

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UNA  
PLATAFORMA FLOTANTE PARA BOMBA DE TURBINA VERTICAL”**

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR**

**Bach. GARCÍA FERREL JOHAN ARTURO**

**ASESOR:**

**ING. LONGA ÁLVAREZ JOSÉ.**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2024.**

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. **Investigador:** Johan Arturo García Ferrel

**DNI:** 45537595

**Escuela Profesional:** Ingeniería Civil

2. **Asesor:** Mcs. Ing. José Hilario Longa Álvarez

**Facultad:** Ingeniería

3. **Grado académico o título profesional**

Bachiller

Título profesional

Segunda especialidad

Maestro

Doctor

4. **Tipo de Investigación:**

Tesis

Trabajo de investigación

Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

5. **Título de Trabajo de Investigación:**

"ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UNA PLATAFORMA FLOTANTE PARA BOMBA DE TURBINA VERTICAL"

6. **Fecha de evaluación:** 11/03/2024

7. **Software antiplagio:**

TURNITIN

URKUND (OURIGINAL) (\*)

8. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 10%

9. **Código Documento:** oid:3117:339104150

10. **Resultado de la Evaluación de Similitud:**

APROBADO  PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 11 de marzo del 2024



FIRMA DEL ASESOR

Nombres y Apellidos Mcs. Ing. José Hilario Longa Álvarez

DNI: 26612572



Firmado digitalmente por:  
FERNANDEZ LEON Yvonne  
Katherine FAU 20148258801 soft  
Motivo: Soy el autor del  
documento  
Fecha: 11/03/2024 10:55:02-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

**Copyright © 2024**

**By Johan Arturo García Ferrel**

**Todos los derechos reservados**

## ***Agradecimiento***

*A Dios, por permitirme haber llegado hasta este momento en la vida, otorgarme sus bendiciones y lograr alcanzar el éxito, al obtener el título profesional.*

*A mi madre, por ser la fuerza motriz en cada uno de mis logros y motivación durante mi tiempo académico, profesional y en la vida.*

*A mis tíos María y José, por su constante apoyo, sus consejos, y paciencia en todo este proceso.*

*A mi asesor, el Ing. José Longa Álvarez por su dedicación, brindar sus conocimientos y la orientación necesaria para la elaboración de la presente tesis.*

*J. García.*

## ***Dedicatoria***

*A mi madre Yaquelín Ferrel*

*Por haberme dado la vida, ser una mujer que con su ejemplo siempre me inculcó los valores del trabajo, esfuerzo y la perseverancia.*

*A mi padre Nelson García Qepd.*

*Por haberme dado la vida y sé que desde el cielo siempre está enviándome sus bendiciones, para poder lograr todos los objetivos que me propongo en la vida.*

*A mi tío José Ferrel*

*Por todos estos últimos años, haber sido como un padre para mí, ser mi guía y mentor en la vida, así como en lo profesional.*

*J. García.*

## CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xii</b>
<b>1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
1.1. Contexto .....	13
1.2. Planteamiento del Problema.....	14
1.3. Hipótesis.....	14
1.4. Justificación de la investigación.....	14
1.4.1. Justificación práctica:.....	14
1.4.2. Justificación económica:.....	14
1.4.3. Justificación metodológica.....	14
1.4.4. Justificación investigativa.....	14
1.5. Alcances y delimitación de la Investigación.....	15
1.5.1. Alcances.....	15
1.5.2. Delimitación.....	15
1.5.3. Limitaciones.....	15
1.6. Objetivos .....	15
1.6.1. Objetivo General.....	15
1.6.2. Objetivos Específicos.....	15
1.7. Descripción de contenidos de los capítulos.....	16
<b>2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
2.1. Antecedentes Teóricos .....	17
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	17
2.1.2. Antecedentes Nacionales .....	18
2.1.3. Antecedentes Locales.....	20

2.2.	Bases teóricas .....	21
2.2.1.	Principio de Arquímedes.....	21
2.2.2.	Flotación .....	22
2.2.3.	Estabilidad de cuerpos flotantes y sumergidos .....	31
2.2.4.	Método de los elementos finitos (MEF) .....	41
2.2.5.	Plataforma flotante.....	47
2.2.6.	Estaciones de bombeo flotante.....	51
2.2.7.	Bomba de turbina vertical.....	52
2.3.	Definición de términos básicos .....	56
<b>3.</b>	<b>CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>58</b>
3.1.	Ubicación geográfica.....	58
3.2.	Tiempo de realización de la investigación .....	58
3.3.	Metodología .....	58
3.3.1.	Tipo de investigación.....	58
3.3.2.	Método de investigación.....	58
3.3.3.	Diseño de la investigación .....	59
3.3.4.	Población.....	59
3.3.5.	Muestra .....	59
3.3.6.	Unidad de análisis .....	59
3.3.7.	Métodos e instrumentos de recolección de información.....	59
3.4.	Procedimiento.....	59
3.4.1.	Generalidades.....	59
3.4.2.	Dimensionamiento .....	60
3.4.3.	Materiales.....	64
3.4.4.	Normativa .....	64
3.4.5.	Software .....	64

3.5.	Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados .....	65
3.5.1.	Metrados de carga .....	65
3.5.2.	Combinaciones de carga .....	67
3.5.3.	Cálculo estructural .....	69
3.5.4.	Renderizado .....	72
3.5.5.	Flotabilidad .....	73
3.5.6.	Estabilidad.....	74
<b>4.</b>	<b>MÓDULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>85</b>
<b>5.</b>	<b>MÓDULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>86</b>
5.1.	Conclusiones .....	86
5.2.	Recomendaciones.....	86
<b>6.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>88</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>92</b>
7.1.	Anexo 1: Renderizado .....	93
7.2.	Anexo 2: Resultados de cálculo estructural .....	96
7.3.	Anexo 3: Planos del diseño .....	109

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Criterios de área (ingreso - salida) – Diseño de pasillos y pasarelas .....	61
<b>Tabla 2</b> Criterios de área (ingreso - salida) – Barandas de cubierta / Protección .....	62
<b>Tabla 3</b> Pesos de la plataforma flotante .....	65
<b>Tabla 4</b> Resumen de equipos y accesorios.....	65
<b>Tabla 5</b> Cargas actuantes sobre el flotador .....	68
<b>Tabla 6</b> Combinaciones de carga para flotador: Caso 2.....	69
<b>Tabla 7</b> Fuerza de reacción pórtico monorriel .....	70
<b>Tabla 8</b> Fuerza de reacción flotador.....	71
<b>Tabla 9</b> Análisis de estabilidad: Sin carga – Resumen .....	77
<b>Tabla 10</b> Análisis de estabilidad: Máxima carga – Resumen .....	79
<b>Tabla 11</b> Análisis de estabilidad: Mantenimiento – Resumen.....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Lanzamiento de una barcaza .....	20
<b>Figura 2</b> Tipos de problemas de flotabilidad .....	21
<b>Figura 3</b> Placa uniforme sumergida en un líquido, paralela a la superficie libre. ....	22
<b>Figura 4</b> Fuerzas de flotación actuantes sobre un cuerpo sólido sumergido en un fluido. ....	24
<b>Figura 5</b> Comportamiento de cuerpos sólidos sumergidos en fluidos .....	25
<b>Figura 6</b> Fuerza de boyamiento en cuerpos flotantes y sumergidos .....	26
<b>Figura 7</b> Componentes verticales de las fuerzas actuantes sobre un cuerpo .....	27
<b>Figura 8</b> Diagrama de cuerpo libre para un objeto sumergido en un fluido .....	28
<b>Figura 9</b> Diagrama de cuerpo libre de un cubo.....	30
<b>Figura 10</b> Estabilidad e inestabilidad de un cuerpo flotante .....	32
<b>Figura 11</b> Ejemplos de equilibrio estable, inestable y neutro (indiferente) .....	33
<b>Figura 12</b> Estabilidad rotacional de cuerpos sumergidos .....	34
<b>Figura 13</b> Estabilidad de un cuerpo prismático .....	35
<b>Figura 14</b> Estabilidad de una bola sobre el piso .....	36
<b>Figura 15</b> Estabilidad de un cuerpo sumergido neutralmente flotante .....	37
<b>Figura 16</b> Condiciones de estabilidad de un cuerpo flotante .....	37
<b>Figura 17</b> Método para encontrar el metacentro .....	38
<b>Figura 18</b> Grado de estabilidad .....	40
<b>Figura 19</b> Curva de estabilidad estática .....	41
<b>Figura 20</b> Dominio bidimensional general y discretización .....	43
<b>Figura 21</b> Dominio bidimensional curvo .....	44
<b>Figura 22</b> Barra cilíndrica troncocónica cargada axialmente y su modelado .....	45
<b>Figura 23</b> Ejemplo de resultados obtenidos por software MEF.....	47
<b>Figura 24</b> Plataforma flotante de polietileno .....	48
<b>Figura 25</b> Plataforma gigante de acero .....	49

<b>Figura 26</b> Plataforma flotante de concreto.....	49
<b>Figura 27</b> Plataforma flotante de metal y concreto.....	50
<b>Figura 28</b> Estación de bombeo flotante .....	52
<b>Figura 29</b> Bomba de turbina vertical .....	53
<b>Figura 30</b> Componentes de una bomba de turbina vertical .....	55
<b>Figura 31</b> Dimensiones de la bomba de turbina vertical .....	60
<b>Figura 32</b> Plataforma flotante con sus componentes .....	63
<b>Figura 33</b> Orientación de la plataforma flotante.....	75
<b>Figura 34</b> Centro de gravedad sección sumergida.....	76
<b>Figura 35</b> Análisis de estabilidad: Sin carga.....	78
<b>Figura 36</b> Análisis de estabilidad: Carga máxima .....	80
<b>Figura 37</b> Análisis de estabilidad: Mantenimiento .....	82
<b>Figura 38</b> Curva de estabilidad estática a grandes ángulos .....	83

## RESUMEN

La presente tesis se desarrolló con el objetivo principal de diseñar una estructura flotante, resistente e hidrostáticamente estable, con la capacidad de soportar una bomba de turbina vertical en aguas sin efecto de oleaje como lagos, lagunas y embalses. El problema planteado fue que este tipo de estructuras flotantes para estaciones de bombeo, se diseñan tomando en cuenta la capacidad de flotación y muy pocas veces es considerada la estabilidad hidrostática del sistema en conjunto ante las diferentes situaciones que enfrentará, lo que podría originar riesgos de volcaduras y fallas estructurales. El procedimiento se llevó a cabo en dos partes, la primera se centra en el cálculo estructural, mediante el desarrollo de un modelo computacional utilizando análisis por elementos finitos (FEA), con el software inventor 2023, el cual permitió analizar el comportamiento estructural ante diferentes condiciones de carga, aplicando el diseño por factores de carga y resistencia (LRFD), considerando la normativa peruana e internacional, la segunda parte se basó en el análisis de flotabilidad (vacío y a plena carga) y estabilidad para tres condiciones (sin carga, máxima carga y mantenimiento), utilizando los principios de la mecánica de fluidos, métodos analíticos y matemáticos, determinando una estabilidad a grandes ángulos de  $80^\circ$  con un par restaurador de 2.20 y un momento resistencia a volcaduras de hasta 28.56 ton-m, resultando en el diseño de una estructura modular de 5 m de eslora, 5 m de manga y 1.2 m de puntal resistente y estable, que facilita el transporte y ensamblaje en obra.

**Palabras clave:** Plataforma flotante, análisis de estabilidad, cálculo estructural, bomba de turbina vertical, elementos finitos.

## ABSTRACT

This thesis was developed with the main objective of designing a floating structure, resistant and hydrostatically stable, capable of supporting a vertical turbine pump in water bodies without wave action such as lakes, lagoons, and reservoirs. The problem addressed was that this type of floating structures for pumping stations are designed taking into account buoyancy capacity, often neglecting the hydrostatic stability of the system as a whole under different scenarios it will face, which could lead to risks of capsizing and structural failures. The procedure was carried out in two parts: the first focused on structural calculation, through the development of a computational model using finite element analysis (FEA), with Inventor 2023 software, which allowed analyzing structural behavior under different load conditions, applying the design by Load and Resistance Factor Design (LRFD), considering both Peruvian and international regulations. The second part was based on buoyancy analysis (empty and full load) and stability for three conditions (no load, maximum load, and maintenance), using principles of fluid mechanics, analytical, and mathematical methods, determining stability at large angles of  $80^\circ$  with a restoring torque of 2.20 and a capsizing resistance moment of up to 28.56 ton-m, resulting in the design of a modular structure of 5 m length, 5 m beam, and 1.2 m draft, which facilitates transport and assembly on site.

**Keywords:** Floating platform, stability analysis, structural calculation, vertical turbine pump, finite elements.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Contexto

En el mundo entero las plataformas flotantes surgieron como una solución a diferentes aplicaciones en cuerpos de agua, como lagunas y embalses. Surgiendo como una buena alternativa para actividades de turismo, acuicultura y extracción de agua en general. Este tipo de estructuras ofrece una alternativa versátil y de bajo impacto ambiental frente a estructuras en tierra, permitiendo así implementar sistemas de bombeo de agua en ubicaciones estratégicas.

“América Latina y el Caribe se caracteriza por albergar casi un tercio de los recursos hídricos mundiales. Aun así, no hay suficiente disposición de este recurso en ciudades y zonas productivas, teniendo un limitado acceso al agua potable”. (Comisión Económica para América Latina [CEPAL] , s.f.). Es así como, el uso de plataformas flotantes para estaciones de bombeo se ha visto incrementado en países latinoamericanos, debido a su capacidad para adaptarse a las variaciones del nivel de agua y condiciones hidrológicas.

Dentro del contexto peruano, la gestión de recursos hídricos toma importancia en sus actividades económicas, como es la agricultura y el suministro de agua potable. Siendo este el caso, el uso de plataformas flotantes para sistemas de bombeo representan buenas oportunidades de optimizar el proceso de extracción de agua y mejorar los sistemas de abastecimiento, sobre todo en zonas de accidentada topografía, puesto que dificulta la construcción de sistemas de bombeo en tierra o donde se necesite superar grandes desniveles de impulsión.

Aunque las plataformas flotantes ofrecen estos beneficios, para sistemas de bombeo con bombas de turbina vertical, nos encontramos con desafíos técnicos y de diseño que debemos tener en cuenta. Es así como el análisis de estabilidad y cálculo estructural de estas plataformas toma un rol importante para garantizar su operación segura y confiable ante condiciones hidrológicas variables.

La realización de esta investigación surge por la necesidad de diseñar estructuras flotantes estables y con buena resistencia estructural, capaces de soportar una bomba de turbina vertical en lagunas y embalses.

Existen métodos empíricos y analíticos para realizar el análisis de estabilidad y flotabilidad en plataformas, embarcaciones, barcazas, pontones, etc., así mismo también para llevar a cabo el cálculo de este tipo de estructuras.

En la actualidad hay nuevos métodos basados en software que realiza estos cálculos a través de análisis de elementos finitos (FEA, por sus siglas en inglés), es así como nos apoyaremos en esta metodología para lograr reducir el tiempo de cálculo y análisis para posteriormente modelar y detallar la estructura completa y así poder obtener una información fiable y eficaz.

## **1.2. Planteamiento del Problema**

¿Qué se requiere para obtener una plataforma flotante estable para bomba de turbina vertical?

## **1.3. Hipótesis**

El análisis de estabilidad hidrostática y cálculo estructural de una plataforma flotante para bomba de turbina vertical permitirá tener una estructura estable.

## **1.4. Justificación de la investigación**

### ***1.4.1. Justificación práctica:***

En la actualidad las plataformas flotantes para estaciones de bombeo se fabrican tomando en cuenta la capacidad de flotación y muy pocas veces se considera la estabilidad del sistema en conjunto. Al llevar a cabo el análisis de estabilidad del sistema y su respectivo cálculo estructural, se contribuye a reducir el riesgo de volcaduras y fallas estructurales.

### ***1.4.2. Justificación económica:***

Al reducir las probabilidades de volcaduras o fallas estructurales, se genera ahorro a largo plazo, evitando que el sistema tenga inesperados cortes de operatividad.

### ***1.4.3. Justificación metodológica***

Porque hacemos uso de metodologías como el análisis por elementos finitos, implementación de software y procedimientos de cálculos de estabilidad.

### ***1.4.4. Justificación investigativa***

Este estudio forma precedentes para futuros estudios que contengan estas variables, además que requieran incluir otras y así ampliar la investigación.

## **1.5. Alcances y delimitación de la Investigación**

### **1.5.1. Alcances**

El principal el alcance de esta investigación se centró en el desarrollo de un modelo computacional para determinar el comportamiento estructural y analizar la estabilidad de una plataforma flotante, para el uso de un sistema de bombeo, frente a diferentes condiciones de carga.

### **1.5.2. Delimitación**

El estudio está delimitado por cuerpos de agua que no están sometidos a oleaje (lagos, lagunas y embalses) y por la unidad de análisis, la cual es una plataforma para bomba de turbina vertical modelo B16H-H-01 + B20C-H-0, de la marca Hidrostral, con potencia de 400 HP y de 2 etapas.

### **1.5.3. Limitaciones**

En el desarrollo de este estudio nos encontramos con una limitación considerable, y es que en Perú no se cuenta con una normativa específica para este tipo de estructuras, por lo cual tomamos partes de la normativa peruana, así como extranjera.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo General**

Realizar el análisis de estabilidad y cálculo estructural de una plataforma flotante para bomba de turbina vertical.

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

1. Realizar los cálculos de diseño de la estructura utilizando análisis por elementos finitos (FEA, por sus siglas en inglés).
2. Determinar el análisis de estabilidad hidrostática y el grado de inclinación máxima.

## **1.7. Descripción de contenidos de los capítulos**

### ***Capítulo I: Introducción***

Este capítulo abarca el contexto del problema y su planteamiento, además desarrolla la hipótesis, justificación, alcances y limitaciones que se tuvieron para el estudio.

### ***Capítulo II: Marco Teórico***

bc.

### ***Capítulo III: Materiales y Métodos***

Este capítulo ubica geográficamente la investigación, el tiempo que tardó, así como el procedimiento, tratamiento, análisis, presentación de datos y resultados.

### ***Capítulo IV: Análisis y Discusión de Resultados***

Este capítulo analiza y discute resultados obtenidos por medio de los parámetros de cálculo y diseño, con los cuales define el modelo planteado.

### ***Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones***

Este es el capítulo final y muestra las conclusiones acordes con los objetivos planteados de la investigación; además toma en cuenta recomendaciones para futuras investigaciones relacionadas con este tema.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes Teóricos

#### 2.1.1. *Antecedentes Internacionales*

Palos (2014), en su proyecto titulado "Análisis de la estabilidad de un buque durante la operación de descarga de una carga pesada", presenta un estudio detallado sobre el comportamiento de un buque con una eslora de 93.50 m, manga de 16 m y puntal de 7.3 m, con su carga, centrándose específicamente en su estabilidad mutua. Dado que la estabilidad del buque está influenciada por muchos factores que pueden afectarla, y dada la complejidad analítica que implica el análisis de estabilidad, el trabajo se centra en un caso concreto: las operaciones de descarga con cargas pesadas. El análisis se concentra en cálculos y consideraciones necesarias para la seguridad de las personas y objetos. La parte primera de su trabajo se centra en los estudios analíticos teóricos de la estabilidad y la carga del barco para las operaciones de liberación, teniendo en cuenta las condiciones específicas del barco y la carga, así como la operación de lanzamiento en sí. La parte dos del estudio está dada por la relación entre la teoría estudiada y la aplicación práctica, haciendo uso de los resultados de la primera parte en las aplicaciones prácticas con datos reales, es decir, datos relacionados con las características del buque y su carga. Las conclusiones extraídas confirman la complejidad analítica que implica el análisis de estabilidad en el caso particular estudiado, identificando aspectos críticos que deben tenerse en cuenta para tener una seguridad y éxito operacional garantizados. Por medio de la utilización de datos reales proporciona una visión precisa de los parámetros del análisis, proporcionando una mejor comprensión de su impacto y, por tanto, una toma de decisiones más precisa.

Parra (2018), en su tesis "Diseño de un muelle fluvial para el transporte de pasajeros", describe la necesidad de contar con un muelle flotante que sea seguro y funcional para el transporte de pasajeros, teniendo en consideración características específicas para este tipo de estructuras en entornos fluviales, ante esto plantea el objetivo de analizar las metodologías de diseño, definiendo clasificaciones, componentes básicos y estudios necesarios para su implementación. En su procedimiento propone un muelle flotante tipo pontón, evalúa los criterios estructurales como las cargas actuantes (viento, corrientes de agua, oleaje, etc.) y los criterios de arquitectura naval. Tiene como resultado una estructura flotante con dimensiones de 19 m de eslora, 5 m de manga y 2 m de puntal, con una capacidad de carga de 4 toneladas e hidrostáticamente estable, con un  $GZ_{\text{máx}}$  (brazo adrizante máximo) de 0.2 m a 30°.

Beltrán & Beltrán (2019), en su proyecto de investigación: “Análisis y modelación del comportamiento de una vivienda flotante en zonas de inundación en el barrio Santander del municipio de Puerto López - Meta”, desarrollan el modelado y análisis del comportamiento de una vivienda flotante en zonas inundables del barrio Santander en Colombia, siendo su objetivo plantear una solución ante los efectos de inundación, presentando un modelo que está conformado por dos partes, una estructura flotante en forma de barcaza considerando su normativa nacional para embarcaciones fluviales, la otra parte es la vivienda que considera las especificaciones de su normativa nacional para un sistema de pórticos de acero resistentes a momentos. En investigación establecieron un sistema de anclaje que consiste en pilotes de acero, los cuales tienen por función restringir los desplazamientos en el plano horizontal de la vivienda flotante, previniendo de esta manera las posibles colisiones con otras construcciones. Como parte de su procedimiento incluyeron la caracterización de la zona de estudio, el diseño de la estructura flotante según parámetros establecidos, análisis de flotabilidad y estabilidad, servicios básicos que sean sostenibles, y un presupuesto estimado para su construcción. Finalmente concluyen con el diseño de una estructura flotante con 14 m de eslora, 8.75 m de manga y puntal de 1.5 m con lo cual garantizan la estabilidad ( $GM > 0$ ) y flotabilidad (capacidad de flotación  $> 50\%$ ) de todo el sistema, cumpliendo además con la normativa empleada.

### ***2.1.2. Antecedentes Nacionales***

Fernández (2013), en su estudio “Anteproyecto de pontones metálicos para la estación flotante de bombeo de agua en la Minera Argentum”, considera que el abastecimiento de agua para el campamento es una obra de ingeniería de gran relevancia, ya que la captación será desde la laguna de Huacracocha, que es la fuente más próxima, por medio del sistema de bombeo que cuenta con dos bombas de tipo turbina vertical. Este sistema se ubica dentro de la laguna, el cual impulsa el líquido hacia un tanque y desde ahí se distribuye por gravedad hacia un tanque de almacenamiento, el cual abastecerá de agua al campamento. Lleva a cabo el desarrollo de los pontones metálicos, planteados para satisfacer la necesidad de una estructura flotante con el fin de soportar ambas bombas, teniendo en consideración los requerimientos del usuario para la operación, garantizando la estabilidad hidrostática inicial del pontón y tomando en cuenta los factores de seguridad para la resistencia estructural. La estación de bombeo flotante que consta de pontones, bomba y otros accesorios que inician su recorrido en la laguna hasta un tanque de paso. El marco teórico empleado en su investigación explica conceptos

como la teoría del buque, líneas de forma y atributos de la carena, estabilidad hidrostática inicial y conceptos necesarios para realizar el cálculo de estructuras con el método de Elementos Finitos integrado en el software Autodesk Simulation Multiphysics (llamado antes Algor). Las dimensiones principales del flotador, plataforma y demás elementos estructurales, determinan el diseño, luego hace la comprobación estructural con software de elementos finitos, como último paso calcula, analiza la flotabilidad y estabilidad hidrostática inicial, concluyendo en un diseño que asegura un buen desempeño en condiciones de operación y con una resistencia estructural que cumple con los factores de seguridad planteados frente a las diferentes situaciones de carga.

