

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**Diseño de un sistema de generación undimotriz tipo captador puntual
para generar electricidad en la zona norte del Perú**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

Pablo Oswaldo Villanueva Soto

ASESOR

Hugo Walter Mundaca Guerra

<https://orcid.org/0000-0002-8210-9581>

Chiclayo, 2022

Diseño de un sistema de generación undimotriz tipo captador puntual para generar electricidad en la zona norte del Perú

PRESENTADA POR

Pablo Oswaldo Villanueva Soto

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Jony Villalobos Cabrera
PRESIDENTE

Luis Alberto Gonzales Bazán
SECRETARIO

Hugo Walter Mundaca Guerra
VOCAL

Dedicatoria

A mis padres,

Quienes me apoyaron en todo momento a continuar con mi carrera, por ser los pilares de ánimo y esfuerzo que he necesitado a lo largo de mi vida.

Agradecimientos

A Dios,

Por darme cada experiencia, ya sea buena o mala, me hizo crecer como persona a tener un horizonte muy certero y lleno de fe.

A mis compañeros,

Por cada compartir de conocimiento, cada momento vivido dentro y fuera de nuestro ámbito académico.

A mis profesores,

Por guiarnos en este bonito mundo de la ingeniería y sacar lo mejor de nosotros con cada compartir de experiencia.

Índice

Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
1. Justificación	11
1.1. Justificación tecnológica:	11
1.2. Justificación económica:.....	11
1.3. Justificación ambiental:	11
1.4. Justificación social:.....	11
2. Objetivos de la investigación:.....	12
2.1. Objetivo general	12
2.2. Objetivos específicos.....	12
3. Marco teórico	13
3.1. Antecedentes del estudio:	13
3.2. Bases teóricas del tema investigado:	15
3.2.1. Definición de términos:.....	15
3.2.2. Definiciones conceptuales:	16
4. Hipótesis:	18
5. Diseño metodológico:	18
5.1.1. Enfoque	18
5.1.2. Tipo	18
5.1.3. Nivel.....	18
5.2. Diseño de investigación.....	18
5.3. Población y muestra.....	19
5.4. Criterios de selección.....	19
5.5. Variables.....	19
5.5.1. Variable independiente.....	19
5.5.2. Variable dependiente:	19
5.6. Operacionalización de variables	20
5.7. Método de recolección de datos	21
5.8. Procedimiento de recolección de datos	21
5.9. Procesamiento y análisis de datos	21
5.10. Exposición de Resultados	21

6.	Desarrollo y resultados:	22
6.1.	Selección de localización:	22
6.1.1.	Profundidad Marítima	22
6.1.2.	Altura de Oleaje:	25
6.1.3.	Orografía del terreno	27
6.1.4.	Proximidad a subestaciones eléctricas	27
6.2.	Recopilación de información:	30
7.	Métodos y materiales:	31
7.1.	Cálculo de flujo energético:	31
7.1.1.	Parámetro de longitud	31
7.3.	Dimensionado de equipo:	37
7.3.1.	Boya de captación:	38
7.3.2.	Fuerza de arrastre:	39
7.3.3.	Sistema de bombeo Hidráulico:	40
7.3.5.	Análisis estático estructural:	46
7.3.5.3.	Mallado de pieza:	51
7.3.6.3.	Resultados de análisis:	52
7.3.8.	Selección de tubería:	59
7.3.8.1.	Sistema de tuberías:	60
7.3.8.2.	Tipo de tubería:	61
7.3.8.3.	Aislamiento anticorrosivo para tubería:	63
7.3.9.	Turbina y Diseño de tanque de almacenamiento:	63
7.3.10.	Tanque de presurización:	67
7.3.11.	Estructuras y soportes:	67
8.	Representación del sistema undimotriz:	68
8.1.	Diagrama de operaciones de proceso:	69
9.	Definición de la inversión:	71
9.1.	Equipos y componentes:	71
9.1.1.	Boyas de captación:	71
9.1.2.	Pistones y cilindros:	71
9.1.3.	Tanque de almacenamiento:	72
9.1.4.	Turbina hidráulica:	72
9.1.5.	Generador eléctrico:	73

9.2. Obras civiles:	73
9.2.1. Mano de obra y alquiler de maquinaria:	73
9.3. Inversión total:	74
9.4. Costes de Mantenimiento y Operación:	75
9.5. Ingresos por venta de energía:	75
9.6. Van, TIR y Payback:	76
Conclusiones	78
Recomendaciones	79
Anexos	80
Referencias	85

Lista de figuras

Figura 1 IMARPE Tumbes, Piura	22
Figura 2 IMARPE-CHICLAYO-TRUJILLO	23
Figura 3 IMARPE- ANCASH-LIMA	23
Figura 4 IMARPE Piura 3D	24
Figura 5 IMARPE-LAMBAYEQUE 3D	24
Figura 6 DIHIDRONAV-Altura significativa y máxima.....	25
Figura 7 DIHIDRONAV oleaje altura máxima	26
Figura 8 Mapa Geomorfológico ESRI	27
Figura 9 SEIN – Parte Norte	28
Figura 10 Google Earth Distancia máxima	29
Figura 11 Periodo enero-agosto	31
Figura 12 PERIODO Setiembre/Diciembre	32
Figura 13 Datos de boya.....	38
Figura 14 Boya MB-9000	39
Figura 15 Aparato de bombeo de fluido modelo 100a.....	40
Figura 16 Disposición de barra	45
Figura 17 Mallado de pieza.....	52
Figura 18 Tensiones de Von Mises	53
Figura 19 Vista cortada de tensiones.....	54
Figura 20 Factor de seguridad.....	55
Figura 21 Corte de sección.....	56
Figura 22 Diagrama de tubería del sistema Undimotriz	61
Figura 23 Tabla de manual técnico tubería tipo K Nanocobre S.A	62
Figura 24 Tabla manual técnico tubería tipo L Nanocobre S.A.....	62
Figura 25 Forro elastomérico	63
Figura 26 Sistema Undimotriz vista isométrica	70
Figura 27 Costos marginales de la energía año 2009 - 2019	76

Resumen

La presente tesis propone diseñar un sistema undimotriz tipo captador puntual para la generación eléctrica en el Perú, con tecnología que permita mitigar los impactos ambientales a consecuencia de la generación eléctrica. Se seleccionará la zona óptima para el aprovechamiento adecuado del oleaje marítimo, diseñando un sistema para utilizar la máxima fuerza del mar en el proceso de generación. Se obtendrá datos de altitud y periodo de ola de la Dirección de Hidrografía y Navegación (DIHIDRONAV), así mismo se calculará y diseñarán los componentes del sistema. Finalmente se define el costo del proyecto y se representa el proceso industrial mediante un esquema gráfico. El modelo de generación propuesto consta de 6 boyas oscilantes, que aprovechan el movimiento ascendente y descendente, inyectando agua a presión para romper la inercia de una turbina pelton. La potencia estimada del proyecto es de 5 MW. La zona de instalación fue escogida por tener datos de mayor proporción (Altura, profundidad y periodo), mejor cercanía a sub-estaciones y la orografía de terreno, ya que facilita la instalación considerablemente. Una de las dificultades de funcionamiento es un comportamiento anormal de las aguas, que conllevaría a alterar el diseño y el tiempo de vida útil. Si sustituimos todos los sistemas convencionales que usan combustibles o recursos derivados del petróleo por esta tecnología Undimotriz, se mitigarían los impactos ambientales producidos por la generación eléctrica hasta un 20%, el diseño partirá desde la captación del recurso hídrico hasta la conversión de energía mecánica-eléctrica, la tesis no incluye el control ni distribución de electricidad, la propuesta es una idea netamente académica cuya implementación puede ser posible en un futuro cercano.

Palabras clave: Generación Undimotriz, sistemas OWC, energías renovables marítimas, diseño Undimotriz, potencial energético costero.

Abstract

The present thesis proposes to design a point collector-type wave system for electricity generation in Peru, with technology that allows to mitigate environmental impacts as a result of electricity generation. The optimal area will be selected for the adequate use of the maritime waves, designing a system to use the maximum force of the sea in the generation process. Altitude and wave period data will be obtained from the Directorate of Hydrography and Navigation (DIHIDRONAV), as well as the system components will be calculated and designed. Finally, the cost of the project is defined and the industrial process is represented by means of a graphic scheme. The proposed generation model consists of 6 oscillating buoys, which take advantage of the upward and downward movement, injecting water under pressure to break the inertia of a pelton turbine. The estimated power of the project is 5 MW. The installation area was chosen for having data of greater proportion (Height, depth and period), better proximity to sub-stations and the terrain orography, since it facilitates the installation considerably. One of the operating difficulties is an abnormal behavior of the waters, which would lead to altering the design and the useful life time. If we substitute all the conventional systems that use fuels or resources derived from oil with this wave-motor technology, the environmental impacts produced by electricity generation would be mitigated by up to 20%, the design will start from the capture of the water resource to the conversion of mechanical-electrical energy, the thesis does not include the control or distribution of electricity, the proposal is a purely academic idea whose implementation may be possible in the near future

Keywords: Wave Generation, OWC systems, maritime renewable energy, Wave Design, coastal energy potential.

Introducción

La infinidad de formas para conseguir energía eléctrica ya no son una incógnita, sino una realidad que busca aprovechar todas las fuentes posibles que ayuden a potenciar los sistemas eléctricos.

Cuando el cambio climático pone en riesgo al mundo entero se comienzan a incrementar los esfuerzos para el desarrollo de energías opcionales, es ahí donde la mira se concentra en los recursos renovables y en todos los aportes para obtener energía eléctrica, cuya tecnología tenga un muy reducido impacto ambiental como la energía Eólica, Solar, Geotérmica, etc.

Uno de los problemas de estas energías alternativas es su alto costo para obtener una cantidad significativa y aportar al sistema eléctrico. Si se toma como base de datos los distintos recursos utilizados, el agua es capaz de generar 1000 veces más potencia que el viento, es un recurso eficaz, y lo más agradable, una energía limpia. Según Osinergmin en la sección de energías renovables, informa que la energía mareomotriz (energía por diferencia de altura de los mares), es renovable debido a que el recurso primordial no se agota y hace posible su explotación, sin embargo, el elevado costo en relación con la energía producida y el impacto ambiental de instalar los equipos han impedido un crecimiento de este tipo de energía, pero existen otras formas para aprovechar la energía del mar mediante la Undimotriz.

La presente tesis, pretende abordar el diseño de un sistema de energía Undimotriz o más conocido como energía de las olas, que ofrece un aporte más de generación limpia al Perú. El interés recae en el aumento de la contaminación ambiental, la emisión de CO₂ en el Perú son de 56 528 720 toneladas al año, a la fecha los sectores de la industria, generación eléctrica, comercio y residencia emiten 16 098 000 Toneladas de CO₂ al año, que serían el equivalente al 35.6% anual de toda emisión de CO₂ en el Perú. [1]

Se realiza la búsqueda y el análisis de datos óptimos para el funcionamiento de un sistema Undimotriz en el norte del Perú, con dichos datos se diseñará el modelo, se obtendrá la potencia a generar y costo de generación. La idea principal es proponer una forma de reducir el porcentaje de contaminación en el área de generación e industria, mediante el diseño de una central con recursos renovables que utiliza un sistema novedoso cuya explotación podría ser muy buena a futuro.

1. Justificación

1.1. Justificación tecnológica:

En la parte tecnológica, la demanda eléctrica incrementa y con ello las necesidades de centrales de generación, el desarrollo de tecnologías para obtener energía eléctrica es muy variada, implementar una central Undimotriz ampliaría la matriz energética y nos da la posibilidad de aprovechar un recurso inagotable, de esa manera nos permite dejar el uso de fuentes contaminantes para abrir las puertas a la energía limpia.

1.2. Justificación económica:

En la parte económica, como primer punto sería un renovado y bajo costo del kWh. En segundo lugar, se tendría una importante generación de respaldo, más aún para poblaciones cercanas a las costas marítimas, poder contar con una generación undimotriz en lugar de generar con petróleo en casos de emergencia.

1.3. Justificación ambiental:

Teniendo en cuenta los informes estadísticos de OLADE, nos da a conocer que las emisiones de CO₂ han sido sobrecargadas en los sectores de generación e industrias las cuales demandan de muchos insumos para el funcionamiento.

La instalación de centrales del tipo Undimotriz tiene el beneficio de no contaminar, debido a que el recurso utilizado no es Petróleo, GLP, GN, y ningún combustible, es agua de mar. Por otra parte, la ubicación de este tipo de centrales son las zonas costeras y mar adentro, permitiendo no poblar zonas naturales de flora y fauna.

1.4. Justificación social:

En la parte social este proyecto genera más trabajo, debido al personal necesario en las actividades que se realizarán, otra de las partes interesantes es que disminuye el riesgo energético y genera canon por la explotación de estos recursos.

2. Objetivos de la investigación:

2.1.Objetivo general

- Diseñar un sistema de generación undimotriz tipo captador puntual para generar electricidad en la zona norte del Perú.

2.2.Objetivos específicos

- Recopilar información y definir una localización con las condiciones óptimas para aprovechar la energía del oleaje en las costas peruanas.
- Calcular los parámetros analíticamente y diseñar el sistema de generación mediante la herramienta SolidWorks.
- Representar el proceso industrial mediante un esquema gráfico.
- Definir el costo de generación de la central.

3. Marco teórico

3.1. Antecedentes del estudio:

- A nivel mundial:

Biscay Marine Energy Platform, S.A. (BIMEP) una empresa española creada en 2011, desarrolló una infraestructura para ensayar prototipos captadores de energías marinas y equipamiento auxiliar en mar abierto, este campo se encuentra frente a la costa de Arminza el mar Cantábrico – España. Este Proyecto opera desde junio de 2015, ofreciendo un área con recursos de olas y vientos óptimos, demostrando datos viables frecuentemente para dar seguridad a un futuro proyecto comercial a escala real.

El mar Cantábrico contiene condiciones eficaces donde los distintos dispositivos y equipos logran el máximo aprovechamiento energético de viento y olas. Las características técnicas son:

- Consta de 4 cables submarinos de 13.2kV/5MW.
- Subestación onshore equipada con transformadores e 13.2/132kV de 25MVA.
- Medición de recursos mediante boya oceanográfica y líder flotante.
- Conectores submarinos de tipo dry-mate.
- Posibilidad de evacuación de energía generada en baja tensión 690 V.
- Área restringida a la navegación con balizamiento perimetral.

La profundidad en todo el campo de ensayo oscila desde los 50 a los 90 metros y usualmente contiene zonas arenosas y rocosas. La medición histórica fue realizada con una boya metoceanica instalada en el área desde 2008, cuyos datos están disponibles en la herramienta de descarga de la página web BIMEP. [2]

- A nivel nacional, Perú:

Fernando Escajadillo Charca en su tesis “Diseño de una central undimotriz para la generación de energía eléctrica en la ciudad de Mollendo” (2018) realiza un estudio del modelo TAPCHAN, el cual contiene muy pocas partes móviles, pero es un sistema

eficiente de bajo costo en mantenimiento y confiable. Este tipo de sistema de generación, también llamado sistema de canal estrechado, alimenta un rebalse construido al pie de la costa. Cuando la ola golpea el acantilado se encuentra con un estrecho camino que amplifica la altura de la ola, ocasionando que estas desborden las paredes del embalse y terminen dentro del reservorio, una vez abastecido el embalse, el sistema continua su función como una central hidroeléctrica, el agua escapa por un ducto ganando energía potencial y rompiendo la inercia de una turbina Kaplan.

El modelo TAPCHAN es muy eficiente y confiable, pero, no son apropiados para cualquier región costera, se necesita mucha continuidad de ola, mareas de rango de menos de 1 metro, aguas profundas y la ubicación apropiada para la construcción de un embalse.

La tesis concluye en datos interesantes en especial con la potencia generada, ya que esta investigación realizada en la ciudad de Mollendo en Arequipa, entrega una potencia firme de 13.43 MW tan solo con olas a mediana altura. Otro punto interesante es la definición económica, porque el costo para producir la energía es, 3.57 MM US\$/MW, ofreciendo un costo mucho menor que la energía fotovoltaica (4.35 MM US\$/MW), sin embargo, no es competencia para una central de carbón o de ciclo combinado. [3]

- **A nivel norte, Lambayeque:**

Alexander Sebastian Jaramillo Ordiales en su investigación de tesis “Diseño de un sistema de generación undimotriz para suministrar la demanda de electricidad del astillero Marypol E.I.R.L. en puerto Salaverry, 2018”. Implementa un sistema undimotriz OWC (Columna de Agua Oscilante) para abastecer la demanda de un astillero en el litoral Salaverry – Trujillo. Obtiene datos por batimetría (Topografía Marina), para calcular velocidad, longitud de onda, celeridad de ola, periodo y flujo de energía anual. Los criterios para la selección del sistema son: la ubicación, la orientación, extracción de energía, principio de captación.

Un sistema OWC convencional utiliza la succión y empuje de aire, una actividad que sucede automáticamente mediante la marea alta y baja, esto ocasiona que el aire circule en dos sentidos y se pueda aprovechar mediante una turbina Wells, debido a que el diseño de sus palas o alabes orientan el movimiento del eje en un solo sentido, de esta forma poder obtener un movimiento continuo y generar electricidad mediante un generador.

La investigación concluye mencionando que la potencia generada por el sistema es de 110KW, utilizando 2 turbinas de 55 KW cuya eficiencia es de 86,7%. Por otra parte, el costo de inversión es de US\$ 118 284.3, con un mantenimiento anual de \$ 40 800 por una energía de 722 700.00 KW-h al año, con ello se puede deducir que el costo de producir energía es de 0,06 \$/KW -h (0,21 S/. /KW-h), como resultado de la evaluación económica se obtiene un valor actual neto (VAN) de US\$ 55 828.88 y una tasa de interés retorno (TIR) de 19%. [4]

3.2.Bases teóricas del tema investigado:

3.2.1. Definición de términos:

- **Undimotriz:**

Un sistema undimotriz, es una planta de generación eléctrica, que utiliza como recurso primario el movimiento del oleaje marino, para poner en movimiento un generador mediante presión de agua y/o aire.

- **Captador puntual:**

Un sistema captador puntual, consiste en una boya que absorbe la energía proveniente de todas las direcciones en movimientos ascendentes y descendentes.

3.2.2. Definiciones conceptuales:

- **Longitud de onda:**

Una onda es una constante perturbación propagada en el tiempo, en este caso una ola tiene esa función a lo largo del mar.

Ecuación 1

$$\text{Longitud de onda} = \frac{g * T^2}{2 * \pi}$$

- **Celeridad de ola:**

La celeridad de ola está más definida como la velocidad de esta misma.

Ecuación 2

$$\text{Celeridad} = \frac{\text{Longitud de onda}}{\text{Periodo}}$$

- **Energía de ola:**

El mar es una fuente de energía inagotable, una forma de aprovechar esta energía es mediante el movimiento de ola basándose en la altura.

Ecuación 3

$$\text{Energía} = \frac{\rho * g * H^2}{8}$$

- **Fuerza de arrastre:**

Cuando un fluido enfrenta una superficie aparece una fuerza llamada fuerza de arrastre expresa de la siguiente forma:

Ecuación 4

$$\text{Drag} = \frac{1}{2} * \rho * v^2 * S * CD$$

- **Presión:**

Cuando se impulsan un fluido se ejerce una presión y es equivalente a la fuerza aplicada entre el área.

Ecuación 5

$$\text{Presión} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área}}$$

- **Fuerza de compresión:**

La compresión es un evento físico que aparece en una estructura al someterse a una fuerza, la estructura puede estar empotrada, libre o ambas.

Ecuación 6

$$F \text{ Comp} = \frac{\pi * E * I}{Lp^2}$$

- **Velocidad de inyección:**

Para generar electricidad una turbina necesita romper la inercia y obtener un impulso constante en sus cucharas, una tobera realiza esta actividad al inyectar un chorro potente, se modela en la siguiente ecuación:

Ecuación 7

$$V \text{ Inyección} = \sqrt{\frac{2(P \text{ entrada} - P \text{ atmosférica})}{\rho}}$$

- **Altura hidráulica:**

En las centrales hidráulicas se necesita ganar altura para que el agua gane energía mediante la caída por la gravedad, en el caso de sistemas de inyección esta altura es equivalente a la presión y velocidad inyectada.

Ecuación 8

$$Hs = \frac{V \text{ inyección}^2}{2 * g * n(\text{Inyector})}$$

- **Potencia:**

La potencia es la fuente de trabajo dado a lo largo del tiempo en una turbina se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 9

$$\text{Potencia} = Hs * Vb * \rho * g$$

4. Hipótesis:

La implementación de un sistema de giro a presión, mejorará la entrega de potencia en la energía Undimotriz, utilizando el movimiento perpetuo de las olas sin afectar la estructura del sistema.

5. Diseño metodológico:

5.1. Tipo y nivel de investigación

5.1.1. Enfoque

Mixto: La propuesta de mejora para el sistema Undimotriz tipo OWC será analizado tanto con información cuantitativa y cualitativa.

5.1.2. Tipo

Aplicada: La investigación será realizada en un sistema Undimotriz ya conocido, con información real de las zonas costeras, en busca de solucionar una realidad problemática de contaminación en el rubro de la generación eléctrica.

5.1.3. Nivel

Descriptiva no experimental: La investigación se basará en las características fundamentales del sistema Undimotriz, la ubicación, el proceso de generación y la potencia a generar.

5.2. Diseño de investigación

La investigación comenzará por la búsqueda de datos, certificados por DIHIDRONAV, quien nos brinda la información acerca del movimiento marítimo, los datos serán procesados en la herramienta Matlab. Para obtener el diseño del sistema de generación usaremos el software SolidWorks, se calculará la producción de energía y se evaluará el costo de la central undimotriz.

5.3. Población y muestra

La población será el departamento de Piura en la provincia de Paita, distrito El Arenal, exactamente en la zona de la Playa Conuz.

La muestra será la data de las olas, periodo, altura, velocidad, longitud de onda, etc.

5.4. Criterios de selección

Para la óptima elección de la ubicación de la central de energía Undimotriz se han considerado los siguientes factores:

- Zonas medioambientales protegidas.
- Orografía del terreno.
- Potencial energético de la zona.
- Proximidad a vías de comunicación.
- Proximidad a núcleos urbanos.
- Proximidad a subestaciones eléctricas

5.5. Variables

5.5.1. Variable independiente:

Diseño de un sistema de generación undimotriz.

5.5.2. Variable dependiente:

Generar electricidad

5.6.Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Subindicadores	Índices	Técnicas de recolección de información	Instrumentos de recolección de datos
Diseño de un sistema de generación undimotriz	Potencial del sistema	Potencia aprovechada	Fuerza de arrastre	N	Análisis documental	Papers , Artículos científicos
			Velocidad de Ola	m/s	Análisis documental	Papers , Artículos científicos
			Altura de ola	m	Análisis documental	Dirección de hidrología de navegación (DIHIDRONAV)
	Energía continua	Energía captada	Longitud de onda	m	Análisis documental	Atlas DIHIDRONAV
			Periodo de ola	s	Análisis documental	Atlas DIHIDRONAV
Generar electricidad	Potencia generada	Potencia		Kw	Análisis documental	Software y calculo
	Inversión	Soles por mes		S/ ./ mes	Análisis documental	Cotizaciones
	Costo de energía	Soles por unidad de energía		S/ ./kWh	Análisis documental	Calculo

5.7. Método de recolección de datos

El método de recolección de datos tuvo como principal la consulta y análisis documental.

- Informes en SENARNP, IMARPE.
- Valores estadísticos en DIHIDRONAV.
- Valores de fichas técnicas.
- Cotizaciones en equipos.

5.8. Procedimiento de recolección de datos

La recolección de datos del oleaje se obtiene de DIHIDRONAV fuentes de información estadística que ofrece altura de ola, dirección y comportamiento de la marea en las zonas costeras, con todos estos valores estadísticos se obtendrán datos óptimos para el adecuado trabajo del sistema.

5.9. Procesamiento y análisis de datos

Los datos serán analizados mediante herramientas computacionales de alta precisión, la simulación de todo un sistema completo se realizará con la herramienta solidworks, software para análisis estático estructural, análisis de fatiga y/o frecuencia.

