterest, Energía undimotriz, <https://www.pinterest.se/pin/346495765057722696/>
- [14] Maritime Journal, Denmark's wave dragon delivers power to the grid, [http://www.maritimejournal.com/news101/industry-news/denmarks\\_wave\\_dragon\\_delivers\\_power\\_to\\_the\\_grid](http://www.maritimejournal.com/news101/industry-news/denmarks_wave_dragon_delivers_power_to_the_grid)
- [15] EcoRenovator, Oyster Offshore Wave Generator Is 2.5x Better Than Predecessor, <https://ecorenovator.org/forum/other-improvements/3751-oyster-offshore-wave-generator-2-5x-better-than-predecessor.html>
- [16] Rios y Costas, Tema II Oleaje y mareas, [http://los5vengadores.blogspot.com/2013/04/ii\\_19.html](http://los5vengadores.blogspot.com/2013/04/ii_19.html)
- [17] Univesitat Politècnica de Catalunya, Oleaje.Propagación, [https://portal.camins.upc.edu/materials\\_guia/250241/2011/Tema\\_02-3\\_Propagacion\\_UPC.pdf%3Bjsessionid=D1939022E5E2AA9BFB7C4019931922F1](https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250241/2011/Tema_02-3_Propagacion_UPC.pdf%3Bjsessionid=D1939022E5E2AA9BFB7C4019931922F1)

[<sup>18</sup>] Univesitat Politècnica de Catalunya, Anexo I. Teoría de las olas,  
<https://www.google.es/search?q=teoria+de+las+olas&oq=teoria+de+las+olas&aqs=chrome..69i57j35i39j0l4.2465j1j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

[<sup>19</sup>] Bing, Surfers Spain,  
[https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=4CvXQXYq&id=9DE2CA6C826F68204C07A60BA349F88B0B0E1E83&thid=OIP.4CvXQXYqgXQ731P\\_ey4DTgAAAA&mediaurl=https%3a%2f%2fsurferspain.files.wordpress.com%2f2008%2f11%2folas3-](https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=4CvXQXYq&id=9DE2CA6C826F68204C07A60BA349F88B0B0E1E83&thid=OIP.4CvXQXYqgXQ731P_ey4DTgAAAA&mediaurl=https%3a%2f%2fsurferspain.files.wordpress.com%2f2008%2f11%2folas3-7063831.jpg%3fw%3d300%26h%3d199&exp=200&expw=300&q=rotura+d)

[7063831.jpg%3fw%3d300%26h%3d199&exp=200&expw=300&q=rotura+d](https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=4CvXQXYq&id=9DE2CA6C826F68204C07A60BA349F88B0B0E1E83&thid=OIP.4CvXQXYqgXQ731P_ey4DTgAAAA&mediaurl=https%3a%2f%2fsurferspain.files.wordpress.com%2f2008%2f11%2folas3-7063831.jpg%3fw%3d300%26h%3d199&exp=200&expw=300&q=rotura+d)

[e+la+ola&simid=608042963488541937&selectedIndex=69&ajaxhist=0](https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=4CvXQXYq&id=9DE2CA6C826F68204C07A60BA349F88B0B0E1E83&thid=OIP.4CvXQXYqgXQ731P_ey4DTgAAAA&mediaurl=https%3a%2f%2fsurferspain.files.wordpress.com%2f2008%2f11%2folas3-7063831.jpg%3fw%3d300%26h%3d199&exp=200&expw=300&q=rotura+d)

[<sup>20</sup>] Universidade Da Coruña, Obras marítimas y portuarias,

[ftp://ceres.udc.es/Grado\\_IOP/Tercer\\_Curso/Obras%20maritimas%20y%20portuarias/Presentaciones/Tema%202.3.%20Oleaje.pdf](ftp://ceres.udc.es/Grado_IOP/Tercer_Curso/Obras%20maritimas%20y%20portuarias/Presentaciones/Tema%202.3.%20Oleaje.pdf)

## Capítulo IV:

[<sup>1</sup>] Energías renovables, España podría cubrir el 20% de su consumo eléctrico con la energía de las olas, [https://www.energias-renovables.com/energias\\_del\\_mar/espana-podria-cubrir-el-20-de-su-20160412](https://www.energias-renovables.com/energias_del_mar/espana-podria-cubrir-el-20-de-su-20160412)

[<sup>2</sup>] Plan de Energías Renovables 2011-2020 ([]Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020)

[<sup>3</sup>] IDAE, Evaluación del potencial de la energía de las olas (PER 2011-2020), [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11227\\_e13\\_olas\\_b31fcafb.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e13_olas_b31fcafb.pdf)

[<sup>4</sup>] Trabajo de Fin de Grado de Noelia Cendán Carracedo, [file:///C:/Users/ALVARO/Downloads/CendanCarracedo\\_Noelia\\_TFG\\_2017%20\(10\).pdf](file:///C:/Users/ALVARO/Downloads/CendanCarracedo_Noelia_TFG_2017%20(10).pdf)

[<sup>5</sup>] Escala nacional, Presentación, imagen página 65, <http://www.marineplan.es/es/atlas/escalanacional/presentacion.pdf>

[<sup>6</sup>] Instituto Hidrográfico de la Marina, Geoportal de la Infraestructura de datos espaciales del Instituto Hidrográfico de la Marina,

<http://ideihm.covam.es/visor.html>

[<sup>7</sup>] EMODnet Bathymetry, Mean depth full coverage, <http://portal.emodnet-bathymetry.eu/>

[<sup>8</sup>] Red eléctrica de España, Mapas de la red,

<http://www.ree.es/es/actividades/gestor-de-la-red-y-transportista/mapas-de-la-red>

## Capítulo V:

[<sup>1</sup>] Neoteo, Pelamis, la serpiente marina robótica que proporciona energía eléctrica, <https://www.neoteo.com/pelamis-la-serpiente-marina-robotica-que/>

[<sup>2</sup>] Ecología hoy, ¿Qué es la Energía Undimotriz u olamotriz? Imágenes, [https://www.google.es/search?biw=1600&bih=794&tbm=isch&sa=1&ei=6SEeW-HjEMTYgAa9h7iYCA&q=pelamis+vista+superior&oq=pelamis+vista+superior&gs\\_l=img.3...17710.21145.0.21746.18.16.2.0.0.0.164.1131.13j3.16.0....0...1c.1.64.img..0.0.0....0.kMIE-txE0v8#imgrc=Bo0NQOhQTDuupM:](https://www.google.es/search?biw=1600&bih=794&tbm=isch&sa=1&ei=6SEeW-HjEMTYgAa9h7iYCA&q=pelamis+vista+superior&oq=pelamis+vista+superior&gs_l=img.3...17710.21145.0.21746.18.16.2.0.0.0.164.1131.13j3.16.0....0...1c.1.64.img..0.0.0....0.kMIE-txE0v8#imgrc=Bo0NQOhQTDuupM:)

[<sup>3</sup>] CTE, ¿Cómo funciona el PELAMIS?,

<http://ingenieroandreotti.blogspot.com/2014/08/como-funciona-el-pelamis.html>

## -DOCUMENTO 2, CÁCULOS-

[<sup>1</sup>] Puertos del Estado, Predicción del oleaje, nivel del mar ; Boyas y mareógrafos, <http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>

[2] Rodrigo Bizama Zamora, Universidad del Bío-Bío, Estudio técnico económico para el aprovechamiento de energía undimotriz en Chile, [http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2013/bizama\\_r/doc/bizama\\_r.pdf](http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2013/bizama_r/doc/bizama_r.pdf)

**-DOCUMENTO 4,**  
**PRESUPUESTO-**



A continuación, se procede a determinar el presupuesto requerido para el desarrollo del proyecto expuesto anteriormente.

La energía generada por cada dispositivo Pelamis en la zona de emplazamiento seleccionada es de 4.070.492,03 kWh/año. Dado que se quiere abastecer energéticamente a la población de Burela cuyo consumo anual es de 22.125.132,97 kWh/año, se precisan seis convertidores para lograr satisfacer esta demanda energética.

Cada uno de estos convertidores posee una potencia nominal de 750 kW, por lo que el parque a instalar será de 4,5 MW.

#### ● **Estudios previos**

En la instalación de un parque de generación undimotriz, intervienen numerosos estudios: de desarrollo y consentimiento, de diseño e ingeniería, ambientales, análisis del fondo marino, estudios del establecimiento de estaciones meteorológicas, estudios oceanográficos y de impacto visual, cuyos precios es necesario tenerlos en cuenta a la hora de calcular el presupuesto que va a suponer desarrollar el proyecto.