Torres (2015), en su tesis “Diseño estructural y cálculo de estabilidad de una barcaza, para operar una grúa móvil de 145 ton de peso en el río Tambopata, Madre de Dios, 2015” presenta una construcción de barcaza para río de tipo multicasco, teniendo como objetivo ofrecer servicios de transporte y plataforma móvil, ya que lleva a bordo una grúa sobre orugas QUY 100 con 145 toneladas, la mayor capacidad de izaje del gancho es de 100 toneladas. Uno de los objetivos de este trabajo es estudiar la estabilidad o inestabilidad de una barcaza que estará sujeta a cambios en la distribución de su carga (desviaciones) ubicando pesos en diferentes posiciones de la embarcación, para analizar diferentes situaciones de escora que ocurren usualmente. Dado que la estabilidad de la barcaza está influenciada por muchos factores que pueden afectarla, y dada la complejidad analítica que implica la evaluación de estabilidad, este trabajo se concentra en un caso específico: la operación de descarga para carga pesada. Realiza el cálculo tomando en cuenta las consideraciones necesarias para la seguridad de personas y objetos. Además, contempla el diseño de la estructura flotante de acuerdo con las normas de construcción y determinar sus respectivos análisis de estabilidad en función de sus datos de cargas. Gran parte de este trabajo se dedicó al desarrollo de un programa para modelar y visualizar el comportamiento de barcasas frente a una situación de descarga usando el programa computacional SolidWorks en su versión 14 para calcular los desplazamientos y diseñar la estructura, también el software Matlab en su versión 14 para la información sobre el resultado de estabilidad obteniendo valores de hasta  $1.15^\circ$  de inclinación cuando se somete a fuerzas externas de carga/descarga para un peso elevado.

## Figura 1

### Lanzamiento de una barcaza



*Nota.* Tomado de *Diseño estructural y cálculo de estabilidad de una barcaza, para operar una grúa móvil de 145 ton de peso en el rio Tambopata, Madre de Dios, 2015* (p. 45), por J. Torres, 2015.

Negreiros (2023), en su tesis “Análisis estático y modal de barcaza de 02 bombas verticales y propuestas de reforzamiento en zonas con bajo factor de seguridad”, describe la necesidad de realizar un análisis exhaustivo de resistencia y esfuerzos permisibles en las estructuras del sector minero para garantizar su integridad. Su objetivo es reforzar las zonas de baja resistencia identificadas, además la resonancia de la estructura flotante que soporta a dos bombas de turbina vertical, llevando a cabo el análisis estático y modal de la plataforma flotante empleando el software que implementa análisis por elementos finitos, SolidWorks; teniendo como resultados la identificación de las zonas con mayor esfuerzo de la estructura, como el soporte de la bomba con un esfuerzo máximo de 141 MPa y el flotador con un esfuerzo máximo de 168 MPa, los cuales requieren un reforzamiento que garantice su resistencia y estabilidad, concluyendo con una propuesta de reforzamiento de las zonas vulnerables, la cual permitirá mejorar la seguridad y durabilidad de la estructura flotante.

### 2.1.3. Antecedentes Locales

A la fecha de esta investigación no se cuenta con antecedentes locales.

## 2.2. Bases teóricas

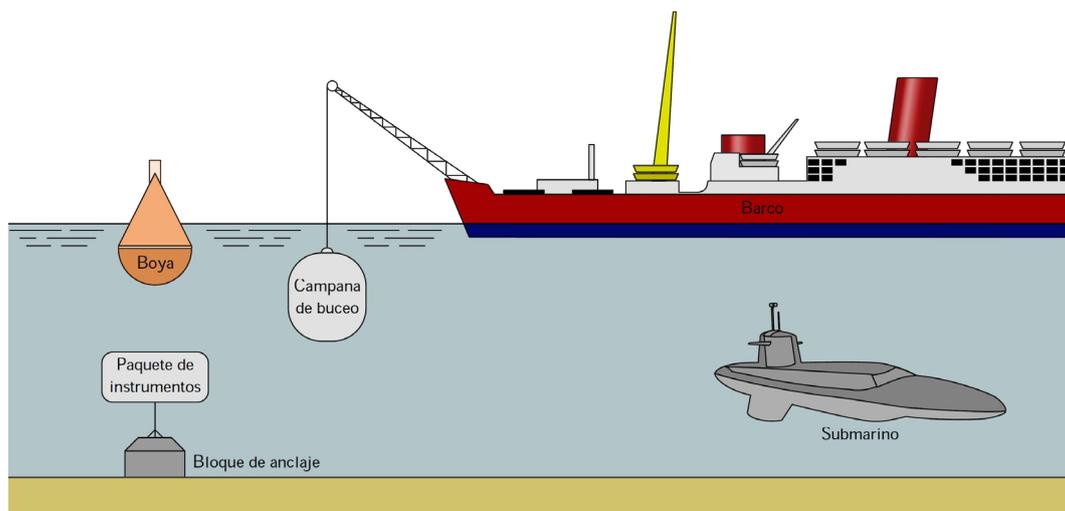
### 2.2.1. Principio de Arquímedes

Hace unos 2200 años, Arquímedes descubrió y determinó los principios de propulsión y flotabilidad. El principio de Arquímedes se puede formular así: Un objeto que flota o se sumerge en un líquido es empujado hacia arriba por una fuerza igual al peso del líquido desplazado. A esta fuerza se le conoce como *empuje*. De lo anterior se puede ver que la cantidad de fluido desplazado por un cuerpo flotante es igual a su peso. De lo contrario, el flotador desplazará suficiente fluido para equilibrar exactamente su peso. Al punto donde se aplica la fuerza de flotabilidad se denomina *centro de empuje*; que está en el centro de gravedad del fluido desplazado. Haciendo uso de este principio, se puede determinar el volumen de un objeto irregular midiendo la pérdida de peso aparente de un sólido cuando se sumerge por completo en un líquido de densidad relativa conocida. La densidad relativa de un líquido también se puede determinar usando el hidrómetro. Otras aplicaciones involucran problemas generales de flotabilidad o el diseño de estructuras navales. (Giles, et al., 1994, p. 65).

Çengel y Cimbala (2006), concluyen que la fuerza de flotación que actúa sobre un objeto sumergido en un líquido es igual al peso del líquido desplazado por el objeto. Esta fuerza se dirige hacia arriba y atraviesa el centroide del volumen desplazado.

### Figura 2

*Tipos de problemas de flotabilidad*



*Nota.* En esta imagen se muestran algunos ejemplos de los tipos de problemas de flotabilidad. Adaptado de *Mecánica de fluidos* (p. 94), por R. Mott, 2015, Pearson Educación.

En resumen, el principio de Arquímedes es esencial para entender cómo los objetos interactúan con fluidos, y su aplicación se extiende tanto a la flotación como a la estabilidad de objetos sumergidos, los cuales son temas que se mencionan en los siguientes ítems.

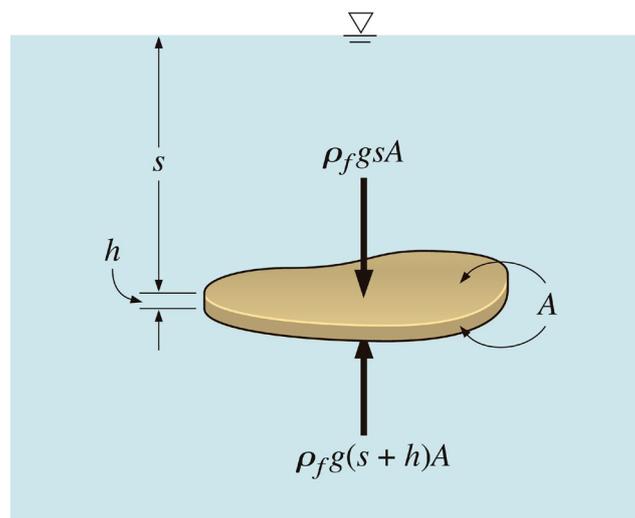
### 2.2.2. Flotación

Para Çengel y Cimbala (2006), es común que los objetos parezcan más livianos y pesen menos en líquido que en el aire y se puede demostrar fácilmente, utilizando una balanza de resorte impermeables para pesar objetos densos en el agua. Además, en el agua flotan objetos de madera u otros materiales ligeros. Este tipo de observaciones muestran que los líquidos ejercen fuerzas ascendentes sobre los objetos sumergidos en ellos. Esta fuerza que empuja el cuerpo hacia arriba se conoce como **fuerza de flotación** y está representada por  $F_B$  (Buoyant Force, por sus siglas en inglés).

Es así como la fuerza de flotación surge debido al incremento de la presión en un fluido a medida que se profundiza en él. A manera de ejemplo imaginemos que se tiene una placa plana con un grosor uniforme  $h$  que se encuentra sumergida en un líquido con densidad  $\rho_f$ , y la placa con respecto a la superficie libre del líquido se mantiene paralela, tal como se puede observar en la **Figura 3**.

**Figura 3**

*Placa uniforme sumergida en un líquido, paralela a la superficie libre.*



*Nota.* La imagen muestra una placa de grosor uniforme  $h$  sumergida en un líquido, paralela a la superficie libre. Adaptado de *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones* (p. 89), por Y. Çengel J. & Cimbala, 2006, McGraw-Hill México, D.F.

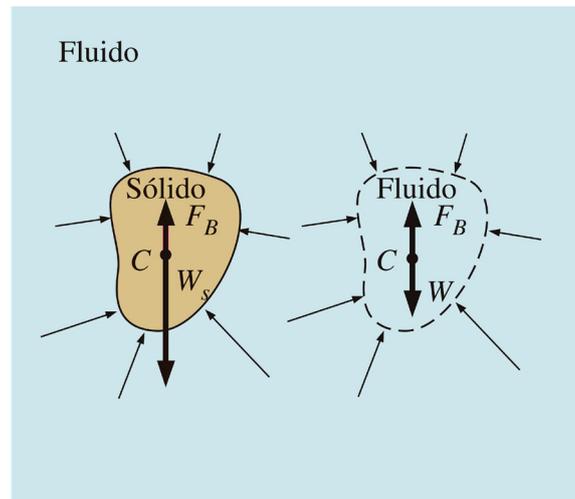
El área de la superficie superior (e inferior) de la placa es  $A$  y la distancia desde la superficie libre es  $s$ . La presión sobre las dos superficies de la placa (superior e inferior) son respectivamente  $\rho_f g s$  y  $\rho_f g(s+h)$ . De este modo, se puede observar que en la superficie superior de la placa actúa una fuerza hidrostática hacia abajo, representada como  $F_{\text{sup}} = \rho_f g s A$ , donde  $\rho_f$  es la densidad del fluido,  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $s$  es la profundidad y  $A$  es el área de la superficie. Por otro lado, en la superficie inferior de la placa, la fuerza hidrostática es mayor y actúa hacia arriba, identificada como  $F_{\text{inf}} = \rho_f g(s+h)A$ , donde  $h$  es el espesor de la placa. La diferencia entre las dos fuerzas es la fuerza neta hacia arriba, la *fuerza de flotación* ( $F_B$ ), donde  $V$  representa el volumen de la placa. Sin embargo, la proporción  $\rho_f g V$  se puede entender simplemente como el peso del líquido que tiene un volumen equivalente al de la placa. Esto concluye que la fuerza que permite que la placa flote es igual al peso del líquido que desplaza la placa. Es importante notar que esta fuerza de flotación no se ve afectada por la distancia entre el objeto y la superficie del líquido, ni tampoco por la densidad del objeto sólido.

$$F_B = F_{\text{inf}} - F_{\text{sup}} = \rho_f g(s+h)A - \rho_f g s A = \rho_f g h A = \rho_f g V \quad (1)$$

La relación establecida en la ecuación **(1)** se da para una disposición geométrica básica, pero es aplicable a cualquier objeto, independientemente de su forma. Esta afirmación puede ser demostrada a través de consideraciones matemáticas mediante un análisis de fuerzas, o de manera más simple, siguiendo este razonamiento: Imaginemos un objeto sólido de forma arbitraria sumergido en un líquido en reposo. Ahora comparemos esto con un gran volumen de líquido de la misma forma (mostrado por la línea discontinua) a la misma distancia de la superficie libre (ver **Figura 4**). Las fuerzas de flotación que afectan a estos dos objetos son idénticas, ya que las distribuciones de presión, las cuales solo dependen de la profundidad, son iguales en los límites de ambos cuerpos. El hipotético objeto fluido se encuentra en un estado de equilibrio estático, las fuerzas y momentos netos actuantes sobre él son nulos. En consecuencia, la fuerza ascendente de flotación debe igualar al peso del ficticio cuerpo de fluido, cuyo volumen coincide con el del objeto sólido. Asimismo, para producir un par cero, el peso y la flotabilidad deben seguir la misma línea de acción.

#### Figura 4

Fuerzas de flotación actuantes sobre un cuerpo sólido sumergido en un fluido.



*Nota.* La fuerza de flotación que actúa sobre un sólido sumergido en un líquido es la misma que la fuerza de flotación que actúa sobre una masa de líquido de la misma forma y profundidad. La fuerza de flotación, denominada  $F_B$ , se dirige hacia arriba y pasa por el centroide  $C$  del volumen desplazado; su magnitud es igual al peso  $W$  del líquido desplazado, pero en dirección opuesta. En el caso de un sólido con densidad homogénea, su peso  $W_s$  también pasa a través del centroide, pero su magnitud no necesariamente coincide con la del fluido desplazado. (En esta situación,  $W_s > W$ , y donde  $W_s > F_B$ , el objeto sólido se hundiría). Adaptado de *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones* (p. 89), por Y. Çengel J. & Cimbala, 2006, McGraw-Hill.

En el caso de objetos que flotan, el peso total del objeto debe ser equivalente a la fuerza de flotación. Esta fuerza corresponde al peso del líquido que tiene un volumen igual a la porción sumergida de ese objeto. En otras palabras:

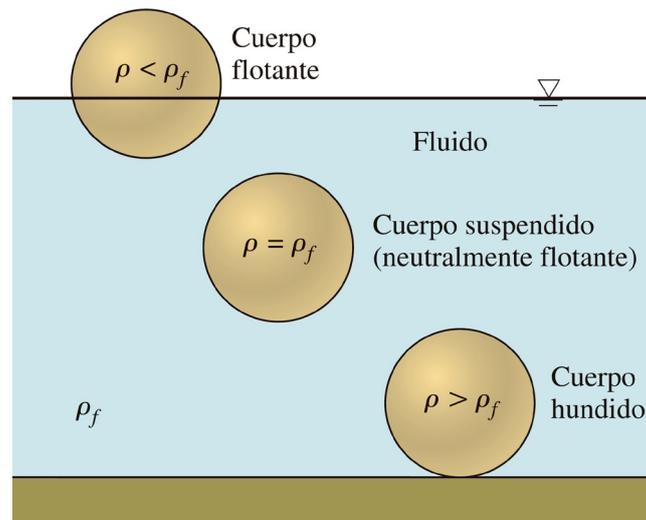
$$F_B = W \rightarrow \rho_f g V_{\text{sum}} = \rho_{\text{prom,cuerpo}} g V_{\text{total}} = \frac{V_{\text{sum}}}{V_{\text{total}}} = \frac{\rho_{\text{prom,cuerpo}}}{\rho_f} \quad (2)$$

En consecuencia, la fracción de volumen de un objeto líquido sumergido en agua es igual a la relación entre la densidad promedio del objeto y la densidad del líquido circundante. Es importante observar que cuando esta proporción de densidades es igual a uno o excede uno, el objeto flotante se sumerge completamente en el fluido.

Con base en estas observaciones, se pueden sacar las siguientes conclusiones: Un objeto sumergido en un líquido 1) mantiene un estado estacionario en cualquier punto del líquido si su densidad es igual a la densidad del líquido; 2) se hunde hasta el fondo cuando su densidad excede la densidad del líquido; 3) Si la densidad del objeto es menor que la densidad del líquido asciende a la superficie del líquido y flota. (como se ilustra en la **Figura 5**).

### Figura 5

*Comportamiento de cuerpos sólidos sumergidos en fluidos*



*Nota.* Un objeto sólido al ser sumergido en un fluido puede experimentar diferentes resultados, como hundirse, flotar o permanecer en una posición específica en el fluido. Estos resultados dependen de cómo se compara su densidad con la del fluido circundante. Adaptado de *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones* (p. 90), por Y. Çengel J. & Cimbala, 2006, McGraw-Hill.

La flotabilidad está directamente relacionada con la densidad del líquido, lo que lleva a considerar que la fuerza de flotación ejercida por un gas (como el aire) es despreciable. Claramente, esto sucede para la mayoría de los casos, aunque hay excepciones importantes, ya que el efecto de la flotabilidad del gas domina ciertos fenómenos naturales relacionados, como el ascenso de aire caliente en un ambiente más frío y la convección natural ascendente. Este fenómeno también se puede observar durante el ascenso de globos de aire caliente o de helio y en los patrones de movimiento del aire en la atmósfera. Por ejemplo, un globo lleno de helio se elevará debido a la flotabilidad hasta alcanzar una altura donde la densidad del aire (que disminuye con la altura) es igual a la densidad del helio en el globo. Esta explicación supone que el globo no explotará en ese momento e ignora el peso del material del que está hecho.

Streeter et al., (2000), denominan a la fuerza de flotación como *fuerza de boyamiento*, la cual es una resultante que ejerce un *fluido estático* en la cual se encuentra sumergido flotando un cuerpo. Esta fuerza resultante actúa de manera vertical hacia arriba. No hay componente horizontal de dicha resultante, porque la porción o proyección del cuerpo flotante sumergido sobre el plano vertical es igual a cero.

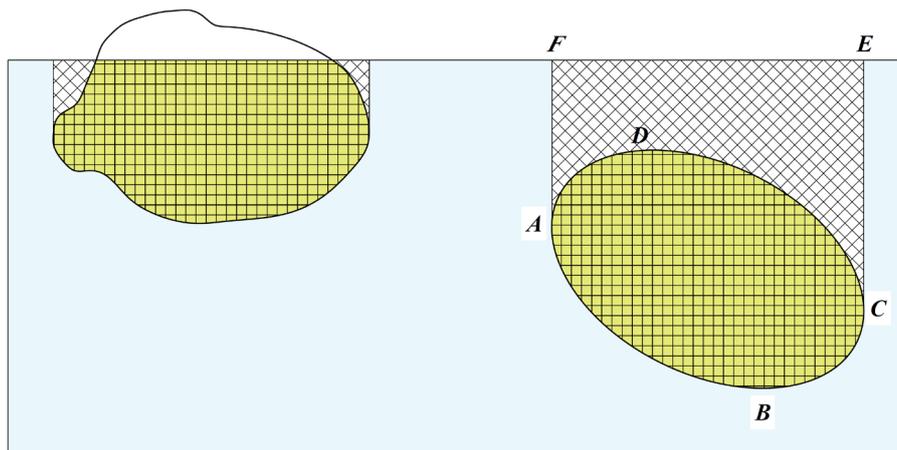
La fuerza de boyamiento que actúa sobre el cuerpo sumergido, está dada por la diferencia de las fuerzas de presión superior e inferior. En la **Figura 6** la fuerza ejercida ascendentemente sobre la parte inferior es equivalente al peso del fluido que se encuentra sobre el área *ABC* verticalmente, dada por el peso del fluido circunscrito por *ABCEFA*. La fuerza que se direcciona descendente, por la parte superior, es igual al peso del fluido *ABCEFA*. La diferencia de ambas fuerzas es una fuerza vertical ascendente, debido al peso del fluido desplazado por el cuerpo en *ABCD*. Planteado en forma de ecuación sería:

$$F_b = \forall \gamma \quad (3)$$

Donde  $F_b$  es la fuerza de boyamiento,  $\forall$  es el volumen de fluido y  $\gamma$  es el peso específico del fluido. Para los cuerpos flotantes, esta misma ecuación se mantiene, cuando  $\forall$  como volumen del fluido desplazado.

### Figura 6

*Fuerza de boyamiento en cuerpos flotantes y sumergidos*



*Nota.* Adaptado de *Mecánica de fluidos* (p. 65), por V. Streeter, E. Wylie & K. Bedford, 2000, McGraw-Hill Interamericana S.A.

En la **Figura 7** la fuerza vertical actuante sobre una porción del cuerpo flotante, con forma prismática vertical y de área transversal  $\delta A$  es:

$$\delta F_B = (p_2 - p_1) \delta A = \gamma h \delta A = \gamma \delta V$$

Donde  $\delta A$  es el volumen de la porción prismática. Ahora para obtener la fuerza actuante para el cuerpo completo, se tiene:

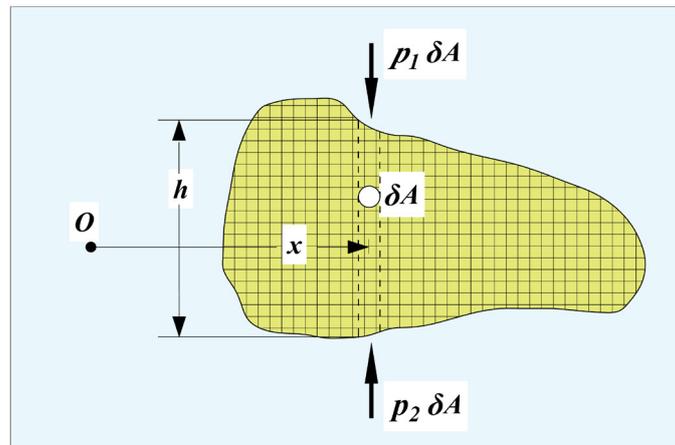
$$F_B = \gamma \int_V dV = \gamma V$$

Cuando  $\gamma$  se asume como constante a través del volumen. La fuerza de boyamiento tiene un eje de acción, para hallarlo, se toman momentos alrededor del eje  $O$  y son igualados al momento resultante, entonces:

$$\gamma \int_V x dV = \gamma V \bar{x} \quad \text{o} \quad \bar{x} = \frac{1}{V} \int_V x dV$$

### Figura 7

Componentes verticales de las fuerzas actuantes sobre un cuerpo



Nota. Adaptado de *Mecánica de fluidos* (p. 66), por V. Streeter, E. Wylie & K. Bedford, 2000, McGraw-Hill Interamericana S.A.

Donde  $\bar{x}$  es la distancia tomada desde el eje hacia la línea de acción, con esta ecuación se obtiene la distancia al centroide, entonces la fuerza de empuje (boyamiento) pasa por el centroide del volumen desplazado del fluido, en cuerpos flotantes, así como sumergidos. El centroide del volumen desplazado se conoce como *centro de boyamiento*.

Cuando se resuelven problemas acerca de cuerpos sumergidos o flotantes, se dibuja el diagrama de cuerpo libre (DCL), asumiendo que el objeto en estudio es un cuerpo libre. El

fluido ejerce una acción, la cual es reemplazada por la fuerza de boyamiento, además se deberá mostrar el peso actuante por el centro de gravedad, así como las demás fuerzas en contacto con el cuerpo.