Con la herramienta computacional se valida la propuesta de mejora teniendo como resultado un buen diseño estructural y sin problemas de operación, de la misma manera para todo cálculo se usara la herramienta Matlab.

5.10. Exposición de Resultados

Los resultados serán expuestos en procesadores gráficos para verificar el funcionamiento mecánico de la generación y su posible conexión al sistema.

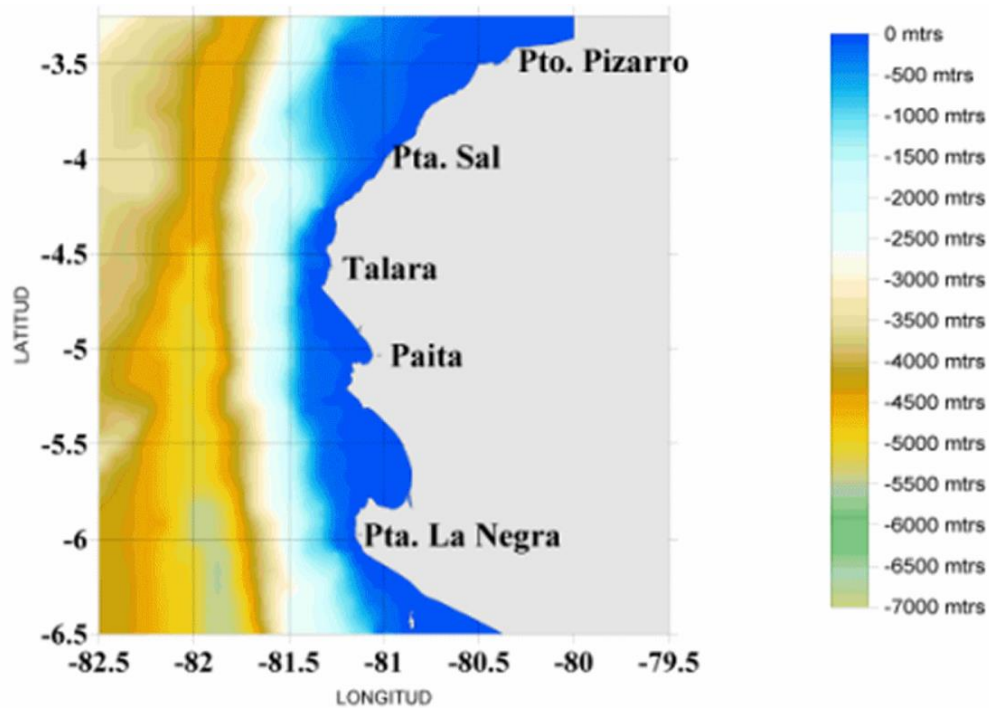
6. Desarrollo y resultados:

6.1. Selección de localización

6.1.1. Profundidad Marítima

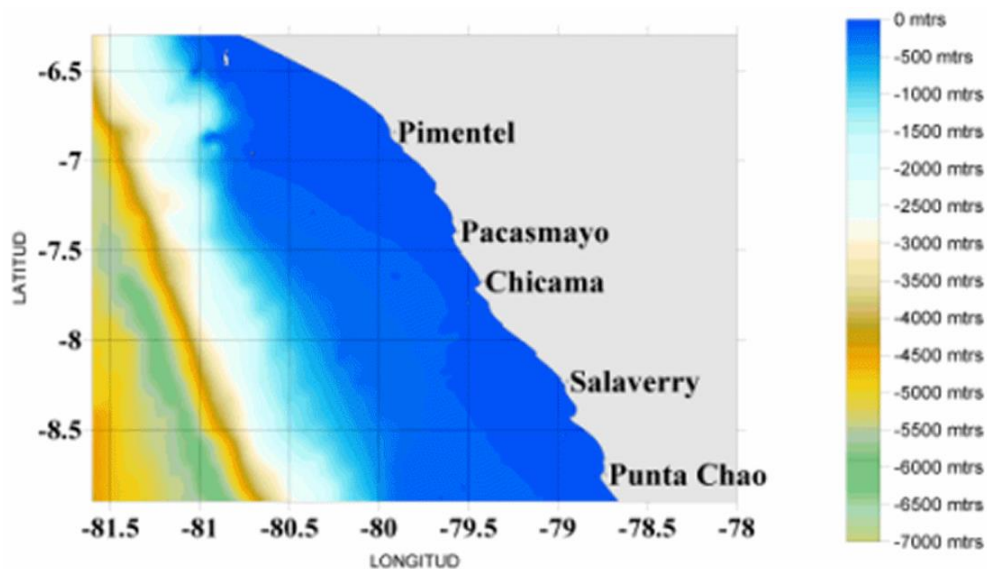
El modelo undimotriz OWC aprovecha la profundidad y mientras más cerca de la costa se encuentre ofrece una mayor facilidad de instalación y mejor producción, por ello es importante la selección de la zona. Mediante IMARPE se puede observar, lo largo de la costa Peruana, la profundidad de cada sector:

Figura 1 IMARPE Tumbes, Piura



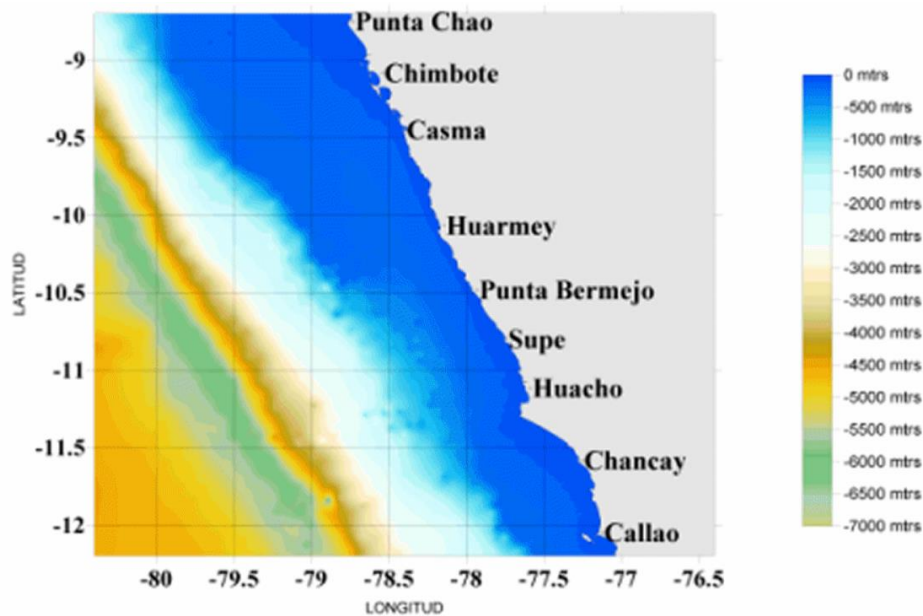
Fuente: [5]

Figura 2 IMARPE-CHICLAYO-TRUJILLO



FUENTE: [5]

Figura 3 IMARPE- ANCASH-LIMA

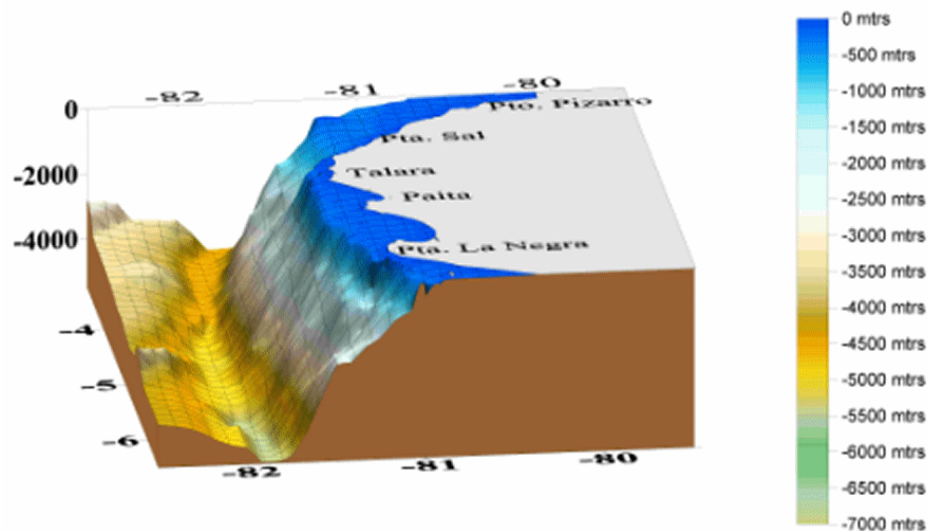


FUENTE: [5]

La **figura 1** ofrece una profundidad importante muy cerca de la costa, tanto Talara como Paita con tan solo a 100 metros de longitud de la costa existe aproximadamente 20 metros de profundidad marítima, detalle importante que no se encuentra en los sectores de Lambayeque, La libertad y Ancash.

Para más detalle en la **figura 4** y **figura 5** se puede observar la profundidad de la zona costera en 3D.

Figura 4 IMARPE Piura 3D



Fuente: [5]

Figura 5 IMARPE-LAMBAYEQUE 3D

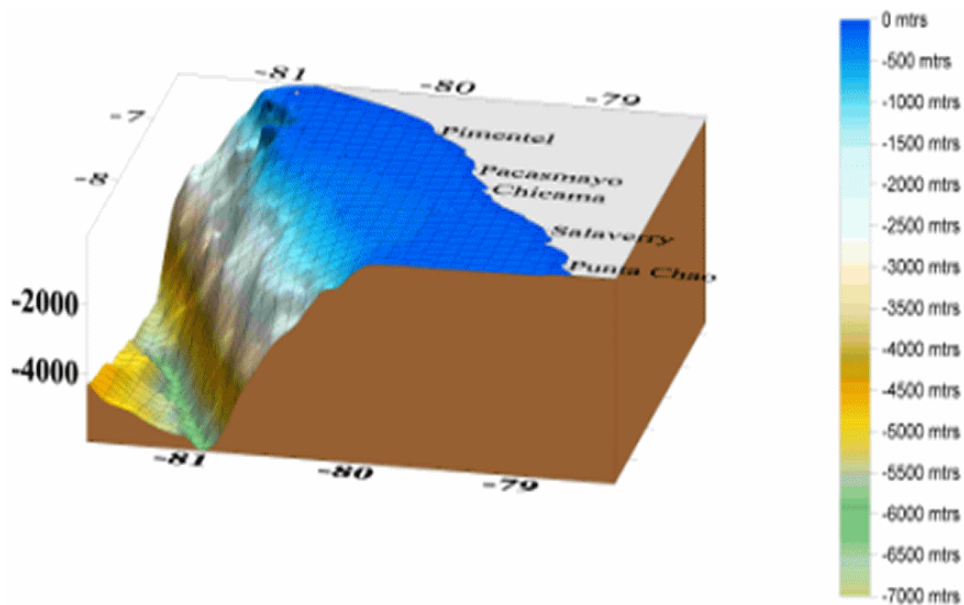


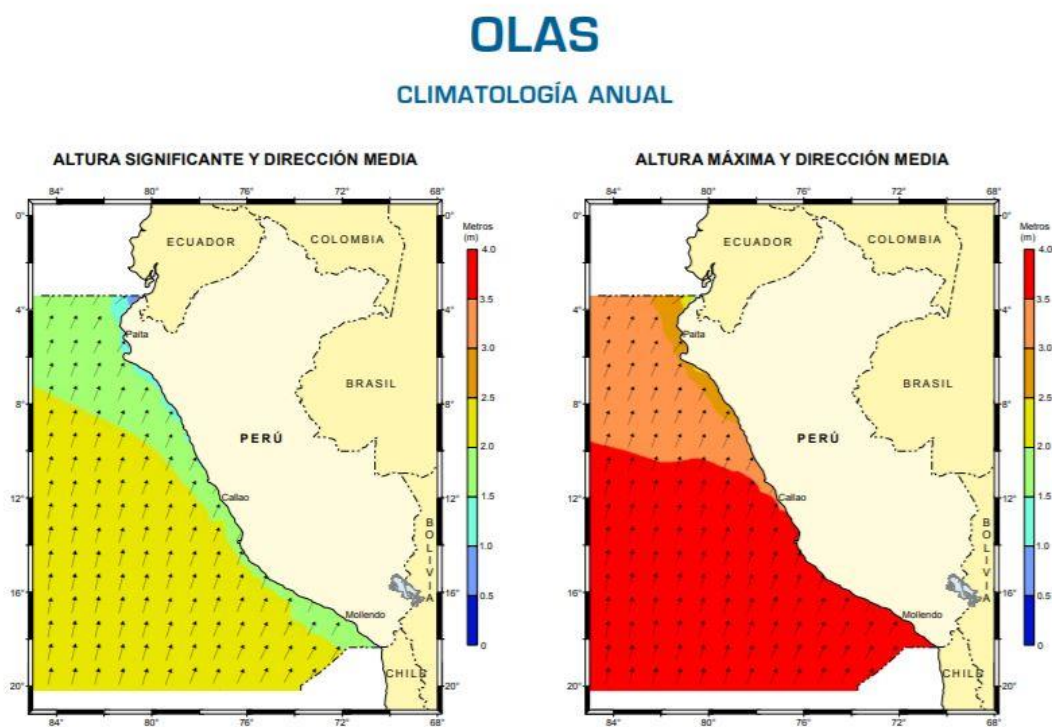
FIGURA: [5]

Debido a la hidrografía de estos sectores marítimos se es necesario centrar la investigación de la tesis en la zona de Paíta-Piura.

6.1.2. Altura de Oleaje:

A continuación, se muestra el movimiento anual de la costa peruana y asimismo el movimiento por cada estación a lo largo del año, de donde se obtiene una altura y una dirección.

Figura 6 DIHIDRONAV-Altura significativa y máxima

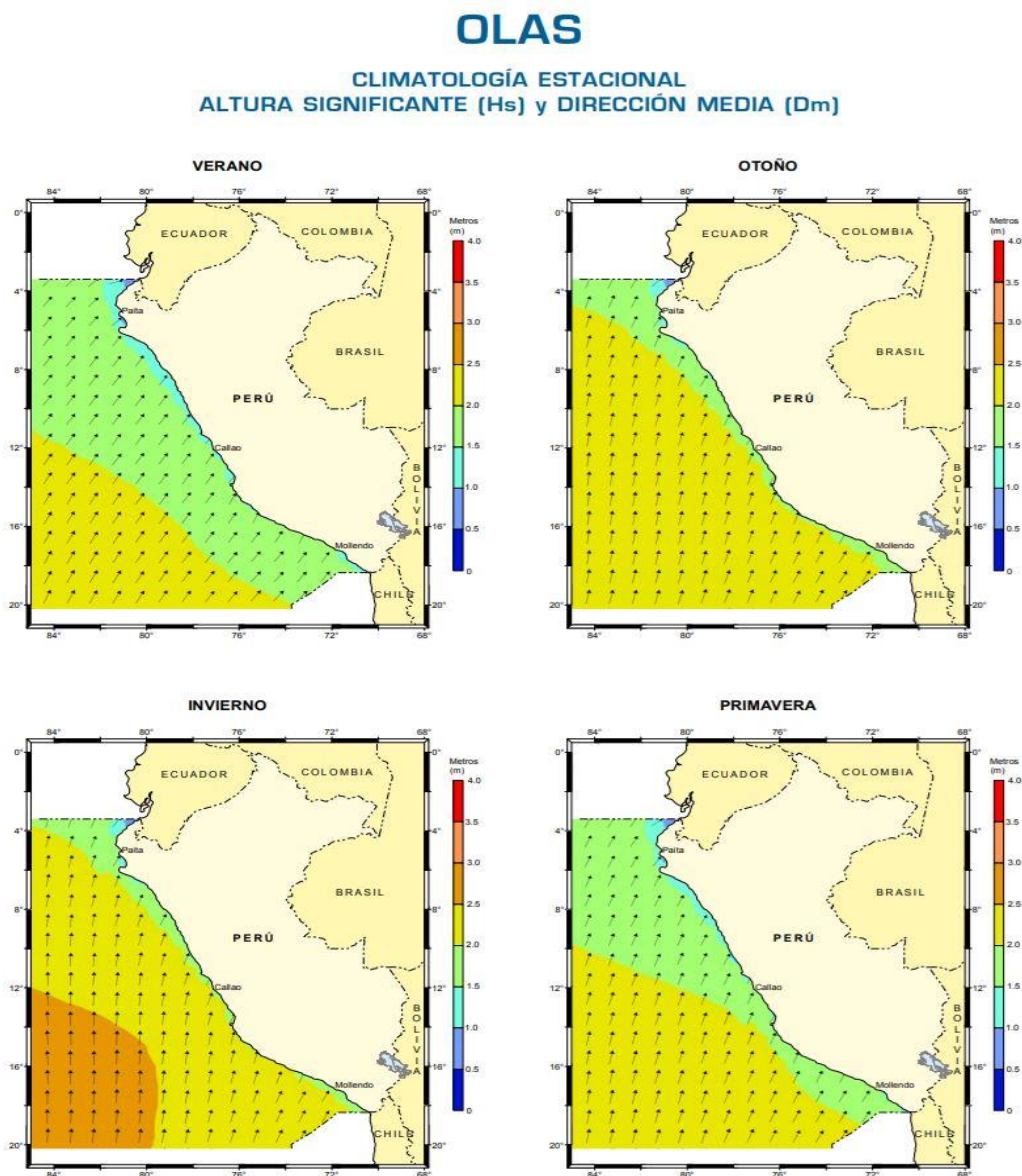


Fuente: [6]

Un parámetro fundamental es la altura de las olas por ello analizaremos algunas estadísticas las zonas costeras, un sistema undimotriz OWC debe tener como mínimo una altura de 0,8 metros a 3,2 metros para tener un funcionamiento constante y optimo, obteniendo datos de DIHIDRONAV, define una altura significativa en la zona costera de Paita entre 1,5 a 2 metros, una altura significativa tiene por entendimiento que es la altura media del tercio de la altura máxima registrada en 30 minutos de actividad en tiempo real, de la misma forma se puede observar una altura máxima que oscila entre 2,5 a 3,5 metros en la zona de Paita.

El atlas 2019 de DIHIDRONAV registra movimiento real, mensual y por estaciones del año para datos más detallados de altura obtenemos los siguientes gráficos.

Figura 7 DIHIDRONAV oleaje altura máxima



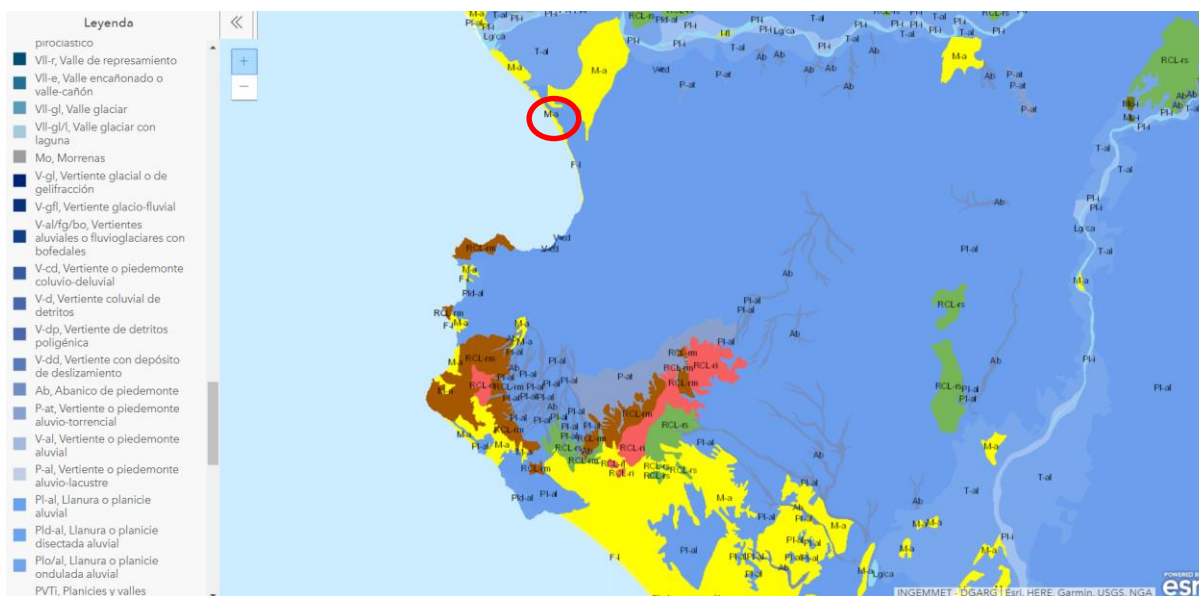
Fuente: [6]

Siendo otoño e invierno, quienes comprenden los meses de marzo a septiembre donde el movimiento es más fuerte, según registro se obtienen como datos de altura olas de 2 a 3 metros.

6.1.3. Orografía del terreno

El terreno tiene un papel muy importante cuando de generar y/o transportar energía se trata, la facilidad para instalar una central o realizar un cableado depende mucho del terreno, algunas superficies pueden ser arenosas o arcillosas, de un tipo de material coluvial, o aluvial, espesores de 4 metros a mas, humedad a condiciones normales, etc., En la **figura (8)** se observa el mapa geomorfológico de Paita-Piura con su respectiva leyenda.

Figura 8 Mapa Geomorfológico ESRI



Fuente: [7]

El mapa de ESRI señala la zona estudiada como un terreno V-cd, Vertiente coluvio-deluvial. Constituyen escombros de laderas o talus, son zonas rocosas o arcillosas, las playas de paita contienen un alto grado de arcilla y terreno elevado en ciertos puntos.

6.1.4. Proximidad a subestaciones eléctricas

El sistema interconectado nacional (SEIN), Administrado por el comité de operación económica del sistema interconectado nacional (COES), brinda la posibilidad de ubicar la red y conexión de subestaciones eléctricas que hacen posible la transferencia de energía eléctrica

en todo el Perú, logrando ubicar la subestación más cercana a la zona costera de Paita.

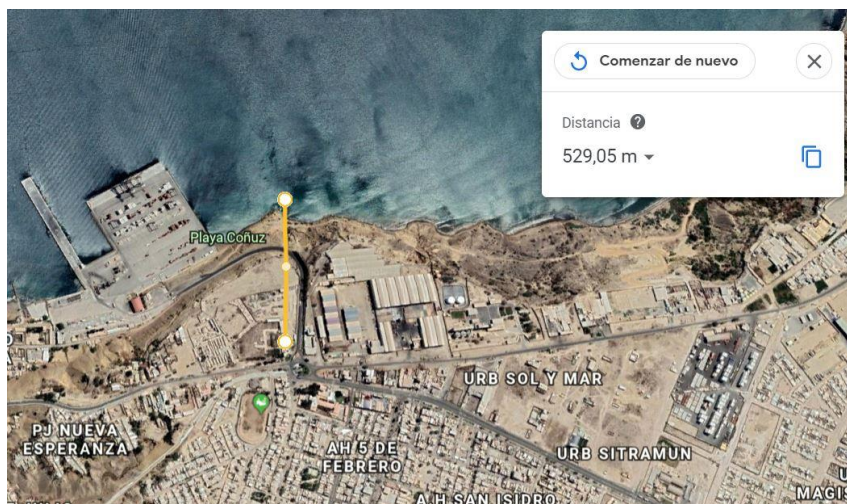
Figura 9 SEIN – Parte Norte



Fuente: [8]

Es de suma importancia la cercanía a la subestación, todo sistema de generación necesita de un punto de llegada para realizar el transporte de energía producida, según la **figura 5**, la S.E. Tablazo y la S.E. El Arenal se encuentran a distancias favorables de la costa, para una vista más detallada se utilizó Google Earth para obtener mediciones en distancia de la subestación a la zona de generación eléctrica de la cual según la **figura 6**, la distancia más aceptable por su cercanía al mar es la S.E. El Arenal, cuya distancia de subestación y costa marítima es de 529.05 metros como medida máxima.