Debido al pequeño desarrollo de parques de generación undimotriz, los datos que se tienen referentes a esta forma de obtención de energía son escasos o nulos, por ello, para determinar el precio de todos los estudios anteriormente mencionados, se hace una analogía con los parques eólicos marinos y sus datos. Éstos han sido extraídos de “A Guide to an Offshore Wind Farm,” publicado en nombre de “The Crown State” (Febrero 2010) y son los siguientes:

Los estudios de desarrollo y consentimiento cubren todos los procesos hasta el cierre financiero y como su nombre indica, los permisos necesarios para

proceder con la construcción del parque de generación undimotriz. Su precio total alcanza los 136.272 €.

En el caso de los estudios de diseño e ingeniería como ambientales, el precio viene determinado por la potencia del parque instalado siendo de 2.271,2 y 7.962,827€ por MW del parque respectivamente.

El análisis del fondo marino es necesario para el correcto amarre de los convertidores a éste y para la selección del tipo de sujeción empleada. El precio que alcanza estos estudios es de 40.881,6 €.

El estudio sobre la instalación de estaciones meteorológicas, con las cuales se pretende determinar las condiciones meteorológicas de cada momento y así mediante el sistema de control establecer el correcto funcionamiento de Pelamis, supondrán un coste total de 131.881,089 €.

Los estudios oceanográficos son necesarios para determinar si las condiciones del mar en la zona de instalación son las adecuadas y las olas poseen el potencial necesario como para que sea viable instalar un dispositivo Pelamis. También es necesario estudiar la batimetría de la zona para colocarlo en una zona que cumpla con las condiciones de profundidad requeridas para nuestro dispositivo. El precio es de 102204 €.

Finalmente, el estudio del impacto visual que es lo que determina lo que afectan este tipo de instalaciones a los seres humanos, tiene un precio de 113.560 €.

● **Instalación y puesta en funcionamiento**

En esta sección, se incluye el coste del cable eléctrico terrestre siendo de 10.022 € por km de cable. En este precio, el proceso de excavación está incluido.

Además, es necesario tener en cuenta en el presupuesto la arqueta de hormigón armado donde se une el cableado marino con el cableado terrestre. Sus dimensiones son 1,60 m x 1,60 m x 1,50 m de profundidad y su precio alcanza los 2.000 €.

En cuanto al cableado marino, su precio asciende a un total de 55.000 €/km y la instalación de la subestación offshore 150.000 € al día.

El transporte de los seis dispositivos Pelamis desde tierra hasta la zona de emplazamiento y su posterior instalación se hace empleando un buque de carga. Su precio asciende a un total de 181.000 €/día de transporte.

● **Dispositivo convertidor**

La fabricación de cada unidad de dispositivo Pelamis cuesta 2415000 €.

En esta partida están incluidos el anclaje, amarre e instalación cuyo precio es de 127162,65 € por MW del parque.

● **Salud y seguridad en las obras**

El importe que se considera para la salud y seguridad en las obras constituye el 2 % del importe total de ejecución material.

- **Otros**

En este apartado, se incluyen los imprevistos y contingencias que se pueden producir o llevar a cabo durante el proyecto. Suponen un precio de un 1,5 % del importe de ejecución total.

● Estudios previos:

ESTUDIOS PREVIOS	UNIDADES	MEDIDAS	PRECIO UNITARIO (€)	IMPORTE (€)
De desarrollo y consentimiento	Unidad	1	136272	136272
De diseño e ingeniería	MW	4,5	8271,2	37220,4
Ambientales	MW	4,5	7962,827	35832,7215
Análisis del fondo marino	Unidad	1	40881,6	40881,6
Establecimiento de estaciones meteorológicas	Unidad	1	131881,089	131881,089
Oceanográficos	Unidad	1	204408	204408
De impacto visual	Unidad	1	113560	113560
<b>TOTAL</b>				<b>700055,8105</b>

● Instalación y puesta en funcionamiento:

INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO	UNIDADES	MEDIDAS	PRECIO UNITARIO (€)	IMPORTE (€)
Instalación del cableado terrestre de cobre	€/km	36,62	10022	367005,64
Arqueta de hormigón armado para unión entre cableado marino y cableado terrestre de 1,60 m x 1,60 m x 1,50 m	Unidad	1	2000	2000
Instalación del cableado marino	€/km	5,2535	55000	288942,5
Instalación subestación offshore	días	5	150000	750000
Tendido eléctrico entre WECs	€/km	2,57	50000	128500
Tendido eléctrico de la línea de evacuación a tierra (220kV)	€/km	1,64	50000	81924,5
Transporte e instalación de WECs desde tierra hasta la zona de instalación	Dispositivos	6	9500000	57000000
<b>TOTAL</b>				<b>58618372,64</b>

● Dispositivo convertidor:

DISPOSITIVO CONVERTIDOR	UNIDADES	MEDIDAS	PRECIO UNITARIO (€)	IMPORTE (€)
Pelamis	Dispositivos	6	2415000	14490000
Anclaje, amarre e instalación	€/MW	4,5	127162,65	572231,925
<b>TOTAL</b>				<b>15062231,93</b>

- Salud y seguridad en las obras:

SALUD Y SEGURIDAD	PRECIO UNITARIO (€)	IMPORTE (€)
Importe de las medidas de seguridad y salud en las obras	1487613,208	1487613,208
<b>TOTAL</b>		<b>1487613,208</b>

- Otros:

IMPREVISTOS Y CONTINGENCIAS	PRECIO UNITARIO (€)	IMPORTE (€)
Contingencias e imprevistos	1115709,906	1115709,91
<b>TOTAL</b>		<b>1115709,91</b>

**Resumen del presupuesto general:**

	TOTALES
ESTUDIOS PREVIOS	700055,811
INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO	58618372,6
DISPOSITIVO CONVERTIDOR	15062231,9
SALUD Y SEGURIDAD EN LAS OBRAS	1487613,21
IMPREVISTOS Y CONTINGENCIAS	1115709,91

	TOTALES
IMPORTE DE EJECUCIÓN MATERIAL	76983983,50
13% Gastos Generales	10007917,85
6% Beneficio	4619039,01
IMPORTE DE EJECUCIÓN TOTAL	91610940,36
21% IVA	19238297,48
IMPORTE DE CONTRATA	110849237,84

**-DOCUMENTO 5,**  
**PLIEGO DE**  
**CONDICIONES-**



## **1. Objeto y alcance**

El objeto del presente pliego es regular las condiciones a cumplir durante la ejecución de las obras en el proyecto de diseño y dimensionamiento de un dispositivo aprovechador de energía undimotriz offshore. Así, mediante este documento se fijarán los niveles de calidad y técnicos exigibles, especificando las correspondientes intervenciones, según el Contrato y conforme a la legislación vigente, al Contratista, sus encargados y técnicos, a la Propiedad, al ingeniero...En resumen a las relaciones entre todos aquellos que forman parte del proyecto y sus obligaciones correspondientes con arreglo al cumplimiento pleno del contrato establecido de obra.

## **2. Informe del Contrato de Obra**

El contrato está integrado por los siguientes documentos, enumerados según orden de prioridad en lo que respecta al valor de sus correspondientes especificaciones:

1. Las condiciones establecidas en el mismo documento de contrato de empresa
2. Pliego de Condiciones Particulares
3. Pliego de Condiciones Generales
4. Los documentos restantes del proyecto: presupuesto, planos, memoria...

Estudios sobre el Impacto Ambiental, Higiene y Seguridad en el Trabajo y Control de Calidad también podrán formar parte de la documentación del contrato de obra en aquellas obras que así lo requieran.

En cada uno de los documentos, prevalecen las especificaciones literales sobre las gráficas.

Las órdenes de la obras de la Dirección Facultativa se agregan al proyecto como complemento, precisión o interpretación de sus determinaciones.

### **3. Disposiciones facultativas**

#### **3.1. Ingeniero Director**

Le corresponde:

- Redactar las adiciones, rectificaciones o modificaciones que se precisen en el proyecto.
- Anotar las incidencias e instrucciones que estime convenientes en el Libro de Asistencias y Órdenes.
- Coordinar que otros técnicos intervengan en la obra.
- Aprobar la liquidación final y las certificaciones de obra parciales.
- Asesorar durante la fase de ejecución y en la recepción a la Propiedad.
- Dirigir y coordinar la obra.
- Asistir a las obras todas las veces que lo requieran para evitar y resolver posibles contingencias y dar las instrucciones necesarias para la correcta interpretación y realización de lo proyectado.

