



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

Diseño de un convertidor undimotriz “Salter’s Duck” para  
la generación de energía eléctrica en el puerto de Ilo

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Mecánico Electricista

**AUTOR:**

Morales Barreto, Abel Jesus ([orcid.org/0000-0002-4823-571X](https://orcid.org/0000-0002-4823-571X))

**ASESOR:**

Mgtr. Diaz Rubio, Deciderio Enrique ([orcid.org/0000-0002-8925-4079](https://orcid.org/0000-0002-8925-4079))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Generación, Transmisión y Distribución

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO - PERÚ

2023

## Dedicatoria

*La presente tesis se la dedico a mi familia por estar siempre a mi lado, en los días buenos y en los días malos. Les dedico esta tesis porque el esfuerzo, el interés y la preocupación no fue solo mía, por ello, este logro es de todos nosotros.*

## Agradecimiento

*En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme calma cuando no hallo las respuestas y claridad para ingeniar soluciones cuando afronto desafíos. Agradezco a mi madre y a mi padre porque sus consejos y entusiasmo son mi aliento y orientación para esforzarme siempre, les agradezco por enseñarme a no rendirme ante las dificultades y por apoyarme incondicionalmente a cumplir todas las metas que me trazo, estoy y estaré siempre agradecido con ustedes. Agradezco a mis tres hermanas y a mi hermano por siempre ser capaces de sacarme una sonrisa, por acompañarme, compartirme su alegría y llenarme de buen ánimo.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|  |     |
|--|-----|
| Carátula .....   | i   |
| Dedicatoria .....  | ii  |
| Agradecimiento .....                                     | iii |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS .....                               | iv  |
| Índice de tablas .....                                   | v   |
| Índice de figuras .....                                  | vi  |
| I. INTRODUCCIÓN .....                                    | 3   |
| II. MARCO TEÓRICO.....                                   | 6   |
| III. METODOLOGÍA.....                                    | 20  |
| 3.1 Tipo y Diseño de Investigación .....                 | 20  |
| 3.2 Variables y Operacionalización .....                 | 21  |
| 3.3 Población, muestra y muestreo.....                   | 23  |
| 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 23  |
| 3.5 Procedimientos .....                                 | 24  |
| 3.6 Método de análisis de datos.....                     | 27  |
| 3.7 Aspectos éticos .....                                | 27  |
| IV. RESULTADOS.....                                      | 28  |
| V. DISCUSIÓN .....                                       | 74  |
| VI. CONCLUSIONES .....                                   | 78  |
| VII. RECOMENDACIONES.....                                | 80  |
| REFERENCIAS.....   | 81  |
| ANEXOS .....   | 86  |

## Índice de tablas

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1 Matriz de operacionalización de variables.....                     | 21  |
| Tabla 2 Promedio de parámetros de oleaje de la playa “Wawakiki” .....      | 29  |
| Tabla 3 Promedio de parámetros de oleaje de la playa “Tres Hermanas” ..... | 30  |
| Tabla 4 Promedio de parámetros de oleaje de la playa “Gentilares”.....     | 31  |
| Tabla 5 Promedio de parámetros de oleaje de la playa “Boca del Río” .....  | 32  |
| Tabla 6 Altura y periodo promedio de cada playa .....                      | 33  |
| Tabla 7 Cálculo de velocidad promedio ( $V_{rms}$ ).....                   | 33  |
| Tabla 8 Cálculo de longitud de onda .....                                  | 34  |
| Tabla 9 Cálculo del potencial de la energía de las olas .....              | 34  |
| Tabla 10 Lista de materiales del modelo propuesto .....                    | 37  |
| Tabla 11 Factores de carga en la estructura.....                           | 39  |
| Tabla 12 Resumen de simulación de prueba .....                             | 42  |
| Tabla 13 Resumen de segunda simulación de prueba .....                     | 44  |
| Tabla 14 Resumen de tercera simulación de prueba .....                     | 47  |
| Tabla 15 Resumen de simulaciones fluidodinámicas.....                      | 69  |
| Tabla 16 Matriz de operacionalización de variables.....                    | 87  |
| Tabla 17 Parámetros de oleaje “Playa Wawakiki” – Puerto de Ilo.....        | 91  |
| Tabla 18 Parámetros de oleaje “Playa Gentilares” – Puerto de Ilo.....      | 95  |
| Tabla 19 Parámetros de oleaje “Playa Tres Hermanas” – Puerto de Ilo .....  | 99  |
| Tabla 20 Parámetros de oleaje “Playa Boca del Río” – Puerto de Ilo.....    | 103 |

## Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 Modelo de captación Wavestar.....   | 7  |
| Figura 2 Croquis del Solo Duck.....  | 10 |
| Figura 3 Geometría de WEC y distribución nodal puntual (eje X).....                        | 11 |
| Figura 4 Principales características de las olas monocromáticas.....                       | 13 |
| Figura 5 Representación esquemática de un WEC con un solo grado de libertad (heaving)..... | 14 |
| Figura 6 Fases del diseño mecánico.....  | 16 |
| Figura 7 Modelo 3D.....  | 18 |
| Figura 8 Diagrama de flujo.....  | 26 |
| Figura 9 Ubicación geográfica de playas seleccionadas.....                                 | 28 |
| Figura 10 Vista de perfil de la estructura propuesta.....                                  | 36 |
| Figura 11 Diagrama de vigas para la simulación estructural.....                            | 38 |
| Figura 12 Elementos finitos en la superestructura.....                                     | 38 |
| Figura 13 Fuerza axial en la superestructura.....  | 40 |
| Figura 14 Esfuerzos de von-Misses en la superestructura.....                               | 41 |
| Figura 15 Deformación en la superestructura.....   | 41 |
| Figura 16 Modelo de aproximación.....  | 42 |
| Figura 17 Fuerza axial en la superestructura.....  | 43 |
| Figura 18 Esfuerzo equivalente de von-Misses.....  | 43 |
| Figura 19 Deformación en la superestructura.....   | 44 |
| Figura 20 Modelo de aproximación.....  | 45 |
| Figura 21 Fuerza axial en la superestructura.....  | 45 |
| Figura 22 Esfuerzo equivalente de von-Misses.....  | 46 |
| Figura 23 Deformación en la superestructura.....   | 46 |
| Figura 24 Discretización del soporte de los flotadores.....                                | 47 |
| Figura 25 Carga en el eje de los flotadores.....   | 48 |
| Figura 26 Esfuerzo equivalente en el eje de los flotadores.....                            | 49 |
| Figura 27 Deformación en el eje de los flotadores.....                                     | 49 |
| Figura 28 Fatiga en el eje de los flotadores.....  | 50 |
| Figura 29 Cilindro hidráulico.....   | 51 |
| Figura 30 Rodamiento rígido de bolas 61810.....  | 51 |
| Figura 31 Especificaciones técnicas del rodamiento rígido de bolas 61810.....              | 52 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 32 Unidad de rodamientos de bolas con soporte de pie-SYK 20 TD .....                                       | 52 |
| Figura 33 Especificaciones técnicas de rodamientos de bolas con soporte de pie-SYK 20 TD .....                    | 53 |
| Figura 34 Sistema trinquete + polea.....  | 53 |
| Figura 35 Rodamiento unidireccional .....   | 54 |
| Figura 36 Vista isométrica del modelo estructural WEC .....   | 55 |
| Figura 37 Vista frontal del modelo estructural WEC .....  | 55 |
| Figura 38 Vista trasera del modelo estructural WEC.....   | 56 |
| Figura 39 Vista lateral del modelo estructural WEC .....  | 56 |
| Figura 40 Discretización del modelo WEC .....   | 57 |
| Figura 41 Control de asimetría en el modelo.....  | 58 |
| Figura 42 Control de calidad ortogonal en el modelo .....   | 58 |
| Figura 43 Discretización de los flotadores.....   | 59 |
| Figura 44 Control de asimetría en el modelo.....  | 59 |
| Figura 45 Control de calidad ortogonal en el modelo .....   | 60 |
| Figura 46 Coordenadas generales .....   | 60 |
| Figura 47 Velocidad en el plano XZ .....  | 61 |
| Figura 48 Fuerzas en el eje Y .....   | 62 |
| Figura 49 Velocidad en el plano XY .....  | 62 |
| Figura 50 Fuerzas en el eje Z.....  | 63 |
| Figura 51 Velocidad en el plano XZ .....  | 63 |
| Figura 52 Fuerzas en el eje X .....   | 64 |
| Figura 53 Comportamiento del flujo de agua sobre un flotador, siguiendo la metodología de J. Wu et Al, 2017. .... | 64 |
| Figura 54 Perfil promedio de velocidad de viento en Ilo .....   | 65 |
| Figura 55 Perfil promedio de velocidad de viento en Ilo .....   | 65 |
| Figura 56 Fuerza total sobre el flotador.....   | 66 |
| Figura 57 Simulación computacional del modelo WEC sujeto a aguas de tormenta .....                                | 67 |
| Figura 58 Fuerza causada por el arrastre debido a vientos de tormenta .....                                       | 68 |
| Figura 59 Representación gráfica de los resultados de la simulación.....  | 68 |
| Figura 60 Esqueleto del modelo WEC .....  | 71 |
| Figura 61 Ingeniería de detalle del soporte del flotador WEC .....  | 71 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 62 Ingeniería de detalle del flotador WEC..... | 72 |
| Figura 63 Modelo WEC .....                            | 73 |

## RESUMEN

Uno de los principales desafíos que es afrontado actualmente es la búsqueda de una apropiada transición energética desde un sistema basado en el consumo de combustibles fósiles para generar electricidad hacia la generación eléctrica mediante fuentes renovables. Por tal motivo, el objetivo fue realizar el diseño de un convertidor undimotriz “salter’s duck” para la generación de energía eléctrica en el Puerto de Ilo. La metodología utilizada fue de tipo aplicado con enfoque cuantitativo y diseño no experimental. Como muestra se consideraron 4 playas pertenecientes a la zona costera del Puerto de Ilo; registrando parámetros de oleaje representativos obtenidos de la página web científica Premium Waves – Innovative Forecasts. Para el desarrollo de la ingeniería de detalle se utilizó el software Inventor Autodesk, para el procesamiento de datos se realizaron cálculos teóricos y se utilizó el software ANSYS Inc. para el cálculo de esfuerzos permisibles del diseño estructural y para las simulaciones correspondientes al cálculo fluidodinámico, donde se obtuvieron valores de 187 MPa de esfuerzo máximo en la estructura, 10 mm de deformación y se calculó 4.68kW de potencia eléctrica útil, todo ello con un factor de seguridad de 1.8, ubicado dentro de los límites del AISC.

**Palabras clave:** Potencial energético marino, energía undimotriz, convertidor salter’s duck, elementos finitos, Ilo.

## **ABSTRACT**

One of the main challenges that is currently faced is the search for an appropriate energy transition from a system based on the consumption of fossil fuels to generate electricity towards electricity generation through renewable sources. For this reason, the objective was to carry out the design of a "salter's duck" wave energy converter for the generation of electrical energy in the Port of Ilo. The methodology used was applied with a quantitative approach and non-experimental design. As a sample, 4 beaches belonging to the coastal zone of the Port of Ilo were considered; registering representative wave parameters obtained from the scientific website Premium Waves – Innovative Forecasts. Inventor Autodesk software was used for the development of the detailed engineering, for the data processing theoretical calculations were made and ANSYS Inc. software was used to calculate the allowable stresses of the structural design and to the simulations corresponding to the fluid dynamic calculations; where values of 187 MPa were obtained of maximum stress in the structure, 10 mm of deformation and 4.68 kW of useful electrical power was calculated, all of that with a safety factor of 1.8, located within the limits of AISC.

**Keywords:** Marine energy potential, wave energy, salters duck converter, finite elements, Ilo.

## I. INTRODUCCIÓN

Debido al cambio climático ocasionado por el incremento de niveles de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, las energías renovables están ganando protagonismo a nivel mundial. De las fuentes de energía renovables disponibles, el recurso marino cuenta con suficiente potencial de explotación, que lo hace más atractivo desde el punto de vista de cantidades energéticas.

Esta fuente de energía cinética posee una alta capacidad de aprovechamiento motriz y su enorme potencial se atribuye a la gran masa de agua oscilante. En la captación energética marina se pueden considerar tecnologías de energía eólica marina, corrientes de marea, rango de marea y energía de las olas. Siendo esta última la que se consideró debido a que el éxito de las tecnologías de aprovechamiento energético se basa en un diseño sólido y rentable que evite el uso de factores de carga altos.

Esto se debe a que los requisitos de desarrollo demandan materiales que puedan proporcionar alta resistencia de esfuerzo interno, alta rigidez, resistencia a la fatiga y además ello que el prototipo final sea liviano. Es así como nació la idea de este proyecto, de la realización de una propuesta innovadora con respaldo académico para proporcionar una alternativa frente al consumo de recursos no renovables. Esta propuesta goza de una ventaja social puesto que la estructura no es fija ni anclada a un punto específico, por lo que se ve beneficiada por su amplia versatilidad en cuanto a instalación y traslado a cualquier punto que sea requerido.

El diseño se realizó considerando las condiciones climáticas propias del litoral de Ilo y debido a las variaciones en el recurso ambiental se consideraron parámetros que permiten evitar rendimientos irregulares de operación.

Dada la amplitud del concepto de generación energética, se precisó dar a conocer el funcionamiento de un convertidor undimotriz a través de herramientas computacionales que facilitaron proyectar su uso en el Puerto de Ilo.

Mediante el uso de los datos obtenidos de la página web “Premium Waves Innovative Ocean Forecasts” se realizó el tratamiento de datos para determinar

el valor del potencial energético del litoral de Ilo.

La relación entre el diseño y el recurso aprovechable tiene implicaciones de desarrollo orientadas a la optimización de la estructura. Sin embargo, la optimización de esta estructura basada en las condiciones de funcionamiento en el litoral de Ilo, evidencia el grado de dificultad de un problema de ingeniería. Para resolver este requisito, se ha optado por el uso de herramientas computacionales. Se ha considerado también importante desarrollar estudios paramétricos referidos al diseño estructural y a la respuesta dinámica del mismo sobre diversas condiciones de carga aplicables al modelo propuesto. De la misma manera se pretende conocer el máximo aprovechamiento disponible del modelo propuesto, sujeto a condiciones típicas.

Se realizó la siguiente formulación del problema; ¿Cuál es el impacto que tendrá el diseño de un convertidor de energía undimotriz para la generación de energía eléctrica en el Puerto de Ilo? Además, también se ha plantearon preguntas de investigación específicas; ¿Cuál es el valor energético disponible y aprovechable del litoral de Ilo? ¿Cuánta será la capacidad energética del mecanismo propuesto referido a los parámetros de frecuencia de olas? ¿Cuáles serán los factores que intervendrán en el diseño mecánico? ¿Cómo se validará el diseño del convertidor undimotriz salter's duck?

En la justificación operativa de la investigación se planteó la solución de un problema que trae consigo la disminución de emisiones de carbono por medio del uso de energías renovables.

Para la justificación económica de la presente investigación se justificó la necesidad de plantear un modelo innovador-experimental de bajo costo, frente a la cuantiosa inversión en la producción de electricidad por medio de recursos no renovables.

En el aspecto ambiental, se planteó la idea de producir electricidad acorde a un prototipo experimental de aprovechamiento energético no renovable, incrementando su vida útil y de esta manera reduciendo del CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) producido por nuevos mantenimientos.

Se transmitió un enfoque basado en la investigación por medio del Estado del Arte en cuanto a la investigación científica, por ende, el proyecto se sustenta como un medio de consulta académico.

El fin social de esta investigación contempla la propuesta de un sistema mecánico capaz de generar energía eléctrica en cualquier punto del litoral de Ilo, para así conectar cualquier localidad al uso de electricidad. El impacto de puesta en marcha es mínimo dado que se pretende utilizar medios naturales de aprovechamiento energético.

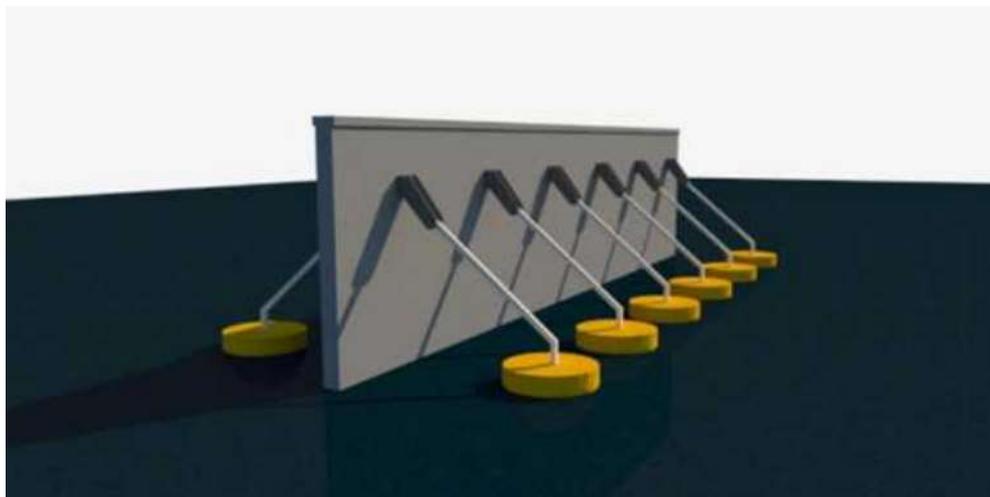
Se tuvieron en cuenta los siguientes objetivos; objetivo general: realizar el diseño de un convertidor undimotriz “salter’s duck” para la generación energía eléctrica en el Puerto de Ilo. También los siguientes objetivos específicos: Cuantificar el potencial energético del litoral de Ilo. Realizar una valoración técnica referida al comportamiento fluidodinámico del convertidor undimotriz. Determinar los parámetros de diseño del mecanismo propuesto a fin de establecer condiciones de operación para su correcto funcionamiento. Elaborar la ingeniería de detalle.

## II. MARCO TEÓRICO

Muchas fuentes energéticas sostenibles como la de océanos (marea y olas) están siendo propuestas como alternativas para relevar las tradicionales fuentes energéticas. La energía obtenida de las olas del océano, como uno de los mayores recursos de energía renovable no utilizados disponibles, se estima en alrededor de 32 TW/año en todo el mundo. De hecho, nuestro país tiene propuestas innovadoras para combatir el cambio climático haciendo uso del potencial energético del océano.

- Jaramillo (2019), en su proyecto 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” presenta cuadros respecto a análisis multivalentes de datos hidro físicos y detalla planos sobre el diseño de producción energética investigado, así como la localización de su propuesta.
- Bernal (2016) en su proyecto de “Diseño de una minicentral undimotriz de 1 MW, para una futura generación eléctrica - en el Puerto de Pimentel” explica la generación eléctrica por medio del acople de 20 módulos de generación de 50 kW cada uno (Turbinas Wells) llegando a realizar una propuesta técnico-económica para su viabilidad. Esta propuesta consta de una minicentral de 90 metros de longitud.
- Neira y Roque (2020) en su proyecto de tesis “Generación undimotriz para mejorar el suministro de energía eléctrica en la playa Costanera-Huanchaco” realiza un diseño metodológico que señala la aceptación por parte de la población de la instalación de un modelo de captación de energía “Wavestar”. Presenta también un estudio económico de instalación y una estimación de energía promedio (30 kW) por cada boya impulsora.

**Figura 1 Modelo de captación Wavestar.**



Nota. Tomado de Neira y Roque (2020). Se usaron seis flotadores que juntos, accionan cilindros hidráulicos, y la presión generada por estos es conducida a un dispositivo generador de energía.

Existen también estudios de prefactibilidad considerados para el Estado del Arte de la presente investigación, descritas a continuación.

- Pinto y Figueroa (2020) en su trabajo de investigación “Prefactibilidad para la instalación de una turbina hidrocínética, para la generación de energía eléctrica, en el staff Achoma” este estudio está enfocado en implementar una turbina hidrocínética para la generación eléctrica detallando tanto la viabilidad técnica y económica de su propuesta.
- Escalante y Postigo (2016) en su trabajo de investigación “Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta generadora de energía eólica” realiza un breve estudio de mercado y un estudio técnico de viabilidad del proyecto, describiendo procesos de funcionamiento y la capacidad de todo el sistema de generación.
- Escajadillo (2018) en su proyecto de tesis “Diseño de una central undimotriz para la generación de energía eléctrica en la ciudad de Mollendo” describe la ingeniería de detalle realizada para el diseño de un sistema mecánico de producción de electricidad con un número de específico de revoluciones bajo y medio ( $N_s=800$  y  $N_q=240$ ) en turbinas Kaplan de 6.67MW cada una.

Sin embargo, antes de profundizar en el tema de energías renovables, es preciso definir las siguientes definiciones:

**Generación de energía eléctrica:** Proceso por el cual recursos naturales o fuentes primarias son transformadas en energía eléctrica.

**Energía undimotriz:** es un concepto que consiste en capturar la energía cinética de las olas de aguas profundas o de las olas que golpean la costa y convertirla en energía eléctrica.

Para calcular el **potencial de energía de las olas** se considera:

$$P_{media} = \frac{1}{8} \left( \frac{V_{rms}}{2} \right) \rho g H^2 \lambda$$

Donde,  $V_{rms}$  es la velocidad promedio de una partícula de agua,  $\rho$  es la densidad del fluido involucrado,  $g$  es la gravedad,  $H$  es la altura máxima de la ola y  $\lambda$  es la longitud de onda.

**Velocidad promedio de una partícula de agua:** Utilizada para definir en términos energéticos la energía cinética :

$$V_{rms} = \omega A = \frac{2\pi}{T} * \frac{H}{2}$$

Donde,  $w$  es la frecuencia de olas;  $T$ , el periodo de estas y  $H$  la altura máxima desarrollada.

**Longitud de onda:** la distancia a la que se repite la forma de la onda. Esta se calcula de la siguiente manera:

$$\lambda = 1.56 T^2$$

Donde  $\lambda$  es la longitud de onda de las olas; y  $T$ , el periodo de las mismas.

**Convertidor de energía:** Un convertidor de energía es un dispositivo capaz de transformar energía de una fuente en trabajo útil.

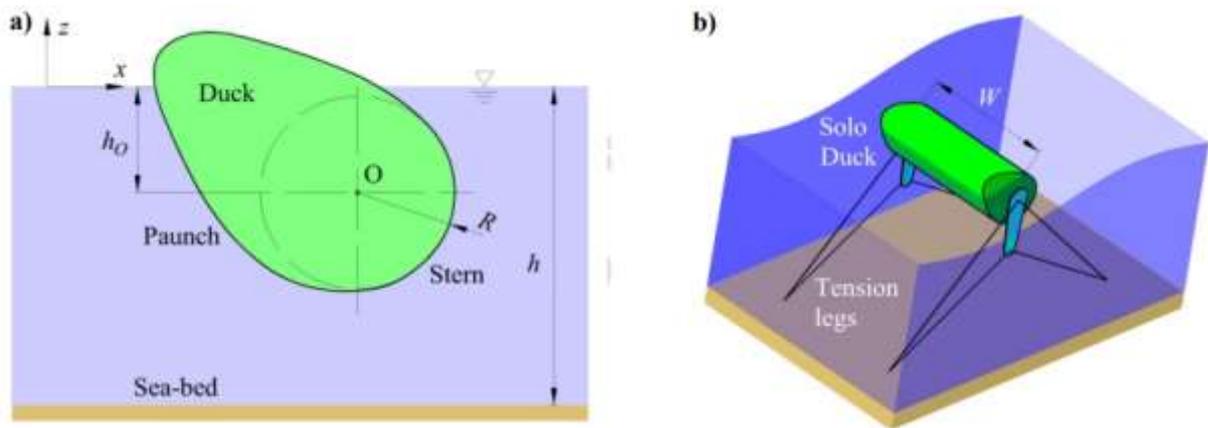
**Convertidores de energía undimotriz:** Los convertidores de energía undimotriz son dispositivos mecánicos que se emplean para aprovechar la energía cinética de las olas de la superficie del océano con el fin de generar energía eléctrica.

**Tipos de convertidores de energía undimotriz:** Pueden clasificarse en cuatro grupos: columna de agua oscilante, dispositivo de rebase, atenuador y absorbedor puntual. El funcionamiento del primer grupo, la columna de agua oscilante (OWC), se basa en la compresión y la expansión del aire. El segundo grupo, los dispositivos de rebase, utilizan la velocidad de las olas para llenar un embalse situado en un nivel más alto que la superficie del océano, y luego el agua desciende a través de turbinas de baja altura para producir electricidad. El tercer grupo, el de los atenuadores, utiliza boyas flotantes paralelas a la dirección de las olas conectadas entre sí. El último grupo, el de los absorbedores puntuales, transforma la energía mediante boyas que captan el movimiento vertical de las olas. para comprimir gas o líquido que impulsa un generador y produce electricidad.

El convertidor de energía propuesto en la presente investigación ha estado en curso desde la década de 1970 como respuesta a la necesidad de reemplazar parcialmente los combustibles fósiles con fuentes de energía renovables. El convertidor de energía "Edinburgh Duck Wave" fue propuesto en ese momento por Stephen Salter en la Universidad de Edimburgo.

Como uno de los convertidores de energía de las olas altamente eficientes que se han propuesto, se confirmó que el WEC (Wave Energy Converter) alcanza una eficiencia de más del 90 % en las pruebas de olas regulares en 2D (pruebas de laboratorio controladas). La sección transversal de la forma se muestra en la figura anexa. La parte de la proa de esta sección transversal está diseñada para interactuar fuertemente con la ola incidente, mientras que la parte de popa tiene una forma circular para que su movimiento de cabeceo no provoque olas de sotavento [10], y la alta eficiencia del WEC resulta de esta característica de forma asimétrica [12,13]. La WEC diseñada originalmente está construida por los WEC conectados de extremo a extremo a lo largo del eje de rotación mediante espigas articuladas [18].

**Figura 2 Croquis del Solo Duck**



Nota. a) una vista en planta de la sección transversal; b) vista isométrica de una configuración de amarre tenso para un solo Duck con eje de cabeceo fijo en mar de proa. Tomado de (Jinming Wu et Al. 2017)

Desde el punto de vista hidrodinámico, parece haber dos problemas principales en la energía de las olas: la eficiencia en condiciones normales de funcionamiento y la supervivencia en condiciones extremas (base de diseño de este trabajo).

El primer problema ha recibido una atención considerable para las tres categorías de dispositivos; para el WEC, se han determinado valores experimentales de la eficiencia en una amplia gama de estados mixtos del mar cuando el WEC se controla en los tres modos de movimiento, cabeceo, oleaje y marejada.

Mynett, Serman & Mei (1979) publicaron los resultados teóricos correspondientes usando hidrodinámica linealizada y un esquema híbrido de elementos finitos y

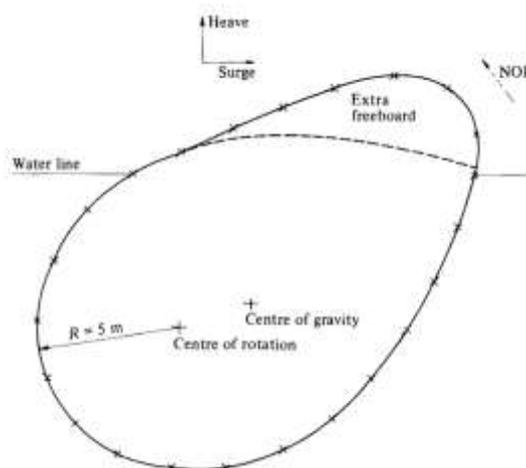
Greenhow (1981) los extendió, donde la comparación con experimentos en ondas monocromáticas pequeñas fue buena.

A medida que aumenta la altura de la ola, los efectos no lineales se vuelven importantes y, en general, la eficiencia del dispositivo disminuirá. Este complicado efecto tiene al menos tres componentes:

- (i) Flujo turbulento alrededor del pico del pato;
- (ii) No linealidad en la fuerza de restablecimiento de la flotabilidad en el modo cabeceo;
- (iii) Efectos hidrodinámicos no lineales que resultan en la generación de ondas de segundo armónico.

El problema de la supervivencia en olas extremas, donde la eficiencia no tiene importancia, no parece haber sido resuelto para muchos de los dispositivos; la mayoría de los diseñadores prevén sumergir sus dispositivos para evitar las grandes fuerzas de golpe asociadas con el rompimiento de olas (ver Lighthill 1980) y el trabajo teórico de Brevig, Greenhow & Vinje (1981, 1982) ha examinado las fuerzas extremas de las olas en varios dispositivos sumergidos.

**Figura 3 Geometría de WEC y distribución nodal puntual (eje X).**



Nota. Tomado de Salter (1974). Se aprecia la posición del centro de rotación y el centro de gravedad. Esta diferencia genera un valor de torque positivo.

Esencialmente, el modelado numérico de los WEC se basa en que la fuerza de inercia se equilibra con todas las fuerzas que inciden en el WEC.

Estas generalmente se dividen en cargas externas (hidrodinámicas/hidrostáticas) y fuerzas de reacción. Las cargas externas (hidrodinámicas/hidrostáticas) incluyen:

- ❖ Fuerza hidrostática causada por la variación de la distribución de la presión hidrostática debido al movimiento oscilatorio del captador,
- ❖ Cargas de excitación debidas a la acción de las olas incidentes sobre un captador inmóvil,
- ❖ Fuerza de radiación correspondiente a la fuerza experimentada por el captor debido a la alteración del campo de presión como consecuencia del desplazamiento del fluido por su propio movimiento oscilatorio, en ausencia de un campo de onda incidente.

Además, dependiendo del tipo de WEC, las fuerzas de reacción pueden ser causadas por:

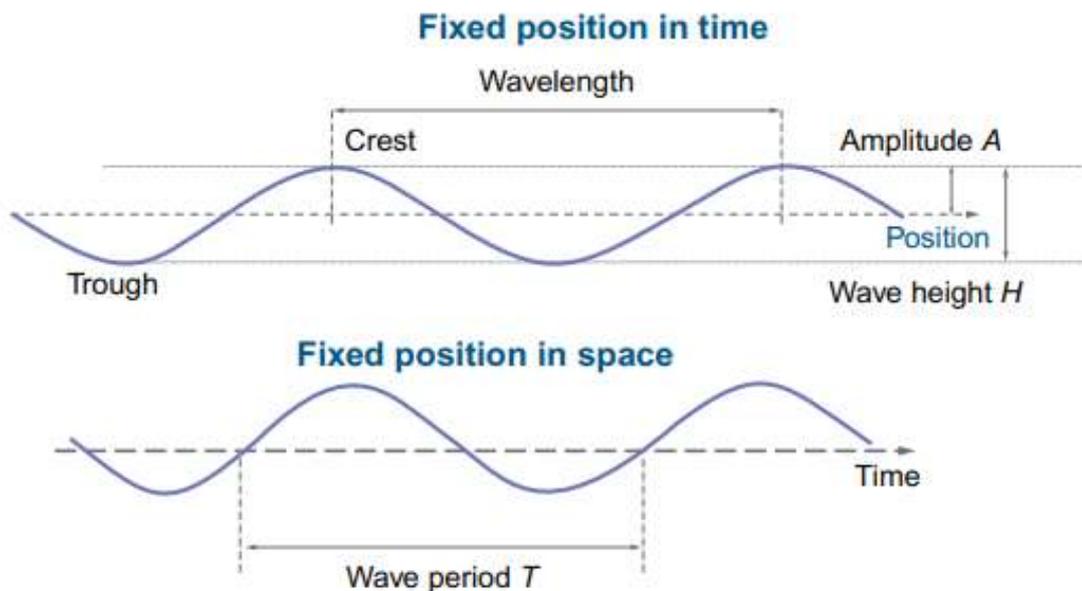
- ❖ Equipo de toma de fuerza (PTO), que convierte la energía mecánica (movimientos del captor) en electricidad u otro vector de energía útil,
- ❖ Sistema de amarre/cimentación, responsable para el mantenimiento de la estación WEC,
- ❖ Mecanismo de fin de carrera, utilizado para desacelerar el captor al final de su carrera para disipar suavemente la energía cinética y así evitar daños mecánicos en el dispositivo.

La teoría del flujo potencial se basa en la suposición de un flujo ideal, es decir, no viscoso (sin fricción) e irrotacional. Un flujo no viscoso es un flujo en el que no hay tensiones de corte viscoso para deformar los elementos del fluido o provocar la rotación de las partículas del fluido; sólo se observan tensiones normales.

La ecuación genérica de movimiento de un solo WEC, representada esquemáticamente en la figura anexa, se deriva en esta sección para establecer la base de un modelo de dominio de frecuencia estándar.

En agua de profundidad infinita, o agua de profundidad arbitraria pero uniforme, la solución sin esfuerzo del problema del valor en la frontera previamente discutido toma una forma sinusoidal.

**Figura 4 Principales características de las olas monocromáticas.**



Nota. Tomado de Matt Folley (2016). Se pueden apreciar la definición gráfica de período y amplitud. La segunda curva representa la razón de cambio temporal de la primera.

Por lo tanto, de acuerdo con la teoría lineal, suponemos que el movimiento del fluido y la amplitud del movimiento del dispositivo son lo suficientemente pequeños como para despreciar los efectos viscosos.

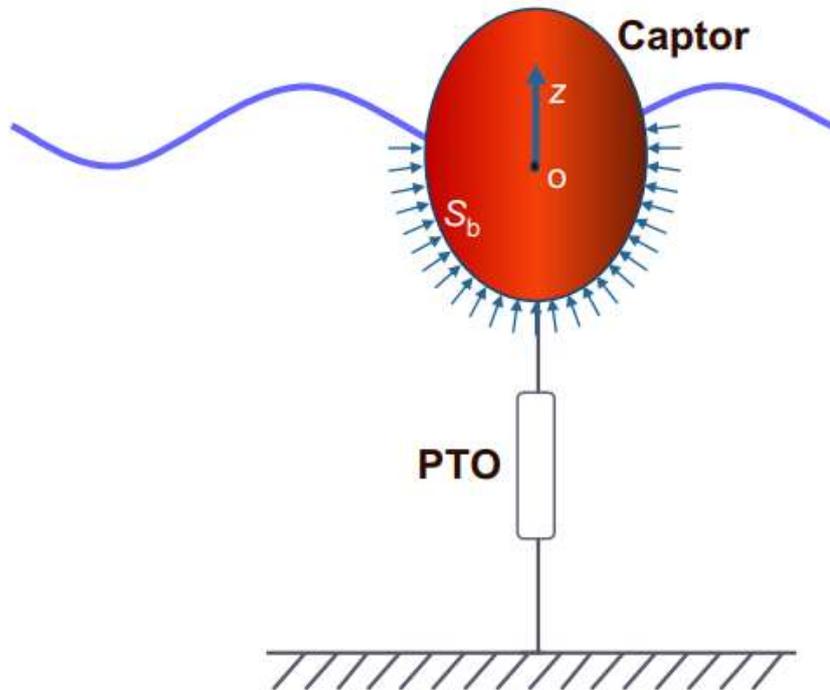
En el dominio del tiempo, la ecuación general del movimiento, según la 2da ley de Newton:

$$m\ddot{\xi}(t) = F_{pe}(t) + F_{re}(t),$$

donde  $m$  denota la inercia total del captador,  $\xi$  su desplazamiento (y por tanto la derivada temporal segunda de  $\xi$ , la aceleración),  $F_{pe}$  la fuerza debida a la presión externa (hidrodinámica/hidrostática) sobre el captador y  $F_{re}$  las fuerzas de reacción,

que normalmente incluyen las cargas inducidas por el equipo de toma de fuerza y, según el principio de funcionamiento del WEC, el sistema de amarre/cimentación.

**Figura 5 Representación esquemática de un WEC con un solo grado de libertad (heaving).**



Nota. Tomado de Matt Folley (2016). Se aprecia la distribución de presión en el captador rojo.

### **Potencial energético del prototipo: Diseño teórico**

El modelo de generación de potencia se llevó a cabo siguiendo el modelo de Análisis de eficiencia de un convertidor de energía “Duck” bajo restricciones de movimiento (J. Wu et Al, 2017). Los resultados obtenidos de esta sección se discutirán en el capítulo referente a discusión.

### **Definición de parámetros de interés de estudio**

- a) Factor q: representa la relación entre potencias de captura de un solo flotador de captación de energía undimotriz.

$$q = \frac{P_{max}}{N P_{aislado}}$$

Donde:

- $P_{max}$ : Potencia máxima esperada
- $P_{aislado}$ : Potencia capturada por 1 solo flotador
- N: Numero de modelos analizados simultáneamente.

b) Eficiencia de captura de potencia: representa la potencia capturada por un arreglo completo de flotadores

$$\eta_a = \frac{P_{max}}{L_N P_{aislado}}$$

Donde:

- $P_{max}$ : Potencia máxima esperada
- $P_{aislado}$ : Potencia capturada por 1 solo conjunto
- $L_n$ : Ancho total del arreglo de flotadores

Una vez descrito el marco de referencia para el diseño hidráulico, es preciso enfocarse en el punto de vista mecánico, como se verá ahora.

Con el objetivo de marcar pautas de diseño estructural se tienen en cuenta ciertas recomendaciones de diseño:

a) Cargas de diseño:

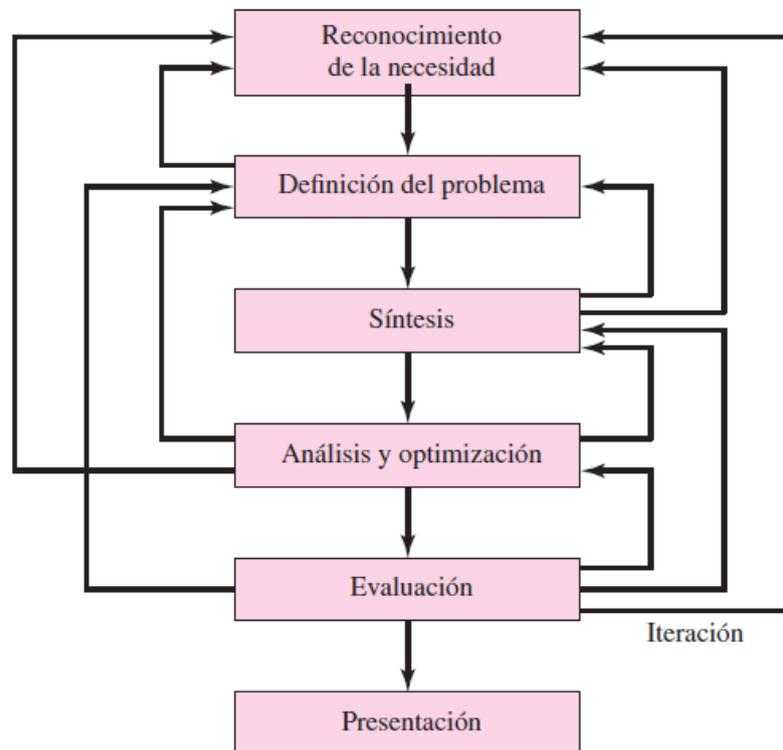
- cargas máximas impuestas por la línea de anclaje,
- cargas máximas impuestas durante el transporte y la instalación, y
- daños por fatiga sostenidos a lo largo de la vida.

Diseño fluidodinámico: el diseño del prototipo se evalúa mediante los siguientes análisis:

- análisis de interacción fluido-estructura para determinar las reacciones del fluido que actúan sobre el prototipo para la entrada en el diseño estructural del modelo,

- análisis de capacidad de retención energética para determinar las capacidades de operación de potencia a condiciones típicas de carga para lograr la capacidad deseada, y
- comprobar la capacidad de resistencia para lograr la conexión crítica requerida y la facilidad de mantenimiento.

**Figura 6 Fases del diseño mecánico**



Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2008). Las fases del diseño mecánico a menudo son iterativas y dependen del criterio del diseñador encargado.

### **Herramientas y recursos de diseño**

Actualmente, las herramientas computacionales están presentes en todas las fases del proceso de diseño mecánico mencionado en la figura anterior, mediante la creación de modelos tridimensionales, a partir de los cuales se puede generar bastante información, tales como simulaciones e ingeniería de detalle. Dada la complejidad inherente de las ecuaciones presentes en la ingeniería, es útil usar recursos de diseño como estos.

A continuación, se explica cada fase del diseño mecánico (Budynas & Nisbett, 2008):

**Reconocimiento de la necesidad:** Con frecuencia, el reconocimiento y la expresión de ésta constituyen un acto muy creativo, porque la necesidad quizá sólo sea una vaga inconformidad, un sentimiento de inquietud o la detección de que algo no está bien. Por ejemplo, la necesidad de reemplazar mecanismos de transformación de energía convencional por energía renovable.

**Definición del problema:** debe incluir todas las especificaciones del diseño. Las especificaciones son las magnitudes conocidas y esperadas, las características y dimensiones del objeto y las posibles limitaciones de estas magnitudes.