Figura 10 Google Earth Distancia máxima



Fuente: [9]

La S.E El Arenal es un sistema en operación que se encuentra a 60 kV ubicado en Colan – avenida del puerto y sus características son:

Tabla 1 Características de la central

DENOMINACIÓN	CENTRAL TERMOELÉTRICA EL ARENAL
EMPRESA CONCESIONARIA	ENOSA
TECNOLOGÍA	Sub estación eléctrica
UBICACIÓN	
Departamento	Piura
Provincia	Paíta
Distrito	El Arenal
Altitud	
TRANSFORMADOR	
Nivel de tensión	60 kV
Potencia	10 MVA

Fuente: OSINERGMIN

Mediante el siguiente diagrama unifilar se representan las conexiones entre las 3 Barras desde la generación termoeléctrica a las dos subestaciones que son Paíta y El Arenal, las líneas azules dan a conocer la línea de transporte eléctrico y las barras de llegada para las mismas, los símbolos verdes oscuros son la central térmica, mientras que las barras verdes fosforescente son las cargas del sistema por zona.

6.2. Recopilación de información:

Tabla 2 Información seleccionada

Lugar	Zonas medioambientales protegidas	Potencial energético de la zona	Proximidad de vías de comunicación	Proximidad a núcleos urbanos	Proximidad a subestaciones eléctricas
Piura - Paita - Playa Conus	Ninguna cercana	7 811,39 kW/m ²	Carretera Acceso Muelle norte	700 metros de Urb. Sol y Mar	595 Metros a S.E El Arenal

Fuente: OSINERGMIN

7. Métodos y materiales:

7.1. Cálculo de flujo energético

7.1.1. Parámetro de longitud

Una longitud de onda es la distancia que hay desde un punto de la cresta hacia otra perturbación de onda periódica, para ello se analizó la longitud de onda del año 2018 mensualmente, la longitud de onda viene dada por:

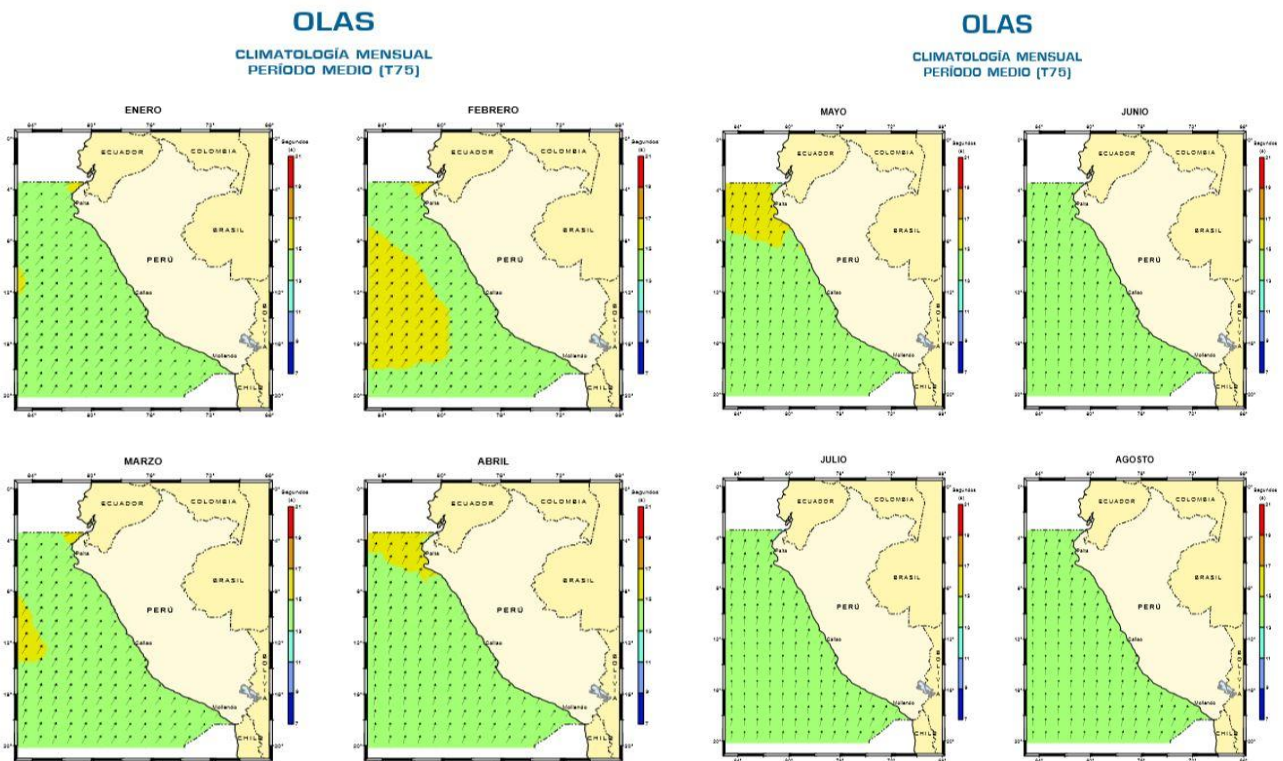
Longitud de onda (λ):

Ecuación 10

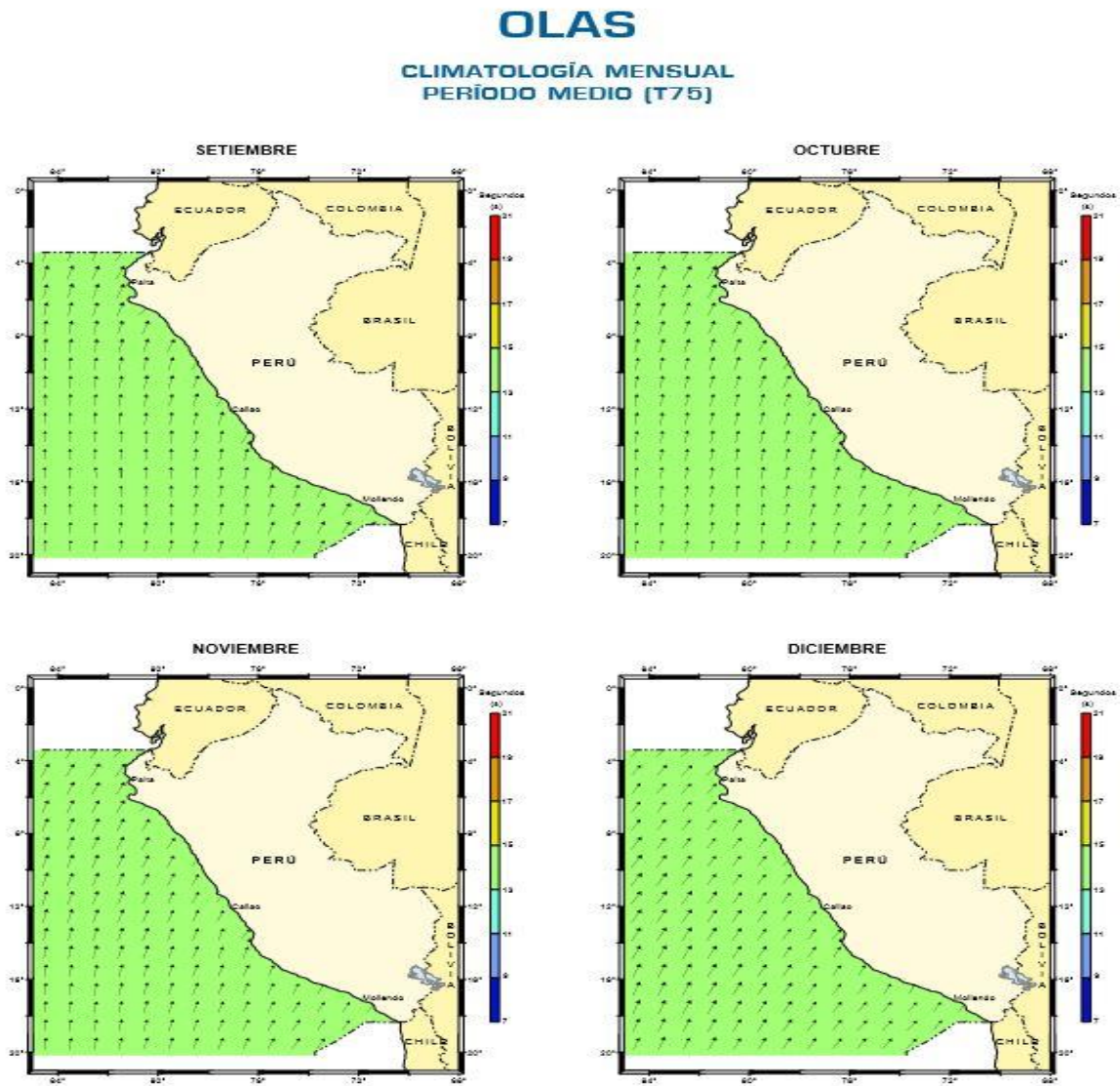
$$\lambda = \frac{g \cdot T^2}{2\pi}$$

Mediante DIHIDRONAV se extraen los datos estadísticos mensuales del año 2018 del Periodo de onda en la costa peruana según el atlas 2019.

Figura 11 Periodo enero-agosto



Fuente: atlas 2019 DIHIDRONAV
 Figura 12 PERIODO Setiembre/Diciembre



Fuente: Atlas 2019 DIHIDRONAV

Usando una tabla Excel se realizó el cálculo de longitud de onda, la distancia que se tiene de cresta a cresta de las olas.

Tabla 1: Longitud de onda

MES	Periodo de olas (T) – Año 2018 (s)	Longitud (λ) m
Enero	15	351,294748
Febrero	15	351,294748
Marzo	15	351,294748
Abril	17	451,218588
Mayo	17	451,218588
Junio	15	351,294748
Julio	15	351,294748
Agosto	15	351,294748
Septiembre	15	351,294748
Octubre	15	351,294748
Noviembre	15	351,294748
Diciembre	15	351,294748

Fuente: PROPIA

Para encontrar la Energía y el potencial de ola se necesita la celeridad o rapidez, la cual es la distancia recorrida de cresta a cresta y el tiempo que se necesita para completar el recorrido.

Tabla 3 Cálculo de rapidez de ola

MES	Periodo de olas (T) - Año 2018 (s)	Longitud (λ) m	Celeridad de la Ola © m/s
Enero	15	351,294748	23,41964988
Febrero	15	351,294748	23,41964988
Marzo	15	351,294748	23,41964988
Abril	17	451,218588	26,54226986
Mayo	17	451,218588	26,54226986
Junio	15	351,294748	23,41964988
Julio	15	351,294748	23,41964988
Agosto	15	351,294748	23,41964988
Septiembre	15	351,294748	23,41964988
Octubre	15	351,294748	23,41964988
Noviembre	15	351,294748	23,41964988
Diciembre	15	351,294748	23,41964988

Fuente: PROPIA

La celeridad de ola promedio anual de la zona costera del norte en Paita es de 24 m/s tomando como datos base la longitud de onda y el periodo mensual. En la siguiente tabla se procede a encontrar la celeridad de grupo, esta es la velocidad que transmite energía a un sistema de oleaje.

Tabla 4 Celeridad de grupo

MES	Periodo de olas (T) - Año 2018 (s)	Celeridad de la Ola © m/s	Celeridad de grupo © m/s
Enero	15	23,41964988	11,7098249
Febrero	15	23,41964988	11,7098249
Marzo	15	23,41964988	11,7098249
Abril	17	26,54226986	13,2711349
Mayo	17	26,54226986	13,2711349
Junio	15	23,41964988	11,7098249
Julio	15	23,41964988	11,7098249
Agosto	15	23,41964988	11,7098249
Septiembre	15	23,41964988	11,7098249
Octubre	15	23,41964988	11,7098249
Noviembre	15	23,41964988	11,7098249
Diciembre	15	23,41964988	11,7098249

Fuente: PROPIA

La celeridad de grupo promedio es de 12 m/s (Celeridad de la ola dividida entre 2).

Entonces, con los datos recopilados se procede a calcular la energía total y el potencial de la ola, sin embargo, para obtener la altura de ola se utiliza la fuente estadística de DIHIDRONAV. Se obtienen los datos de altura percentil 25, 50 y 75, la altura percentil define el porcentaje de ola más común en ese rango, ejemplo: si tenemos una altura percentil de 75 significa que el 25% de las demás olas son más altas pero el 75% de olas son más bajas, en la siguiente tabla utilizamos todos estos datos para encontrar una altura promedio y obtener un valor más cercano y real.

Tabla 5 Altura promedio

MES	Altura Percentil 25 (m)	Altura Percentil 50 (m)	Altura Percentil 75 (m)	Promedio en metros
ENERO	1,5	2	2	1,83
FEBRERO	1,5	2	2,5	2
MARZO	1,5	2	2,5	2
ABRIL	2	2,5	2,5	2,33
MAYO	2	2,5	3	2,5
JUNIO	2	2,5	3	2,5
JULIO	2	2,5	3	2,5
AGOSTO	2	2,5	3	2,5
SETIEMBRE	2	2,5	3	2,5
OCTUBRE	2	2,5	2,5	2,33
NOVIEMBRE	1,5	2	2,5	2
DICIEMBRE	1,5	2	2	1,83

Fuente: DIHIDRONAV

El potencial energético del sistema toma como datos base la gravedad, la densidad, la celeridad de grupo y la altura del oleaje, expresados en la ecuación número 3:

$$E = \frac{\rho * g * H^2}{8}$$

Tabla 6 Energía

MES	Altura de ola (H) en metros	Longitud (λ) m	Energía J/m ²
Enero	1,83	351,29474	4 232,844
Febrero	2	351,29474	5 037,435
Marzo	2	351,29474	5 037,435
Abril	2,33	451,21858	6 856,508
Mayo	2,5	451,21858	7 870,992
Junio	2,5	351,29474	7 870,992
Julio	2,5	351,29474	7 870,992
Agosto	2,5	351,29474	7 870,992
Septiembre	2,5	351,29474	7 870,992
Octubre	2,33	351,29474	6 856,508
Noviembre	2	351,29474	5 037,435
Diciembre	1,83	351,29474	4 232,844

Fuente: Altura DIHIDRONAV – CALCULOS PROPIOS

Se obtuvo un potencial energético promedio de 76 708.75 kJ/m² al año, este valor describe la energía por metro cuadrado. En el siguiente cuadro se calcula la potencia por metro lineal de onda y se describe multiplicando la celeridad de grupo al potencial energético por cada metro cuadrado.

Ecuación 11

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

Tabla 7 Potencia

MES	Altura de ola (H) en metros	Celeridad de la Ola © m/s	Celeridad de grupo © m/s	Potencia W/m
Enero	1,83	23,4196499	11,7098249	49 565,870
Febrero	2	23,4196499	11,7098249	58 987,481
Marzo	2	23,4196499	11,7098249	58 987,481
Abril	2,33	26,5422699	13,2711349	90 993,652
Mayo	2,5	26,5422699	13,2711349	104 456,9994
Junio	2,5	23,4196499	11,7098249	92 167,940
Julio	2,5	23,4196499	11,7098249	92 167,940
Agosto	2,5	23,4196499	11,7098249	92 167,940
Septiembre	2,5	23,4196499	11,7098249	92 167,940
Octubre	2,33	23,4196499	11,7098249	80 288,517
Noviembre	2	23,4196499	11,7098249	58 987,481
Diciembre	1,83	23,4196499	11,7098249	49 565,870

Fuente: POTENCIA PROPIA

Se obtuvo una potencia promedio de 76.70 Kw/m al año, este valor describe la potencia por cada metro lineal de onda.

7.2.Velocidad de onda:

El oleaje marítimo realiza naturalmente un desplazamiento horizontal por toda la superficie aquellas ondas o crestas formadas llevan consigo una velocidad y de la misma manera tienen una altura, Amplitud, Profundidad, Longitud de onda y periodo que servirán para calcular la velocidad de onda, un parámetro importante para el diseño del captador de energía o también llamado boya.

Ecuación 12

$$v = \frac{\pi \cdot H}{T} * e^{kx}$$

Dónde:

- H = Altura de onda
- T = Periodo medio
- K= $2\pi/\lambda$ es el número de onda

- λ = Longitud de onda
- x = Distancia desde la costa a donde se ubica el captador o boya

Criterio para tipos de aguas:

- $h \geq \lambda/2$ Aguas profundas
- $\lambda/2 > h \geq \lambda/20$ Aguas intermedias (10 – 200 m)
- $h < \lambda/20$ Aguas superficiales (0 – 10 m) [10]

Para el presente proyecto el sistema se ubica en aguas intermedias porque trabaja en un intervalo de 50 a 80 metros de profundidad, por ello, la longitud de onda es $\lambda = 20 * h$, la distancia del captador puede variar según la zona en la que se desea instalar, para el caso actual la boya se encuentra a una distancia de 100 metros, entonces los valores que tenemos son:

Tabla 8 Resumen de valores

Símbolo	Descripción	Cantidad	Unidad
H	Altura de ola	3	m
T	Periodo medio	15	s
k	Número de onda	0,02794655	-
λ	Longitud de onda	351,3	m
x	Distancia	150	m
v	Velocidad	3,676247	m/s

Fuente: PROPIA

$$v = \frac{\pi \cdot 3}{15} * e^{0.01707625*100}$$

$$v = 4,443 \text{ m/s}$$

7.3. Dimensionado de equipo:

Se requiere el dimensionamiento de cada elemento para explotar óptimamente el recurso en el sistema de generación, aquellos elementos son: la boya, sistema de pistones, sistema de tuberías y equipos de generación.

7.3.1. Boya de captación:

El fin de la boya es encontrarse en la superficie para aprovechar toda la altura de las olas, por lo tanto, siguiendo el principio de Arquímedes el peso debe ser menor al empuje y así mantener el cuerpo en flotación, al tratarse de un material pesado como el acero inoxidable, se puede trabajar con una estructura hueca y así mantener un área grande pero un peso mínimo.

Se obtuvo un modelo de boya del salón online Nautic Expo, una plataforma que alberga a muchos proveedores de productos náuticos, es una boya cilíndrica con base convexa cuyas especificaciones se muestran en la siguiente tabla:

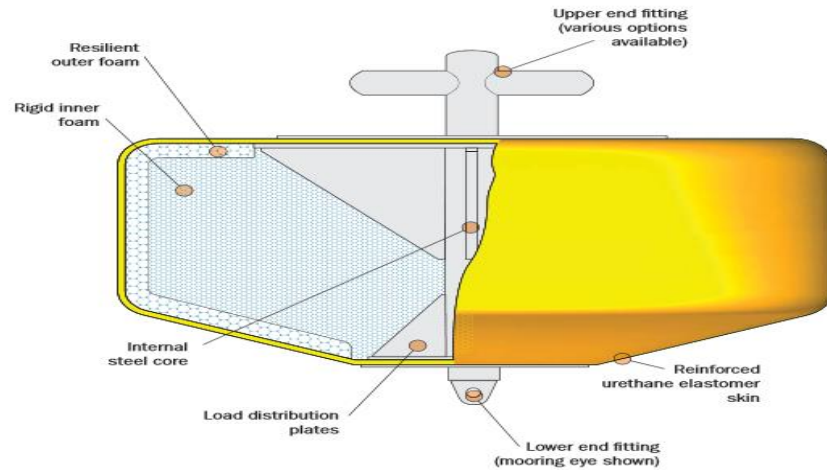
Figura 13 Datos de boya

Modelo	Flotabilidad Neta (kg)	Peso de boya (kg)	Diámetro general (m)	Sección de flotación (m)	Altura general (m)	Carga de trabajo (Ton)
MB-2250	2250	860	1.9	1.3	2.3	45
MB-5000	5000	1400	2.5	1.5	2.6	68
MB-7000	7000	1900	2.8	1.5	2.6	91
MB-9000	9000	2400	3	1.7	2.8	91
MB-11000	11000	2700	3.2	1.8	2.9	91
MB-14000	14000	3400	3.4	2.1	3.2	136
MB-16000	16000	3800	3.6	2.2	3.3	136
MB-18000	18000	4100	3.7	2.3	3.4	136
MB-22000	22000	4700	3.9	2.5	2.6	136
MB-34000	34000	6400	4.2	3.2	4.3	136
MB-45000	45000	8000	4.2	4.1	5.2	136

Fuente: [11]

La elección se dará principalmente por los datos del peso y la carga a soportar, ya que el trabajo de la boya será empujar el pistón tanto en forma ascendente como descendente, se trabajará con la boya MB-9000 que tiene un diámetro de 3 m y una altura de 2.8 m, a continuación la figura muestra la boya utilizada para el diseño.

Figura 14 Boya MB-9000



Fuente: [11]

7.3.2. Fuerza de arrastre:

La ola ocasiona el movimiento continuo en la boya, el pistón trabajará gracias a este desplazamiento. La fuerza de arrastre es la fricción que tiene un fluido sobre el área de algún objeto y está representada por la formula número 4:

$$\text{Drag} = \frac{1}{2} * \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot C_D$$

Dónde:

- ρ es la densidad del agua marina = $1\ 027 \frac{kg}{m^3}$
- V es la velocidad de ola = $4.443 \frac{m}{s}$
- S es el área de la boya = $\pi \times r^2$
- C_D es el coeficiente de arrastre

El coeficiente de arrastre (C_d) es el valor adimensional usado para expresar la magnitud de resistencia de un objeto ante la acción de un fluido, el C_d es distinto respecto al área y la forma en contacto, para el proyecto se utiliza una boya cilíndrica cuya área en contacto es circular y su coeficiente es 0,47.

Reemplazando datos en la ecuación obtenemos:

$$\text{Drag} = \frac{1}{2} * 1\ 027 \cdot 4,443^2 \cdot 5,1 \cdot 0,47$$

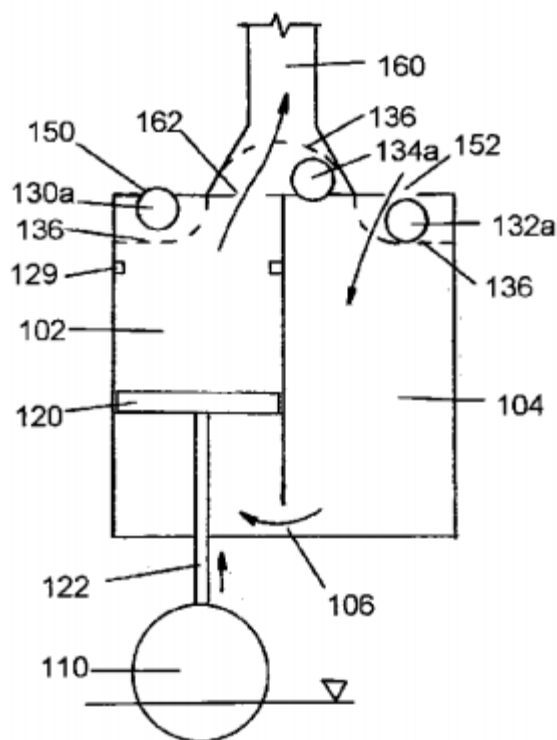
$$\text{Drag} = 24\ 297,47301\ \text{N}$$

7.3.3. Sistema de bombeo Hidráulico:

Un pistón expande y comprime un volumen, este trabajo será ocasionado por el pasar de las olas, necesitamos un modelo de bombeo que se adapte a estas condiciones ya que impulsará agua de mar.

Se obtuvo una patente que tiene por nombre “Fluid pumping apparatuses powered by waves or flowing currents” en español “Aparatos de bombeo de fluidos con agua de ondas o corrientes de flujo”, el cual junta una serie de sistemas para bombear un fluido, de todos ellos la investigación se centrará en la siguiente figura

Figura 15 Aparato de bombeo de fluido modelo 100a



Fuente: [12]

La Figura 15 Aparato de bombeo de fluido modelo 100a muestra una bomba 100a. Tiene aletas representadas en forma de esfera, señaladas por los caracteres 130a, 132a, 134a. Las esferas 130a, 132a, 134a, son guiadas en sus respectivos lugares por una red o malla representada con el número 136. Las bolas están dimensionadas de modo que puedan actuar como apertura y cierre de las entradas 150, 152 y las salidas 162, 163 también representadas en la figura 11, estas aletas

actuarán de acuerdo a la presión o vacío parcial generado por el pistón (representado por el número 120), y así se bombea fluido a través de la salida (representada por el número 160), el fin de esta patente es que el bombeo sea continuo es por ello que hay dos entradas y una salida que cambia de posición, así el sistema realiza el proceso de admisión y compresión al mismo tiempo, inyectando fluido a presión constante, este sistema es también llamado bomba de doble efecto.