Si un objeto es pesado en dos líquidos distintos, se tiene la información básica para calcular su volumen, peso, peso específico y densidad relativa, tal como se muestra en la **Figura 8**. Donde  $F_1$  y  $F_2$  son los pesos tomados en estado sumergido,  $\gamma_1$  y  $\gamma_2$  son pesos específicos de los fluidos,  $W$  es el peso y  $\forall$  es el volumen del objeto, se calculan estableciendo el equilibrio por medio de las siguientes ecuaciones:

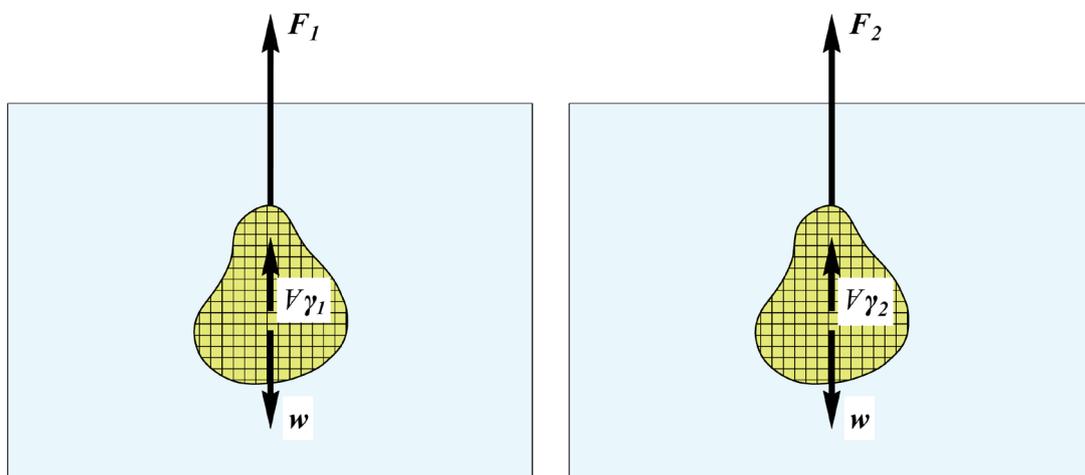
$$F_1 + \forall\gamma_1 = W \qquad F_2 + \forall\gamma_2 = W$$

Despejando las variables, se obtiene:

$$\forall = \frac{F_1 - F_2}{\gamma_2 - \gamma_1} \qquad W = \frac{F_1\gamma_2 - F_2\gamma_1}{\gamma_2 - \gamma_1}$$

**Figura 8**

*Diagrama de cuerpo libre para un objeto sumergido en un fluido*



*Nota.* Adaptado de *Mecánica de fluidos* (p. 66), por V. Streeter, E. Wylie & K. Bedford, 2000, McGraw-Hill Interamericana S.A.

Mott (2015), basándose en el principio de Arquímedes describe la fuerza de flotación de la siguiente forma:

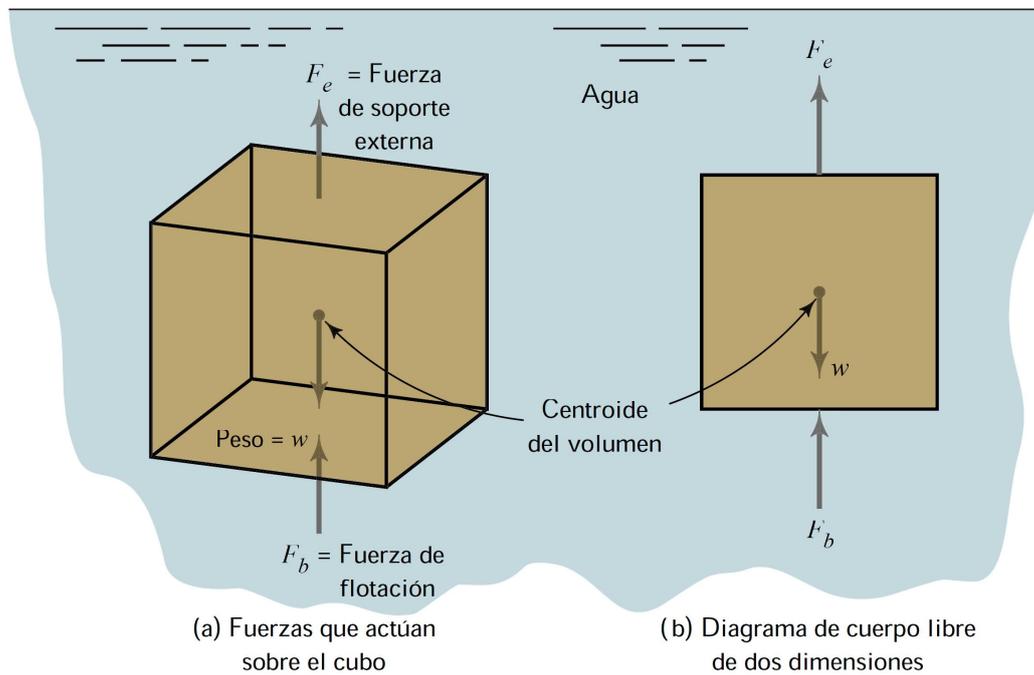
$$F_b = \gamma_f V_d \quad (4)$$

Siendo  $F_b$  la fuerza de flotación,  $\gamma_f$  el peso específico del fluido y  $V_d$  el volumen desplazado del fluido. El cuerpo que se encuentra flotando, desplaza la cantidad de volumen suficiente para equilibrar su mismo peso. Para analizar problemas de flotabilidad, se necesita aplicar ecuaciones de equilibrio vertical estático,  $\Sigma F_v = 0$ , asumiendo que el cuerpo se encuentra en reposo en el fluido. Para los problemas que traten de cuerpos flotantes o sumergidos, Mott nos recomienda seguir estos pasos:

1. Determinar el objetivo a encontrar (fuerza, peso, volumen o el peso específico).
2. Dibujar el Diagrama de Cuerpo Libre (DCL) del objeto que se encuentra en el fluido. Colocando las fuerzas verticales actuantes en el cuerpo libre, incluyendo peso propio del cuerpo, fuerza de flotación y otras fuerzas externas. Si no se conoce la dirección de alguna fuerza, plantear la de mayor probabilidad en el cuerpo libre.
3. Aplicar la ecuación del equilibrio vertical estático,  $\Sigma F_v = 0$ , asumiendo como dirección positiva las fuerzas que van hacia arriba.
4. Despejar la variable objetivo (fuerza, peso, volumen o peso específico), siempre teniendo en cuenta que:
  - 4.1. La fuerza de flotación se determina con,  $F_b = \gamma_f V_d$ .
  - 4.2. El peso de un cuerpo sólido se calcula con,  $w = \gamma V$ .
  - 4.3. Un cuerpo con peso específico menor que la del fluido, tendrá una tendencia a flotar, ya que  $w < F_b$ .
  - 4.4. Un cuerpo con peso específico mayor que la del fluido, tendrá una tendencia a hundirse, ya que  $w > F_b$ .
  - 4.5. Un cuerpo tendrá flotabilidad neutra, cuando mantenga su posición inicial, independientemente de cuán sumergido se encuentre en un fluido.

## Figura 9

### Diagrama de cuerpo libre de un cubo



*Nota.* En la parte (a) de esta imagen se visualiza el cubo en vista tridimensional con las fuerzas verticales actuantes que pasan por el centroide. En la parte (b) se muestra el mismo diagrama, pero con una visualización bidimensional. Adaptado de *Mecánica de fluidos* (p. 96), por R. Mott, 2015, Pearson Educación.

#### 2.2.2.1. Coeficiente de flotabilidad

Para Beltrán & Beltrán (2019) el coeficiente de flotabilidad se define como la relación dada por la reserva de flotabilidad mínima (RFM) entre el volumen desplazado ( $V_d$ ) total de la unidad debido a la acción del peso específico del agua, donde la RFM es el volumen libre, medido desde la línea de flotación hasta la cubierta de la estructura flotante, es decir el volumen que se encuentra sobre la superficie del fluido.

RFM= Reserva de flotabilidad mínima

Entonces el coeficiente de flotabilidad está dado por:

$$CF = \frac{RFM}{V_d} * 100\% \quad (5)$$

### 2.2.3. Estabilidad de cuerpos flotantes y sumergidos

Según Giles et al., (1994), para que un cuerpo sumergido sea estable su centroide debe estar por debajo del centro de empuje (centro de gravedad del fluido desplazado). Si estos dos coinciden, entonces se dirá que dicho cuerpo está en equilibrio indiferente. Para cuerpos cilíndricos y esféricos, su centro de gravedad deberá estar por debajo del centro de empuje.

También consideran que, para otros objetos flotantes, la estabilidad depende de que se desplace o no el centro de empuje (se desplaza cuando el objeto flotante esta inclinado, variando la forma del fluido desplazado y su centro de gravedad cambia de posición), lo cual provoca un desalineamiento vertical entre el centro de gravedad y el centro de empuje, lo cual origina un momento adrizante. En la **Figura 10 (a)**, se observa un cuerpo flotante en equilibrio, donde su centro de empuje (CB) está por debajo del centro de gravedad (CG). Si el CG se posiciona al lado derecho del eje de acción del empuje, cuando el cuerpo es girado levemente en sentido antihorario, así como se ilustra en la parte **(b)**, entonces se considera estable. Si el CG se posiciona al lado izquierdo del eje de acción del empuje, así como en la parte **(c)**, se considera inestable. La estabilidad e inestabilidad también se puede diferenciar al observar la intersección en un punto, del eje (A-A) con el eje de acción del empuje (B-B). Este punto de intersección es conocido como metacentro (mc). De (b) y (c), se puede concluir que el objeto flotante será estable sí CG se encuentra por debajo de mc, y de manera antagónica será inestable sí CG está por encima de mc. Por tanto, para determinar la estabilidad o inestabilidad, podemos usar la siguiente ecuación:

$$\overline{MB} = \frac{I}{V_d} \quad (6)$$

Donde,

$\overline{MB}$  = distancia de CB a mc, ver **Figura 10 (d)**.

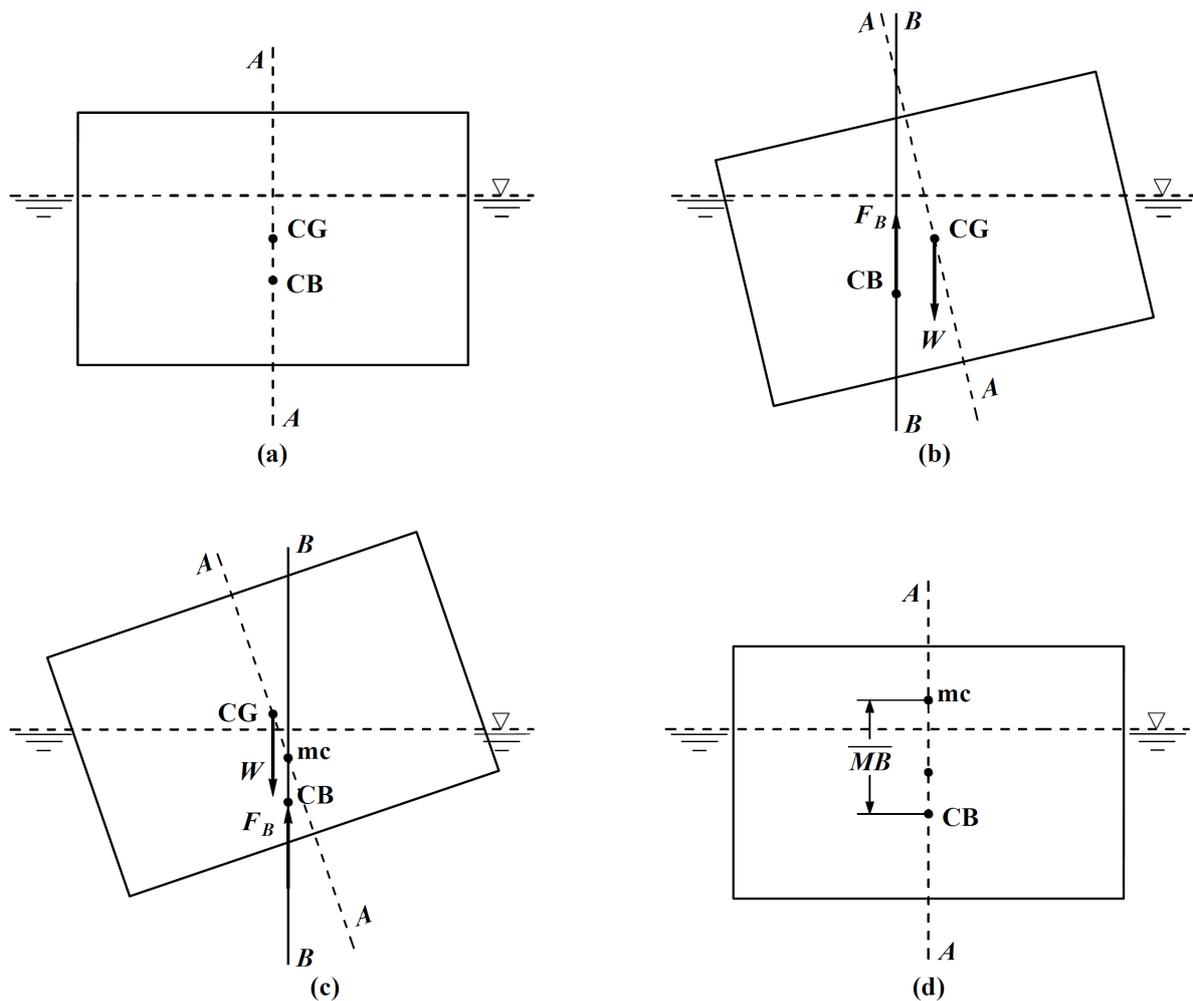
$I$  = momento de inercia de la sección horizontal del cuerpo, tomada en la superficie cuando el cuerpo flotante esta sin cabeceo.

$V_d$  = volumen de fluido desplazado.

Luego de obtener la distancia  $\overline{MB}$ , se determinará que el cuerpo es estable sí mc está por encima de CG o que es inestable si está por debajo de CG.

**Figura 10**

*Estabilidad e inestabilidad de un cuerpo flotante*



*Nota.* Adaptado de *Mecánica de los fluidos e hidráulica* (p. 66), por R. Giles, J. Evett & L. Cheng, 1994, McGraw-Hill Interamericana S.A.

Para Streeter et al., (2000), un cuerpo flotante en un fluido estático tiene estabilidad vertical. Si se desplaza ligeramente hacia arriba, disminuirá el volumen desplazado, lo cual generará una fuerza descendente desequilibrada, la cual intenta devolver al cuerpo a su posición inicial. Asimismo, un ligero desplazamiento descendente originará una fuerza de boyamiento (empuje) mayor, produciendo un desbalance hacia arriba. Entonces se dirá que, un cuerpo flotante tiene estabilidad lineal cuando se genera una fuerza que lo retorne a su posición inicial, después de que se haya producido un ligero desplazamiento lineal en cualquier dirección, y tiene estabilidad rotacional, si luego de producirse un ligero desplazamiento angular, genera un par restaurador, el cual lo retorna a su posición inicial.

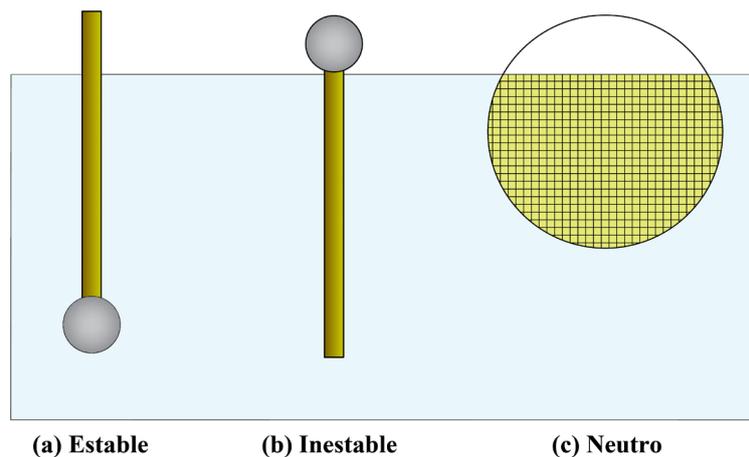
De esta discusión plantean métodos con los cuales se determina la estabilidad rotacional. El cuerpo podrá flotar estando en equilibrio estable, inestable o neutro. Haciendo énfasis, se tiene que:

- Un cuerpo está en equilibrio estable, si ante un ligero desplazamiento lineal, en cualquier dirección, origina fuerzas que lo retornan a su posición inicial.
- Un cuerpo se encuentra en equilibrio inestable, si ante un ligero desplazamiento angular, origina un par que incrementa ese desplazamiento.
- Un cuerpo está en equilibrio neutro, si ante cualquier ligero desplazamiento angular, este no origina ningún par.

Estos tres tipos de equilibrio se muestran en la **Figura 11**.

### Figura 11

*Ejemplos de equilibrio estable, inestable y neutro (indiferente)*



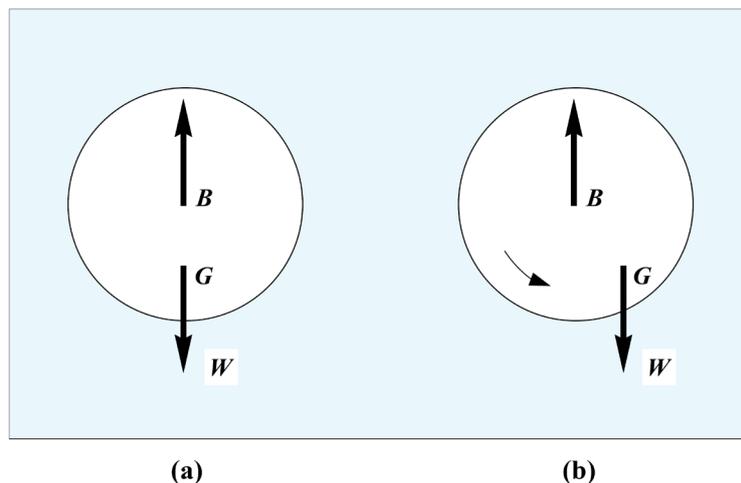
*Nota.* En la parte (a) se muestra un cuerpo estable, el cual es de madera y tiene un contrapeso metálico, en la parte (b) el contrapeso se encuentra en la parte superior y está en equilibrio, pero cualquier perturbación hará que retorne a la posición (a). En (c) se muestra un cuerpo esférico o cilíndrico homogéneo y está en equilibrio ante cualquier rotación angular. Adaptado de *Mecánica de fluidos* (p. 68), por V. Streeter, E. Wylie & K. Bedford, 2000, McGraw-Hill Interamericana S.A.

Un cuerpo que está sumergido completamente es estable rotacionalmente, solo si su centroide está por debajo del centro de empuje, así como se aprecia en la **Figura 12 (a)**. Si el cuerpo sumergido rota en sentido antihorario, como en **(b)**, el peso y la fuerza de empuje producen en sentido horario.

Cuando un cuerpo es demasiado pesado para flotar, se hunde hasta el fondo. A pesar de que hay un pequeño aumento del peso específico del fluido, las elevadas presiones comprimirán el cuerpo o harán que penetre fluido a través de sus porosidades, por ende, disminuye la fuerza de empuje. Por ejemplo, un barco completamente sumergido, es seguro que se hundirá hasta el fondo, esto por la compresión de aire atrapado en sus diferentes partes.

## Figura 12

*Estabilidad rotacional de cuerpos sumergidos*



*Nota.* Adaptado de *Mecánica de fluidos* (p. 69), por V. Streeter, E. Wylie & K. Bedford, 2000, McGraw-Hill Interamericana S.A.

Cualquier cuerpo flotante cuyo centro de gravedad sea más bajo que su centro de empuje (el centro de gravedad del volumen desplazado) flotará en equilibrio estable, como se ve en la **Figura 11 (a)**. No obstante, algunos cuerpos flotantes están en equilibrio estable, cuando el centro de gravedad de dichos cuerpos se encuentra encima del centro de empuje. Se considera primero la estabilidad para cuerpos prismáticos, continuando con el análisis para pequeños ángulos de inclinación.

En la **Figura 13 (a)** se aprecia el área transversal de un cuerpo homogéneo. El centro de empuje es el centro de gravedad del volumen desplazado, el cual viene a ser el centro de gravedad de la sección transversal que está por debajo de la superficie líquida. Entonces resulta que, cuando el cuerpo se inclina como en **(b)**, el centro de empuje estará en el centroide  $B'$  correspondiente al trapecio  $ABCD$ , la fuerza de empuje actúa ascendentemente pasando por  $B'$  y el peso descendentemente pasando por  $G$  (centroide del cuerpo). Cada vez que la línea vertical que pasa por  $B'$  e interseca en  $M$  a la línea origen por arriba de  $G$ , se origina un par

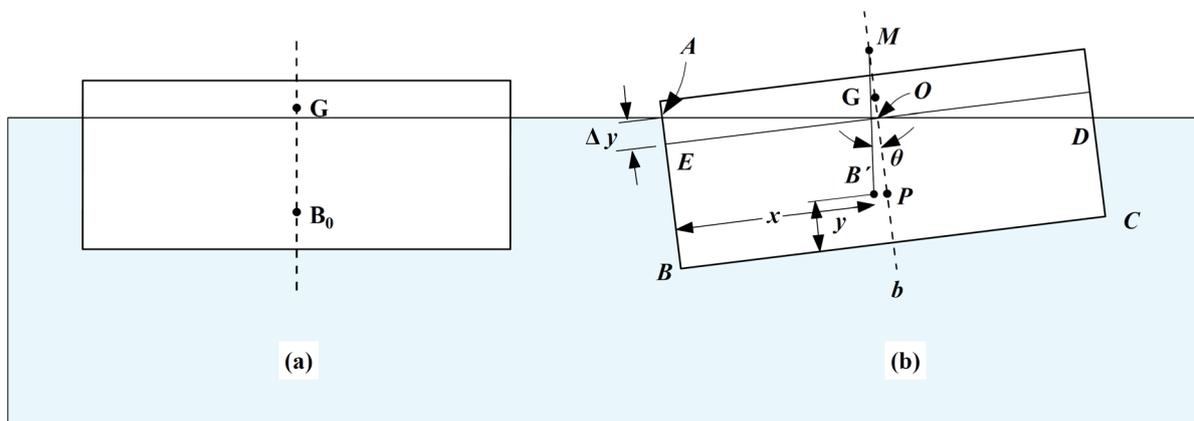
restaurador, entonces dicho cuerpo se encuentra con equilibrio estable. La intersección de la línea origen (central) con la fuerza de empuje, se le denomina *metacentro* ( $M$ ). Si  $M$  está por arriba de  $G$ , el cuerpo es estable, cuando está por debajo de  $G$ , es inestable y si está en  $G$ , el cuerpo está en equilibrio neutro. La *altura metacéntrica* está definida por  $\overline{MG}$  y el par restaurador por:

$$W\overline{MG} \text{ sen}\theta \quad (7)$$

Donde  $W$  es el peso del cuerpo y  $\theta$  es el desplazamiento angular.

