



Instituto
Europeo
de Posgrado

DISEÑO DE UN SISTEMA HIDRÁULICO PARA RECUPERACIÓN DE ENERGÍA DE UN GENERADOR UNDIMOTRIZ

Trabajo fin de estudio presentado por:	SANDRA PARRA Y JUAN CARLOS CEDEÑO
Tipo de trabajo:	INSTALACIÓN UNDIMOTRIZ
Director/a:	Eliana Paez Lugo
Fecha:	

Índice

1	Resumen	4
2	Abstract	4
3	Introducción	5
3.1	Objetivo General	5
3.2	Objetivos Específicos	5
3.3	Metodología	5
3.3.1	Identificación y Análisis del Problema	6
3.3.2	Planificación de la Solución	7
4	Identificación y descripción un problema al interior de la organización	8
4.1	Descripción de la empresa a intervenir	8
4.1.1	Misión	8
4.1.2	Visión	9
4.1.3	Mapa de procesos	9
4.1.4	Descripción del proceso a intervenir	9
4.1.5	Descripción del problema que presenta el proceso	10
5	Establecimiento de planes de acción para la solución del problema	11
5.1	Establecimiento de objetivos	11
5.1.1	Objetivo general	11
5.1.2	Objetivos específicos	11
5.2	Descripción de la solución	11
5.3	Secuencia de actividades para la ejecución de la solución	12
5.4	Descripción de recursos necesarios para la ejecución de la solución	14
5.4.1	Recursos humanos	14
5.4.2	Recursos materiales y componentes hidráulicos	14
5.4.3	Recursos tecnológicos y software	15
5.4.4	Recursos infraestructurales	15

6	Definición del alcance de la solución, partes interesadas, cronograma y presupuestos.....	16
6.1	Alcance final de la solución.....	16
6.2	Identificación de responsables de las actividades para ejecución.....	16
6.3	Cronograma de ejecución.....	18
6.3.1	Secuencia temporal de actividades.....	18
6.3.2	Descripción de las fases del proyecto.....	18
6.3.3	Hitos clave de la implementación.....	19
6.4	Presupuesto.....	19
6.4.1	Precios unitarios.....	20
6.4.2	Precios descompuestos.....	21
6.4.3	Presupuesto final de ejecución.....	22
7	Bibliografía.....	23

1 Resumen

La energía undimotriz representa una alternativa sostenible clave para mitigar el impacto ambiental de la generación eléctrica. Este documento se centra en el diseño y la optimización del sistema hidráulico de un convertidor de energía undimotriz, basado en un prototipo de la empresa Rotary Wave y proyectado para su instalación en el Puerto de Sagunto.

El dispositivo capta la energía del oleaje mediante un flotador y un brazo oscilante que accionan tres pistones hidráulicos de doble efecto. Estos presurizan un fluido biodegradable (taladrina) a través de un circuito equipado con calderines y válvulas, conduciéndolo hacia motores hidráulicos acoplados a un generador eléctrico. La metodología abarca el cálculo de cargas hidrodinámicas sobre el flotador, la evaluación de pérdidas de presión en los componentes y el análisis de los distintos modos de funcionamiento operativo. Finalmente, se presenta una estimación de la potencia generada y un análisis de viabilidad económica, destacando la alineación directa del proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Palabras clave: Energía undimotriz, sistema hidráulico, convertidor de energía, pérdidas de carga, energías renovables

2 Abstract

Wave energy represents a key sustainable alternative for mitigating the environmental impact of electricity generation. This document focuses on the design and optimization of the hydraulic system for a wave energy converter, based on a prototype by the company Rotary Wave and projected for installation at the Puerto de Sagunto.

The device captures wave energy using a floater and an oscillating mechanical arm that drive three double-acting hydraulic pistons. These pistons pressurize a biodegradable fluid (*taladrina*) through a circuit equipped with accumulators and valves, directing it towards hydraulic motors coupled to an electric generator. The methodology encompasses the calculation of hydrodynamic loads on the floater, the evaluation of pressure losses across the components, and the analysis of the different operational modes. Finally, an estimation of the generated power and an economic viability analysis are presented, highlighting the project's direct alignment with the Sustainable Development Goals (SDGs).

Keywords: Wave energy, hydraulic system, energy converter, pressure losses, renewable energies.

3 Introducción

El cambio climático, impulsado por el constante incremento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, ha provocado un aumento de la temperatura media global de más de 1 °C desde 1980 (The National Aeronautics and Space Administration, 2024). Esto ha acelerado el deshielo en la Antártida y Groenlandia, elevando el nivel del mar en más de 1 cm en los últimos 40 años e incrementando los fenómenos meteorológicos extremos (The National Aeronautics and Space Administration, 2025)

Dado que el crecimiento demográfico e industrial ha disparado la demanda eléctrica, y que en 2019 el sector energético fue responsable de aproximadamente el 34 % de las emisiones de CO₂ (Lee & Romero, 2023), es urgente la transición hacia modelos de generación basados en energías renovables. En este contexto, la energía undimotriz destaca como una tecnología clave para aprovechar el potencial del mar (Agencia Internacional de las Energías Renovables, 2020) Por ello, este proyecto se centra en la identificación y resolución de un problema técnico en el ámbito de las energías renovables, analizando y optimizando el dispositivo de obtención de energía undimotriz de Rotary Wave, una empresa con sede en Valencia.

3.1 Objetivo General

Realizar el diseño hidráulico de un dispositivo de captación de energía undimotriz de la empresa Rotary Wave, abarcando desde los componentes de captación hasta el sistema de transformación de energía.