**Síntesis:** Consiste en la invención del concepto o diseño del concepto, como por ejemplo, en el desarrollo completo de funciones que realizará el objeto (movilidad, geometría, transporte, etc.)

**Análisis y optimización:** Tanto el análisis como la optimización requieren que se construyan o inventen modelos abstractos del sistema que admitan algún tipo de análisis matemático.

**Evaluación:** La evaluación representa la prueba final del éxito de un diseño y suele consistir en probar el prototipo en el laboratorio (o en computadora). Aquí se trata de averiguar si el diseño satisface realmente la necesidad planteada.

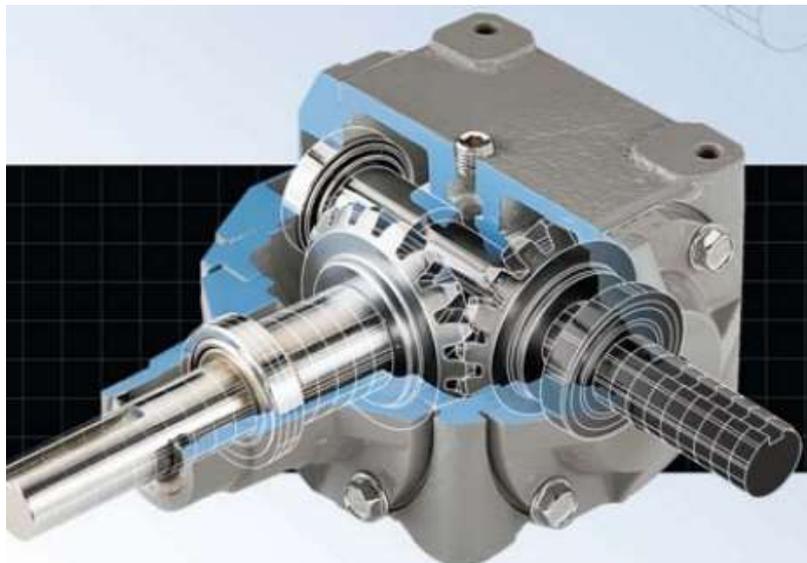
**Presentación:** La presentación es un trabajo de venta. Cuando el ingeniero presenta una nueva solución al personal intenta venderle o demostrarle que la solución que propone es la mejor.

El proceso de diseño del convertidor undimotriz, tomando en cuenta los conceptos antes analizado, siguen el siguiente orden:

- Definir la geometría inicial, tomando en cuenta medidas básicas a criterio del investigador, donde se consideró largo, alto y ancho.
- Elaborar un diagrama de líneas, las cuales simbolizan elementos principales del modelo, por ejemplo, vigas y conectores. El punto de unión de cada viga representa un tipo de conexión soldada.

- Calcular las reacciones internas en cada línea, las cuales son soportadas por elementos estructurales seleccionadas por el investigador. Esta selección se realizó cumpliendo con las especificaciones técnicas de construcción (AISC).
- Elaborar planos de ingeniería básica mostrando conexiones típicas de unión, así como vistas generales del modelo completo.
- Probar el modelo para comprobar su funcionalidad. Este punto se ha llevado a cabo por medio de Ansys Inc. bajo el módulo de simulación fluidodinámica.
- Elaborar planos de ingeniería básica del modelo con el fin de evaluar su capacidad técnica de generación energética.

**Figura 7 Modelo 3D**



Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2008). Ejemplo de un modelo 3D diseñado para la transmisión de potencia con cambios de sentido de giro.

La transmisión de potencia es un tema primordial para el diseño de elementos móviles. Existen diversas formas de transmitir potencia, las cuales se describen a continuación. Una de ellas, y probablemente la mas conocida es por engranes de dientes rectos y de dientes helicoidales, ambos se basan en el principio de transmisión por interferencia. Las transmisiones por correa también son conocidas y son muy fiables. Existe también un tipo de transmisión basado en la transferencia de energía por fricción, el cual adopta el nombre de ruedas de fricción. Finalmente,

la potencia también puede transmitirse por cadenas de rodillos, muy similar a la transmisión por correas.

### **Normas y códigos**

El propósito de las normas y códigos consiste en lograr un margen de funcionamiento, eficiencia, seguridad y calidad de cualquier construcción. Sin embargo, se debe saber que la seguridad absoluta es imposible de lograr. Las normas y códigos presentes en el diseño de construcciones de acero consideradas en la realización de este proyecto de investigación son:

- American Institute of Steel Construction (AISC)
- American Society of Testing and Materials (ASTM)

### **Factores de seguridad**

El termino incertidumbre esta siempre presente en el diseño por cargas. Para lidiar con este factor, los ingenieros deben tomar en cuenta dos conceptos útiles (Budynas & Nisbett, 2008):

Factor de diseño:

$$n_d = \frac{\text{carga de perdida de función}}{\text{carga maxima permisible}}$$

Factor de Seguridad:

$$n_d = \frac{\text{resistencia de perdida de función}}{\text{Esfuerzo permisible}}$$

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1 Tipo y Diseño de Investigación

##### Tipo de Investigación

Tipo aplicado (CONCYTEC 2018) debido a la naturaleza misma del estudio. Este concluirá con la capacidad de energía producida por el dispositivo estudiado teóricamente.

El enfoque dado a la investigación es del tipo cuantitativo, teniendo en cuenta que los alcances (I. Cuantitativa) están sujetos a:

- ✚ La correcta revisión de la literatura “Estado del Arte”
- ✚ La combinación de los elementos de estudio (variables de estudio) en la definición de objetivos.

##### Diseño de Investigación

Del tipo no experimental, dado que el estudio está basado en labores de observación y manipulación de datos para decidir la factibilidad de la propuesta, acorde a la realidad del contexto. La clasificación de este estudio es longitudinal, por estudiar la influencia temporal del movimiento de olas sobre la producción de electricidad.

Los alcances propuestos para la presente investigación son:

- ✚ Estudiar la influencia de los parámetros del modo de vibración de olas del litoral peruano en la generación de electricidad de un convertidor WEC.
- ✚ Diseño de convertidor de energía undimotriz y planos de ingeniería.
- ✚ Análisis de cargas externas sobre la paleta determinadas por simulación.
- ✚ Análisis de componentes principales del prototipo: cálculo de masa de contrapeso de flotación y dimensionamiento del eje motriz.
- ✚ Análisis de esfuerzos permisibles de diseño para el prototipo bajo la especificación AISC-ASD (Allowable Stress Design).

### 3.2 Variables y Operacionalización

Se presenta dos tipos de análisis presentados a continuación:

#### Matriz de Operacionalización de variables

Tabla 1 Matriz de operacionalización de variables

| VARIABLES DE ESTUDIO   | DEFINICIÓN CONCEPTUAL   | DEFINICIÓN OPERACIONAL   | DIMENSIONES   | INDICADORES  | ESCALA DE MEDICIÓN                       |
|--|---|--|---|--|--|
| <b>VARIABLE DEPENDIENTE</b><br>GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA | La generación de energía eléctrica por medio de sistemas energéticos sostenibles consiste en el aprovechamiento de un recurso natural inagotable para la producción de electricidad (Xiawei Liao,2020). | Estudio de la primera ley de la termodinámica. La generación de energía se basa en el balance de energía (energía potencial) de un volumen de control. | <ul style="list-style-type: none"> <li>Régimen de operación</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Potencia de arranque</li> <li>Potencia de funcionamiento</li> </ul> | Nivel de medición de razón (W, m, Nm, V) |
|  |   |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Condiciones de frontera</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Diferencia de potencial energético máximo</li> </ul>                |  |

|   |   |   |  |   |  |
|---|---|---|--|---|--|
| <b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b><br>CONVERTIDOR UNDIMOTRIZ “SALTER’S DUCK” | Dispositivo flotante en el agua, balanceado de un lado a otro por las olas incidentes. La forma se eligió cuidadosamente de modo que el perfil de la superficie siguiera las trayectorias circulares de las partículas de agua (Salter SH, 1974). | Estudio de equilibrio de estado basado en la Ley de Hooke para esfuerzos y deformaciones.<br><br>Estudio de equilibrio basado en las Ecuaciones de Navier Stokes. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño estructural</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Frecuencia angular de funcionamiento</li> <li>• Esfuerzos estructurales de diseño</li> </ul> | Nivel de medición de razón (W, m, Nm, V) |
|   |   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño fluidodinámico</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Momento de flotabilidad</li> <li>• Torque de operación</li> </ul>                            |  |
|   |   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño eléctrico de adaptación</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Voltaje y amperaje del generador eléctrico</li> </ul>  |  |

### **3.3 Población, muestra y muestreo**

#### **Población**

Dado que es un estudio técnico del diseño de un convertidor energético y las acciones a tomar son del tipo académico, se recabará la información estadística pertinente de la base de datos *Premium Waves - Innovative Ocean Forecasts* (Base de datos científica). Las localidades de estudio fueron: Playa Wawakiki, Playa Tres Hermanas, Playa Gentilares y Playa Boca del río, pertenecientes a la zona costera del Puerto de Ilo.

#### **Criterios de Inclusión**

Solo se considerará el potencial energético del oleaje. Estos parámetros están definidos en torno a la frecuencia de vibración de la superficie del agua, energía potencial máxima, caudal promedio, tipo de ola y la capacidad de transferencia de momento angular (partículas hidráulicas).

#### **Criterios de Exclusión**

No se consideró el potencial energético de las mareas, debido a que ello es pertinente a la energía Mareomotriz. No aplica el uso de encuestas en la presente investigación.

#### **Muestra**

Los datos fueron obtenidos de la página web científica:

- Premium Waves - Innovative Ocean Forecasts, durante el periodo correspondiente a la 4° semana de marzo del 2022 (22 al 28). Este periodo de tiempo fue tomado porque corresponde a la tipificación del pronóstico anual del litoral de Ilo.

#### **Muestreo**

Por conglomerados debido a que se realizó la selección de datos representativos y se generalizaron los resultados a la población total de estudio, con el fin de facilitar el análisis y la obtención de conclusiones.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

## Técnicas

- Registro de parámetros de oleaje tomados de Premium Waves Innovative Ocean Forecasts.
- Metodología de cálculo por esfuerzos permisibles (Diseño estructural).
- Simulación en condiciones de frontera para el convertidor (Diseño fluidodinámico)

## Instrumentos de recolección de datos

- Guía de observación de oleaje.

## 3.5 Procedimientos

El procedimiento general del diseño experimental se realizó de la siguiente manera:

- 1. Identificación de locaciones de investigación.** Se realizó la selección considerando criterios de cercanía a las unidades de estudio.
- 2. Recolección de parámetros climatológicos.** Se utilizó la guía de observación de oleaje que se encuentra en este proyecto de investigación y se recolectaron muestras específicas relacionadas al presente estudio; altura de las olas, periodo de las olas, dirección de las olas, velocidad del viento, dirección del viento.
- 3. Procesamiento e interpretación de datos.** Se realizaron cálculos teóricos tomando en cuenta los criterios recolectados. Estos fueron procesados para obtener el Potencial de Generación Energética.
- 4. Determinación de Dimensiones Generales y Construcción de Modelo 3D.** Para poder realizar las simulaciones necesarias con los resultados obtenidos se procedió a realizar el dimensionamiento estructural del prototipo en modelo 3D.
- 5. Elaboración de memoria de cálculo estructural.** Una vez realizado el dimensionamiento se hizo la selección de materiales considerando catálogos de fabricación.

**6. Verificación de cumplimiento de especificación vigente.** Se realizó la validación para garantizar la resistencia estructural en base a la especificación AISC-ASD.

**7. Simulación Fluidodinámica Ansys Inc.** Una vez que se determinó el cumplimiento de la especificación vigente y con el modelo ya definido, se realizó la simulación fluidodinámica por medio del Software para determinar valores de fuerza de arrastre necesarios para calcular la potencia neta y con ello el peso del flotador y del contrapeso.

**8. Elaboración de memoria de cálculo fluidodinámico.** Realizadas las simulaciones correspondientes se elaboró la memoria de cálculo fluidodinámico considerando los resultados obtenidos.

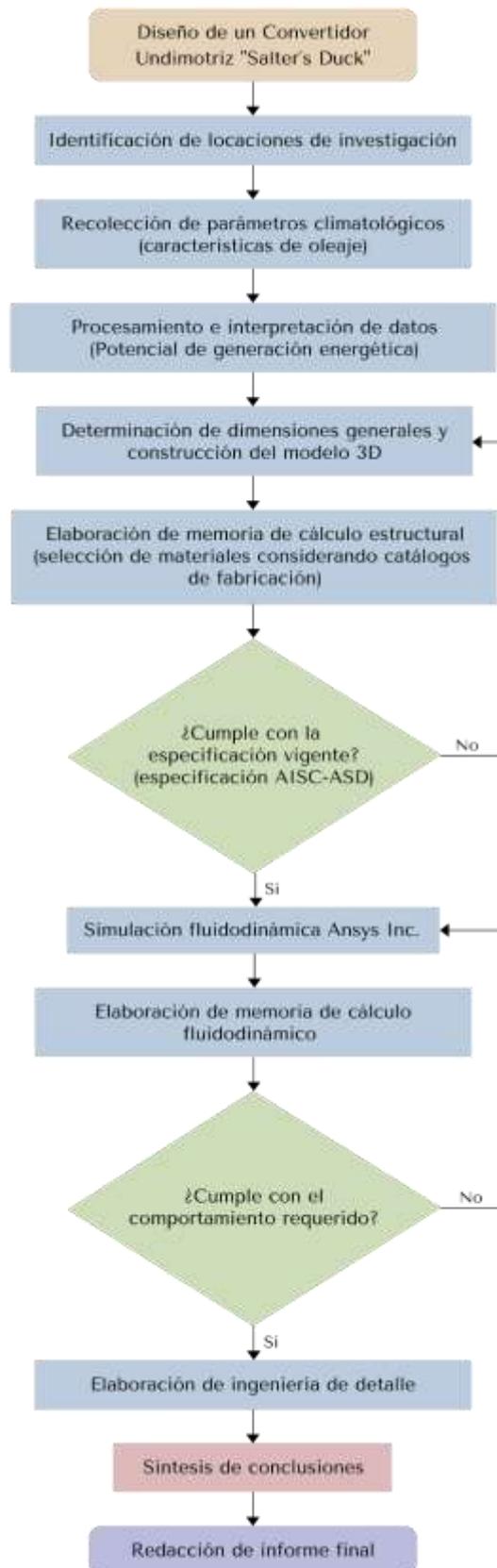
**9. Verificación de cumplimiento de comportamiento requerido.** Para garantizar que la simulación sea válida se verificó que la velocidad máxima en las simulaciones no supere el doble de la velocidad de entrada, ya que, para flujos turbulentos de superarse este criterio, el modelo matemático es incorrecto y se desestima la simulación.

**10. Elaboración de ingeniería de detalle.** En esta fase se elaboraron los planos del diseño bajo los lineamientos de la normativa vigente ISO 128-20:2020.

**11. Síntesis de conclusiones.** Una vez diseñado un prototipo válido en base a los resultados obtenidos se procedió a realizar la síntesis de conclusiones.

**12. Redacción de informe final.** Finalmente se presentó un informe completo acerca de la investigación desarrollada en la presente tesis.

**Figura 8 Diagrama de flujo**



Fuente. Elaboración propia.

### **3.6 Método de análisis de datos**

Para el procesamiento de la información obtenida y los datos recabados, utilizaremos el software Microsoft Office, tanto MS Word para la estructuración e informe final; MS Excel para realizar las tablas y tratamiento de la información numérica; para los gráficos y herramientas de ingeniería mecánica se utilizará Autodesk Inventor Professional y Ansys Inc. ambos con licencia estudiantil.

### **3.7 Aspectos éticos**

Los aspectos éticos hacen énfasis a lo propuesto por Wiersmar y Jurs (2008), quienes establecieron puntos clave respecto a los derechos que deben ser cumplidos frente en la realización de investigaciones c:

- Consentimiento o Aprobación de la Participación: es necesario que los participantes proporcionen el consentimiento explícito acerca de su colaboración. Las personas interactuantes en este proyecto de investigación son el autor y el asesor. En ningún caso se violará los derechos fundamentales de los participantes.
- Confidencialidad: Este trabajo gozará del derecho de información con los interactuantes y no se revela la identidad de los participantes.
- El contexto donde se conducen las investigaciones será respetado, y no se atentará contra ningún bien común.
- Es vital identificar las limitaciones de la presente investigación. Los resultados han de transmitirse con sinceridad.
- En la presente investigación no se dará cabida a la discriminación de ningún tipo.

## IV. RESULTADOS

### 4.1 Se cuantificó el potencial energético del litoral de Ilo

Para la realización de este objetivo, se tomó en cuenta los datos almacenados por Premium Waves Innovative Ocean Forecasts para la semana 4 de marzo del 2022, por ser la más característica del año en la región de estudio. A partir de los datos generados, se obtuvo el valor típico de parámetros de diseño, mediante los cuales se pudo cuantificar el potencial energético del litoral de Ilo.

El estudio llevado a cabo para presentar resultados con base a este objetivo se ha presentado a continuación:

#### **Análisis de datos: Estadísticas climáticas del litoral de Ilo**

#### **Ubicación de localidades objetivo**

Como se muestra en el siguiente gráfico, los datos obtenidos corresponden a las siguientes locaciones:

**Figura 9 Ubicación geográfica de playas seleccionadas**



Nota. Tomado de Google-Maps (<https://www.google.com/maps/@-17.5341398,-71.3469488,59046m>). Se indicaron con marcadores celestes la posición de las playas donde se hicieron las mediciones.

## Mediciones

Las mediciones se registraron de acuerdo con el instrumento de medición, e incluye los datos detallados considerados (Tiempos de medición, dirección de olas, altura de olas). A continuación, se presenta a modo de resumen, los promedios de oleaje considerados para desarrollar el cálculo del potencial hidráulico:

**Ubicación: “Playa Wawakiki” – Puerto de Ilo**

**Tabla 2 Promedio de parámetros de oleaje de la playa “Wawakiki”**

| Guía de Observación de Oleaje |                        |               |                   |                          |         |
|-------------------------------|------------------------|---------------|-------------------|--------------------------|---------|
| Fecha                         | 4 semana de marzo-2022 | Precipitación | No                | Temperatura del Ambiente | 22 °C   |
| Lugar                         | Playa Wawakiki         | Instrumento   | Tabla de registro | Humedad Relativa         | 82.19 % |

| Fecha     | Altura de Ola (2xAmplitud) | Periodo de Ola (T) |
|-----------|----------------------------|--------------------|
| Lunes     | 1.7                        | 15 s               |
| Martes    | 1.6                        |                    |
| Miercoles | 1.8                        |                    |
| Jueves    | 1.8                        |                    |
| Viernes   | 1.5                        |                    |
| Sabado    | 1.6                        |                    |
| Domingo   | 1.6                        |                    |
| Lunes     | 1.8                        |                    |

Nota. Datos tomados de Premium Waves Innovative Ocean Forecasts. El periodo de oscilación fue de 15 segundos, y una altura promedio de Ola de 1,64 m.

**Ubicación: “Playa Tres Hermanas” – Puerto de Ilo**

**Tabla 3 Promedio de parámetros de oleaje de la playa “Tres Hermanas”**

| Guía de Observación de Oleaje |                        |               |                   |                          |         |
|-------------------------------|------------------------|---------------|-------------------|--------------------------|---------|
| Fecha                         | 4 semana de marzo-2022 | Precipitación | No                | Temperatura del Ambiente | 22 °C   |
| Lugar                         | Playa Tres Hermanas    | Instrumento   | Tabla de registro | Humedad Relativa         | 82.19 % |

| Fecha     | Altura de Ola (2xAmplitud) | Periodo de Ola (T) |
|-----------|----------------------------|--------------------|
| Lunes     | 1.8                        | 17 s               |
| Martes    | 1.6                        |                    |
| Miercoles | 1.8                        |                    |
| Jueves    | 1.7                        |                    |
| Viernes   | 1.1                        |                    |
| Sabado    | 1.6                        |                    |
| Domingo   | 1.5                        |                    |
| Lunes     | 1.8                        |                    |

Nota. Datos tomados de Premium Waves Innovative Ocean Forecasts. El periodo de oscilación fue de 17 segundos, y una altura promedio de Ola de 1,65 m.

**Ubicación: “Playa Gentilares” – Puerto de Ilo**

**Tabla 4 Promedio de parámetros de oleaje de la playa “Gentilares”**

| Guía de Observación de Oleaje |                        |               |                   |                          |         |
|-------------------------------|------------------------|---------------|-------------------|--------------------------|---------|
| Fecha                         | 4 semana de marzo-2022 | Precipitación | No                | Temperatura del Ambiente | 22 °C   |
| Lugar                         | Playa Gentilares       | Instrumento   | Tabla de registro | Humedad Relativa         | 82.19 % |

| Fecha     | Altura de Ola (2xAmplitud) | Periodo de Ola (T) |
|-----------|----------------------------|--------------------|
| Lunes     | 1.8                        | 15 s               |
| Martes    | 1.6                        |                    |
| Miercoles | 1.9                        |                    |
| Jueves    | 1.8                        |                    |
| Viernes   | 1.1                        |                    |
| Sabado    | 1.6                        |                    |
| Domingo   | 1.4                        |                    |
| Lunes     | 1.6                        |                    |

Nota. Datos tomados de Premium Waves Innovative Ocean Forecasts. El periodo de oscilación fue de 15 segundos, y una altura promedio de Ola de 1,83 m.

**Ubicación: “Playa Boca del Río” – Puerto de Ilo**

**Tabla 5 Promedio de parámetros de oleaje de la playa “Boca del Río”**

| Guía de Observación de Oleaje |                        |               |                   |                          |         |
|-------------------------------|------------------------|---------------|-------------------|--------------------------|---------|
| Fecha                         | 4 semana de marzo-2022 | Precipitación | No                | Temperatura del Ambiente | 22 °C   |
| Lugar                         | Playa Boca del río     | Instrumento   | Tabla de registro | Humedad Relativa         | 82.19 % |

| Fecha     | Altura de Ola (2xAmplitud) | Periodo de Ola (T) |
|-----------|----------------------------|--------------------|
| Lunes     | 1.8                        | 14 s               |
| Martes    | 1.6                        |                    |
| Miercoles | 1.8                        |                    |
| Jueves    | 1.7                        |                    |
| Viernes   | 1.5                        |                    |
| Sabado    | 1.6                        |                    |
| Domingo   | 1.4                        |                    |
| Lunes     | 1.8                        |                    |

Nota. Datos tomados de Premium Waves Innovative Ocean Forecasts. El periodo de oscilación fue de 14 segundos, y una altura promedio de Ola de 1,78 m.

## Interpretación de resultados

Los datos recolectados anteriormente nos permitieron realizar el siguiente estudio con el objetivo de cuantificar el potencial hidráulico undimotriz de Ilo.

**Tabla 6 Altura y periodo promedio de cada playa**

| Localidad     | Altura de Ola<br>(2xAmplitud) | Periodo de Ola |
|---------------|-------------------------------|----------------|
| Tres Hermanas | 1.65 m                        | 17 s           |
| Gentilares    | 1.83 m                        | 15 s           |
| Boca del rio  | 1.78 m                        | 14 s           |
| Wawakiki      | 1.64 m                        | 15 s           |

De la tabla anterior, podemos obtener la velocidad promedio de una partícula de agua:

$$V_{rms} = \omega A = \frac{2\pi}{T} * \frac{H}{2}$$

Mediante la relación anterior, obtenemos la siguiente tabla para cada localidad:

**Tabla 7 Cálculo de velocidad promedio ( $V_{rms}$ )**

| Localidad     | Altura de Ola<br>(2xAmplitud) | Periodo de Ola<br>(T) | Velocidad ( $V_{rms}$ ) |
|---------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Tres Hermanas | 1.65 m                        | 17 s                  | 0.305 m/s               |
| Gentilares    | 1.83 m                        | 15 s                  | 0.383 m/s               |
| Boca del rio  | 1.78 m                        | 14 s                  | 0.399 m/s               |
| Wawakiki      | 1.64 m                        | 15 s                  | 0.343 m/s               |

Sin embargo, el análisis de energía estudiado en Mecánica de Fluidos demanda el uso de la longitud de onda característica de las olas estudiadas, parámetro calculado a partir de la siguiente relación.

$$\lambda = 1.56 T^2$$

**Tabla 8 Cálculo de longitud de onda**

| Localidad     | Altura de ola<br>(2xAmplitud) | Periodo de<br>ola (T) | Velocidad<br>( $V_{rms}$ ) | Longitud<br>de onda |
|---------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------|
| Tres Hermanas | 1.65 m                        | 17 s                  | 0.305 m/s                  | 450 m               |
| Gentilares    | 1.83 m                        | 15 s                  | 0.383 m/s                  | 351 m               |
| Boca del rio  | 1.78 m                        | 14 s                  | 0.399 m/s                  | 305 m               |
| Wawakiki      | 1.64 m                        | 15 s                  | 0.343 m/s                  | 351 m               |

### Cálculo del potencial de energía de las olas

La literatura revisada sugiere el uso de la siguiente ecuación para el desarrollo de la medida del potencial hidráulico en términos del tipo de fluido y la naturaleza del movimiento típico de las olas:

$$P_{media} = \frac{1}{8} \left( \frac{V_{rms}}{2} \right) \rho g H^2 \lambda$$

**Tabla 9 Cálculo del potencial de la energía de las olas**

| Localidad        | Altura de<br>Ola<br>(2xAmplitud) | Periodo<br>de Ola<br>(T) | Velocidad<br>( $V_{rms}$ ) | Longitud<br>de Onda<br>( $\lambda$ ) | Potencial<br>hidráulico<br>( $P_{media}$ ) |
|------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------------|--|
| Tres<br>Hermanas | 1.65 m                           | 17 s                     | 0.305 m/s                  | 450 m                                | 22,9 kW/m                                  |
| Gentilares       | 1.83 m                           | 15 s                     | 0.383 m/s                  | 351 m                                | 27,6 kW/m                                  |
| Boca del rio     | 1.78 m                           | 14 s                     | 0.399 m/s                  | 305 m                                | 23,6 kW/m                                  |

|          |        |      |           |       |           |
|----------|--------|------|-----------|-------|-----------|
| Wawakiki | 1.64 m | 15 s | 0.343 m/s | 351 m | 19,8 kW/m |
|----------|--------|------|-----------|-------|-----------|

#### **4.2 Se realizó una valoración técnica referida al comportamiento fluidodinámico del convertidor energético.**

Para la realización de este objetivo, se tomó en cuenta el método de diseño de Ingeniería asistida por computadora y bajo estándares de ingeniería, se planteó el desarrollo de la memoria de cálculo estructural que permita realizar la Realizar una valoración técnica referida al comportamiento fluidodinámico del convertidor energético.

El estudio llevado a cabo para presentar resultados con base a este objetivo se ha presentado a continuación:

#### **Desarrollo de la memoria de cálculo estructural**

##### **Normas y documentos de referencia**

Las normas y criterios tomados en cuenta para los cálculos estructurales del presente análisis son:

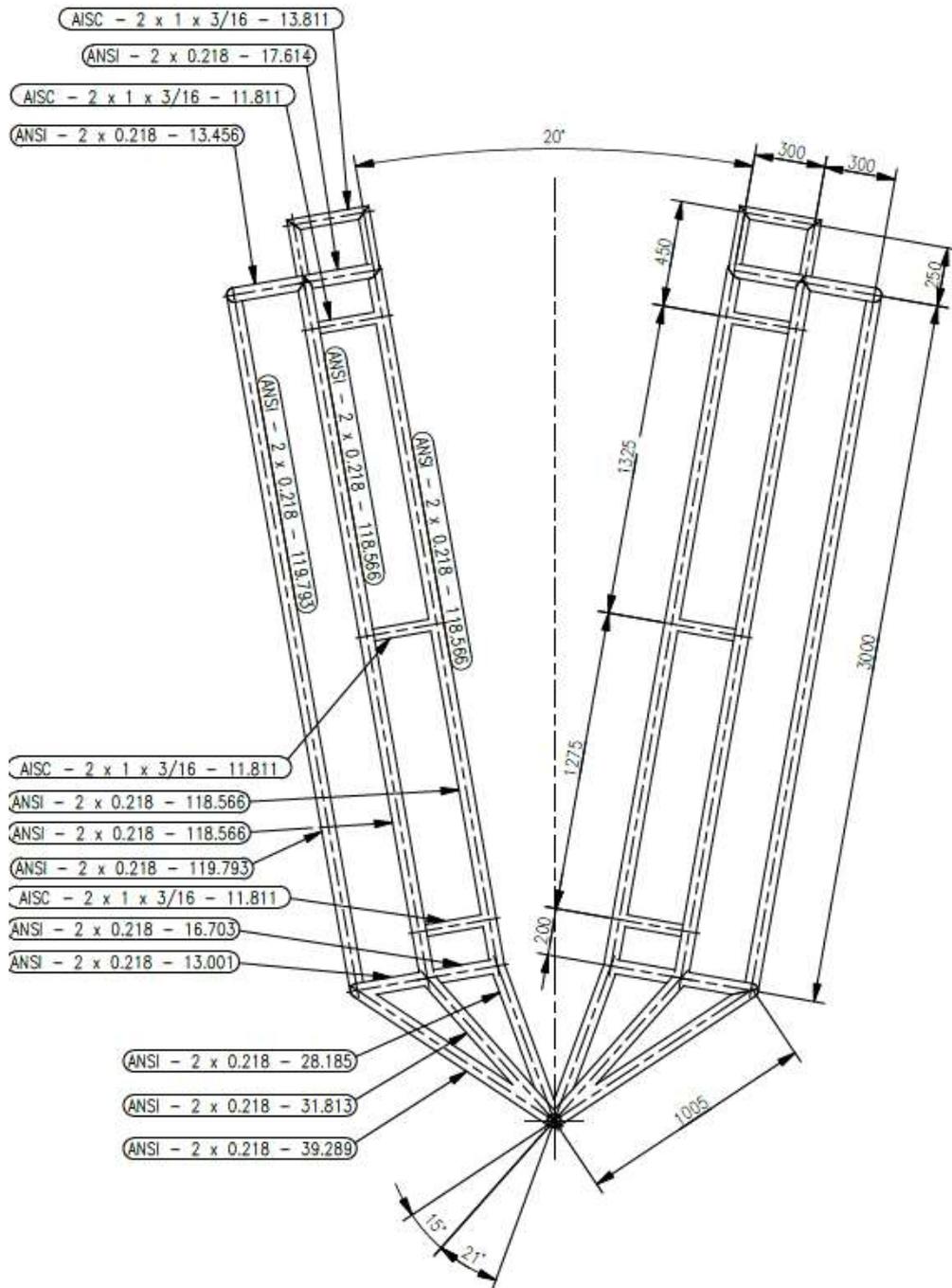
- American Institute of Steel Construction, AISC 360-10.
- American Society for testing Materials ASTM
- ANSI Schedule 40 Steel Pipes
- American Society of civil engineers ASCE/SEI 7-16 Minimum Design Loads and Associate Criteria for Buildings and other Structures
- Structural Design Criteria Document 240K-C2-DC-15-001

El análisis estructural fue desarrollado mediante el software ANSYS Inc.

#### **Diseño geométrico de la superestructura**

A continuación, se muestra el esqueleto de la estructura planteada:

Figura 10 Vista de perfil de la estructura propuesta



Nota: Se muestran los códigos de los elementos conformantes de referencia.

A continuación, se muestra la lista de materiales usada para el primer diseño:

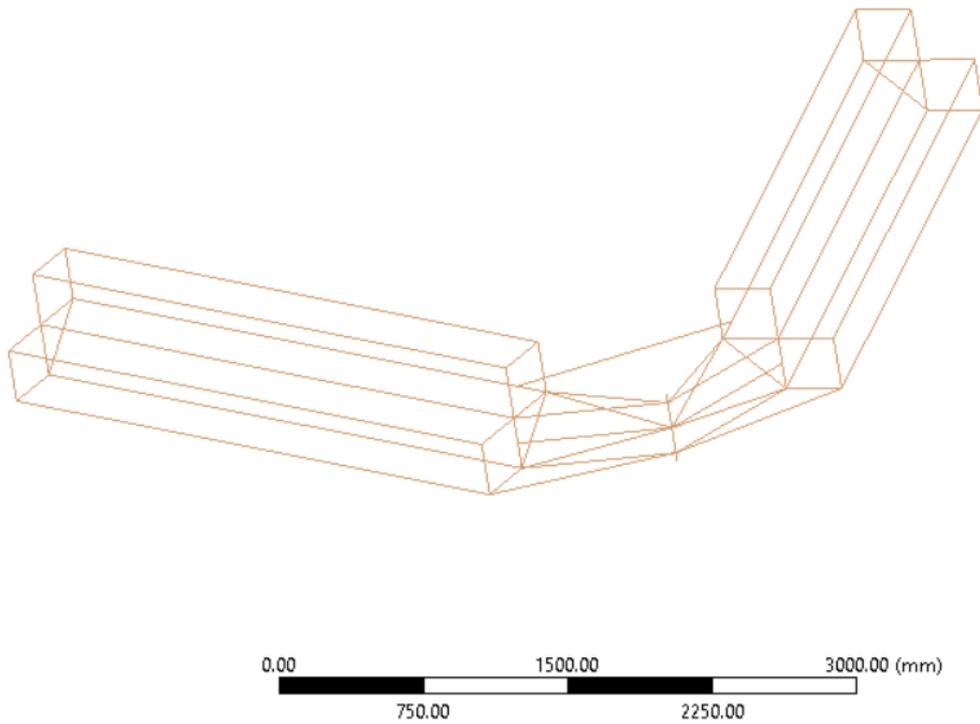
**Tabla 10 Lista de materiales del modelo propuesto**

| CODIGO                       | DESCRIPCIÓN               | LONGITUD | MASA UNITARIA |
|------------------------------|---------------------------|----------|---------------|
| ANSI - 2 x 0.218 - 40.393    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 1026 mm  | 7,1 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 31.813    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 4848 mm  | 5,9 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 32.356    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 1644 mm  | 6 kg          |
| ANSI - 2 x 0.218 - 27.559    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 1400 mm  | 5,1 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 28.185    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 1432 mm  | 5,2 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 12.916    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 328 mm   | 2,1 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 13.757    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 349 mm   | 2,1 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 119.793   | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 18256 mm | 22,3 kg       |
| ANSI - 2 x 0.218 - 12.652    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 3214 mm  | 2,2 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 13.001    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 330 mm   | 2,2 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 13.842    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 1055 mm  | 2,2 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 118.11    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 6000 mm  | 22,5 kg       |
| ANSI - 2 x 0.218 - 11.811    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 10800 mm | 40,5 kg       |
| ANSI - 2 x 0.218 - 16.703    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 2546 mm  | 3,2 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 13.494    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 1371 mm  | 2,1 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 118.566   | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 12046 mm | 22,4 kg       |
| ANSI - 2 x 0.218 - 13.456    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 684 mm   | 2,1 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 13.108    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 333 mm   | 2,1 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 17.614    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 447 mm   | 2,8 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 15.748    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 400 mm   | 3 kg          |
| ANSI - 2 x 0.218 - 39.289    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 998 mm   | 7,3 kg        |
| AISC - 2 x 1 x 3/16 - 11.811 | TUBO-RECTANGULAR-AISI 304 | 1800 mm  | 1,4 kg        |
| AISC - 2 x 1 x 3/16 - 13.811 | TUBO-RECTANGULAR-AISI 304 | 702 mm   | 1,4 kg        |
| AISC - 2 x 1 x 3/16 - 10.843 | TUBO-RECTANGULAR-AISI 304 | 1102 mm  | 1,1 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 17.612    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 447 mm   | 2,8 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 13.106    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 333 mm   | 2,1 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 11.805    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 300 mm   | 2 kg          |

Nota: Se usó el estándar ANSI para tubos circulares (ANSI Schedule 40 Steel Pipes) y el estándar AISC para tubos rectangulares (AISC HSS Hollow Structural Sections).

Para la simulación estructural, el modelo anterior fue discretizado mediante el software Ansys, primero en un diagrama de líneas representando vigas, y luego mediante elementos finitos:

**Figura 11 Diagrama de vigas para la simulación estructural**



Nota: La simulación fue hecha considerando  $150^\circ$  como ángulo de apertura. Se muestra el diagrama de vigas de la estructura.

**Figura 12 Elementos finitos en la superestructura**



Nota: El enmallado fue realizado considerando una longitud promedio de los elementos de 10 mm .

## Aproximación de cargas de diseño

- Fuerza de empuje sobre la estructura: 700 kgf en cada brazo.
- Peso de la estructura: 500 kgf
- Arrastre debido al viento: 200 Kgf

A continuación, se presenta las cargas a considerar de acuerdo a las normas de referencia:

- U (carga factorizada o de diseño)
- D (carga muerta)
- L (carga viva)
- Lr (carga viva del techo)
- S (carga de nieve)
- R (carga nominal debida a la precipitación pluvial o el hielo iniciales, independientemente de la contribución por encharcamiento)
- W (carga de viento)
- E (carga de sismo)

**Tabla 11 Factores de carga en la estructura**

| LRFD   |
|--|
| 1. $U = 1.4D$  |
| 2. $U = 1.2D + 1.6L + 0.5(L \text{ o } S \text{ o } R)$                  |
| 3. $U = 1.2D + 1.6(L \text{ o } S \text{ o } R) + (L^* \text{ o } 0.5W)$ |
| 4. $U = 1.2D + 1.0W + L^* + 0.5(L \text{ o } S \text{ o } R)$            |
| 5. $U = 1.2D + 1.0E + L^* + 0.2S$  |
| 6. $U = 0.9D + 1.0W$   |
| 7. $U = 0.9D + 1.0E$   |
| <b>Aplicación directa:</b>   |
| 1. $U = 1.4(500) = 700 \text{ kgf}$                                      |

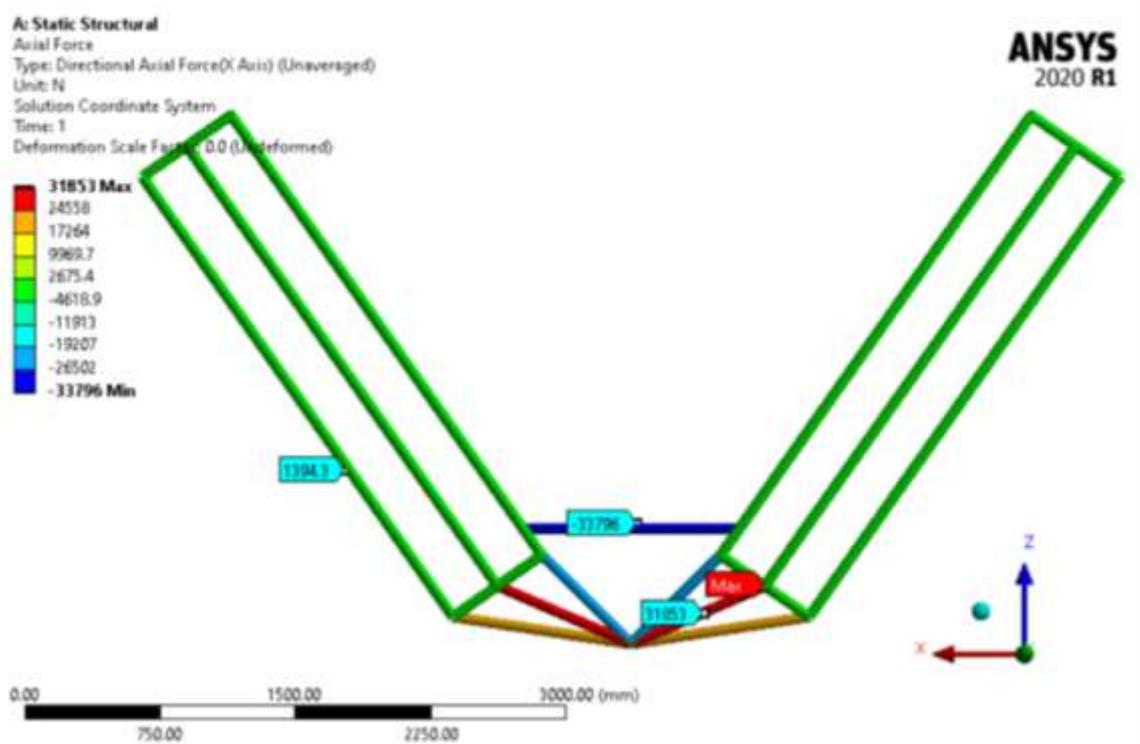
2.  $U = 1.2(500) + 1.6(700) + 0.5(700) = 2070 \text{ kgf}$
  3.  $U = 1.2(500) + 1.6(700) + (0.5 \times 200) = 1820 \text{ kgf}$
  4.  $U = 1.2(500) + 1.0(200) + 0 + 0.5(700) = 1150 \text{ kgf}$
  5.  $U = 1.2(500) + 1.0(0) + 0 + 0.2(0) = 600 \text{ kgf}$
  6.  $U = 0.9(500) + 1.0(200) = 550 \text{ kgf}$
  7.  $U = 0.9(500) + 1.0(0) = 450 \text{ kgf}$
- Carga factorizada que rige (2) = 2070 kgf (11280 N)

## Simulación estructural

a) Caso de estudio: 1° Aproximación real

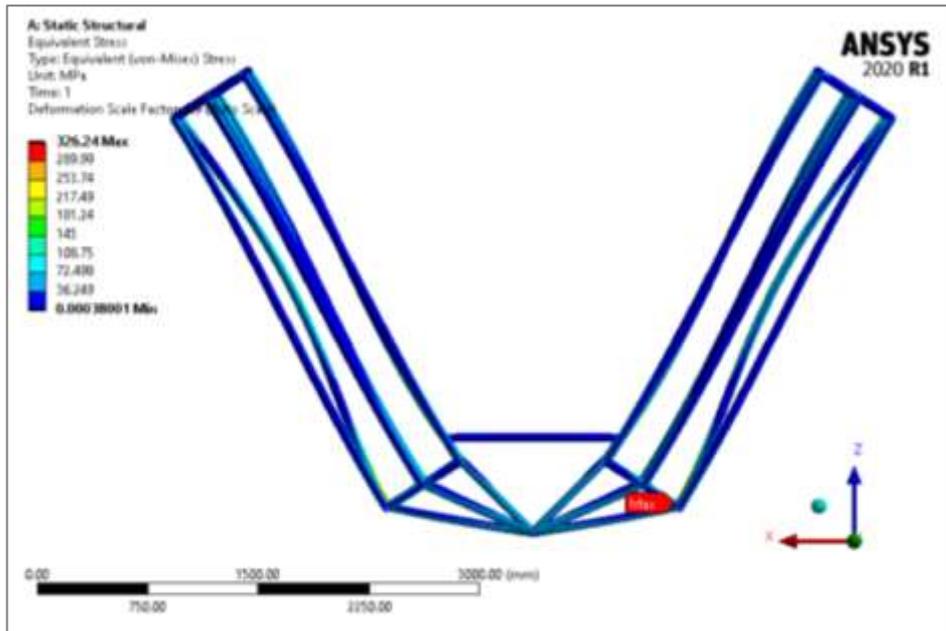
A continuación, el diagrama de fuerza axial, esfuerzo de von-Mises y deformación propia del primer modelo:

**Figura 13 Fuerza axial en la superestructura**



Nota: Los elementos de color azul están sujetos a compresión. Los elementos de color rojo a tensión.