7.3.4. Diámetro de pistón doble efecto:

El de pistón cumple un papel importante, debido a que mientras más grande sea el área mayor será la cantidad de agua bombeada. La potencia a conseguir en esta central undimotriz marca como objetivo los 5 MW de potencia, por ello todos los parámetros serán dimensionados para dicha potencia.

Se realizó el cálculo mediante la una hoja de cálculo Excel para poder descartar diámetros muy pequeños y proceder a explicar el procedimiento con el diámetro escogido, a continuación se adjunta la tabla Excel con los cálculos de los parámetros utilizando un diámetro de pistón hidráulico con la máxima medida estándar según la ISO.

Tabla 9 Datos del sistema (Medida de pistón estándar)

DATOS DEL SISTEMA		
Masa de la boya	2 400	Kg
Peso de la boya	23 544	N
Empuje	122 320,706	N
Diámetro estándar del pistón	0,2	m
Carrera	3	m
Periodo de olas	15	s
Diámetro de la tubería	0,1	mm
Numero de boyas	6	
Densidad	1 027	kg/m ³
Viscosidad	0,001	
Rugosidad el cobre	0,0015	
Longitud de tubería un tramo	2	m

Fuente: Propia

Tabla 10 Parámetros cálculos con el pistón de medida estándar

PARAMETROS DEL PISTON		
Área del pistón	0,031415927	m ²
Presión Descendente	749 428,80	Pa
Presión Ascendente	3 893 589,00	Pa
Esfuerzo de compresión D	23 544	N
Esfuerzo de compresión A	122 320,706	N
Cilindro (Volumen bombeado)	0,09424778	m ³
Cilindro (Volumen bombeado Total)	0,565486678	m ³
Caudal simple	0,006283185	m ³ /s
Caudal de doble efecto	0,012566371	m ³ /s
Caudal por tramo	0,037699112	m ³ /s
Caudal total por número de boyas	0,075398224	m ³ /s

Fuente: Propia

Al utilizar un diámetro de pistón de 0,2 m a una razón de 6 boyas, se entregaría un total de caudal de 0,075398224 m³/s por lo que se requiere una altura hidráulica de 438,81 metros, una velocidad de chorro de 88,025 m/s y una presión de presurización de 4,08 Mpa. Sin embargo, se necesitaría de mucha inversión en equipos e implementos para conseguir entregar dichos parámetros, incluso se podría aumentar el número de boyas para así aumentar el recurso entregado, pero también aumentaría el valor económico y no sería un proyecto viable.

La inyección a chorro gracias a la presurización podrá suplir la energía faltante pero se necesita como primer punto definir el diámetro de pistón más conveniente para cubrir un caudal constante, pero al mismo tiempo se necesita que la dimensión no exceda un tamaño que por mantenimiento lleve consigo un gasto elevado.

Tabla 11 Diámetro de pistón

Caudal TOTAL	Caudal por pistón	Volumen enviado	Área de pistón	Diámetro pistón
0,1	0,016666667	0,25	0,083333333	0,325735008
0,2	0,033333333	0,5	0,166666667	0,460658866
0,3	0,05	0,75	0,25	0,564189584
0,4	0,066666667	1	0,333333333	0,651470016

Fuente: Propia

En la tabla 12 se encuentran los diámetros calculados según el caudal requerido, sin embargo al utilizar los cilindros de doble efecto siempre se obtendrá el doble del caudal total, por ende es

conveniente tomar un diámetro de 0,3257 metros y obtener el doble del caudal usado que es 0,2 m³/s, el ambiente de trabajo del pistón es un ambiente salino, a pesar de las condiciones inoxidables que se pueda darle al material siempre existirá una vida útil y un mantenimiento necesario, por lo que conviene tener las menores medidas posibles pero los más altos resultados.

Se calculan los parámetros para el diámetro seleccionado:

- **Área de pistón:**

Ecuación 13

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi * 0,175^2$$

$$A = 0,0962 \text{ m}^2$$

- **Presiones de bombeo:** El sistema de bombeo es de doble efecto, esto quiere decir que existen dos presiones una ascendente ocasionada por el peso de la boya con la altura de ola y otra descendente impulsada por el empuje del fluido en la boya.

$$\mathbf{Presión} = \frac{\mathbf{Fuerza}}{\mathbf{Área Pistón}}$$

Datos:

- Peso de boya = 2 400 kg (Para la fuerza Descendente)
- Empuje (Para la fuerza Ascendente)

$$Presión Descendente = \frac{Fuerza}{Área Pistón}$$

$$Presión Descendente = \frac{2\,400 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}}{0,0962 \text{ m}^2}$$

$$\mathbf{Presión Descendente = 244\,711,44 Pa}$$

Para calcular la presión ascendente se necesita la fuerza del empuje, ya que es la única fuerza que levantará la boya y consiga el pistón.

$$\mathbf{Fuerza\ de\ empuje = \rho H_2O * Gravedad * Vs}$$

Datos:

- Densidad del material de la boya = 630 kg/m^3
- Densidad del agua marina = $1\ 027\text{ kg/m}^3$
- Vs (Volumen sumergido) = Área de la boya * Altura sumergida
- Gravedad = $9,81\text{ m/s}$
- Altura sumergida, $1,7\text{ m}$ (Características de la boya)

$$Fuerza\ de\ empuje = 1\ 027\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81\frac{\text{m}}{\text{s}} * \text{Área\ boya}(Ab) * \text{Altura\ sumergida}(hs)$$

$$Fuerza\ de\ empuje = 1\ 027\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81\frac{\text{m}}{\text{s}} * 12,01\text{ m}^3$$

$$\mathbf{Fuerza\ de\ empuje = 121\ 065,6012\ N}$$

Con la fuerza de empuje se calcula la presión ascendente en el pistón:

$$Presión\ Ascendente = \frac{Fuerza\ de\ empuje}{Área\ Pistón}$$

$$Presión\ Ascendente = \frac{121\ 065,6012\ N}{0,0962\ \text{m}^2}$$

$$Presión\ Ascendente = \frac{121\ 065,6012\ N}{0,0962\ \text{m}^2}$$

$$\mathbf{Presión\ Ascendente = 1\ 258\ 478,183\ Pa}$$

- **Dimensionamiento del vástago:**

El vástago necesita soportar cargas verticales por la fuerza aplicada y cargas horizontales provocadas por la fuerza de arrastre, el plano vertical estará sometido a compresión y tracción, por lo que deberemos analizar ambas magnitudes.

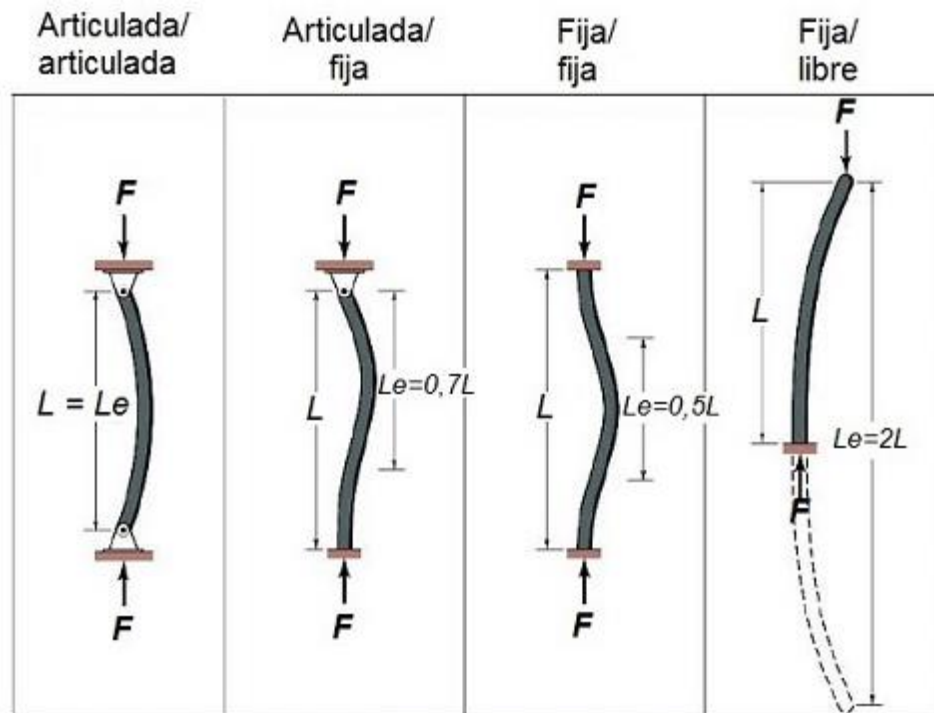
$$F = \frac{\pi * E * I}{Lp^2}$$

Dónde:

- F = Fuerza de compresión y tracción
- E = Modulo de elasticidad del Acero Inoxidable $1,875 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
- I = Inercia = $\frac{\pi * d^2}{64}$
- Le = Longitud por empotramiento

Para la variable Lp se tiene primero que identificar la forma en que está unido el vástago, ya sea empotrado, libre o articulado. La siguiente figura define la fórmula para cada caso:

Figura 16 Disposición de barra



FUENTE: [13]

El vástago es una barra Fija en la boya y libre en la parte del pistón, por ello la disposición se adapta la fórmula de $Le=2L$, con estos datos se procede a calcular el diámetro:

Diámetro según fuerza de compresión:

$$F = \frac{\pi * E * I}{Lp^2}$$

$$23\ 554\ N = \frac{\pi * 1,875 * 10^{11} * \frac{\pi * d^4}{64}}{2(3)^2}$$

$$D1 = 0,07358096\ m$$

Diámetro según fuerza de tracción:

$$F = \frac{\pi * E * I}{Lp^2}$$

$$122\ 320\ N = \frac{\pi * 1,875 * 10^{11} * \frac{\pi * d^4}{64}}{2(3)^2}$$

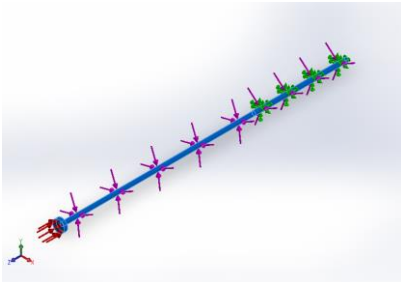
$$D2 = 0,1110886\ m$$

Ya que el vástago debe soportar ambos esfuerzos, se selecciona el mayor diámetro de 0,1110886 m.

7.3.5. Análisis estático estructural:

La pieza está sometida a un trabajo constante, debido a estas fuerzas una estructura puede fallar mecánicamente, con las medidas calculadas se diseña el pistón y se aplican las fuerzas y presiones existentes. En las siguientes tablas se representa el diseño del pistón con vástago y las fuerzas aplicadas.

Tabla 12 Características de la pieza

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: AISI 316L Acero inoxidable</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: $1,7e+008 \text{ N/m}^2$</p> <p>Límite de tracción: $4,85e+008 \text{ N/m}^2$</p> <p>Módulo elástico: $2e+011 \text{ N/m}^2$</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,265</p> <p>Densidad: $8\ 027 \text{ kg/m}^3$</p> <p>Módulo cortante: $8,2e+010 \text{ N/m}^2$</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: $1,65e-005 \text{ /Kelvin}$</p>	Pistón – vástago

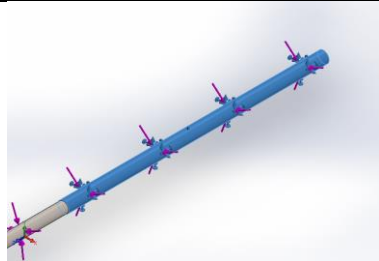
FUENTE: PROPIA

Para analizar el sistema estático se deben tomar dos momentos, el movimiento Descendente (donde actúa el peso de la boya por la altura de oleaje) y el movimiento ascendente (donde actúa el empuje del fluido sobre la boya) el diferencia entre ambos momentos es la dirección de la fuerza.

7.3.5.1. Primer momento, Fuerza descendente:

Sé asignó como geometría fija a la parte del vástago que estará anclada a la boya, el total de longitud de anclaje es 2,8 metros, la cual es la altura de la boya.

Tabla 13 Pieza de estudio

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijación en boya		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Geometría fija</p>		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-1,30955	2,14179	23 543,9	23 543,9

Fuente: Propia

Existen 3 fuerzas significantes las cuales darán una carga a la pieza de bombeo, mediante una análisis estático se puede determinar que el pistón y vástago están sometidos a fuerzas verticales y fuerzas horizontales. Las fuerzas verticales para este movimiento descendente tienen como base el peso de la boya y la presión que se ejerce en el agua, en el caso de las fuerzas horizontales toda área sumergida está sometida a la fuerza de arrastre, esto aplica para la boya y para el vástago, unos cuerpos móviles.

- **Fuerza de boya:**

$$Fuerza\ de\ boya = 2\ 400\ kg \times 9,81\ \frac{m}{s^2}$$

$$Fuerza\ de\ boya = 23\ 544\ N$$

$$Fuerza\ del\ vástago = 114\ kg \times 9,81\ \frac{m}{s^2} = 1\ 118,34\ N$$

- **Presión del pistón:**

$$Presión = \frac{23\ 544\ N + 1\ 118,34\ N}{Área\ de\ pistón}$$

$$Presión = 244\ 711,44\ Pa$$

- **Fuerza de arrastre de la boya:** La fuerza de arrastre de la boya fue calculado en la ecuación y su valor es **24 297,47301 N**.

- **Fuerza de arrastre del vástago:**

$$Drag = \frac{1}{2} * \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot C_D$$

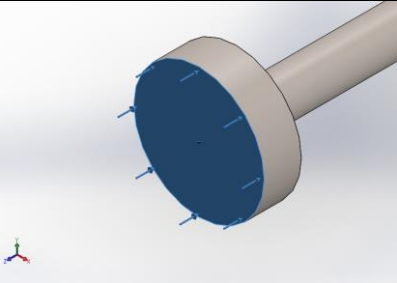
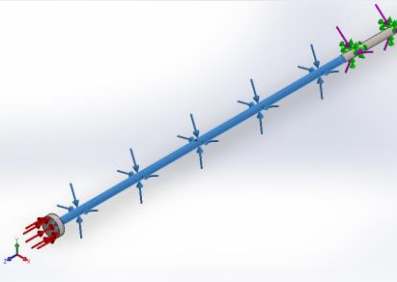
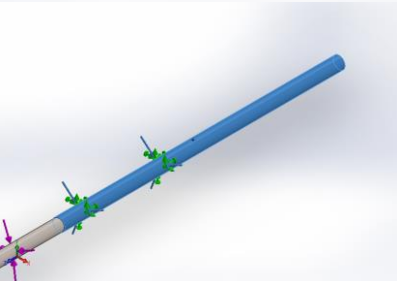
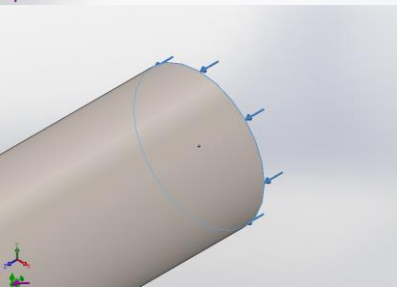
Datos:

- Diámetro: 0,1110886 m
- Altura: 3 metros
- Coeficiente de arrastre: 0.82

$$Drag = 2\ 770,11\ N$$

En la siguiente tabla se muestran todas las fuerzas aplicadas a la pieza estudiada, se realizó un análisis con la herramienta SolidWorks para hallar las deformaciones, desplazamientos y factor de seguridad.

Tabla 14 Cargas aplicadas Descenso

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Presión de la cámara		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Normal a cara seleccionada Valor: 244 711 Unidades: N/m ² Ángulo de fase: 0 Unidades: deg
Fuerza de arrastre en el vástago		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 2 770,11 N
Fuerzas de arrastre en la boya, volumen sumergido		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 42 391,3 N
Fuerza del peso de boya		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 23 544 N

Fuente: Propia

7.3.5.2. Segundo momento, Fuerza Ascendente:

Para la fuerza ascendente se consideran 4 fuerzas, en este caso la fuerza primordial es el empuje, el análisis estático ubica una fuerza positiva hacia arriba, esta última debe desplazar tanto el peso de la boya como la presión de inyección Ascendente.

- **Fuerza de empuje:**

El principio de Arquímedes dice que “Todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta una fuerza ascendente llamada empuje y esta fuerza es equivalente al peso del fluido desalojado por el cuerpo”.

$$\text{Fuerza de empuje} = \rho_{H_2O} * \text{gravedad} * \text{Volumen sumergido}$$

$$\text{Fuerza de empuje} = 1\,027 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{9,81\text{m}}{\text{s}^2} * \pi * 1,5^2 * 1,7$$

$$\text{Fuerza de empuje} = 122\,321\text{ N}$$

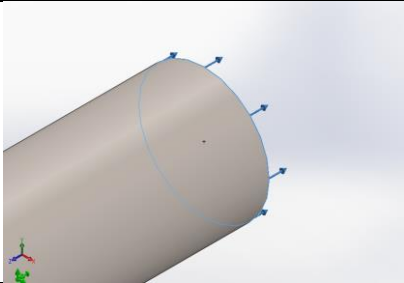
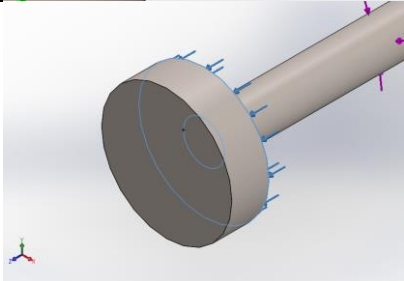
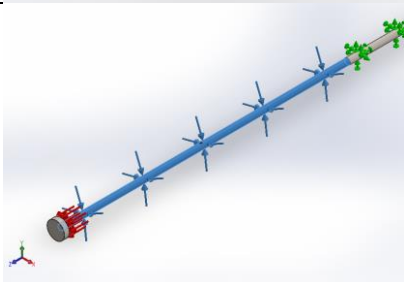
- **Presión ascendente:**

$$\text{Presión} = \frac{122\,321\text{ N}}{(\text{Área de pistón} - \text{Área de vástago})}$$

$$\text{Presión} = \frac{122\,321\text{ N}}{(0,0962\text{ m}^2 - 0,009692\text{ m}^2)}$$

$$\text{Presión} = 1\,412\,944,468\text{ Pa}$$

Tabla 15 Cargas aplicadas Ascenso

Nombre de carga	Carga	Detalles de carga	
Fuerza de empuje		Entidades: Tipo: Valor:	1 cara(s) Aplicar fuerza normal -12 2321 N
Presión de doble efecto		Entidades: Tipo: Valor: Unidades: Ángulo de fase: Unidades:	1 cara(s) Normal a cara seleccionada 1,412e+006 N/m ² 0 deg
Fuerza de arrastre de vástago		Entidades: Tipo: Valor:	1 cara(s) Aplicar fuerza normal 33 695 N

7.3.5.3. Mallado de pieza:

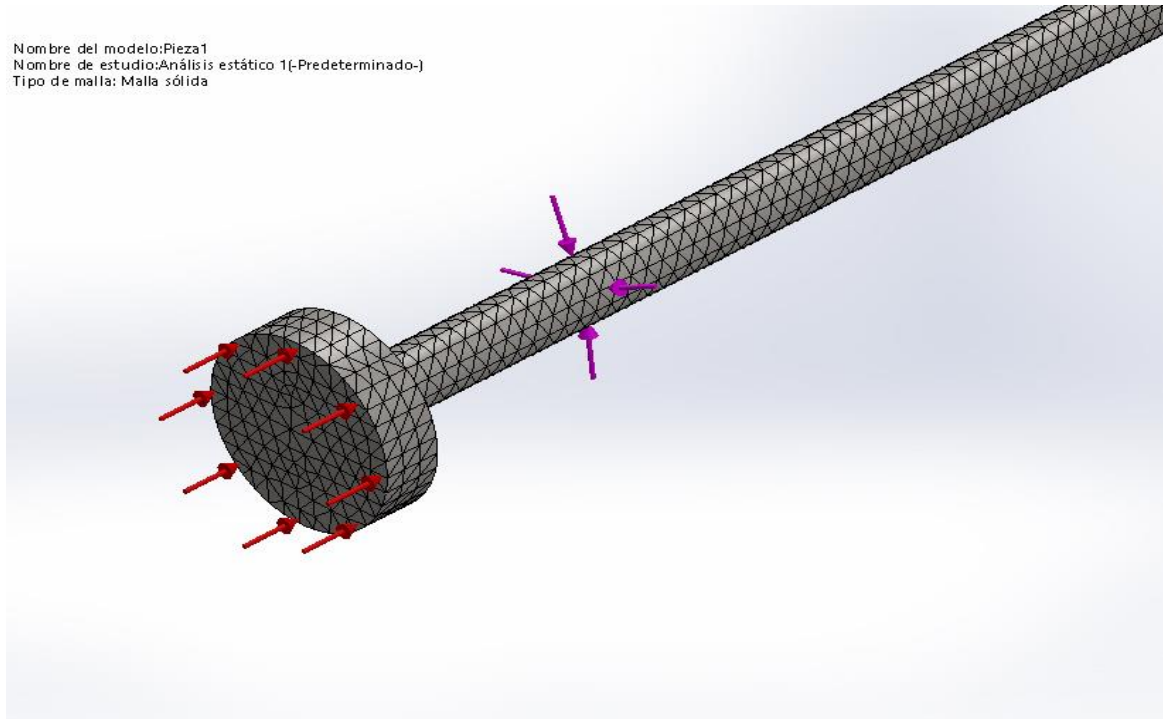
El tipo de mallado utilizado es muy fino, la distorsión de elementos en la malla es nula, la cantidad de puntos jacobianos utilizados por elemento de malla es de 4 puntos, en la siguiente tabla se describen los datos de malla realizados en SolidWorks y la figura mallada.