3.2 Objetivos Específicos

Para cumplir con el objetivo general, se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Detallar el diseño conceptual del dispositivo de energía undimotriz.
- Diseñar el circuito hidráulico cumpliendo con los parámetros establecidos por la empresa y seleccionar los componentes y elementos asegurando que cumplan con los requisitos de resistencia, durabilidad y funcionalidad, considerando las condiciones operativas y ambientales a las que están expuestos.
- Asentar la base física para el desarrollo futuro de los transitorios que conlleva el oleaje.
- Analizar los costos del sistema para proyectar la construcción del dispositivo

3.3 Metodología

El presente proyecto se desarrolló bajo el enfoque de investigación-acción, el cual permitió integrar el análisis teórico con la aplicación práctica en el diseño y optimización del sistema hidráulico de un generador undimotriz. Este enfoque resulta adecuado en proyectos de ingeniería aplicada, ya que facilita la intervención directa sobre un sistema real, permitiendo evaluar, ajustar y validar soluciones de manera progresiva.

La metodología adoptada se caracterizó por ser iterativa, participativa y orientada a la mejora continua, lo que permitió retroalimentar constantemente el proceso de diseño a partir de los resultados obtenidos en cada fase. A lo largo del desarrollo del proyecto, se

llevaron a cabo ciclos sucesivos de análisis, diseño, simulación y evaluación, lo que garantizó una evolución técnica del sistema hidráulico acorde a las condiciones reales de operación del oleaje.

Para la ejecución de la propuesta se desarrollaron las siguientes acciones metodológicas:

- Revisión bibliográfica especializada sobre sistemas undimotrices, hidráulica aplicada y optimización energética.
- Análisis del prototipo base desarrollado por la empresa Rotary Wave, identificando fallas y limitaciones operativas.
- Recopilación y procesamiento de datos del oleaje en la zona de estudio (Puerto de Sagunto), considerando variables como altura significativa y periodo de ola.
- Modelado matemático del comportamiento del sistema hidráulico, incluyendo cálculo de presiones, caudales y pérdidas de carga.
- Diseño conceptual y funcional del circuito hidráulico optimizado.
- Selección técnica de componentes hidráulicos adecuados (válvulas, acumuladores, motores, tuberías).
- Simulación del sistema para evaluar su desempeño bajo diferentes condiciones de operación.
- Análisis de eficiencia energética y estimación de potencia generada.

Validación de resultados mediante comparación con antecedentes y criterios de ingeniería.

3.3.1 Identificación y Análisis del Problema

En esta fase se realizó un diagnóstico técnico del sistema undimotriz propuesto, enfocándose en el rendimiento del sistema hidráulico encargado de transformar la energía mecánica del oleaje en energía útil.

El método utilizado para el diagnóstico fue un análisis causa-raíz, apoyado en herramientas como el análisis funcional del sistema y la revisión bibliográfica de tecnologías similares. Se evaluaron variables críticas como:

- Pérdidas de presión en el circuito hidráulico
- Eficiencia de los pistones hidráulicos
- Comportamiento del fluido bajo condiciones dinámicas
- Variabilidad del oleaje y su impacto en el sistema
- Interacción entre componentes del sistema

Además, se analizaron los componentes existentes del prototipo (flotador, brazo oscilante, pistones, válvulas y acumuladores), identificando limitaciones en la eficiencia energética y posibles pérdidas durante la transmisión hidráulica.

Este diagnóstico permitió establecer las bases para el rediseño del sistema, orientado a mejorar el aprovechamiento energético y reducir pérdidas operativas.

3.3.2 Planificación de la Solución

En esta etapa se estructuró un plan de acción orientado a optimizar el sistema hidráulico del dispositivo undimotriz.

Se definieron objetivos específicos enfocados en:

- Mejorar la eficiencia del circuito hidráulico
- Seleccionar componentes adecuados (válvulas, acumuladores, tuberías)
- Reducir pérdidas de carga
- Garantizar la estabilidad del sistema ante variaciones del oleaje

Posteriormente, se estableció una secuencia lógica de actividades, que incluyó:

1. Modelado conceptual del sistema hidráulico
2. Cálculo de cargas hidrodinámicas
3. Diseño del circuito hidráulico
4. Selección de componentes
5. Simulación y análisis de pérdidas
6. Estimación de potencia generada

La planificación permitió organizar el desarrollo del proyecto de manera eficiente, asegurando coherencia entre cada fase del diseño.

3.3.2.1 Definición de Alcance y Recursos

En la etapa final se definieron los límites del proyecto, así como los recursos necesarios para su ejecución.

El alcance incluyó el diseño completo del sistema hidráulico, desde la captación de energía mecánica hasta su conversión en energía eléctrica, sin considerar la construcción física del prototipo.

Se identificaron los siguientes recursos:

- **Recursos humanos:** autores del proyecto y director académico
- **Recursos técnicos:** software de simulación, bibliografía especializada
- **Recursos materiales:** datos técnicos de componentes hidráulicos

Además, se estableció un cronograma de actividades y un presupuesto estimado, lo que permitió una adecuada planificación del tiempo y costos asociados.

4 Identificación y descripción un problema al interior de la organización

El problema identificado se sitúa en el área de diseño y optimización de sistemas energéticos de la empresa Rotary Wave, específicamente en el proceso de conversión de energía undimotriz mediante sistemas hidráulicos.

Se ha detectado que el sistema actual presenta pérdidas de eficiencia energética, principalmente asociadas a:

- Pérdidas de presión en el circuito hidráulico
- Ineficiencia en la transmisión de energía desde los pistones
- Variabilidad en el comportamiento del sistema debido a condiciones del oleaje

Estas deficiencias impactan directamente en la capacidad del sistema para generar energía de manera eficiente, reduciendo su viabilidad técnica y económica.

Las causas raíz del problema incluyen:

- Diseño no optimizado del circuito hidráulico
- Selección inadecuada de componentes
- Falta de modelación precisa de condiciones reales del mar

Como consecuencia, el sistema presenta un rendimiento inferior al esperado, afectando los objetivos de sostenibilidad y generación energética de la organización.