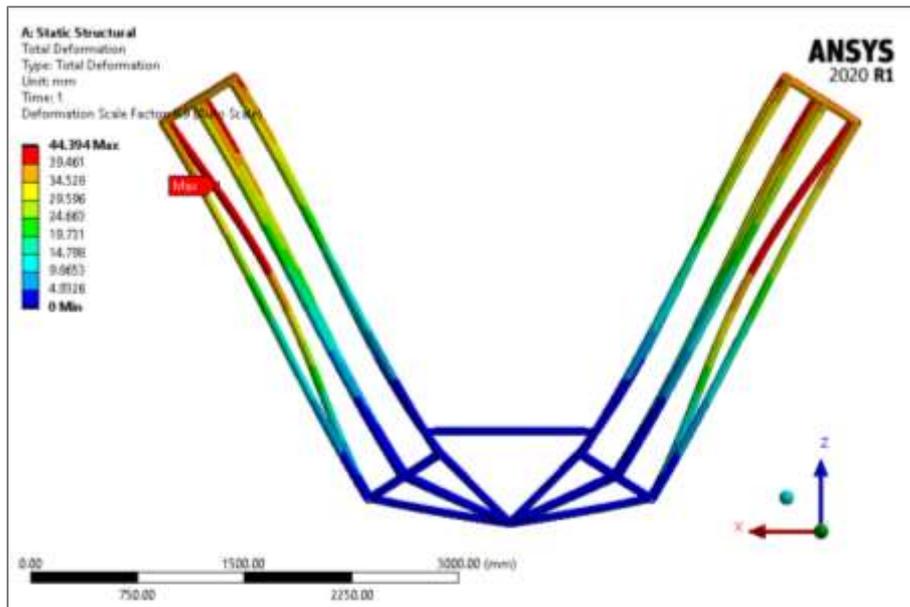
**Figura 14 Esfuerzos de von-Mises en la superestructura**



Nota. Se observa el valor máximo de esfuerzo como 326,3 MPa. Este valor no es tolerable, por lo que se espera un rediseño.

A continuación, se muestra el comportamiento de deformación total debido a las cargas de diseño.

**Figura 15 Deformación en la superestructura**



Nota: Como efecto de la deformación por compresión se observan 44.4 mm de alteración en la superestructura.

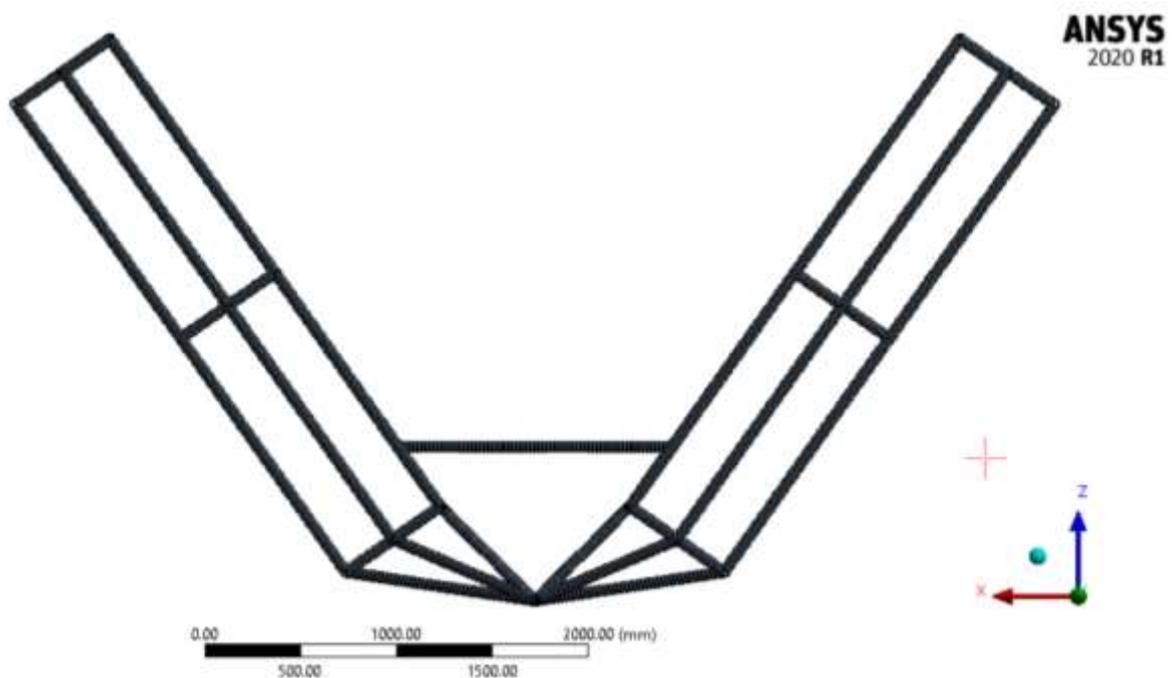
Resumen primera simulación:

**Tabla 12 Resumen de simulación de prueba**

| Indicador            | Valor obtenido | Estado límite de operación | Factor de seguridad |
|----------------------|----------------|----------------------------|---------------------|
| Fuerza axial         | -33800 N       | N/A                        | N/A                 |
| Esfuerzo equivalente | 326 MPa        | 340 MPa (AISI 304)         | 1.04 "No aceptable" |
| Deformación          | 44 mm          | 10 mm (1/300)              | N/A                 |

b) Caso de estudio: 2° Aproximación real

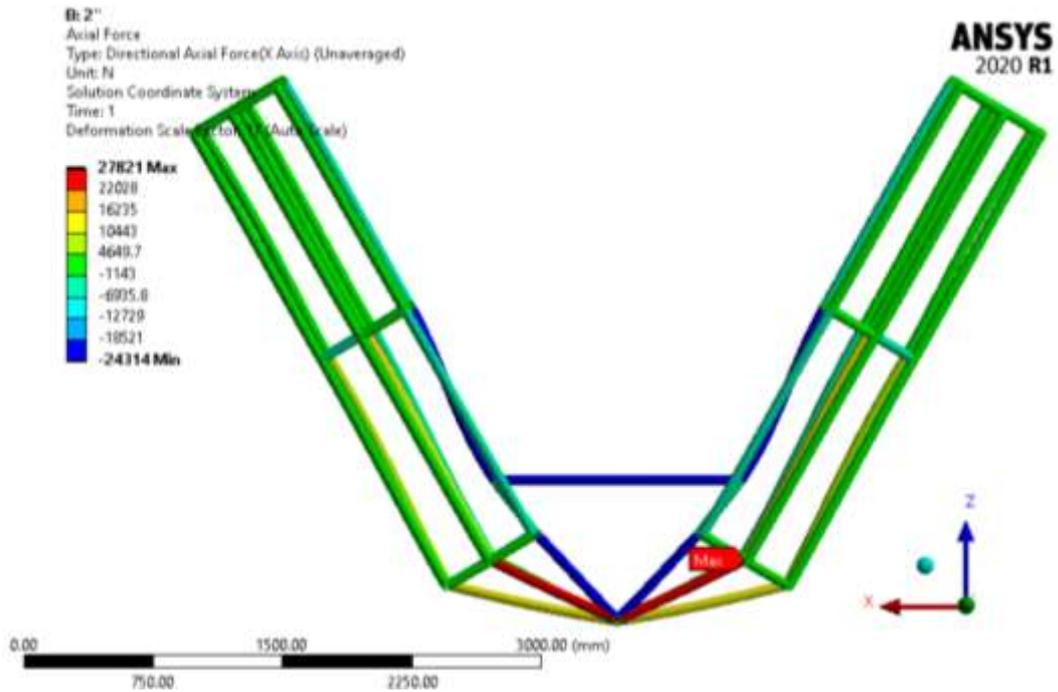
**Figura 16 Modelo de aproximación**



Nota: Se aprecian los cambios realizados en la longitud de los elementos de compresión y perfil intermedio del soporte de flotadores.

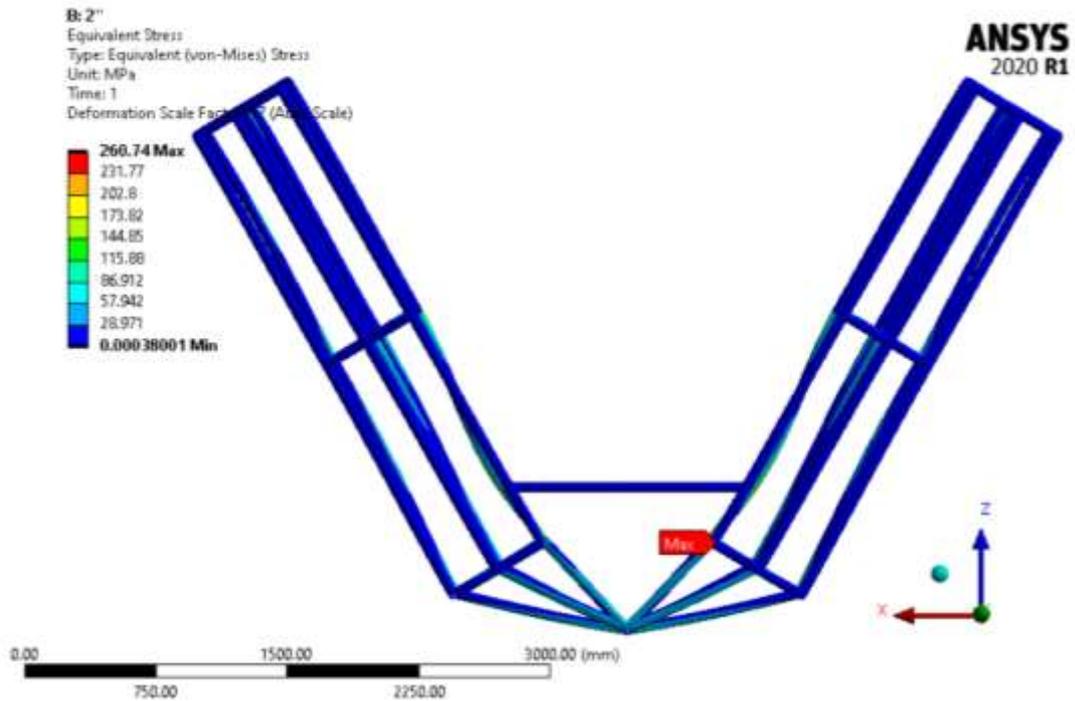
A continuación, el diagrama de fuerza axial, esfuerzo de von-Misses y deformación propia del segundo modelo:

**Figura 17 Fuerza axial en la superestructura**



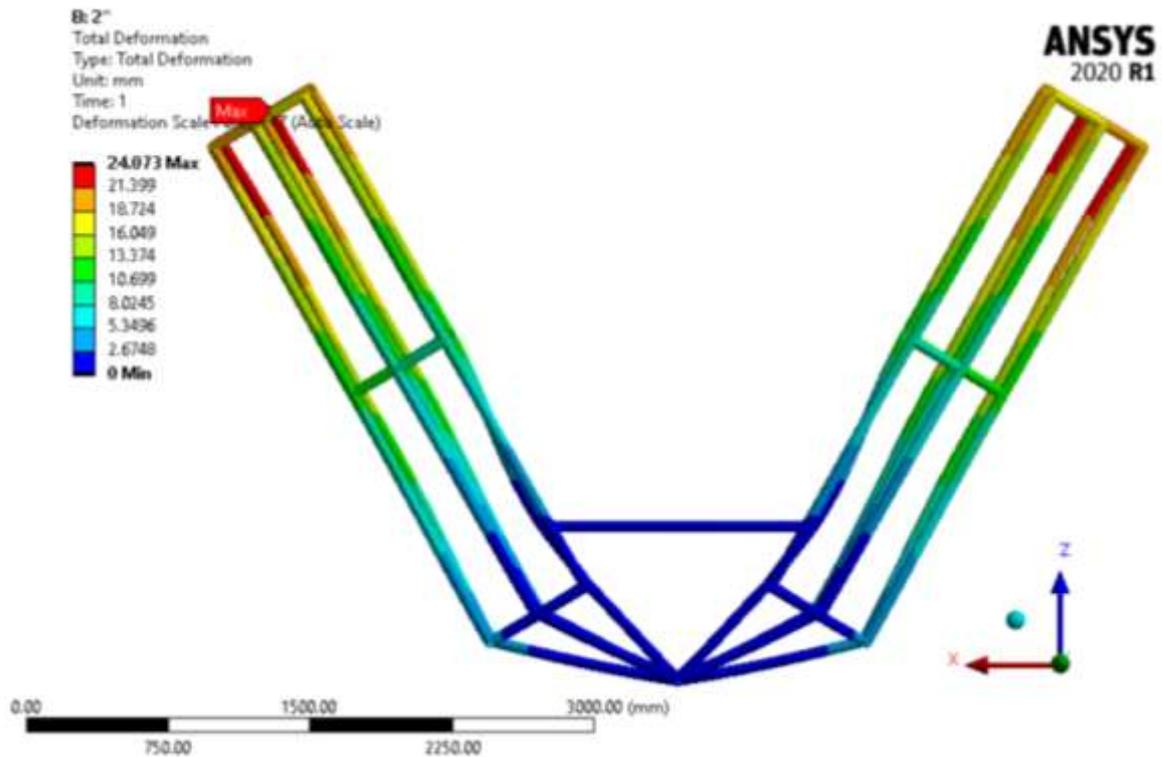
Nota: Máxima fuerza debida a la tensión de los miembros (27.8 kN).

**Figura 18 Esfuerzo equivalente de von-Mises**



Nota: Se hizo una reducción del máximo esfuerzo de 326 a 260 MPa.

**Figura 19 Deformación en la superestructura**



Nota: Como efecto de la deformación por compresión se observan 24mm de alteración en la superestructura.

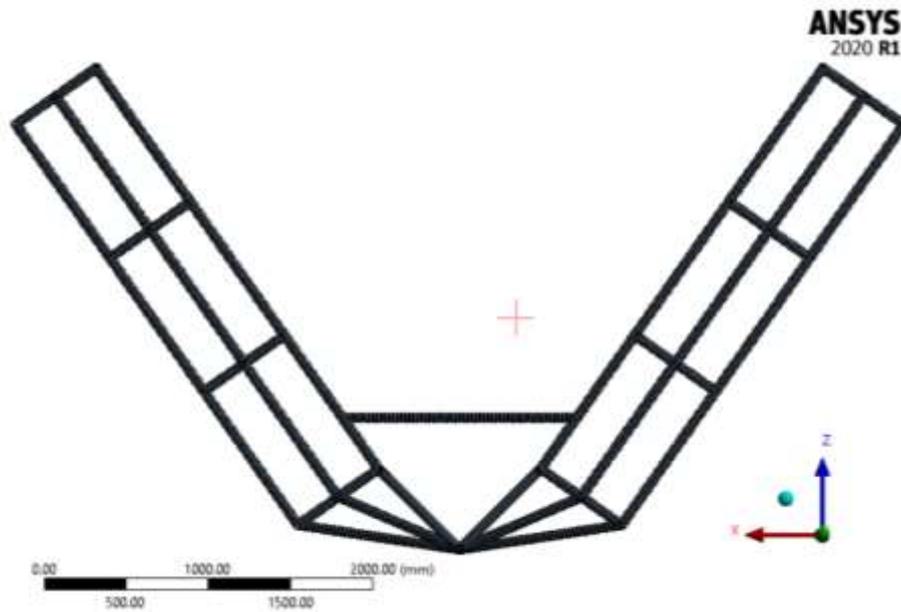
Resumen segunda simulación:

**Tabla 13 Resumen de segunda simulación de prueba**

| Indicador            | Valor obtenido | Estado límite de operación | Factor de seguridad |
|----------------------|----------------|----------------------------|---------------------|
| Fuerza axial         | 27821 N        | N/A                        | N/A                 |
| Esfuerzo equivalente | 260 MPa        | 340 MPa (AISI 304)         | 1.31 "No aceptable" |
| Deformación          | 24 mm          | 10 mm (1/300)              | N/A                 |

c) Caso de estudio: 3° Aproximación real

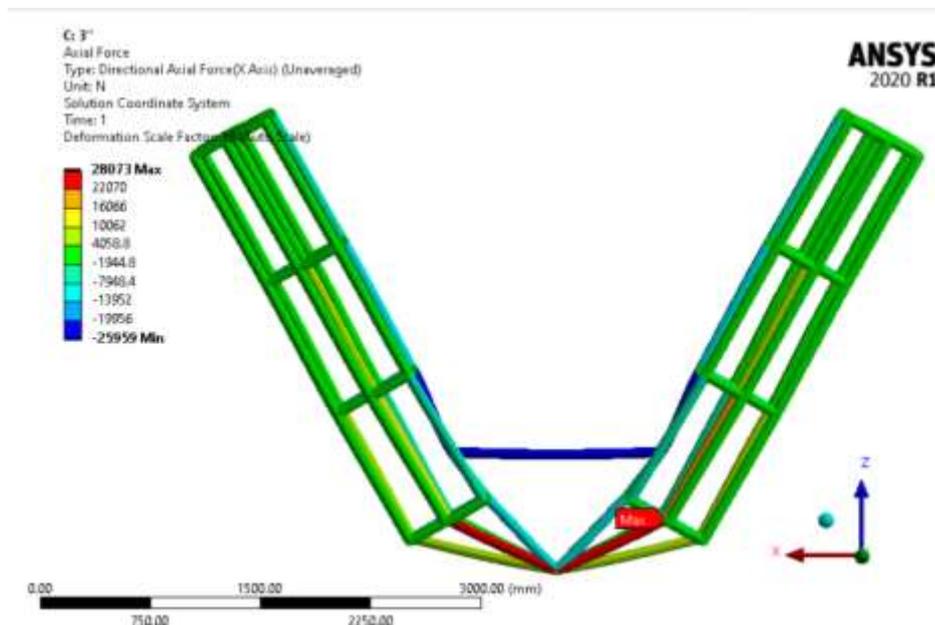
**Figura 20 Modelo de aproximación**



Nota: Cambios realizados en la longitud del elementos de compresión y 2 perfiles intermedios del soporte de flotadores; así como, en el perfil de los tubos internos.

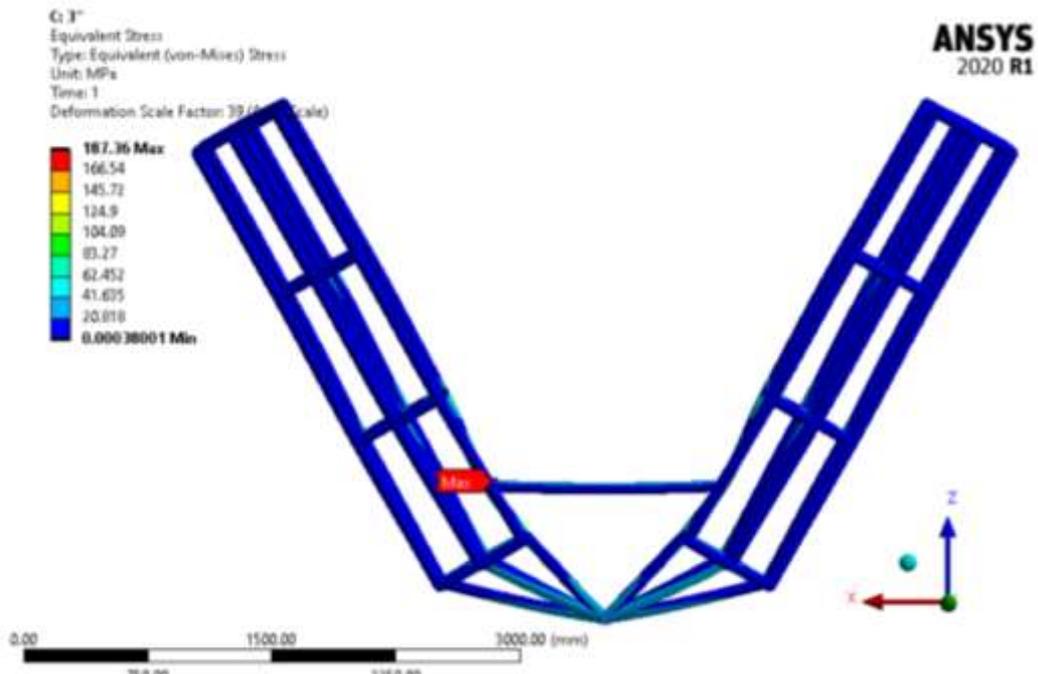
A continuación, el diagrama de fuerza axial, esfuerzo de von-Mises y deformación propia del segundo modelo:

**Figura 21 Fuerza axial en la superestructura**



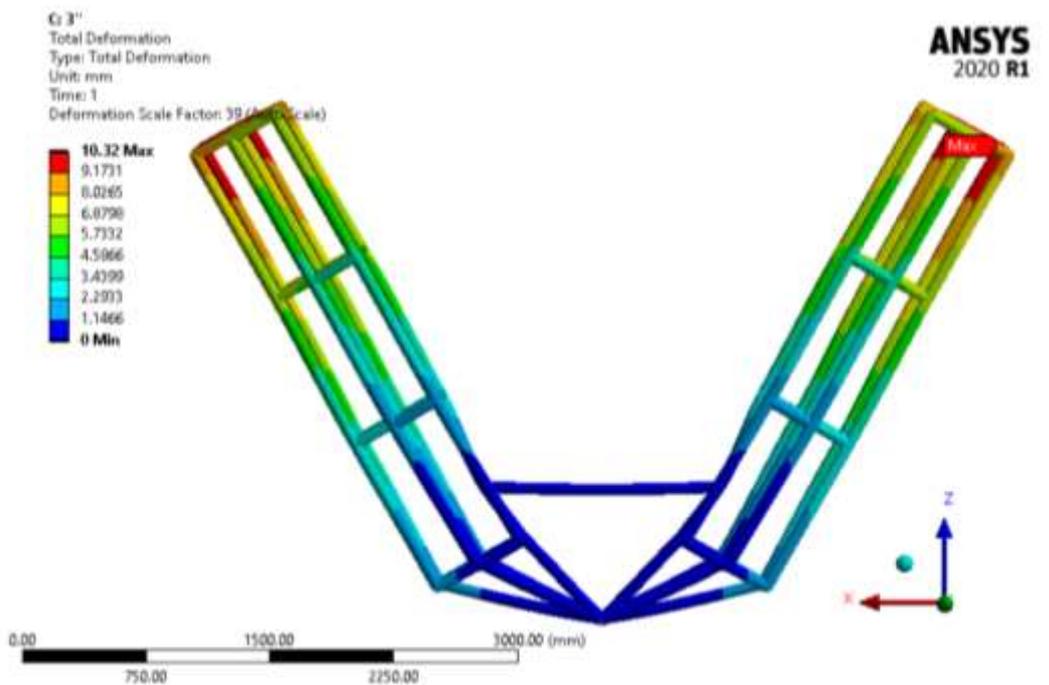
Nota: Máxima fuerza debida a la tensión de los miembros. Los resultados indican que deberá considerarse la fuerza de compresión.

**Figura 22 Esfuerzo equivalente de von-Mises**



Nota: Variación considerable respecto al modelo anterior (260 MPa a 187 MPa).

**Figura 23 Deformación en la superestructura**



Nota: Como efecto de la deformación por compresión se observan 10.3 mm de alteración en la superestructura, aceptables según el factor de seguridad aplicado.

Resumen tercera simulación:

**Tabla 14 Resumen de tercera simulación de prueba**

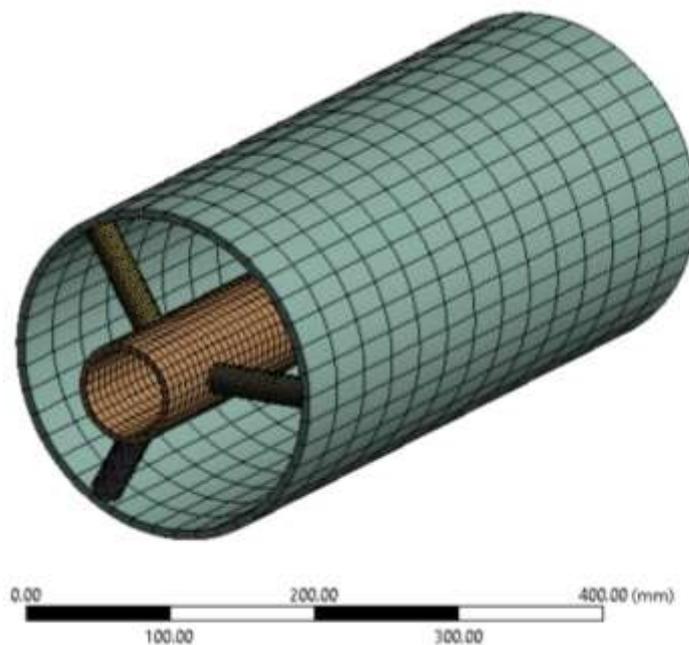
| Indicador            | Valor obtenido      | Estado límite de operación | Factor de seguridad |
|----------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|
| Fuerza axial         | 28703 N<br>-25959 N | N/A                        | N/A                 |
| Esfuerzo equivalente | 187 MPa             | 340 MPa (AISI 304)         | 1.82 "Aceptable"    |
| Deformación          | 10.3 mm             | 10 mm (1/300)              | N/A                 |

Conclusión: Mantener geometría de la tercera simulación. Proceder con detalles de la estructura.

### Diseño estructural de elementos de la superestructura

#### a. Diseño del soporte de flotadores

**Figura 24 Discretización del soporte de los flotadores**



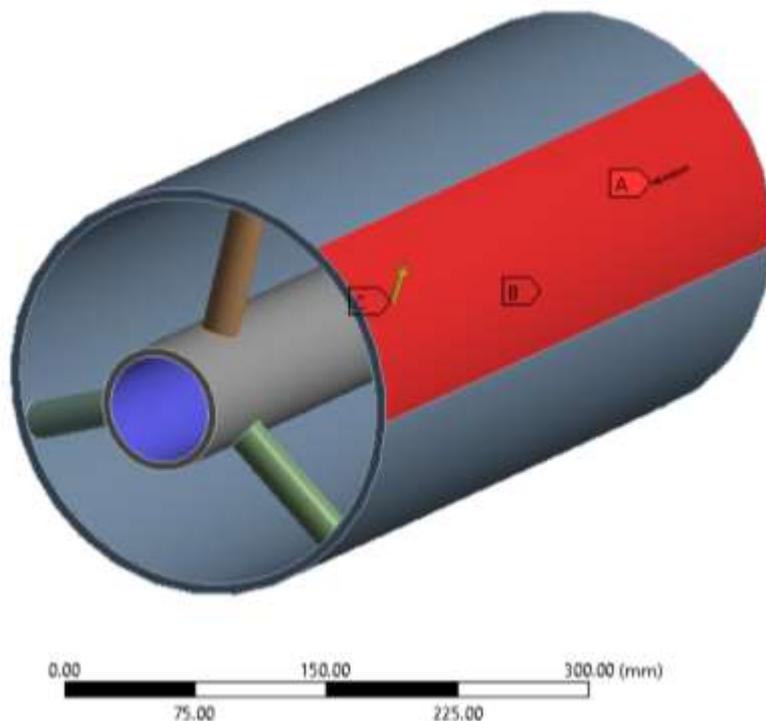
Nota. La discretización del modelo se realizó bajo el criterio de elementos uniformes en todo el dominio computacional.

- Carga en el soporte:  $11280 \text{ N}/6 = 1880 \text{ N}$

- Área de presión:  $2\pi (0.060) (0.450) = 0.1696 \text{ m}^2$
- Porcentaje efectivo de área en presión: 15%
- Área efectiva de trabajo:  $0.025 \text{ m}^2$
- Presión de trabajo: 73.9 KPa

Resultados de carga sometida a presión directa (a 15% del área total)

**Figura 25 Carga en el eje de los flotadores**



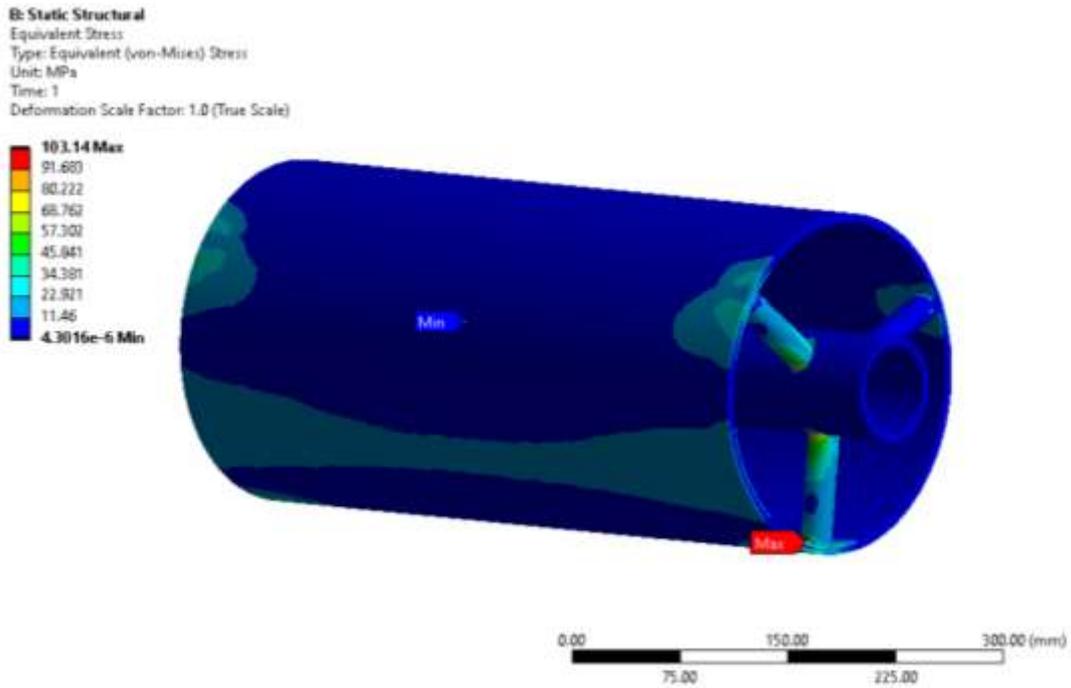
Nota. La zona de rojo representa el lugar geométrico de la presión considerada.

Estudios considerados:

- ❖ Esfuerzo equivalente von-Misses: debido a que el cilindro estará sometido a presión directa por contacto con el flotador.
- ❖ Fatiga: Se espera cargas cíclicas en el equipo, se espera predecir la vida útil del conjunto para su posterior mantenimiento.

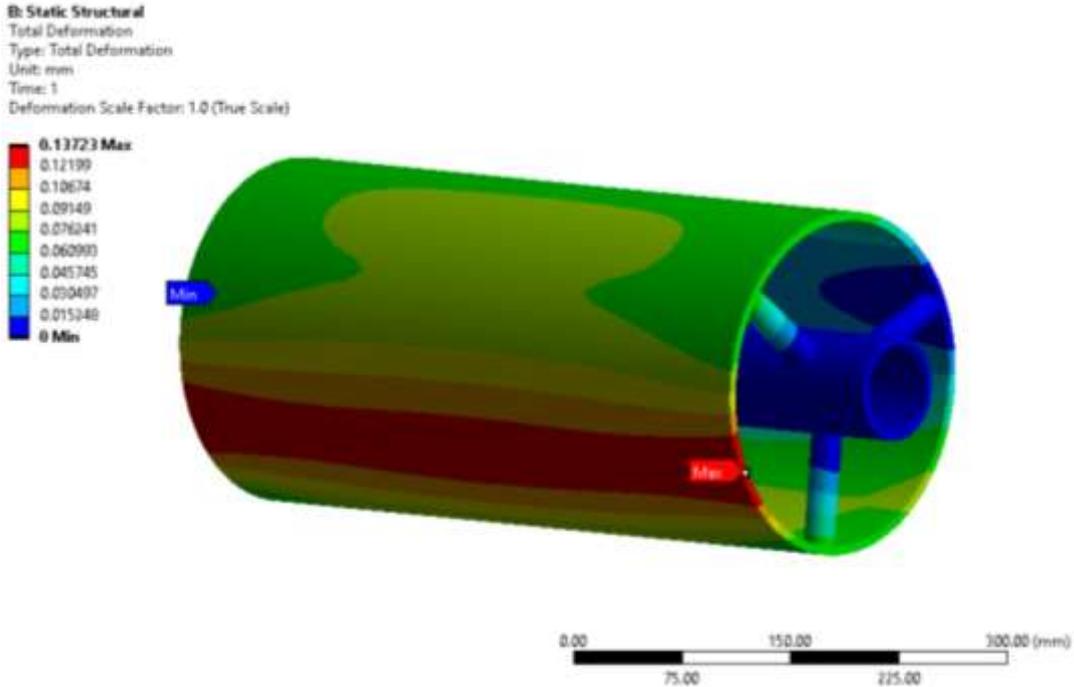
Esfuerzo equivalente von-Misses:

**Figura 26 Esfuerzo equivalente en el eje de los flotadores**



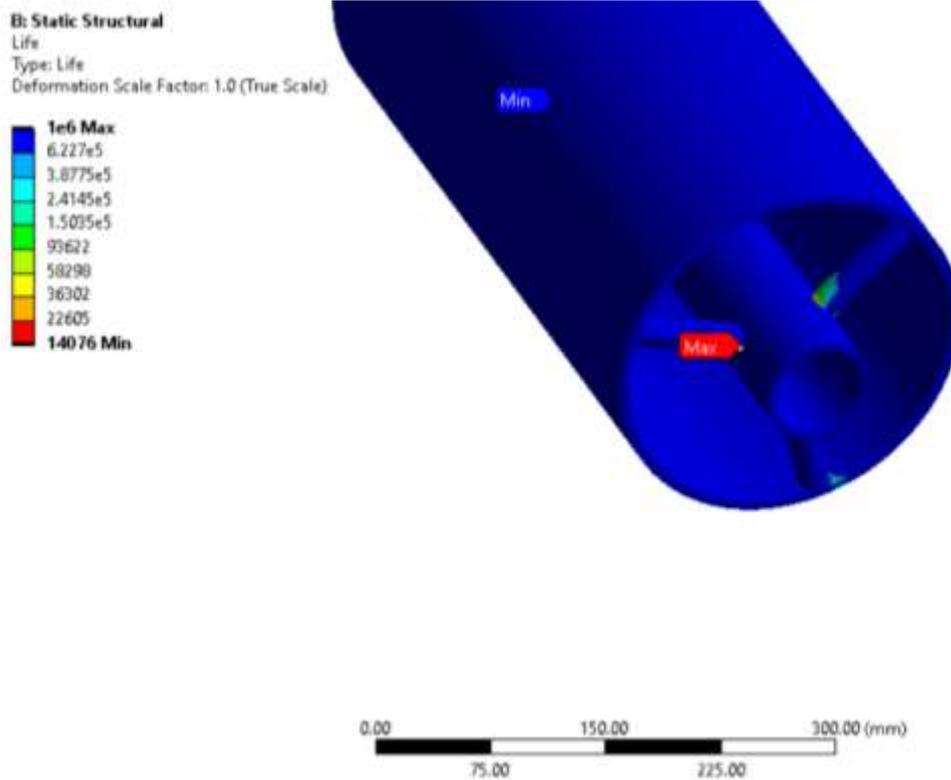
Nota: El esfuerzo máximo hallado fue de 103 MPa.

**Figura 27 Deformación en el eje de los flotadores**



Nota: La deformación máxima fue de  $\Delta = 0.1$  mm en el lado opuesto de la ubicación de la presión considerada.

**Figura 28 Fatiga en el eje de los flotadores**



Nota: Falla por fatiga a 14076 Revoluciones pese a obtener 1/3 del valor límite de esfuerzo equivalente de fluencia.

**b. Selección de elementos secundarios:**

**Elemento de compresión: Cilindro hidráulico**

- Capacidad de carga: 27 KN
- Carrera: 500 mm
- Longitud del cilindro hidráulico: 1200 mm
- Longitud máxima: 1700 mm

**Figura 29 Cilindro hidráulico**



Nota: Modelo 3D del cilindro hidráulico usado en el desarrollo del WEC.

**Rodamientos:**

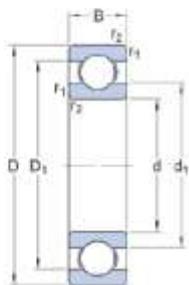
**Figura 30 Rodamiento rígido de bolas 61810**



Nota: Tomado de (<https://www.skf.com/pe>). Los rodamientos se emplearon en el cilindro flotador.

**Figura 31 Especificaciones técnicas del rodamiento rígido de bolas 61810**

Especificación técnica



**DIMENSIONES**

|                  |             |                       |
|------------------|-------------|-----------------------|
| d                | 50 mm       | Diámetro del agujero  |
| D                | 65 mm       | Diámetro exterior     |
| B                | 7 mm        | Ancho                 |
| d <sub>1</sub>   | ≈ 54.67 mm  | Diámetro del resalte  |
| D <sub>1</sub>   | ≈ 60.3 mm   | Diámetro del resalte  |
| r <sub>1,2</sub> | min. 0.3 mm | Dimensión del chaflán |

Nota: Tomado de (<https://www.skf.com/pe>). A partir de la tabla anterior se seleccionó el rodamiento de trabajo

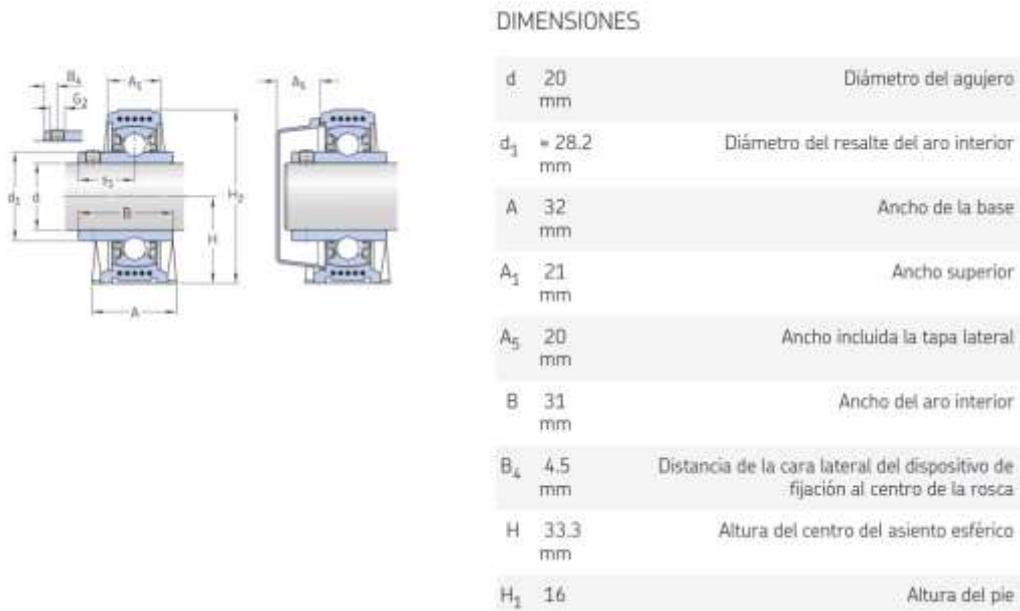
**Chumaceras:**

**Figura 32 Unidad de rodamientos de bolas con soporte de pie-SYK 20 TD**



Nota: Tomado de (<https://www.skf.com/pe>). Las chumaceras se utilizarán en el soporte del eje guía.