Tabla 16 Mallado

Número total de nodos	37 269
Número total de elementos	22 329
Cociente máximo de aspecto	10,746
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,4
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,00448
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0

Fuente: Propia

Figura 17 Mallado de pieza



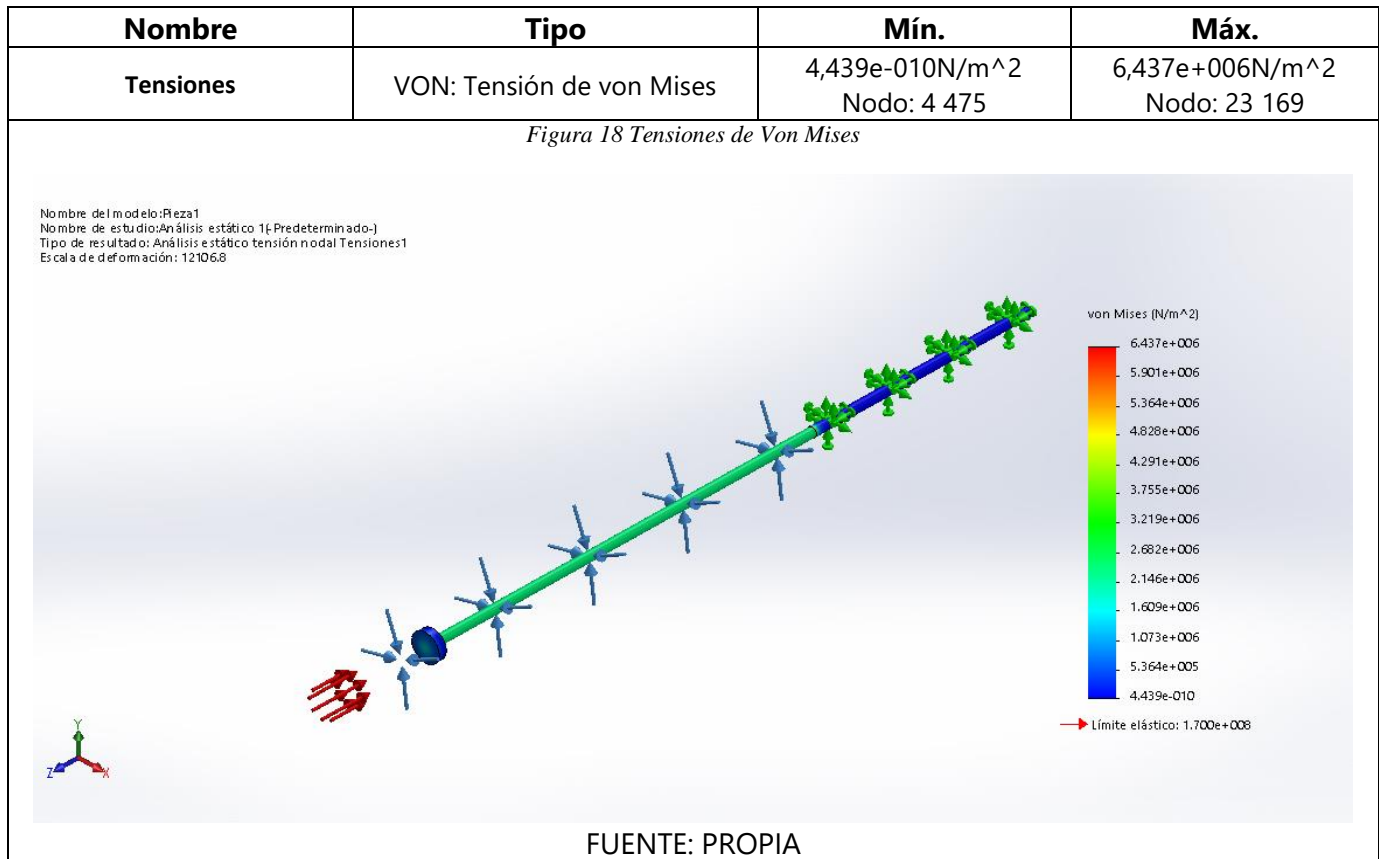
Fuente: Propia

7.3.6.3. Resultados de análisis

- Resultados del momento Descendente:

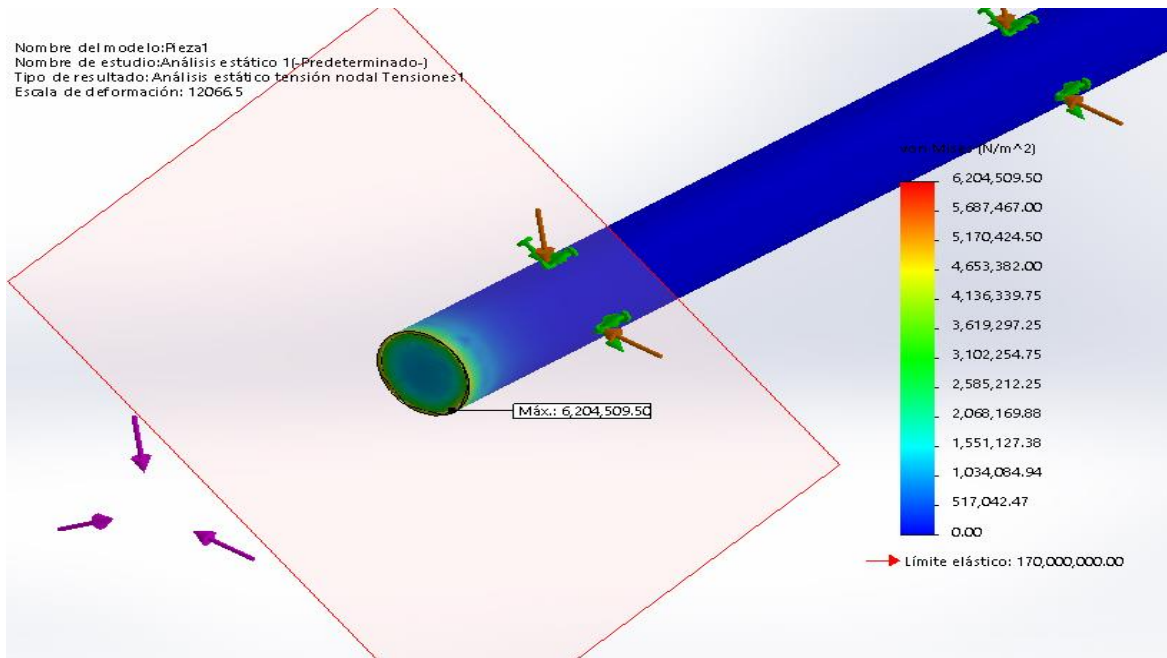
El análisis estático en SolidWorks da como resultado 3 cálculos base, los cuales son las tensiones, los desplazamientos, deformaciones y factor de seguridad, la siguiente imagen es el resultado de las tensiones ocasionadas por las fuerzas aplicadas, se utilizó el método de tensiones de Von Mises.

Tabla 17 Tensiones de Von Mises



El estudio calcula tensiones máximas y mínimas, la sección de más importancia es la tensión máxima, al cortar la barra se puede observar la zona más crítica, se encuentra justo en la zona empotrada a la boya, el corte de sección ofrece una mejor vista, el valor máximo es de $6,204 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$ y el límite elástico es de $170 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$, tiene un intervalo amplio para el límite y con pocas probabilidades de falla por tensión.

Figura 19 Vista cortada de tensiones

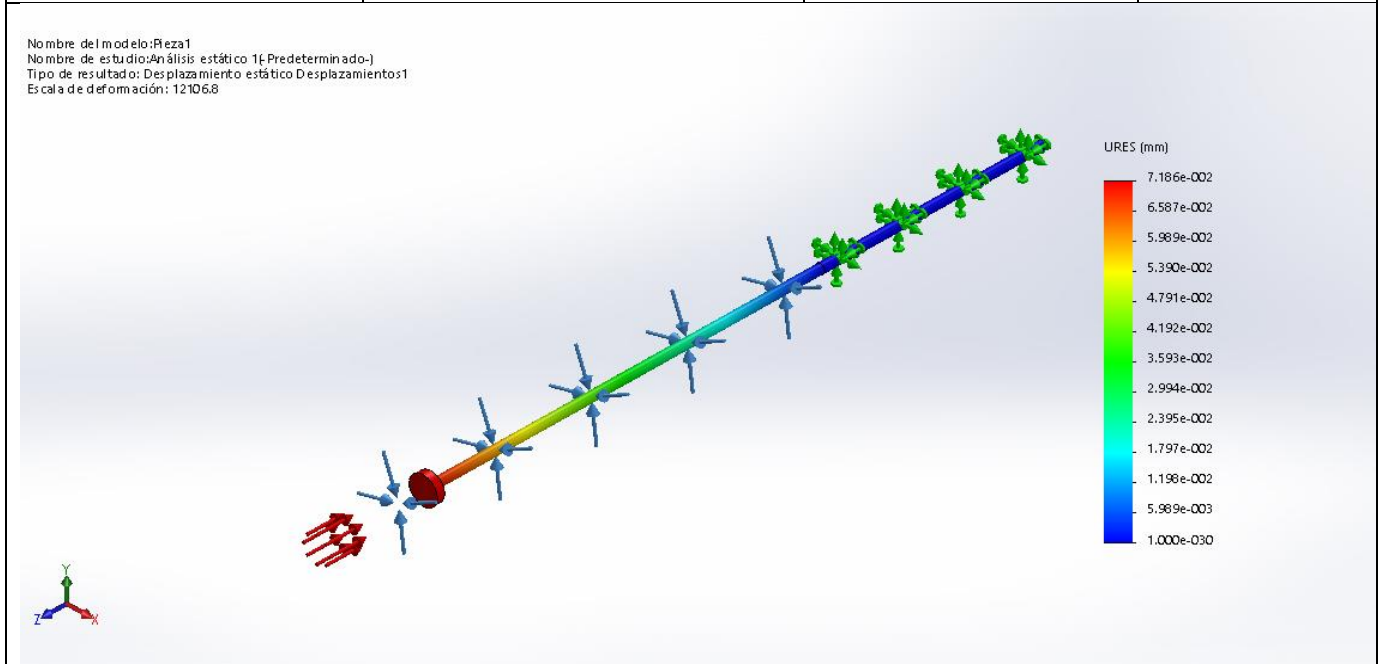


FUENTE: PROPIA

La siguiente imagen muestra cuanto se desplaza la pieza según el trabajo aplicado, se observa un desplazamiento máximo de 0,07186 mm .

Tabla 18 Resultados

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+000mm Nodo: 1	7,186e-002mm Nodo: 2 571



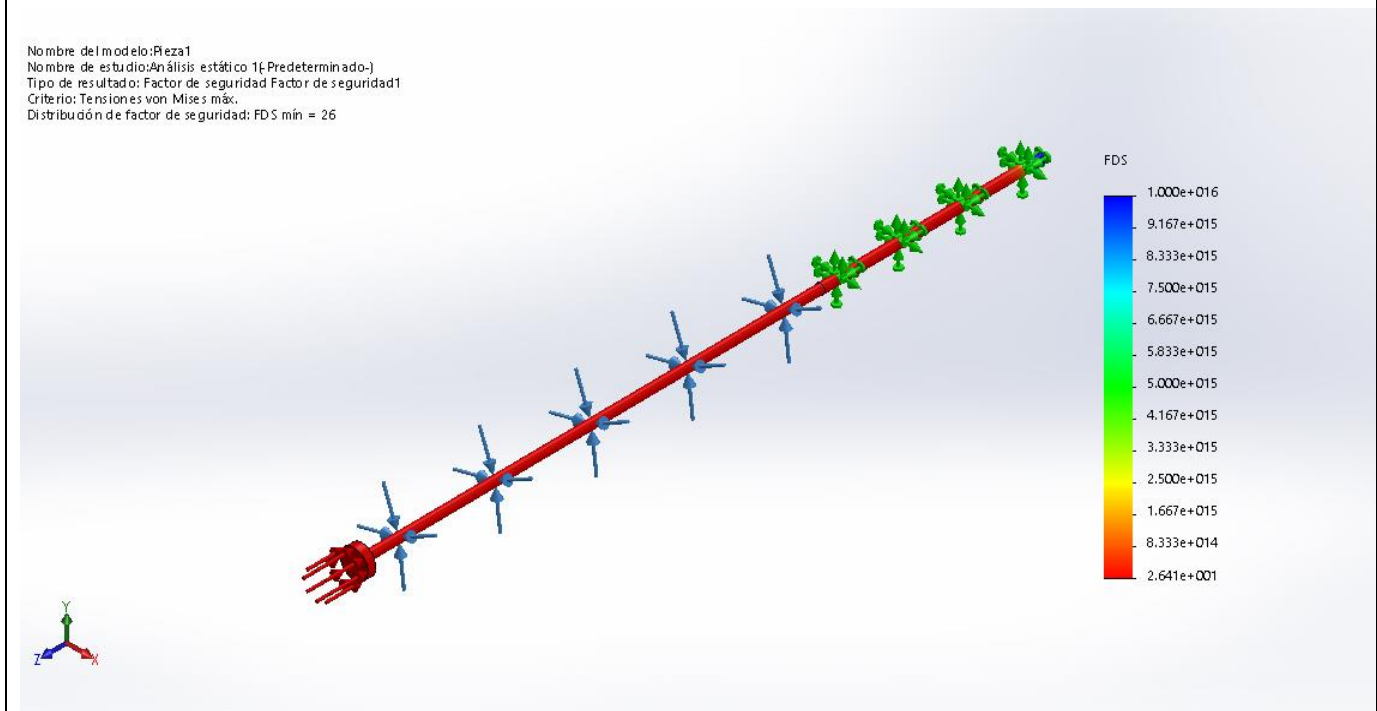
FUENTE: PROPIA

El factor de seguridad como el mismo nombre menciona, asegura que el diseño propuesto (según el trabajo al que estará sometido), soportará la capacidad de carga esperada, el factor de seguridad para el momento descendente tiene un valor mínimo de 26

Tabla 19 Factor de Seguridad Descendente

Estudio	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad	Tensión de von Mises máx.	2,641e+001 Nodo: 23 169	1,000e+016 Nodo: 1

Figura 20 Factor de seguridad

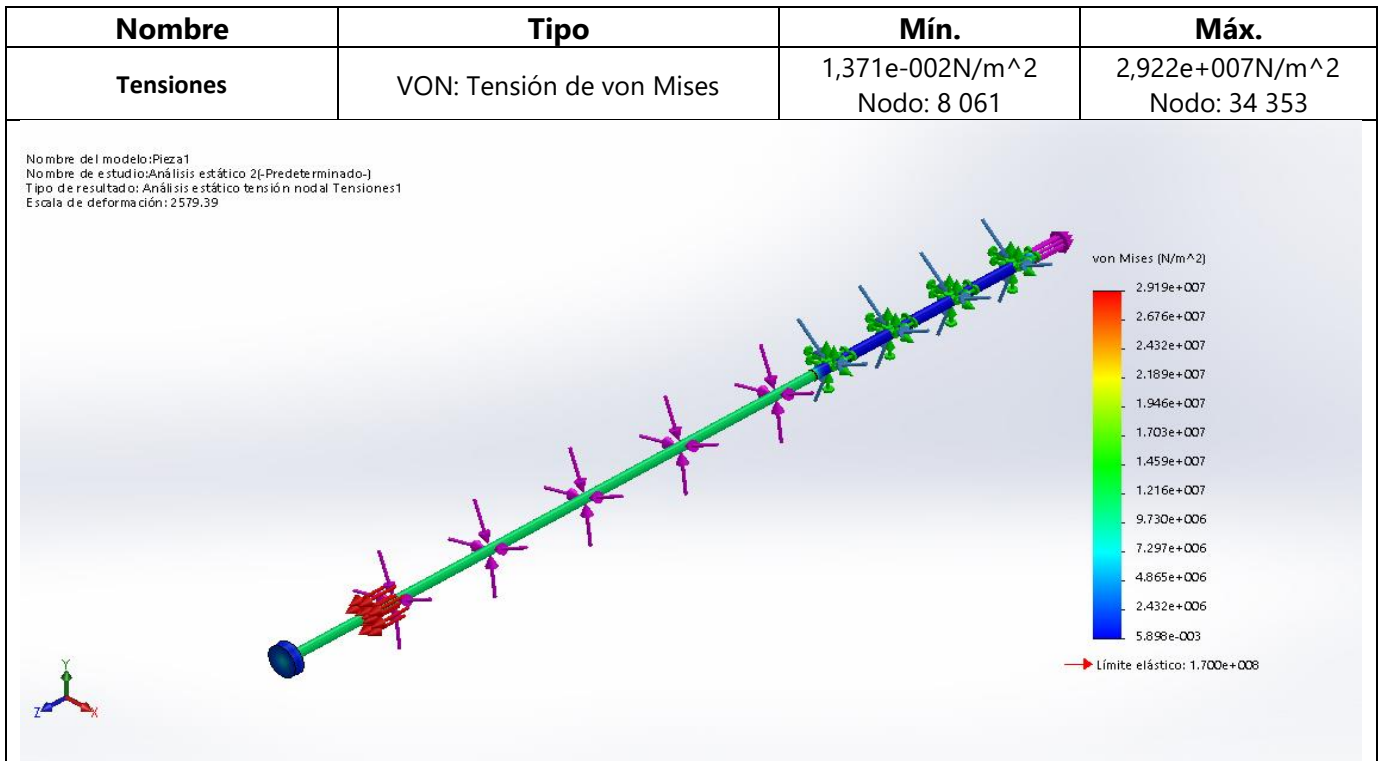


FUENTE: PROPIA

- **Resultado del momento Ascendente:**

De la misma forma se analiza el momento ascendente, se somete a una fuerza mayor que es la del empuje la tensión, la zona crítica sigue siendo el empotramiento de la boya con un valor de $9,919 \times 10^7 \frac{N}{m^2}$.

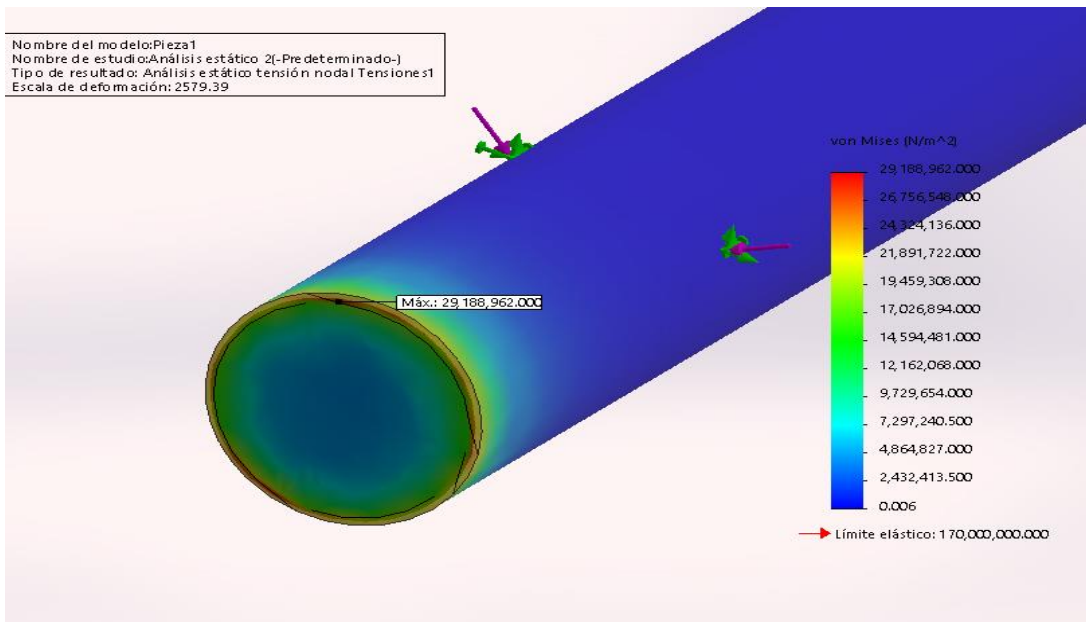
Tabla 20 Tensiones



FUENTE: PROPIA

El corte se realiza a la altura de la tensión crítica, en la siguiente imagen se puede observar la zona roja con más detalle.

Figura 21 Corte de sección

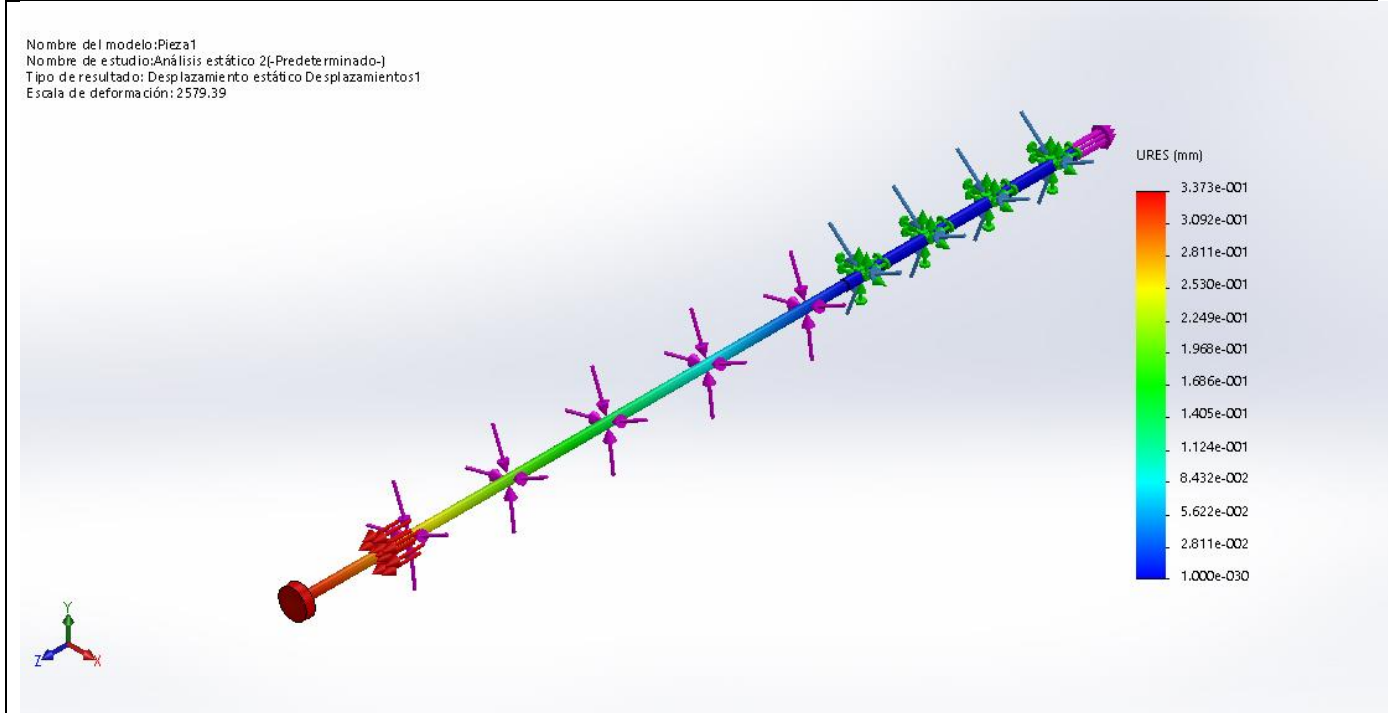


FUENTE: PROPIA

De la misma forma el desplazamiento máximo que se encuentra en la parte del pistón tiene un valor de 0,3373 mm.

Tabla 21 Desplazamientos

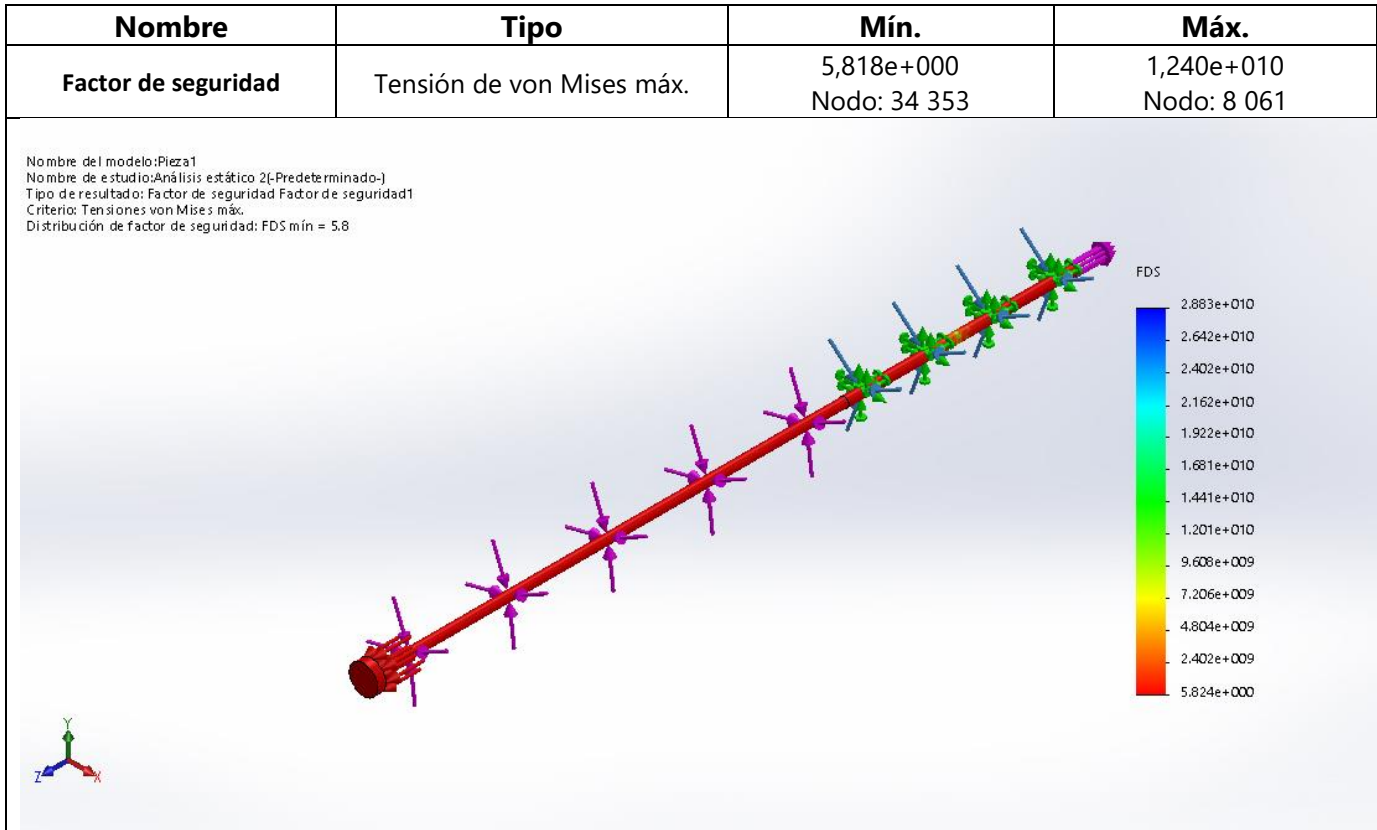
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+000mm Nodo: 1	3,375e-001mm Nodo: 2 492



Fuente: Propia

El factor de seguridad para el momento ascendente es de 5,8, significa que la capacidad real de la pieza es mucho mayor a la capacidad esperada.