- Coordinar, junto con el Contratista, el programa de desarrollo y control de calidad de la obra con arreglo a las especificaciones y normativa del proyecto.
- Comprobar que lo proyectado es lo adecuado antes del inicio de las obras.
- Emitir el Certificado Final de Obra
- Preparar, junto con el Contratista, toda aquella documentación escrita y gráfica del proyecto ejecutado definitivo.

### **3.2. Ingeniero Técnico**

Al Ingeniero Técnico le corresponde, suponiendo que colabora con el Ingeniero Director en la ejecución del proyecto:

- La redacción del documento de análisis y estudio del Proyecto para realizar los programas de desarrollo y organización de la obra.
- La redacción del estudio sobre los sistemas adecuados ante los posibles riesgos que se pueden presentar durante la ejecución de las obras y aprobación del Plan de Higiene y Seguridad para su posterior aplicación.
- Efectuar el trazo de la obra y la preparación de la correspondiente acta.
- Disponer o realizar ensayos y pruebas de instalaciones, materiales y del resto de unidades de obra. También le corresponde efectuar las comprobaciones necesarias con el fin de asegurar la normativa técnica y la calidad requerida en el proyecto. Informará de los resultados obtenidos al Contratista, impartándole las órdenes que considere oportunas y en el caso de no resolución de la contingencia avisará al Ingeniero y adoptará las medidas que crea convenientes.

- Suscribir el Certificado Final de Obra.
- Planificar, a la vista de la normativa técnica de aplicación, del Proyecto y del Contrato, el control económico y de calidad de las obras.
- Redactar el Programa de Control de Calidad.
- Comprobar los medios auxiliares, medidas de higiene y seguridad en el trabajo e instalaciones provisionales, controlando que se ejecutan correctamente.

### **3.3. Contratista**

Al Contratista le corresponde:

- Conciliar los seguros de daños a terceros y accidentes de trabajo que puedan ocurrir durante la obra.
- Facilitar los materiales precisos que requiere el Ingeniero, con suficiente antelación, para que pueda llevar a cabo su cometido.
- Elaborar el Plan de Higiene y Seguridad de la obra cuando ésta lo requiera y disponer y velar por la ejecución y cumplimiento de las medidas preventivas, así como asegurar que se cumple la normativa referente a higiene y seguridad en el trabajo.
- Planificar los distintos trabajos de ejecución.
- La suscripción del Acta de Replanteo.
- Dirigir y ordenar la ejecución material conforme al Proyecto, a las reglas y normas técnicas que garantizan una buena ejecución. Es el máximo responsable de todo aquel personal que hagan intervenciones en la obra y

también se encarga de coordinar a los subcontratistas en su participación en el proyecto.

- Asegurar que todos los elementos y materiales que se utilizan en la obra están en perfectas condiciones y en el caso contrario, rechazar aquellos que no cumplen con la idoneidad requerida por mandato del Ingeniero o propia iniciativa.

## **4. Condiciones facultativas**

### **4.1. Plan de Higiene y Seguridad**

El Contratista será el responsable de presentar el Plan de Higiene y Seguridad a la dirección facultativa para su aprobación.

### **4.2. Supervisión de los documentos que conforman el proyecto**

Antes de que se inicien las obras, el contratista deber haber comprendido la totalidad de la obra contratada a partir de la documentación que se le aporta. En caso contrario, deberá pedir las aclaraciones que considere necesarias.

### **4.3. Control de calidad**

El Programa de Control de Calidad está a disposición del contratista donde se especifican los requisitos y características que es preciso que cumplan las unidades de obra y materiales, los criterios a seguir para el recibimiento de los materiales; análisis, ensayos y pruebas a realizar y otros aspectos descritos en el programa por el Ingeniero integrante de la Dirección Facultativa.

### **4.4. Representación del Contratista**

Es de obligado cumplimiento que el contratista designe en la obra a un delegado suyo, que adquirirá el carácter de Jefe de ésta, con facultades para poder representarle, dedicación plena y capacidad para tomar las decisiones que completan la contrata.

### **4.5. Presencia en la obra del Contratista**

El Jefe de Obra deber de estar presente durante la jornada de trabajo, bien por medio de sus técnicos o por sí mismo. Asimismo, es de su obligación acompañar al Ingeniero durante sus visitas a las obras, estando a su disposición en todo momento para proporcionarle los reconocimientos que considere necesarios y los datos e información para la comprobación de liquidaciones y mediciones.

#### **4.6. Faltas de personal**

En caso de que el Ingeniero considere que se están desobedeciendo sus órdenes o incompetencia por parte del personal que pueda perturbar o comprometer la ejecución adecuada de la obra, podrá solicitar al Contratista que aparte a aquellos operarios de la obra causantes de la alteración.

#### **4.7. Modificaciones, interpretaciones y aclaraciones del proyecto**

El Contratista puede solicitar del Ingeniero aquellas aclaraciones e instrucciones que se precisen para una ejecución e interpretación correcta de lo proyectado.

Cualquier modificación o interpretación que se haga de los planos o Pliego de Condiciones debe de comunicarse por escrito al Contratista y es la obligación de éste de devolver las copias o los originales con su firma. Ésta figurará al pie de todas las instrucciones, órdenes o avisos que reciba el Ingeniero.

Si el Contratista considera que hay que hacer una reclamación en contra de las decisiones tomadas, deberá dirigirla, con un plazo máximo de tres días, al responsable que la ha dictado y éste deberá darle el recibo correspondiente.

#### **4.8. Subcontratas**

El Contratista, sin perder su rol como Contratista General de la obra, podrá subcontratar a otros contratistas en caso de que lo considere necesario.

## **5. Condiciones económicas**

El contratista dispondrá el cerramiento de la obra, el acceso a ésta y el mantenimiento que se requiere durante su ejecución.

### **5.1. Inicio de la obra**

El Contratista es el que dará el comienzo a la obra en el plazo que marca el Pliego de Condiciones Particulares, desarrollándola de tal manera que los trabajos correspondientes se realicen en el periodo señalado y en consecuencia, que la ejecución del trabajo en su totalidad se efectúe dentro del plazo establecido en el Contrato.

Es de obligado cumplimiento que el Contratista informe por escrito al Ingeniero del comienzo de la obra con tres días como mínimo de antelación.

### **5.2. Orden de los trabajos**

El orden de los trabajos viene determinado normalmente por la contrata, a menos que la Dirección Facultativa considere conveniente su variación.

### **5.3. Facilidades para otros contratistas**

El Contratista General deberá estar a disposición y dar todas las facilidades posibles para la realización de los trabajos que realizan otros contratistas que intervengan en la obra.

#### **5.4. Ampliación del proyecto por causas de fuerza mayor o imprevistos**

En caso de que sea necesario la ampliación del proyecto por algún accidente imprevisto, no se interrumpirán los trabajos, sino que se continuará con las instrucciones que dé el Ingeniero mientras se tramita o formula el Proyecto Reformado.

#### **5.5. Prórroga concedida por causas de fuerza mayor**

Si las obras no pueden comenzar por alguna causa en contra de la voluntad del propio Contratista, es necesaria su suspensión o no es capaz de acabarla en el plazo establecido, se le otorgará una prórroga. El Contratista deberá exponer por escrito y dirigido al Ingeniero, la causa por la que no se ha podido empezar la obra, el consecuente retraso en los plazos y el razonamiento de la prórroga solicitada.

#### **5.6. Responsabilidad en el retraso de la obra de la dirección facultativa**

El Contratista no puede excusarse de no haber cumplido con los plazos de obra establecidos alegando la carencia de órdenes o planos de la Dirección Facultativa como causa. Se exceptúa el caso en el que no se lo hubieran proporcionado aún después de haberlo solicitado por escrito.

## **5.7. Condiciones generales en la ejecución de las obras**

Todos y cada uno de los trabajos deberán realizarse conforme a lo establecido en el Proyecto, con sujeción estricta a las modificaciones previamente aprobadas y las instrucciones y órdenes que por escrito y bajo su responsabilidad entreguen al Contratista el Ingeniero.