**Figura 33 Especificaciones técnicas de rodamientos de bolas con soporte de pie-SYK 20 TD**



Nota: Tomado de (<https://www.skf.com/pe>). A partir de la tabla anterior se seleccionó las chumaceras de trabajo.

### Sistema conversor de torque (unidireccional)

#### Alternativa 1:

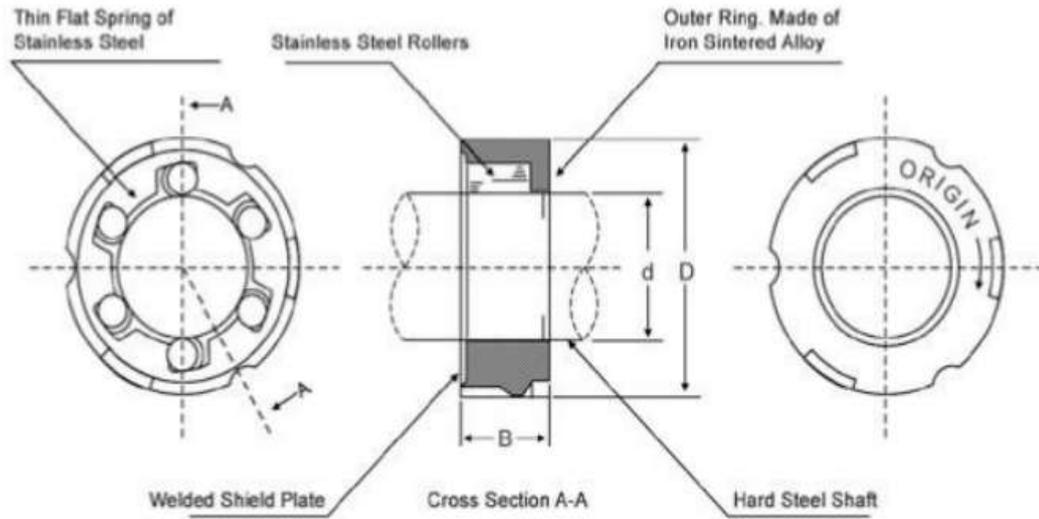
**Figura 34 Sistema trinquete + polea**



Nota: La forma del trinquete permite el movimiento de rotación solo en un sentido dada la presencia de los frenos.

**Alternativa 2:**

**Figura 35 Rodamiento unidireccional**

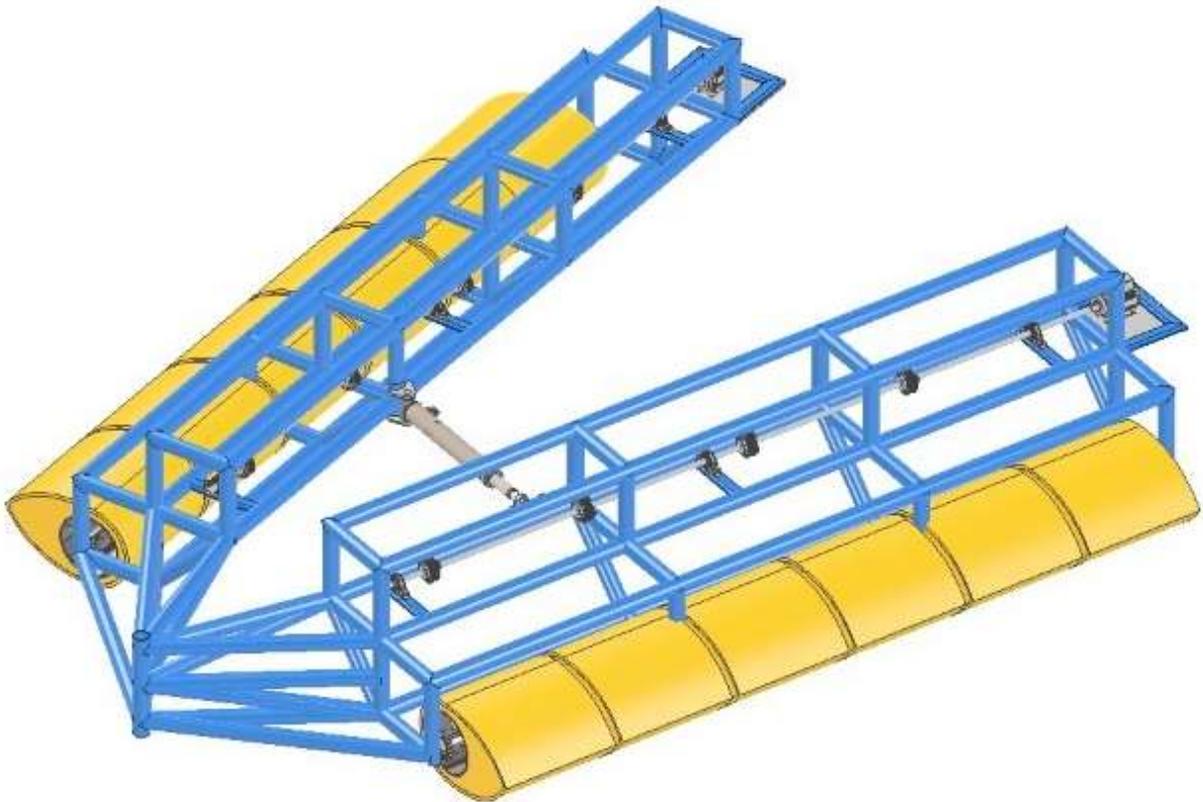


Nota: Tomado de catálogo Boca Bearings. La forma del alojamiento de los rodillos determina el sentido de giro del eje.

**Modelo estructural final**

A continuación, se presenta una representación del modelo estructural WEC.

**Figura 36 Vista isométrica del modelo estructural WEC**



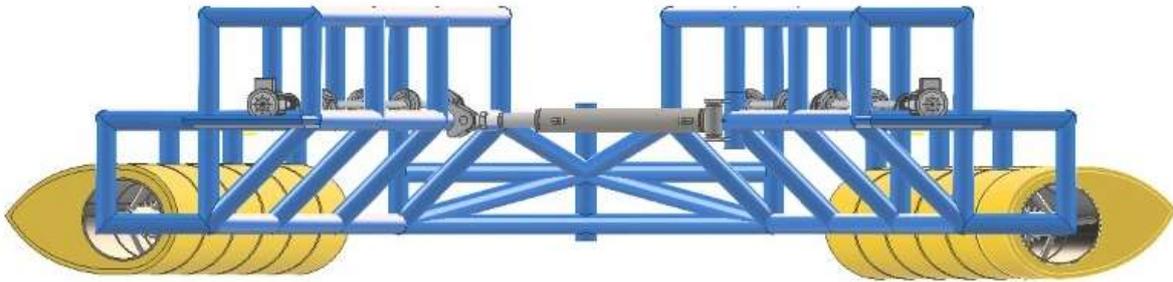
Nota. Vista isométrica del modelo estructural WEC. Se aprecia la posición del cilindro de expansión y en la zona posterior, la posición de los motores.

**Figura 37 Vista frontal del modelo estructural WEC**



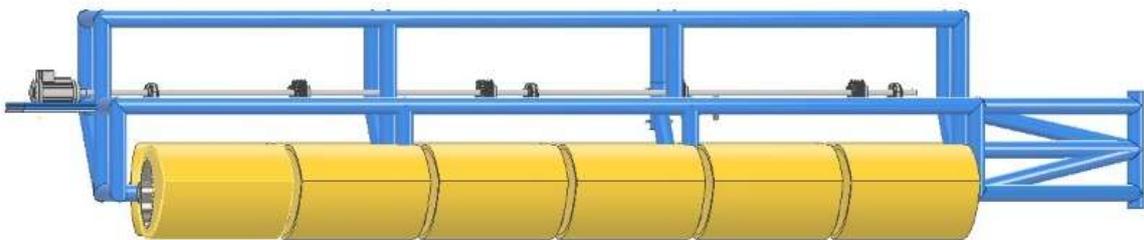
Nota. Vista frontal del modelo WEC. Se aprecia el tubo central de torsión.

**Figura 38 Vista trasera del modelo estructural WEC**



Nota. Vista trasera del modelo estructural WEC. Se aprecia la posición del cilindro hidráulico.

**Figura 39 Vista lateral del modelo estructural WEC**



Nota. Vista lateral del modelo WEC. En esta posición se aprecia la disposición de chumaceras en el eje de potencia y el generador eléctrico.

#### **4.3 Se determinó los parámetros de diseño del mecanismo propuesto a fin de establecer condiciones de operación para su correcto funcionamiento.**

Para la realización de este objetivo, se tomó en cuenta el criterio de simulación desarrollado en el Estado del Arte por J. Wu et Al, Con el fin de obtener y definir parámetros de diseño del mecanismo propuesto a fin de establecer condiciones de operación para su correcto funcionamiento. Estos parámetros fueron la máxima resistencia opuesta por el modelo WEC y las cargas útiles de aprovechamiento

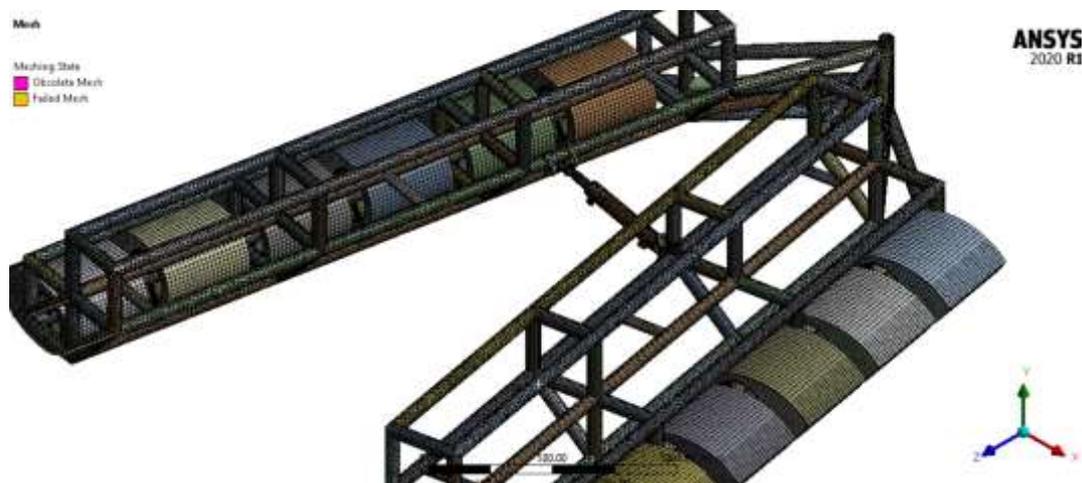
marino. También se consideró importante el estudio del perfil de velocidad en el modelo WEC.

El estudio llevado a cabo para presentar resultados con base a este objetivo se ha presentado a continuación:

## Desarrollo de la memoria de cálculo: Comportamiento fluidodinámico

### Discretización del modelo

**Figura 40 Discretización del modelo WEC**

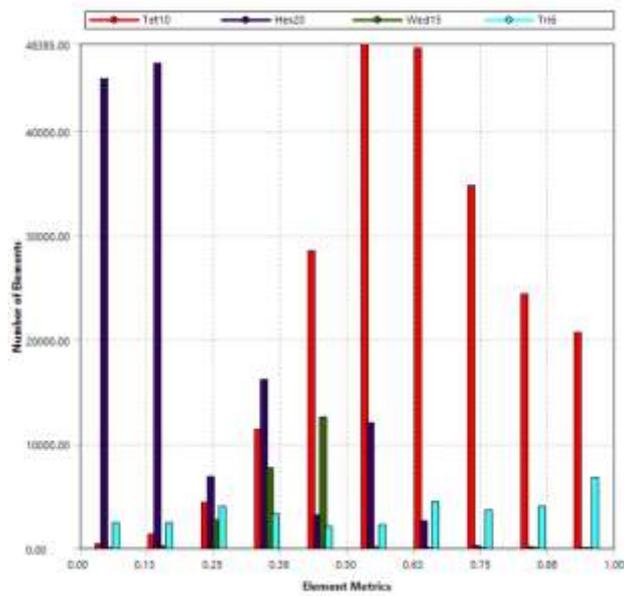


Nota. Representación gráfica del emallado para la simulación dinámica.

Para la simulación dinámica, se tomó en cuenta los siguientes indicadores para el emallado de la estructura en elementos finitos:

- a) Asimetría:

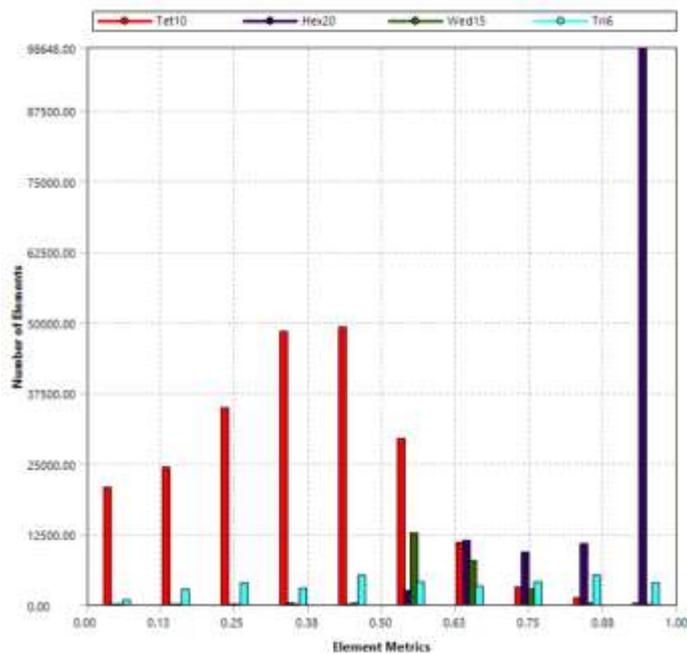
**Figura 41 Control de asimetría en el modelo**



Nota. Las tendencia de elementos tetraédricos hacia 1, valida la creación de la malla en el modelo.

b) Calidad ortogonal:

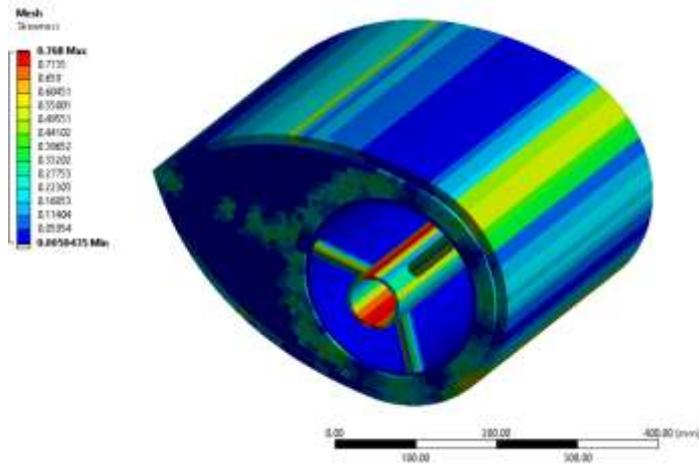
**Figura 42 Control de calidad ortogonal en el modelo**



Nota. Se observa la mayoría de los elementos pasar de 0.13, lo que indica la validez del enmallado.

## Discretización de los flotadores

Figura 43 Discretización de los flotadores

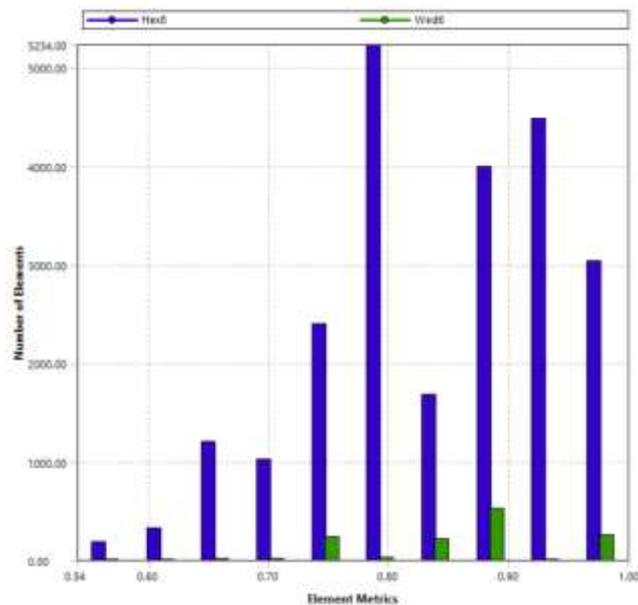


Nota. Se usó el indicador de asimetría para medir el enmallado del modelo 3D. Colores rojos indican alta asimetría.

Para la simulación dinámica, se tomó en cuenta los siguientes indicadores para el enmallado de los flotadores por elementos finitos:

a) Asimetría:

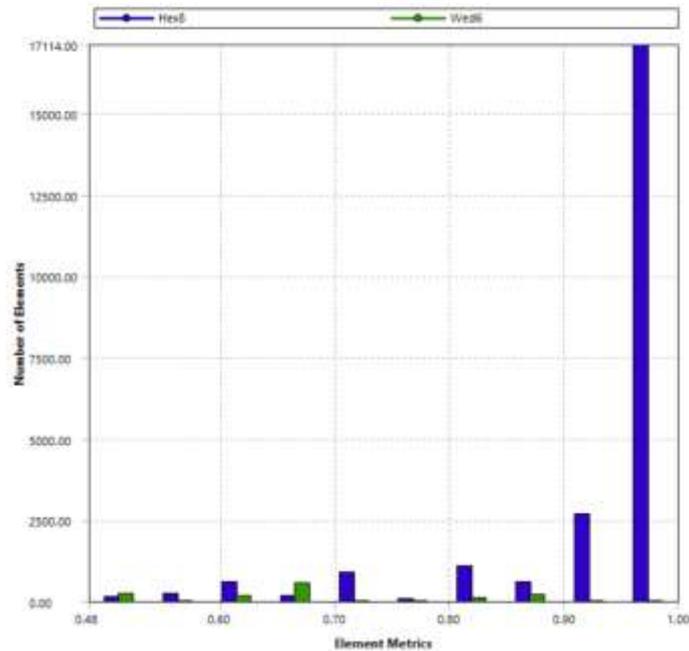
Figura 44 Control de asimetría en el modelo



Nota. La asimetría del modelo sobrepasó de 0.5, lo cual indica buena calidad de malla.

b) Calidad Ortogonal:

**Figura 45 Control de calidad ortogonal en el modelo**

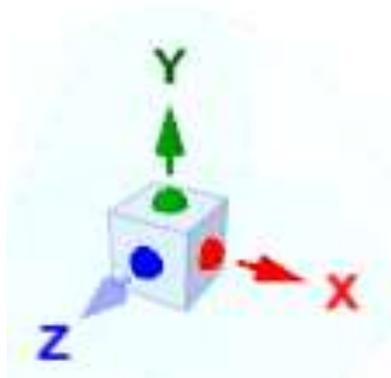


Nota. Se observaron valores altos de calidad ortogonal, lo que indica buena calidad de enmallado.

### Asignación de coordenadas generales de diseño:

Se asignaron las siguientes coordenadas espaciales para las mediciones respectivas:

**Figura 46 Coordenadas generales**



Nota. Se define las coordenadas generales para la visualización de resultados posteriores.

## Simulación fluidodinámica

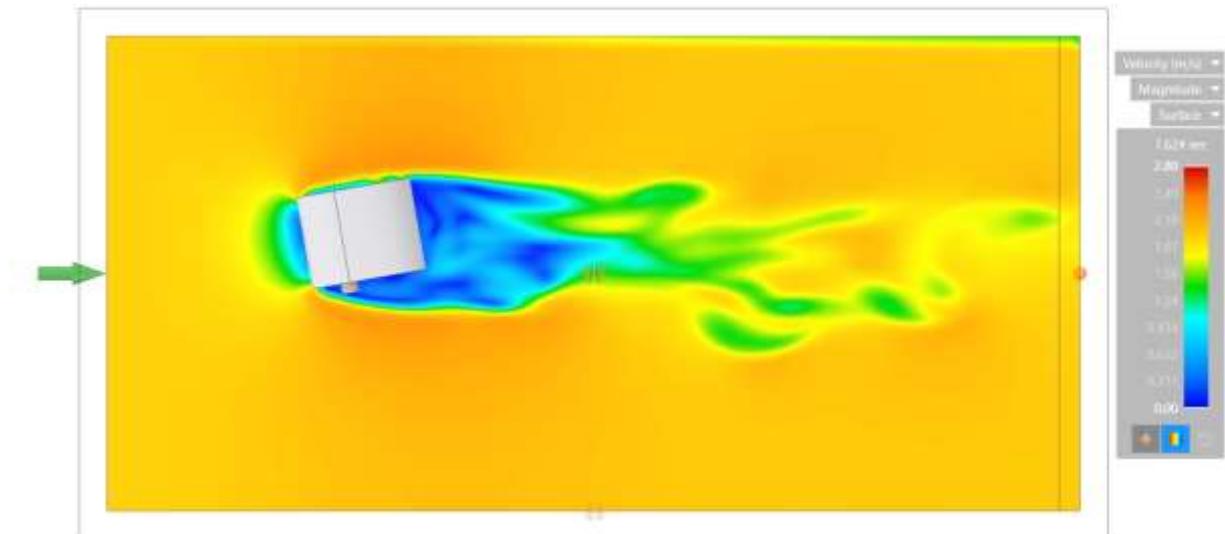
Se realizaron 2 tipos de simulación: Aplicada a un solo flotador, y al conjunto entero. La primera para cuantificar la funcionalidad de un solo flotador y la segunda para medir la influencia del agua y el viento sobre todo el conjunto.

### a) Caso de estudio: Simulación de un solo flotador

La simulación fue llevada a cabo considerando un caudal de agua con 2 m/s en la entrada del sistema aislado, y presión de salida igual a la atmosférica para representar de mejor manera condiciones reales de operación.

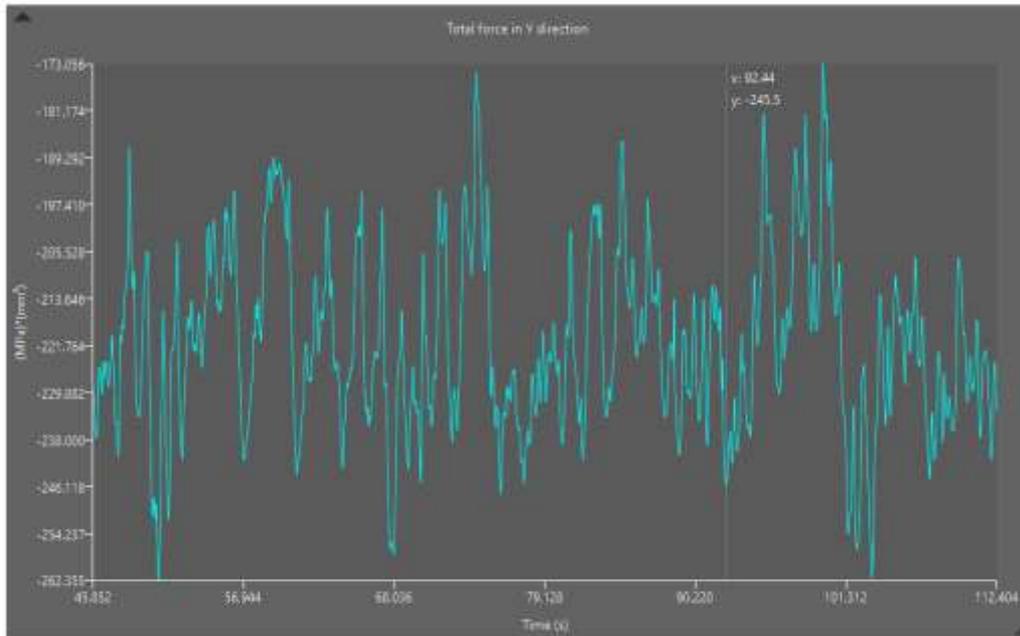
#### Perfiles de velocidad:

**Figura 47 Velocidad en el plano XZ**



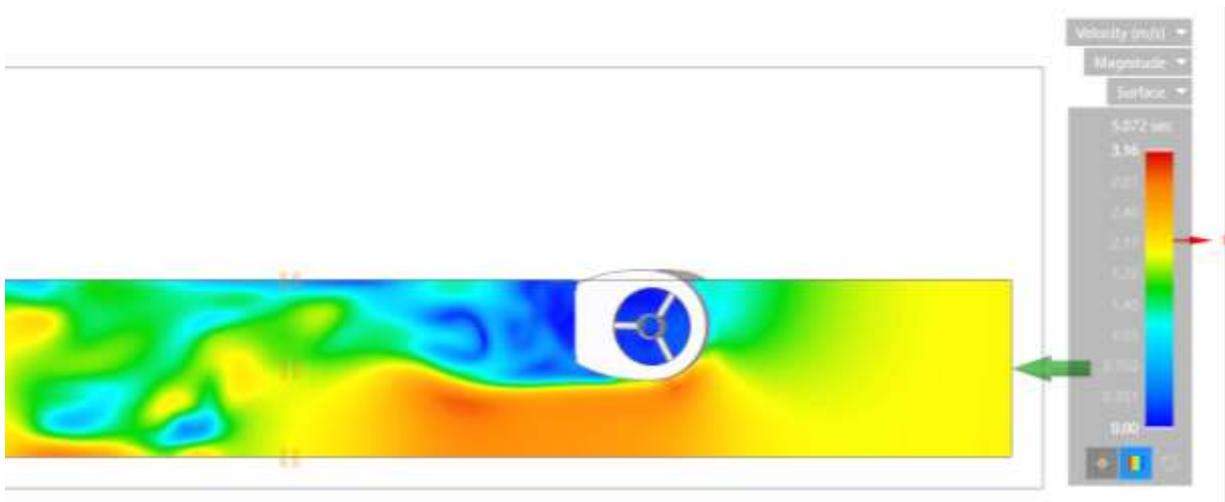
**Nota.** La estela detrás del flotador indica el aprovechamiento energético debido a la caída de velocidad, lo cual verifica la ley de conservación de la energía para nuestro modelo.

**Figura 48 Fuerzas en el eje Y**



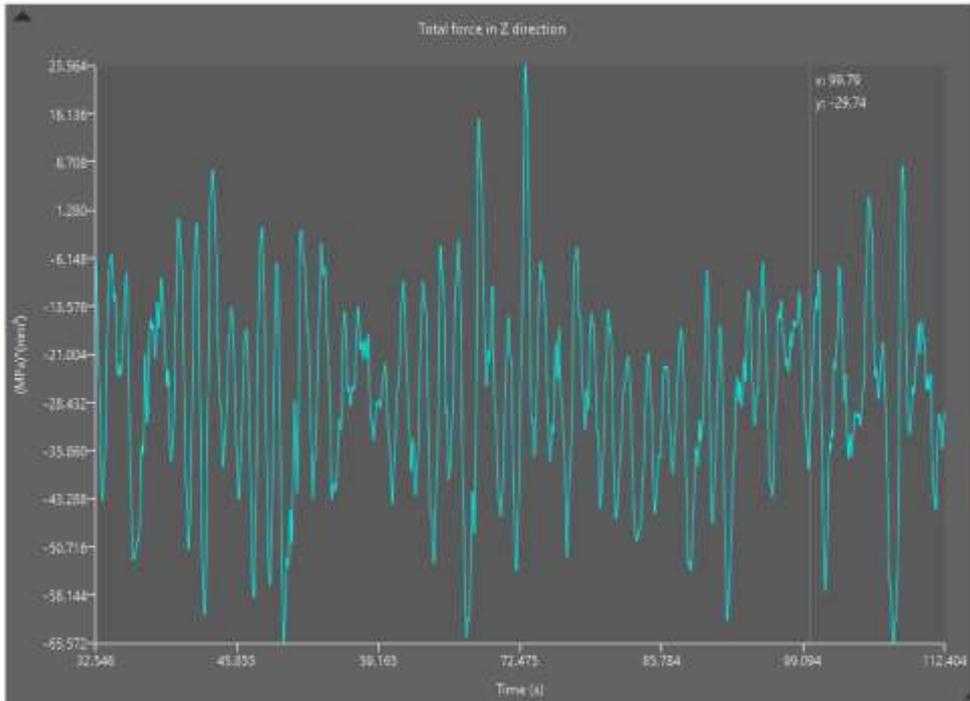
Nota: EL valor promedio de fuerza de sustentación fue de 230 N. Este empuje vertical nos permite determinar el peso del balancín en un flotador

**Figura 49 Velocidad en el plano XY**



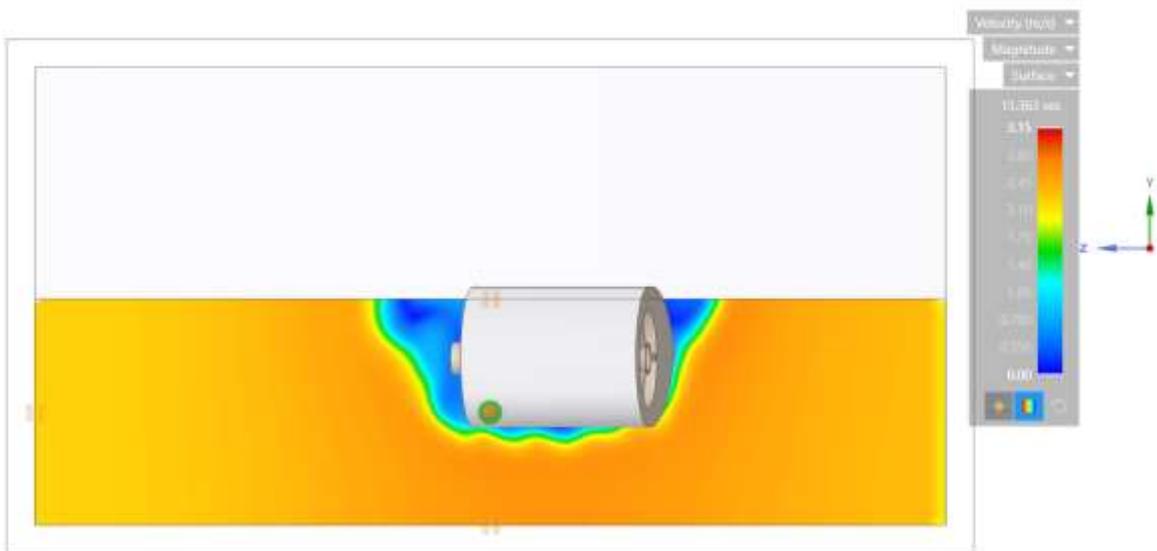
Nota. Se observa la estela en el plano XY indicando la caída de velocidad aprovechada por el flotador. Los vórtices en el flujo indican la transferencia fallida de momento al flotador, concluyendo que la forma dada puede tener mejoras.

**Figura 50 Fuerzas en el eje Z**



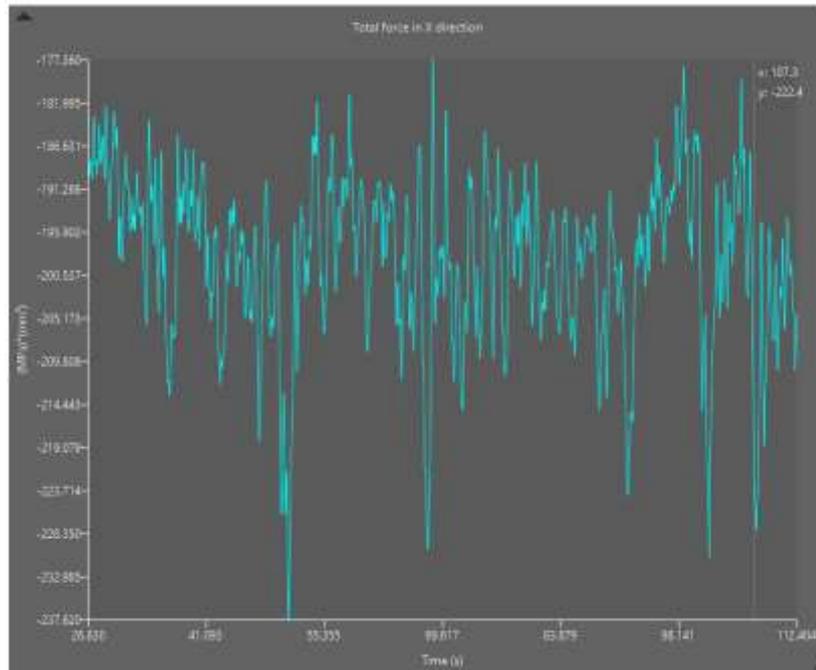
Nota: EL valor promedio de fuerza de arrastre lateral fue de 20 N. Los datos presentados fueron obtenidos para un solo flotador.

**Figura 51 Velocidad en el plano XZ**



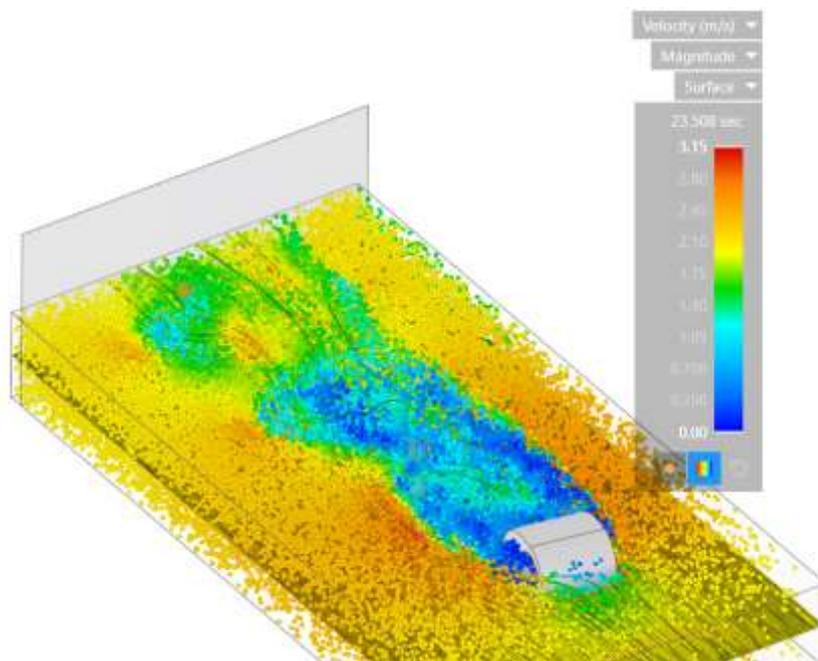
Nota. Perfil de velocidad en el plano XZ, para un solo flotador. Se observa una disminución de velocidad en los laterales del flotador, así también se prevé mayor resistencia al paso en el lado derecho del flotador WEC.

**Figura 52 Fuerzas en el eje X**



Nota: El valor promedio de fuerza de arrastre fue de 195 N. Este gráfico se obtuvo a partir de la simulación en un lapso de 86 segundos (112-26 s)

**Figura 53 Comportamiento del flujo de agua sobre un flotador, siguiendo la metodología de J. Wu et Al, 2017.**



Nota. Representación gráfica de las líneas de corriente en el fluido. La desaceleración tras el flotador indica la ganancia energética de este.

b) Caso de estudio: Simulación del conjunto completo

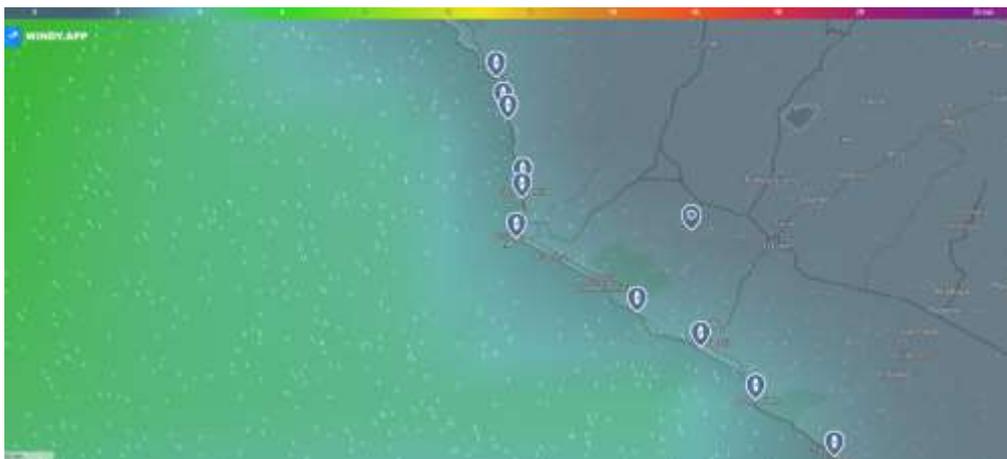
La simulación fue llevada a cabo considerando un valor de velocidad de viento de 16 m/s y un caudal de agua con 2 m/s en la entrada del sistema aislado, y presión de salida igual a la atmosférica para representar de mejor manera condiciones reales de operación en tormentas.

**Figura 54 Perfil promedio de velocidad de viento en Ilo**



Nota. Tomado de ( <https://windy.app/map>). El valor de viento en el puerto de Ilo fue de 4.8 m/s.

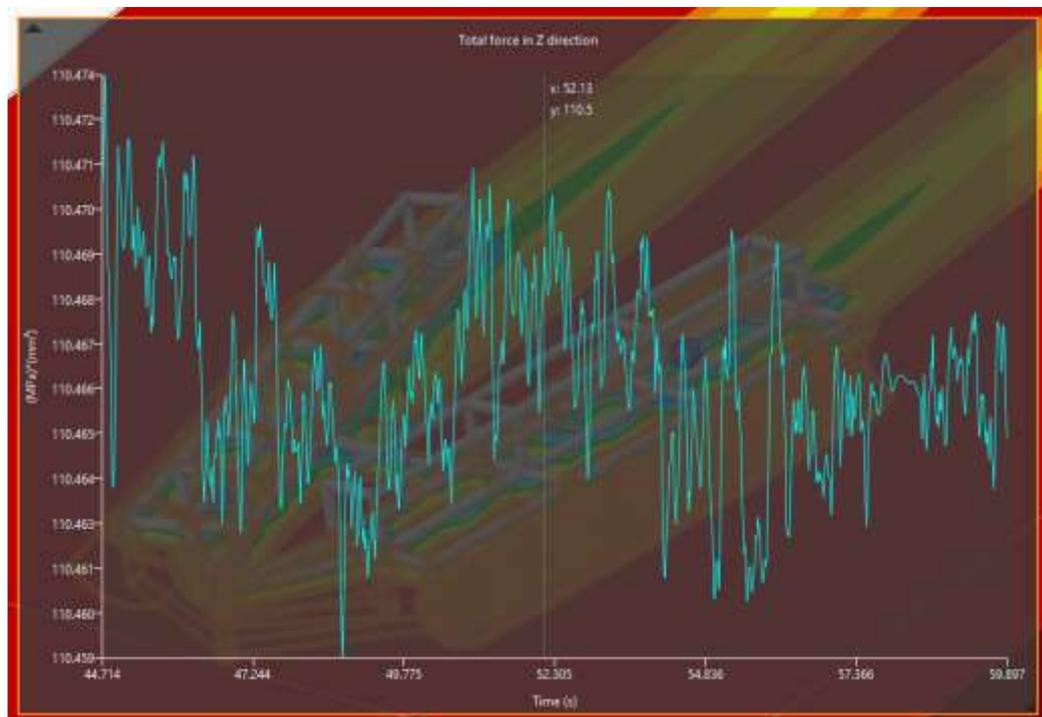
**Figura 55 Perfil promedio de velocidad de viento en Ilo**



Nota. Tomado de ( <https://windy.app/map>). El valor promedio de velocidad de viento en el litoral alcanza los 9 m/s.