Tabla 22 Factor de Seguridad Ascendente



Fuente: Propia

7.3.7. Diseño del cilindro y componentes:

El cilindro tendrá que contener la presión del recurso y guiarlo a presión a través de las tuberías hacia el tanque de almacenamiento, el cilindro deberá tener 3 metros de largo en carrera por la capacidad de ola y un diámetro de cilindro de 0,35 m con un juego de montaje de $0,05 \pm 0,1$ mm, el volumen enviado será:

$$\text{Volumen bombeado} = \text{Área de pistón} * \text{Carrera}$$

$$\text{Volumen bombeado} = 0,096211275 \text{ m}^2 * 3 \text{ metros}$$

$$\text{Volumen bombeado} = 0,288633825 \text{ m}^3$$

El volumen bombeado es de $0,288633825 \text{ m}^3$ equivalente a 288,634 litros, esta cantidad de recurso entregado es para un bombeo de un efecto, al trabajar con doble efecto se obtiene 2 veces dicha cantidad.

$$\text{Volumen (Doble efecto)} = 0,57727 \text{ m}^3$$

El caudal será inversamente proporcional al periodo de las olas, según la zona estudiada, el periodo promedio es de 15 segundos, y la fórmula es:

$$\mathbf{Caudal} = \frac{\mathbf{Volumen (Doble efecto)}}{\mathbf{Periodo de ola}}$$

$$\mathbf{Caudal} = \mathbf{0,03848451} \frac{\mathbf{m^3}}{\mathbf{s}}$$

$$\mathbf{Caudal} = \mathbf{38,4845} \frac{\mathbf{Litros}}{\mathbf{s}}$$

El diseño propone trabajar con 6 boyas, inyectando el recurso al mismo tiempo, por lo que el total de caudal será 6 veces la cantidad individual.

$$\mathbf{Caudal} = \mathbf{0,03848451} \frac{\mathbf{m^3}}{\mathbf{s}} * \mathbf{6}$$

$$\mathbf{Caudal} = \mathbf{0,23090706} \frac{\mathbf{m^3}}{\mathbf{s}}$$

El caudal hallado es equivalente a 230,90706 litros por segundo.

7.3.8. Selección de tubería:

La selección de una tubería dependerá del caudal acumulado a lo largo de ella, de esa forma se podrá definir la disposición del conjunto de boyas, para diseñar la tubería de salida de cada boya, la selección se basará en el caudal individual el cual es de $\mathbf{0,03848451} \frac{\mathbf{m^3}}{\mathbf{s}}$, según catálogo de Nanocobre S.A.C para una caudal límite de 2 829,77 Litros por minuto se requiere un diámetro de tubería de 4" tipo L para trabajos severos y la equivalencia del caudal hallado es igual a **2 309,07 Litros/ minuto**.

La velocidad a la que recorre el fluido por la tubería se calcula de la siguiente forma:

Ecuación 14

$$\mathbf{V} = \frac{\mathbf{4Q}}{\mathbf{\pi D^2}}$$

Dónde:

Q es el caudal del fluido

D el diámetro de la tubería 4" = 102 mm

$$V = \frac{4 * 0,03848451}{\pi 0,102^2}$$

$$V = 4,70972 \frac{m}{s}$$

Esta velocidad es la misma en todas las salidas, sin embargo, el caudal debe llegar al tanque de almacenamiento y los caudales se irán sumando a lo largo de la tubería general, es necesario saber el diámetro de tubería de la red principal, la siguiente tabla adjunta los diámetros calculados:

Tabla 23 Diámetros de boya

Boya	Velocidad (m/s)	Caudales acumulados m ³ /s	Área m ²	Diámetro (m)	Pulgadas "
1	4,71	0,04	0,01	0,10	4,02
2	4,71	0,08	0,02	0,14	5,68
3	4,71	0,12	0,02	0,18	6,96
4	4,71	0,15	0,03	0,20	8,03
5	4,71	0,19	0,04	0,23	8,98
6	4,71	0,23	0,05	0,25	9,84

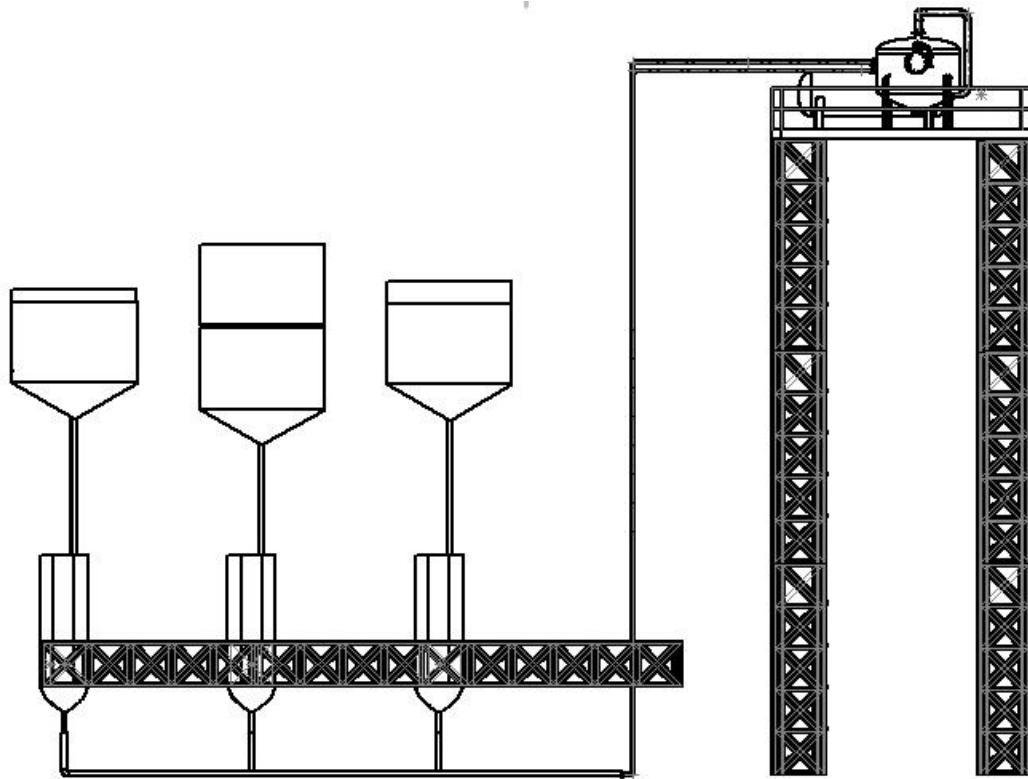
Fuente: Propia

Para trasladar todo el caudal acumulado se necesita un diámetro de 9,84 pulgadas, por ello para una viabilidad más económica se tendría una disposición de 2 tramos, con 3 boyas en cada tramo y así obtener un diámetro de 7 pulgadas en la entrada del tanque. Planos en **ANEXOS**

7.3.8.1.Sistema de tuberías:

La red de tuberías transportará el fluido hacia las turbinas, la distancia a la que comienza el sistema de generación se encuentra a 150 metros de la costa, sin embargo, existe otras distancias y detalles a considerar con respecto a la longitud de la tubería, el sistema cuenta con 3 boyas que harán el trabajo más eficiente, cada boya conectará su trabajo a una red general para bombear todo el recurso hacia la costa. En la siguiente figura se observa el diagrama de tuberías, hasta su almacenamiento y uso.

Figura 22 Diagrama de tubería del sistema Undimotriz



Fuente: PROPIA

El sistema consta de una tubería general que recolecta el recurso de las 3 boyas, la tubería que inyecta el recurso a la red general tiene 2 metros de largo y la separación entre tuberías es de 4.5 metros, la tubería vertical que almacena el agua en el tanque tiene una longitud de 10 metros, por ello se obtiene la longitud total de la siguiente forma:

$$\text{Long. de tubería} = \text{Long. de red general horizontal} + \text{Profundidad} + \text{Long. al tanque}$$

$$\text{Long. de tubería} = 13.5 \text{ m} + 3 \text{ m} + 15 \text{ m}$$

$$\text{Long. de tubería} = 31,5 \text{ m}$$

7.3.8.2. Tipo de tubería:

El sistema de bombeo utilizado se denomina “sistema de bombeo con desplazamiento positivo”, y este sistema tiende a generar presiones muy altas. Según Nanocobre S.A. (Una empresa dedicada a la venta de tuberías e implementos), las tuberías templadas rígidas tipo L y tipo K,

utilizadas para el sector industrial y trabajos en condiciones severas, soportan presiones elevadas de hasta 700 PSI y al estar fabricadas de cobre pueden resistir la corrosión marina ya que el cobre se encuentra en un valor electropositivo de + 0,34 y mientras más positivo se encuentre un metal el potencial de oxidación se ve reducido. Las siguientes figuras muestran las características de tuberías del proveedor.

Figura 23 Tabla de manual técnico tubería tipo K Nanocobre S.A

Medida Nominal	Diámetro Exterior	Diámetro Interior	Espesor de Pared	Peso	Peso por tramo	Presión Máxima	Presión Constante	Flujo
Pulgadas milímetros	Pulgadas milímetros	Pulgadas milímetros	Pulgadas milímetros	Lb/pie kg/m	libras kilogramos	PSI kg/cm ²	PSI kg/cm ²	G. P. M. L. P. M.
3/8"	0.500"	0.402"	0.049"	0.269	5.385	8,820	1,760	1.754
9.50 mm	12.700	10.210	1.245	0.400	2.445	620.04	124.00	6.640
1/2"	0.625"	0.527"	0.049"	0.344	6.890	7,056	1,411	3.304
12.7 mm	15.875	13.385	1.245	0.512	3.128	496.03	99.19	12.507
3/4"	0.875"	0.745"	0.065"	0.640	12.813	6,685	1,337	8.611
19 mm	22.225	18.923	1.651	0.954	5.817	469.95	93.99	32.594
1"	1.125"	0.995"	0.065"	0.840	16.799	5,200	1,040	19.826
25 mm	28.575	25.273	1.651	1.250	7.627	209.00	73.11	75.042
1 1/4"	1.375"	1.245"	0.065"	1.041	20.824	4,260	852	34.940
32 mm	34.925	31.623	1.651	1.549	9.454	299.47	59.89	132.270
1 1/2"	1.625"	1.481"	0.072"	1.361	27.231	3,988	797	56.074
38 mm	41.275	37.617	1.829	2.026	12.363	280.35	56.02	212.240
2"	2.125"	1.959"	0.083"	2.062	41.249	3,515	703	120.158
51 mm	53.975	49.759	2.108	3.070	18.727	247.10	49.42	454.800

Fuente: [14]

Figura 24 Tabla manual técnico tubería tipo L Nanocobre S.A

Medida Nominal	Diámetro Exterior	Diámetro Interior	Espesor de Pared	Peso	Peso por tramo	Presión Máxima	Presión Constante	Flujo
Pulgadas milímetros	Pulgadas milímetros	Pulgadas milímetros	Pulgadas milímetros	Lb/pie kg/m	libras kilogramos	PSI kg/cm ²	PSI kg/cm ²	G. P. M. L. P. M.
1/4"	0.375"	0.315"	0.030"	0.126	2.524	7,200	1,440	
6.35 mm	9.525	8.001	0.762	0.187	1.146	506.16	101.23	
3/8"	0.500"	0.430"	0.035"	0.198	3.965	6,300	1,260	1.873
9.50 mm	12.700	10.922	0.889	0.295	1.800	442.89	88.57	7.089
1/2"	0.625"	0.545"	0.040"	0.285	5.705	5,760	1,152	3.656
12.7 mm	15.875	13.843	1.016	0.424	2.590	404.92	80.98	13.493
3/4"	0.875"	0.785"	0.045"	0.455	9.110	4,632	926	9.600
19 mm	22.225	19.939	1.143	0.678	4.136	325.62	65.09	36.336
1"	1.125"	1.025"	0.050"	0.655	13.114	4,000	800	19.799
25 mm	28.575	26.035	1.270	0.976	5.954	281.20	56.24	74.94
1 1/4"	1.375"	1.265"	0.055"	0.885	17.700	3,600	720	35.048
32 mm	34.925	32.131	1.397	1.317	8.036	253.08	50.61	132.660
1 1/2"	1.625"	1.505"	0.060"	1.143	22.826	3,323	664	56.158
38 mm	41.275	38.227	1.524	1.698	10.363	233.60	46.67	212.560
2"	2.125"	1.985"	0.070"	1.752	35.042	2,965	593	119.099
51 mm	53.975	50.419	1.778	2.608	15.909	208.43	41.68	450.790
2 1/2"	2.625"	2.465"	0.080"	2.483	49.658	2,742	548	214.298
64 mm	66.675	62.611	2.032	3.695	22.545	192.76	38.52	811.120
3"	3.125"	2.945"	0.090"	3.332	66.645	2,592	518	347.397
76 mm	79.375	74.803	2.286	4.962	30.257	182.21	36.41	1,314.90
4"	4.125"	3.905"	0.110"	5.386	107.729	2,400	480	747.627
102 mm	104.775	99.187	2.794	8.017	48.909	168.72	33.74	2,829.77

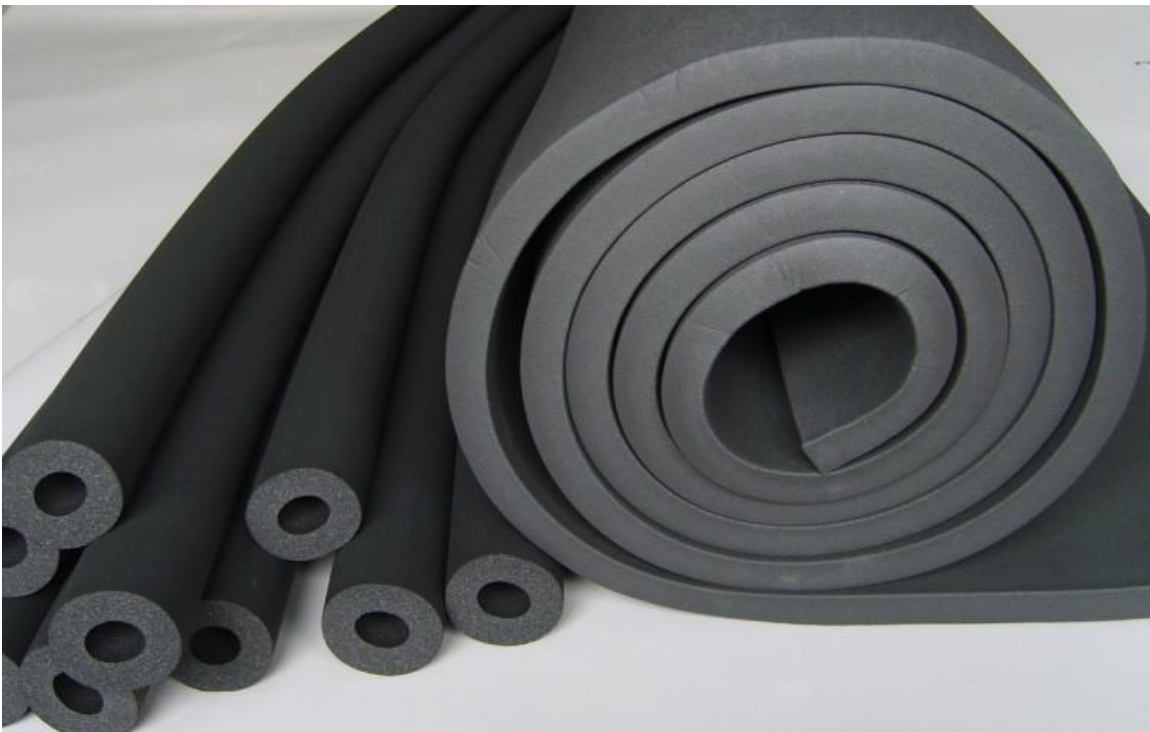
Fuente: [14]

7.3.8.3. Aislamiento anticorrosivo para tubería:

El ambiente marino es muy agresivo para cualquier material metálico, a pesar de que el cobre sea menos susceptible a corroerse el tiempo de vida del material puede extender mediante el aislamiento y así evitar gastos frecuentes de mantenimiento, para ello se utilizará la espuma elastomérica.

El aislamiento elastomérico es una espuma de caucho sintético con una función impermeable, resistente y de fácil instalación, además de ser un material flexible.

Figura 25 Forro elastomérico



FUENTE: [15]

7.3.9. Turbina y Diseño de tanque de almacenamiento:

Se necesita saber cuánto caudal puede destinarse hacia la entrada de la turbina, para tener un funcionamiento constante y que el tanque no quede desabastecido, el dato fundamental será el caudal utilizado para la turbina, ya que el sistema undimotriz inyecta $0,2309 \text{ m}^3/\text{s}$ equivalente a 230 litros por segundo, el tanque almacenará 13854, 4236 Litros en un minuto, se extraerá $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$, un caudal menor al de la entrada, para garantizar el abastecimiento y se utilizará un tanque tipo vejiga de 20 000 litros. Datos técnicos en **ANEXO 05**.

- **Llenado de tanque:**

$$\text{Llenado de tanque} = \frac{20\,000 \text{ litros}}{230,090706} = 86,92224187 \text{ Segundos}$$

- **Vaciado del tanque:** Utilizando el caudal seleccionado para la turbina.

$$\text{Vaciado de tanque} = \frac{20\,000 \text{ litros}}{200 \text{ litros/s}} = 100 \text{ segundos}$$

La diferencia de ambos tiempos es de 13.07775813 segundos, si se multiplica por el caudal de entrada se obtiene un valor de 3009.070601 litros/s, significa que siempre habrá una reserva de aproximadamente 3000 litros de agua en el tanque de almacenamiento.

- **Altura hidráulica:**

$$P (W) = H_s \times V_b \times \rho \times g$$

Dónde:

- P = Potencia en Watts. (Potencia a conseguir 5 MW)
- H_s = **Altura hidráulica.**
- V_b = Volumen bombeado (= Q x Periodo)

$$5\,000\,000 = H_s \times 3 \text{ m}^3 \times 1\,027 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$H_s = 165,428 \text{ m}$$

- **Velocidad de inyección:**

$$H_s = \frac{V_{\text{Inyección}}^2}{2 * g * \eta_{\text{Inyector}}}$$

Dónde:

- $V_{\text{Inyección}}$ = Velocidad de inyección
- η_{Inyector} = Eficiencia del inyector

$$165,428 \text{ m} = \frac{V_{\text{Inyección}}^2}{2 * 1027 * 0.9}$$

$$V_{\text{Inyección}} = 53,04 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- **Presión de entrada a la turbina:**

$$V_{Inyección} = \sqrt{\frac{2(\text{Presión de entrada} - \text{Presión atm.})}{\rho}}$$

Presión de entrada = 1,6 Mpa

A lo largo de un año las olas no tienen una altura de fija y solo se puede hablar de promedios de altura por cada mes del año, sin embargo, puede estimarse como se comportaría el sistema desde enero a diciembre.

Cada mes tendrá un caudal designado debido a que dependerá de que tanta carrera pueda conseguir el embolo y comprimir cada vez más o menos recurso, con ello el llenado del tanque se puede estimar, básicamente los cálculos están enfocados para una altura ideal constante de 3 metros, por ello se necesita conocer el potencial de las olas en la zona.

Entre el caudal de abastecimiento del tanque y el caudal de entrada a la turbina se consideró un 15 % de diferencia, para asegurar que se pueda contar siempre con recursos, ya que si se llegara a usar la misma cantidad de caudal a la entrada del tanque se corre el riesgo de tener interrupciones en la generación.

El caudal se aplicará mediante la inyección del fluido a una determinada velocidad y presión en las cucharas de la turbina, la propuesta de potencia a conseguir es de 5 MW. Considerando las variaciones del oleaje real y la eficiencia de la turbina pelton la siguiente tabla muestra las potencias conseguidas para cada mes del año.

Tabla 24 Potencias por mes

MES	Altura de ola (H) en metros	Caudal entrada al tanque por meses (m ³ /s)	Caudal para la entrada de la turbina	Potencia de turbina
Enero	1,83	0,140853307	0,122481136	2 602 722,47
Febrero	2	0,15393804	0,133859165	2 844 505,431
Marzo	2	0,15393804	0,133859165	2 844 505,431
Abril	2,33	0,179337817	0,155945928	3 313 848,827
Mayo	2,5	0,19242255	0,167323957	3 555 631,789
Junio	2,5	0,19242255	0,167323957	3 555 631,789
Julio	2,5	0,19242255	0,167323957	3 555 631,789
Agosto	2,5	0,19242255	0,167323957	3 555 631,789
Septiembre	2,5	0,19242255	0,167323957	3 555 631,789
Octubre	2,33	0,179337817	0,155945928	3 313 848,827
Noviembre	2	0,15393804	0,133859165	2 844 505,431
Diciembre	1,83	0,140853307	0,122481136	2 602 722,47

FUENTE: PROPIA

La potencia promedio alcanzada es de **3 178 734,819 W** equivalente a 3,178 MW.