4.1 Descripción de la empresa a intervenir

La empresa Rotary Wave es una organización enfocada en el desarrollo de tecnologías innovadoras para la generación de energía renovable a partir del oleaje marino. Su actividad principal se centra en el diseño, desarrollo e implementación de dispositivos undimotrices que permitan aprovechar el potencial energético del mar (Rotary Wave, 2026)

4.1.1 Misión

Desarrollar soluciones tecnológicas innovadoras y sostenibles para la generación de energía undimotriz y mareomotriz, incluyendo producción de hidrógeno verde y desalación, contribuyendo a la transición energética global mediante el aprovechamiento eficiente de oleaje, corrientes y viento oceánico en comunidades costeras remotas y

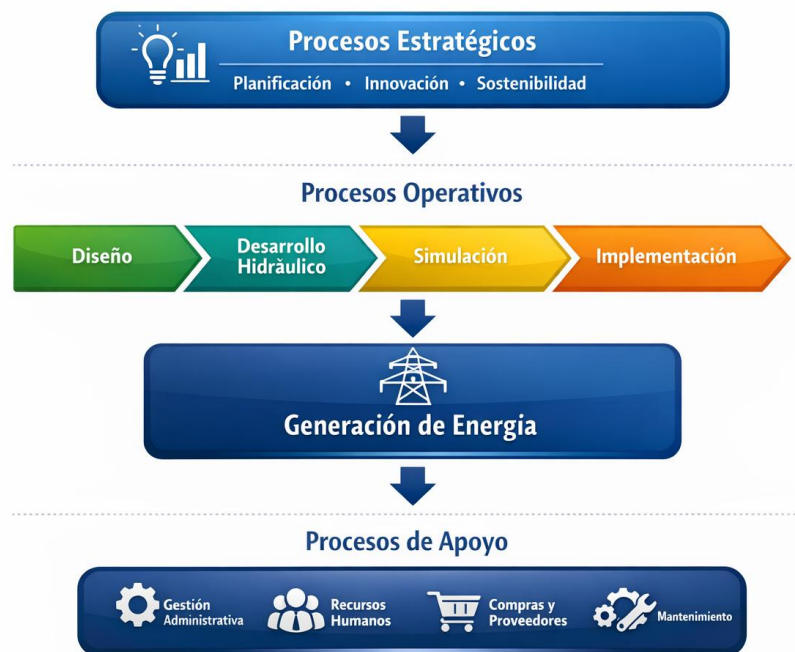
puertos, garantizando siempre calidad superior, máxima operativa y un respeto absoluto por el medio ambiente (Rotary Wave, 2026).

4.1.2 Visión

Ser una empresa líder a nivel internacional en el diseño e implementación de sistemas de generación de energía undimotriz, reconocida por su innovación tecnológica, eficiencia energética y compromiso con el desarrollo sostenible (Rotary Wave, 2026).

4.1.3 Mapa de procesos

El mapa de procesos de la empresa Rotary Wave se estructura en tres categorías principales:



Este mapa permite visualizar la interacción entre las diferentes áreas de la organización, destacando el proceso de diseño hidráulico como un elemento clave dentro de la cadena de valor.

4.1.4 Descripción del proceso a intervenir

El proceso a intervenir corresponde al diseño y optimización del sistema hidráulico dentro de la cadena operativa de la empresa Rotary Wave. Este proceso tiene como objetivo transformar la energía mecánica generada por el movimiento del oleaje en energía hidráulica y posteriormente en energía eléctrica.

El proceso inicia con la captación del movimiento del oleaje mediante el flotador, el cual transmite la energía al sistema de pistones hidráulicos. Estos pistones impulsan un fluido a través de un circuito hidráulico compuesto por válvulas, acumuladores y motores hidráulicos, los cuales convierten la energía de presión en energía mecánica rotativa que finalmente acciona un generador eléctrico.

Este proceso es crítico dentro de la organización, ya que de su eficiencia depende directamente el rendimiento energético del sistema undimotriz.

4.1.5 Descripción del problema que presenta el proceso

El proceso de diseño hidráulico presenta limitaciones relacionadas con la eficiencia energética y estabilidad operativa del sistema.

Entre los principales problemas se identifican:

- Pérdidas de presión en el circuito hidráulico
- Ineficiencia en la transmisión de energía
- Selección inadecuada de componentes
- Falta de adaptación a condiciones reales del oleaje

Estas deficiencias generan una disminución en la capacidad de generación eléctrica, afectando la rentabilidad y viabilidad del sistema.

5 Establecimiento de planes de acción para la solución del problema

En esta sección se establecen los objetivos que guían el plan de acción, los cuales están orientados a solucionar las deficiencias identificadas en el sistema hidráulico del dispositivo undimotriz, específicamente aquellas relacionadas con las pérdidas de eficiencia energética, selección inadecuada de componentes y falta de adaptación a condiciones reales del oleaje.

5.1 Establecimiento de objetivos

5.1.1 Objetivo general

Optimizar el sistema hidráulico del dispositivo undimotriz de la empresa Rotary Wave mediante el rediseño del circuito y la adecuada selección de componentes, con el fin de mejorar la eficiencia en la conversión de energía del oleaje en energía eléctrica.

5.1.2 Objetivos específicos

- Analizar el desempeño actual del sistema hidráulico, identificando las principales pérdidas de energía y fallas operativas.
- Determinar las causas raíz asociadas a la ineficiencia del sistema, considerando variables hidráulicas y condiciones del oleaje.
- Diseñar un circuito hidráulico optimizado que reduzca las pérdidas de carga y mejore la transmisión de energía.
- Seleccionar componentes hidráulicos adecuados (válvulas, acumuladores, motores y tuberías) que garanticen eficiencia, durabilidad y estabilidad operativa.
- Simular el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones de oleaje para validar su funcionamiento.
- Evaluar el rendimiento del sistema optimizado mediante indicadores de eficiencia energética y generación eléctrica.
- Establecer un plan de implementación técnica que permita aplicar la solución propuesta de manera ordenada y viable.

5.2 Descripción de la solución

La solución propuesta consiste en el rediseño del sistema hidráulico del dispositivo undimotriz, orientado a mejorar la eficiencia energética y reducir pérdidas operativas.