## **5.8. Obras ocultas: documentación**

De todas las unidades y trabajos de obra que deben quedar ocultos, quedarán definidos mediante los planos precisos para su perfecta definición. Estos documentos se realizarán por triplicado y se entregarán uno al Contratista y el otro al Ingeniero, que deberán firmar todos.

## **5.9. Trabajos defectuosos**

El Contratista debe garantizar que todos los trabajos se realicen de acuerdo a lo especificado en el proyecto. Por ello, cualquier defecto que pueda surgir en la ejecución de la obra es de su responsabilidad.

## **5.10. Vicios ocultos**

Si el Ingeniero considera que pueden existir en la ejecución de las obras vicios ocultos, ordenará efectuar aquellos ensayos que considere necesarios con el fin de reconocer los trabajos defectuosos.

### **5.11. Procedencia de los aparatos y materiales**

El Contratista posee la libertad para hacerse con los aparatos y materiales que considere convenientes a no ser que el Pliego de Condiciones Técnicas le obligue a adquirirlos de una procedencia determinada.

Sin embargo, es de obligado cumplimiento que antes de emplear cualquiera de estos materiales o aparatos, el Contratista presente al Ingeniero una lista de todo aquello que vaya a emplear en la que se especifiquen indicaciones sobre calidades, marcas, idoneidad y procedencia.

### **5.12. Presentación de muestras**

El Contratista, a petición del Ingeniero, deberá presentar las muestras de los diferentes materiales con la antelación necesaria y prevista en el calendario de ejecución de la obra.

### **5.13. Materiales no utilizables**

Aquellos materiales no utilizados en la obra que provengan de desechos deberán ser transportados y colocados, a costa del Contratista, agrupándolos de forma ordenada.

El Ingeniero será el encargado de ordenar su retirada, pero acordando con anterioridad con el Contratista su tasación, teniendo en cuenta los gastos de transporte y el valor de estos materiales.

#### **5.14. Aparatos y materiales defectuosos**

En el caso en el que los aparatos, materiales o elementos de instalaciones no cumplieren con la normativa establecida en este Pliego, el Ingeniero deberá dar orden al Contratista de realizar la sustitución por otros que cumplan con las condiciones requeridas.

Si tras 15 días de la orden, el Contratista no ha realizado la retirada de los materiales defectuosos, lo podrá realizar la Propiedad y los gastos serán cargados a la contrata.

Si el Ingeniero considera que aunque estén defectuosos, los materiales son aceptables, serán recibidos pero con la rebaja en el precio que éste determine, a menos que el Contratista desee sustituirlos por otros.

#### **5.15. Gastos generados por ensayos y pruebas**

Todos aquellos gastos causados por los ensayos y pruebas de elementos o materiales que intervengan en la obra, corren a cargo de la Contrata.

#### **5.16. Limpieza de obras**

La limpieza de las obras y alrededores constituye una obligación del Contratista. Es el responsable de que se retiren las instalaciones provisionales una vez que ya no sean necesarias, los materiales sobrantes y escombros, así como ejecutar los trabajos y medidas necesarias para el buen aspecto de la obra.

### **5.17. Obras sin prescripciones**

Aquellos trabajos que formen parte de la ejecución de las obras, y para los que no existan prescripciones en la documentación del proyecto o en el presente Pliego, el Contratista deberá atenerse, en primer lugar, a las instrucciones que mande la Dirección Facultativa y en segundo término, las prácticas y reglas de la buena ejecución.

### **5.18. Documentación final de la obra**

El Ingeniero, secundado por los técnicos que hayan intervenido en la obra y el Contratista, llevará a cabo la redacción de los documentos correspondientes al final de las obras. Esta documentación será facilitada a la Propiedad, con los contenidos y especificaciones establecidos por la legislación vigente.

### **5.19. Plazo de garantía**

En el Pliego de Condiciones Particulares, deberá estipularse el plazo de garantía. No deberá ser nunca inferior a nueve meses.

### **5.20. Prórroga del plazo de garantía**

Si al llevar a cabo el reconocimiento para la recepción final de obra, ésta no se encontrase en las condiciones, se deberá aplazar la recepción. El Ingeniero será el que marque al Contratista las formas y plazos en las que

deberán realizarse las obras. En caso de no realización de las obras en los plazos establecidos, el Contrato podrá resolverse con pérdida de la fianza.

### **5.21. Recepción definitiva**

Se verificará la recepción definitiva con las mismas formalidades y en igual forma que la provisional después de que haya transcurrido el plazo de garantía. A partir de esta fecha, el Contratista ya no tendrá por obligación la reparación de aquellos desperfectos que surjan durante la obra y quedarán subsistentes las responsabilidades que se le pudieran otorgar por vicios de la construcción.

## **6. Condiciones legales**

### **6.1. Contratistas**

Los extranjeros y españoles que se hallen en posesión de derechos civiles de acuerdo a las leyes y las Compañías y Sociedades legalmente reconocidas y constituidas en España pueden ser contratistas de obra.

Quedan exceptuados:

- Aquellas personas que se encuentren procesados criminalmente.
- Aquellos que estén con suspensión de pagos, fallidos o con sus bienes intervenidos.

## **6.2. Contrato**

Los sistemas mediante los cuales se podrán contratar la ejecución de las obras son los siguientes:

- Por tanto alzado.
- Por unidades de obra.
- Por Administración indirecta o directa.
- Por contratos.

## **6.3. Adjudicación**

Los procedimientos mediante los cuales podrán efectuarse la adjudicación de las obras son los siguientes:

- Adjudicación directa
- Concurso privado o público.
- Subasta privada o pública. La adjudicación será obligatoria al mejor postor.

## **6.4. Concursos y subastas**

Se celebrarán los concursos y subastas en el lugar que señalen las “Condiciones Particulares de índole legal” de la obra y ante aquellas personas que aparezcan señaladas: es imprescindible que figuren el

Ingeniero-Director, un delegado por los concursantes y un representante de la Propiedad.

El Ingeniero-Director tendrá la potestad de proponer el establecimiento de un secreto a la Propiedad. Todas las propuestas que se encuentren por debajo serán rechazadas.

## **6.5. Formalización del contrato**

La formalización de los Contratos se realizará, generalmente, mediante documento privado, el cual podrá ser elevado a escritura pública si cualquiera de las partes lo solicita y conforme a las vigentes disposiciones.

El Contratista también habrá de firmar su conformidad del “Pliego de Condiciones Generales y Particulares” antes de que firme la escritura, que regirá en la obra, en los precios, planos y presupuesto general.

## **6.6. Arbitraje obligatorio**

En caso de que haya diferencias, ambas partes se deben comprometer a que sus diferencias se sometan al arbitraje de compondores amigables. De entre ellos, uno debe ser designado por la propiedad, tres Ingenieros nombrados por el correspondiente Colegio Oficial (uno será director de obra) y otro por la contrata.

## **6.7. Jurisdicción competente**

Si no se llega a un acuerdo mediante el procedimiento anteriormente descrito, todas las partes tienen la obligación de someter todas las dudas que puedan surgir de su contrato a discusión, a los Tribunales Administrativos y Autoridades, de acuerdo a la vigente legislación, renunciando al fuero de su domicilio y derecho común. Donde la obra estuviera enclavada, es competente la jurisdicción.

## **6.8. Responsabilidad del Contratista**

El Contratista es el máximo responsable de que las obras se ejecuten en las condiciones que han sido establecidas en los documentos y contrato que componen el Proyecto.

Así, como consecuencia, tendrá la obligación de declarar la reconstrucción o demolición de todo aquello que haya sido mal ejecutado.

## **6.9. Accidentes de trabajo**

El Contratista tiene el deber de adoptar las medidas de seguridad convenientes que las leyes preceptúan con el fin de evitar posibles accidentes a los trabajadores o viandantes.

En caso de que ocurran accidentes durante la realización de los trabajos, el Contratista se ceñirá a lo que dictan las leyes vigentes, siendo el único y máximo responsable de su incumplimiento. De ningún modo, por lo tanto, la Dirección Técnica o la propiedad puede quedar afectada.

## **6.10. Daños a terceros**

El Contratista es el único responsable de todos aquellos accidentes que ocurran por descuido o inexperiencia durante la ejecución de las obras. Por tanto, las indemnizaciones de todos los daños y perjuicios que puedan ocurrir correrán a cargo de su cuenta.