### Figura 13

*Estabilidad de un cuerpo prismático*

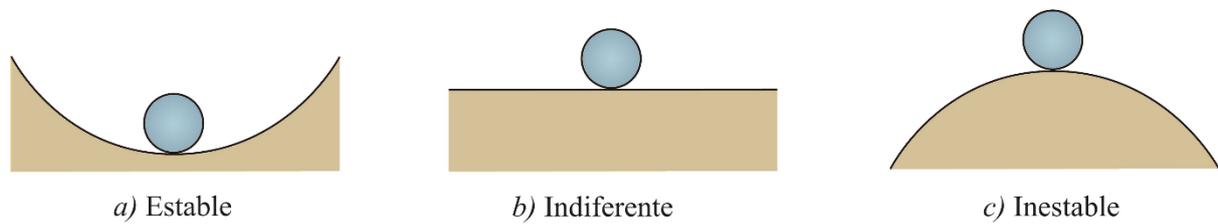


*Nota.* Adaptado de *Mecánica de fluidos* (p. 69), por V. Streeter, E. Wylie & K. Bedford, 2000, McGraw-Hill Interamericana S.A.

Çengel y Cimbala (2006), con el objetivo de explicar los conceptos de estabilidad e inestabilidad usan la analogía de “bola sobre el piso”. En la **Figura 14** se muestra una bola en reposo sobre el piso en 3 condiciones diferentes. Para la condición (a) se considera *estable*, debido a que cualquier pequeña perturbación sobre la bola origina una fuerza de restitución (por la gravedad), la cual la regresa a su posición de origen. Para la condición (b) se considera *indiferente* o neutralmente estable, ya que si se mueve la bola en cualquier dirección (izquierda o derecha), permanecerá en su última posición (no presenta tendencia de regresar a su posición de origen). Para la condición (c) se considera *inestable*, porque la bola puede que se encuentre en reposo en ese instante, pero ante una perturbación, por mínima que fuera, hará que la bola descienda rodando (no regresa a su posición de origen, se aleja de ella).

## Figura 14

### Estabilidad de una bola sobre el piso



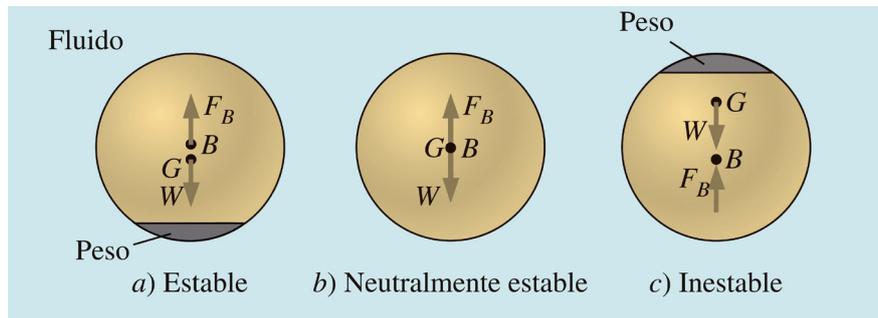
Nota. Adaptado de *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones* (p. 90), por Y. Çengel J. & Cimbala, 2006, McGraw-Hill.

Además, consideran que un cuerpo flotante o sumergido que se encuentre estáticamente en equilibrio, la fuerza de flotación (empuje) y el peso, actuantes sobre dicho cuerpo se equilibran entre sí, considerándose estables en el eje vertical. Si un objeto con flotabilidad neutra se sumerge y se sube o baja a una nueva profundidad, el objeto se equilibrará en la nueva posición. Si se aplica una fuerza vertical para subir o bajar un cuerpo flotante, el cuerpo flotante volverá a su posición original cuando se elimine la fuerza externa. Por tanto, un cuerpo flotante tiene estabilidad vertical, mientras que un objeto flotante neutro tiene estabilidad neutra porque no vuelve a su posición original a pesar de la eliminación de fuerzas externas.

También nos mencionan el comportamiento de la estabilidad rotacional de un cuerpo sumergido, la cual depende de las posiciones de su centro de gravedad ( $G$ ), centro de flotación ( $B$ ). En la **Figura 15** se muestra el análisis de tres casos para un cuerpo sumergido. En (a) se considera que es estable si tiene un peso en el fondo, por ende,  $G$  está por debajo de  $B$ , en este caso ante una perturbación rotacional, se produce un momento restaurador que lo devuelve a la posición inicial. En (b) se considera neutralmente estable, ya que  $G$  y  $B$  coinciden en el mismo punto, es el caso de aquellos cuerpos de densidad homogénea en toda su extensión, estos no presentan tendencia a voltearse o retornar a su posición por sí mismos. En (c) se considera inestable, porque  $G$  está por encima de  $B$  y ante cualquier perturbación se volteará.

**Figura 15**

*Estabilidad de un cuerpo sumergido neutralmente flotante*

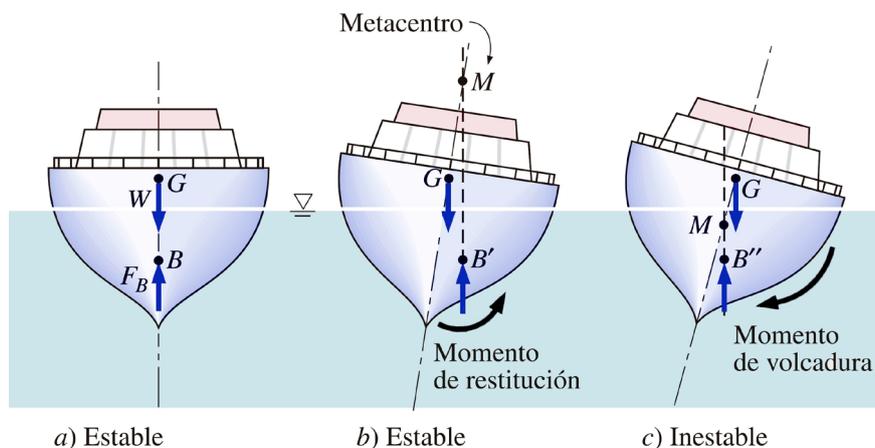


*Nota.* Adaptado de *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones* (p. 94), por Y. Çengel J. & Cimbala, 2006, McGraw-Hill.

Por otro lado, un cuerpo flotante a diferencia de los cuerpos sumergidos logra la estabilidad aun cuando  $G$  está por encima de  $B$ , como se muestra en la **Figura 16**. A pesar de sufrir una perturbación rotacional, el centro de gravedad ( $G$ ) permanece sin alterarse, debido que el centro de gravedad del volumen desplazado pasa a uno de los lados del punto  $B'$ , si este punto se encuentra lejos, este par de fuerzas originan un momento de restitución y retorna el cuerpo a su posición inicial. La altura metacéntrica  $GM$  es considerada como una medida para determinar la estabilidad de un cuerpo flotante, siendo esta la distancia del centro de gravedad  $G$  al metacentro  $M$  (punto donde se cruzan las líneas de flotabilidad antes y después de la rotación).

**Figura 16**

*Condiciones de estabilidad de un cuerpo flotante*

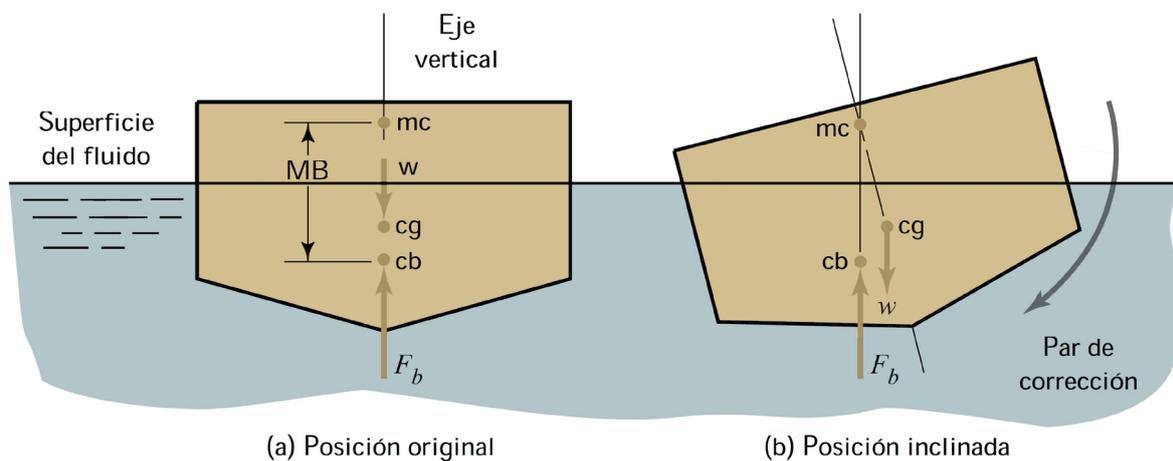


*Nota.* Adaptado de *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones* (p. 94), por Y. Çengel J. & Cimbala, 2006, McGraw-Hill.

Mott (2015), en coincidencia con estos autores, establece condiciones para la estabilidad tanto de cuerpos flotantes como sumergidos. Para cuerpos completamente sumergidos nos dice que la condición para que sea estable, es que el centro de gravedad está más bajo que su centro de flotabilidad. Para cuerpos flotantes, la condición para que sea estable es diferente a la de los cuerpos sumergidos, pues nos dice que si el centro de gravedad está por debajo del metacentro, el cuerpo flotante será estable, como se observa en la **Figura 17**. En la parte (a) se tiene al cuerpo flotante en su posición de equilibrio, con el centro de gravedad (cg) por arriba del centro de flotación (cb). En (b) el cuerpo está levemente girado, con el centro de flotación desplazado, debido a la variación geométrica en la sección del volumen desplazado. Ahora el peso y la fuerza de flotación se encuentran desalineados con respecto al eje vertical, originando así un par de corrección el cual retorna al cuerpo a su posición inicial. Con el objetivo de definir una condición necesaria para que el cuerpo flotante se estable, se usa el término metacentro (mc), el cual lo define como el punto donde la línea vertical del objeto en su posición original cruza la línea vertical que pasa por el centro de flotabilidad en su nueva posición (girada).

**Figura 17**

*Método para encontrar el metacentro*



*Nota.* Adaptado de *Mecánica de fluidos* (p. 103), por R. Mott, 2015, Pearson Educación.

El autor además establece un procedimiento, para analizar la estabilidad de cuerpos flotantes, la cual resume en los siguientes pasos:

1. Determinar la posición del cuerpo flotante, usando los conceptos de flotabilidad.

2. Ubicar el centro de flotabilidad (cb), determinar la distancia desde un eje referencial (normalmente la base del objeto) hasta cb, esta distancia se denomina  $y_{cb}$ .
3. Ubicar el centro de gravedad (cg) y determinar  $y_{cg}$ , tomada desde el mismo eje referencial.
4. Definir la forma de la sección en la superficie del fluido y calcular su menor momento de inercia  $I$ .
5. Calcular volumen desplazado  $V_d$ .
6. Calcular  $MB = I / V_d$ .
7. Calcular  $y_{mc} = y_{cb} + MB$ .
8. Cuando  $y_{mc} > y_{cg}$ , el cuerpo será estable.
9. Cuando  $y_{mc} < y_{cg}$ , el cuerpo será inestable.

#### 2.2.3.1. Grado de estabilidad

Como ya se indicó en los ítems anteriores, para que un diseño sea estable, el metacentro debe estar por encima del centro de gravedad, siendo así, unos cuerpos tendrán mayor estabilidad que otros. Mott (2015), nos dice que la altura metacéntrica (MG) es una medida de estabilidad relativa, la cual define como la distancia que hay entre el centro de gravedad y el metacentro (el cual se encuentra por encima del centro de gravedad). El objeto que posea una altura metacéntrica mayor será más estable.

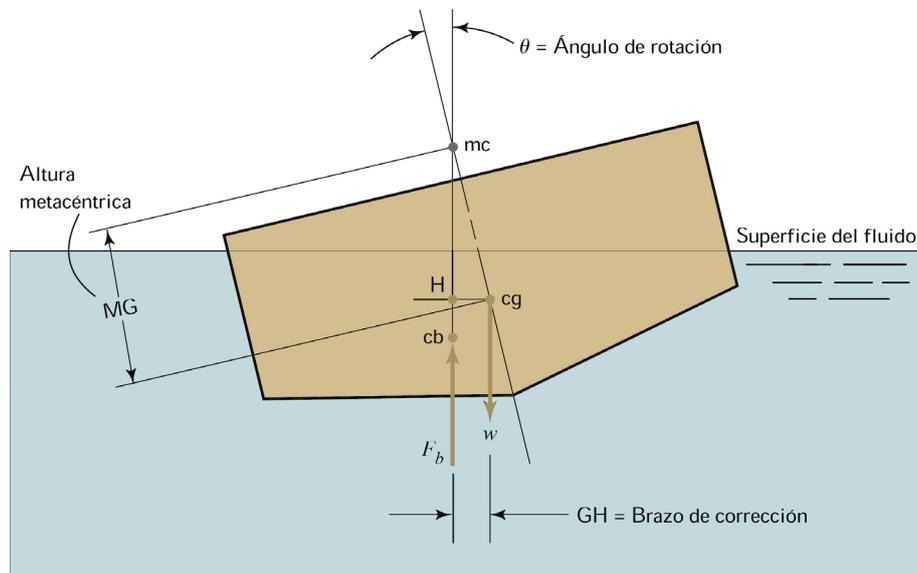
En la **Figura 18**, se muestra la altura metacéntrica (MG), la cual se calcula:

$$MG = y_{mc} - y_{cg} \quad (8)$$

Tracy (1996, p. 1105), nos dice que las embarcaciones marítimas pequeñas, deberán tener una altura metacéntrica mínima de 1.5 pies (0.46m). Para embarcaciones grandes deberá ser  $MG > 3.5$  pies (1.07 m). Con la finalidad de evitar movimientos de balanceo, la altura metacéntrica no deberá ser muy grande, porque estos ocasionan incómodos mareos.

## Figura 18

### Grado de estabilidad



*Nota.* En la figura se muestra el grado de estabilidad de un cuerpo, según su altura metacéntrica y brazo de corrección (GH). Adaptado de *Mecánica de fluidos* (p. 107), por R. Mott, 2015, Pearson Educación.

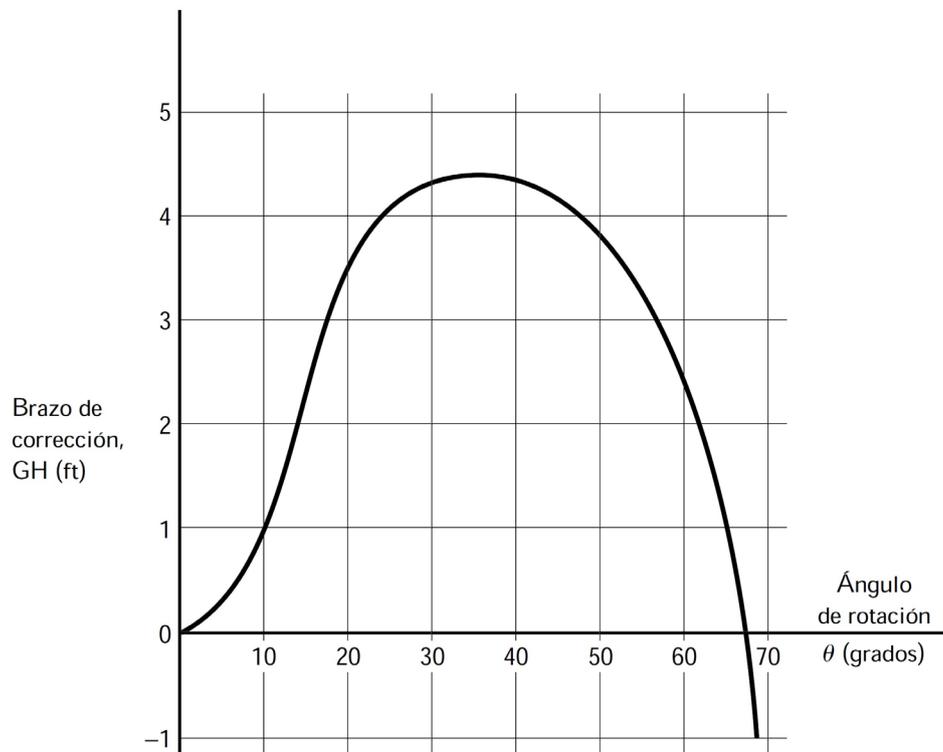
#### 2.2.3.1.1. Curva de estabilidad estática.

Es otro indicador de estabilidad de un cuerpo flotante, Mott (2015), la define como la cantidad de desplazamiento dada entre el eje de acción del peso (que pasa por cg) y el eje de acción de la fuerza de flotación (que pasa por cb). Como se mostró en la **Figura 17** el resultado de una de esas fuerzas y la cantidad de desplazamiento genera el par de corrección que regresara al cuerpo a su posición inicial, y así sea estable.

En la **Figura 19** se muestra una curva de estabilidad estática típica para una embarcación, con el brazo de corrección en función de su ángulo de rotación. Cada vez que GH sea positivo, la embarcación se considerará estable. De manera contraria cada vez que GH sea negativa, la embarcación se considerará inestable y por tanto se volcará. Esto es aplicable en este ejemplo, donde el cuerpo se torna inestable a un ángulo de rotación de  $68^\circ$  aproximadamente (según muestra el gráfico). Debido a que la curva tiene una pendiente exagerada después de los  $50^\circ$ , se puede decir que este último valor es un valor recomendado para su rotación.

**Figura 19**

*Curva de estabilidad estática*



*Nota.* Tomado de *Mecánica de fluidos* (p. 108), por R. Mott, 2015, Pearson Educación.

#### **2.2.4. Método de los elementos finitos (MEF)**

##### **2.2.4.1. Historia del método de elemento finito**

Molina (2010), describe que el método de elemento finito tiene su origen a mediados del siglo pasado y mucho antes, ya se usaban métodos aproximados para la resolución de ecuaciones diferenciales. Lord Rayleigh y Ritz emplearon funciones de ensayo (funciones de interpolación) con el fin de aproximar soluciones de ecuaciones diferenciales. Galerkin usó el mismo planteamiento para la solución. La desventaja de todas las fórmulas más primitivas en comparación con los métodos modernos de elementos finitos es que la función de prueba debe aplicarse a todo el dominio del problema de interés. El método de Galerkin proporciona una base muy sólida para el método de los elementos finitos. No fue hasta la década de 1940 que Courant introdujo el concepto de funciones continuas en subdominios, proporcionando el certificado de nacimiento y el impulso inicial para el desarrollo real de los elementos finitos.

A finales de la década de 1940, los ingenieros aeroespaciales estaban lidiando con la invención del motor a reacción y la necesidad de un análisis estructural del avión más sofisticado para soportar las cargas más altas asociadas con velocidades más altas. En ausencia de computadoras modernas, estos ingenieros desarrollaron métodos matriciales de análisis de fuerzas, conocidos colectivamente como método de flexibilidad, donde las variables desconocidas son fuerzas y las variables conocidas son desplazamientos. La forma más común del método de los elementos finitos corresponde al método de los desplazamientos, donde las variables desconocidas son los desplazamientos del sistema en respuesta a un conjunto de fuerzas aplicadas. El término "desplazamiento" es muy común en los métodos de elementos finitos y puede, por ejemplo, referirse al desplazamiento físico, la temperatura o la velocidad de un fluido. El término "elemento finito" fue utilizado por primera vez por Clough en el análisis de tensiones planas a finales de los años 1960 y ha sido ampliamente utilizado desde entonces.

El método de los elementos finitos se utiliza a menudo en computadoras porque requiere operaciones con matrices muy grandes. En los primeros años, la aplicación, que utilizaba los grandes sistemas informáticos disponibles en ese momento, se consideraba un método muy poderoso y la mejor herramienta de alta velocidad en análisis y diseño de ingeniería.

A mediados de la década de 1960, el código de software de elementos finitos NASTRAN se desarrolló junto con el programa de exploración espacial estadounidense de la NASA. En reconocimiento de este hecho, NASTRAN se convirtió en el primer paquete de software de elementos finitos capaz de resolver problemas a gran escala. Era y sigue siendo capaz de manipular los cientos de miles de grados de libertad asociados con los campos nodales de las variables de interés. Después del lanzamiento de este paquete computacional, en los años siguientes se lanzaron varios paquetes comerciales de software de análisis de elementos finitos. Entre ellos se encuentran: ANSYS, ALGOR, COSMOS/M, SIMULIA-ABAQUS y Lisa, sólo una pequeña muestra.

En el entorno informático actual, la mayoría de estos paquetes de software están disponibles en empresas consultoras en computadoras de escritorio, portátiles y estaciones de trabajo para análisis estructurales estáticos y dinámicos, transferencia de calor, flujo de fluidos, electromagnetismo y edificios. Soluciones a grandes problemas como la respuesta sísmica son algunos ejemplos de aplicaciones de este método.

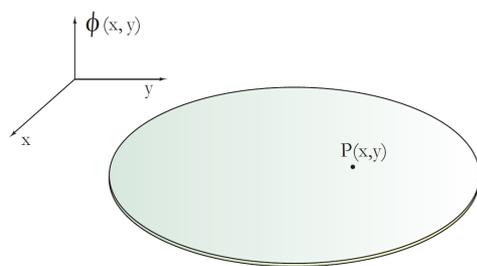
### 2.2.4.2. Conceptos generales

Sotomayor & Cortez (2007) definen al método o análisis por elementos finitos, como una técnica de computación usada en problemas de ingeniería para la obtención de soluciones aproximadas. Los problemas de este tipo incluyen una o mas variables dependientes, que dentro de un dominio conocido satisfacen a cualquier ecuación diferencial. A estas variables se les conoce como variables de campo que son gobernadas por la ecuación diferencial.

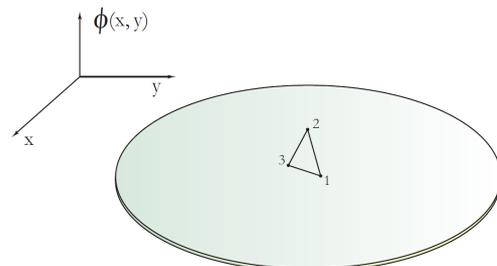
El MEF mejora la visualización y presentación del flujo de esfuerzos estructurales, siendo este un dato elemental para diseñar. Este método toma a la estructura como un conjunto de partículas con un tamaño finito conocidas como elementos finitos. A este proceso de conversión se le denomina discretización o modelaje.

#### Figura 20

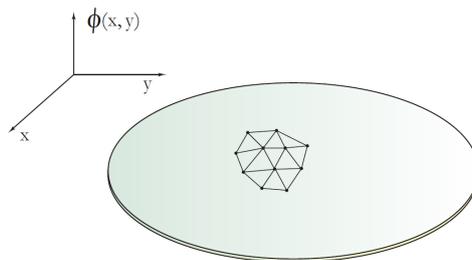
*Dominio bidimensional general y discretización*



(a) Dominio de definición de la variable de campo  $\phi(x, y)$



(b) Elemento finito triangular con nodos vértice



(c) Discretización parcial del dominio mediante elementos finitos

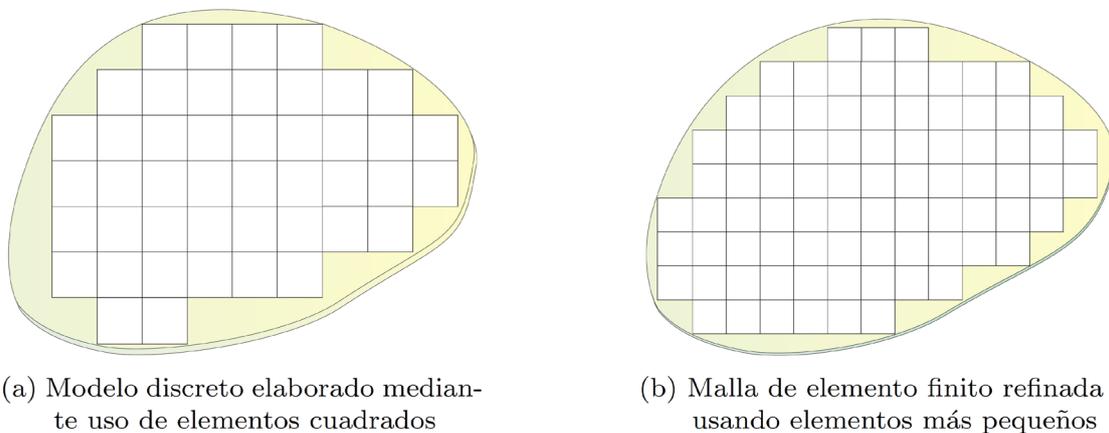
*Nota.* Tomado de *Fundamentos del Método de elemento finito* (p. 2), por J. Molina, 2010.