Esta solución contempla:

- Optimización del circuito hidráulico mediante reducción de pérdidas de carga
- Implementación de acumuladores para estabilizar la presión
- Selección adecuada de válvulas y motores hidráulicos
- Incorporación de sistemas de control para adaptación al oleaje
- Uso de fluidos ecológicos (taladrina) para minimizar impacto ambiental

Además, se propone la simulación del sistema bajo diferentes condiciones de operación, permitiendo evaluar su desempeño antes de una implementación real.

La solución aborda directamente las causas raíz del problema, mejorando la eficiencia del sistema y garantizando mayor estabilidad operativa, contribuyendo así a la viabilidad técnica y económica del proyecto

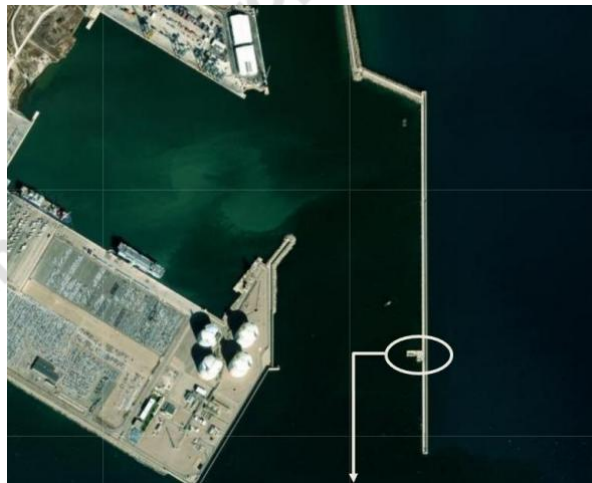
5.3 Secuencia de actividades para la ejecución de la solución

El proceso de ejecución e implementación del sistema hidráulico para el convertidor de energía undimotriz se estructura en una serie de fases secuenciales. Estas etapas garantizan la correcta instalación, conexión y puesta en marcha de los circuitos de alta presión, baja presión y elevación que componen el dispositivo. A continuación, se detalla la secuencia de actividades para la ejecución física del proyecto:

Fase 1: Preparación del entorno y anclaje estructural

La primera etapa consiste en la preparación de la infraestructura civil y la instalación de los elementos primarios de captación.

- **Adecuación del dique:** Preparación de la pared vertical del dique en la zona marítima seleccionada del Puerto de Sagunto, garantizando una profundidad de 13,4 metros y una orientación óptima frente al oleaje de Levante.
- **Instalación del sistema de captación:** Montaje del bastidor de acero anclado al dique, sobre el cual se articula el brazo de accionamiento y el flotador oscilante, conformando un sistema absorbedor de punto



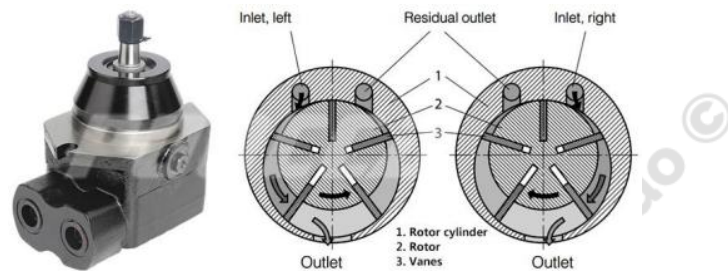
(Ministerio de Transporte y Movilidad, 2026)

Fase 2: Disposición de los módulos de control y generación

Esta fase comprende la instalación de los equipos encargados de transformar la energía hidráulica en energía eléctrica.

- **Ubicación en tierra:** Instalación de los contenedores modulares (módulo de máquinas y módulo de control) en la zona de tránsito portuario adyacente al dique.
- **Montaje de equipos internos:** Integración en los módulos de los motores hidráulicos de paletas, seleccionados por su idoneidad ante condiciones de

carga cambiantes, acoplados al mismo eje que los generadores eléctricos. Adicionalmente, se instala el radiador de refrigeración y el tanque a presión atmosférica (Arregui de la Cruz, 2017).



Fase 3: Montaje del sistema hidráulico y conexionado

En esta etapa se realiza la interconexión mecánica e hidráulica de los componentes que transportan el fluido presurizado.

- **Instalación de actuadores:** Acoplamiento de los cilindros hidráulicos de doble efecto, fijándolos mecánicamente mediante bulones entre el brazo oscilante y el bastidor.
- **Tendido de conducciones:** Instalación de las tuberías rígidas de acero cincado a lo largo de la pared del dique, cruzando la zanja de conducciones hasta llegar a la caja de válvulas. Se aplicarán tratamientos de galvanizado en caliente y sistemas de pintura multicapa para garantizar la protección anticorrosiva en ambiente marino severo (categoría C5-M), conforme a la normativa internacional (ISO, 2025).
- **Conexiones flexibles e integración de valvulería:** Conexión de las cámaras de los pistones con las tuberías rígidas mediante mangueras de goma flexibles de $\frac{3}{4}$ " Ensamblaje de las electroválvulas direccionales 3/2 y 2/2, válvulas antirretorno de bola y válvulas de seguridad.

Fase 4: Llenado del circuito y pruebas en vacío

Preparación del fluido de trabajo y verificación de la estanqueidad y operatividad base del sistema.

- **Inyección del fluido de trabajo:** Llenado del sistema hidráulico utilizando taladrina, una emulsión biodegradable de agua y aceite vegetal que proporciona lubricación y refrigeración, evitando el impacto ambiental negativo en caso de fugas. Esto se alinea con las directrices de protección de la vida submarina (Organización Naciones Unidas (ONU), 2026).
- **Pruebas de baja presión:** Activación del circuito de baja presión mediante la bomba centrífuga vertical para hacer circular el fluido desde el tanque presurizado, asegurar su paso por el filtro de aspiración y comprobar la ausencia de fugas.

Fase 5: Puesta en marcha y calibración operativa

Última fase correspondiente a la sintonización del sistema bajo condiciones reales de oleaje.