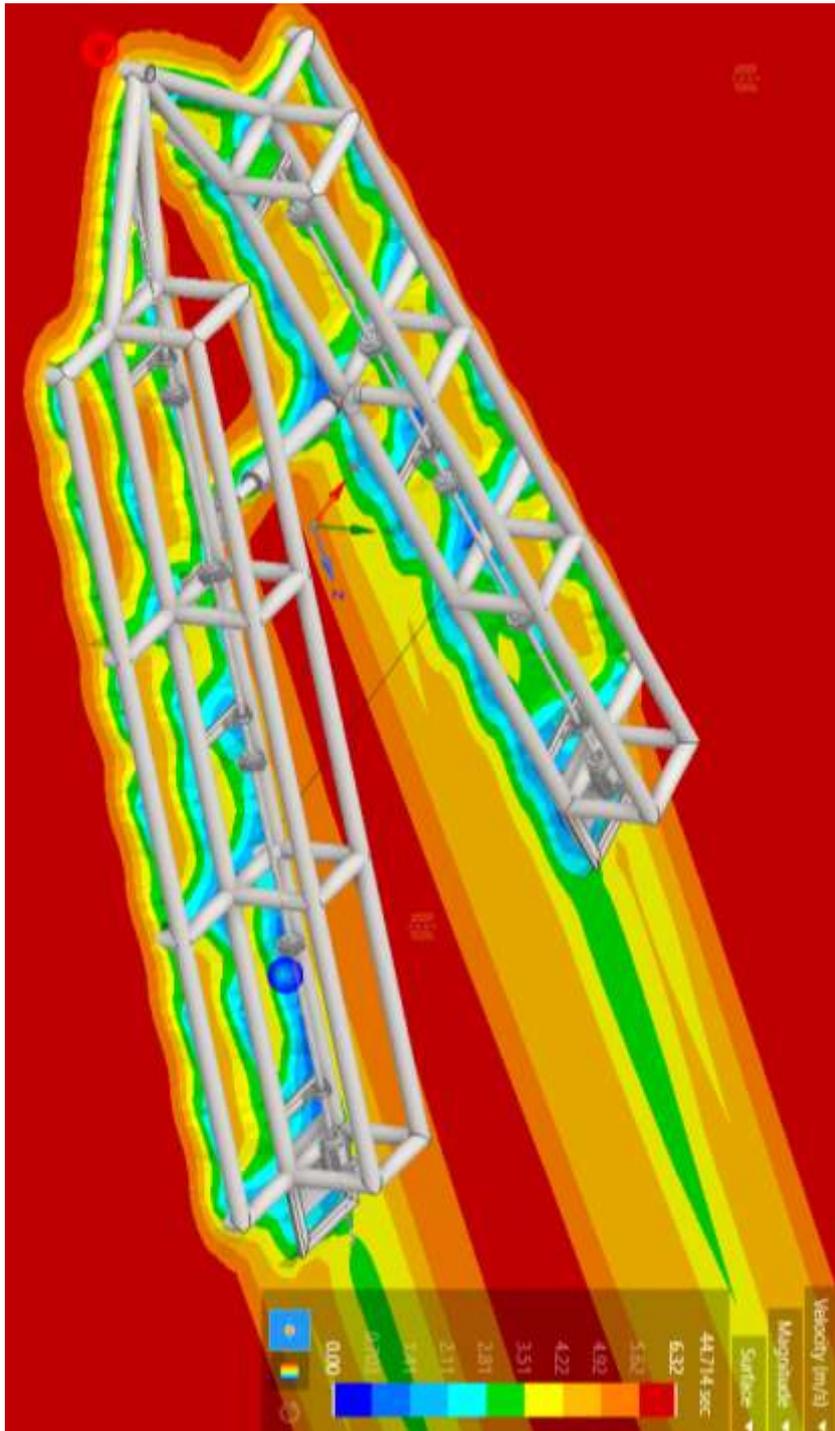
## Simulación de agua en el modelo WEC:

Figura 56 Fuerza total sobre el flotador



Nota. Los valores mostrados corresponden a un modelo a escala simulado bajo el guiado del software debido a restricciones de capacidad computacional. El número adimensional de la simulación fue de 100 a 1. Por lo tanto, el valor de arrastre total promedio fue de 1100 Kg fuerza de arrastre

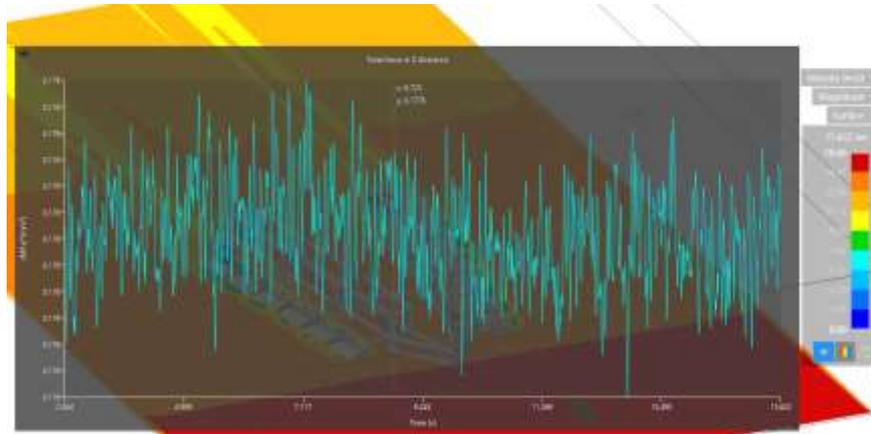
**Figura 57 Simulación computacional del modelo WEC sujeto a aguas de tormenta**



Nota. Se observa arrastre en la estructura totalmente sumergida en el caso de la simulación en condiciones de viento de tormenta. Asimismo, se puede observar velocidades nulas en el contorno mas cercano de la estructura, lo cual verifica la condición de no deslizamiento (velocidad en la pared = cero).

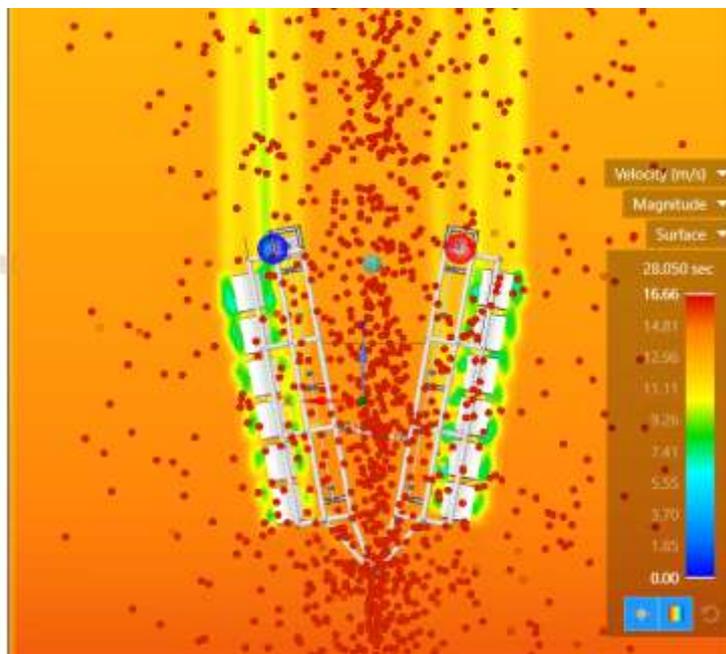
## Simulación de agua en el modelo WEC:

**Figura 58 Fuerza causada por el arrastre debido a vientos de tormenta**



Nota. Los valores mostrados corresponden a un modelo a escala simulado bajo el guiado del software debido a restricciones de capacidad computacional. El número adimensional de la simulación fue de 100 a 1. Por lo tanto, el valor de arrastre total promedio fue de 1700 Kg fuerza de arrastre

**Figura 59 Representación gráfica de los resultados de la simulación**



Nota. La figura nos muestra la distribución típica de partículas de aire. Se observa también la estela causada por el modelo WEC y las diferentes velocidades alcanzadas (16,66 m/s velocidad máxima.)

**Tabla 15 Resumen de simulaciones fluidodinámicas**

| <b>CASO DE ESTUDIO: SIMULACIÓN DE FLOTADOR</b>          |                       |  |
|---|-----------------------|--|
| <b>Indicador</b>  | <b>Valor obtenido</b> | <b>Comentario</b>  |
| Fuerza en eje X   | 195 N                 | Fuerza obtenida debido al arrastre de olas. Útil para calcular el potencial marino.  |
| Fuerza en eje Y   | 230 N                 | Fuerza obtenido debido a la sustentación natural por el flotador. Útil para cuantificar la masa del contrapeso (23.5 kg) en cada lado. |
| Fuerza en eje Z   | 20 N                  | Fuerza obtenida debido al arrastre lateral de los flotadores.  |
| <b>CASO DE ESTUDIO: SIMULACIÓN DE CONJUNTO COMPLETO</b> |                       |  |
| <b>Indicador</b>  | <b>Valor obtenido</b> | <b>Comentario</b>  |
| Arrastre debido a vientos de tormenta (16 m/s)          | 1700 kg               | Arrastre debido a los fuertes vientos de tormenta. El Sujetador del conjunto WEC deberá diseñarse con este valor.                      |
| Arrastre debido a olas de tormenta (2 m/s)              | 1100 kg               | Arrastre debido a olas de tormenta. El Sujetador del conjunto WEC deberá diseñarse con este valor constante.                           |

### **Cálculo del potencial energético del prototipo: Diseño teórico**

- a) Factor  $q$ : se considera la fuerza en el eje Y en el flotador y velocidades incidentes de 2 m/s

$$q = \frac{P_{max}}{N P_{aislado}}$$

Donde:

- $P_{max}$ : Potencia máxima esperada
- $P_{aislado}$ : Potencia capturada por 1 solo flotador

- N: 1 (análisis de 1 solo modelo)

$$P_{aislado} = F * V = 195 N * 2 m/s = 390 W$$

b) Eficiencia de captura de potencia: se tienen 12 flotadores trabajando en conjunto

$$\eta_a = \frac{P_{max}}{L_N P_{aislado}}$$

Donde:

- $P_{max}$ : Potencia máxima esperada
- $P_{aislado}$ : Potencia capturada por 1 solo conjunto
- $L_N$ : 3.00 m (ancho total del arreglo de flotadores)

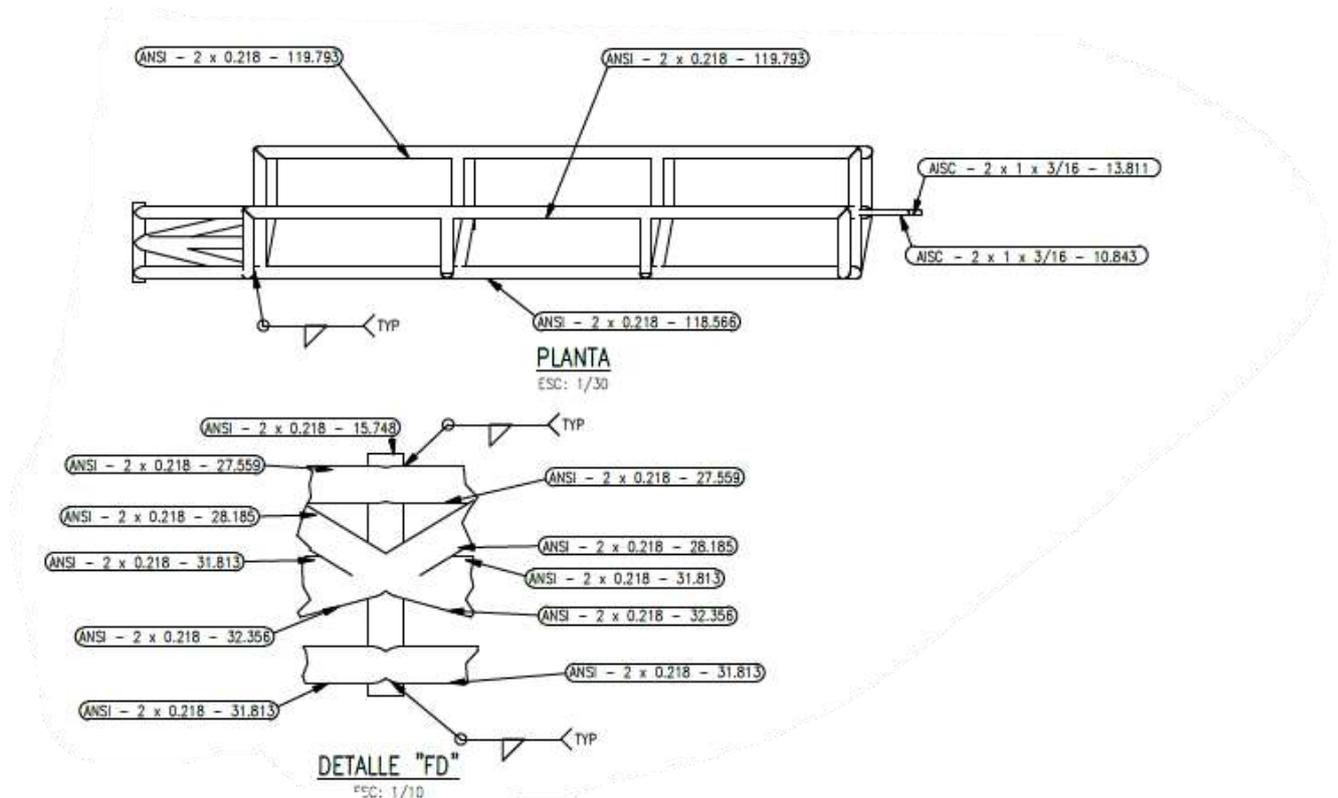
$$L_N P_{aislado} = 390 W * 12 = 4.680 KW$$

#### 4.4 Se elaboró la ingeniería de detalle

Para la realización de este objetivo, se tomó en cuenta el desarrollo completo del software Inventor Autodesk. Con el fin de obtener planos de detalle, planos de fabricación, y vistas generales del modelo, así como la lista de materiales usada para el diseño útil.

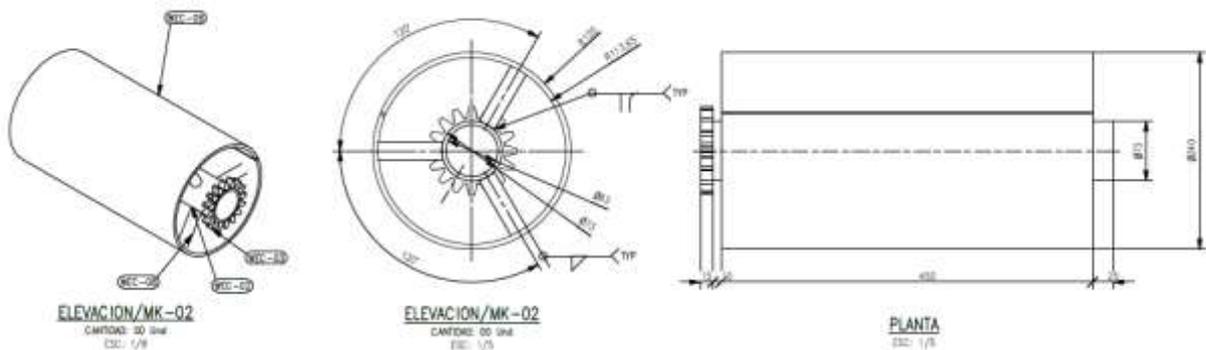
El estudio llevado a cabo para presentar resultados con base a este objetivo cuenta con las imágenes de referencia, presentadas a profundidad en el Anexo 3:

**Figura 60 Esqueleto del modelo WEC**



Nota. Los detalles del modelo WEC se pueden apreciar en los planos de fabricación. Se ha representado la estructura externa de la disposición de tubos estructurales ANSI de 2 pulgadas, y los tubos cuadrados AISC propios del esqueleto del modelo WEC.

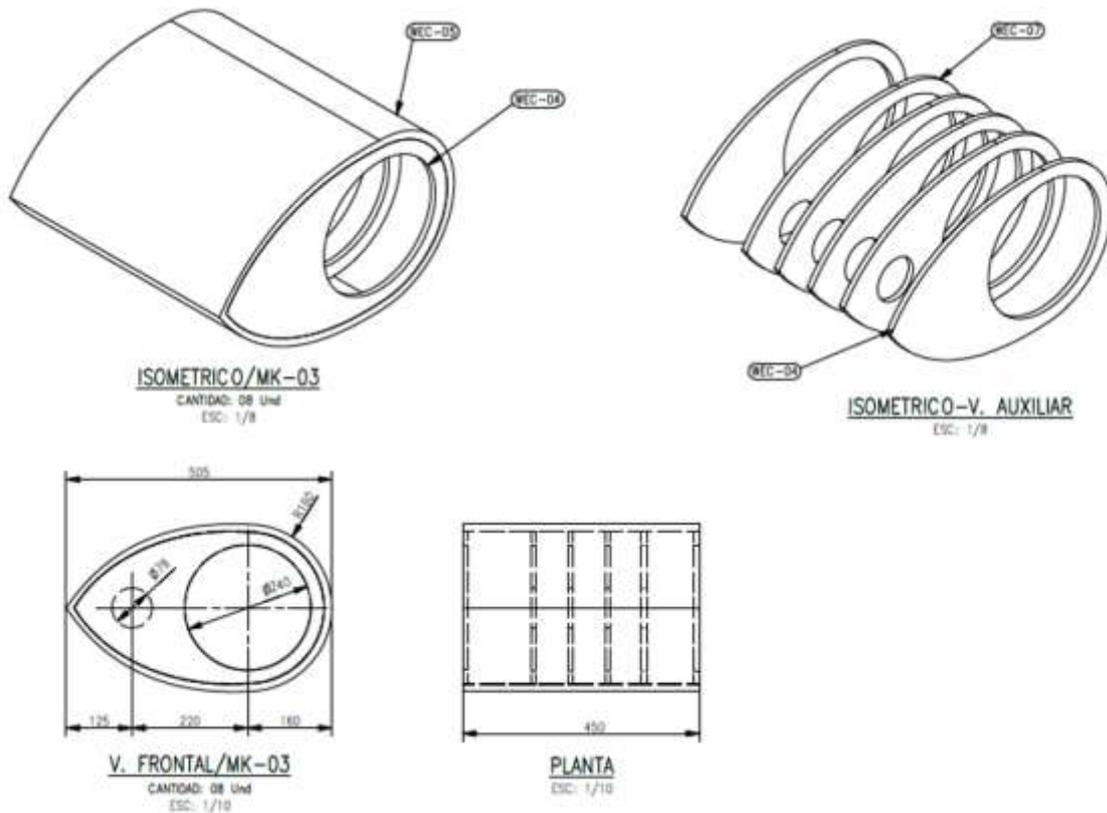
**Figura 61 Ingeniería de detalle del soporte del flotador WEC**



Nota. Los detalles del modelo WEC se pueden apreciar en los planos de fabricación. Se muestra el ensamble del soporte de los flotadores y algunas dimensiones referenciales, así como la simbología de soldadura

dada para las conexiones internas. También se aprecia la polea donde se ubicará la correa.

**Figura 62 Ingeniería de detalle del flotador WEC**



Nota. Los detalles del modelo WEC se pueden apreciar en los planos de fabricación. Se utilizaron 6 flotador huecos, reforzados internamente con 4 siluetas y externamente con 2 siluetas para otorgar rigidez. Se pretende colocar un contrapeso en el espacio hueco de 76 mm de diámetro.

**Objetivo General. Realizar el diseño de un convertidor undimotriz “SALTER’S DUCK” para la generación energía eléctrica en el Puerto de Ilo**

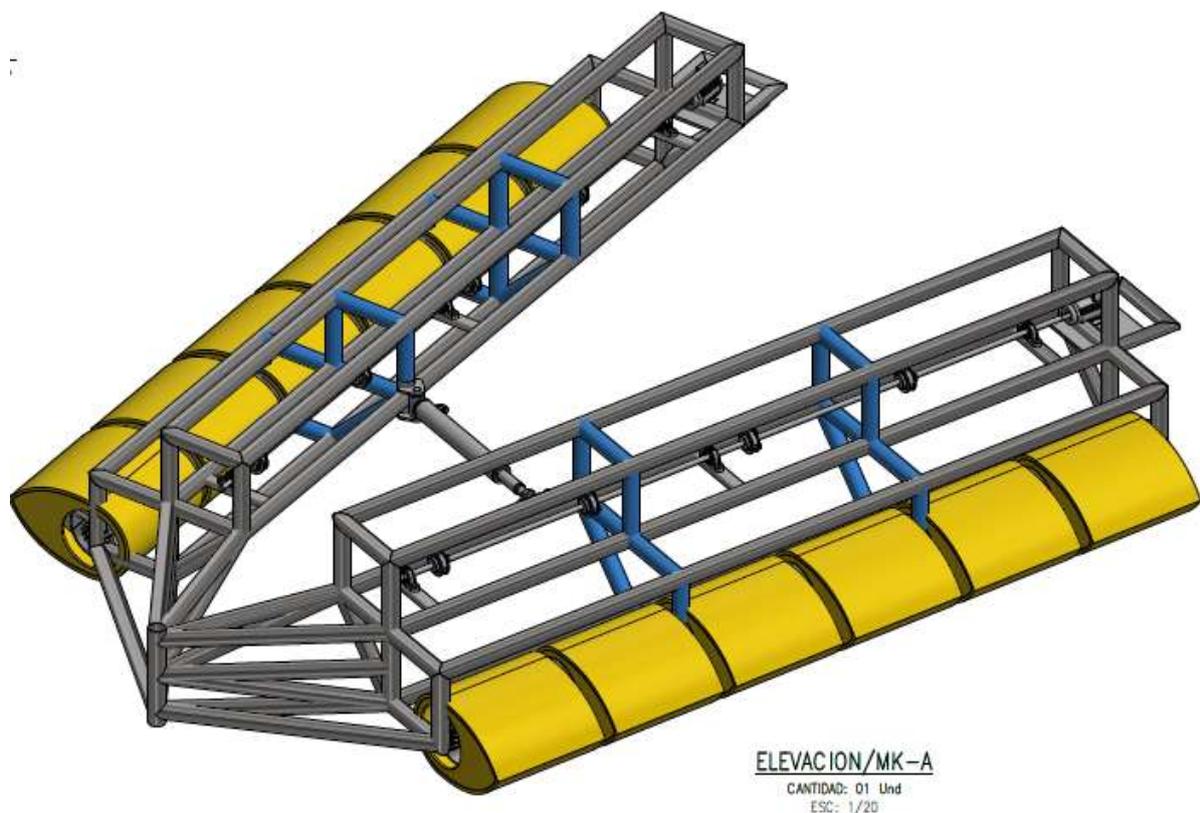
Se realizó el diseño de un convertidor undimotriz “SALTER’S DUCK” para la generación energía eléctrica en el Puerto de Ilo tomando en cuenta las directrices planteadas en los objetivos generales, tanto para justificar técnicamente el modelo, así como para la realización de la determinación del potencial energético del litoral de Ilo. Para el modelo estructural, se llevaron a cabo 3 estudios principales:

-Estudio estructural: Se obtuvo valores de 187 MPa de esfuerzo máximo en la estructura y 10 mm de deformación.

- Estudio Fluidodinámico: Se calculó 4.68 kW de potencia eléctrica útil.

A continuación, se tiene el modelo obtenido por este trabajo de investigación:

**Figura 63 Modelo WEC**



Nota. El ensamble y la fabricación del modelo WEC se puede apreciar en los planos correspondientes a la Ingeniería de detalle. El modelo WEC propuesto cuenta con el uso de 6 flotadores que, debido al movimiento oscilante de olas, hará girar un eje de potencia conectado a un generador eléctrico.

## V. DISCUSIÓN

- Para un solo conjunto propuesto, se obtuvieron perfiles de velocidad, y su variación temporal, bajo condiciones teóricas de simulación (velocidad: 2 m/s y presión de salida del túnel de pruebas = presión atmosférica).
- El perfil de velocidad desarrollado como modelo, ha permitido apreciar la caída de velocidad durante el flujo típico de agua. En términos energéticos, representa el principio de conservación energética y explica la ganancia en energía de los flotadores y la pérdida correspondiente al desacelerar el flujo. Esta caída de velocidad marca el comienzo del aprovechamiento energético en el modelo WEC propuesto. Los datos anteriormente mostrados deben ser contrastados con los modelos de registro de datos oceánicos presentados a continuación. Los datos presentados aquí han sido el modelo de generación de potencia eléctrica, este conjunto doble de flotadores permite alcanzar hasta 4.68 kW de potencia activa en condiciones climáticas leves (vientos despreciables y 2 m/s de velocidad de olas). Sin embargo, esta propuesta teórica debe ser puesta en comparación con los datos de referencia local del puerto de Ilo.
- Para cada una de las localidades anteriormente expuestas, se presentó el valor de potencial hidráulico. El valor más significativo fue encontrado para las playas de gentilares debido a su alto periodo de oscilación de las olas. La teoría planteada para determinar tal valor obedece las ecuaciones de comportamiento dinámico de Rayleigh. Aunque se obtuvo gráficamente pocas variaciones en cuanto a la altura de olas, el parámetro fundamental de operación fue el periodo obtenido de las mediciones hechas por “Premium Waves Innovative Ocean Forecasts”, probablemente por la forma del lecho marino en esta zona geográfica.
- Dentro del alcance del presente trabajo de investigación, se ha planteado mostrar un pequeño comparativo entre trabajos referentes al aprovechamiento energético marino. Esta comparación se lleva a cabo con el fin de discutir los resultados obtenidos durante la investigación:
  - a) Trabajo de investigación: THE EXTENSIVE R & D BEHIND THE WEPTOS WEC; Parámetros de diseño: Potencia eléctrica: 132 kW.

- b) W/m: Diámetro de Rotor: 4.5 kW. Dada la amplia envergadura de la estructura, se tiene una potencia neta de 132 kW, aproximadamente en relación 20 a 1 con nuestro modelo. Esto se debe a la gran eficiencia alcanzada tanto en la forma del dispositivo WEC así como en las dimensiones de la estructura. Este modelo tiene la ventaja de su uso comercial, teniendo gran impacto en aguas europeas dada la naturaleza turbulenta del litoral europeo.
- c) Trabajo de investigación: Diseño de sistema de generación undimotriz para suministrar energía eléctrica al terminal portuario Lambayeque, 2017; Parámetros de diseño: Potencia eléctrica: 55 kW; Nivel de potencia de olas: 51kW/m; Longitud característica: 90 metros de largo. Haciendo un estudio comparativo, se tiene en cuenta el nivel de potencia útil de las olas, 51kW hallados en el terminal portuario Lambayeque y el litoral de Ilo, 25 kW. Aunque el modelo propuesto en su investigación es de naturaleza fija, anclada a la roca, no goza no mucha versatilidad dada la presentación de resultados obtenidos. Además, se tiene una longitud característica amplia, lo cual genera cierto grado de eficiencia en el modelo WEC desarrollado en este trabajo (máxima longitud, 4.5 m.)
- d) Trabajo de investigación: “Diseño de un sistema de generación undimotriz para suministrar la demanda de electricidad del astillero Marypol e.i.r.l. en puerto Salaverry, 2018”; Potencia Eléctrica: 110 kW. Nivel de potencia de olas: 51.3 kW Longitud característica: 25 m. En este trabajo de investigación se llevó a cabo un estudio de instalación de un modelo estático de aprovechamiento energético, el cual, tiene cierta similitud a otro trabajo descrito, se obtuvo 110 kW de potencia energética útil, y también se reportó una longitud máxima de diseño de 25 metros. Frente a este trabajo, el módulo WEC tiene la ventaja de ser modificable y escalable, lo cual lo convierte en una propuesta útil y manejable.
- e) Trabajo de investigación: “Generación undimotriz para mejorar el suministro de energía eléctrica en la playa costanera- huanchaco” Potencia Eléctrica: 7.2 kW Nivel de potencia de olas: 683 kW/m. Longitud característica: 25 m. El trabajo desarrollado cuenta con un alto valor de nivel de potencia de olas, un valor bastante elevado para el característico

del litoral peruano, sin embargo, se tiene que, el valor de potencia eléctrica útil, capturado por la propuesta es similar al prototipo WEC.

f) Trabajo de investigación: "Diseño de una central undimotriz para la generación de energía eléctrica en la ciudad de Mollendo"

Potencia Eléctrica: 13.34 MW; Nivel de potencia de olas: No especifica; Turbina característica: Kaplan. El desarrollo de este proyecto de investigación se basa en la mecánica de fluidos de turbomáquinas. Al igual que en el presente trabajo de investigación, se obtuvo un valor teórico razonable. El presente trabajo consta de la instalación de turbinas Kaplan de alta eficiencia.

- Los valores presentados en la ingeniería de detalle son representativos de los prototipos WEC si tuvieran que construirse "mañana" en pequeñas cantidades. Estos números no incluyen ninguna suposición con respecto a las curvas de aprendizaje, producciones a gran escala, beneficios potenciales de una mayor optimización de control de toma de fuerza y otros, ni otras proyecciones optimistas.
- Para las cuatro ubicaciones diferentes, para las cuales se realizan estimaciones de producción de energía se ha asumido un tamaño estándar de prototipo WEC dada la capacidad energética constructiva de un solo modelo. El tamaño de un WEC y el nivel de potencia de las olas de los lugares de implementación aumentarán con el tiempo y la experiencia, aunque no necesariamente están correlacionados. No se han incluido Weptos WEC con más de 12 rotores. Sin embargo, estos también serán potencialmente parte de su desarrollo posterior.
- El tamaño de un WEC se caracteriza principalmente por el diámetro del rotor. Se utilizó un diámetro de rotor de 1.5 m para el modelo de demostración en teoría, para el cual se han realizado la mayoría de las pruebas del modelo.
- Una ubicación potencial para un comercial WEC podría estar en el Litoral del puerto de Ilo, específicamente en la playa de Gentilares con un diámetro de rotor de 1.5 m (aumento del 10 %) o en la playa de Wawakiki (aumento del 5 %). La capacidad del generador se ha elegido teniendo en cuenta los requisitos técnicos del WEC y con el fin de optimizar el valor específico de potencia resultante.

- Las condiciones de las olas varían según las ubicaciones, pero como la mayoría de las pruebas del modelo y los estudios de diseño se dirigieron a la playa de Gentilares, que tiene condiciones de olas de alto potencial energético, se supuso que la escala de la estructura era suficiente (y muy probablemente mínima). Por lo tanto, se asume que el diseño estructural, que corresponde indirectamente a la mayor parte del Batidor de la máquina, es conservador.
- Las principales características de la producción de energía fueron:
  - Baja relación promedio a pico durante la producción de energía. Esto se debe a la forma especial de los flotadores de la estructura, que naturalmente suaviza la producción de potencia al desfasar la potencia absorbida por los diferentes rotores, y al sistema de toma de fuerza bidireccional, que transfiere la potencia de los rotores en cualquier movimiento hacia arriba o hacia abajo.
  - El alto factor de carga, que es la relación entre la producción de energía promedio anual y la capacidad instalada del generador, se debe a la baja relación pico-promedio de producción de energía y al ángulo de apertura adaptable del WEC, que permite regular la cantidad de la energía de las olas entrantes. Se utilizará un ángulo de apertura mayor (hasta 90°) en condiciones de olas pequeñas, lo que maximiza el ancho expuesto, mientras que este se reduce gradualmente con condiciones de olas crecientes, cuando se alcanza la capacidad instalada del sistema generador (y por lo tanto la energía de las olas).
  - La escala del WEC se puede adaptar para optimizar la producción de energía y el potencial energético útil en una ubicación específica. Tal es el caso del litoral de Ilo, que a pesar de que las mediciones fueron llevadas a cabo en zonas cercanas, se obtuvo diferentes valores en la longitud de onda (variaciones de hasta 100 m). Esto corresponde principalmente a tener el tamaño de rotor correcto para las condiciones de ola correspondientes. En general, se puede suponer que cuanto más grande es el rotor, mayor es su capacidad de absorción de ondas.

## VI. CONCLUSIONES

1. Con respecto al objetivo general, se logró realizar el diseño de un convertidor undimotriz “Salter’s duck” para la generación de energía eléctrica en el Puerto de Ilo. Para ello se realizaron todos los cálculos necesarios y mediante un proceso de prueba y error delimitado por parámetros climatológicos, factores técnicos de diseño geométrico y factores de seguridad sobre resistencia estructural se pudo calcular el potencial energético del prototipo, concluyendo con un diseño óptimo y viable, que permite generar energía eléctrica bajo las condiciones climáticas del Puerto de Ilo.
2. Se cuantificó el potencial energético undimotriz del puerto de Ilo para el prototipo planteado y se halló el potencial energético en términos de longitud de onda y periodo de oscilación considerando ecuaciones de diseño teóricas, para cuatro localidades en específico. Estas cuatro localidades fueron: Playa Gentilares, Playa Wawakiki, Playa Tres Hermanas y Playa Boca del rio; y se calculó 27.6 kW, 19.8 kW, 22.9 kW, y 23.6 kW como potencial energético undimotriz, respectivamente.
3. Se realizó la valoración técnica referida al comportamiento fluidodinámico del prototipo considerando como máximo ángulo de inclinación 150°. Mediante una aproximación de cargas de diseño se obtuvo como carga factorizada el valor de 2070kgf (11280N). Desarrollando 3 casos de estudio de simulación estructural se logró un diseño geométrico óptimo con un factor de seguridad aceptable de 1.82, para lo que fue necesario realizar cálculos de Fuerza Axial, Esfuerzos de von-Misses y de deformación en la superestructura.
4. Se determinaron los parámetros de diseño del mecanismo propuesto, obteniendo un funcionamiento seguro bajo condiciones adversas con 16 m/s de velocidad de viento y 2 m/s de velocidad de las olas, ya que se consideraron condiciones de frontera para garantizar la seguridad en el diseño del equipo. Obteniendo en condiciones normales de operación una potencia útil de 390W por flotador y una potencia de 4,68 kW del prototipo completo.

5. Se realizaron planos de ensamble sobre vistas generales del prototipo, planos de despiece para el proceso de ensamblaje y planos de fabricación de cada pieza. Consiguiendo finalizar el proyecto con la ingeniería de detalle conformada por una superestructura de dos brazos con tubos rectangulares y circulares, sistema de bloqueo automático conformado por mecanismo de trinquete y polea, cilindro hidráulico, flotadores huecos reforzados internamente con 4 siluetas y externamente con 2 siluetas y un contrapeso en el espacio hueco de 76 mm de diámetro.

## VII. RECOMENDACIONES

1. Para futuras investigaciones de energía undimotriz se recomienda considerar incrementar la cantidad de flotadores para obtener mayor generación de energía eléctrica.
2. Se recomienda el uso de fuentes científicas fiables para obtener parámetros fiables en la cuantificación del potencial energético renovable.
3. Para futuras investigaciones se recomienda considerar condiciones climatológicas adversas o de frontera al momento de realizar simulaciones de resistencia estructural para poder determinar de forma apropiada las mejoras que correspondan.
4. Se recomienda apoyarse con el uso de softwares de ingeniería que permitan facilitar el cálculo de parámetros de diseño a fin de establecer correctas especificaciones de operación.
5. Se recomienda realizar planos en base a normas internacionales con objeto de contar con documentos estandarizados para la fabricación de elementos necesarios en la construcción del prototipo.

## REFERENCIAS

- [1] Salter SH. Wave power. *Nature* 1974; 249:720–724.
- [2] Cruz J. Ocean wave energy current status and future perspectives. Springer: Berlin, Germany, 2018.
- [3] Salter SH. Apparatus and method for extracting wave energy. U.S. Patent 3928967, 1975.
- [4] Pizer D. Numerical modeling of wave energy absorbers. University of Edinburgh: Edinburgh, 741 UK, 1994.
- [5] Wu J, Yao YX, Li W, Zhou L, Göteman M. Optimizing the performance of solo duck wave energy converter in tide. *Energies* 2017;3(10):289.
- [6] Lucas J, Salter S, Cruz J, Taylor J, Bryden I. Performance optimisation of a modified Duck through optimal mass distribution. In: *Proceeding of 8th European wave and tidal energy conference; 2009 [Uppsala, Sweden]*.
- [7] Cruz J, Salter S. Numerical and experimental modelling of a modified version of the Edinburgh Duck wave energy Duck. In: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment* 2016;220(3):129–47.
- [8] Filtzgerald C, Thomas G. A preliminary study on the optimal formation of an array of wave power Ducks. In: *Proceedings of the 7th European wave and tidal energy conference; 2017 [Porto, Portugal]*.
- [9] Wolgamot HA, Taylor PH, Eatock Taylor R. 2012. The interaction factor and directionality in wave energy arrays. *Ocean Eng* 2012;47:65–73.

- [10] Göteman M, Engström J, Eriksson M, Isberg J. Optimizing wave energy parks with over 1000 interacting point-absorbers using an approximate analytical method. *Int J Mar Energy* 2015;10:113–126.
- [11] Kara F. Time domain prediction of power absorption from ocean waves with wave energy converter arrays. *Renew Energy* 2016;92:30–46.
- [12] Khojasteh D, Kamali R. Evaluation of wave energy absorption by heaving point absorbers at various hot spots in Iran seas. *Energy* 2016;109:629–640.
- [13] Sarkar D, Renzi E, Dias F. Wave farm modelling of oscillating wave surge converters. In: *Proceedings of the Royal Society A* 2014;470:20140118.
- [14] Noad IF, Porter R. (2015). Optimisation of arrays of flap-type oscillating wave surge converters. *Appl Ocean Res* 2015;50:237–253.
- [15] Boyd S, Vandenberghe L. *Convex Optimization*, Cambridge University Press: New York, 790 USA, 2014.
- [16] Ansys Inc. *AQWA Reference Manual* 2022.
- [17] Renzi, E., Dias, F., 2012. Resonant behaviour of an oscillating wave energy converter in a channel. *J. Fluid Mech.* 701, 482–510.
- [18] Ruellan, M., BenAhmed, H., Multon, B., Josset, C., Babarit, A., Clement, A., 2010. Design methodology for a SEAREV wave energy converter. *IEEE Trans. Energy Convers.* 25 (3), 760–767.
- [19] Sarmiento, A.J.N.A., Falcao, A.F.d.O., 1985. Wave generation by an oscillating surface-pressure and its application in wave-energy extraction. *J. Fluid Mech.* 150, 467–485.

- [20] Standing, M., 1980. Use of potential flow theory in evaluating wave forces on offshore structures. In: Count, B. (Ed.), *Power from Sea Waves*. Academic Press, London.
- [21] Yemm, R., Pizer, D., Retzler, C., 2018. The WPT-375—a nearshore wave energy converter submitted to Scottish Renewables Obligation 3, 1998. In: *3rd European Wave Energy Conference*, vol. 2, Greece, pp. 243–249.
- [22] Yemm, R., Pizer, D., Retzler, C., Henderson, R., 2016. Pelamis: experience from concept to connection. *Philos. Trans. Roy. Soc. A: Math. Phys. Eng. Sci.* 370 (1959), 365–380.
- [23] Jahangir MH, Hosseini SS, Mehrpooya M. A detailed theoretical modeling and parametric investigation of potential power in heaving buoys. *Energy* 2018;154:201e9. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.107>.
- [24] Zheng S-M, Zhang Y-H, Zhang Y-L, Sheng W-A. Numerical study on the dynamics of a two-raft wave energy conversion device. *J Fluid Struct* 2015;58: 271e90. <https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2015.07.008>.
- [25] Zhang H, Xu D, Liu C, Wu Y. Wave energy absorption of a wave farm with an array of buoys and flexible runway. *Energy* 2016;109:211e23. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.04.107>.
- [26] Lisboa RC, Teixeira PRF, Fortes CJ. Numerical evaluation of wave energy potential in the south of Brazil. *Energy* 2017;121:176e84. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.001>.
- [27] Ning D, Wang R, Chen L, Sun K. Experimental investigation of a land-based dual-chamber OWC wave energy converter. *Renew Sustain Energy Rev* 2019;105:48e60. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.043>.

- [28] Younesian D, Alam MR. Multi-stable mechanisms for high-efficiency and broadband ocean wave energy harvesting. *Appl Energy* 2017;197:292e302. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.04.019>.
- [29] Zhang H, Xi R, Xu D, Wang K, Shi Q, Zhao H, et al. Efficiency enhancement of a point wave energy converter with a magnetic bistable mechanism. *Energy* 2019;181:1152e65. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.008>.
- [30] Zhang X, Yang J, Xiao LBT-I. Numerical study of an oscillating wave energy converter with nonlinear snap-through power-take-off systems in regular waves. *J Ocean Wind Energy* 2014;1:225e30.
- [31] PEIRANO, B. Evaluación y Diseño de una Central de Generación Eléctrica con Tecnología Power Buoy. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil 95
- [32] Leão Rodrigues, Wave power conversion systems for electrical energy production, Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology Nova University of Lisbon.
- [33] BOUD 2006. Cost Estimation Methodology. The Marine Energy Challenge approach to estimating the cost of energy produced by marine energy systems. Documento elaborado para The Carbon Trust por ENTEC, UK.
- [34] Cruz, J; Thomson, M D; Stavroulia E. Preliminary site selection- Peruvian marine energy resources. s.l. : Garrad Hassan, 2009. 100513/BR/02.
- [35] NOAA, National weather service. Environmental Modeling Center. [En línea] 2013. <http://polar.ncep.noaa.gov/>.
- [36] Medel Caro; Sebastián. *"Estudio de implantación de tecnologías mareomotrices y undimotrices como pequeños medios de generación distribuida"*. Lima : PUCP, 2010.