El área de salida del inyector se calcula según la velocidad y el caudal del mes, a pesar la variedad de caudales existen meses en donde la diferencia es mínima, se puede aprovechar para controlar el chorro:

- **Abril hasta Octubre:** El caudal promedio y máximo para disponer a la turbina es de 0.16407 m³/s, el área del inyector utilizada es de 0.002750 m², la altura hidráulica es de 201.8 metros y la potencia para esta temporada de oleaje será:

$$3\ 486\ 550,942\text{W} \approx 3,486\ \text{MW}$$

- **Enero hasta Marzo y Noviembre hasta diciembre:** El caudal promedio y máximo para disponer a la turbina es de 0.1293 m³/s y el área del inyector utilizada es de 0.001925 m² y la potencia para esta temporada de oleaje será:

$$2\ 747\ 792,246\ \text{W} \approx 2,747\ \text{MW}$$

7.3.10. Tanque de presurización:

El tanque tipo vejiga utiliza un fluido cuya función es comprimir el contenido, en la mayoría de casos este fluido puede ser aire, sin embargo, el ambiente salino perjudicará el material del tanque y ocasionará un gasto de mantenimiento, por ello se utilizará hidrogeno, a continuación se realiza el cálculo de la presión necesaria de este componente.

$$P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2$$

Datos:

- $P_1 = \text{Presión (hidrogeno} = X, \text{agua} = 1,6 \text{ Mpa)}$
- $\rho = \text{Densidad (hidrogeno} = 0,089, \text{agua} = 1\ 027)$
- $v_1 = \text{Velocidad del fluido (Hidrogeno} = 0, \text{agua} = 53,04 \text{ m/s)}$
- $g = \text{Gravedad} = 9,81$

$$P_1 = 3,044 \text{ Mpa}$$

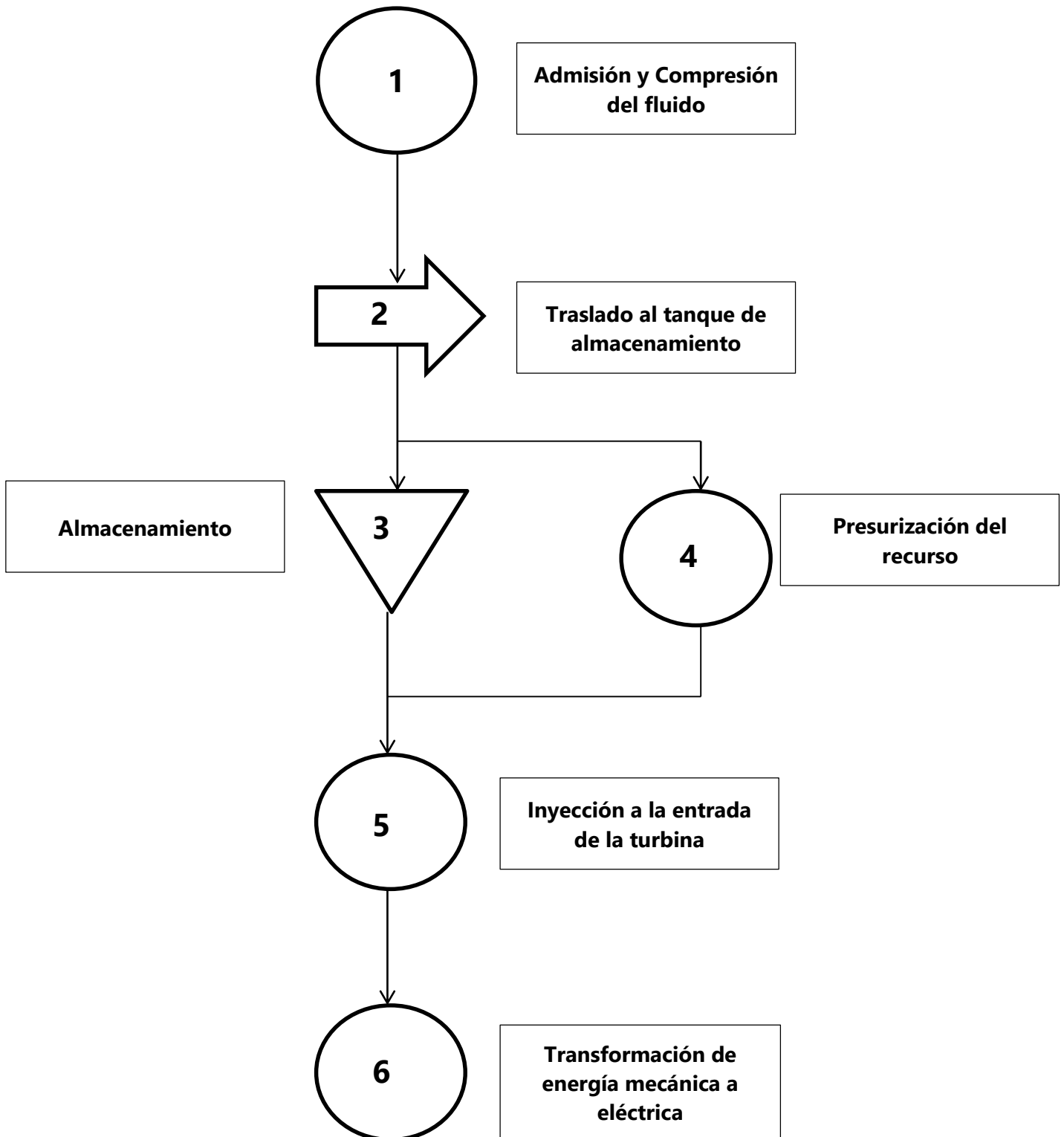
7.3.11. Estructuras y soportes:

La central undimotriz tiene componentes que en su mayoría son fijados mediante estructuras, las partes fijas son los cilindros de doble efecto, tuberías, componentes de almacenamiento y generación, los cálculos de dichas estructuras no están presentes en la investigación, ya que el análisis de toda una central tiene como intervención el trabajo de distintas ramas de la ingeniería, sin embargo, se muestran las estructuras para representar las zonas de fijación de los elementos así mismo como las plataformas de los componentes de almacenamiento y generación.

8. Representación del sistema undimotriz:

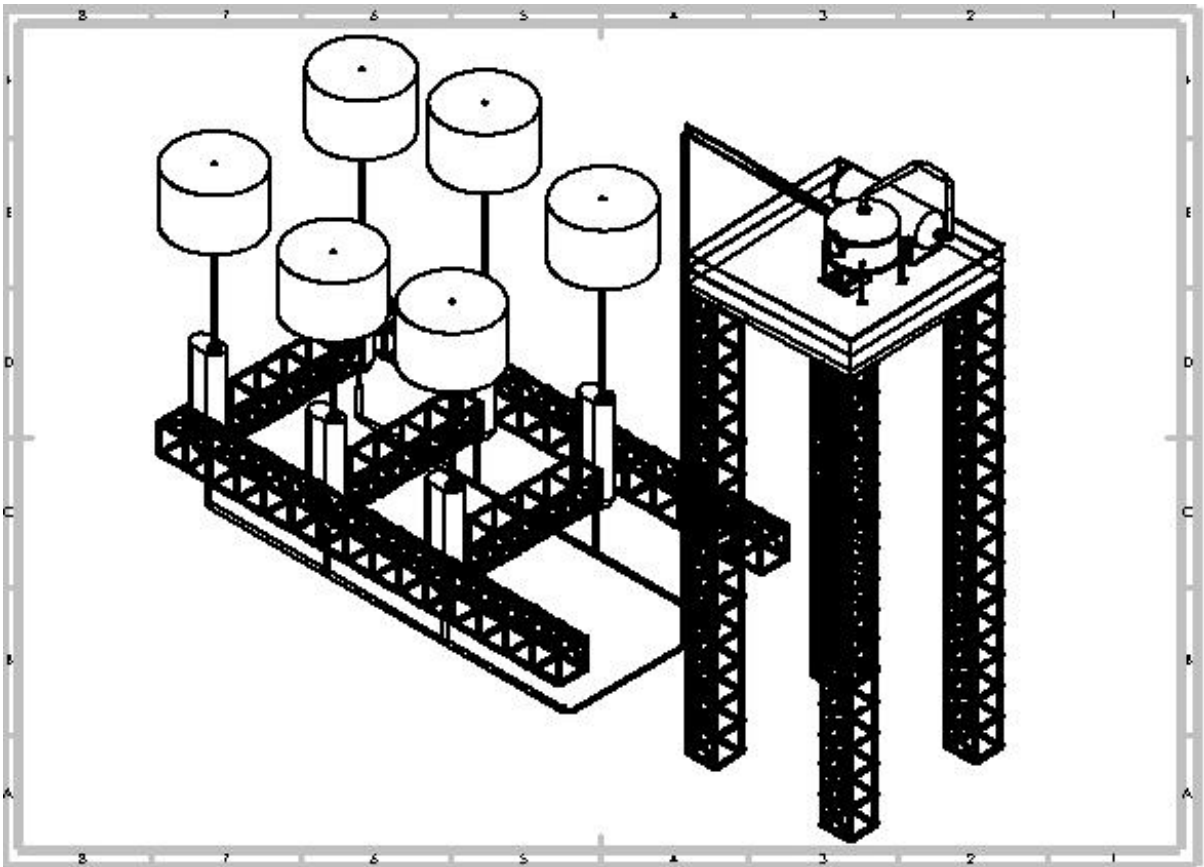


FUENTE: PROPIA

8.1. Diagrama de operaciones de proceso:

La central undimotriz ocupa un área aproximada de 25 x 20 metros que es igual a 500 metros cuadrados. A continuación, se muestra el sistema undimotriz en vista isométrica.

Figura 26 Sistema Undimotriz vista isométrica



Fuente: Propia

9. Definición de la inversión:

En este último objetivo se determinará el costo la central undimotriz y cuál será la inversión inicial del proyecto. Al tratarse de algo novedoso siempre la viabilidad económica es uno de los puntos claves de cualquier toma de decisiones ya que de esto dependerá la seguridad y el sentido de realizar un proyecto. Para concretar el costo inicial es indispensable reconocer cada gasto que sea necesario para el correcto funcionamiento de la central, por ello los sectores que se debe tener en cuenta son:

- Los equipos y componentes de operación, los cuales son: boyas de captación, pistones, cilindros, tanque de almacenamiento, turbina hidráulica, generador eléctrico.
- Las obras civiles, son todas las estructuras y fijaciones que llevan a cabo la estabilidad de la central dentro del mar, firmeza del tanque, fijación del generador y fijación de los pistones.
- Como último punto se evalúan los costos de Operación y mantenimiento.

9.1. Equipos y componentes:

9.1.1. Boyas de captación:

La fabricación de este tipo de boyas se encuentra en los países que están haciendo uso de esta tecnología de generación como es Australia, Corea, España, etc. Por lo tanto, el precio se estimará mediante el material utilizado y un coste en la fabricación en el Perú. El material utilizado en las boyas es acero inoxidable 316 L cubierto de un caucho sintético para mejor protección. El precio promedio del acero inoxidable en el Perú es de S. / 8.00 el kilogramo, cada boya pesa 2300 kg obteniendo un precio de S. / 18 400 cada y un precio de S. / 110 400 por todas.

Se le agrega un costo del 40% por fabricación, fijación, soldadura, procesos sencillos que componen la boya y el resultado es un total de **S. / 154 560.**

9.1.2. Pistones y cilindros:

Ambos componentes son comprados mediante catálogos en medidas estandarizadas, sin embargo, el diseño propuesto tiene medidas que solo son para el proyecto, y de la misma forma

extraerá un costo debido a la cantidad de material y valor de fabricación. El volumen del pistón en cm cúbicos es 0.01425 m³, la densidad del material es de 8000 kg/m³ por lo tanto el peso es de 114 kg, obteniendo un valor en soles de S. / 912.00. Para el costo de fabricación se consideró el adicional de un 50% del costo de material obteniendo S. / 1 276,8 y por el total de pistones obtenemos **S. / 7 660,8**.

El peso del cilindro es de 842,92 Kg, multiplicado por el costo del material obtenemos S. / 6 743,36 para el costo de fabricación se consideró el 40% del costo de material haciendo un total de **S. / 56 644,224** por el total de cilindros.

9.1.3. Tanque de almacenamiento:

Para el tanque de almacenamiento se necesita una capacidad de 2000 litros, procesando los precios del mercado peruano con respecto a las capacidades que existen, se estima que el tanque presurizado tiene un valor de **S. / 11 000**.

9.1.4. Turbina hidráulica:

La turbina tiene un diseño complejo cuya fabricación es realizada en empresas especializadas en trabajo con metal, el tipo de turbina utilizada es pelton y este modelo está compuesto por un rodete, cucharones, carcasa, eje e inyectores, al trabajar con agua el material utilizado es normalmente inoxidable y tiene procesos mecánicos y de fundición.

La universidad Lancaster diseñó una herramienta que tras la recopilación de datos como caudal, altura hidráulica y según el tipo de turbina se pueden estimar los costos del equipo. El resultado es encontrado con el valor de libras esterlinas del año 2008. [16]

Mediante la siguiente formula calculamos los costos requeridos:

$$C_{Pelton} = 8300 \times (Q \times H)^{0,54}$$

$$C_{Pelton} = 8300 \times (2 \times 164,484)^{0,54}$$

$$C_{Pelton} = \mathbf{189\ 819.60\ £}$$

Se realiza el cambio de Libra esterlina a sol peruano ($1\text{£} = 4.65$ Nuevos Soles) por lo tanto valor de la turbina al día de hoy es de **S. / 882 515.76**.

9.1.5. Generador eléctrico:

Es el encargado de transformar la energía mecánica en energía eléctrica, para evitar un costo elevado en transporte del equipo se considerarán precios mediante la empresa Cummins Perú, según el tamaño de la central y la potencia requerida se estima un valor de S. / 102 500 Nuevos soles.

Tabla 25 Costo de equipos y componentes

Equipos y componentes	
Boyas de captación	S/. 154 560,00
Pistones y cilindros	S/. 64 305,024
Tanque	S/. 11 000.00
Turbina	S/. 882 515,76
Generador	S/. 102 500,00
TOTAL	S/. 1 214 880,784

Fuente: PROPIA

9.2.Obras civiles:

La planta se instalará en un terreno de 500 metros cuadrados, según el noticiero “EL TIEMPO” de Piura, el costo del metro cuadrado según la zona a ocupar es de \$ 180, haciendo un total de \$ 90 000 que en moneda local serían S. / 300 000,00

9.2.1. Mano de obra y alquiler de maquinaria:

La obra está proyectada para una ejecución de 3 meses, para lo que se estima el costo del personal según la federación de trabajadores del Perú y el sueldo promedio de técnicos según el diario el Correo, se necesita 2 Operarios, 2 Oficiales, 10 peones cuyos sueldos mensuales son S. / 2688, S. / 2148 y S. /1924 respectivamente.

Tabla 26 Costo de obras civiles

Obras civiles	
Mano de obra	S/. 28 912,00
Obras civiles	S/. 300 000,00
TOTAL	S/. 328 912.00

9.3. Inversión total:

Según los costos hallados por cada actividad realizada obtenemos una suma a la cual se le debe añadir gastos de licencia y trámites que en la mayoría de casos es el 5% de la inversión total necesaria para la planta undimotriz.

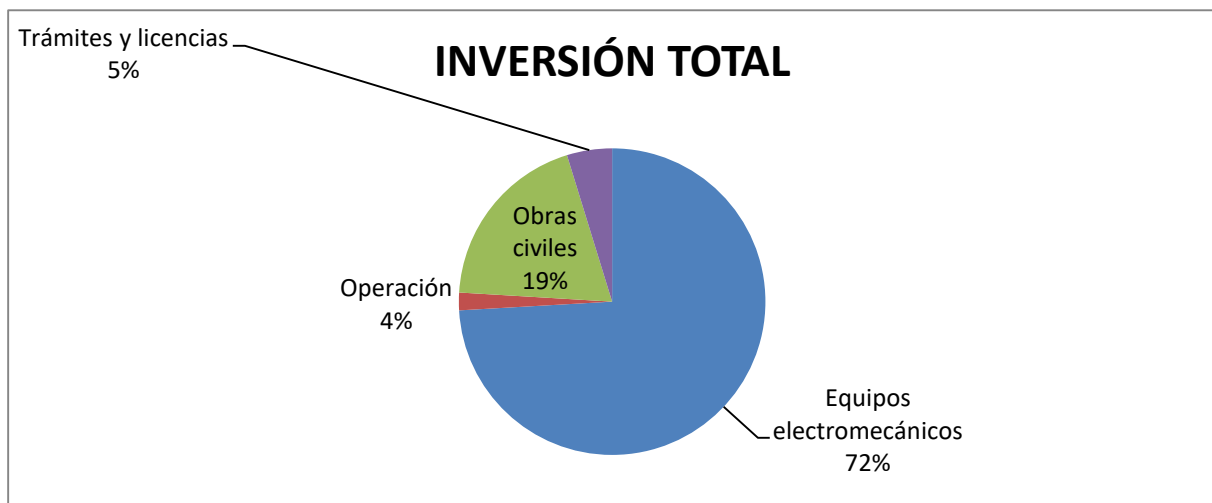
Tabla 27 Costo de inversión total

Inversión total	
Equipos electromecánicos	S/. 1 214 880,784
Mano de obra	S/. 28 912,00
Obras civiles	S/. 300 000,00
Tramites y licencias	S/. 74 065,59
TOTAL	S/. 1 617 858,374

Fuente: PROPIA

Mediante un análisis gráfico se puede observar que el 74% de la inversión total es para los equipos electromecánicos, el 19% es para obras civiles, el 5% es para los trámites y el 2% se encuentra en la mano de obra.

Tabla 28 Porcentajes de inversión total



Fuente: PROPIA

9.4. Costes de Mantenimiento y Operación:

Una vez que la central undimotriz se ponga en funcionamiento los componentes usados y equipos tienen un tiempo de vida, por ello el mantenimiento cada cierto tiempo es necesario para mantener óptimamente la generación de energía. Para tener un dato o una referencia del costo se puede estimar que el costo de mantenimiento de una central es directamente proporcional al costo de la maquinaria y montaje, según la ingeniería de mantenimiento el coste anual de Operación y mantenimiento se considera entre 2% a 3% de la proporción de equipos y su respectiva instalación, en la presente tesis al tratarse de algo novedoso con una generación poco común, se considerará el 4% de la inversión total como mantenimiento anual.

Tabla 29 Costos de operación y mantenimiento

Operación y mantenimiento	
Inversión inicial total	S/. 1 617 858,374
Operación y mantenimiento 4%	S/. 62 215,09
TOTAL	S/. 1 680 073,464

Fuente: PROPIA

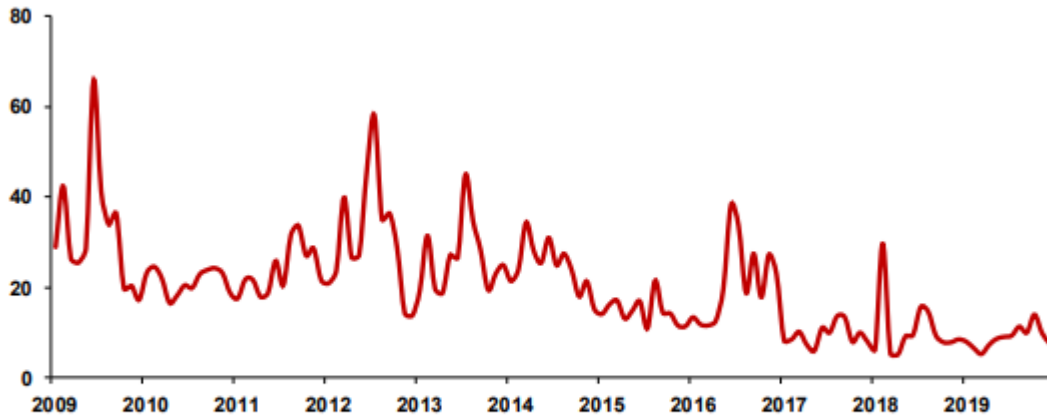
9.5. Ingresos por venta de energía:

Este apartado se basará en la producción de la central por todo el tiempo de operación, para realizar este cálculo es necesario un factor de planta, esto se define como el intervalo entre la energía generada durante un periodo y la energía generada trabajando a plena carga en el mismo tiempo.

Debido a que la central utiliza recursos marinos solo depende de la altura y periodo de ola, el factor no se verá afectado por falta de recursos, solo se considerará paradas por mantenimiento y/o algunos problemas y averías, con ello se estima un factor de planta del 80%.

En este caso al tratarse de una generación de poca potencia, se asume que la totalmente toda la energía será dirigida para el uso residencial, en la imagen a continuación se detalla la evolución del costo marginal expresado en (US\$ / Mw-h).

Figura 27 Costos marginales de la energía año 2009 - 2019



Nota: La información correspondiente al 2019 es preliminar y corresponde a las proyecciones de las fuentes consultadas.
Fuente: Estadísticas COES.

Desde el año 2009 hasta el 2019 el costo de energía ha fluctuado y se encuentra en niveles bajos, se ha tomado como dato el promedio de la década registrada la cual es de 20 US\$ / Mw-h aproximadamente.

Entonces con los datos descritos se realizan los siguientes cálculos:

- Potencia generada promedio total 3,178 MW
- En un año, tomando el factor de planta de 80% la generación total es 80 177 126,4 MJ.
- Expresado en MW-h se obtiene un valor de 22 271,424 MW-h.
- Para hallar los ingresos anuales por venta de energía, se utiliza el precio hallado en la tarifa residencial de 15 US\$ / Mw-h convertido a la moneda nacional es igual a 54.11 S. / Mw-h, calculando ambos datos obtenemos S. / 903 830,064
- Aplicando el impuesto a la renta del 27% obtenemos un ingreso neto de S. / 711 677,216

9.6. Van, TIR y Payback:

Para reconocer una buena propuesta de inversión se necesita el valor actual neto, gracias a este criterio se logra tomar una buena decisión y una viabilidad de proyecto, el VAN se define con la siguiente formula:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - I_0$$

Dónde:

- FC_t es el flujo de caja neto en cada periodo.

- I_0 es la inversión inicial realizada.
- t es el número de periodos.
- i es la tasa de interés.

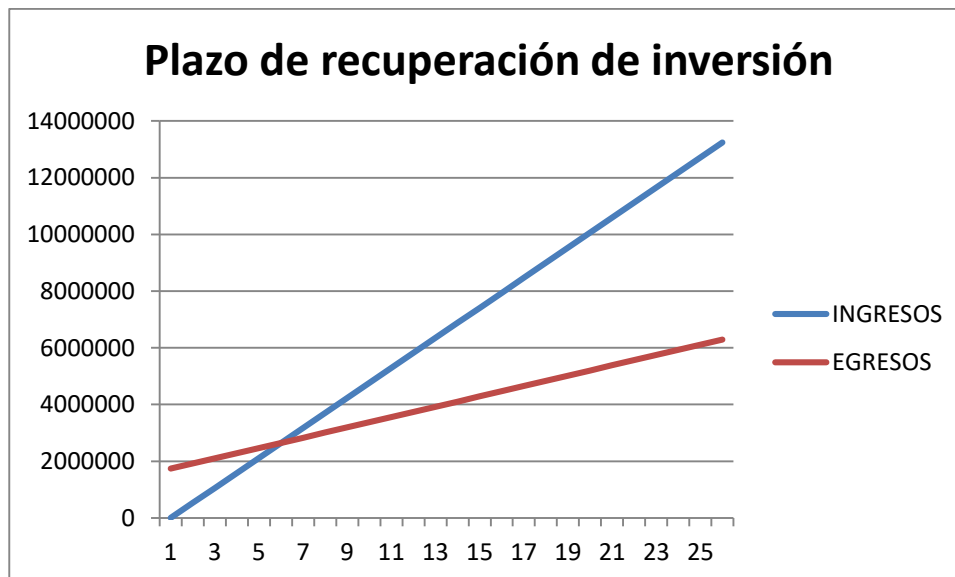
Para realizar el cálculo del valor actual neto, fue necesario utilizar una tesis guía enfocada a un proyecto undimotriz, con esta información se pudo designar los siguientes datos:

El proyecto tendrá una vida útil estimada de 25 años, la inversión inicial es de S. / 1 680 073,464 el flujo de caja anual se obtiene restándole el costo de mantenimiento y operación a la ganancia neta dando como resultado S. / 529 462,216, y una tasa de interés del 12%, con todos estos valores se procede a calcular el VAN.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - I_0 = 1\,043\,434,051 \text{ Nuevos Soles}$$

TIR = 20%

En el instante donde se cortan ambas rectas es el momento donde el proyecto recupera la inversión realizada, según las cifras manejadas la recuperación se realiza en un plazo de 5 años.



Fuente: Propia

Conclusiones

La presente tesis busca promover el uso de energía de las olas y ofrecer una alternativa más de generación libre de emisiones contaminantes. Este recurso marítimo hoy en día está en muchos estudios para su gran aprovechamiento energético.

Se analizó toda la costa norte y se optó por Piura-Paita, tiene un buen nivel de energía en la actividad marítima para generar electricidad, cercanía de carga, la orografía del terreno y buena proximidad a subestaciones eléctricas para el correcto funcionamiento de este tipo de centrales.

Se dimensionaron los equipos de la central undimotriz para la generación de una potencia de 5 MW, la tecnología implementada fue el tipo captador puntual, un sistema que aprovecha muy bien la fuerza de la ola y está siendo implementado como base de estudio para esta energía. Al tener una fuente de energía que cambia con el tiempo, la potencia generada no se mantendrá siempre a un nivel, se determinó que la potencia tendrá dos picos máximos constantes en diferentes etapas del año, obteniendo de Enero – Marzo / Noviembre – Diciembre una potencia de 2,747 MW y de Abril – Octubre una potencia de 3,486 MW, el diseño se encuentra culminado en el **plano número 04** en la sección de **anexos**.

El funcionamiento del sistema comienza con la admisión y compresión del recurso marino, se almacena en el tanque presurizado y es inyectado a la turbina para realizar la generación eléctrica. Se representó el funcionamiento del sistema undimotriz mediante un diagrama de procesos, donde se muestra de qué forma se realizará la generación y que tipo de acciones existen dentro de la central undimotriz.