- **Verificación del modo de supervivencia:** Prueba del circuito de elevación utilizando la bomba de alta presión para izar el brazo a la cota de seguridad, validando el bloqueo mediante las electroválvulas 2/2 normalmente cerradas (NC).
- **Calibración de acumuladores y cascada de motores:** Puesta en operación en modo servicio. Se ajustan los calderines para absorber los picos transitorios de presión generados por los pistones. Seguidamente, se comprueba el sistema de accionamiento en cascada de los motores hidráulicos (un motor de 22 kW, tres de 37 kW y uno de 150 kW), asegurando que el fluido se derive secuencialmente conforme se alcanzan las presiones de tarado óptimas.

5.4 Descripción de recursos necesarios para la ejecución de la solución

Para la implementación efectiva del sistema hidráulico del generador undimotriz en el Puerto de Sagunto, se requiere la movilización y coordinación de recursos humanos, materiales, tecnológicos e infraestructurales. Estos recursos aseguran la integridad del diseño, la precisión en el montaje y la operatividad del dispositivo bajo condiciones marinas reales. A continuación, se exponen los recursos necesarios

5.4.1 Recursos humanos

La ejecución del proyecto requiere un equipo técnico multidisciplinar encargado de las fases de análisis, diseño y montaje físico:

- **Ingeniería de análisis:** Responsable del estudio de cargas hidrodinámicas y fuerzas que actúan sobre la estructura del flotador y el brazo.
- **Ingeniería de diseño hidráulico:** Encargada del dimensionamiento del circuito, la selección de componentes y el análisis de viabilidad técnica y económica del proyecto.
- **Personal técnico de taller:** Especialista superior encargado del montaje mecánico del dispositivo, el conexionado de las conducciones y la preparación de las herramientas necesarias para la construcción

5.4.2 Recursos materiales y componentes hidráulicos

El sistema físico se compone de elementos mecánicos y de control de fluidos diseñados para operar a altas presiones y en ambientes corrosivos (CorPower Ocean, 2026):

- **Actuadores y Generación:** Pistones hidráulicos de doble efecto (9 unidades), motores hidráulicos de paletas de diversas potencias (22 kW, 37 kW y 150 kW) y generadores eléctricos acoplados.
- **Valvulería y Control:** Electroválvulas direccionales 3/2 y 2/2 (Normalmente Abiertas y Cerradas), válvulas limitadoras de presión, válvulas antirretorno de bola, válvulas de esfera manuales y bloques de conexión de acero.
- **Almacenamiento y Regulación:** Acumuladores hidroneumáticos (calderines) para la estabilización de la onda de presión y tanques presurizados para el retorno del fluido.
- **Conducciones e Instrumentación:** Tuberías de acero cincado, mangueras hidráulicas de alta presión de diversos diámetros $\frac{3}{4}$ ", manómetros analógicos y caudalímetros para la monitorización del sistema.
- **Fluido de Trabajo:** Taladrina biodegradable, seleccionada por sus propiedades de lubricación y su nulo impacto ambiental en el medio marino.

5.4.3 Recursos tecnológicos y software

El diseño y la simulación del comportamiento del sistema dependen de herramientas informáticas avanzadas:

- **Hardware:** Ordenador personal de altas prestaciones para el procesamiento de datos y ejecución de modelos.
- **Software de Ingeniería:** Licencia de **MATLAB** para el cálculo de pérdidas de carga, digitalización del Abaco de Moody y programación de funciones de control.
- **Software de Diseño:** Licencia de **SolidWorks** para el modelado 3D del dispositivo, el diseño de los planos estructurales del bastidor y el análisis de esfuerzos mecánicos.
- **Herramientas de Gestión:** Paquete Office para la documentación técnica y la valoración económica desglosada

5.4.4 Recursos infraestructurales

Para la instalación y operación del prototipo se requieren activos físicos externos (Ministerio de Transporte y Movilidad, 2026) :

- **Ubicación Portuaria:** Acceso a un dique vertical en el Puerto de Sagunto con orientación al Levante y profundidad adecuada (13,4 m).
- **Módulos de Instalación:** Contenedores marítimos adecuados para albergar el módulo de máquinas y el módulo de control eléctrico.
- **Obra Civil Menor:** Zanjas de conducción para el tendido de tuberías entre el dique y los módulos de control.

6 Definición del alcance de la solución, partes interesadas, cronograma y presupuestos.

La fase de planificación es crítica para garantizar que el diseño técnico del sistema hidráulico se traduzca en una implementación viable y eficiente en el entorno real del Puerto de Sagunto. Esta sección detalla el marco operativo de la propuesta, estableciendo los límites técnicos de la intervención y los resultados que se pretenden alcanzar mediante la optimización del circuito de transmisión de energía (Arregui de la Cruz, 2017). Asimismo, se identifican los actores clave cuya coordinación es esencial para el éxito del proyecto y se presenta la hoja de ruta temporal y financiera que sustenta la viabilidad de la solución propuesta.

6.1 Alcance final de la solución

El alcance de este proyecto se define por la optimización y el dimensionamiento detallado del sistema hidráulico de un convertidor de energía undimotriz. La intervención se centra específicamente en el mecanismo responsable de transformar la energía mecánica captada por el flotador en energía mecánica de rotación mediante un circuito de fluido presurizado.

Límites de la intervención

- **Inclusión:** El diseño comprende la selección y cálculo de todos los componentes hidráulicos, incluyendo 9 pistones de doble efecto, motores hidráulicos de paletas (de 22 kW a 150 kW), acumuladores, valvulería de control y la red de conducciones rígidas y flexibles (Eco Wave Power, 2026).
- **Exclusión:** Por razones de especialización y acotación del estudio, se excluye explícitamente el diseño mecánico de la estructura de anclaje, el diseño del generador eléctrico y el desarrollo del sistema de control electrónico. Asimismo, el alcance no contempla la fabricación física ni la instalación del prototipo.