### 2.2.4.3. Convergencia del método

Al proceso de discretización y al conjunto de elementos resultantes, se les denomina malla de elementos finitos. Usualmente la geometría de la mayoría de los elementos empleados tiene bordes rectos, pero cuando presentan bordes curvos se hace casi imposible incluir un dominio físico entero en la malla. Usando más elementos y cada vez más pequeños del mismo tipo, la malla refinada abarca una mayor parte del dominio físico y los límites curvos se aproximan cada vez más, siendo los elementos triangulares los que presentan mayor aproximación para este tipo de superficies (Molina, 2010).

**Figura 21**

*Dominio bidimensional curvo*

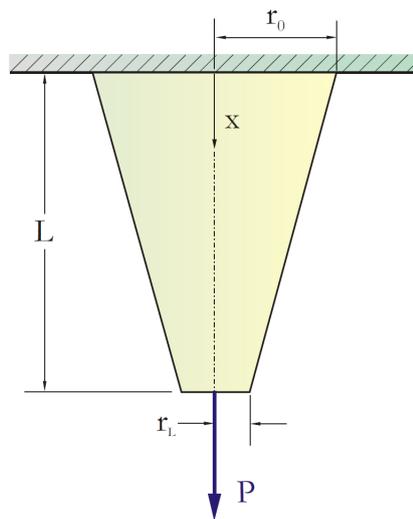


*Nota.* Tomado de *Fundamentos del Método de elemento finito* (p. 4), por J. Molina, 2010.

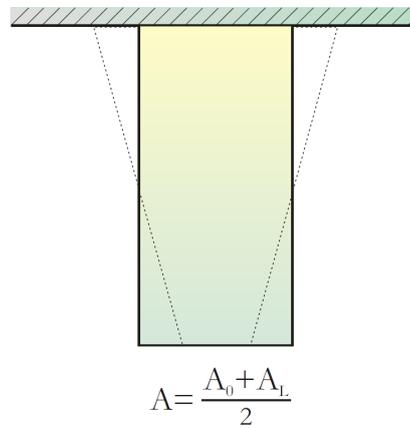
Cuando las funciones de interpolación cumplen ciertos requisitos matemáticos como compatibilidad e integridad, la solución de un elemento finito converge hacia una solución exacta del problema, conforme la malla sea cada vez de menor tamaño, es decir a medida que el número de elementos aumenta, se disminuye su dimensión física, aproximándose incrementalmente hacia la solución exacta, como se ilustra en la **Figura 22**, en (a) se muestra un cuerpo de forma troncocónica empotrado en un extremo al cual se le aplica una carga, suponiendo que se quiere evaluar el desplazamiento provocado por la carga aplicada en ese punto, se plantea una primera aproximación, considerando un cuerpo de forma cilíndrica con área transversal uniforme (b), la cual es un elemento finito tipo barra, luego modelamos con dos barras (c), así se continúa refinando el proceso de malla a un modelo de cuatro elementos (d).

## Figura 22

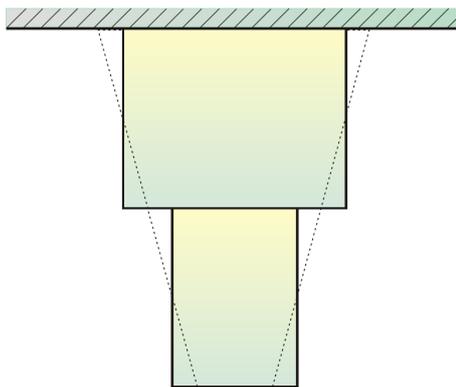
Barra cilíndrica troncocónica cargada axialmente y su modelado



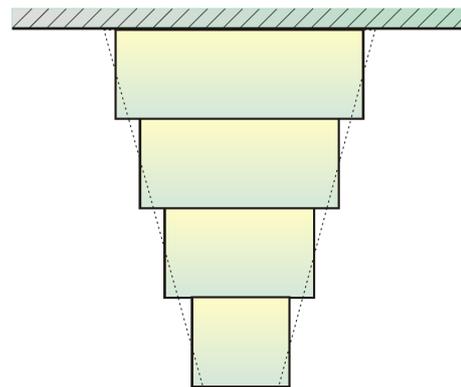
(a) Esquema del sistema físico



(b) Modelo de un elemento finito



(c) Modelo de dos elementos finitos



(d) Modelo de cuatro elementos finitos

*Nota.* Tomado de *Fundamentos del Método de elemento finito* (p. 5), por J. Molina, 2010.

### 2.2.4.4. Procedimiento general MEF usando software

Molina (2010), establece los siguientes pasos para el análisis por elementos finitos:

#### 2.2.4.4.1. Preprocesamiento

Este es el paso crítico, ya que, si no se define correctamente, se obtendrán soluciones erróneas.

El preprocesamiento del modelo se ejecuta definiendo:

- El dominio geométrico.
- Tipo de elemento a utilizar.
- Propiedades de los materiales.

- Propiedades geométricas (longitud, área, etc.)
- Conexiones entre elementos (mallado).
- Condiciones de borde.
- Cargas aplicadas.

#### **2.2.4.4.2. *Procesamiento o solución***

En esta fase el software que incorpora MEF ensambla las ecuaciones algebraicas que rigen el sistema de forma matricial, calculando los valores de las variables primarias del campo. Estos valores obtenidos son usados por sustitución regresiva para evaluar las demás variables (derivadas o secundarias). Debido a que los modelos son representados por miles de ecuaciones, con la finalidad de reducir el consumo de recursos computacionales, emplea métodos numéricos, como por ejemplo el procedimiento de la eliminación de Gauss.

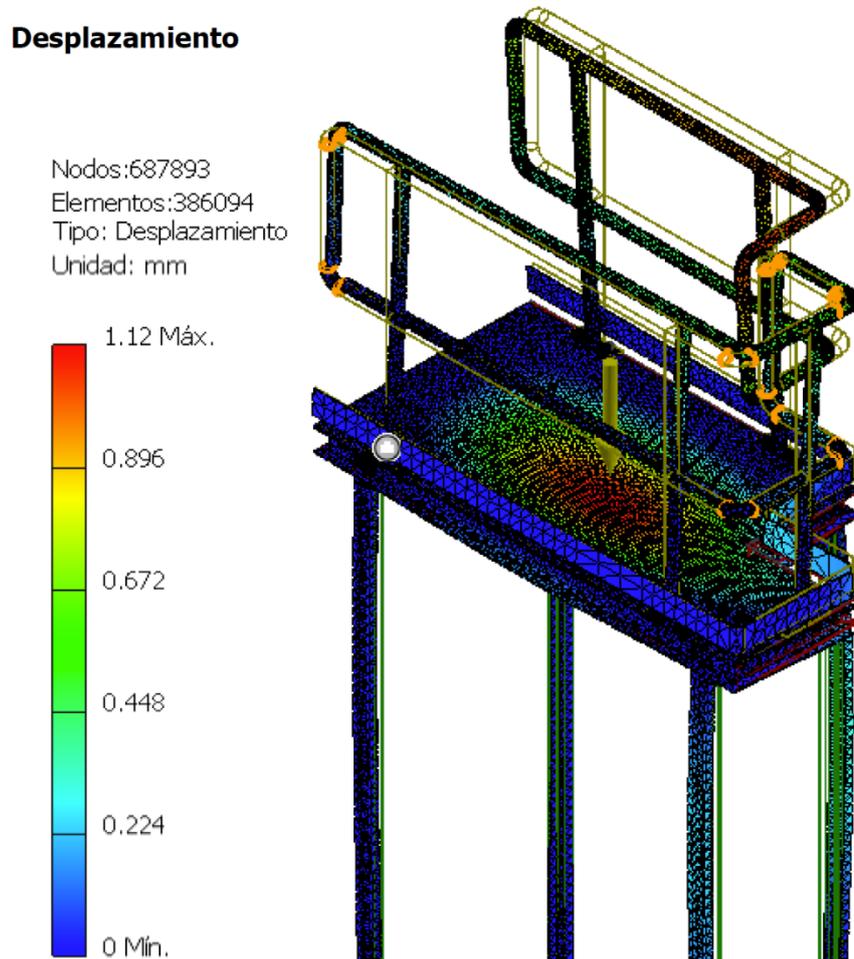
#### **2.2.4.4.3. *Post procesamiento***

Este es el paso donde se lleva a cabo el análisis y la evaluación de resultados obtenidos. El software que emplea este método es capaz de ordenar, imprimir y trazar resultados seleccionados de la solución. Algunas operaciones que pueden lograrse son:

- Clasificación por magnitud de las tensiones internas.
- Verificación del equilibrio estático.
- Cálculo de factores de seguridad.
- Representación de la deformación producida.
- Producción de esquemas dinámicos de respuesta.
- Presentación de graficas codificadas por color.

**Figura 23**

*Ejemplo de resultados obtenidos por software MEF*



### **2.2.5. Plataforma flotante**

Según Fuertes (2021), la plataforma flotante es un invento náutico. El cual consiste en una estructura que se puede ubicar en el mar o en áreas con agua. Tienen capacidad para soportar grandes pesos y una estructura flexible que absorbe los movimientos del agua.

Las plataformas flotantes son estructuras que se sostienen en la superficie del agua gracias a su flotabilidad. Este tipo de estructuras pueden tener tamaños y formas distintos, como son las balsas pequeñas hasta plataformas industriales de gran tamaño. Las plataformas flotantes tienen múltiples aplicaciones, desde casos de investigación científica hasta la generación de energía renovable (Cómo las plataformas flotantes pueden beneficiar a su empresa, 2023).

Para Miguelangel (2021), las plataformas flotantes o pontones son estructuras flotantes, que pueden ubicarse en el mar, en lagos, pantanos o en alguna zona con agua para cubrir algún

tipo de necesidad como transporte de mercancías, transporte de personas, ubicación de grúas flotantes, para sostenimiento de transbordadores, balsas, barcos, etc. Su construcción puede ser con diferentes materiales como plástico, acero u otros materiales modernos con mayor flotabilidad que resultan muy ligeros y los hacen óptimos para el transporte y adaptables a diferentes necesidades.

Las plataformas flotantes también son conocidas como barcazas, ya que tiene la misma definición, ser una estructura flotante o embarcación que no cuenta con propulsión propia.

### **2.2.5.1. Tipos según su material de fabricación**

#### **2.2.5.1.1. Plástico.**

Plataformas hechas en base a polietileno inyectado, estas pueden ser modulares adaptables, o de una sola pieza, se pueden fabricar diversos tipos de formas geométricas, según la necesidad del proyecto o aplicación. Las desventajas de este tipo de material es su baja resistencia ante cargas pesadas.

#### **Figura 24**

*Plataforma flotante de polietileno*



*Nota.* Adaptado de *Puente Pontón Flotante De Plástico HiSea* [Fotografía], por Hisea Dock, s.f., <http://www.hsfloating.org/floating-pontoon/hisea-plastic-floating-pontoon-bridge.html>.

#### **2.2.5.1.2. Acero.**

Estas plataformas flotantes están construidas con perfiles y planchas de acero estructural, que pueden ser soldadas, apernadas, remachadas o la combinación de estos materiales.

## Figura 25

### *Plataforma gigante de acero*



*Nota.* El gigante Prelude, de Shell. Adaptado de *Cómo son las megaplataformas flotantes que están por iniciar una guerra del gas en la cuenca Browse* [Fotografía], por BBC News Mundo, 2018, <https://www.bbc.com/mundo/noticias-44047585>.

#### **2.2.5.1.3. Concreto**

Su geometría típica es prismática, tipo cajón, donde todo el contorno está hecho de concreto armado y el interior por lo general está relleno con algún tipo de espuma (de celda cerrada) con la finalidad de reducir el riesgo de inundación y evitar su hundimiento.

## Figura 26

### *Plataforma flotante de concreto*



*Nota.* Adaptado de *Flotación de hormigón* [Fotografía], por Costanor S. XXI, <https://costanor.es/flotacion-de-hormigon>.

#### **2.2.5.1.4. Mixtas**

Estas estructuras pueden combinar los materiales, antes mencionados, por ejemplo, plástico y acero, acero y concreto o los tres materiales.

#### **Figura 27**

*Plataforma flotante de metal y concreto*



*Nota.* Adaptado de *Gran plataforma flotante de metal y hormigón amarrada en un astillero* [Fotografía], por Freepik, 2022, [https://www.freepik.es/fotos-premium/gran-plataforma-flotante-metal-hormigon-amarrada-astillero\\_23823426.htm](https://www.freepik.es/fotos-premium/gran-plataforma-flotante-metal-hormigon-amarrada-astillero_23823426.htm).

#### **2.2.5.2. Tipos según aplicación**

Esta clasificación de plataformas flotantes está dada por el uso o aplicación específica, las cuales se describen en los siguientes ítems (Cómo las plataformas flotantes pueden beneficiar a su empresa, 2023).

##### **2.2.5.2.1. Industria marina**

Así mismo esta subclasificación cuenta con una variedad de aplicaciones, como investigación científica, exploración de gas y petróleo, producción de energías renovables (undimotriz, eólica, etc.), producción de alimentos (sal, cultivo de mariscos y algas) por mencionar las más comunes.

##### **2.2.5.2.2. Energías renovables**

Su uso en esta área cada vez es más frecuente para la producción de energías renovables como la eólica (instalación de turbinas eólicas donde los vientos son más fuertes), solar (montaje de paneles solares en lagos y embalses), entre otras.

#### **2.2.5.2.3. Turismo y ocio**

Para el turismo y ocio su uso está creciendo, como es el caso de hoteles flotantes, restaurantes y parques acuáticos. Además, son empleados en la construcción de muelles flotantes y puertos deportivos.

#### **2.2.5.2.4. Acuicultura**

En este sector se están utilizando ampliamente para la producción de algas y mariscos, cría de peces, camarones. También son utilizadas en sistemas de bombeo para extracción de agua de pozos, lagos, lagunas, etc.

### **2.2.6. Estaciones de bombeo flotante**

Como se vio en los ítems anteriores, una de las aplicaciones de las plataformas flotantes es en sistemas de bombeo. De Vicente (2023), expone que las estaciones de bombeo flotante son estructuras flotantes tripulables modulares, diseñadas bajo normativa naval, de índole internacional, que sigue elevados estándares de calidad, aplicando y desarrollando tecnologías nuevas a fin de obtener estructuras seguras, estables, duraderas y eficientes. Los diseños de estas estructuras contemplan condiciones críticas para garantizar el correcto funcionamiento de las bombas instaladas, así como el NPSHr (Net Positive Suction Head Required o en español Altura Neta Positiva de Aspiración Requerida), nivel mínimo de sumergencia, momento generado en el arranque, operación, grados de inclinación, entre otros.

Hsbmarine (s.f.), argumenta que la unidad de toma de agua flotante se construye ubicando la estación de bombeo en la zona de agua requerida y realizando las conexiones de tuberías por una línea de paso o un puente. Con este método de toma de agua, en comparación con los sistemas tradicionales, los costos de filtración y sedimentación disminuirán de una forma significativa, debido a que la calidad y la tasa aluvial (cantidad de sedimentos depositados en un canal o río) del agua captada será mucho más baja. Este tipo de sistema destaca por sus costos de inversión. Por ejemplo en las cuencas donde el nivel de agua es variable, se presentan cambios de distancia demasiado grandes en la línea costera, por lo cual es necesario alcanzar los puntos de mayor profundidad en la cuenca, con el fin de garantizar la continuidad del suministro de agua, si esto se llevara a cabo con sistemas tradicionales, se tendrían que construir pilotes con bombas elevadoras, generando costos elevados, además de considerar la dificultad de realizar este tipo de construcción con la cuenca operativa, a esto se plantea una solución como son las balsas flotantes.

## Figura 28

### *Estación de bombeo flotante*



*Nota.* Adaptado de *Barge for pumps* [Fotografía], por Miller Sales & Engineering Inc, 2022, [https://www.mseinc.net/cat\\_product/barge-for-pumps/](https://www.mseinc.net/cat_product/barge-for-pumps/)

### **2.2.7. Bomba de turbina vertical**

#### **2.2.7.1. Definición**

El nombre “bomba de turbina vertical” proviene de su exclusivo diseño, el cual ubica los impulsores verticalmente, a diferencia de otras bombas centrífugas las cuales están orientadas horizontalmente, debido a la orientación de su eje, en cambio el eje de una bomba de turbina vertical está ubicado de forma vertical. Las bombas de turbina vertical son un tipo de bomba centrífuga, la cual tiene un diseño específico de funcionamiento en una configuración vertical. Son utilizadas mayormente para bombear fluido desde un pozo profundo o algún depósito subterráneo, su diseño vertical hace que el bombeo sea eficiente para grandes volúmenes de fluido, considerándose óptimo para la agricultura, industria, suministro de agua, petróleo o gas. Este tipo de bombas cuenta con múltiples etapas, las cuales llevan un impulsor encerrado en un difusor, trabajando juntamente con el fin de aumentar la presión y el flujo (Geeks, 2023).

Asimismo, Sintech Pumps (2021) define a la bomba de turbina vertical como una subcategoría de las bombas centrífugas, las cuales están diseñadas para bombear agua de pozos profundos o subterráneos. El nombre “bomba de turbina vertical” se da justamente por el tipo de conexión que tiene el motor con un eje vertical largo. Es conocida también por otros

nombres como, turbobombas de eje o turbobombas de pozo profundo. Este tipo de bombas son ampliamente utilizadas en entornos industriales, su eficiencia y mantenimiento sencillo, las vuelven una opción óptima para los requisitos solicitados por estos sectores.

### **Figura 29**

*Bomba de turbina vertical*



*Nota.* Adaptado de *Bombas verticais tipo turbina* [Fotografía], por Tecnoagua Ind, s.f. <https://tecnoaguasp.com.br/bombas-verticais-tipo-turbina/>

#### **2.2.7.2. Diseño y componentes**

El diseño de la bomba de turbina vertical posee varios componentes clave, Geeks (2023), los separa de la siguiente manera:

##### **2.2.7.2.1. Eje:**

Es el componente vertical que está formado por tramos, los cuales se encuentran unidos por acoples, su función es transmitir el movimiento del motor hacia los impulsores. El eje puede ser de línea (es hueco, permite el paso del agua por su interior reduciendo la fricción y el calentamiento) o sólido (es macizo, por lo cual aumenta la fricción y el calentamiento, necesita lubricación externa).

#### **2.2.7.2.2. Impulsores:**

Este componente, es de tipo cerrado y consta de varios elementos con forma de disco y álabes curvos, los cuales tienen un determinado diámetro que influye en el tamaño y capacidad de la bomba. Cada impulsor se encuentra dentro de una pieza cilíndrica con abertura en espiral (difusor) que dirige el flujo al próximo impulsor. Al conjunto de impulsores y difusores se le conoce como etapa o tazón, los cuales se ensamblan por medio de bridas o tornillos, unas sobre otras formando la columna de la bomba. Como su nombre lo indica, los impulsores tienen la función de impulsar el agua al exterior, por medio de la fuerza centrífuga.

#### **2.2.7.2.3. Motor:**

Este es el componente principal de la bomba, se conecta al eje mediante una transmisión y es el encargado de suministrar la energía mecánica para el accionamiento de la bomba. El motor puede ser de energía eléctrica (es el más común) y de corriente alterna o continua, también se puede encontrar motores a combustión (diésel, gas o gasolina) o que usen otras fuentes de energía como la eólica (energía del viento) para generar el movimiento mecánico o la propia electricidad.

#### **2.2.7.2.4. Transmisión:**

Este es el componente encargado de transmitir el movimiento del motor al eje, puede ser del tipo transmisión directa (cuando el motor y el eje se encuentran acoplados sin elementos intermediarios) o indirecta (cuando el motor y el eje están acoplados por un elemento intermedio, como una correa, una polea, engranaje o un acoplamiento flexible).

#### **2.2.7.2.5. Succión:**

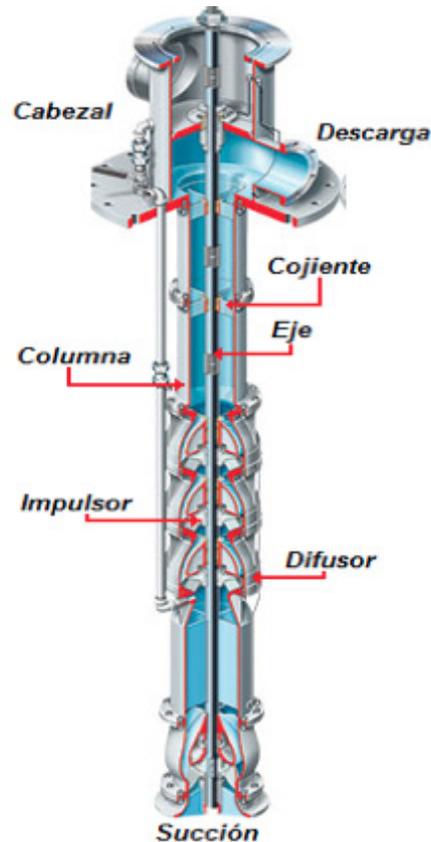
Este componente es el que permite el ingreso del agua a la bomba, puede ser del tipo sumergida (cuando el ingreso de la bomba está por debajo del nivel de agua, evitando formación de vacío o cavitación) o no sumergida (cuando el ingreso de la bomba está por encima del nivel de agua, el cual necesita cebado para llenar la bomba y evitar vacío y cavitación).

#### **2.2.7.2.6. Descarga:**

Este componente es el que permite la salida del agua de la bomba, puede ser del tipo vertical (cuando la salida de la bomba es hacia arriba, facilitando el acoplamiento con la tubería de impulsión) u horizontal (cuando la salida de la bomba se encuentra orientada hacia un lado, necesitando accesorios como un codo o una brida para conectarla con la tubería de impulsión).

## Figura 30

### Componentes de una bomba de turbina vertical



Nota. Adaptado de *Bomba Vertical Tipo Turbina* [Imagen], por Predictiva21, 2021, <https://predictiva21.com/20-5-bomba-vertical-tipo-turbina/>

#### 2.2.7.3. Diferencia entre bomba de turbina vertical y bomba centrífuga

Aunque a la bomba de turbina vertical se le considera una bomba centrífuga, Geeks (2023) establece algunas diferencias marcadas:

- En el diseño las bombas de turbina cuentan con un eje vertical con varios impulsores, en tanto las bombas centrífugas por lo general tienen eje horizontal con un solo impulsor.
- Las bombas de turbina pueden generar mayores presiones, convirtiéndolas en bombas ideales para aplicaciones que requieran bombear fluidos a grandes alturas.
- En el suministro de agua las bombas de turbina son comúnmente utilizadas, sobre todo en pozos profundos, por otra parte, las bombas centrífugas se usan donde se requieran menores elevaciones.