## **6.11. Carteles y anuncios**

Sin autorización del Propietario, no se permitirá poner más anuncios en las obras que los apropiados a la política de los trabajos.

## **6.12. Copia de documentos**

Entre los derechos del Contratista, se encuentra el sacar copias de los planos, memoria, pliegos de condiciones y presupuestos a su costa y el resto de documentos del Proyecto.

Si el Contratista lo solicitase, el Ingeniero podrá autorizar con su firma estas copias, una vez hayan sido confrontadas.

## **6.13. Hallazgos**

El Propietario tiene el derecho a posesión de todas aquellas antigüedades, sustancias minerales u obras de arte que se hallen en las excavaciones llevadas a cabo en los terrenos de las obras. Para la extracción, el Contratista deberá tomar las precauciones que le indique el Ingeniero-Director.

El exceso de gastos u obras que ocasionen estos trabajos serán abonados al Contratista por el Propietario.

## **6.14. Rescisión de contrato**

Las causas de rescisión son:

- Incapacitación o muerte del Contratista.
- Quiebra del Contratista.
- Alteraciones del Contrato por las siguientes causas:
  - Alteraciones fundamentales del Proyecto y como consecuencia de estas alteraciones, la variación del presupuesto representando un 20% de éste.
  - Alteraciones de unidades de obra en un 40% aproximadamente.
- El no comienzo de la obra por causas ajenas de la obra en el plazo correspondiente de tres meses; en este caso se devolverá la fianza.
- La paralización de la obra comenzada.
- El abandono de la obra.
- La mala fe en la realización de la obra.
- La terminación del plazo establecido de ejecución de la obra sin que se haya llegado a ésta.
- El no cumplimiento de las condiciones establecidas en el contrato.



**-DOCUMENTO 6,**

**ANEXOS-**





# *Roquet*

**Componentes oleo-dinámicos  
para instalaciones industriales**

**Hydraulic components  
for industrial application**

**Cilindros doble efecto  
*Double acting cylinders***

**PN-250**

## CILINDROS PN 250

Presión máxima de trabajo 250 bar.  
Viscosidad del aceite comprendido entre 2° y 6° Engler a 50° C.  
Filtraje mínimo a 180 micrones. *hasta*  
Temperatura ambiente entre -20° y +80° C.  
Recorrido normalizado: 3 metros. En construcción especial hasta 6 metros.  
Velocidad máxima de émbolo 25 m/minuto. *(0,5/25 m/min.)*  
(Para velocidades superiores consultar Dpto. Técnico.)

El cilindro es tubo de acero de alta calidad, sin soldadura, con un superacabado interior que asegura un mínimo de rozamiento consiguiendo una larga duración de las juntas.  
El vástago es de acero especial protegido contra la oxidación ambiente y desgaste por una capa de cromo-duro debidamente pulido. Para trabajos especiales pueden suministrarse en acero inoxidable.

### NORMAS A TENER EN CUENTA EN LA ELECCION DE UN CILINDRO

- 1º El esfuerzo a realizar debe ser calculado teniendo en cuenta las condiciones de trabajo, sentido de los esfuerzos, reacciones, componentes, etc.
- 2º Tener en cuenta la velocidad del émbolo que nos indicará el caudal necesario de la bomba y diámetro de las conducciones.
- 3º Forma de fijación del cilindro para que no tenga que soportar esfuerzos transversales o radiales ya que los cilindros no están preparados para soportar este tipo de esfuerzos por lo que se hace necesario comprobar la alineación en el montaje y si fuera necesario guiar mecánicamente las cargas en movimiento.

## CYLINDERS PN 250

Working pressure up to 250 bar.  
Oil viscosity: between 2° and 6° Engler.  
Minimal filtering feinheith 180 micrometres.  
Temperature sange -20° to 80° C.  
Standart stroke: up to 3 meter. Special up to 6 meter.  
Maximal piston speed: up to 25 m/minute.  
(Higher speed please ask our technical department.)

Cylinder is high steel quality, seamless tube, with a superfinishing inside to assure a minimal friction and maximal seals life.  
Piston rod is a special steel protected against ambient corrosion and wear by a crom plate layer. For special purpose may be supplied inox-steel piston rods.

### ITEMS TO TAKE CARE WHEN CHOOSING A CYLINDER

1. Cylinder efforts to be calculated acording the working conditions, effort direction, etc.
2. Take care of cylinder speed that will determinate the pump delivery and pipes diameter.
3. Cylinder mounting form in order to avoid transversal of radial efforts because cylinder construction are not prepared to manage this. So it is necessary to check the cylinder aligning and even provide some mechanical guide of the moving charges.

# Nomenclatura de referencias

## References guide

DS 1 P 45 - 80 - 600 R

TIPO CILINDRO  
CYLINDER TYPE  
DS - Doble efecto  
DS - Double acting

TIPO JUNTAS  
SEALS TYPE  
1 - Estándar  
1 - Standard

FIJACION DEL CILINDRO  
CYLINDER MOUNTING  
C - Con charnela  
Q - Charnela con casquillo  
G - Charnela con rótula  
P - Por patas  
M - Por bulones o muñones  
F - Por brida frontal  
B - Por brida posterior  
C - Clevis  
Q - Clevis with bush  
G - Self aligning clevis mounting  
P - Feet  
M - Trunnions  
F - Front flange  
B - Rear flange

FIJACION DEL VASTAGO  
PISTON ROD END  
C - Por charnela  
Q - Charnela con casquillo  
G - Charnela con rótula  
R - Roscado  
C - Clevis  
Q - Clevis with bronze bush  
G - Self aligning clevis mounting  
R - Standard - screwed

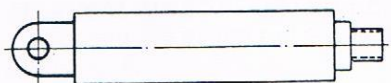
CARRERAS ESTANDAR EN MM.  
STANDARD STROKES IN MM.  
50-100-150-200-250-300-400-500-600  
800-1000-1250-1500-1750-2000-2250  
2500-2750-3000

DIAMETRO DEL EMBOLO  
PISTON DIAMETER  
32-40-50-63-70-80-100-115-125-140  
160-180-200-220-250

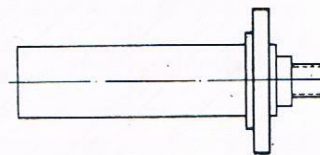
DIAMETRO DEL VASTAGO  
PISTON ROD DIAMETER  
18-22-28-36-40-45-50-56-70-80-90  
100-110-125-140-160