Objetivos específicos

1. Diseñar un circuito hidráulico capaz de operar en tres modos diferenciados: servicio (trabajo), recirculación (reposo) y supervivencia (elevación).
2. Garantizar la protección anticorrosiva de los elementos metálicos expuestos al ambiente marino mediante el cumplimiento de las normativas ISO 12944 e ISO 1461. (International Standard Organization (ISO), 2026)
3. Minimizar el impacto ambiental mediante la selección de taladrina biodegradable como fluido de trabajo.

Resultados esperados

Se espera obtener un sistema con una potencia extraíble aproximada de 7,125 kW por pistón en condiciones de oleaje significativo de 1,5 metros. El resultado final será una solución técnica que, aunque presenta un periodo de retorno de inversión elevado (47,1 años), asienta las bases físicas para futuros desarrollos de mayor eficiencia tecnológica.

6.2 Identificación de responsables de las actividades para ejecución

Para asegurar una ejecución coordinada y eficiente del plan de acción propuesto, es imperativo asignar roles y responsabilidades claras a cada uno de los actores técnicos.

involucrados. La implementación del sistema hidráulico del convertidor undimotriz se sustenta en tres perfiles clave encargados de tareas críticas:

- **Ingeniería de análisis (ingeniero en prácticas):** Este perfil asume la responsabilidad técnica de las fases preliminares de cálculo estructural y mecánico. Sus funciones específicas incluyen:
 - Estudio de cargas hidrodinámicas: Análisis y simulación de las fuerzas máximas que el oleaje ejerce sobre el flotador y el brazo de accionamiento.
 - Validación de esfuerzos: Garantizar que el bastidor y los componentes mecánicos soporten las tensiones derivadas de la reflexión del oleaje en el dique vertical.
- **Diseño y viabilidad (Estudiante de prácticas):** Responsable del desarrollo conceptual y la parametrización técnica del circuito de fluidos. Sus funciones específicas incluyen:
 - Dimensionamiento del sistema hidráulico: Selección y cálculo de los componentes (pistones, motores, acumuladores y valvulería) para optimizar la transmisión de energía (Arregui de la Cruz, 2017).
 - Simulación en MATLAB: Programación y ejecución de las funciones para el cálculo de pérdidas de carga y la digitalización del Ábaco de Moody (Matlab, 2026)
 - Estudio de viabilidad económica: Realización de la valoración de costes y cálculo del Periodo de Retorno de la Inversión (PIR)
- **Ejecución y montaje mecánico (Técnico/a superior de taller):** Encargado de la implementación física y constructiva de la solución técnica. Sus funciones específicas incluyen:
 - Montaje del dispositivo: Ensamblaje mecánico de los cilindros hidráulicos, el brazo y el bastidor.
 - Construcción y adecuación: Preparación de las herramientas y partes necesarias para la integración del circuito hidráulico y las tuberías de acero cincado.
 - Aplicación de normativas de protección: Ejecución de los sistemas de pintura y galvanizado según las normas ISO 12944 e ISO 1461 para prevenir la corrosión marina (International Standard Organization (ISO), 2026), (AENOR, 2023)

- **Supervisión y marco de ejecución** La ejecución de estas actividades se desarrolla bajo la supervisión de Rotary Wave, como entidad propietaria del concepto tecnológico, y en el marco de investigación de la Universitat Politècnica de València

6.3 Cronograma de ejecución

La implementación de la solución propuesta para el sistema hidráulico se articula en una secuencia temporal de nueve meses, lo que representa una dedicación total de 750 horas de trabajo técnico. Esta planificación asegura una transición estructurada y lógica desde la fase inicial de análisis hidrodinámico hasta la puesta en marcha operativa en el entorno portuario

6.3.1 Secuencia temporal de actividades

Para visualizar de manera clara la distribución del trabajo en el tiempo, se ha elaborado la **Tabla 1**, que desglosa el proyecto en 7 actividades principales, marcando su periodo de ejecución a lo largo de los 9 meses estipulados para el proyecto.

Tabla 1. Cronograma de actividades.

<i>Actividad</i>	<i>Mes 1</i>	<i>Mes 2</i>	<i>Mes 3</i>	<i>Mes 4</i>	<i>Mes 5</i>	<i>Mes 6</i>	<i>Mes 7</i>	<i>Mes 8</i>	<i>Mes 9</i>
1. Fase 1: Preparación del entorno y anclaje estructural	X	X							
2. Fase 2: Disposición de módulos de control y generación			X	X					
3. Fase 3a: Instalación de actuadores (cilindros)					X				
4. Fase 3b: Tendido de conducciones rígidas y protección						X			
5. Fase 3c: Conexiones flexibles e integración de valvulería							X		
6. Fase 4: Llenado del circuito y pruebas en vacío								X	
7. Fase 5: Puesta en marcha y calibración operativa									X

6.3.2 Descripción de las fases del proyecto

El proceso de implementación se estructura en las siguientes fases secuenciales, diseñadas para asegurar la correcta operatividad de los circuitos de alta presión, baja presión y elevación:

- **Fase 1: Preparación del entorno y anclaje estructural (Meses 1-2):** Esta etapa inicial comprende la adecuación de la pared vertical del dique en el Puerto de Sagunto, asegurando una profundidad de 13,4 metros y una orientación óptima frente al oleaje. Posteriormente, se procede al montaje del bastidor de acero anclado, sobre el cual se articulan el brazo de accionamiento y el flotador oscilante (Ministerio de Transporte y Movilidad, 2026)
- **Fase 2: Disposición de los módulos de control y generación (Meses 3-4):** Se realiza la ubicación en tierra de los contenedores modulares (máquinas y control) en la zona de tránsito portuario. Se integran los motores hidráulicos de paletas, acoplados a los generadores eléctricos, junto con la instalación del radiador de refrigeración y el tanque a presión atmosférica (Arregui de la Cruz, 2017)
- **Fase 3: Montaje del sistema hidráulico y conexión (Meses 5-7):** Se subdivide en la instalación de los actuadores (cilindros hidráulicos de doble efecto) fijados mediante bulones y el tendido de las tuberías rígidas de acero cincado a lo largo del dique. Se aplican tratamientos anticorrosivos según las normativas internacionales (International Standard Organization (ISO), 2026). Finalmente, se realizan las conexiones mediante mangueras flexibles de ¾" y el ensamblaje de la valvulería de control y seguridad.
- **Fase 4: Llenado del circuito y pruebas en vacío (Mes 8):** Se inyecta taladrina biodegradable como fluido de trabajo para proteger la vida submarina en cumplimiento de las directrices internacionales (Organización Naciones Unidas (ONU), 2026). Se activan los circuitos de baja presión mediante la bomba centrífuga para asegurar la circulación a través de los filtros y confirmar la estanqueidad total.
- **Fase 5: Puesta en marcha y calibración operativa (Mes 9):** Consiste en la sintonización del sistema bajo condiciones reales de oleaje. Se verifica el modo de supervivencia mediante el circuito de elevación de alta presión. Asimismo, se calibran los calderines para absorber picos de presión y se valida el funcionamiento en cascada de los motores de 22 kW, 37 kW y 150 kW.