- La alta eficiencia es una característica de las bombas de turbina, que gracias a sus impulsores y difusores transforman la energía cinética en presión, aunque las bombas centrífugas también son eficientes no logran alcanzar ese nivel de eficiencia.
- En cuanto a la instalación, las bombas de turbina a diferencia de la instalación horizontal de las bombas centrífugas se instalan en forma vertical, sumergidas en el fluido o con su motor en la superficie.

#### 2.2.7.4. Aplicaciones

Según el portal Testbook (2023), las bombas de turbina vertical proporcionan una gran variedad de aplicaciones, en los siguientes sectores:

- Abastecimiento de agua.
- Sistemas de riego.
- Procesos industriales (minería e industria).
- Plantas desalinizadoras.
- Control de inundaciones.
- Bombeo de aguas residuales.
- Suministro de agua para edificaciones residenciales y comerciales.
- Sistemas de protección contra incendio.

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Plataforma flotante:** Es una estructura de invención náutica que se puede ubicar en el mar o en áreas con agua. Tienen capacidad para soportar grandes pesos y una estructura flexible que absorbe los movimientos del agua (Fuertes, 2021).
- **Bomba de turbina vertical:** La bomba de turbina vertical es un tipo de bomba centrífuga con un diseño específico de configuración vertical. Son utilizadas mayormente para bombear fluido desde un pozo profundo o algún depósito subterráneo, su diseño vertical hace que el bombeo sea eficiente para grandes volúmenes de fluido.

Llasera (s.f.) define los siguientes conceptos:

- **Proa:** Es la parte delantera (frente) de un barco.
- **Popa:** Es la parte posterior de un barco.
- **Babor:** Banda o lado izquierdo de la embarcación, mirando desde popa a proa (de atrás hacia adelante). Por lo general se ilumina con luz roja.
- **Estribor:** Banda o lado derecho de la embarcación, mirando desde popa a proa (de atrás hacia adelante). Generalmente se ilumina con luz verde.
- **Francobordo:** Es la altura de la embarcación (distancia vertical) tomada desde la línea de flotación hasta la línea de la cubierta.
- **Quilla:** Es la parte inferior de las embarcaciones que va desde proa a popa, donde asienta todo su armazón. En embarcaciones de vela de crucero se refiere al apéndice metálico, por lo general de plomo, que está por debajo del nivel de flotación, permitiendo así compensar la escora que se produce durante la navegación.
- **Casco:** Es el cuerpo estructural de la embarcación excluyendo cabina, mástil y la quilla.
- **Calado:** Es la distancia vertical desde la base de la embarcación hasta el nivel de flotación.
- **Eslora (L, length):** Longitud del barco medida desde la proa hasta la popa.
- **Manga (B, Beam):** Es el ancho máximo de una embarcación.
- **Puntal (D, Moulded depth):** Es la distancia vertical medida desde el casco hasta la cubierta principal.
- **Adrizar:** Enderezar el barco cuando esta escorado.
- **Escorar:** Inclinar la embarcación con respecto al eje vertical. Esta inclinación se mide con el incunómetro o clinómetro.
- **Lastre:** Peso colocado para contrarrestar la escora. Generalmente el peso es ubicado en la quilla, está hecho de un material pesado como el acero o piedras colocadas en el fondo de la embarcación para mantenerla estable.
- **Desplazamiento:** Es el peso del agua desalojada por la embarcación cuando flota y es igual al peso de la embarcación, mayormente se da en toneladas.

## CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Ubicación geográfica

El presente trabajo de investigación se realizó en:

- País : Perú
- Departamento : Cajamarca
- Provincia : Cajamarca
- Distrito : Cajamarca.

### 3.2. Tiempo de realización de la investigación

Esta investigación se llevó a cabo desde el mes de enero del 2023 hasta noviembre del mismo año.

### 3.3. Metodología

#### 3.3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptiva aplicada, ya que describe y analiza la estabilidad y cálculo estructural de una plataforma flotante, aplicando los conceptos teóricos y utilizando software de cálculo Autodesk Inventor 2023.

#### 3.3.2. Método de investigación

El método de investigación tiene los siguientes pasos:

- Recopilación de datos e información, como la ficha técnica de la bomba de turbina vertical, normativa nacional e internacional para dimensionamiento y combinaciones de carga.
- Modelado computacional y cálculo estructural con software Autodesk Inventor 2023.
- Cálculo de flotabilidad y estabilidad hidrostática, empleando los criterios establecidos por la mecánica de fluidos.

### **3.3.3. *Diseño de la investigación***

El diseño de la investigación es cuantitativo, ya que se recopila y analizan datos numéricos, cuantificables, como las cargas, dimensiones, resultados de la simulación, entre otros.

### **3.3.4. *Población***

La población de estudio está constituida por las plataformas flotantes para sistemas de bombeo en aguas calmas, que no están sometidas a oleaje.

### **3.3.5. *Muestra***

La muestra estudiada es una plataforma para bomba de turbina vertical de dos etapas.

### **3.3.6. *Unidad de análisis***

La unidad de análisis está determinada por una plataforma para bomba de turbina vertical modelo B16H-H-01 + B20C-H-0, de la marca Hidrostral, con potencia de 400 HP y de 2 etapas.

### **3.3.7. *Métodos e instrumentos de recolección de información***

Los métodos e instrumentos de recolección de datos fueron:

- Observación directa, porque requiere la evaluación del objeto de estudio sin intervenir.
- Fuentes abiertas, ya que se buscó información pública en páginas institucionales.

## **3.4. Procedimiento**

### **3.4.1. *Generalidades***

Esta plataforma flotante tiene por función servir de estación de bombeo. Está diseñada para trabajar con bombas de turbina vertical Hidrostral modelo B16H-H-01 + B20C-H-01, con caudal de 210 l/s (756 m<sup>3</sup>/h), ADT (altura dinámica total) de 90m, motor de 400 HP y un peso de 3330 Kg, montada en la plataforma, además cuenta con una estructura monorriel para la extracción de la bomba y una tubería de descarga. Para disipar la energía de torsión ocasionada por el arranque de la bomba turbina, se dispone de una placa revestida de caucho en la parte

baja de la tubería de succión. Además, se contempla el espacio para 4 personas en condiciones de mantenimiento.

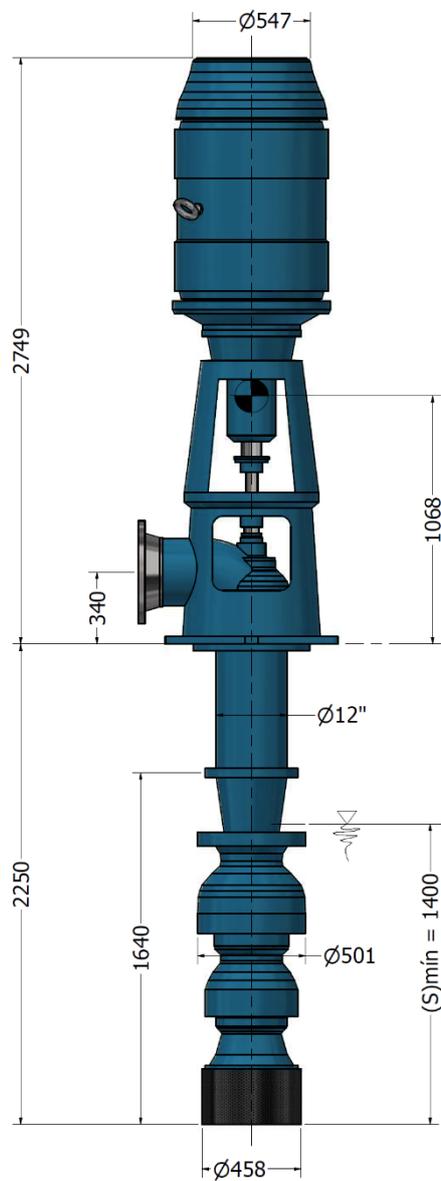
### 3.4.2. Dimensionamiento

Para plantear las dimensiones de la plataforma flotante, se tomaron en cuenta los pesos, los espacios para mantenimiento, así como los parámetros mínimos que establece la ABS (American Bureau of Shipping), teniendo las siguientes consideraciones :

- Dimensiones de la bomba de turbina vertical, mostrados en la **Figura 31**.

**Figura 31**

*Dimensiones de la bomba de turbina vertical*



*Nota.* Dimensiones de la bomba de turbina vertical usada para el diseño de la plataforma flotante.

- Espacio para cuatro personas en simultáneo, asegurando su tránsito, comodidad y seguridad, adaptando el criterio de la ABS (American Bureau of Shipping, 2016) en su guía Crew Habitability on Workboats, mostrado en la **Tabla 1**.

**Tabla 1**

*Criterios de área (ingreso - salida) – Diseño de pasillos y pasarelas*

Accommodation Area Criteria				
Access/Egress				
Requirement # = Related to ILO MLC 2006, Title 3 Requirement		Meets <b>HAB(WB)</b> Requirements	Meets <b>HAB+(WB)</b> Requirements	Meets <b>HAB++(WB)</b> Requirements
PASSAGEWAY/WALKWAY DESIGN				
24	The clear walkway width for one person in an unrestricted area, where two persons could pass is at least 710 mm (28 in.).			
25	The clear walkway width for normal two-way traffic or any means of egress that leads to an exit or entrance is at least 915 mm (36 in.).			
26	The clear walkway width for normal two-way traffic or any means of egress that leads to an exit or entrance is at least 1015 mm (40 in.).			

*Nota.* Tabla tomada de *Guide For Crew Habitability On Workboats*, por American Bureau of Shipping, 2016.

- Espacio para llevar a cabo el mantenimiento de la bomba.
- Dimensiones de barandas de seguridad, tomando en cuenta el criterio de seguridad de la ABS (American Bureau of Shipping, 2016) en su guía Crew Habitability on Workboats, mostrado en la **Tabla 2**.

**Tabla 2**

*Criterios de área (ingreso - salida) – Barandas de cubierta / Protección*

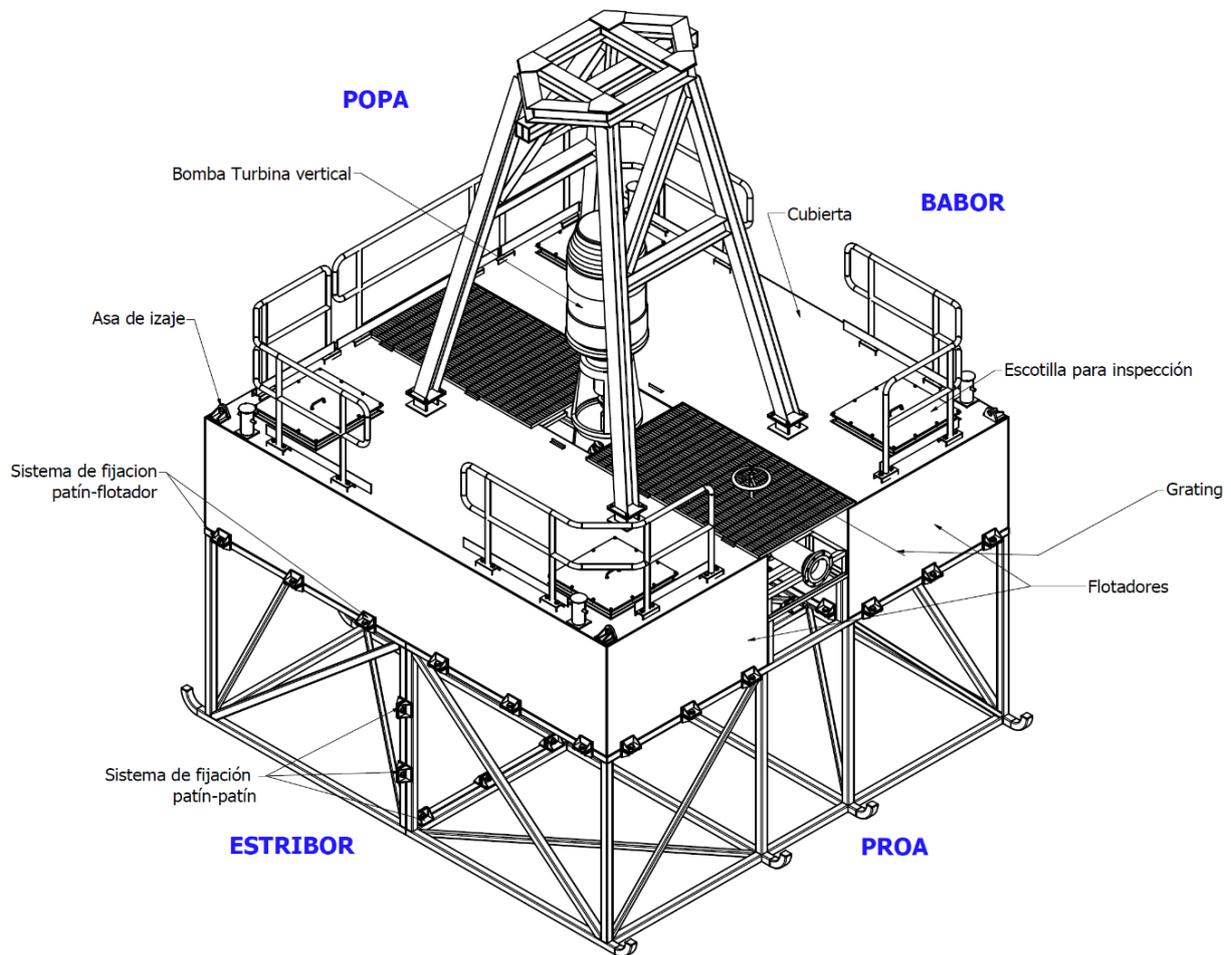
Accommodation Area Criteria				
Access/Egress				
	Requirement # = Related to ILO MLC 2006, Title 3 Requirement	Meets HAB(WB) Requirements	Meets HAB+(WB) Requirements	Meets HAB++(WB) Requirements
9	Deck/guard railings have the following design:			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>the heights of rails or bulwarks are at least 1000 mm (39.5 in.) from the deck except where this height would interfere with the normal operation of the vessel, and toeboards which are at least 100 mm (4.0 in) in height and have no more than a 6 mm (0.25 in.) clearance between the bottom edge of the toeboard and the walking surface</li> </ul>			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>the heights of rails are at least 1070 mm (42 in.) from the deck except where this height would interfere with the normal operation of the vessel and toeboards which are at least 100 mm (4.0 in) in height and have no more than a 6 mm (0.25 in.) clearance between the bottom edge of the toeboard and the walking surface</li> </ul>			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>vertical stanchions for railings are spaced no more than 1525 mm (60 in.) apart horizontally</li> </ul>			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>at least every third vertical stanchion is supported by a bracket or stay</li> </ul>			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>chain or wire rope used as a rail is set such that the sag is not greater than 25 mm (1 in.) at the chain/rope's centerspan</li> </ul>			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>maximum lengths of openings protected by wire or chain are 1830 mm (72 in.). A removable stanchion will constitute the start of a new opening.</li> </ul>			

*Nota.* Tabla tomada de *Guide For Crew Habitability On Workboats*, por American Bureau of Shipping, 2016.

Teniendo en cuenta lo anterior, establecemos la orientación y partes generales de la estructura, como se muestra en la **Figura 32**.

## Figura 32

### Plataforma flotante con sus componentes



*Nota.* Aquí se muestra la plataforma flotante con sus elementos principales, además la configuración su orientación (Proa, popa, babor y estribor).

Teniendo todo esto en cuenta, se plantean las siguientes dimensiones:

- Eslora: 5.00 [m].
- Manga: 5.00 [m].
- Puntal: 1.20 [m].
- Altura Total (base del patín hasta monorriel): 7.16 [m].
- Flotadores: 5.00 x 2.00 x 1.20 m. c/u.
- Plataforma: 5.00 x 5.00 m.

- Tubería de Descarga de 12” con reducción a 8”: El ramal cuenta con niple de 8”, Junta Flexible de 8”, Válvula Check 8” y Válvula globo de 8”.
- Patines: Estructura Metálica 5.00 x 2.50 x 2.10 m.
- Monorraiel: Estructura Metálica 2.50 x 2.00 x 3.72 m, con viga riel y tecele trolley, capacidad del tecele 5 Ton, capacidad del monorraiel 3.5 Ton.
- Misceláneos:
  - Barandas de Seguridad (según Norma Guide for Crew Habitability on Workboats ABS).
  - Soportes, Grating, etc.

### **3.4.3. Materiales**

- Acero ASTM-A36:
  - Esfuerzo de fluencia  $f_y = 2,530 \text{ Kg/cm}^2$  .
  - Módulo de elasticidad  $E_s = 2.1E+06 \text{ Kg/cm}^2$  .
  - Peso específico  $\gamma_s = 7,850 \text{ Kg/m}^3$  .
- Pernos de conexión A325 .
- Soldadura según Norma AWS D1.1 electrodos E70XX.

### **3.4.4. Normativa**

- RNE Reglamento Nacional de Edificaciones:
  - E-090. Estructuras metálicas.
  - E-020. Cargas.
- ASTM American Society for testing & Materials.
- AISC American Institute of Steel Construction.
- ABS American Bureau of Shipping.

### **3.4.5. Software**

Para el cálculo estructural, se empleó análisis por elementos finitos (FEA) mediante el software Autodesk Inventor 2023, trabajando por componentes de ensamblaje, tomando en cuenta la combinación de cargas aplicables a cada uno de los elementos que lo conforman y los esfuerzos transmitidos al elemento contiguo. El análisis de estabilidad se llevó a cabo,

usando las cargas correspondientes y aplicables a cada una de las tres condiciones consideradas (sin carga, carga máxima y mantenimiento), además del software antes mencionado nos apoyamos de hojas de cálculo de Excel, para obtener la curva de estabilidad estática y demás.

### 3.5. Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados

#### 3.5.1. Metrados de carga

Para el presente análisis tomamos en consideración las cargas que son aplicables, según Norma E-020, como son carga de nieve, viento y móviles. No se tomó en cuenta la carga sísmica debido a que la estructura estará sobre agua y no en tierra firme. Esta normativa forma parte del Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE (2021).

##### 3.5.1.1. Carga muerta

Aquí se consideró el peso de la estructura con los elementos que lo componen, también el peso de los equipos y accesorios que se encuentran en ésta, debido a que todos los equipos y accesorios de la plataforma son conocidos se colocaron los pesos reales directamente.

**Tabla 3**

*Pesos de la plataforma flotante*

PESOS DE LA PLATAFORMA FLOTANTE		
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PESO(Kg.)
1	Flotadores	4699
2	Patines	2214
3	Barandas	277
4	Grating	243
5	Monorriel	729
6	Soporte tubería de descarga	62
	Peso total plataforma	8224

**Tabla 4**

*Resumen de equipos y accesorios*

PESO DE EQUIPOS Y ACCESORIOS		
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PESO(Kg.)
1	Bomba turbina vertical (2 secciones)	3330
2	Tubería de descarga	429
3	Tecele - trolley	100
4	Contrapeso fijo – bloque de concreto	500
	peso total equipos	4359

- Carga muerta Total = 12582 kg.

### **3.5.1.2. Carga viva**

La estructura en mención se diseñó, considerando una tripulación máxima de cuatro personas, que es cuando se lleva a cabo el mantenimiento de la bomba de turbina vertical.

- Carga viva = 400 Kg.

### **3.5.1.3. Carga viva móvil**

Este tipo de cargas se utilizaron para el análisis del pórtico monorriel, tomando las consideraciones establecidas en la sección 9.6, artículo 9 de la norma E-020, detallando las cargas para tecles y monorrieles, como sigue:

#### ***3.5.1.3.1. Carga vertical:***

Es la suma de carga máxima (peso de la sección superior de la bomba) y peso del teclé - trolley. Aumento de 10% para teclé manual y 25% para teclé eléctrico. Para este caso se consideró la más crítica.

- Carga viva móvil vertical =  $125\%(2331 + 100) = 3038.75$  Kg.

#### ***3.5.1.3.2. Carga Horizontal***

Se considera una carga transversal que es el 20% de la suma de carga máxima (peso de la sección superior de la bomba) y peso del teclé - trolley.

- Carga viva móvil horizontal =  $20\%(2331 + 100) = 486.20$  Kg.

### **3.5.1.4. Carga de nieve**

Debido a que es una estructura que estará a la intemperie, si es necesario trabajar en zonas de gran altitud, que tienen épocas de nevada, se considera cargas de nieve básica sobre el suelo ( $Q_s$ ) estipulado en la sección 11.2, artículo 11 de la norma E-020, donde establece un valor mínimo de  $40 \text{ kg/m}^2$  (altura de nieve fresca de 0.40m).

- Carga de nieve =  $40 \text{ kg/m}^2 = 800$  kg.

### **3.5.1.5. Carga de viento**

Para la estructura se consideró, cargas de presión, estipuladas en el artículo 12 de la norma E-020, estableciendo los parámetros aplicables para este tipo de estructura.

### 3.5.1.5.1. Velocidad de diseño

Según el anexo 2 (mapa eólico del Perú), la velocidad máxima en el país es de 130 k/h, se tomó este dato por ser el más crítico.

$$V_h = V \left( \frac{h}{10} \right)^{0.22} \quad (9)$$

Donde,

$V_h$  : velocidad de diseño en la altura h en Km/h.

$V$  : velocidad de diseño hasta 10 m de altura en Km/h.

$h$  : altura sobre el terreno en metros.

Reemplazando valores :

$$V_h = 130 \left( \frac{1.2}{10} \right)^{0.22} = 81.54 \text{ Km/h}$$

### 3.5.1.5.2. Carga exterior del viento

Se planteó una carga de presión estática y perpendicular a la superficie sobre la que actúa. Se calculó por la ecuación :

$$P_h = 0.005CV_h^2 \quad (10)$$

Donde,

$P_h$  : presión de viento a una altura h en Kg/m<sup>2</sup>

$C$  : factor de forma obtenido de la Tabla 4 del artículo 12 E-020.

Reemplazando valores:

$$P_h = 0.005*2*81.54^2 = 66.49 \text{ Kg/m}^2$$

- Carga de viento = 66.49 kg/m<sup>2</sup> = 1329.70 kg.

### 3.5.2. Combinaciones de carga

Se consideró combinaciones de carga aplicables del método LRFD, estipuladas en la Norma E-090, ya que se trata de una estructura metálica. Esta normativa forma parte del Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE (2021).

1.4D

$1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)$

$1.2 D + 1.6(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) + (0.5 L \text{ ó } 0.8 W)$

$1.2 D + 1.3 W + 0.5 L + 0.5(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)$

$1.2 D \pm 1E + 0.5L + 0.2 S$

$0.9 D \pm (1.3 W \text{ ó } 1 E)$

Donde,

D : Carga muerta de peso propio efectos permanentes sobre la estructura.

L : Carga viva debida al mobiliario y ocupantes.

L<sub>r</sub> : Carga viva en las azoteas.

W : Carga de viento.

S : Carga de nieve.

E : Carga de sismo de acuerdo con la Norma E.030 Diseño Sismorresistente.

R : Carga por lluvia o granizo.

Las combinaciones de carga resultantes, y la situación más desfavorable (según E-090), se utilizaron de acuerdo con el caso de aplicación para el análisis por elementos finitos (FEA). A continuación, se muestran las cargas actuantes sobre algunos elementos y sus respectivas combinaciones.