- [37] Weber, J. (2012). WEC Technology Readiness and Performance Matrix – finding the best research technology development trajectory. In *4th International Conference on Ocean Energy*. Dublin.
- [38] Fernández-chozas, J., Pecher, A., & Kofoed, J. P. (2014). Benchmark Study of Wave Energy Converters. *Aalborg University DCE Contract Report No. 146*.
- [39] Ramírez, A. (2014). Sistemas aislados para electrificación rural en zonas subsaharianas de Argelia (Tesis de maestría). Pamplona, España: Universidad Pública de Navarra. Recuperado de <https://academica-e.unavarra.es/handle/2454/12146>
- [40] Pelissero M. A., Haim P. A., Oliveto G., Montoneri M; Lifschitz A., Gagnieri D., Tula R., Galía F., Muiño F., De Vita G., Heinke E., Bernal S., Santino T., Cirelli E., Ferré N., Lifschitz A. (2014). Aprovechamiento de la Energía Undimotriz en el Mar Argentino. Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional. Recuperado de <http://chaco.ina.gov.ar/ifrh2014/Eje4/4.05.pdf>
- [41] MORALES, Evelyn. Análisis de un Dispositivo Oscilante como Medio de Captación de Energía Undimotriz. Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2016. (Tesis de Titulación de ingeniero Mecánico).148 pp.
- [42] MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS, MINEM. Código Nacional de Electricidad. Lima.2015. 15 de marzo de 2015. [Fecha de Consulta: 26 de junio de 2017]. INN, 326 p
- [43] HOLTHUIJSEN, Leo. Waves in Oceanic and Coastal Waters. New York: Editorial Cambridge, 2007.405 pp. ISBN 978-0-511-27021-5

## **ANEXOS**

ANEXO 1: Matriz de operacionalización de variables

ANEXO 2: Validación de instrumentos (Guía de observación de oleaje)

ANEXO 3: Datos de observación de oleaje

ANEXO 4: Ingeniería de detalle

ANEXO 5: Catálogos de fabricación

## ANEXO 1: Matriz de Operacionalización de Variables

Tabla 16 Matriz de operacionalización de variables

| VARIABLES DE ESTUDIO   | DEFINICIÓN CONCEPTUAL   | DEFINICIÓN OPERACIONAL   | DIMENSIONES   | INDICADORES  | ESCALA DE MEDICIÓN                       |
|--|---|--|---|--|--|
| <b>VARIABLE DEPENDIENTE</b><br>GENERACIÓN DE ENERGIA ELÉCTRICA | La generación de energía eléctrica por medio de sistemas energéticos sostenibles consiste en el aprovechamiento de un recurso natural inagotable para la producción de electricidad (Xiawei Liao,2020). | Estudio de la primera ley de la termodinámica. La generación de energía se basa en el balance de energía (energía potencial) de un volumen de control. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Régimen de operación</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia de arranque</li> <li>• Potencia de funcionamiento</li> </ul> | Nivel de medición de razón (W, m, Nm, V) |
|  |   |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condiciones de frontera</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diferencia de potencial energético máximo</li> </ul>                  |  |

|  |  |  |  |   |   |
|--|--|--|--|---|---|
| <p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>CONVERTIDOR UNDIMOTRIZ “SALTER’S DUCK”</p> | <p>Dispositivo flotante en el agua, balanceado de un lado a otro por las olas incidentes. La forma se eligió cuidadosamente de modo que el perfil de la superficie siguiera las trayectorias circulares de las partículas de agua (Salter SH, 1974).</p> | <p>Estudio de equilibrio de estado basado en la Ley de Hooke para esfuerzos y deformaciones.</p> <p>Estudio de equilibrio basado en las Ecuaciones de Navier Stokes.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño estructural</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Frecuencia angular de funcionamiento</li> <li>• Esfuerzos estructurales de diseño</li> </ul> | <p>Nivel de medición de razón (W, m, Nm, V)</p> |
|--|--|--|--|---|---|

## ANEXO 2: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

### VALIDACION DE INSTRUMENTOS

#### VALIDACION DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

El Ing. Manuel Callo Conto con DNI: 29637445, Docente adscrito al Departamento Académico de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Especialista en el Área de Energías Renovables y Automatización de Procesos, con número de colegiatura: CIP 127519, da conformidad a los instrumentos: Guía de observación de oleaje que a continuación se presentan y que fueron sometidos a una evaluación y validación, con la finalidad de que sean aplicados por el tesista responsable: Abel Jesús Morales Barreto, en la investigación titulada: **“Diseño de un convertidor undimotriz “salter’s duck” para la generación de energía eléctrica en el puerto de Ilo”**

Dejando evidencia de lo evaluado, se ha firmado el presente documento para los fines que sean necesarios.

#### Calificación:

|         |   |
|---------|---|
| Malo    |   |
| Regular |   |
| Bueno   | X |

Arequipa, 25 de Agosto de 2022

Atentamente.

  
Ing. Manuel Callo Conto  
INGENIERO ELECTRICISTA  
CIP 127519

**“Guía de observación de oleaje”**

**Tabla Ubicación: “.....” – Puerto de Ilo**

| Guía de Observación de Oleaje |  |               |                   |                          |  |
|-------------------------------|--|---------------|-------------------|--------------------------|--|
| Fecha                         |  | Precipitación |                   | Temperatura del Ambiente |  |
| Lugar                         |  | Instrumento   | Tabla de registro | Humedad Relativa         |  |

| Fecha | Hora | Tamaño de Olas | Viento | Oleaje 1 | Oleaje 2 | Oleaje 3 | Oleaje 4 | Oleaje 5 | Oleaje 6 | Oleaje 7 |
|-------|------|----------------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|       |      |                |        |          |          |          |          |          |          |          |
|       |      |                |        |          |          |          |          |          |          |          |
|       |      |                |        |          |          |          |          |          |          |          |
|       |      |                |        |          |          |          |          |          |          |          |
|       |      |                |        |          |          |          |          |          |          |          |
|       |      |                |        |          |          |          |          |          |          |          |
|       |      |                |        |          |          |          |          |          |          |          |
|       |      |                |        |          |          |          |          |          |          |          |
|       |      |                |        |          |          |          |          |          |          |          |
|       |      |                |        |          |          |          |          |          |          |          |

NOTA. Añadir más casillas si fuese necesario. Estrictamente considerar 3 lapsos de tiempo en el indicador "Hora". En cada recuadro correspondiente a "Oleaje" considerar altura efectiva de olas, Periodo de vibración de ola (Añadir dirección vectorial si fuese necesario).

  
 -----  
 Ing. Manuel Callo Conto  
 MECANICO - ELECTRICISTA  
 CIP 127519

ANEXO 3: Datos de observación de oleaje

Tabla 17 Parámetros de oleaje “Playa Wawakiki” – Puerto de Ilo

| Guía de Observación de Oleaje |                        |               |                   |                          |         |
|-------------------------------|------------------------|---------------|-------------------|--------------------------|---------|
| Fecha                         | 4 semana de marzo-2022 | Precipitación | No                | Temperatura del Ambiente | 22 °C   |
| Lugar                         | Playa Wawakiki         | Instrumento   | Tabla de registro | Humedad Relativa         | 82.19 % |

| Fecha       | Hora  | Tamaño de olas          | Viento                  | Oleaje 1 | Oleaje 2 | Oleaje 3                       | Oleaje 4 | Oleaje 5                   | Oleaje 6                 | Oleaje 7 |
|-------------|-------|-------------------------|-------------------------|----------|----------|--------------------------------|----------|----------------------------|--------------------------|----------|
| Lun<br>3/22 | 6:00  | 1.7 mD<br>15 seg (206°) | 5 nudos<br>↻<br>(168°)  | ---      | ---      | 0.2 m<br>↻<br>12 seg<br>(321°) | ---      | 1.7 mD<br>15 seg<br>(206°) | 1 mD<br>17 seg<br>(193°) | ---      |
|             | 12:00 | 1.8 mD<br>16 seg (209°) | 10 nudos<br>↻<br>(158°) | ---      | ---      | 0.2 m<br>↻<br>12 seg<br>(321°) | ---      | 1.8 mD<br>16 seg<br>(209°) | 1 mD<br>17 seg<br>(193°) | ---      |
|             | 18:00 | 1.9 mD<br>16 seg (210°) | 10 nudos<br>↻<br>(165°) | ---      | ---      | 0.2 m<br>↻<br>12 seg<br>(321°) | ---      | 1.9 mD<br>16 seg<br>(210°) | 1 mD<br>17 seg<br>(193°) | ---      |
| Mar<br>3/23 | 6:00  | 1.7 mD<br>15 seg (210°) | 6 nudos<br>↻<br>(146°)  | ---      | ---      | 0.2 m<br>↻<br>14 seg<br>(316°) | ---      | 1.7 mD<br>15 seg<br>(210°) | 1 mD<br>17 seg<br>(193°) | ---      |



|             |       |                         |                        |     |                            |                                |                            |                            |                            |                            |
|-------------|-------|-------------------------|------------------------|-----|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|             | 12:00 | 1.7 mD<br>15 seg (209°) | 9 nudos<br>∩<br>(153°) | --- | ---                        | 0.2 m<br>∩<br>14 seg<br>(316°) | ---                        | 1.6 mD<br>15 seg<br>(210°) | 1 mD<br>17 seg<br>(193°)   | ---                        |
|             | 18:00 | 1.7 mD<br>15 seg (208°) | 9 nudos<br>∩<br>(172°) | --- | 0.1 mD<br>10 seg<br>(321°) | 0.2 m<br>∩<br>14 seg<br>(317°) | ---                        | 1.5 mD<br>15 seg<br>(209°) | 0.8 mD<br>19 seg<br>(206°) | ---                        |
| Mie<br>3/24 | 6:00  | 1.7 mD<br>15 seg (205°) | 5 nudos<br>∩<br>(145°) | --- | 0.1 mD<br>12 seg<br>(320°) | 0.3 m<br>∩<br>14 seg<br>(318°) | ---                        | 1.7 mD<br>15 seg<br>(203°) | 0.7 mD<br>20 seg<br>(221°) | ---                        |
|             | 12:00 | 1.8 mD<br>14 seg (204°) | 4 nudos<br>∩<br>(153°) | --- | ---                        | 0.2 m<br>∩<br>13 seg<br>(318°) | ---                        | 1.8 mD<br>14 seg<br>(204°) | 0.7 mD<br>20 seg<br>(221°) | 0.5 mD<br>21 seg<br>(228°) |
|             | 18:00 | 1.8 mD<br>14 seg (204°) | 7 nudos<br>∩<br>(181°) | --- | ---                        | 0.2 m<br>∩<br>13 seg<br>(318°) | ---                        | 1.8 mD<br>14 seg<br>(204°) | 0.6 mD<br>21 seg<br>(218°) | 0.4 mD<br>19 seg<br>(224°) |
| Jue<br>3/25 | 6:00  | 1.8 mD<br>14 seg (207°) | 7 nudos<br>∩<br>(161°) | --- | ---                        | 0.3 m<br>∩<br>13 seg<br>(320°) | ---                        | 1.5 mD<br>15 seg<br>(209°) | 0.5 mD<br>21 seg<br>(216°) | 1 mD<br>17 seg<br>(219°)   |
|             | 12:00 | 1.8 mD<br>15 seg (209°) | 6 nudos<br>∩<br>(169°) | --- | ---                        | 0.3 m<br>∩<br>12 seg<br>(321°) | 1.8 mD<br>14 seg<br>(210°) | 1.2 mD<br>16 seg<br>(217°) | 0.6 mD<br>21 seg<br>(214°) | ---                        |
|             | 18:00 | 1.8 mD<br>15 seg (211°) | 7 nudos                | --- | ---                        | 0.3 m<br>∩                     | 1.8 mD<br>15 seg<br>(211°) | 0.8 mD<br>17 seg<br>(224°) | 0.7 mD<br>21 seg<br>(215°) | ---                        |

|             |       |                         |                    |                            |                            |                           |                            |                            |                            |     |
|-------------|-------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----|
|             |       |                         | 5<br>nudos<br>171° |                            |                            | 12 seg<br>(321°)          |                            |                            |                            |     |
| Vie<br>3/26 | 6:00  | 1.5 mD<br>14 seg (211°) | 5<br>nudos<br>151° | ---                        | ---                        | 0.2 m<br>12 seg<br>(322°) | ---                        | 0.9 mD<br>16 seg<br>(224°) | 0.9 mD<br>19 seg<br>(215°) | --- |
|             | 12:00 | 1.5 mD<br>14 seg (212°) | 7<br>nudos<br>158° | ---                        | 0.3 mD<br>17 seg<br>(318°) | 0.2 m<br>12 seg<br>(322°) | 1.3 mD<br>13 seg<br>(211°) | 1 mD<br>16 seg<br>(220°)   | 1 mD<br>18 seg<br>(216°)   | --- |
|             | 18:00 | 1.4 mD<br>14 seg (213°) | 6<br>nudos<br>184° | ---                        | 0.3 mD<br>18 seg<br>(322°) | 0.2 m<br>11 seg<br>(322°) | 1.2 mD<br>13 seg<br>(212°) | 1.2 mD<br>15 seg<br>(217°) | 1 mD<br>18 seg<br>(215°)   | --- |
| Sab<br>3/27 | 6:00  | 1.5 mD<br>15 seg (214°) | 1<br>nudos<br>67°  | ---                        | ---                        | 0.2 m<br>11 seg<br>(324°) | 1.5 mD<br>15 seg<br>(213°) | 1.5 mD<br>14 seg<br>(214°) | 0.9 mD<br>17 seg<br>(213°) | --- |
|             | 12:00 | 1.6 mD<br>15 seg (214°) | 3<br>nudos<br>155° | 0.2 mD<br>14 seg<br>(319°) | ---                        | 0.2 m<br>11 seg<br>(324°) | 1.6 mD<br>15 seg<br>(213°) | 1.5 mD<br>14 seg<br>(213°) | 1.1 mD<br>16 seg<br>(213°) | --- |
|             | 18:00 | 1.6 mD<br>15 seg (213°) | 2<br>nudos<br>141° | 0.4 mD<br>15 seg<br>(318°) | ---                        | 0.2 m<br>11 seg<br>(324°) | 1.6 mD<br>15 seg<br>(213°) | 1.4 mD<br>14 seg<br>(213°) | 1.3 mD<br>16 seg<br>(213°) | --- |
| Dom<br>3/28 | 6:00  | 1.6 mD<br>15 seg (213°) | 5<br>nudos<br>154° | 0.4 mD<br>14 seg<br>(319°) | ---                        | 0.1 m<br>11 seg<br>(324°) | 1.6 mD<br>15 seg<br>(213°) | 1 mD<br>17 seg<br>(218°)   | 1.6 mD<br>14 seg<br>(213°) | --- |

|             |       |                        |                        |                           |     |                                |                           |                           |                           |     |
|-------------|-------|------------------------|------------------------|---------------------------|-----|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----|
|             | 12:00 | 1.6 m<br>15 seg (214°) | 5 nudos<br>S<br>(143°) | 0.4 m<br>14 seg<br>(319°) | --- | 0.1 m<br>S<br>10 seg<br>(323°) | 1.4 m<br>16 seg<br>(215°) | 0.8 m<br>19 seg<br>(219°) | 1.5 m<br>14 seg<br>(213°) | --- |
|             | 18:00 | 1.6 m<br>15 seg (214°) | 5 nudos<br>T<br>(191°) | 0.4 m<br>14 seg<br>(319°) | --- | 0.1 m<br>S<br>10 seg<br>(323°) | 1.2 m<br>16 seg<br>(216°) | 0.9 m<br>20 seg<br>(220°) | 1.4 m<br>14 seg<br>(214°) | --- |
| Lun<br>3/29 | 6:00  | 1.8 m<br>16 seg (215°) | 7 nudos<br>S<br>(153°) | 0.4 m<br>13 seg<br>(319°) | --- | ---                            | 1 m<br>16 seg<br>(216°)   | 1.4 m<br>17 seg<br>(217°) | 1.1 m<br>13 seg<br>(214°) | --- |
|             | 12:00 | 2.1 m<br>17 seg (216°) | 3 nudos<br>S<br>(148°) | ---                       | --- | ---                            | 2.1 m<br>17 seg<br>(216°) | 1.4 m<br>17 seg<br>(217°) | ---                       | --- |
|             | 18:00 | 1.8 m<br>17 seg (217°) | 7 nudos<br>T<br>(178°) | 0.3 m<br>13 seg<br>(319°) | --- | ---                            | 1.8 m<br>17 seg<br>(217°) | 1.4 m<br>17 seg<br>(217°) | ---                       | --- |

Nota. Tomado de Premium Waves Innovative Ocean Forecasts.

  
 Ing. Mónica Callo Conto  
 MECÁNICO - ELECTRICISTA  
 CIP 127519

Tabla 18 Parámetros de oleaje “Playa Gentilares” – Puerto de Ilo

| Guía de Observación de Oleaje |                        |               |                   |                          |         |
|-------------------------------|------------------------|---------------|-------------------|--------------------------|---------|
| Fecha                         | 4 semana de marzo-2022 | Precipitación | No                | Temperatura del Ambiente | 22 °C   |
| Lugar                         | Playa Gentilares       | Instrumento   | Tabla de registro | Humedad Relativa         | 82.19 % |

| Fecha       | Hora  | Tamaño de Olas          | Viento             | Oleaje 1 | Oleaje 2 | Oleaje 3                   | Oleaje 4 | Oleaje 5                   | Oleaje 6                   | Oleaje 7 |
|-------------|-------|-------------------------|--------------------|----------|----------|----------------------------|----------|----------------------------|----------------------------|----------|
| Lun<br>3/22 | 6:00  | 1.7 m.<br>15 seg (206°) | 5 nudos<br>(168°)  | ---      | ---      | 0.2 m<br>12 seg<br>(321°)  | ---      | 1.7 m<br>15 seg<br>(206°)  | 1.1 m<br>17 seg<br>(193°)  | ---      |
|             | 12:00 | 1.8 m.<br>16 seg (209°) | 10 nudos<br>(158°) | ---      | ---      | 0.2 m<br>12 seg<br>(321°)  | ---      | 1.8 m<br>16 seg<br>(209°)  | 1.1 m<br>17 seg<br>(193°)  | ---      |
|             | 18:00 | 1.9 m.<br>16 seg (210°) | 10 nudos<br>(165°) | ---      | ---      | 0.2 m<br>12 seg<br>(321°)  | ---      | 1.9 m<br>16 seg<br>(210°)  | 1.1 m<br>17 seg<br>(193°)  | ---      |
| Mar<br>3/23 | 6:00  | 1.7 m.<br>15 seg (210°) | 6 nudos<br>(146°)  | ---      | ---      | 0.2 m.<br>14 seg<br>(316°) | ---      | 1.7 m.<br>15 seg<br>(210°) | 1.1 m.<br>17 seg<br>(193°) | ---      |
|             | 12:00 | 1.7 m.<br>15 seg (209°) | 9 nudos<br>(153°)  | ---      | ---      | 0.2 m<br>14                | ---      | 1.6 m<br>15 seg<br>(210°)  | 0.9 m.<br>18 seg<br>(199°) | ---      |

  
 Ing. Manuel Callo Corro  
 INGENIERO EN ELECTRICIDAD  
 CIP 127019

|                     |       |                         |                    |     |                            |                            |                            |                            |                            |                            |
|---------------------|-------|-------------------------|--------------------|-----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                     |       |                         |                    |     |                            | seg<br>(316°)              |                            |                            |                            |                            |
|                     | 18:00 | 1.7 m.<br>15 seg (207°) | 9 nudos.<br>(172°) | --- | 0.1 m.<br>10 seg<br>(321°) | 0.2 m.<br>14 seg<br>(317°) | ---                        | 1.5 m.<br>15 seg<br>(209°) | 0.8 m.<br>19 seg<br>(208°) | ---                        |
| <b>Mie<br/>3/24</b> | 6:00  | 1.8 m.<br>15 seg (203°) | 5 nudos.<br>(145°) | --- | 0.1 m.<br>12 seg<br>(320°) | 0.3 m.<br>14 seg<br>(318°) | ---                        | 1.8 m.<br>15 seg<br>(203°) | 0.7 m.<br>20 seg<br>(221°) | ---                        |
|                     | 12:00 | 1.9 m.<br>14 seg (201°) | 4 nudos.<br>(153°) | --- | ---                        | 0.2 m.<br>13 seg<br>(318°) | ---                        | 1.8 m.<br>14 seg<br>(202°) | 0.7 m.<br>20 seg<br>(221°) | ---                        |
|                     | 18:00 | 2 m.<br>14 seg (199°)   | 7 nudos.<br>(181°) | --- | ---                        | 0.2 m.<br>13 seg<br>(318°) | ---                        | 2 m.<br>14 seg<br>(199°)   | 0.7 m.<br>20 seg<br>(218°) | 0.6 m.<br>20 seg<br>(225°) |
| <b>Jue<br/>3/25</b> | 6:00  | 1.9 m.<br>14 seg (205°) | 7 nudos.<br>(161°) | --- | ---                        | 0.3 m.<br>13 seg<br>(320°) | 1.8 m.<br>14 seg<br>(208°) | 1.6 m.<br>15 seg<br>(209°) | 0.6 m.<br>21 seg<br>(213°) | 1 m.<br>17 seg<br>(219°)   |
|                     | 12:00 | 1.8 m.<br>15 seg (209°) | 6 nudos.<br>(169°) | --- | ---                        | 0.3 m.<br>12 seg<br>(321°) | 1.8 m.<br>14 seg<br>(210°) | 1.2 m.<br>16 seg<br>(217°) | 0.6 m.<br>21 seg<br>(214°) | ---                        |

|                     |       |                         |                    |                            |                            |                            |                            |                            |                            |     |
|---------------------|-------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----|
|                     | 18:00 | 1.8 m.<br>15 seg (211°) | 7 nudos.<br>(171°) | ---                        | ---                        | 0.3 m.<br>12 seg<br>(321°) | 1.8 m.<br>15 seg<br>(211°) | 0.8 m.<br>17 seg<br>(224°) | 0.7 m.<br>21 seg<br>(215°) | --- |
| <b>Vie<br/>3/26</b> | 6:00  | 1.5 m.<br>14 seg (212°) | 5 nudos.<br>(151°) | ---                        | ---                        | 0.2 m.<br>12 seg<br>(322°) | ---                        | 0.9 m.<br>16 seg<br>(223°) | 0.9 m.<br>19 seg<br>(216°) | --- |
|                     | 12:00 | 1.5 m.<br>14 seg (212°) | 7 nudos.<br>(158°) | ---                        | 0.3 m.<br>18 seg<br>(319°) | 0.2 m.<br>12 seg<br>(322°) | 1.3 m.<br>13 seg<br>(211°) | 1 m.<br>16 seg<br>(220°)   | 1 m.<br>18 seg<br>(215°)   | --- |
|                     | 18:00 | 1.4 m.<br>14 seg (213°) | 6 nudos.<br>(184°) | ---                        | 0.3 m.<br>18 seg<br>(322°) | 0.2 m.<br>11 seg<br>(322°) | 1.2 m.<br>13 seg<br>(212°) | 1.2 m.<br>15 seg<br>(217°) | 1 m.<br>18 seg<br>(215°)   | --- |
| <b>Sab<br/>3/27</b> | 6:00  | 1.5 m.<br>15 seg (214°) | 1 nudos.<br>(67°)  | ---                        | ---                        | 0.2 m.<br>11 seg<br>(324°) | 1.5 m.<br>15 seg<br>(213°) | 1.5 m.<br>14 seg<br>(214°) | 0.9 m.<br>17 seg<br>(213°) | --- |
|                     | 12:00 | 1.6 m.<br>15 seg (214°) | 3 nudos.<br>(155°) | 0.2 m.<br>14 seg<br>(319°) | ---                        | 0.2 m.<br>11 seg<br>(324°) | 1.7 m.<br>15 seg<br>(213°) | 1.5 m.<br>14 seg<br>(213°) | 1.1 m.<br>16 seg<br>(213°) | --- |
|                     | 18:00 | 1.7 m.<br>15 seg (213°) | 2 nudos.<br>(141°) | 0.4 m.<br>15 seg<br>(318°) | ---                        | 0.2 m.<br>11 seg<br>(324°) | 1.7 m.<br>15 seg<br>(213°) | 1.4 m.<br>14 seg<br>(213°) | 1.4 m.<br>16 seg<br>(213°) | --- |

  
 Ing. Manuel Callo Conto  
 MECÁNICO - ELECTRICISTA  
 CIP 127519

|                     |       |                         |                    |                            |     |                            |                            |                            |                            |     |
|---------------------|-------|-------------------------|--------------------|----------------------------|-----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----|
| <b>Dom<br/>3/28</b> | 6:00  | 1.7 m.<br>15 seg (213°) | 5 nudos.<br>(154°) | 0.4 m.<br>14 seg<br>(319°) | --- | 0.1 m.<br>11 seg<br>(323°) | 1.7 m.<br>15 seg<br>(213°) | 1 m.<br>17 seg<br>(218°)   | 1.6 m.<br>14 seg<br>(213°) | --- |
|                     | 12:00 | 1.6 m.<br>15 seg (214°) | 5 nudos.<br>(143°) | 0.4 m.<br>14 seg<br>(319°) | --- | 0.1 m.<br>10 seg<br>(323°) | 1.4 m.<br>16 seg<br>(215°) | 0.8 m.<br>19 seg<br>(219°) | 1.4 m.<br>14 seg<br>(213°) | --- |
|                     | 18:00 | 1.6 m.<br>15 seg (215°) | 5 nudos.<br>(191°) | 0.4 m.<br>14 seg<br>(319°) | --- | 0.1 m.<br>10 seg<br>(323°) | 1.2 m.<br>16 seg<br>(216°) | 0.9 m.<br>20 seg<br>(219°) | 1.3 m.<br>14 seg<br>(213°) | --- |
| <b>Lun<br/>3/29</b> | 6:00  | 1.9 m.<br>17 seg (216°) | 7 nudos.<br>(153°) | 0.4 m.<br>13 seg<br>(319°) | --- | ---                        | 1 m.<br>16 seg<br>(216°)   | 1.4 m.<br>17 seg<br>(217°) | 1.1 m.<br>13 seg<br>(214°) | --- |
|                     | 12:00 | 2.1 m.<br>17 seg (216°) | 3 nudos.<br>(148°) | ---                        | --- | ---                        | 2.1 m.<br>17 seg<br>(216°) | 1.5 m.<br>17 seg<br>(217°) | ---                        | --- |
|                     | 18:00 | 1.8 m.<br>17 seg (217°) | 7 nudos.<br>(178°) | 0.3 m.<br>13 seg<br>(319°) | --- | ---                        | 1.8 m.<br>17 seg<br>(217°) | 1.6 m.<br>15 seg<br>(216°) | ---                        | --- |

Nota. Tomado de Premium Waves Innovative Ocean Forecasts.

Tabla 19 Parámetros de oleaje “Playa Tres Hermanas” – Puerto de Ilo

| Guía de Observación de Oleaje |                        |               |                   |                          |         |
|-------------------------------|------------------------|---------------|-------------------|--------------------------|---------|
| Fecha                         | 4 semana de marzo-2022 | Precipitación | No                | Temperatura del Ambiente | 22 °C   |
| Lugar                         | Playa Gentilares       | Instrumento   | Tabla de registro | Humedad Relativa         | 82.19 % |

| Fecha       | Hora  | Tamaño de Olas          | Viento              | Oleaje 1 | Oleaje 2 | Oleaje 3                   | Oleaje 4 | Oleaje 5                   | Oleaje 6                   | Oleaje 7 |
|-------------|-------|-------------------------|---------------------|----------|----------|----------------------------|----------|----------------------------|----------------------------|----------|
| Lun<br>3/22 | 6:00  | 1.7 m.<br>15 seg (206°) | 5 nudos.<br>(168°)  | ---      | ---      | 0.2 m.<br>12 seg<br>(321°) | ---      | 1.7 m.<br>15 seg<br>(206°) | 1.1 m.<br>17 seg<br>(193°) | ---      |
|             | 12:00 | 1.8 m.<br>16 seg (209°) | 10 nudos.<br>(158°) | ---      | ---      | 0.2 m.<br>12 seg<br>(321°) | ---      | 1.8 m.<br>16 seg<br>(209°) | 1.1 m.<br>17 seg<br>(193°) | ---      |
|             | 18:00 | 1.9 m.<br>16 seg (210°) | 10 nudos.<br>(165°) | ---      | ---      | 0.2 m.<br>12 seg<br>(321°) | ---      | 1.9 m.<br>16 seg<br>(210°) | 1.1 m.<br>17 seg<br>(193°) | ---      |
| Mar<br>3/23 | 6:00  | 1.7 m.<br>15 seg (210°) | 6 nudos.<br>(146°)  | ---      | ---      | 0.2 m.<br>14               | ---      | 1.7 m.<br>15 seg<br>(210°) | 1.1 m.<br>17 seg<br>(193°) | ---      |

|                     |       |                         |                    |     |                            |                            |     |                            |                            |                            |
|---------------------|-------|-------------------------|--------------------|-----|----------------------------|----------------------------|-----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                     |       |                         |                    |     |                            | seg<br>(316°)              |     |                            |                            |                            |
|                     | 12:00 | 1.7 m.<br>15 seg (209°) | 9 nudos.<br>(153°) | --- | ---                        | 0.2 m.<br>14 seg<br>(316°) | --- | 1.6 m.<br>15 seg<br>(210°) | 0.9 m.<br>18 seg<br>(199°) | ---                        |
|                     | 18:00 | 1.7 m.<br>15 seg (208°) | 9 nudos.<br>(172°) | --- | 0.1 m.<br>10 seg<br>(321°) | 0.2 m.<br>14 seg<br>(317°) | --- | 1.5 m.<br>15 seg<br>(209°) | 0.8 m.<br>19 seg<br>(208°) | ---                        |
| <b>Mie<br/>3/24</b> | 6:00  | 1.7 m.<br>15 seg (205°) | 5 nudos.<br>(145°) | --- | 0.1 m.<br>12 seg<br>(320°) | 0.3 m.<br>14 seg<br>(318°) | --- | 1.8 m.<br>15 seg<br>(203°) | 0.7 m.<br>20 seg<br>(221°) | ---                        |
|                     | 12:00 | 1.8 m.<br>14 seg (204°) | 4 nudos.<br>(153°) | --- | ---                        | 0.2 m.<br>13 seg<br>(318°) | --- | 1.8 m.<br>14 seg<br>(203°) | 0.7 m.<br>20 seg<br>(221°) | ---                        |
|                     | 18:00 | 1.8 m.<br>14 seg (203°) | 7 nudos.<br>(181°) | --- | ---                        | 0.2 m.<br>13 seg<br>(318°) | --- | 1.8 m.<br>14 seg<br>(204°) | 0.7 m.<br>20 seg<br>(218°) | 0.6 m.<br>20 seg<br>(225°) |
| <b>Jue<br/>3/25</b> | 6:00  | 1.9 m.<br>14 seg (203°) | 7 nudos.<br>(161°) | --- | ---                        | 0.3 m.<br>13 seg<br>(320°) | --- | 1.5 m.<br>15 seg<br>(209°) | 0.6 m.<br>21 seg<br>(213°) | 1 m.<br>17 seg<br>(219°)   |

|                     |       |                         |                    |                           |                            |                            |                            |                            |                            |     |
|---------------------|-------|-------------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----|
|                     | 12:00 | 1.8 m.<br>15 seg (208°) | 6 nudos.<br>(169°) | ---                       | ---                        | 0.3 m.<br>12 seg<br>(321°) | 1.8 m.<br>14 seg<br>(210°) | 1.2 m.<br>16 seg<br>(217°) | 0.6 m.<br>21 seg<br>(214°) | --- |
|                     | 18:00 | 1.8 m.<br>15 seg (211°) | 7 nudos.<br>(171°) | ---                       | ---                        | 0.3 m.<br>12 seg<br>(321°) | 1.8 m.<br>15 seg<br>(211°) | 0.8 m.<br>17 seg<br>(224°) | 0.7 m.<br>21 seg<br>(215°) | --- |
| <b>Vie<br/>3/26</b> | 6:00  | 1.5 m.<br>14 seg (212°) | 5 nudos.<br>(151°) | ---                       | ---                        | 0.2 m.<br>12 seg<br>(322°) | ---                        | 0.9 m.<br>16 seg<br>(223°) | 0.9 m.<br>19 seg<br>(216°) | --- |
|                     | 12:00 | 1.5 m.<br>14 seg (212°) | 7 nudos.<br>(158°) | ---                       | 0.3 m.<br>18 seg<br>(319°) | 0.2 m.<br>12 seg<br>(322°) | 1.3 m.<br>13 seg<br>(211°) | 1 m.<br>16 seg<br>(220°)   | 1 m.<br>18 seg<br>(215°)   | --- |
|                     | 18:00 | 1.4 m.<br>14 seg (213°) | 6 nudos<br>(184°)  | ---                       | 0.3 m.<br>18 seg<br>(322°) | 0.2 m.<br>11 seg<br>(322°) | 1.2 m.<br>13 seg<br>(212°) | 1.2 m.<br>15 seg<br>(217°) | 1 m.<br>18 seg<br>(215°)   | --- |
| <b>Sab<br/>3/27</b> | 6:00  | 1.5 m.<br>15 seg (214°) | 1 nudos.<br>(67°)  | ---                       | ---                        | 0.2 m.<br>11 seg<br>(324°) | 1.5 m.<br>15 seg<br>(213°) | 1.5 m.<br>14 seg<br>(214°) | 0.9 m.<br>17 seg<br>(213°) | --- |
|                     | 12:00 | 1.6 m.<br>15 seg (214°) | 3 nudos<br>(155°)  | 0.2 m<br>14 seg<br>(319°) | ---                        | 0.2 m.<br>11 seg<br>(324°) | 1.7 m.<br>15 seg<br>(213°) | 1.5 m.<br>14 seg<br>(213°) | 1.1 m.<br>16 seg<br>(213°) | --- |

|                     |       |                         |                    |                            |     |                            |                            |                            |                            |     |
|---------------------|-------|-------------------------|--------------------|----------------------------|-----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----|
|                     | 18:00 | 1.7 m.<br>15 seg (213°) | 2 nudos.<br>(141°) | 0.4 m.<br>15 seg<br>(318°) | --- | 0.2 m.<br>11 seg<br>(324°) | 1.7 m.<br>15 seg<br>(213°) | 1.4 m.<br>14 seg<br>(213°) | 1.3 m.<br>16 seg<br>(213°) | --- |
| <b>Dom<br/>3/28</b> | 6:00  | 1.7 m.<br>15 seg (213°) | 5 nudos.<br>(154°) | 0.4 m.<br>14 seg<br>(319°) | --- | 0.1 m.<br>11 seg<br>(323°) | 1.7 m.<br>15 seg<br>(213°) | 1 m.<br>17 seg<br>(218°)   | 1.6 m.<br>14 seg<br>(213°) | --- |
|                     | 12:00 | 1.6 m.<br>15 seg (214°) | 5 nudos.<br>(143°) | 0.4 m.<br>14 seg<br>(319°) | --- | 0.1 m.<br>10 seg<br>(323°) | 1.4 m.<br>16 seg<br>(215°) | 0.8 m.<br>19 seg<br>(219°) | 1.5 m.<br>14 seg<br>(213°) | --- |
|                     | 18:00 | 1.6 m.<br>15 seg (215°) | 5 nudos.<br>(191°) | 0.4 m.<br>14 seg<br>(319°) | --- | 0.1 m.<br>10 seg<br>(323°) | 1.2 m.<br>16 seg<br>(216°) | 0.9 m.<br>20 seg<br>(219°) | 1.3 m.<br>14 seg<br>(213°) | --- |
| <b>Lun<br/>3/29</b> | 6:00  | 1.9 m.<br>17 seg (216°) | 7 nudos.<br>(153°) | 0.4 m.<br>13 seg<br>(319°) | --- | ---                        | 1 m.<br>16 seg<br>(216°)   | 1.4 m.<br>17 seg<br>(217°) | 1.1 m.<br>13 seg<br>(214°) | --- |
|                     | 12:00 | 2.1 m.<br>17 seg (216°) | 3 nudos.<br>(148°) | ---                        | --- | ---                        | 2.1 m.<br>17 seg<br>(216°) | 1.5 m.<br>17 seg<br>(217°) | ---                        | --- |
|                     | 18:00 | 1.8 m.<br>17 seg (217°) | 7 nudos.<br>(178°) | 0.3 m.<br>13 seg<br>(319°) | --- | ---                        | 1.8 m.<br>17 seg<br>(217°) | 1.6 m.<br>15 seg<br>(216°) | ---                        | --- |

Nota. Tomado de Premium Waves Innovative Ocean Forecasts.