6.3.3 Hitos clave de la implementación

Para el seguimiento y la evaluación de este cronograma, se establecen los siguientes hitos de control:

1. **Hito 1 (Final del Mes 2):** Informe de validación de cargas estructurales y esfuerzos máximos cerrado.
2. **Hito 2 (Final del Mes 4):** Aprobación del diseño técnico y superación de las simulaciones en MATLAB.
3. **Hito 3 (Final del Mes 7):** Montaje mecánico del captador finalizado y validación de tratamientos superficiales anticorrosivos.
4. **Hito 4 (Final del Mes 9):** Sistema plenamente integrado y en fase de generación estabilizada.

6.4 Presupuesto

Para garantizar la viabilidad de la solución y optimizar el uso de los recursos financieros, se ha elaborado un presupuesto detallado que desglosa los costes asociados a la ejecución del sistema hidráulico del generador undimotriz. Este análisis económico se

estructura en función de la duración estipulada del proyecto (9 meses), aplicando la correspondiente amortización temporal a los bienes, licencias y honorarios.

El presupuesto se divide en tres partidas fundamentales: recursos humanos, licencias de software y bienes amortizables (componentes físicos) . A partir de estos, se calculan los costes indirectos y los impuestos aplicables para obtener el presupuesto total de ejecución.

6.4.1 Precios unitarios

En primer lugar, es clave determinar el coste unitario de cada uno de los elementos a considerar en el presupuesto general de la obra, siendo estos los costes asociados a los recursos humanos las licencias de programas necesarias para la ejecución del proyecto, así como los componentes y bienes físicos:

Tabla 2. Precios unitarios recursos humanos

<i>Elementos</i>	<i>Descripción</i>	<i>Coste unitario (€/h)</i>
<i>Ingeniero en prácticas</i>	Encargado del estudio de las cargas y fuerzas que sufría la estructura	10
<i>Estudiante de prácticas</i>	Encargado de realizar el diseño del sistema hidráulico y la viabilidad del proyecto	5
<i>Técnico superior de taller</i>	Encargado del montaje del dispositivo y de las herramientas y partes necesarias a la hora de la construcción	14

Tabla 3. Precios unitarios de licencias de programas empleados

<i>Elementos</i>	<i>Coste unitario (€/año)</i>
<i>Licencia MATLAB</i>	261.96
<i>Licencia Office</i>	67.2
<i>Licencia SolidWorkd</i>	3495

Tabla 4. Precios unitarios bienes amortizables

<i>Elemento / Componente</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Amortización (años)</i>	<i>Coste unitario (€/año)</i>
<i>Ordenador personal</i>	1	800	5	160
<i>Pistón Hidráulico</i>	9	1.687	7	2.169
<i>Válvula limitadora de presión</i>	25	39.15	10	97.87
<i>Válvula antirretorno</i>	51	36.07	15	122.63
<i>Electroválvula 3/2, 3/4"</i>	18	213.9	7	550.02
<i>Electroválvula 2/2, 3/4", NA</i>	22	158.6	7	498.45
<i>Electroválvula 2/2, 3/4", NC</i>	12	151.2	7	259.2
<i>Bloque conexión electroválvula</i>	34	85.03	15	192.73
<i>Válvula motorizada de bola</i>	9	661.5	7	850.5
<i>Motor hidráulico de paletas</i>	5	896.2	2	2240.62
<i>Acumulador</i>	5	1032	7	737.14
<i>Manómetro</i>	2	23.22	10	4.64

Caudalímetro	1	441,6	10	44,16
Filtro	1	45	1	45
Bomba centrífuga vertical	1	1247,9	5	249,59
Bomba , Karcher	1	1436	5	287,2
Válvula esfera manual	13	72,23	5	187,798
Mangueras hidráulicas 1m	18	16,98	7	43,66
Mangueras hidráulicas 1,5m	5	20,12	7	14,37
Mangueras hidráulicas 4m	2	37,67	7	10,76
Mangueras hidráulicas 5m	2	46,72	7	13,34
Mangueras hidráulicas 12m	18	111,83	7	287,56
Tubería acero zincado	400	4,08	15	108,8
Pasatabiques	36	8,97	15	21,52
Juntas	350	1,06	15	24,73
Codos	40	46,02	15	122,72
Uniones	40	31,05	15	82,8
TOTAL				9.426,89

6.4.2 Precios descompuestos

El tiempo de realización del proyecto fue de 750 h, que se repartieron a lo largo de un periodo de 9 meses. 9 meses equivalen a 0,75 años. Por lo tanto, los precios anuales se multiplican por este factor.