**Tabla 5**

*Cargas actuantes sobre el flotador*

TIPO	DESCRIPCIÓN DE LAS CARGAS	VALORES (kg)
D	Pórtico monorriel / 2 apoyos	364.50
L	Sección superior de la bomba de turbina vertical	2731.00
W	Carga de viento.	664.85
S	Carga de nieve.	400.00

**Tabla 6***Combinaciones de carga para flotador: Caso 2*

COMB	COMBINACIONES DE CARGA: CASO 2	RESULTADOS (kg)
1	1.4D	510.30
2	1.2D +1.6L +0.5(Lr ó S ó R)	5007.00
3	1.2 D + 1.6(Lr ó S ó R) + (0.5 L ó 0.8 W)	2442.90
4	1.2 D + 1.3 W + 0.5 L + 0.5(Lr ó S ó R)	2867.21
5	1.2 D ± 1E + 0.5L + 0.2 S	1882.90
6	0.9 D ± (1.3 W ó 1 E)	1192.36

Por recomendación de la E-020, se tomó la combinación más desfavorable, que en este caso fue la combinación 2.

- Carga última = 5007.00 kg. = 49118.67 N

### 3.5.3. Cálculo estructural

Se calculó la estructura por análisis de elementos finitos (FEA) usando el software Autodesk Inventor 2023 y una verificación de los cálculos, por el método LRFD (Diseño por Factores de Carga y Resistencia). Para comprobar el estado límite de resistencia, mediante la ecuación:

$$\sum \gamma_i Q_i \leq \phi R_n \quad \text{ó} \quad R_u \leq \phi R_n$$

Dónde,

$R_u = \sum \gamma_i Q_i$  = resistencia requerida.

$R_n$  = resistencia nominal.

$\phi$  = factor de resistencia.

$\gamma_i$  = factores de carga.

$Q_i$  = efectos de las cargas.

$\phi R_n$  = resistencia de cálculo.

#### 3.5.3.1. Monorriel

Para la aplicación de cargas, se tomaron los datos de Carga viva móvil, de este documento. Se obtuvieron los siguientes resultados:

El esfuerzo máximo calculado fue 149.7 MPa

$$R_u \leq \phi R_n$$

$$149.7 \text{ MPa} \leq 0.9 (250) \text{ MPa}$$

Para el caso del monorriel, si cumple con un 59.88% del límite de fluencia.

**Tabla 7**

*Fuerza de reacción pórtico monorriel*

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	2033.02 N	-422.979 N	1346.92 N m	1314.34 N m
		-1043.97 N		-79.4345 N m
		-1692.45 N		-283.536 N m
Restricción fija:2	2012.19 N	413.58 N	1345.04 N m	1312.82 N m
		-1043.37 N		73.433 N m
		-1670.1 N		283.273 N m
Restricción fija:3	17045.2 N	3735.31 N	1374.42 N m	1300.31 N m
		1052.17 N		315.045 N m
		16597.5 N		-314.58 N m
Restricción fija:4	17019 N	-3726.21 N	1384.73 N m	1312.03 N m
		1036.12 N		-309.781 N m
		16573.8 N		316.35 N m

### 3.5.3.2. Flotador

Este elemento, es una estructura prismática de sección rectangular recta, sobre la cual, en situación de mantenimiento, están los tripulantes y la bomba de turbina vertical, para el análisis se consideraron estas cargas además del peso del pórtico monorriel que sobre esta se apoya. Obteniendo dos casos críticos, las cuales se describen en los siguientes ítems.

#### 3.5.3.2.1. Caso 1: Izaje

Este caso se da en el momento de izaje, donde la estructura soporta el peso del pórtico, monorriel, tecla y la sección superior de la bomba, transmitiendo estas cargas puntuales directamente al flotador, para esto tomaremos el valor de la reacción obtenida en los apoyos del pórtico monorriel, la cual es equivalente a la fuerza aplicada verticalmente hacia abajo. Los resultados se muestran a continuación:

El esfuerzo máximo calculado fue 143.9 MPa

$$R_u \leq \phi R_n$$

$$143.9 \text{ MPa} \leq 0.9 (250) \text{ MPa}$$

Para el caso 1, si cumple con un 57.56% del límite de fluencia.

### 3.5.3.2.2. Caso 2: Mantenimiento

Se da cuando se lleva el mantenimiento de la bomba de turbina vertical, teniendo como cargas vivas a los tripulantes y la sección superior de la bomba, además se consideraron otros factores, tomados de la **Tabla 6** . Los resultados se muestran a continuación:

El esfuerzo máximo calculado fue 178.9 MPa

$$R_u \leq \varphi R_n$$

$$178.9 \text{ MPa} \leq 0.9 (250) \text{ MPa}$$

Para el caso 2, si cumple con un 71.56% del límite de fluencia.

**Tabla 8**

*Fuerza de reacción flotador*

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	44644 N	-46.7251 N	1513.65 N m	1503.21 N m
		83.0323 N		177.413 N m
		44643.9 N		0 N m

### 3.5.3.3. Patín

Para el análisis de los patines, tomamos la fuerza de reacción obtenida en la **Tabla 8**. Esta fuerza es la que se transmite del flotador hacia la estructura tipo patín, la cual representa la carga máxima que debe soportar cada patín, repartida en todos sus elementos de contacto, además se considera la carga ejercida por el contrapeso o tuberías, las cuales son equivalentes. Obteniendo los siguientes resultados:

El esfuerzo máximo calculado fue 155 MPa

$$R_u \leq \varphi R_n$$

$$155 \text{ MPa} \leq 0.9 (250) \text{ MPa}$$

Para el caso de los patines, si cumple con un 62% del límite de fluencia.

### 3.5.3.4. Asas de izaje

Estos elementos tienen la función principal de soportar toda la carga de la estructura, excepto la de tripulantes, ya que es el momento cuando se realiza el izaje de toda la plataforma

con bomba instalada. Esta carga está repartida en los cuatros puntos (asas), pero lo cual analizaremos una de ellas, obteniendo los siguientes resultados:

El esfuerzo máximo calculado fue 106.7 MPa

$$R_u \leq \phi R_n$$

$$106.7 \text{ MPa} \leq 0.9 (250) \text{ MPa}$$

Para el caso de las asas de izaje, si cumple con un 42.68% del límite de fluencia.

### **3.5.3.5. Conexiones**

El conjunto de conexión está conformado por platinas soldadas a los flotadores y a los patines, que se fijan por pernos y tuercas. Estos elementos están expuestos al agua permanentemente, por lo que se considera un alto grado de seguridad, ya que siempre deben tener la tensión necesaria para mantener la estructura fija, se le aplicaron las respectivas cargas, obteniendo los siguientes resultados:

#### **3.5.3.5.1. Platinas**

El esfuerzo máximo calculado fue 24.29 MPa

$$R_u \leq \phi R_n$$

$$24.29 \text{ MPa} \leq 0.9 (250) \text{ MPa}$$

Para el caso las platinas de conexión, si cumple con un 9.72% del límite de fluencia.

#### **3.5.3.5.2. Pernos**

El esfuerzo máximo transmitido de las platinas hacia los pernos fue de 24.29 MPa. Según la especificación ASTM (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales), A325 la resistencia mínima es 120 Ksi (634 MPa). Con lo cual tenemos aproximadamente un 4% del rendimiento del perno.

### **3.5.4. Renderizado**

Una vez completados los cálculos y análisis de todos los elementos estructurales de la plataforma flotante, se presenta toda la estructura en un renderizado, transformando los datos técnicos y los resultados de ingeniería en una representación tridimensional, la cual ofrece una visualización realista y detallada, para tener una mejor comprensión y un panorama completo de cómo se verá la plataforma flotante en la realidad (Anexo 1).

### 3.5.5. Flotabilidad

Una vez establecido las dimensiones, el diseño y el cálculo estructural, se determinó la flotabilidad de la plataforma, teniendo como capacidad de flotación un volumen de  $24\text{m}^3$ , se determinó la profundidad de calado para dos situaciones, una cuando la estructura flotante esta sin carga (vacía) y la otra a plena carga (bomba vertical, accesorios, contrapeso, etc.), mediante las siguientes expresiones:

Ecuación de equilibrio

$$\Sigma Fv = 0$$

$$Fb - w = 0$$

Volumen sumergido

$$Vd = B * L * X$$

Fuerza de flotación

$$Fb = \gamma_f Vd = \gamma_f * B * L * X$$

$$Fb = \gamma_f * B * L * X$$

#### 3.5.5.1. Flotabilidad sin carga

Reemplazando, se tiene:

$$Fb = w = 8223.63 * 9.81$$

$$Fb = w = 80673.81 \text{ N}$$

$$w = Fb = \gamma_f * B * L * X$$

$$X = \frac{w}{\gamma_f * B * L} = \frac{80673.81 \text{ N}}{9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * 4\text{m} * 5\text{m}}$$

$$X = 0.41 \text{ m}$$

Se obtuvo una profundidad de calado de 0.41m, con lo cual se tiene que la plataforma flota con 34% de sumergencia.

El volumen disponible para flotación es de  $24 \text{ m}^3$  (24 ton) y un peso vacío de 8.22 toneladas por lo tanto flotará, debido a que cumple la siguiente relación.

$$V * \gamma_f \geq W$$

### 3.5.5.2. Flotabilidad a plena carga

Reemplazando, se tiene:

$$Fb = w = 12982.43 * 9.81$$

$$Fb = w = 127357.59 \text{ N}$$

$$w = Fb = \gamma_f * B * L * X$$

$$X = \frac{w}{\gamma_f * B * L} = \frac{127357.59 \text{ N}}{9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * 4\text{m} * 5\text{m}}$$

$$X = 0.65 \text{ m}$$

Se obtuvo una profundidad de calado de 0.65m, con lo cual se tiene que la plataforma flota con 54% de sumergencia.

El volumen disponible para flotación es de 24 m<sup>3</sup> (24 ton) y un peso total de 12.98 toneladas por lo tanto flotará, debido a que cumple la siguiente relación.

$$V * \gamma_f \geq W$$

### 3.5.5.3. Coeficiente de flotabilidad

Se determinó el coeficiente de flotabilidad para la plataforma flotante a plena carga, ósea con un calado de 0.65 m. Se tiene que:

$$CF = \frac{0.55 \text{ m} * 4 \text{ m} * 5 \text{ m}}{0.65 \text{ m} * 4 \text{ m} * 5 \text{ m}} * 100\%$$

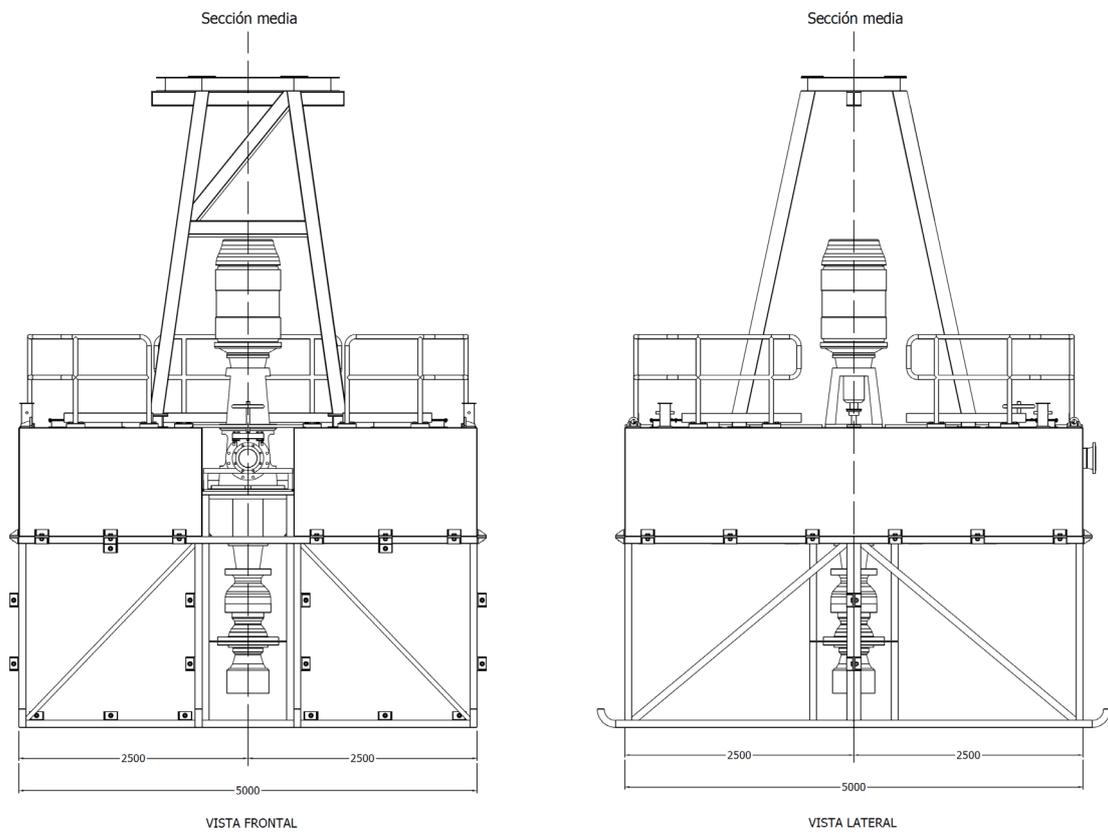
$$CF = 84.62 \%$$

### 3.5.6. Estabilidad

Para este cálculo, se plantearon condiciones de estabilidad, como condición sin carga, carga máxima y mantenimiento. Estas condiciones nos permiten analizar el comportamiento hidrostático de la estructura, frente a las situaciones reales que enfrentará y se debe cumplir que la distancia medida desde la base del flotador hacia el metacentro (Y<sub>mc</sub>) deberá ser mayor que la distancia medida desde la base del flotador a el centro de gravedad (Y<sub>cg</sub>). Finalmente se analizó el comportamiento de estabilidad de la plataforma a grandes ángulos, determinando el máximo momento de volcadura. Antes de llevar a cabo este procedimiento, se establecieron las vistas frontal y lateral, para indicar la orientación de la estructura., como se muestra:

### Figura 33

#### *Orientación de la plataforma flotante*



Luego se calcularon los momentos de inercia, se ubicó el centro de gravedad, centro de flotación, el metacentro y demás datos, según corresponda el caso de análisis.

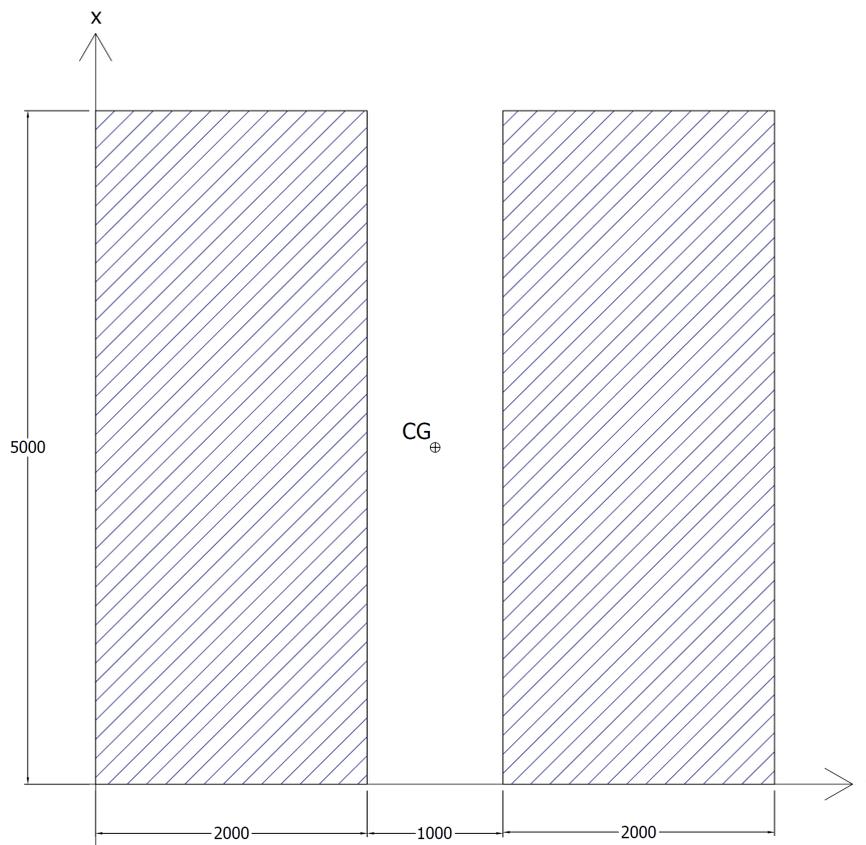
Teorema de Steiner (ejes paralelos):

$$I_t = I_0 + Ad^2$$

Ubicación de ejes para determinar momento de inercia

**Figura 34**

*Centro de gravedad sección sumergida*



Momento de inercia para el eje x

$$I_{x1} = I_{x2} = \frac{5 * 2^3}{12} + 5 * 2(2.5 - 1)^2 = 25.83 \text{ m}^4$$

$$I_x = I_{x1} + I_{x2} = 51.67 \text{ m}^4$$

$$I_x = 51.67 \text{ m}^4$$

Momento de inercia para el eje y

$$I_{y1} = I_{y2} = \frac{2 * 5^3}{12} + 5 * 2(0)^2 = 20.83 \text{ m}^4$$

$$I_y = I_{y1} + I_{y2} = 41.67 \text{ m}^4$$

$$I_y = 41.67 \text{ m}^4$$

Menor momento de inercia

$$I_y = 41.67 \text{ m}^4$$

### 3.5.6.1. Condición sin carga

Corresponde a la plataforma flotante, soportando el peso de su propia estructura.

Distancia del centro de flotabilidad al metacentro

$$MB = \frac{I}{Vd}$$
$$MB = \frac{41.67 \text{ m}^4}{8.22 \text{ m}^3} = 5.065 \text{ m.}$$

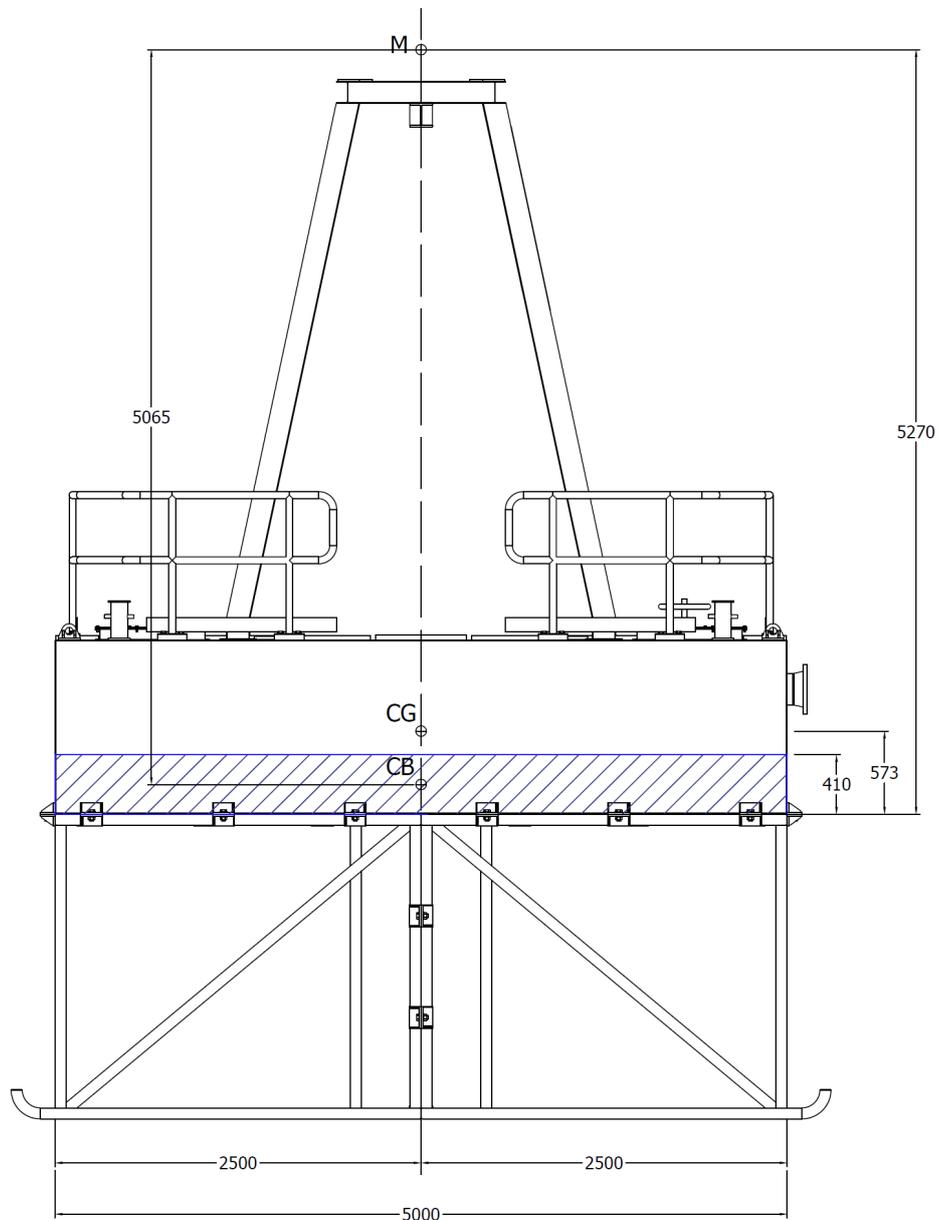
**Tabla 9**

*Análisis de estabilidad: Sin carga – Resumen*

RESUMEN	
Peso (ton)	8.22
Centro de gravedad (m)	0.57
Metacentro (m)	5.27
Desplazamiento (tn)	8.22
Calado (m)	0.41

### Figura 35

*Análisis de estabilidad: Sin carga*



Para esta condición se obtuvieron los siguientes resultados

$$Y_{mc} = 5.27 \text{ m (+)}$$

$$Y_{cg} = 0.57 \text{ m}$$

$Y_{mc} > Y_{cg}$ , por lo tanto, en este caso se considera estable

### 3.5.6.2. Condición de Máxima carga

Corresponde a la plataforma flotante, soportando todos los pesos indicados en la **Tabla 3** y **Tabla 4**, más el peso de la tripulación (400 kg.).