## Forma de fijación

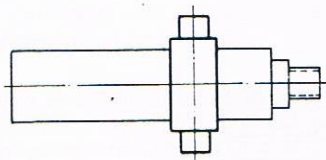
### Mounting form



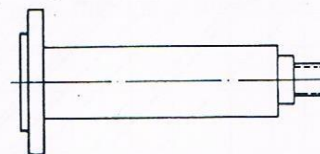
Forma C-Q y G



Forma F



Forma M



Forma B



Forma P



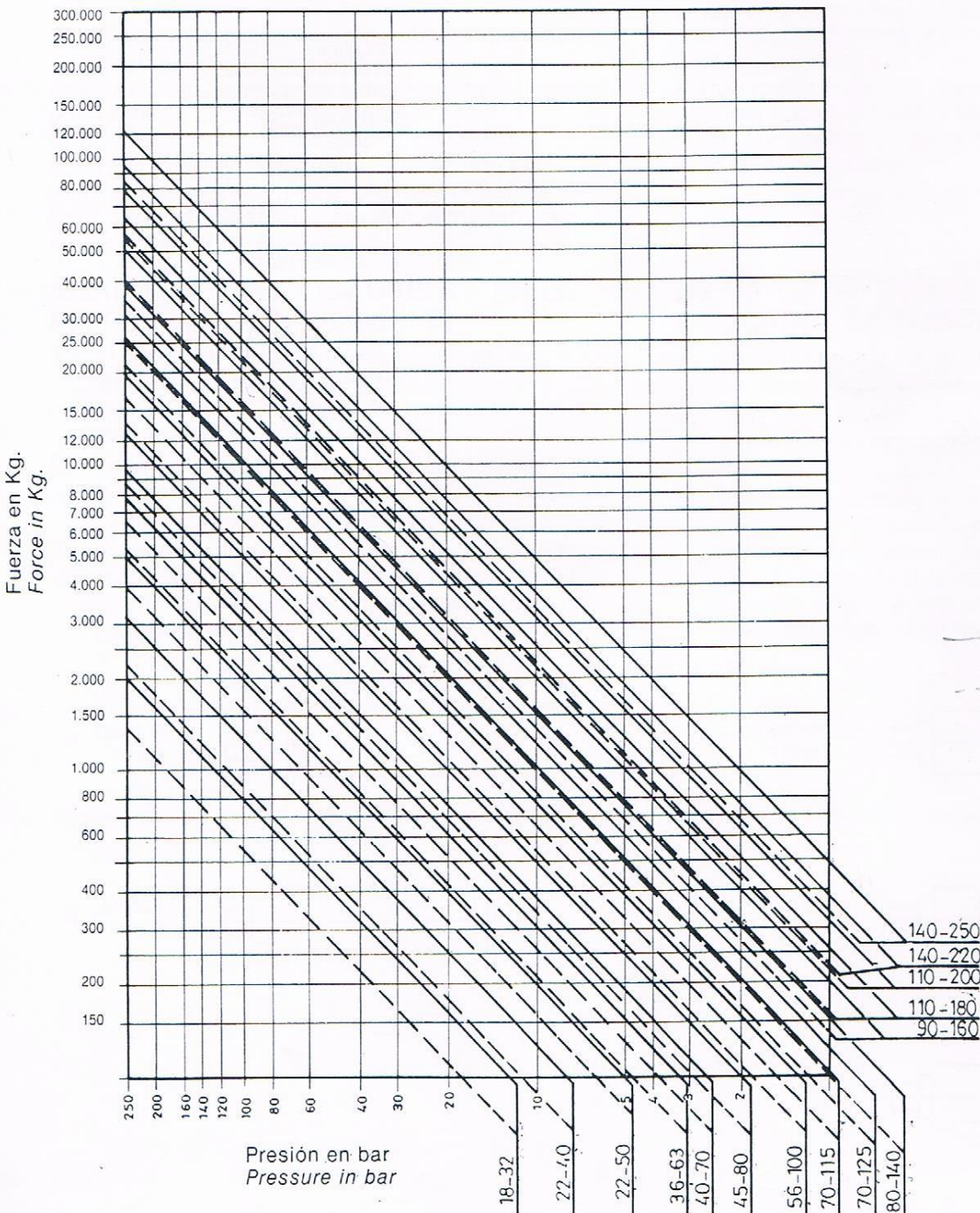
# Gráfico de esfuerzos Force diagram

Las líneas en trazo continuo representan esfuerzos a compresión.

Las líneas en trazo discontinuo representan esfuerzos a tracción calculados con el vástago de menor diámetro, respecto al diámetro del émbolo correspondiente.

*The continuous lines show compression forces.*

*The discontinuous lines show traction forces calculated with the smallest piston rod of a given piston diameter.*



**MANNESMANN  
REXROTH****Motor constante A2FM Serie 61**para circuito abierto y cerrado  
Pistones axiales cónicos - Sistema eje inclinadoHydromatik  
Brueninghaus Hydraulik

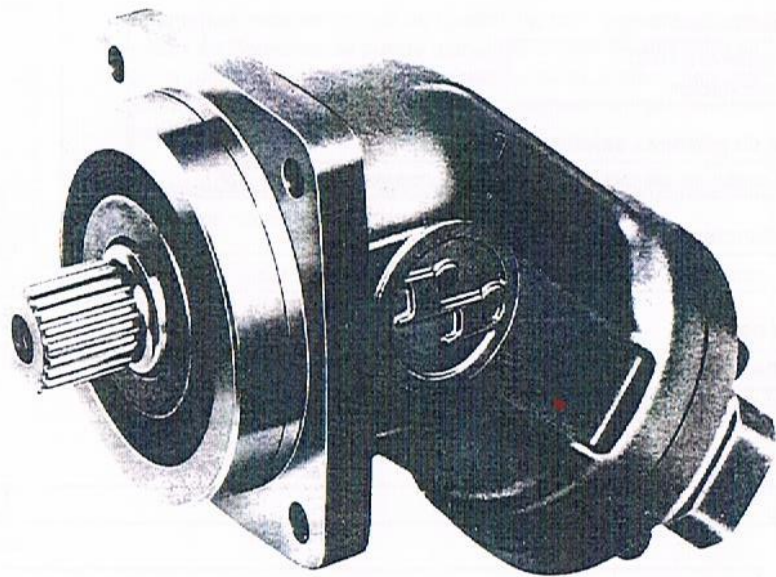
TN 10...180

Presión nominal hasta 400 bar

Presión máx. hasta 450 bar

**RS  
91001/03.85**

substituye 91 000/01.83

Motores constantes A2F  
Tamaño nominal 250...1000  
véase RS 91 015Tamaño nominal 5  
véase RS 91 003Motores variables A6VM  
véase RS 91 602Bombas constantes A2FO  
para circuito abierto  
véase RS 91 401

Máquina de pistones axiales en construcción de eje inclinado de caudal constante, utilizable para transmisiones hidrostáticas en sistemas de circuito cerrado y abierto.

El número de revoluciones de salida es proporcional al caudal recibido e inversamente proporcional a la cilindrada. El momento de giro disponible aumenta con la diferencia de presión entre el lado de alta y el de baja presión.

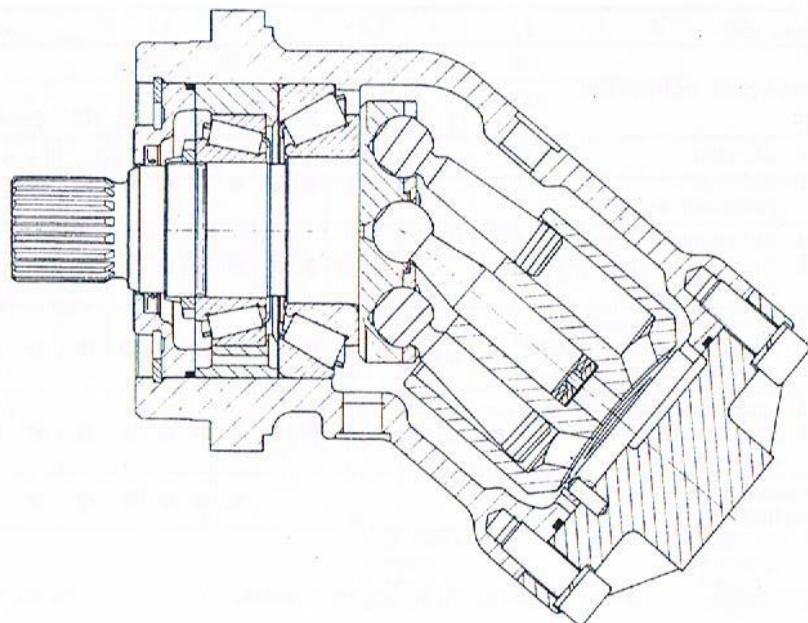
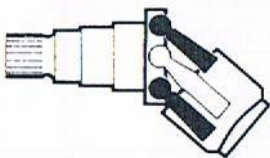
El motor es adecuado para su utilización tanto en el campo móvil como en estado estacionario.

Una amplia gama de tamaños nominales permite una excelente adaptación a cada una de las transmisiones requeridas.

La máquina de pistones axiales A2FM también puede ser empleada como bomba en circuitos cerrados.

**Características especiales**

- Máquina de gran ángulo: Todos los tamaños nominales con el mismo ángulo de basculamiento  $\alpha = 40^\circ$ , esto significa, óptima relación peso/potencia, dimensiones pequeñas, óptimo rendimiento, concepción económica.
- Pistón cónico monopieza con dos aros de estanqueidad para hermetización; arrastre sin cardán patentado.
- Concepto de montaje y de cojinetes de mantenimiento muy cómodo, de larga vida útil.