Tabla 20 Parámetros de oleaje “Playa Boca del Rio” – Puerto de Ilo

| Guía de Observación de Oleaje |                        |               |                   |                          |         |
|-------------------------------|------------------------|---------------|-------------------|--------------------------|---------|
| Fecha                         | 4 semana de marzo-2022 | Precipitación | No                | Temperatura del Ambiente | 22 °C   |
| Lugar                         | Playa Gentilares       | Instrumento   | Tabla de registro | Humedad Relativa         | 82.19 % |

| Fecha       | Hora  | Tamaño de Olas          | Viento             | Oleaje 1 | Oleaje 2                   | Oleaje 3                   | Oleaje 4 | Oleaje 5                   | Oleaje 6                   | Oleaje 7 |
|-------------|-------|-------------------------|--------------------|----------|----------------------------|----------------------------|----------|----------------------------|----------------------------|----------|
| Lun<br>3/22 | 6:00  | 1.7 m.<br>15 seg (206°) | 5 nudos.<br>(168°) | ---      | ---                        | 0.2 m.<br>12 seg<br>(321°) | ---      | 1.7 m.<br>15 seg<br>(206°) | 1.1 m.<br>17 seg<br>(193°) | ---      |
|             | 12:00 | 1.8 m.<br>16 seg (209°) | 10 nudos<br>(158°) | ---      | ---                        | 0.2 m.<br>12 seg<br>(321°) | ---      | 1.8 m.<br>16 seg<br>(209°) | 1.1 m.<br>17 seg<br>(193°) | ---      |
|             | 18:00 | 1.9 m.<br>16 seg (210°) | 10 nudos<br>(165°) | ---      | ---                        | 0.2 m.<br>12 seg<br>(321°) | ---      | 1.9 m.<br>16 seg<br>(210°) | 1.1 m.<br>17 seg<br>(193°) | ---      |
| Mar<br>3/23 | 6:00  | 1.7 m.<br>15 seg (210°) | 6 nudos.<br>(146°) | ---      | ---                        | 0.2 m.<br>14 seg<br>(316°) | ---      | 1.7 m.<br>15 seg<br>(210°) | 1.1 m.<br>17 seg<br>(193°) | ---      |
|             | 12:00 | 1.7 m.<br>15 seg (209°) | 9 nudos.<br>(153°) | ---      | ---                        | 0.2 m.<br>14 seg<br>(316°) | ---      | 1.6 m.<br>15 seg<br>(210°) | 0.9 m.<br>18 seg<br>(199°) | ---      |
|             | 18:00 | 1.7 m.<br>15 seg (208°) | 9 nudos.<br>(172°) | ---      | 0.1 m.<br>10 seg<br>(321°) | 0.2 m.<br>14 seg<br>(317°) | ---      | 1.5 m.<br>15 seg<br>(209°) | 0.8 m.<br>19 seg<br>(208°) | ---      |
| Mie<br>3/24 | 6:00  | 1.7 m.<br>15 seg (205°) | 5 nudos.<br>(145°) | ---      | 0.1 m.<br>12 seg<br>(320°) | 0.3 m.<br>14 seg<br>(318°) | ---      | 1.8 m.<br>15 seg<br>(203°) | 0.7 m.<br>20 seg<br>(221°) | ---      |

  
 Ing. Mando Callo Conto  
 INGENIERO EN ELECTRICIDAD  
 CIP 127618

|                     |       |                      |    |                    |                            |                            |                            |                            |                            |                            |                            |
|---------------------|-------|----------------------|----|--------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                     | 12:00 | 1.8<br>14 seg (204°) | m. | 4 nudos.<br>(153°) | ---                        | ---                        | 0.2 m.<br>13 seg<br>(318°) | ---                        | 1.8 m.<br>14 seg<br>(203°) | 0.7 m.<br>20 seg<br>(221°) | 0.5 m.<br>21 seg<br>(228°) |
|                     | 18:00 | 1.8<br>14 seg (202°) | m. | 7 nudos.<br>(181°) | ---                        | ---                        | 0.2 m.<br>13 seg<br>(318°) | ---                        | 1.8 m.<br>14 seg<br>(204°) | 0.7 m.<br>20 seg<br>(218°) | 0.4 m.<br>19 seg<br>(224°) |
| <b>Jue<br/>3/25</b> | 6:00  | 1.8<br>14 seg (203°) | m. | 7 nudos.<br>(161°) | ---                        | ---                        | 0.3 m.<br>13 seg<br>(320°) | ---                        | 1.5 m.<br>15 seg<br>(209°) | 0.6 m.<br>21 seg<br>(213°) | 1 m.<br>17 seg<br>(219°)   |
|                     | 12:00 | 1.8<br>15 seg (208°) | m. | 6 nudos.<br>(169°) | ---                        | ---                        | 0.3 m.<br>12 seg<br>(321°) | 1.8 m.<br>14 seg<br>(210°) | 1.2 m.<br>16 seg<br>(217°) | 0.6 m.<br>21 seg<br>(214°) | ---                        |
|                     | 18:00 | 1.8<br>15 seg (211°) | m. | 7 nudos.<br>(171°) | ---                        | ---                        | 0.3 m.<br>12 seg<br>(321°) | 1.8 m.<br>15 seg<br>(211°) | 0.8 m.<br>17 seg<br>(224°) | 0.7 m.<br>21 seg<br>(215°) | ---                        |
| <b>Vie<br/>3/26</b> | 6:00  | 1.5<br>14 seg (212°) | m. | 5 nudos.<br>(151°) | ---                        | ---                        | 0.2 m.<br>12 seg<br>(322°) | ---                        | 0.9 m.<br>16 seg<br>(223°) | 0.9 m.<br>19 seg<br>(216°) | ---                        |
|                     | 12:00 | 1.5<br>14 seg (212°) | m. | 7 nudos.<br>(158°) | ---                        | 0.3 m.<br>17 seg<br>(318°) | 0.2 m.<br>12 seg<br>(322°) | 1.3 m.<br>13 seg<br>(211°) | 1 m.<br>16 seg<br>(220°)   | 1 m.<br>18 seg<br>(215°)   | ---                        |
|                     | 18:00 | 1.4<br>14 seg (213°) | m. | 6 nudos.<br>(184°) | ---                        | 0.3 m.<br>18 seg<br>(322°) | 0.2 m.<br>11 seg<br>(322°) | 1.2 m.<br>13 seg<br>(212°) | 1.2 m.<br>15 seg<br>(217°) | 1 m.<br>18 seg<br>(215°)   | ---                        |
| <b>Sab<br/>3/27</b> | 6:00  | 1.5<br>15 seg (214°) | m. | 1 nudos.<br>(67°)  | ---                        | ---                        | 0.2 m.<br>11 seg<br>(324°) | 1.5 m.<br>15 seg<br>(213°) | 1.5 m.<br>14 seg<br>(214°) | 0.9 m.<br>17 seg<br>(213°) | ---                        |
|                     | 12:00 | 1.6<br>15 seg (214°) | m. | 3 nudos.<br>(155°) | 0.2 m.<br>14 seg<br>(319°) | ---                        | 0.2 m.<br>11 seg<br>(324°) | 1.7 m.<br>15 seg<br>(213°) | 1.5 m.<br>14 seg<br>(213°) | 1.1 m.<br>16 seg<br>(213°) | ---                        |

## **ANEXO 5: CATÁLOGOS DE FABRICACIÓN**

- Catalogo de Aceros inoxidables.

Tomado de “Aceros Bonnet, suministros y maquinaria, (2021)”

- Catalogo de Rodamientos SKF

Tomado de “Catalogo de productos: SKF Rodamientos, (2022)”

- Catalogo de Planchas de acero inoxidable.

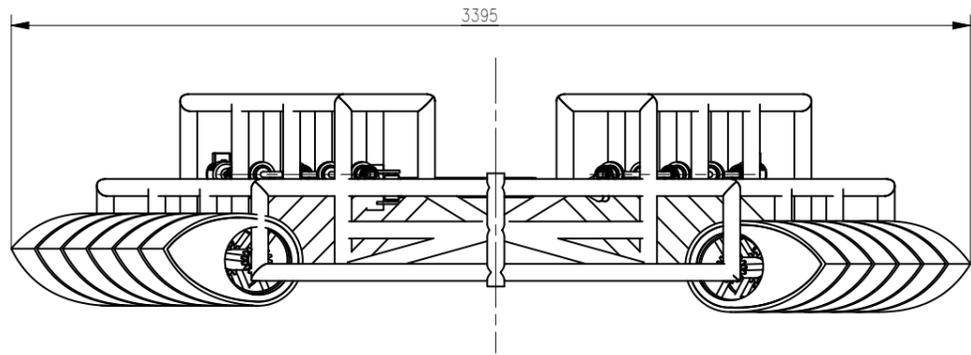
Tomado de “Planchas de Acero Inoxidable ASTM A240, calidad 304, 316 y 430, (2021)”

- Catalogo de Rodamientos de presión autofijantes.

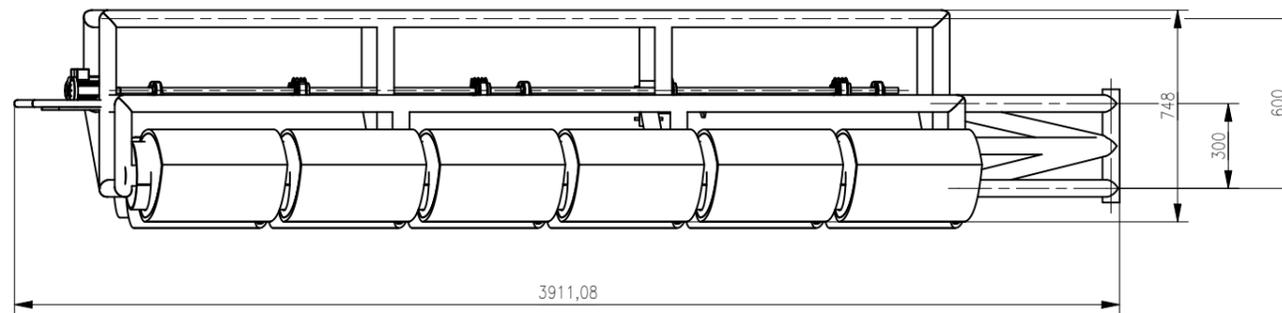
Tomado de “Manual BocaBearings, (2021)”

- Catalogo de Chumacera SKF

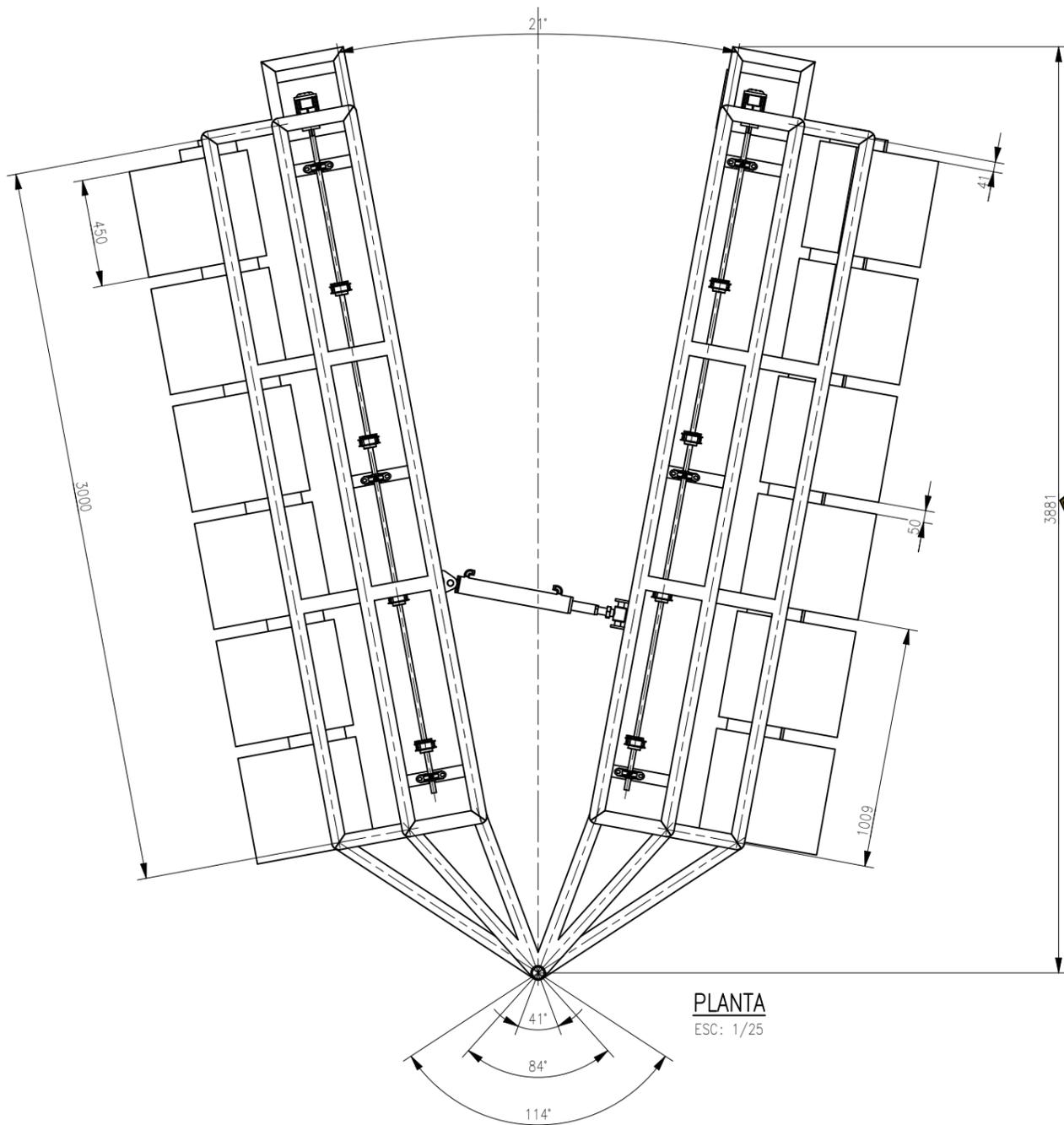
Tomado de “Catalogo de productos: SKF Rodamientos, (2022)”



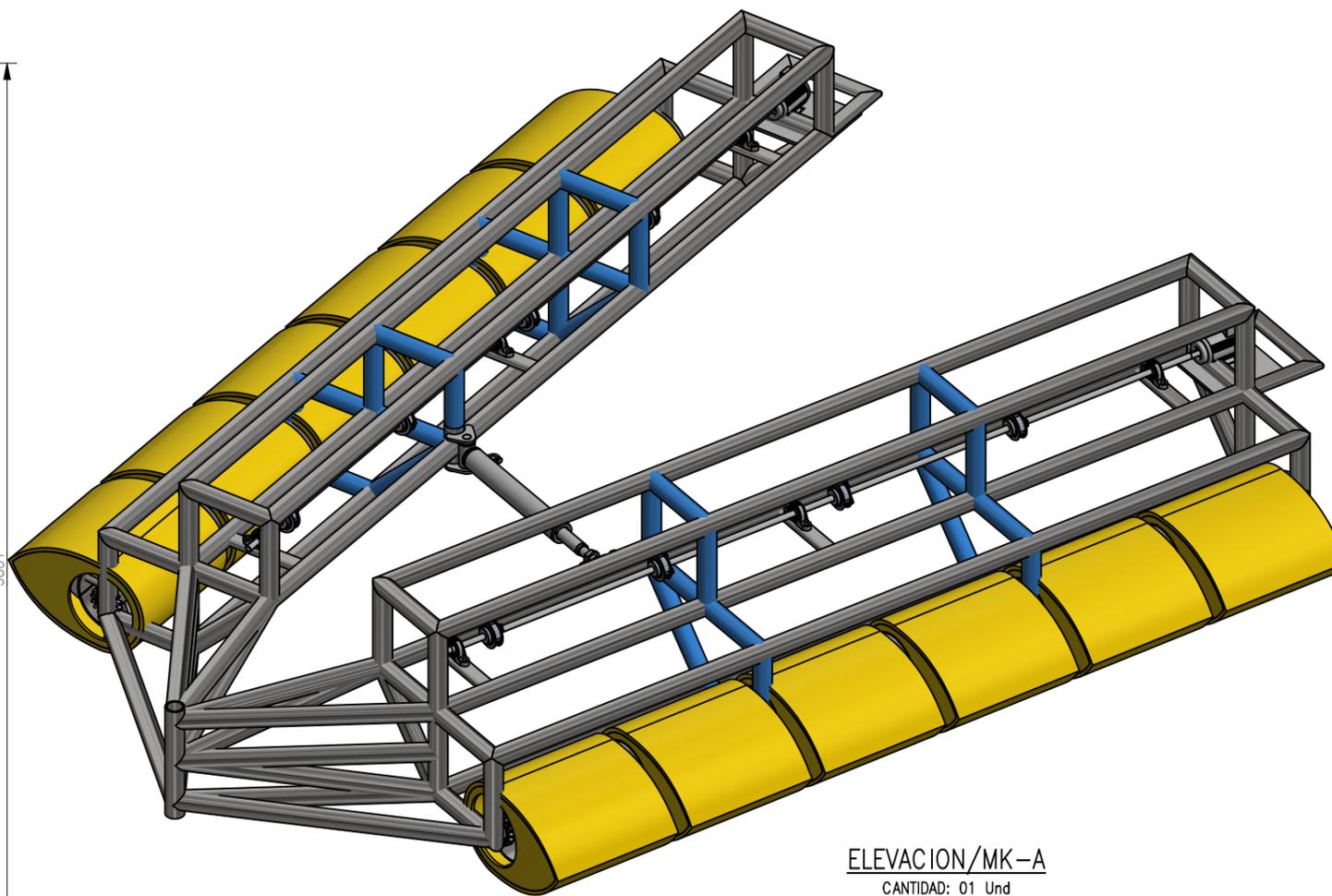
**FRONTAL/MK-A**  
ESC: 1/25



**PLANTA**  
ESC: 1/25



**PLANTA**  
ESC: 1/25



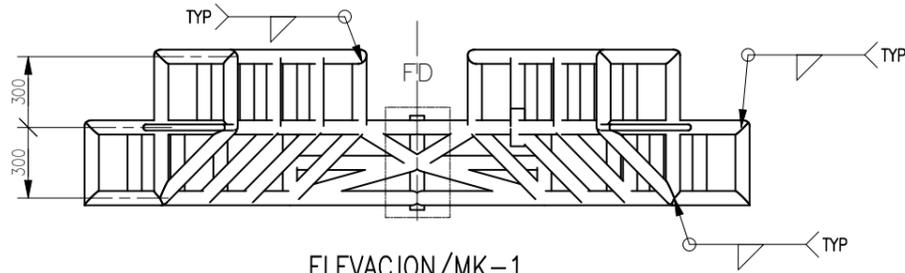
**ELEVACION/MK-A**  
CANTIDAD: 01 Und  
ESC: 1/20

NOTAS:  
1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS (S.I.).

| APROBADO                      |                     |
|-------------------------------|---------------------|
| DISEÑADO POR:<br>A. MORALES   | FECHA:<br>15-Aug-22 |
| DIBUJADO POR:<br>A. MORALES   | FECHA:<br>15-Aug-22 |
| REVISADO POR:<br>E. DIAZ      | FECHA:<br>15-Aug-22 |
| APROBADO POR:<br>E.P.I.M.E.E. | FECHA:<br>15-Aug-22 |

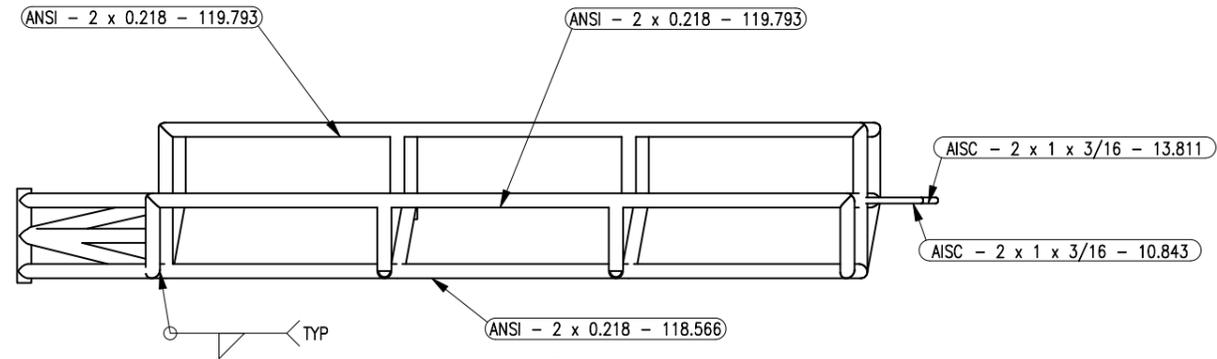
|   |                 |
|---|-----------------|
|  <b>UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO</b><br>TRUJILLO - PERU<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA | PLANO           |
|   | ESTRUCTURAL     |
| DISEÑO DE UN CONVERTIDOR UNDIMOTRIZ "SALTER'S DUCK"   |                 |
| PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL PUERTO DE ILO   |                 |
| ESCALA  | NUMERO DE PLANO |
| INDICADA  | UCV-MEE-01-01   |

CONFIDENCIAL  
ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL SON PROPIEDAD PRIVADA, SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA, ESTAN PROHIBIDOS.



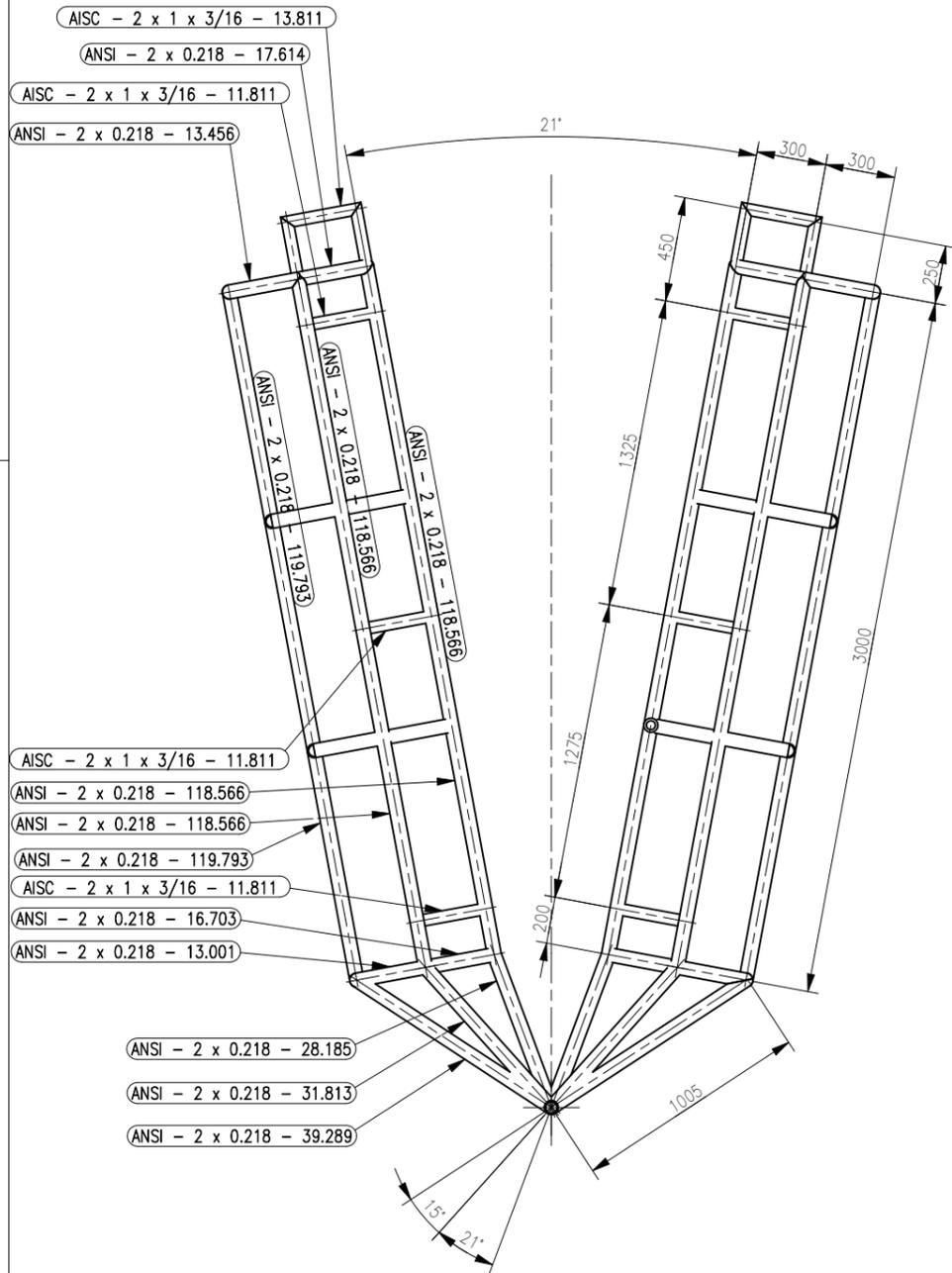
**ELEVACION/MK-1**

CANTIDAD: 01 Und  
ESC: 1/30



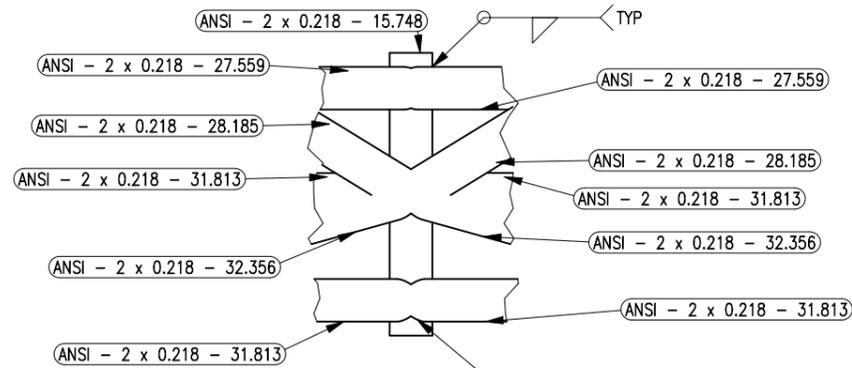
**PLANTA**

ESC: 1/30



**PLANTA**

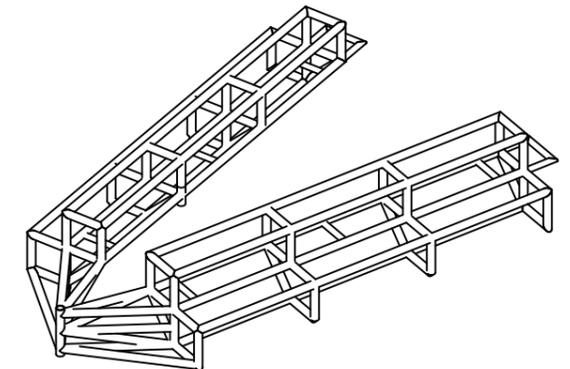
ESC: 1/30



**DETALLE "FD"**

ESC: 1/10

| CODIGO                       | DESCRIPCIÓN               | LONGITUD | MASA UNITARIA |
|------------------------------|---------------------------|----------|---------------|
| ANSI - 2 x 0.218 - 40.393    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 1026 mm  | 7,1 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 31.813    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 4848 mm  | 5,9 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 32.356    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 1644 mm  | 6 kg          |
| ANSI - 2 x 0.218 - 27.559    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 1400 mm  | 5,1 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 28.185    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 1432 mm  | 5,2 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 12.916    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 328 mm   | 2,1 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 13.757    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 349 mm   | 2,1 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 119.793   | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 18256 mm | 22,3 kg       |
| ANSI - 2 x 0.218 - 12.652    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 3214 mm  | 2,2 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 13.001    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 330 mm   | 2,2 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 13.842    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 1055 mm  | 2,2 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 118.11    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 6000 mm  | 22,5 kg       |
| ANSI - 2 x 0.218 - 11.811    | *Varies*                  | 10800 mm | *Varies*      |
| ANSI - 2 x 0.218 - 16.703    | *Varies*                  | 2546 mm  | 3,2 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 13.494    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 1371 mm  | 2,1 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 118.566   | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 12046 mm | 22,4 kg       |
| ANSI - 2 x 0.218 - 13.456    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 684 mm   | 2,1 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 13.108    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 333 mm   | 2,1 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 17.614    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 447 mm   | 2,8 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 15.748    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 400 mm   | 3 kg          |
| ANSI - 2 x 0.218 - 39.289    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 998 mm   | 7,3 kg        |
| AISC - 2 x 1 x 3/16 - 11.811 | TUBO-RECTANGULAR-AISI 304 | 1800 mm  | 1,4 kg        |
| AISC - 2 x 1 x 3/16 - 13.811 | TUBO-RECTANGULAR-AISI 304 | 702 mm   | 1,4 kg        |
| AISC - 2 x 1 x 3/16 - 10.843 | TUBO-RECTANGULAR-AISI 304 | 1102 mm  | 1,1 kg        |
| ANSI - 2 x 0.436 - 3.15      | Pipe                      | 160 mm   | 1,1 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 17.612    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 447 mm   | 2,8 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 13.106    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 333 mm   | 2,1 kg        |
| ANSI - 2 x 0.218 - 11.805    | TUBO- CIRCULAR-AISI 304   | 300 mm   | 2 kg          |



**ELEVACION/MK-1**

CANTIDAD: 00 Und  
ESC: 1/50

| APROBADO      |           |
|---------------|-----------|
| DISEÑADO POR: | FECHA:    |
| A. MORALES    | 15-Aug-22 |
| DIBUJADO POR: | FECHA:    |
| A. MORALES    | 15-Aug-22 |
| REVISADO POR: | FECHA:    |
| E. DIAZ       | 15-Aug-22 |
| APROBADO POR: | FECHA:    |
| E.P.I.M.E.E.  | 15-Aug-22 |

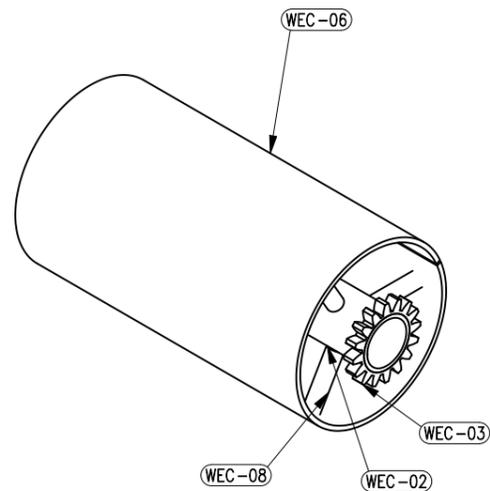
**UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO**  
TRUJILLO- PERU  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

PLANO: **ESTRUCTURAL**  
DISEÑO DE UN CONVERTIDOR UNDIMOTRIZ "SALTER'S DUCK"  
PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL PUERTO DE ILO

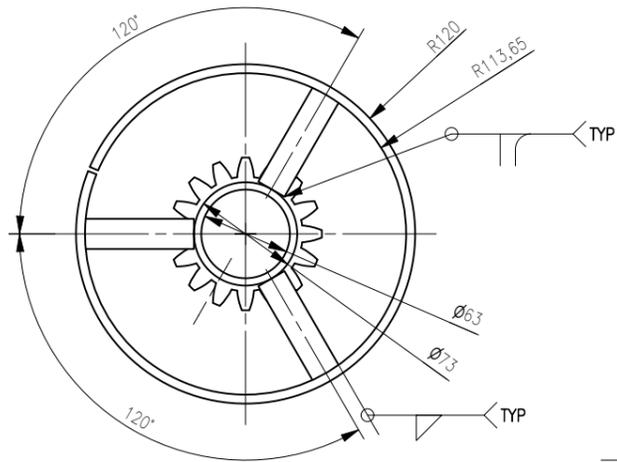
ESCALA: INDICADA  
NUMERO DE PLANO: UCV-MEE-01-02

ESCALA EN PULGADAS: 1/8", 1/4", 1/2", 3/4", 1", 1 1/4", 1 1/2", 1 3/4", 2", 2 1/2", 3", 3 1/2", 4", 4 1/2", 5", 5 1/2", 6", 6 1/2", 7", 7 1/2", 8", 8 1/2", 9", 9 1/2", 10", 11", 12", 13", 14", 15", 16", 17", 18", 19", 20"

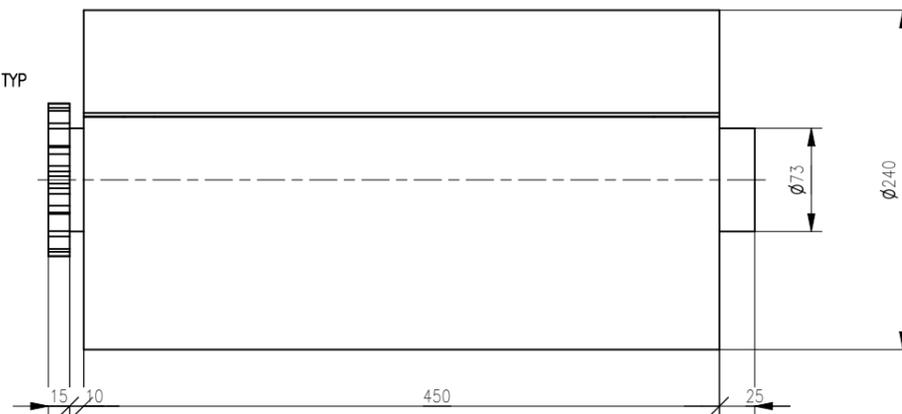
ESCALA METRICA: 1:20, 1:30, 1:40, 1:50, 1:60, 1:70, 1:80, 1:90, 1:100, 1:120, 1:150, 1:200, 1:250, 1:300, 1:400, 1:500, 1:600, 1:700, 1:800, 1:900, 1:1000



**ELEVACION/MK-02**  
CANTIDAD: 00 Und  
ESC: 1/8

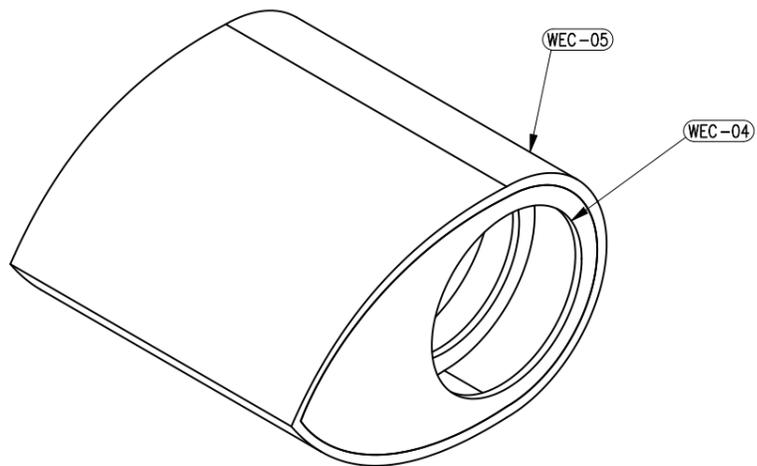


**ELEVACION/MK-02**  
CANTIDAD: 00 Und  
ESC: 1/5

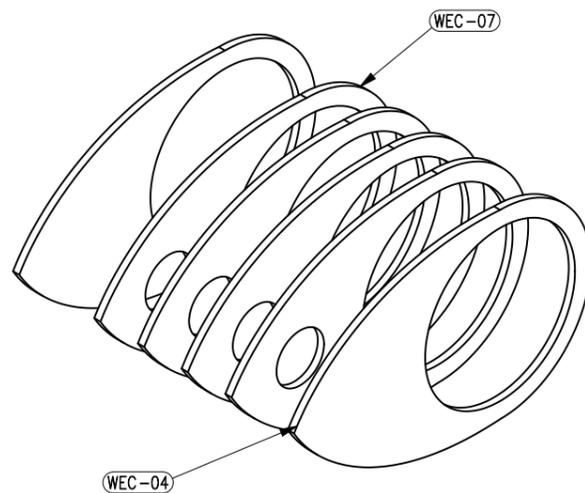


**PLANTA**  
ESC: 1/5

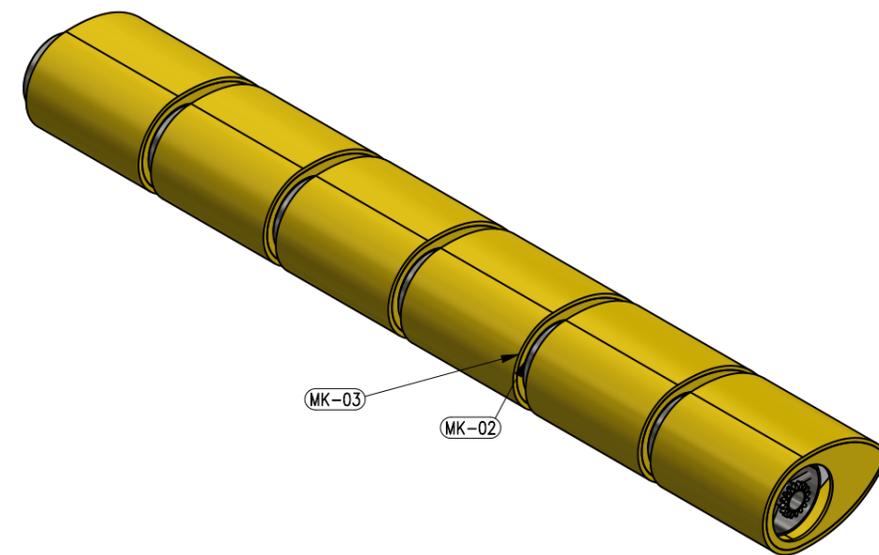
| CODIGO | DESCRIPCIÓN             | CANT. |
|--------|-------------------------|-------|
| WEC-02 | BARRA - AISI 304        | 1     |
| WEC-06 | TUBO CIRCULAR- AISI 304 | 1     |
| WEC-03 | RUEDA DENTADA- AISI 304 | 1     |
| WEC-08 | TUBO CIRCULAR- AISI 304 | 6     |



**ISOMETRICO/MK-03**  
CANTIDAD: 08 Und  
ESC: 1/8

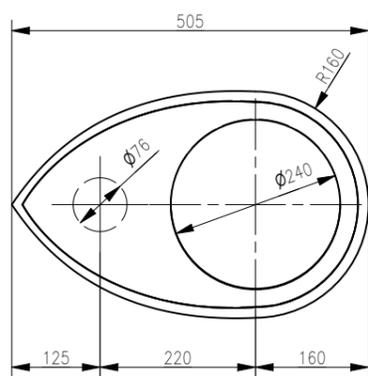


**ISOMETRICO-V. AUXILIAR**  
ESC: 1/8

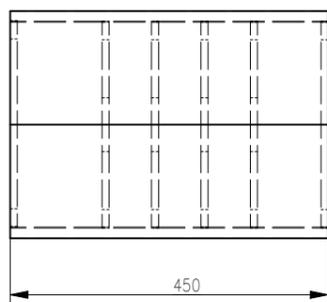


**ELEVACION/Assembly2**  
CANTIDAD: 00 Und  
ESC: 1/20

| CODIGO | DESCRIPCIÓN | CANT. |
|--------|-------------|-------|
| MK-02  | ENSAMBLE    | 6     |
| MK-03  | ENSAMBLE    | 6     |



**V. FRONTAL/MK-03**  
CANTIDAD: 08 Und  
ESC: 1/10



**PLANTA**  
ESC: 1/10

| CODIGO | DESCRIPCIÓN        | CANT. |
|--------|--------------------|-------|
| WEC-04 | PL. 10 mm plástico | 2     |
| WEC-05 | PL. 10 mm plástico | 1     |
| WEC-07 | PL. 10 mm plástico | 4     |

| APROBADO                      |                     |
|-------------------------------|---------------------|
| DISEÑADO POR:<br>A. MORALES   | FECHA:<br>15-Aug-22 |
| DIBUJADO POR:<br>A. MORALES   | FECHA:<br>15-Aug-22 |
| REVISADO POR:<br>E. DIAZ      | FECHA:<br>15-Aug-22 |
| APROBADO POR:<br>E.P.I.M.E.E. | FECHA:<br>15-Aug-22 |

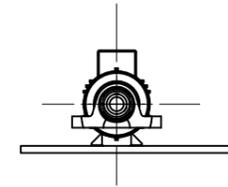
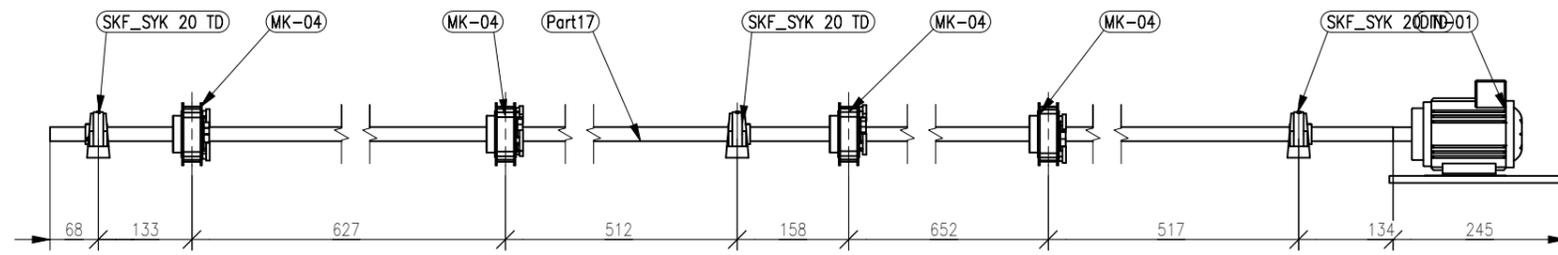


UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO  
TRUJILLO - PERU  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

PLANO: ESTRUCTURAL  
DISEÑO DE UN CONVERTIDOR UNDIMOTRIZ \*SALTER'S DUCK\*

ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL SON PROPIEDAD PRIVADA, SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA, ESTAN PROHIBIDOS.