El costo de infraestructura y equipos es de S. / 1 543 792,784, el costo por trámites, operación y mantenimiento es de S. / 74 065,59, el costo de energía es de S. / 54,11 Mw-h, con ello se calculó que la inversión inicial será de S. / 1 680 073,464 y el tiempo de recuperación es de 5 años, también se comprobaron resultados muy favorables de rentabilidad en un VAN de S. / 1 043 434,051 y un TIR del 20%, todo ello se evaluó para una vida útil de 25 años y se considera un proyecto atractivo.

Recomendaciones

Recomendaciones desde el punto de vista metodológico:

Se recomienda poder analizar estos recursos marítimos con otros tipos de tecnología undimotriz, se implementó el modelo de captador puntual gracias a la facilidad de instalación de la zona, al mismo tiempo se recomienda incentivar a la medición de datos de oleaje para usos netamente de generación, ya que en España existe una iniciativa llamada “BIMEP” que hace 12 años se encarga de medir los datos de oleaje para una posible explotación futura a gran escala.

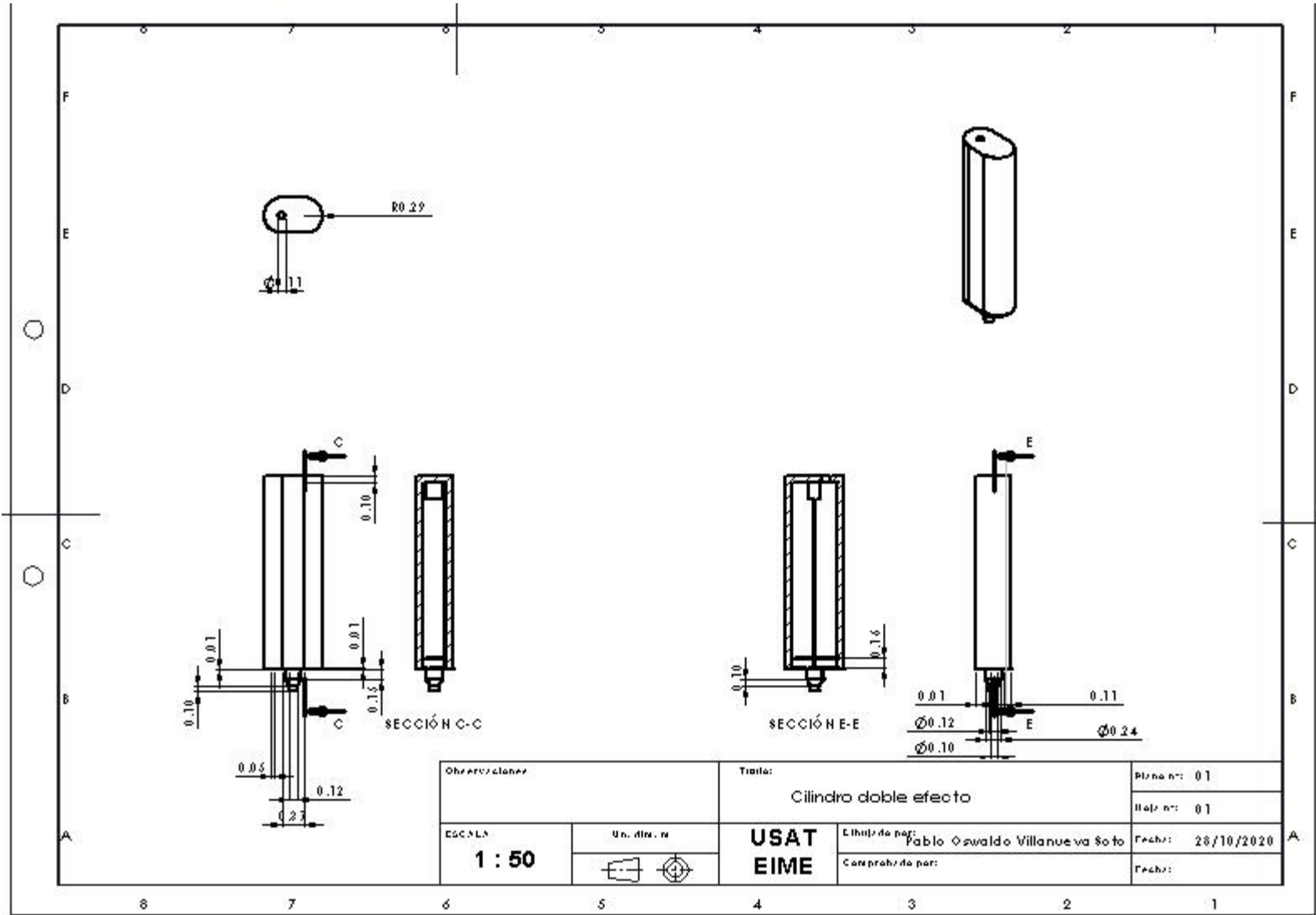
Recomendaciones desde el punto de vista académico:

Se invita a estudiantes y colegas a continuar con la investigación de la generación undimotriz en las costas del norte (Lambayeque – Piura), es un tema de mucha relevancia que aspira a mejorar y aprovechar una poderosa fuente de energía como lo es el mar, la presente tesis deja abierta las posibilidades de continuar trabajando en un tema novedoso que será muy necesario a futuro.

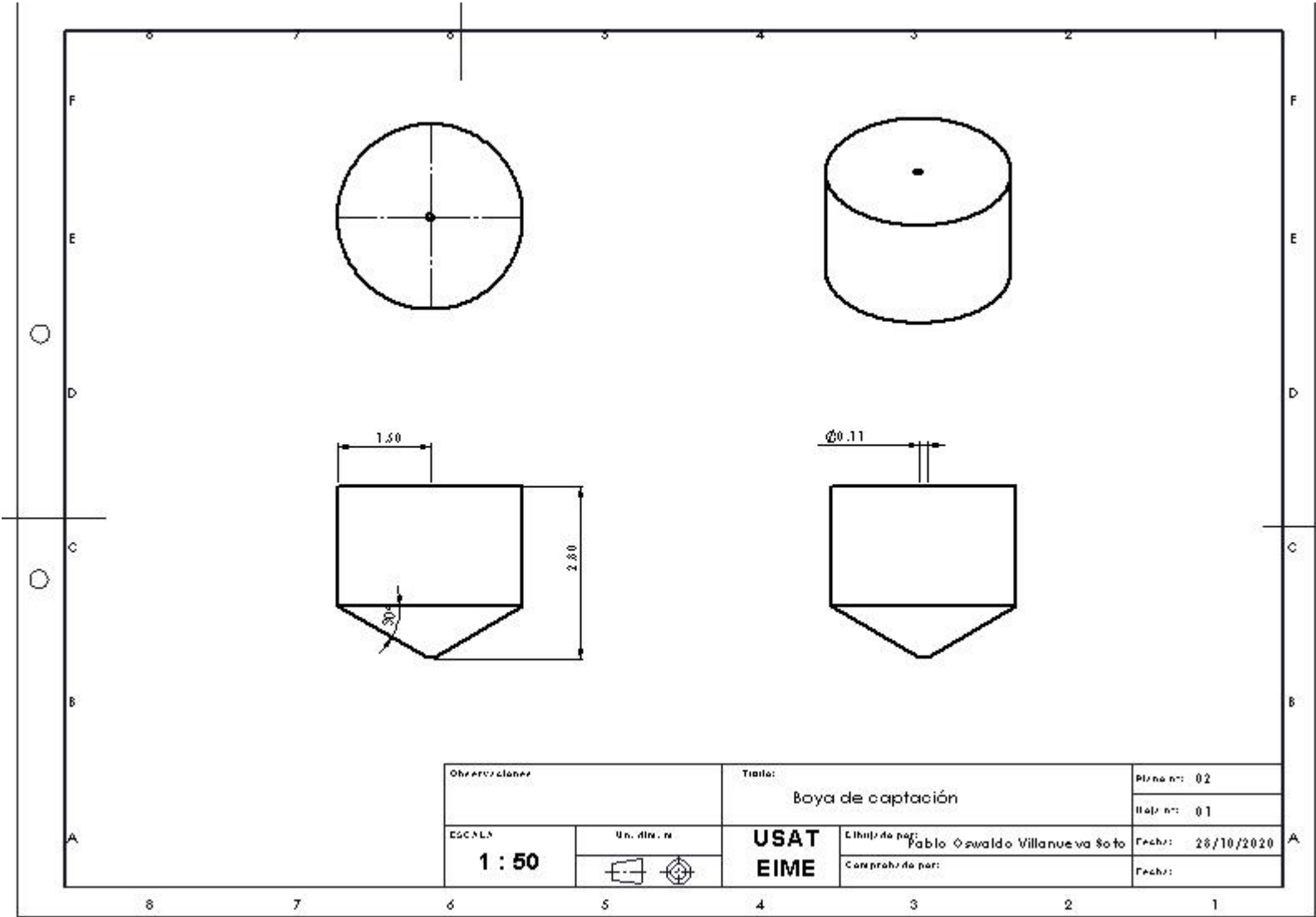
Recomendaciones prácticas:

Se recomienda enfocarse en el diseño del control y la distribución de esta energía, ya que en la presente tesis solo se diseña la central desde la captación del recurso hasta la conversión de la energía mecánica a eléctrica, unos de los factores beneficiosos es que se tienen subestaciones cercanas, sin embargo se es necesario precisar los datos y cálculos adecuados para la conexión al sistema interconectado.

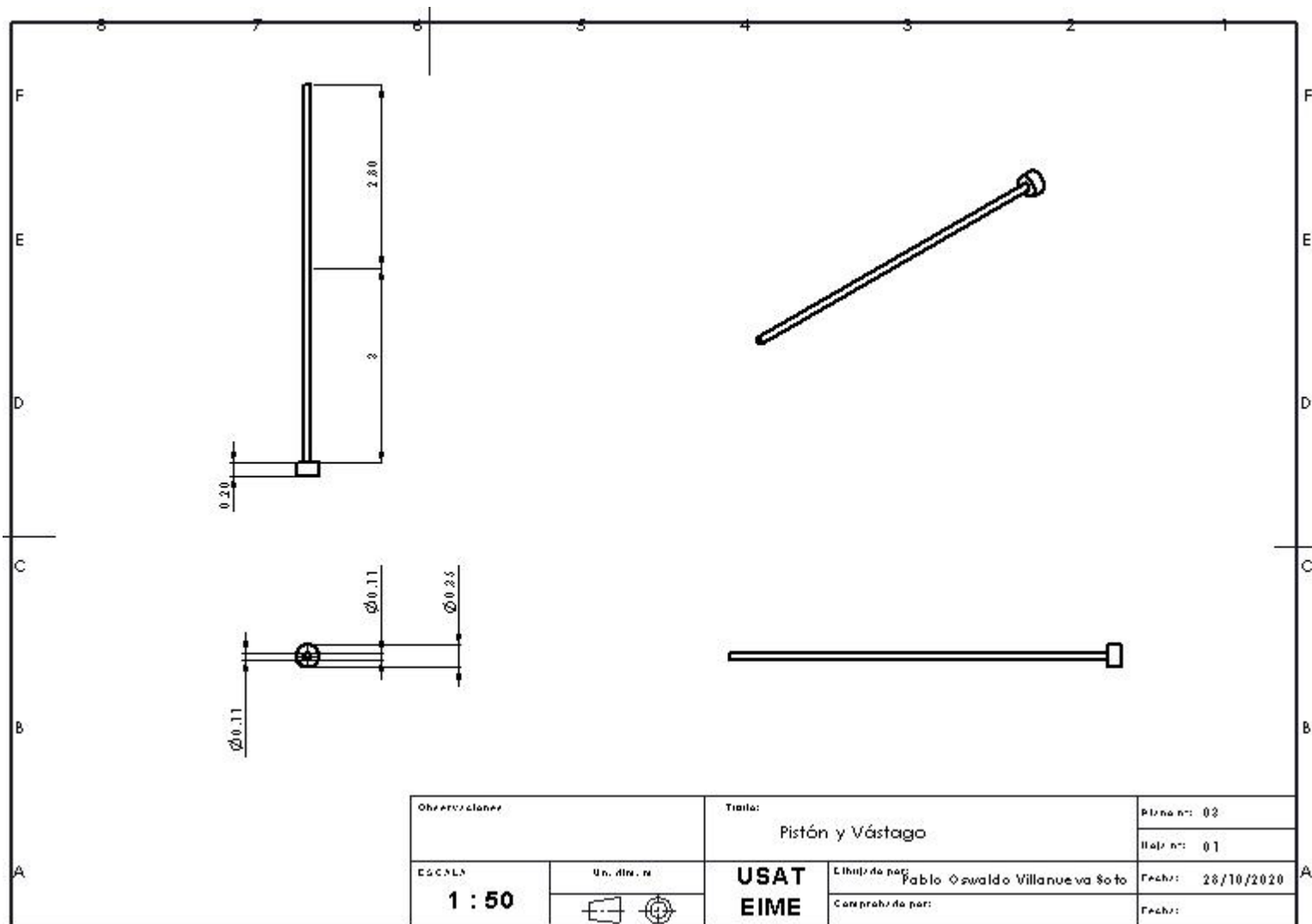
Anexos
PLANO 01



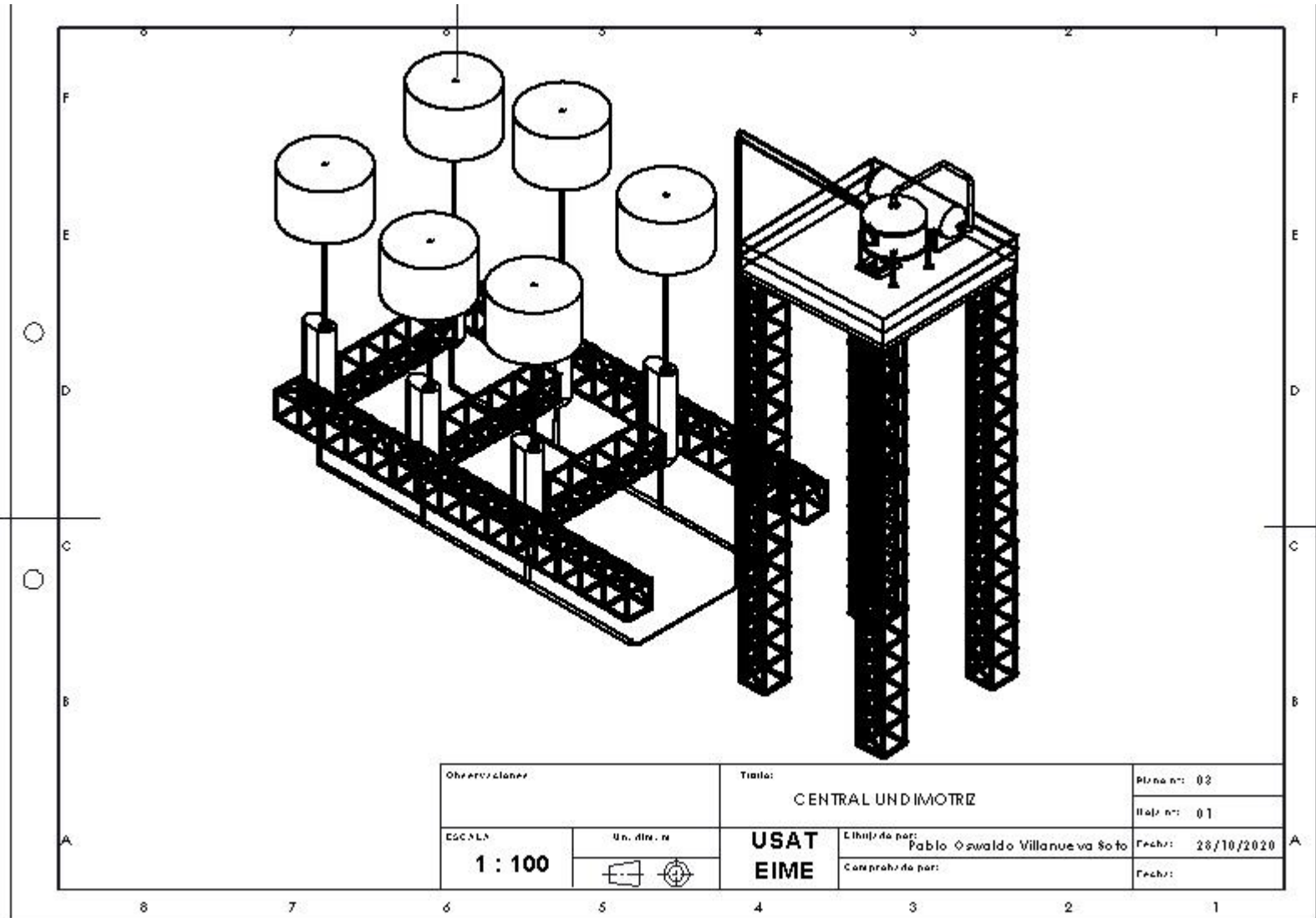
PLANO 02



PLANO 03



PLANO 04



ANEXO 05

DATOS DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Datos técnicos

Capacidad	Litros	Galones
Tamaño fijo	18-2000	4.7-528
Encargo a la medida	2000-100.000	528-26,420

Presión nominal	BAR	psi
	4,10,16,25,40,64,100	58,145,232,362,580,928,1450
Brida de salida	DN25-DN1200 mm	1"-48"

Temperatura máxima del agua				
Volumen del tanque		Tipo de vejiga	Temperatura	
Litros	Galones		C°	F°
18-100	4.7-26.4	EPCDM	110	230.0
200-500	52.8-132.1	EPCDM	88	190.4
500-100.000	132.1- 26,420	Poluretano	110	230.0

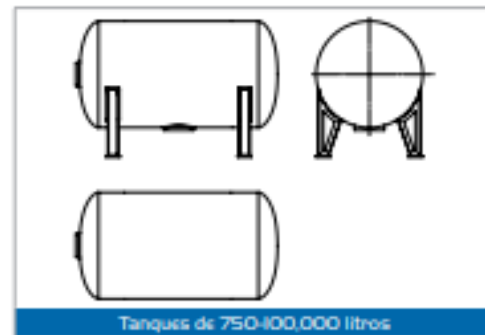
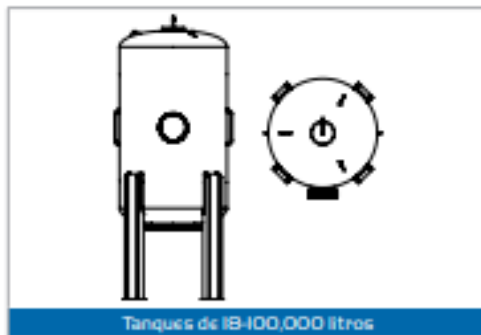
Embalaje		
Volumen del tanque		
Liter	Gallon	
≤ 2000	≤ 528.4	Palets (tarimas)
> 2000	> 528.4	Cunas (soporte semicircular)

Interchangeable Bladder: Aoso

Vejiga intercambiable: Sí

Patas y asas para levantar: Incluidas

Válvula para preinflado: Incluida para el recipiente a presión de la vejiga



Referencias

- [1] OLADE, Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://sielac.olade.org/>.
- [2] Biscay Marine Energy Platform, S.A, Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://bimep.com/>.
- [3] F. E. CHARCA, «DISEÑO DE UNA CENTRAL UNDIMOTRIZ PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA CIUDAD DE MOLLENDO,» Arequipa, 2018.
- [4] A. S. J. ORDIALES, «DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN UNDIMOTRIZ PARA SUMINISTRAR LA DEMANDA DE ELECTRICIDAD DEL ASTILLERO MARYPOL E.I.R.L. EN PUERTO SALAVERY, 2018,» Lambayeque, 2018.
- [5] IMARPE, Octubre 2019. [En línea]. Available: http://satelite.imarpe.gob.pe/uprsig/sst_prov.html.
- [6] DIHIDRONAV, Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.dhn.mil.pe/>.
- [7] ERSI, octubre 2019. [En línea]. Available: <http://www.arcgis.com/home/index.html>.
- [8] Comité de operacion económica del Sistema Interconectado Nacional, Octubre 2019. [En línea]. Available: <http://www.coes.org.pe/Portal/Operacion/CaractSEIN/MapaSEIN>.
- [9] Google, Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.google.com/intl/es/earth/>.
- [10] G. P. Hurtado, «Diseño de un sistema undimotriz,» 2017.
]
- [11] NauticExpo, Junio 2020. [En línea]. Available: https://www.nauticexpo.es/contact_us.
]
- [12] L. T. C. Henry, «FLUID PUMPING APPARATUSES POWERED BY WAVES OR FLOWING CURRENTS». Singapore Patente PCT/SG201 1/000232, 10 January 2013.
]
- [13] ingemecánica, [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn131.html>.
]
- [14] Nanocobre S.A, [En línea]. Available:
] https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut208/manual_tecnico_cobre.pdf.
- [15] hynempaquetaduras e importaciones SAC, [En línea]. Available:
] <https://www.hynempaquetaduras.com/producto/espuma-elastomerica/>.
- [16] Universidad de Lancaster, [En línea]. Available:
] http://www.engineering.lancs.ac.uk/lureg/nwhrm/engineering/turbine_costs.php.
- [17] L. d. J. Ramos-Gutiérrez y M. Montenegro-Fragoso, «Tecnología y Ciencias del Agua,» [En línea].
] Available: <https://www.redalyc.org/pdf/3535/353531977007.pdf>.
- [18] M. A. Ormaza, «La energía renovable procedente de las olas,» [En línea]. Available:
] http://www.ehu.eus/ikastorratza/8_alea/energia/energia.pdf. [Último acceso: 15 Octubre 2019].
- [19] C. E. A. Alzate, «Energía Azul: generación de potencia a través de la Ósmosis por Presión,» 20/11/2017.
]
- [20] L. E. Q. G. Julián Rodrigo Quintero González, «Energía mareomotriz: potencial,» 20/10/2015.
]
- [21] G. P. Hurtado, «Cálculo y diseño de una central de energía undimotriz,» 2017.
]
- [22] T. c. A. Ulloa, «Energía undimotriz,» Santiago.
]
- [23] T. gomez, «Energía undimotriz,» [En línea]. Available:
] <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/InformeUndimotriz.pdf>.

- [24 Kimerius, [En línea]. Available:
] <https://www.kimerius.com/app/download/5785622426/Energ%C3%ADa+del+oleaje.pdf>. [Último acceso: 20 Noviembre 2019].
- [25 E. C. V. Lucio Medina Allca, «Deslizamiento Ccochalla,» A6670, Ayacucho, 2005.
]
- [26 Blogger, «COMPRESORES RECIPROCANTES,» [En línea]. Available:
] <http://compresoresreciprocantes-unteiq.blogspot.com/p/blog-page.html>. [Último acceso: Diciembre 2019].
- [27 A. Berbey, «ResearchGate,» [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Grafica-logaritmica-del-coeficiente-de-arrastre-Cd-como-funcion-del-Numero-de_fig3_261858513.
]
- [28 S. A. -. M. S. -. J. D. Sørensen, «Extrapolation of extreme response for different mooring line systems of floating wave energy converters,» ELSEVIER, 2014.
]
- [29 SOLIDWORKS, «DASSAULT SYSTEMES,» [En línea]. Available:
] http://help.solidworks.com/2010/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Meshing_topics/ID_H_What_are_the_mesh_quality_checks_.html.
- [30 OSINERGMIN, «SUPERVISIÓN DE CONTRATOS DE PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN OPERACIÓN,» Piura, 2018.
]
- [31 M. Folley, Numerical Modelling of Wave Energy Converters, A. A. Garcia, Ed., Belfast, 2016.
]
- [32 Cummins, 2020. [En línea]. Available:
] http://productos.cumminsperu.pe/?gclid=EAIaIQobChMIII7OuMOy7AIVDkWGCh2VAwHTEAAYASAAEgIF-PD_BwE#energias.
- [33 OSINERGMIN, Octubre 2020. [En línea]. Available:
] <https://www.osinergmin.gob.pe/Tarifas/Electricidad/PliegosTarifariosUsuarioFinal.aspx?Id=200000>.