## Código de tipos

A2F	M	/	61	-	B
-----	---	---	----	---	---

## Fluido hidráulico

Aceite mineral o HFD  
sin denominación

## Máquina de pistones axiales

Construcción de eje inclinado de caudal constante

A2F

## Tipo de funcionamiento

Motor

M

## Tamaño nominal

 $\triangleq$  Volumen absorbido  $V_g$  (cm<sup>3</sup>)

10	12	16	23	28	32	45	56	63	80	90	107	125	160	180
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----

## Serie

61

## Sentido de rotación

mirando hacia la punta del eje

alternadamente

W

derecha

R

izquierda

L

## Juntas

Perbunan

P

Vitón

V

## Punta de eje

10 12 16 23 28 32 45 56 63 80 90 107 125 160 180

Perfil de eje dentado	standard	10	12	16	23	28	32	45	56	63	80	90	107	125	160	180	
DIN 5480	adaptación	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	A
Eje cil. con chavetero	standard			●			●			●		●		●		●	B
DIN 6885	adaptación	●	●		●	●		●	●		●		●		●		P

## Brida

de 4 orificios ISO

B

## Conexiones para conductos de trabajo

10 12 16 23 28 32 45 56 63 80 90 107 125 160 180

Conex.	A	B	10	12	16	23	28	32	45	56	63	80	90	107	125	160	180	
A SAE atrás B SAE Atrás (rosca métr. de fij.)						●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	01
A SAE lateral } dispuestas en B SAE lateral } forma opuesta (rosca métr. de fij.)					●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	02
A rosca lateral } dispuestas en B rosca lateral } forma opuesta (rosca métrica)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	03
A rosca lateral y posterior B rosca lateral y posterior (rosca métrica)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	04
Lugar especial para adosar una válvula de freno									●	●	●	●	●	●				08

● = suministrable

○ = en preparación, suministro a pedido

- = no suministrable

## Datos Técnicos

### Fluido hidráulico

#### Aceite mineral y fluido hidráulico HFD

Antes de comenzar a proyectar, solicitamos tengan a bien leer en nuestros catálogos RS 90 220 (aceite mineral) y RS 90 223 (fluido hidráulico HFD), las informaciones detalladas sobre la elección de fluidos oleohidráulicos y sus condiciones de empleo. En caso de emplear fluidos HFC, se ruega consultar.

#### Rango de viscosidad en servicio

Recomendamos elegir la viscosidad en servicio (a temperatura de servicio) en el rango de

$$v_{opt} = \text{Viscosidad ópt. de servicio } 16 \dots 36 \text{ mm}^2/\text{s}$$

óptimo para el grado de rendimiento y la larga vida útil, referido a la temperatura del aceite circulante en circuito cerrado o temperatura en el depósito en circuito abierto.

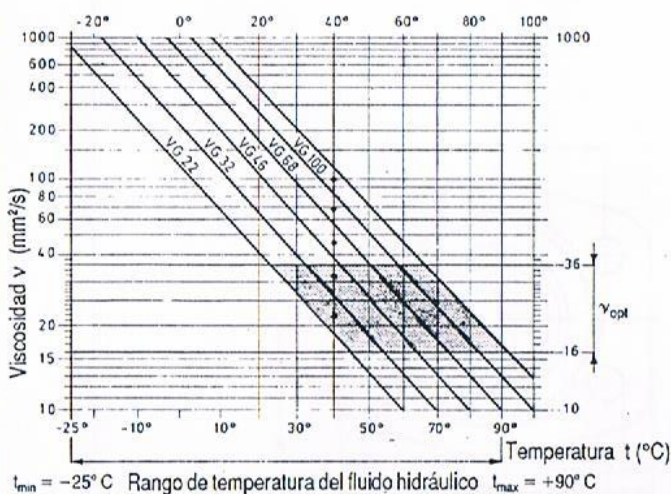
#### Rangos límites de viscosidad

Para condiciones límites de servicio rigen los siguientes valores:

$v_{min} = 10 \text{ mm}^2/\text{s}$  por poco tiempo a temp. máx. admisible de  $90^\circ\text{C}$  del aceite de fuga

$v_{max} = 100 \text{ mm}^2/\text{s}$  por poco tiempo al arrancar en frío.

#### Diagrama de elección



#### Recomendación sobre la elección del fluido hidráulico

Para la elección del fluido es importante conocer la temperatura de servicio del mismo en dependencia con la temperatura ambiente, debiendo ser ella: para un circuito cerrado, la del fluido de circulación y para un circuito abierto, la del fluido en el depósito.

Dicha elección se debe hacer de manera tal que para el rango de temperatura de servicio, su viscosidad se encuentre en valores óptimos ( $v_{opt}$ ). Ver en diagrama el área sombreada. En caso de duda, aconsejamos escoger siempre la clase de viscosidad superior.

Ejemplo: Para una temperatura ambiente de  $X^\circ\text{C}$  existe una temperatura de servicio (circuito cerrado: temperatura de circulación; circuito abierto: temperatura en el depósito) de  $60^\circ\text{C}$ . En un rango óptimo de viscosidad en servicio ( $v_{opt}$ ; área sombreada), esto equivale a las clases de viscosidad VG 46 ó VG 68; elegimos VG 68.

Atención: La temperatura de aceite de fugas, sobre la que tienen influencia la presión de servicio y el número de revoluciones, posee un valor superior a la del aceite de circulación y del depósito, no pudiendo ser el mismo superior a  $90^\circ\text{C}$ .

Recomendamos hacer un barrido o enjuague de la carcasa cuando dichas condiciones no se puedan asegurar para situaciones de esfuerzos extremos o temperatura ambiente elevada. Se ruega consultar.

#### Filtraje

El grado de filtrado recomendado es de  $10 \mu\text{m}$ . También es posible un filtrado de  $25$  a  $40 \mu\text{m}$ , sin embargo un filtrado de  $10 \mu\text{m}$  implica una mayor vida útil (menor desgaste).

#### Sentido de flujo

Sentido de rotación "a la derecha"	Sentido de rotación "a la izquierda"
A hacia B	B hacia A

#### Gama de revoluciones

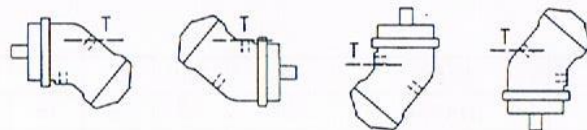
Velocidad mínima  $n_{min}$ , no limitada. Cuando se exija uniformidad del movimiento de rotación, el número de revoluciones  $n_{min}$  no será inferior a  $50 \text{ min}^{-1}$ . Número máximo de revoluciones  $n_{max}$ , véase tabla, página 4.

#### Posición de montaje:

Opcional. En la puesta en marcha y durante su funcionamiento, la carcasa del motor debe estar llena de fluido hidráulico. El conducto de fuga debe instalarse de tal modo, que cuando el motor deje de funcionar, la carcasa no se vacíe, es decir, que el extremo del conducto debe desembocar en el tanque debajo del nivel mínimo de aceite.

En el caso de una diferencia de altura entre tanque y motor constante A2FM mayor que  $6\text{m}$ , por favor consultar.

Para el llenado de la carcasa y para la conexión del conducto de fugas debe usarse siempre la conexión de fugas T más alta.



#### Símbolos de conexión

##### Conexiones

A, B Tuberías de trabajo  
T Fluido de fuga



Funcionamiento como motor

**Rango de presión de servicio**

Presión máxima en conexión A o B

Punta de eje	sin fuerza radial sobre el eje motriz (acoplamiento)		con fuerza radial sobre el eje motriz (piñón, correa)		Presión máxima p <sub>max</sub>
	standard A	400 bar	400 bar	400 bar	
con perfil dentado	standard A	400 bar	400 bar	400 bar	450 bar
DIN 5480	adaptación Z	350 bar*	315 bar*	315 bar*	400 bar
cilindro con chaveta	standard B	350 bar	350 bar	350 bar	400 bar
DIN 6885	adaptación P	350 bar	315 bar*	315 bar*	400 bar

(Indicaciones de presión según DIN 24 312)

\* (para diámetro mín. admisible del piñón o de la correa. (véase página 5).

Para carga a pulsos superior a 315 bar recomendamos emplear la versión con perfil dentado (standard A).

La suma de las presiones en las conexiones A y B no debe superar los 700 bar.  
Presión simple por lado, máx. 400 resp. 450 bar.