Tabla 5 Precios descompuestos recursos humanos

Elementos	Unidades	Cantidad	Coste unitario (€/h)	Importe (€)
Ingeniero en prácticas	h	750	10	7500
Estudiante de prácticas	h	300	5	1500
Técnico superior de taller	h	300	14	4200
TOTAL				13200

Tabla 6. Precios descompuestos de licencias de programas empleados

Elementos	Unidades	Cantidad	Coste unitario (€/h)	Importe (€)
Licencia MATLAB	años	0.75	261,96	196,47
Licencia Office	años	0.75	67,2	50,4
Licencia SolidWorkd	años	0.75	3495	2621,25
TOTAL				2868,12

Tabla 7. Precios descompuestos bienes amortizables

Elemento / Componente	Unidad	Cantidad	Coste unitario (€/año)	Importe (€/año)
Ordenador personal	años	120	160	160
Pistón Hidráulico	años	1.626,75	2,169	2,169
Válvula limitadora de presión	años	73,4	97,87	97,87
Válvula antirretorno	años	91,97	122,63	122,63
Electroválvula 3/2, 3/4"	años	412,52	550,02	550,02

Electroválvula 2/2, 3/4", NA	años	373,84	498,45	498,45
Electroválvula 2/2, 3/4", NC	años	194,4	259,2	259,2
Bloque conexión electroválvula	años	144,55	192,73	192,73
Válvula motorizada de bola	años	637,87	850,5	850,5
Motor hidráulico de paletas	años	1.680,46	2240,62	2240,62
Acumulador	años	552,85	737,14	737,14
Manómetro	años	3,48	4,64	4,64
Caudalímetro	años	33,12	44,16	44,16
Filtro	años	33,75	45	45
Bomba centrífuga vertical	años	187,19	249,59	249,59
Bomba , Karcher	años	215,4	287,2	287,2
Válvula esfera manual	años	140,84	187,798	187,798
Mangueras hidráulicas 1m	años	32,74	43,66	43,66
Mangueras hidráulicas 1,5m	años	10,77	14,37	14,37
Mangueras hidráulicas 4m	años	8,07	10,76	10,76
Mangueras hidráulicas 5m	años	10,01	13,34	13,34
Mangueras hidráulicas 12m	años	215,67	287,56	287,56
Tubería acero zincado	años	81,6	108,8	108,8
Pasatabiques	años	16,14	21,52	21,52
Juntas	años	18,55	24,73	24,73
Codos	años	92,04	122,72	122,72
Uniones	años	62,1	82,8	82,8
TOTAL				7070,16

6.4.3 Presupuesto final de ejecución

El coste total del sistema hidráulico integra, además de los componentes físicos, los recursos humanos (13.200,00 €) y las licencias de software como MATLAB y SolidWorks (2.868,12 €).

Sobre el Presupuesto de Ejecución Material (PEM) resultante, se aplican los porcentajes estandarizados correspondientes al Beneficio Industrial (6%) y los Gastos Generales (13%), obteniendo así el Presupuesto de Ejecución por Contrata, al cual se le añade el 21% de IVA para definir el coste final de la solución

Tabla 8. Presupuesto

Concepto	Importe (€)
Recursos Humanos	13.200,00
Licencias de Software	2.868,12
Bienes Amortizables (Componentes de la Tabla 2)	7.070,16
Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	23.138,28
Beneficio Industrial (6%)	1.388,30
Gastos Generales (13%)	3.007,98
Presupuesto de Ejecución por Contrata	27.534,56
IVA (21%)	5.782,26
PRESUPUESTO TOTAL	33.316,82

Como conclusión, la implementación del diseño del sistema hidráulico asciende a la cantidad **de treinta y tres mil trescientos dieciséis euros con ochenta y dos céntimos (33.316,82 €)**. Cabe destacar que esta cifra representa una fracción específica y optimizada dentro del coste total del dispositivo undimotriz completo, estimado en 714.481,51 €, garantizando la coherencia y el control del gasto en esta fase crítica de transmisión energética.

7 Referencias

- Agencia Internacional de las Energías Renovables. (2020). *Innovation outlook: Ocean*. IRENA. Obtenido de https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Offshore_Renewables_2020_ES.pdf?la=en&hash=22E6CC605C56350E77258008CCA4CC95ABC9F64F
- AENOR. (2023). *UNE-EN ISO 1461:2023*. Obtenido de AENOR: <https://tienda.aenor.com/p/norma-une-en-iso-1461-2023-n0071439>
- Arregui de la Cruz, F. J. (2017). *Apuntes de mecánica de fluidos*. Universitat Politècnica de València.
- CorPower Ocean. (2026). *CorPower Ocean Wave Energy Converters*. Obtenido de CorPower Ocean: <https://corpowersocean.com/>
- Eco Wave Power. (2026). *How it works*. Obtenido de Eco Wave Power: <https://www.ecowavepower.com/our-technology/how-it-works/>
- International Standard Organization (ISO). (2026). *ISO 12944*. Obtenido de International Standard Organization (ISO): <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/08/73/87333.html>
- Lee, H., & Romero, J. (2023). *Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate*. IPCC. Obtenido de https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf
- Matlab. (2026). *MathWorks*. Obtenido de Matlab: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
- Ministerio de Transporte y Movilidad. (2026). *PORTUS (Puertos del Estado)*. Obtenido de PORTUS (Puertos del Estado): <https://portus.puertos.es/#/>
- Organización Naciones Unidas (ONU). (2026). *Objetivos Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Organización Naciones Unidas (ONU): <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Pérez, P. S. (2025). *La empresa Rotary Wave es una organización enfocada en el desarrollo de tecnologías innovadoras para la generación de energía renovable a partir del oleaje marino. Su actividad principal se centra en el diseño, desarrollo e implementación de dispositivos*.
- Rotary Wave. (2026). *Empresa*. Obtenido de Rotary Web: <https://www.rotarywave.com/es/empresa/>
- The National Aeronautics and Space Administration. (2024). *Extensión mínima del hielo marino del Ártico*. Obtenido de The National Aeronautics and Space Administration: <https://climate.nasa.gov/en-espanol/signos-vitales/extension-minima-del-hielo-marino-del-artico/?intent=111>
- The National Aeronautics and Space Administration. (2025). *Nivel de mar*. Obtenido de The National Aeronautics and Space Administration: <https://climate.nasa.gov/en-espanol/signos-vitales/nivel-del-mar/?intent=111>