ESCALA INDICADA: NUMERO DE PLANO: UCV-MEE-01-03

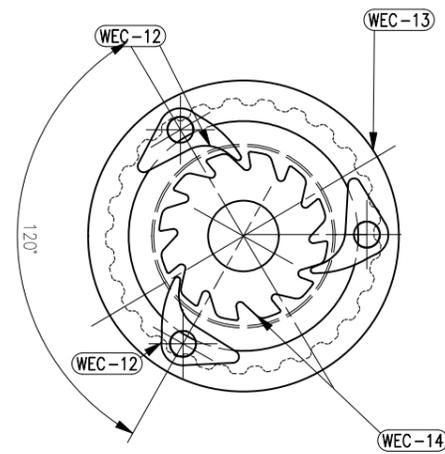


PLANTA  
ESC: 1/10

| CODIGO        | DESCRIPCIÓN  | CANT. |
|---------------|--|-------|
| SKF_SYK 20 TD | AYP_001_HC_HH_HY-AYL_001<br>_HP-Y-bearing plummer<br>block units | 3     |
| Part17        |  | 1     |
| DIN-01        | DINAMO-GENERADOR ELECTRICO                                       | 1     |
| MK-04         | SISTEMA-TRINQUETE  | 4     |
| WEC-11        | SOPORTE-DINAMO   | 1     |

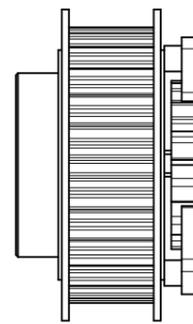
ELEVACION/MK-3

CANTIDAD: 00 Und  
ESC: 1/10



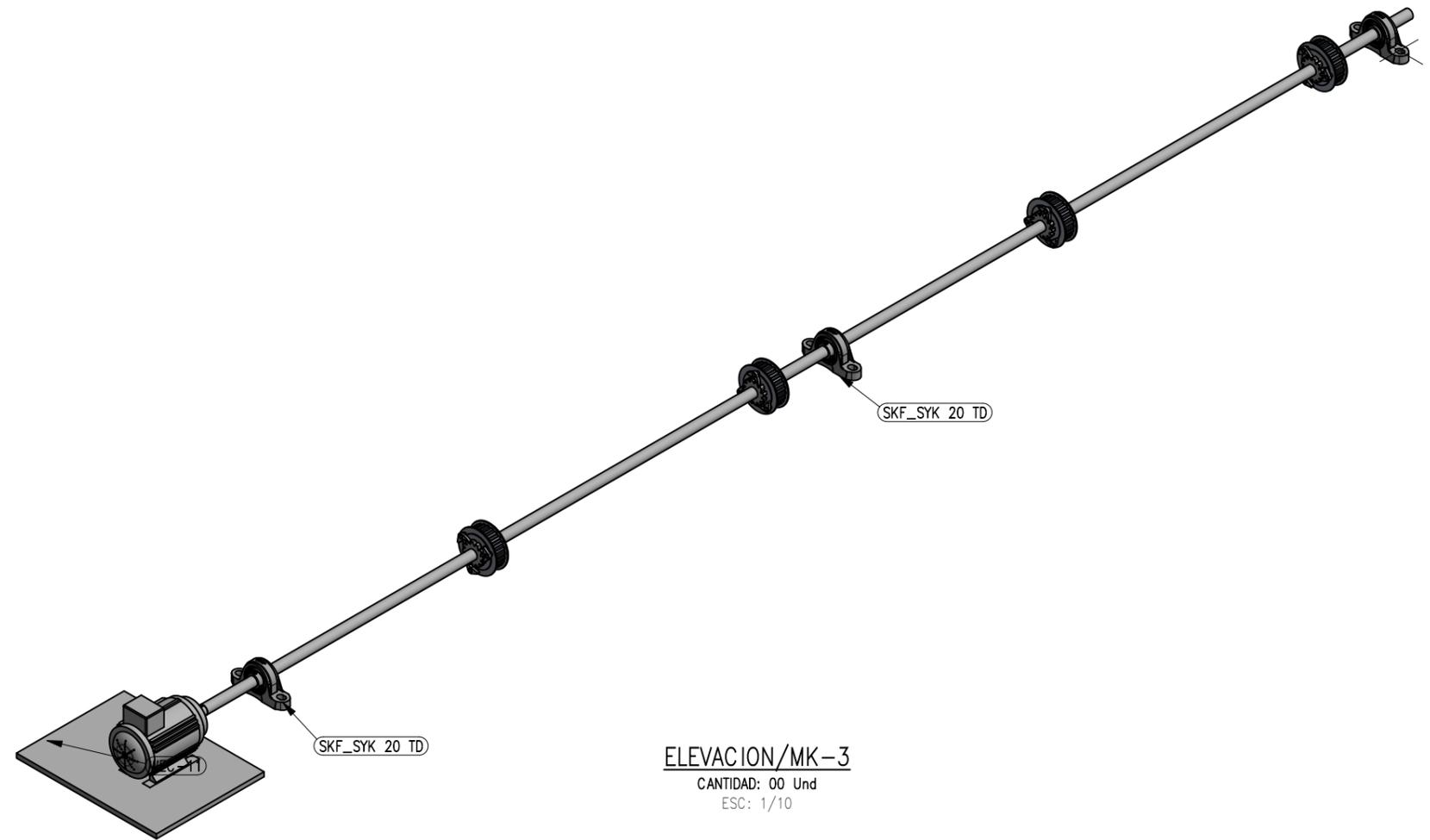
ELEVACION/MK-04

CANTIDAD: 00 Und  
ESC: 1/2



PLANTA  
ESC: 1/2

| CODIGO | DESCRIPCIÓN   | CANT. |
|--------|---------------|-------|
| WEC-12 | TRINQUETE     | 3     |
| WEC-13 | POLEA DENTADA | 1     |
| WEC-14 | SPROCKET      | 1     |



ELEVACION/MK-3

CANTIDAD: 00 Und  
ESC: 1/10

| APROBADO      |           |
|---------------|-----------|
| DISEÑADO POR: | FECHA:    |
| A. MORALES    | 15-Aug-22 |
| DIBUJADO POR: | FECHA:    |
| A. MORALES    | 15-Aug-22 |
| REVISADO POR: | FECHA:    |
| E. DIAZ       | 15-Aug-22 |
| APROBADO POR: | FECHA:    |
| E.P.I.M.E.E.  | 15-Aug-22 |



UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO  
TRUJILLO- PERU  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

PLANO ESTRUCTURAL  
DISEÑO DE UN CONVERTIDOR UNDIMOTRIZ "SALTER'S DUCK"  
PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL PUERTO DE ILO  
ESCALA INDICADA NUMERO DE PLANO  
UCV-MEE-01-04

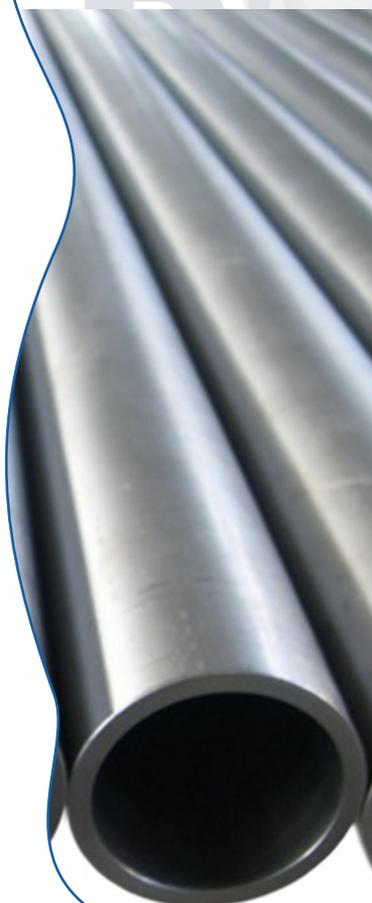
CONFIDENCIAL  
ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL  
SON PROPIEDAD PRIVADA, SU USO Y  
REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA,  
ESTAN PROHIBIDOS.

ESCALA METRICA 1:12

# acero inoxidable

tubos milimétricos

Tubo **redondo con soldadura**  
Calidad AISI 304 y 316



| diámetro<br>mm | espesor<br>mm | 304      |          | 316      |          |
|----------------|---------------|----------|----------|----------|----------|
|                |               | mate     | brillo   | mate     | brillo   |
| 3              | 0.5           | 72600600 |          |          |          |
| 4              | 0.5           | 72600610 |          |          |          |
| 5              | 0.5           | 72600620 |          |          |          |
| 6              | 1.0           | 72600630 |          | 72602090 |          |
| 8              | 1.0           | 72600650 | 72601390 |          |          |
| 10             | 1.0           | 72600670 | 72601400 | 72602145 | 72602940 |
| 12             | 1.0           | 72600690 | 72601420 |          | 72602960 |
| 12             | 1.2           |          |          | 72602160 |          |
| 14             | 1.0           | 72600710 | 72601440 | 72602195 |          |
| 15             | 1.5           | 72600720 | 72601450 |          | 72602970 |
| 16             | 1.0           | 72600730 | 72601460 |          | 72602977 |
| 16             | 1.5           |          | 72601470 |          | 72602980 |
| 18             | 1.0           | 72600750 |          |          |          |
| 18             | 1.5           | 72600770 | 72601480 | 72602245 | 72603000 |
| 20             | 1.0           | 72600790 |          |          |          |
| 20             | 1.5           | 72600810 | 72601500 | 72602250 | 72603040 |
| 21.3           | 2.0           | 72600820 |          |          |          |
| 22             | 1.5           |          |          |          | 72603060 |
| 23             | 1.5           | 72600830 | 72601510 |          |          |
| 25             | 1.5           | 72600850 | 72601520 | 72602310 | 72603080 |
| 26.9           | 2.0           | 72600860 |          |          |          |
| 28             | 1.5           | 72600892 | 72601540 | 72602365 | 72603090 |
| 30             | 1.5           | 72600900 | 72601560 | 72602370 | 72603100 |
| 33             | 1.5           | 72600905 | 72601580 |          | 72603110 |
| 34             | 1.0           | 72600940 |          |          |          |
| 34             | 1.5           |          | 72601600 |          | 72603130 |
| 35             | 1.5           | 72600960 | 72601610 | 72602410 | 72603140 |
| 38             | 1.5           | 72600980 | 72601620 | 72602412 | 72603160 |
| 40             | 1.0           | 72601010 |          |          |          |
| 40             | 1.5           | 72601020 | 72601640 |          | 72603165 |
| 42.4           | 2.5           | 72601033 |          |          |          |
| 43             | 1.2           | 72601038 |          |          |          |
| 43             | 1.5           | 72601040 | 72601660 | 72602435 | 72603180 |

Ref.

Ref.

Ref.

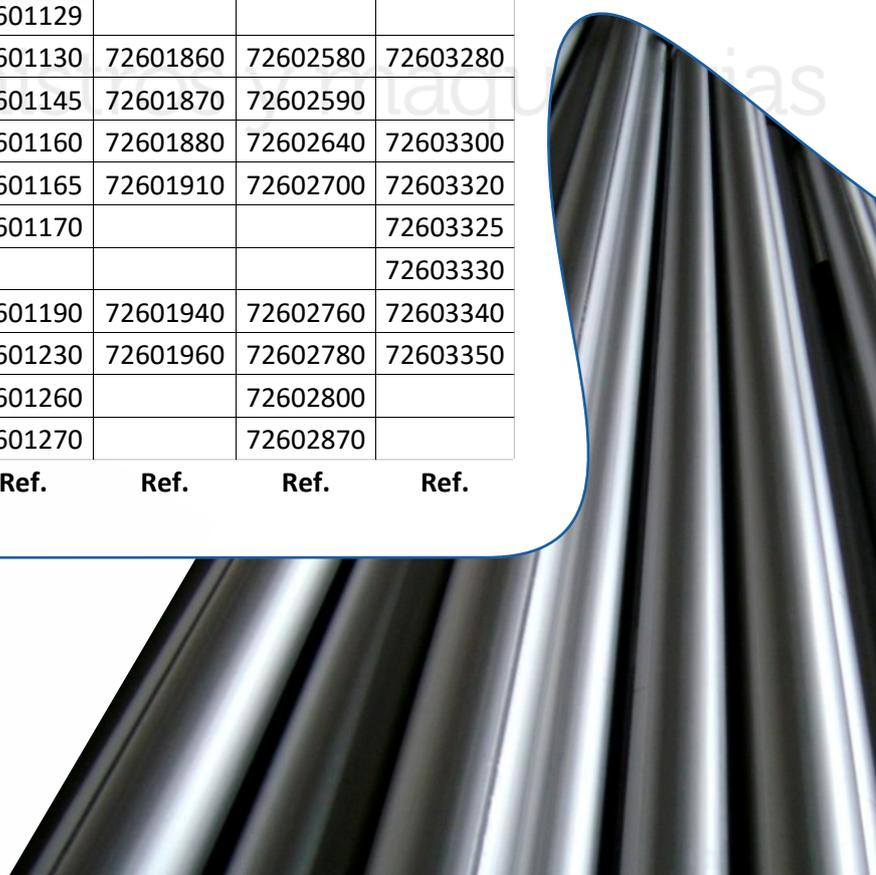
Ref.

Continúa



## Tubo redondo con soldadura Calidad AISI 304 y 316

| diámetro<br>mm | espesor<br>mm | 304      |          | 316      |          |
|----------------|---------------|----------|----------|----------|----------|
|                |               | mate     | brillo   | mate     | brillo   |
| 44             | 2             |          |          | 72602440 |          |
| 48.3           | 2             | 72601047 |          |          |          |
| 50             | 1.5           | 72601055 |          |          |          |
| 50             | 5             |          |          | 72602472 |          |
| 50.8           | 1.5           | 72601060 | 72601680 | 72602473 | 72603200 |
| 51             | 2.6           |          |          | 72602474 |          |
| 52             | 1             | 72601070 |          |          |          |
| 52             | 1.5           |          | 72601700 |          |          |
| 53             | 1.5           | 72601075 |          | 72602476 |          |
| 63.5           | 15            | 72601080 | 72601740 | 72602495 | 72603240 |
| 70             | 1.5           | 72601085 | 72601760 |          |          |
| 70             | 2             | 72601090 |          |          |          |
| 73             | 1.5           | 72601095 | 72601780 |          |          |
| 76             | 1.5           | 72601100 | 72601800 | 72602507 | 72603258 |
| 84             | 2             | 72601120 | 72601820 | 72602515 | 72603260 |
| 85             | 1.5           | 72601122 | 72601835 |          |          |
| 88.9           | 3             | 72601125 |          |          |          |
| 101.6          | 2             | 72601129 |          |          |          |
| 104            | 2             | 72601130 | 72601860 | 72602580 | 72603280 |
| 114.3          | 2             | 72601145 | 72601870 | 72602590 |          |
| 129            | 2             | 72601160 | 72601880 | 72602640 | 72603300 |
| 154            | 2             | 72601165 | 72601910 | 72602700 | 72603320 |
| 168.3          | 2             | 72601170 |          |          | 72603325 |
| 168.3          | 3             |          |          |          | 72603330 |
| 204            | 2             | 72601190 | 72601940 | 72602760 | 72603340 |
| 254            | 2             | 72601230 | 72601960 | 72602780 | 72603350 |
| 304            | 2             | 72601260 |          | 72602800 |          |
| 354            | 2             | 72601270 |          | 72602870 |          |
|                |               | Ref.     | Ref.     | Ref.     | Ref.     |



# acero inoxidable

tubos milimétricos

## Tubo redondo con soldadura

Calidad AISI 304 y 316 acabado en satinado



| diámetro<br>mm | espesor<br>mm | 304      | 316      |
|----------------|---------------|----------|----------|
|                |               | satinado |          |
| 25             | 1.5           | 72602051 |          |
| 42.4           | 2.6           | 72603400 |          |
| 48.3           | 2.6           | 72603415 |          |
| 50.8           | 1.5           | 72602060 | 72603430 |
| 63.5           | 1.5           | 72603440 |          |
| <b>Ref.</b>    |               |          |          |

## Tubo redondo con soldadura (desaladoras)

Calidad 904 L

| diámetro<br>pulgadas | diámetro<br>exterior mm | espesor<br>mm | 904<br>mate |
|----------------------|-------------------------|---------------|-------------|
| 1/2"                 | 21.34                   | 2.11          | 72603485    |
| 3/4"                 | 26.67                   | 2.11          | 72603495    |
| 1"                   | 33.40                   | 2.77          | 72603505    |
| 1"-1/4"              | 42.16                   | 2.77          | 72603515    |
| 1"-1/2"              | 48.26                   | 2.77          | 72603525    |
| 2"                   | 60.33                   | 2.77          | 72603535    |
| 3"                   | 88.90                   | 3.05          | 72603545    |

**Ref.**



## Tubo en rollo recocido (serpentin)

Calidad AISI 304 y 316 mate



| calidad | *medida<br>mm |          |
|---------|---------------|----------|
| 304     | 8x1           | 72600655 |
|         | 10x0.5        | 72600657 |
| 316     | 10x0.5        | 72602143 |

**Ref.**

## Tubo redondo con soldadura Calidad AISI 316 Norma ASTM 312



| diámetro exterior mm | diámetro pulgadas | DN  | SCHEDULE 10 S |          |          | SCHEDULE 40 S |          |
|----------------------|-------------------|-----|---------------|----------|----------|---------------|----------|
|                      |                   |     | mm            | Mate     | brillo   | mm            | mate     |
| 13.7                 | 1/4"              |     | 1.65          | 72602185 |          |               |          |
| 21.34                | 1/2"              | 15  | 2.11          | 72602260 | 72603050 | 2.77          | 72602280 |
| 17.15                | 3/8"              |     | 1.65          | 72602210 |          |               |          |
| 26.67                | 3/4"              | 20  | 2.11          | 72602320 | 72603085 | 2.87          | 72602340 |
| 33.40                | 1"                | 25  | 2.77          | 72602380 | 72603120 | 3.38          | 72602400 |
| 42.16                | 1"-1/4"           | 32  | 2.77          | 72602420 | 72603170 | 3.56          | 72602425 |
| 48.30                | 1"-1/2"           | 40  | 2.77          | 72602460 | 72603195 | 3.68          | 72602470 |
| 60.30                | 2"                | 50  | 2.77          | 72602480 | 72603225 | 3.91          | 72602490 |
| 73.03                | 2"-1/2"           | 65  | 3.05          | 72602500 | 72603256 | 5.16          | 72602505 |
| 88.90                | 3"                | 80  | 3.05          | 72602530 |          | 5.49          | 72602550 |
| 114.30               | 4"                | 100 | 3.05          | 72602600 |          | 6.02          | 72602620 |
| 141.30               | 5"                | 125 | 3.40          | 72602675 |          | 6.5           | 72602680 |
| 168.30               | 6"                | 150 | 3.40          | 72602730 |          | 7.11          | 72602740 |
| 219.08               | 8"                | 200 | 3.76          | 72602770 |          | 8.18          | 72602775 |
| 273.05               | 10"               |     | 4.19          | 72602790 |          |               |          |
| 323.90               | 12"               |     | 4.57          | 72602850 |          |               |          |

Ref.

Ref.

Ref.

## Tubo redondo estirado sin soldadura

Calidad AISI 316

| diámetro exterior mm | diámetro pulgadas | DN | SCHEDULE 10 S |          | SCHEDULE 40 S |          |
|----------------------|-------------------|----|---------------|----------|---------------|----------|
|                      |                   |    | mm            | mate     | mm            | mate     |
| 13.70                | 1/4"              | 8  | 1.65          | 72602190 | 2.24          | 72602155 |
| 17.15                | 3/8"              | 10 | 1.65          | 72602215 | 2.00          | 72602220 |
| 21.34                | 1/2"              | 15 | 2.11          | 72602265 | 2.77          | 72602290 |
| 26.67                | 3/4"              | 20 | 2.11          |          | 2.87          | 72602350 |
| 33.40                | 1"                | 25 | 2.77          | 72602385 | 3.38          | 72602405 |
| 48.26                | 1"-1/2"           | 40 | 2.77          |          | 3.68          |          |
| 73.03                | 2"-1/2"           | 65 | 3.05          | 72602510 | 5.16          |          |
| 114.30               | 4"                |    | 3.05          | 72602610 |               |          |

Ref.

Ref.



## Tubo cuadrado Calidad AISI 304 y 316



| sección mm | espesor mm | 304      |          | 316      |          |
|------------|------------|----------|----------|----------|----------|
|            |            | mate     | brillo   | mate     | brillo   |
| 10x10      | 1.0        | 09841600 | 09840800 |          | 09842440 |
| 15x15      | 1.0        | 09841620 | 09840820 |          |          |
|            | 1.5        | 09841630 | 09840830 | 09842890 | 09842480 |
| 20x20      | 1.0        | 09841640 | 09840840 |          |          |
|            | 1.5        | 09841660 | 09840860 | 09842900 | 09842500 |
| 25x25      | 1.0        | 09841680 | 09840880 |          |          |
|            | 1.5        | 09841700 | 09840900 | 09842920 | 09842520 |
| 30x30      | 1.0        | 09841720 | 09840920 |          |          |
|            | 1.5        | 09841740 | 09840940 | 09842940 | 09842540 |
| 35x35      | 2.0        | 09841760 |          |          |          |
|            | 1.5        | 09841770 | 09840950 |          |          |
| 40x40      | 1.0        | 09841780 | 09840960 |          |          |
|            | 1.5        | 09841800 | 09840980 | 09842960 | 09842560 |
|            | 2.0        | 09841820 |          |          |          |
| 50x50      | 3.0        | 09841830 |          | 09842965 |          |
|            | 1.5        | 09841840 | 09841000 | 09842980 | 09842580 |
|            | 2.0        | 09841860 |          | 09842990 | 09842585 |
|            | 3.0        | 09841870 |          | 09842993 |          |
| 60x60      | 5.0        | 09841875 |          |          |          |
|            | 1.5        | 09841880 | 09841020 | 09843000 | 09842590 |
|            | 2.0        | 09841900 |          | 09843020 | 09842600 |
| 80x80      | 3.0        | 09841905 |          |          |          |
|            | 2.0        | 09841920 | 09841060 |          | 09842620 |
| 100x100    | 4.0        | 09841930 |          |          |          |
|            | 2.0        | 09841950 | 09841080 | 09843100 | 09842640 |
| 150x150    | 3.0        | 09841960 |          | 09843110 | 09842650 |
|            | 3.0        | 09842000 |          |          |          |
|            |            | Ref.     | Ref.     | Ref.     | Ref.     |



Tubo **rectangular**  
Calidad AISI 304 y 316



| sección<br>mm | espesor<br>mm | 304      |          | 316      |          |
|---------------|---------------|----------|----------|----------|----------|
|               |               | mate     | brillo   | mate     | brillo   |
| 20x10         | 1.0           | 60140400 | 60140800 |          | 60141490 |
| 20x10         | 1.5           | 60140415 | 60140810 |          | 60141495 |
| 30x15         | 1.0           | 60140430 | 60140830 |          |          |
| 30x15         | 1.5           | 60140445 | 60140835 | 60141200 | 60141500 |
| 40x10         | 1.5           |          | 60140850 |          | 60141520 |
| 40x20         | 1.0           | 60140460 | 60140860 | 60141230 |          |
| 40x20         | 1.5           | 60140470 | 60140890 | 60141245 | 60141530 |
| 50x10         | 1.5           |          | 60140900 |          | 60141545 |
| 50x10         | 2.0           |          | 60140910 |          |          |
| 50x20         | 1.5           |          | 60140915 |          |          |
| 50x25         | 1.5           | 60140505 | 60140920 |          | 60141548 |
| 50x30         | 1.5           |          | 60140930 |          |          |
| 60x10         | 1.5           |          | 60140940 |          | 60141555 |
| 60x20         | 1.5           |          | 60140945 |          |          |
| 60x30         | 1.5           | 60140520 | 60140950 | 60141260 | 60141560 |
| 60x40         | 1.5           | 60140525 | 60140960 |          | 60141570 |
| 60x40         | 2.0           | 60140530 |          | 60141270 |          |
| 60x40         | 3.0           | 60140535 |          |          |          |
| 80x40         | 1.5           | 60140550 | 60140980 | 60141280 | 60141590 |
| 80x40         | 2.0           | 60140580 | 60140985 | 60141290 | 60141592 |
| 80x40         | 3.0           | 60140585 |          |          |          |
| 100x20        | 1.5           |          | 60140987 |          |          |
| 100x50        | 2.0           | 60140600 | 60140990 | 60141300 | 60141610 |
| 100x50        | 3.0           | 60140610 |          |          |          |
| 100x50        | 5.0           | 60140620 |          |          |          |
| 100x60        | 2.0           |          | 60141000 |          |          |
| 120x60        | 2.0           | 60140630 | 60141010 |          |          |
| 120x60        | 3.0           |          |          | 60141320 | 60141630 |
| 120x60        | 4.0           | 60140650 |          |          |          |
| 150x50        | 3.0           | 60140660 |          |          | 60141650 |
| 200x100       | 4.0           | 60140690 |          |          |          |

Ref.

Ref.

Ref.

Ref.



# 61810

- Ítem popular

## Rodamientos rígidos de bolas

### Datos de los rodamientos

#### Tolerancias,

Normales (métricas), P6, P5, Normales (en pulgadas),

#### Juego radial interno,

Clases C2 a C5

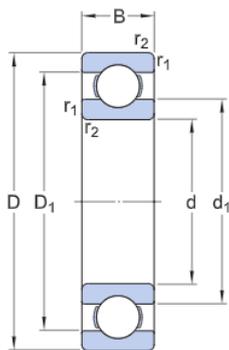
### Interfaces del rodamiento

#### Tolerancias de los asientos

para condiciones estándares,

#### Tolerancias y ajustes resultantes

## Especificación técnica

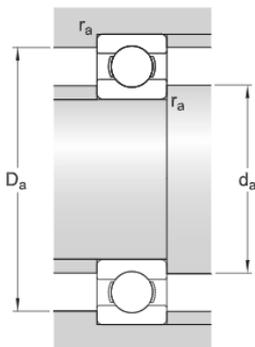


### DIMENSIONES

|                  |             |                       |
|------------------|-------------|-----------------------|
| d                | 50 mm       | Diámetro del agujero  |
| D                | 65 mm       | Diámetro exterior     |
| B                | 7 mm        | Ancho                 |
| d <sub>1</sub>   | ≈ 54.67 mm  | Diámetro del resalte  |
| D <sub>1</sub>   | ≈ 60.3 mm   | Diámetro del resalte  |
| r <sub>1,2</sub> | min. 0.3 mm | Dimensión del chaflán |

### DIMENSIONES DE LOS RESALTES

|                     |        |                                     |
|---------------------|--------|-------------------------------------|
| d <sub>a</sub> min. | 52 mm  | Diámetro del resalte del eje        |
| D <sub>a</sub> max. | 63 mm  | Diámetro del resalte del soporte    |
| r <sub>a</sub> max. | 0.3 mm | Radio del eje o acuerdo del soporte |



## DATOS DEL CÁLCULO

|                                    |                |              |
|------------------------------------|----------------|--------------|
| Capacidad de carga dinámica básica | C              | 6.76 kN      |
| Capacidad de carga estática básica | C <sub>0</sub> | 6.8 kN       |
| Carga límite de fatiga             | P <sub>u</sub> | 0.285 kN     |
| Velocidad de referencia            |                | 20 000 r/min |
| Velocidad límite                   |                | 13 000 r/min |
| Factor de carga mínima             | k <sub>r</sub> | 0.015        |
| Factor de cálculo                  | f <sub>0</sub> | 17.2         |

## MASA

|                    |          |
|--------------------|----------|
| Masa de rodamiento | 0.052 kg |
|--------------------|----------|

## CLASE DE TOLERANCIA

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| Tolerancias dimensionales | Normal |
| Desviación radial         | Normal |

# Planchas de Acero Inoxidable ASTM A240, calidad 304, 316 y 430



## PLANCHAS DE ACERO INOXIDABLE A240 / A480

Planchas de acero inoxidable calidad 304, 316 y 430; para uso petroquímico, industrial, equipamiento médico, utensilios de cocina, etc.

Anchos de 4' (1200 mm) y 5' (1500 mm).

Largos de 8' (2400 mm) y 10' (3000 mm).

Materiales: ASTM A240, A480

Resistentes a la corrosión y la oxidación.  
Acabados 2B, N°1 y N°4

Se mide en espesor x ancho x largo

### Características de Acabados:

**2B** Laminado en frío, recogido y decapado. Conocido como acabado MATE.

**N°1** Laminado en caliente, recogido y decapado. Conocido como acabado INDUSTRIAL.

**N°4** Pulido con cintas abrasivas de grano 150 a 400. conocido como acabado SATINADO.

| Espesor |       | Peso Teórico (Kg) |          |
|---------|-------|-------------------|----------|
| pulg    | mm    | 4' x 8'           | 5' x 10' |
|         | 0.3   | 7.14              | 11.15    |
| 1/64    | 0.4   | 9.53              | 14.86    |
| 1/54    | 0.45  | 10.72             | 16.72    |
| 1/46    | 0.50  | 11.91             | 18.58    |
|         | 0.55  | 13.09             | 20.44    |
| 1/40    | 0.6   | 14.29             | 22.30    |
|         | 0.7   | 16.67             | 26.01    |
| 1/32    | 0.8   | 19.05             | 29.73    |
| 1/27    | 0.9   | 21.43             | 33.45    |
| 1/20    | 1.2   | 28.58             | 44.59    |
| 1/16    | 1.5   | 35.72             | 55.74    |
| 5/64    | 2.0   | 47.57             | 74.32    |
| 3/32    | 2.5   | 59.45             | 92.90    |
| 1/8     | 3.0   | 71.35             | 111.48   |
|         | 3.5   | 83.24             | 130.26   |
| 5/32    | 4.0   | 95.13             | 148.64   |
| 3/16    | 4.76  | 113.21            | 176.89   |
| 1/4     | 6.35  | 151.02            | 235.97   |
| 3/8     | 9.53  | 226.65            | 354.15   |
| 1/2     | 12.70 | 302.05            | 471.95   |
| 5/8     | 15.00 | 356.75            | 557.42   |
|         | 18.00 | 428.10            | 668.90   |
| 3/4     | 19.05 | 453.07            | 707.92   |
| 1       | 25.40 | 604.09            | 943.89   |
| 1 1/4   | 31.75 | 755.12            | 1179.87  |
| 1 1/2   | 38.10 | 906.14            | 1415.84  |
| 2       | 50.80 | 1208.19           | 1887.79  |

\* Equivalencias de conversión son aproximadas.

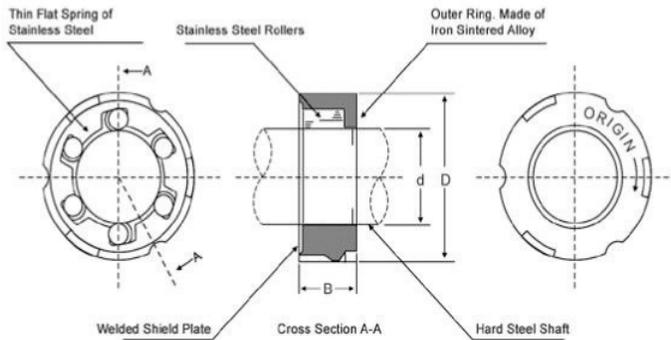
## OWC-GXZ SERIES

One-way clutches are newly designed compact, light and high performance unidirectional clutches with affordable prices. These clutches consist of sintered alloy outer ring, stainless steel roller, leaf spring and welded shield plate. Assembled units pulley, gear or other mechanical elements will be available on request.

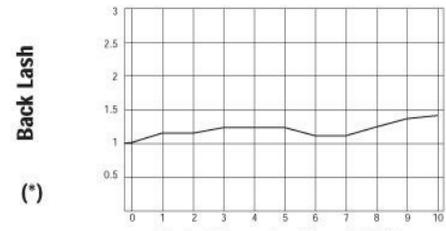
“One-Way Clutch” is a mechanical element in a radial rotary system. It puts the active and passive parts of the system together by clutching in one direction (for instance, in clockwise direction) while preventing the power transmission in the other direction (in this case, counterclockwise) by free wheeling.

- Excellent heat resistance (Max operating temperatures 194° F)
- Compact size (Max width: 5.4 mm)
- Small free wheeling torque (See the table at right)

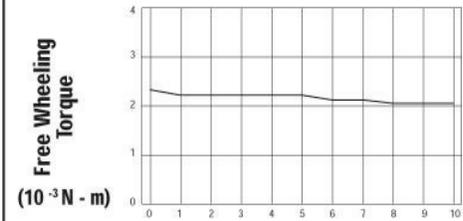
### STANDARD FEATURES



### TEST DATA FOR TYPE OWC612GXLZ



Clutch Engaging Time vs. Backlash



Clutch Engaging Time vs. Free Wheeling Torque

### TEST CONDITIONS

| ITEMS              | CONTENTS   |
|--------------------|--|
| Shaft              | Material: suj-2<br>Diameter: ) 5.97mm<br>Hardness: HRC60 |
| Engaging Frequency | 300 Time / min.  |
| Engaging Torque    | 0.8 N • m  |
| Oscillation Angle  | 60°  |

CAUTION: Shaft should be precision heat-treated steel with designated hardness.

## OWC-GXZ Origin Miniature One Way Bearings

| Dimensions          | Part Number | Torque (N.m)      | Backlash | Weight (g) |
|---------------------|-------------|-------------------|----------|------------|
| <b>Metric</b>       |             |                   |          |            |
| 3 x 7.2000 x 5.4000 | OWC307GXRZ  | 0.13Kgf-Cm/1.15in | 4        | 1.10       |
| 3 x 7.2000 x 5.4000 | OWC307GXLZ  | 0.13Kgf-Cm/1.15in | 4        | 1.11       |
| 4 x 10 x 5.4000     | OWC410GXRZ  | 0.5Kgf-Cm/2.66    | 3.5      | 2.15       |
| 4 x 10 x 5.4000     | OWC410GXLZ  | 0.5Kgf-Cm/2.66in  | 3.5      | 2.14       |
| 5 x 11 x 5.4000     | OWC511GXRZ  | 0.6Kgf-Cm/5.31in  | 3        | 2.35       |
| 5 x 11 x 5.4000     | OWC511GXLZ  | 0.6Kgf-Cm/5.31in  | 3        | 2.34       |
| 6 x 12 x 5.4000     | OWC612GXRZ  | 0.8Kgf-Cm/7.08in  | 3        | 2.75       |
| 6 x 12 x 5.4000     | OWC612GXLZ  | 0.8Kgf-Cm/7.08in  | 3        | 34         |
| 8 x 14 x 5.4000     | OWC814GXRZ  | 1.1Kgf-Cm/9.74in  | 2        | 3.37       |
| 8 x 14 x 5.4000     | OWC814GXLZ  | 1.1Kgf-Cm/9.74in  | 2        | 3.41       |
| 10 x 16 x 5.4000    | OWC1016GXRZ | 1.5Kgf-Cm/13.28in | 1        | 4.03       |
| 10 x 16 x 5.4000    | OWC1016GXLZ | 1.5Kgf-Cm/13.28in | 1        | 4.02       |

LZ = Left Turn, RZ = Right Turn

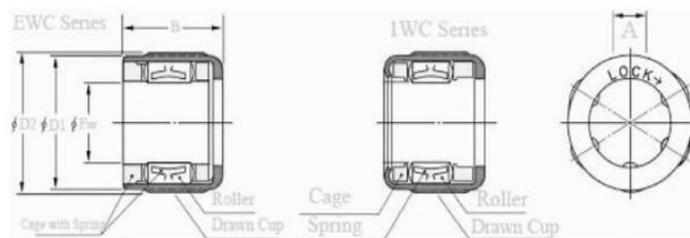
## Types and Characteristics of Miniature One-Way Clutch

|                                | EWC series (with synthetic resin spring)   |                 | IWC series (with metal springs) |
|--------------------------------|--|-----------------|---------------------------------|
|                                | Heavy load type  | Light load type | Heavy load type                 |
|                                | EWC...C  | EWC...A         | IWC...                          |
| Torque capacity                | Heavy load   | Light load      | Heavy load                      |
| Range of operating temperature | -10 ~ 70 °C  |                 | -10 ~ 90 °C                     |
| Locking life                   | Locking system can function more than 1 million times,<br>(Provided that torque capacity remains below the figures shown in the specification tables)                        |                 |                                 |
| Insert molding                 | Impossible   |                 | Possible                        |
| Delivery of clutch only        | Possible   |                 |                                 |
| Unit delivery                  | Standard : Polyacetal resin    Standard gear accuracy : Gear intermeshing accuracy JGMA class 6  |                 |                                 |
| Remark                         | One-way clutch for rust prevention with nickel plating on drawn cup and stainless rollers is also available.<br>(Characteristics can be similar to those of heavy load type) |                 |                                 |

※Housing can be designed in accordance with shapes of gears, timing pulleys and cams.

Please contact Boca Bearing Company for further information.

## Parts and Dimensions



## EWC One Way Bearings

| Dimensions    | Part Number | Torque (N.m) | Shaft (RPM) | Weight (g) |
|---------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| <b>Metric</b> |             |              |             |            |
| 4 x 8 x 6     | EWC0406     | 0.08         | 32000       | 1          |
| 6 x 10 x 6    | EWC0606     | 0.19         | 16000       | 1.4        |
| 6 x 10 x 8    | EWC0608     | 0.25         | 16000       | 1.7        |
| 8 x 12 x 9    | EWC0809     | 0.49         | 16000       | 2.4        |
| 8 x 14 x 12   | EWC0812     | 1.18         | 16000       | 5.8        |
| 10 x 16 x 7   | EWC1007     | .845         | 14000       | 5.6        |
| 10 x 16 x 8   | EWC1008     | .95          | 14000       | 5.7        |
| 10 x 16 x 10  | EWC1010     | 1.18         | 14000       | 6          |
| 10 x 16 x 12  | EWC1012     | 1.37         | 14000       | 6.8        |
| 12 x 18 x 9   | EWC1209     | 3.04         | 12000       | 6.2        |
| 12 x 18 x 16  | EWC1216     | 6.28         | 12000       | 6.4        |

-Part numbers shown above are the only sizes available in the EWC series. Please inquire for further info on EWC-A and IWC.



## SYK 20 TD

### Unidades de rodamientos de bolas con soporte de pie

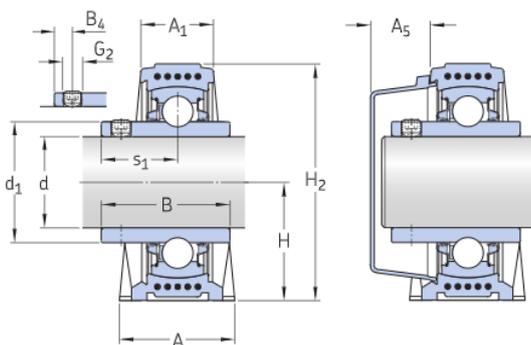
Los valores dependen del rodamiento incluido:

tabla 1, tabla 2, tabla 3,  
tabla 4

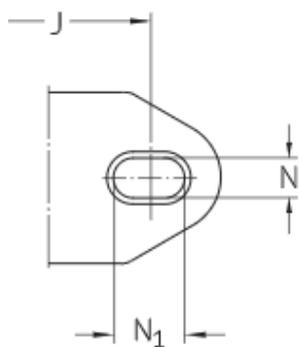
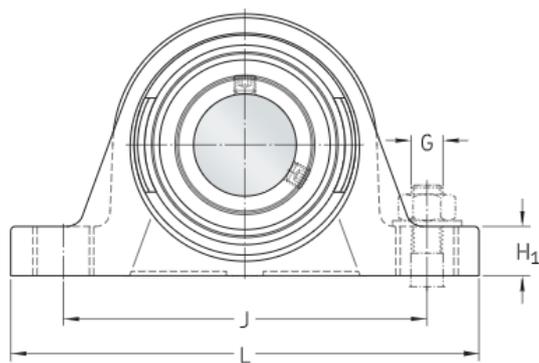
## Especificación técnica

|                              |                             |
|------------------------------|-----------------------------|
| Cumplimiento con el estándar | ISO                         |
| Para un propósito específico | Para aplicaciones agrícolas |
| Material del soporte         | Material compuesto          |
| Solución de sellado          | Sellos de 5 labios          |

## DIMENSIONES



|                |           |  |
|----------------|-----------|--|
| d              | 20 mm     | Diámetro del agujero   |
| d <sub>1</sub> | ≈ 28.2 mm | Diámetro del resalte del aro interior  |
| A              | 32 mm     | Ancho de la base   |
| A <sub>1</sub> | 21 mm     | Ancho superior   |
| A <sub>5</sub> | 20 mm     | Ancho incluida la tapa lateral   |
| B              | 31 mm     | Ancho del aro interior   |
| B <sub>4</sub> | 4.5 mm    | Distancia de la cara lateral del dispositivo de fijación al centro de la rosca |
| H              | 33.3 mm   | Altura del centro del asiento esférico   |
| H <sub>1</sub> | 16        | Altura del pie   |



|                |             |   |
|----------------|-------------|---|
|                | mm          |   |
| H <sub>2</sub> | 64.5 mm     | Altura total  |
| J              | 96.5 mm     | Distancia entre los tornillos de fijación   |
| J              | max. 102 mm | Distancia entre los tornillos de fijación   |
| J              | min. 91 mm  | Distancia entre los tornillos de fijación   |
| L              | 126 mm      | Longitud total  |
| N              | 12 mm       | Díámetro del agujero del tornillo de fijación   |
| N <sub>1</sub> | 17.5 mm     | Longitud del agujero del tornillo de fijación   |
| s <sub>1</sub> | 18.3 mm     | Distancia de la cara lateral del dispositivo de fijación al centro del camino de rodadura |

### DATOS DEL CÁLCULO

|                                    |                |             |
|------------------------------------|----------------|-------------|
| Capacidad de carga dinámica básica | C              | 12.7 kN     |
| Capacidad de carga estática básica | C <sub>0</sub> | 6.55 kN     |
| Carga límite de fatiga             | P <sub>u</sub> | 0.28 kN     |
| Velocidad límite                   |                | 1 800 r/min |
| con tolerancia de eje h6           |                |             |

### MASA

|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| Masa de unidad de rodamientos | 0.25 kg |
|-------------------------------|---------|

### INFORMACIÓN DE MONTAJE

|                      |                |         |
|----------------------|----------------|---------|
| Tornillo de fijación | G <sub>2</sub> | M6x0.75 |
|----------------------|----------------|---------|



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, DECIDERIO ENRIQUE DIAZ RUBIO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "DISEÑO DE UN CONVERTIDOR UNDIMOTRIZ "SALTER'S DUCK" PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL PUERTO DE ILO", cuyo autor es MORALES BARRETO ABEL JESUS, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 11.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 17 de Noviembre del 2022

| <b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>  | <b>Firma</b>   |
|---|--|
| DECIDERIO ENRIQUE DIAZ RUBIO<br><b>DNI:</b> 16728343<br><b>ORCID:</b> 0000-0002-8925-4079 | Firmado electrónicamente<br>por: DRUBIODE el 18-11-<br>2022 11:35:33 |

Código documento Trilce: TRI - 0443808