**Tabla de valores** (valores teóricos, sin tener en cuenta  $\eta_{mh}$  y  $\eta_t$ ; valores redondeados)

Tamaño nominal	TN		10	12	16	23	28	32	45	56	63	
Volumen de aspiración	V <sub>g</sub>	cm <sup>3</sup>	10,3	12,0	16,0	22,9	28,1	32,0	45,6	56,1	63,0	
Nº máx. de revoluciones	n <sub>max</sub>	min <sup>-1</sup>	6000	6000	6000	4750	4750	4750	4250	3750	3750	
Volumen de aspiración máx.	Q <sub>max</sub>	l/min	62	72	96	109	133	152	194	210	236	
Constante del momento de giro	Mk	Nm/bar	0,164	0,19	0,25	0,36	0,445	0,509	0,725	0,89	1,0	
Momento de giro máx. con n <sub>max</sub> y	$\Delta p$ 350 bar	M	Nm	57	67	88	126	156	178	254	312	350
	$\Delta p$ 400 bar	M	Nm	65	76	100	144	178	204	290	356	400
Potencia de salida máx. con n <sub>max</sub> y	$\Delta p$ 350 bar	P	kW	36	42	56	63	78	89	113	123	138
	$\Delta p$ 400 bar	P	kW	41	48	64	73	89	101	129	140	157
Momento de inercia sobre el eje motriz	J	kgm <sup>2</sup>	0,0004	0,0004	0,0004	0,0012	0,0012	0,0012	0,0024	0,0042	0,0042	
Masa (aprox.)	m	kg	5,4	5,4	5,4	9,5	9,5	9,5	13,5	18	18	

Tamaño nominal	TN		80	90	107	125	160	180	
Volumen de aspiración	V <sub>g</sub>	cm <sup>3</sup>	80,4	90,0	106,7	125,0	160,4	180,0	
Nº máx. de revoluciones	n <sub>max</sub>	min <sup>-1</sup>	3350	3350	3000	3000	2650	2650	
Volumen de aspiración máx.	Q <sub>max</sub>	l/min	269	301	320	375	425	477	
Constante del momento de giro	Mk	Nm/bar	1,27	1,43	1,70	1,99	2,54	2,86	
Momento de giro máx. con n <sub>max</sub> y	$\Delta p$ 350 bar	M	Nm	445	501	595	697	889	1001
	$\Delta p$ 400 bar	M	Nm	508	572	680	796	1016	1144
Potencia de salida máx. con n <sub>max</sub> y	$\Delta p$ 350 bar	P	kW	157	176	187	219	248	278
	$\Delta p$ 400 bar	P	kW	180	201	213	250	283	318
Momento de inercia sobre el eje motriz	J	kgm <sup>2</sup>	0,0072	0,0072	0,0116	0,0116	0,0220	0,0220	
Masa (aprox.)	m	kg	23	23	32	32	45	45	

**Determinación de las magnitudes nominales**

Volumen aspirado  $Q = \frac{V_g \cdot n}{1000 \cdot \eta_v}$  (L/min)      Potencia  $P = \frac{2\pi \cdot M \cdot n}{60 \cdot 1000} = \frac{M \cdot n}{9549} = \frac{Q \cdot \Delta p}{600} \cdot \eta_t$  (kW)

Revoluciones  $n = \frac{Q \cdot 1000 \cdot \eta_v}{V_g}$  (min<sup>-1</sup>)

Momento de giro  $M = \frac{V_g \cdot \Delta p \cdot \eta_{mh}}{20 \pi} = \frac{1,59 \cdot V_g \cdot \Delta p \cdot \eta_{mh}}{100}$  (Nm)

ó  $M = \frac{K_w \cdot \Delta p \cdot \eta_{mh}}{100}$  (Nm)

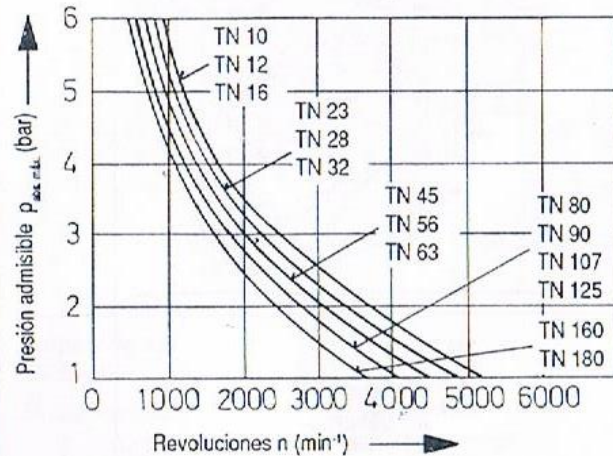
$V_g$  = volumen de aspiración geométrico (cm<sup>3</sup>) por revolución  
 $M$  = Momento de giro (Nm)  
 $\Delta p$  = Diferencia de presión (bar)  
 $n$  = Revoluciones (min<sup>-1</sup>)  
 $\eta_v$  = Rendimiento volumétrico  
 $\eta_{mh}$  = Rendimiento hidráulico-mecánico  
 $\eta_t$  = Rendimiento total

**Presión del líquido de fugas**

Cuanto menor el número de revoluciones y más baja la presión del líquido de fugas, tanto mayor es la vida útil del retén del eje.

Los valores indicados en el diagrama son valores límites para el retén del eje (Perbunan) y no deben ser superados.

Retén del eje >>Perbunan <<



Retén del eje >>Vitón<<

Al emplear retenes del eje de >>vitón<<, con respecto a la con juntas de Perbunan se puede aumentar la presión admisible en 50 % para un mismo número de revoluciones, o bien, para una misma presión, podrá aumentarse el número de revoluciones hasta en 50 %.

Condiciones especiales de servicio pueden hacer necesaria una limitación de dichos valores.

Atención: Valor máximo admisible de revoluciones del motor constante, véase Tabla, página 4.

Presión máxima admisible para la carcasa  $P_{abs. max.}$  10 bar.

La presión en la carcasa debe ser igual o mayor que la presión externa en el retén del eje.

**Salida**

Cargas radiales y axiales admisibles sobre el eje motriz

Fuerza radial máx. admisible  $F_{q, max}$  con distancia  $a$  (desde el reborde del eje) y  $\varnothing$  mín. del círculo primitivo del piñón  $\varnothing D_{Rmin}$



$$F_{q, max} = \frac{31,8 \cdot V_g \cdot \Delta p}{D_{Rmin}} \quad (N)$$

- $V_g$  = volumen aspirado ( $cm^3$ )
- $\Delta p$  = Diferencia de presión (bar)
- $D_{Rmin}$  =  $2,5 \cdot d$
- $d$  =  $\varnothing$  punta del eje

	Tamaño nominal	10...32	45...63	80...125	160...180					
Distancia $a$ (mm)		16	18	20	25					
Tensión previa req./bar presión de servicio (fuerza radial) para transmitir el momento de giro con $\varnothing$ mín. de polea $D_{kmin}$	Tamaño nominal	10	12	16	23	28	32	45	56	63
	$D_{kmin}$ (mm)	100	100	100	125	125	125	150	150	150
	$F_{qk}$ /bar (N)	3,43	4,0	5,33	6,57	8,0	9,14	10,29	12,8	14,4
Correa trapezoidal (DIN 7753)	Tamaño nominal	80	90	107	125	160	180			
	$D_{kmin}$ (mm)	175	175	200	200	225	225			
	$F_{qk}$ /bar (N)	15,6	17,55	18,4	21,5	24,0	27,0			
Fuerza axial máx. admisible	Tamaño nominal	10	12	16	23	28	32	45	56	63
	en posición de reposo o circulación sin presión de la máquina de pistones axiales $\pm F_{ax, max}$ (N)	320	320	320	500	500	500	630	800	800
	Fuerza axial adm./bar presión de servicio $\pm F_{ax, adm.}$ (N)	3,0	3,0	3,0	5,2	5,2	5,2	7,0	8,7	8,7
	Tamaño nominal	80	90	107	125	160	180			
	en posición de reposo o circulación sin presión de la máquina de pistones axiales $\pm F_{ax, max}$ (N)	1000	1000	1250	1250	1600	1600			
	Fuerza axial adm./bar presión de servicio $\pm F_{ax, adm.}$ (N)	10,6	10,6	12,9	12,9	16,7	16,7			

\* Con la fuerza axial admisible se debe tener en cuenta el sentido de actuación de la fuerza  
 $- F_{ax, max}$  = Aumento de la vida útil de los rodamientos  
 $+ F_{ax, max}$  = Disminución de la vida útil de los rodamientos (de ser posible, evitar)

**Sentido de actuación óptimo de  $F_q$**   
 Mediante el sentido de actuación de  $F_q$  se puede disminuir la carga en los rodamientos por medio de las fuerzas interiores de los grupos impulsores.  
 Se admiten tolerancias de  $\pm 35^\circ$  del sentido óptimo.  
 Se ruega consultarnos, cuando las desviaciones sean mayores.