Distancia del centro de flotabilidad al metacentro

$$MB = \frac{I}{Vd}$$

$$MB = \frac{41.67 \text{ m}^4}{12.98 \text{ m}^3} = 3.21 \text{ m.}$$

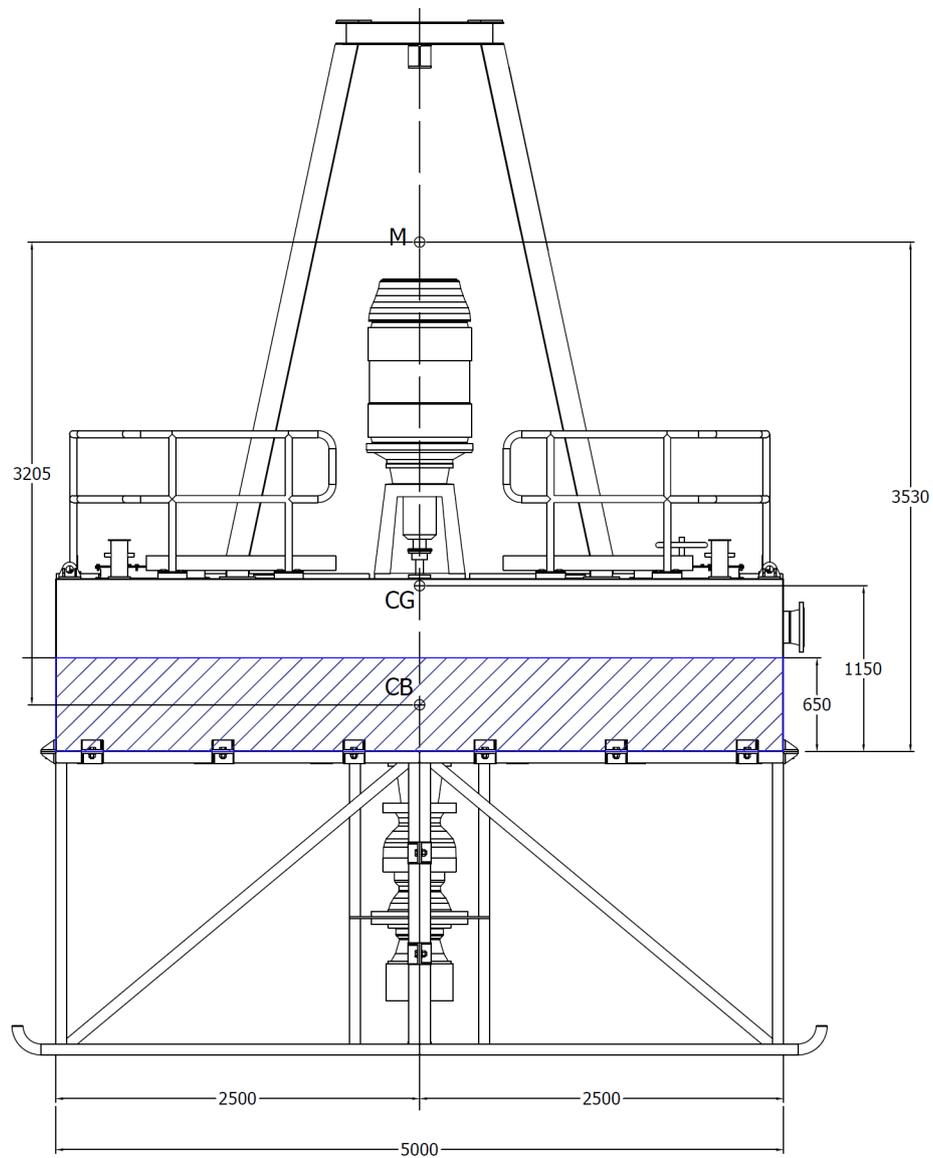
**Tabla 10**

*Análisis de estabilidad: Máxima carga – Resumen*

RESUMEN	
Peso (ton)	12.98
Centro de gravedad (m)	1.15
Metacentro (m)	3.53
Desplazamiento (tn)	12.98
Calado (m)	0.65

**Figura 36**

*Análisis de estabilidad: Carga máxima*



En esta condición se obtuvieron los siguientes resultados

$$Y_{mc} = 3.53 \text{ m (+)}$$

$$Y_{cg} = 1.15 \text{ m}$$

$Y_{mc} > Y_{cg}$ , por lo tanto, para este caso también se considera estable.

### 3.5.6.3. Condición de Mantenimiento

Corresponde a la plataforma flotante, soportando todos los pesos indicados en la **Tabla 3** y **Tabla 4**, más el peso de la tripulación (400 kg.). El motor se iza con el tecele, ubicándose en la posición más alta y hacia a la derecha como se muestra en la imagen.

Distancia del centro de flotabilidad al metacentro:

$$MB = \frac{I}{Vd}$$

$$MB = \frac{41.67 \text{ m}^4}{12.98 \text{ m}^3} = 3.21 \text{ m.}$$

**Tabla 11**

*Análisis de estabilidad: Mantenimiento – Resumen*

RESUMEN	
Peso (ton)	12.98
Centro de gravedad (m)	1.30
Metacentro (m)	3.53
Desplazamiento (tn)	12.98
Calado (m)	0.75

Para el caso más crítico se obtuvieron los siguientes resultados

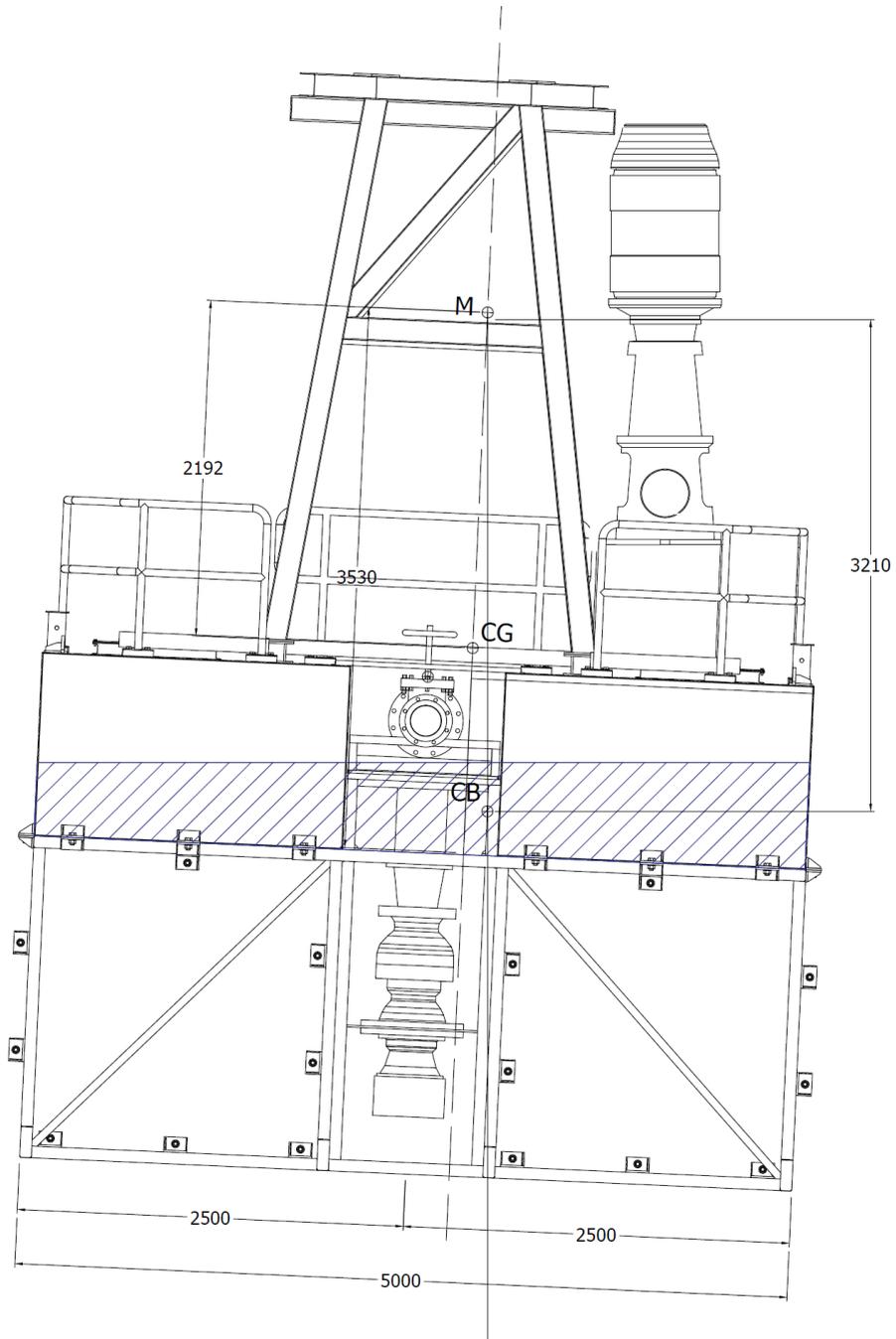
$$Y_{mc} = 3.53 \text{ m (+)}$$

$$Y_{cg} = 1.30 \text{ m}$$

$Y_{mc} > Y_{cg}$ , por lo tanto, para este caso también se considera estable.

**Figura 37**

*Análisis de estabilidad: Mantenimiento*

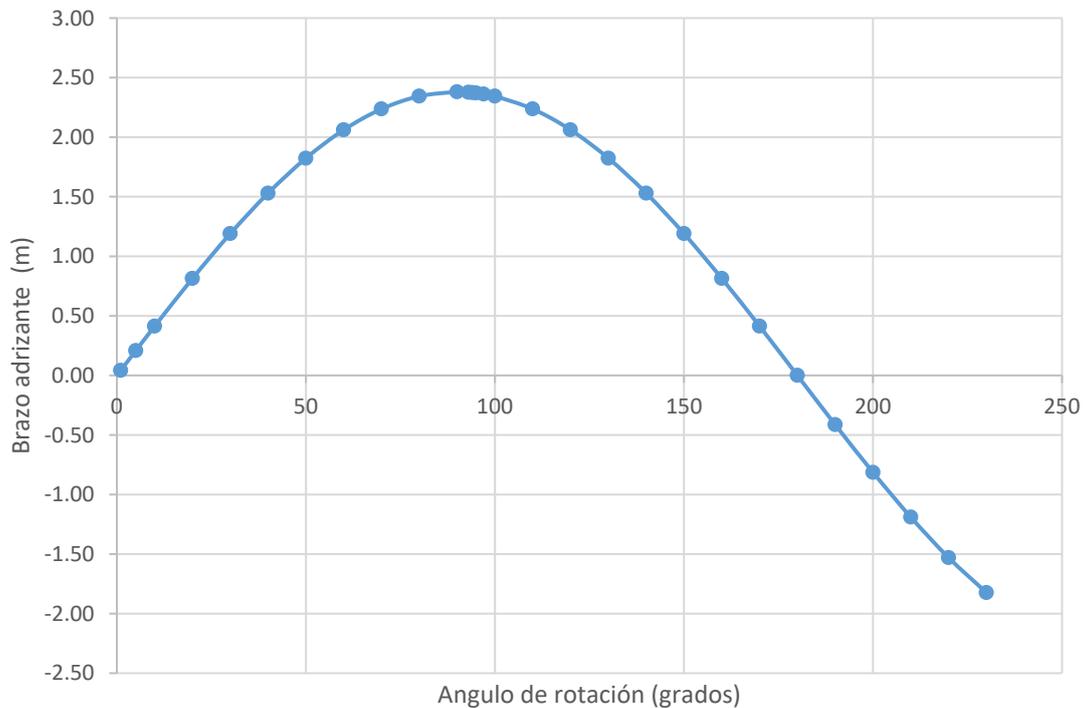


### 3.5.6.4. Estabilidad a grandes ángulos

Para determinar la curva de estabilidad hidrostática a grandes ángulos, se empleó la fórmula de Atwood. Ubicando todos los puntos de brazos adrizantes vs ángulos de giro.

**Figura 38**

*Curva de estabilidad estática a grandes ángulos*



*Nota.* Del gráfico se obtiene un brazo adrizante máximo de  $GZ_{m\acute{a}x}=2.20$  m. a  $80^\circ$

### 3.5.6.5. Estabilidad contra volcaduras

Este tipo de estabilidad se determinó mediante la siguiente expresión:

$$Me_{m\acute{a}x} = Vd * GZ_{m\acute{a}x}$$

Reemplazando

$$Me_{m\acute{a}x} = 12.98 \text{ ton} * 2.20 \text{ m} = 28.56 \text{ ton} - \text{m}$$

Lo que significa que tendrá una resistencia ante volcaduras de 28.56 ton-m.

#### **3.5.6.5.1. Carga de izaje**

Para el momento de izaje, se tiene una carga de 2.3 ton aplicada a la distancia de 1m, teniendo como resultado un momento de volcadura de 2.3 ton-m. Lo cual no es suficiente para producir volcadura, ya que se cumple que:

$$Me_{m\acute{a}x} > M_{izaje}$$

#### **3.5.6.5.2. Carga de viento**

En este caso se determinó la carga de viento para una velocidad máxima de 130 km/h, obtenida de la sección de metrados de carga de este documento, se tiene una carga de 1.3 ton aplicada a una distancia máxima de 2.5m, teniendo como resultado un momento de volcadura de 3.25 ton-m. Lo cual no es suficiente para producir volcadura, ya que se cumple que:

$$Me_{m\acute{a}x} > M_{izaje}$$

## MÓDULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con respecto al dimensionamiento de la plataforma flotante para una bomba de turbina vertical, se determinó adaptando la normativa internacional ABS a la estructura en mención, teniendo como resultado dimensiones de 5 m de eslora, 5 m de manga y 1.2 m de puntal, a diferencia de Beltrán & Beltrán (2019) que utilizaron la normativa nacional fluvial de Colombia, dimensionando una plataforma flotante para vivienda con 14 m. de eslora, 8.75 m. de manga y puntal de 1.5 m. En cuanto Palos (2014) trabajó con un buque en funcionamiento con dimensiones predefinidas de 93.50 m de eslora, 16 m de manga y 7.3 m de puntal.

Para el cálculo estructural, hay coincidencia con la mayoría autores mencionados, con el empleo de software que utiliza el análisis por elementos finitos, obteniendo resultados que cumplen con la resistencia requerida por el método LRFD (Diseño por Factores de Carga y Resistencia). En el cálculo de esta investigación se obtuvo un valor de esfuerzo máximo a la fluencia de 178.9 MPa, mientras que Torres (2015) obtiene un valor de 161 MPa y Negreiros (2023) un valor máximo de 168 MPa.

En el análisis de flotabilidad de la plataforma flotante, se obtuvo una capacidad flotante positiva mayor y un nivel de sumergencia superior al 50%, así como los valores obtenidos por Parra (2018) de 60% y por Beltrán & Beltrán (2019) de 66.67%. Para los coeficientes de flotación se determinó un valor de 84.62%, mucho mayor que los encontrados por Parra (2018) de 66.67% y por Beltrán & Beltrán (2019) de 50.71%.

En el análisis de estabilidad se obtuvo una altura metacéntrica GM de 3.53 m, cumpliendo con la primera condición de estabilidad de  $GM > 0$ , así como Beltrán & Beltrán (2019) con  $GM = 5.464$  m, Parra (2018) con  $GM = 1.71$  m y Torres (2015) con  $GM = 34.47$ . Con respecto al grado de inclinación máxima se obtuvo un ángulo de  $80^\circ$  con un brazo adrizante de 2.20 m, mucho mayor que el calculado por Parra (2018) de  $30^\circ$  a 0.20 m.

## MÓDULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- Se realizó el análisis de estabilidad y cálculo estructural de la plataforma flotante para bomba de turbina vertical de dos etapas, utilizando la normativa peruana, así como internacional, determinando un dimensionamiento de 5 m x 5 m y diseñando la estructura en módulos y elementos (pórtico monorriel, flotadores, patines, barandas, asas de izaje, etc.) lo cual facilitará el transporte y ensamblaje en obra.
- Se logró diseñar la plataforma flotante, utilizando análisis por elementos finitos (FEA), el cual permitió llevar a cabo un análisis detallado del comportamiento estructural, bajo diferentes situaciones de carga para cada uno de sus componentes principales, obteniendo valores de esfuerzos máximos permisibles dentro del rango elástico del material empleado para el diseño, demostrando así su efectividad para el estudio de este tipo de estructuras.
- Se realizó el análisis de estabilidad para las tres condiciones planteadas en esta investigación (sin carga, carga máxima y mantenimiento), determinando que el diseño planteado es estable ante estas situaciones, además se determinó el grado de estabilidad a grandes ángulos obteniendo un par restaurador de 2.20 m a 80°, lo cual demuestra su alto grado de estabilidad.
- Se determinó los momentos de volcadura producto de carga de izaje, así como de las presiones del viento sobre la cubierta, obteniendo un valor de 2.3 ton-m para el momento de izaje y de 3.25 ton-m para momento ocasionado por viento. Ninguno de estos valores es suficiente para producir volcadura, ya que la resistencia a la volcadura obtenida fue de 28.56 ton-m.

### 5.2. Recomendaciones

- Para ampliar y profundizar en el análisis de estabilidad de plataformas flotantes, se recomienda incluir el efecto de oleaje provocado por acción sísmica, teniendo como objeto de estudio un comportamiento dinámico de la estructura, así como la implementación de sistemas de mejora en la estabilidad frente a estos efectos.
- Se sugiere ampliar esta investigación para abarcar otros tipos de bombas que necesiten estructuras flotantes para su óptimo funcionamiento y su aplicación en diferentes

situaciones e industrias, como en la minería o agricultura. Así como el uso de estas estructuras para viviendas flotantes en zonas de inundación como es el caso de la Amazonía peruana.

- Se recomienda analizar otros materiales con la finalidad de mejorar los efectos causados por corrosión, así mismo la implementación de una metodología para evaluar el desgaste por corrosión en el tiempo y así determinar su velocidad de reducción de espesor, con el fin de proponer medidas de prevención oportunas y adecuadas.
- También se podrían agregar estudios de impacto ambiental, analizando el ciclo de vida estimado de la estructura, desde que fue fabricado hasta su disposición final, teniendo en consideración la afectación a la biodiversidad acuática.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Bureau of Shipping. (2016). *Guide For Crew Habitability On Workboats*. ABS. [https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/other/163\\_crewhabitabilityonworkboats/HAB\\_Workboat\\_Guide\\_e.pdf](https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/other/163_crewhabitabilityonworkboats/HAB_Workboat_Guide_e.pdf)
- Baraniuk, C. (10 de mayo de 2018). *Cómo son las megaplataformas flotantes que están por iniciar una guerra del gas en la cuenca Browse*. [Fotografía]. BBC News Mundo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-44047585>
- Beltrán, M. A., & Beltrán, M. L. (2019). *Análisis y modelación del comportamiento de una vivienda flotante en zonas de inundación en el barrio Santander del municipio de Puerto López - Meta*. [Tesis de grado, Universidad Santo Tomás Villavicencio]. Repositorio institucional de la Universidad Santo Tomás Villavicencio. <http://hdl.handle.net/11634/21726>
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Mecánica de fluidos. Fundamentos y aplicaciones* (1a. ed.). McGraw-Hill.
- Comisión Económica para América Latina . (s.f.). *Recursos hídricos*. CEPAL ORG. <https://www.cepal.org/es/subtemas/recursos-hidricos#>
- Cómo las plataformas flotantes pueden beneficiar a su empresa*. (22 de mayo de 2023). Plataformas y pantalanés flotantes. <https://www.plataformasypantalanésflotantes.com/como-las-plataformas-flotantes-pueden-beneficiar-a-su-empresa>
- De Vicente, A. (20 de marzo de 2023). *IFLUTECH. Vanguardia del diseño e implementación de estaciones de bombeo flotantes, plataformas, y caminatas*. Reporte Minero | El portal de minería en Chile. <https://www.reporteminero.cl/noticia/expomin-2023/2023/03/iflutech-estaciones-bombeo-flotantes-plataformas-caminatas>
- Dock Hisea. (s.f.). *Puente Pontón Flotante De Plástico HiSea*. [Fotografía]. hsfloating.org. <http://www.hsfloating.org/floating-pontoon/hisea-plastic-floating-pontoon-bridge.html>
- Fernández, E. (2013). *Anteproyecto de pontones metálicos para la estación flotante de bombeo de agua en la Minera Argentum*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería].

Repositorio institucional Universidad Nacional de Ingeniería.  
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/13294>

*Flotación de hormigón*. (s.f). [Fotografía]. Costanor S. XXI. <https://costanor.es/flotacion-de-hormigon/>

Fuertes, M. (27 de enero de 2021). *Qué son y qué usos se les puede dar a las plataformas flotantes*. Herramientas10.top. <https://herramientas10.top/que-son-y-que-usos-se-les-puede-dar-a-las-plataformas-flotantes/>

Geeks, L. (27 de Setiembre de 2023). *Vertical Turbine Pumps. A Comprehensive Guide for Industrial Use*. Lambda Geeks. <https://es.lambdageeks.com/vertical-turbine-pumps/>

Giles, R., Evett, J., & Cheng, L. (1994). *Mecánica de los fluidos e hidráulica* (3a. ed.). (M. Norte, Ed.) McGraw-Hill Interamericana de España.

*Gran plataforma flotante de metal y hormigón amarrada en un astillero*. (23 de febrero de 2022). [Fotografía]. Freepik. [https://www.freepik.es/fotos-premium/gran-plataforma-flotante-metal-hormigon-amarrada-astillero\\_23823426.htm](https://www.freepik.es/fotos-premium/gran-plataforma-flotante-metal-hormigon-amarrada-astillero_23823426.htm)

Hsbmarine. (s.f.). *Estructuras flotantes de captación de agua y estación de bombeo*. Hsbmarine. <https://www.hsbmarine.com/es/blog/estructuras-flotantes-de-captacion-de-agua-y-estacion-de-bombeo>

Llasera, J. (s.f.). *Diccionario náutico*. Nautical-dictionary: <http://www.nautical-dictionary.com/>

Miguelangel. (18 de marzo de 2021). *Qué son los pontones flotantes y para qué se utilizan*. Subgurim: <https://subgurim.net/que-son-los-pontones-flotantes-y-para-que-se-utilizan/>

Miller Sales & Engineering Inc. (2022). *Barge for pumps*. [Fotografía]. Miller Sales & Engineering Inc. [https://www.mseinc.net/cat\\_product/barge-for-pumps/](https://www.mseinc.net/cat_product/barge-for-pumps/)

Molina, J. (2010). *Fundamentos del Método de elemento finito* (1a. ed.). Bolivia. U.M.S.A.

Mott, R. L. (2015). *Mecánica de fluidos* (7a. ed.). México. Pearson Educación.

Negreiros, J. (2023). *Análisis estático y modal de barcaza de 02 bombas verticales y propuestas de reforzamiento en zonas con bajo factor de seguridad*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Trujillo. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/18228>

- Palos, C. (2014). *Análisis de la estabilidad de un buque durante la operación de descarga de una carga pesada*. [Tesis de grado, Universitat Politècnica de Catalunya]. El depósito institucional de la Universitat Politècnica de Catalunya. <http://hdl.handle.net/2099.1/24182>
- Parra, G. (2018). *Diseño de un muelle fluvial para el transporte de pasajeros*. [Tesis de grado, Universidad Austral de Chile]. Cybertesis de la Universidad Austral de Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2018/bmfcip258d/doc/bmfcip258d.pdf>
- Predictiva. (8 de setiembre de 2021). *Bomba Vertical Tipo Turbina*. [Imagen]. Predictiva21. <https://predictiva21.com/20-5-bomba-vertical-tipo-turbina/>
- Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE*. (4 de noviembre de 2021). Informes y publicaciones - Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento - Plataforma del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2309793-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Sintech Pumps. (17 de junio de 2021). *What are Vertical Turbine Pumps & How do they work?* Sintech Pumps. <https://www.sintechpumps.com/pumps/guide-to-vertical-turbine-pumps/>
- Sotomayor, M., & Cortez, O. (2007). *Aplicación del método de elementos finitos y programas computacionales en el diseño estructural de una galpón para el taller de la Empresa PROCOPET S.A.* [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio digital de la Escuela Politécnica Nacional. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/330>
- Streeter, V. L., Wylie, E. B., & Bedford, K. W. (2000). *Mecánica de fluidos* (9a. ed.). Colombia. McGraw-Hill Interamericana S.A.
- Tecnoagua Ind. (s.f.). *Bombas verticais tipo turbina*. [Fotografía]. Tecnoágua Bombas verticais. <https://tecnoaguasp.com.br/bombas-verticais-tipo-turbina/>
- Testbook. (2 de agosto de 2023). *Vertical Turbine Pump: Learn its Definition, Types, Components, and Applications*. Testbook. <https://testbook.com/mechanical-engineering/vertical-turbine-pump-definition-and-diagram>
- Torres, J. (2015). *Diseño estructural y cálculo de estabilidad de una barcaza, para operar una grúa móvil de 145 ton de peso en el rio Tambopata, Madre de Dios, 2015*. [Tesis de grado, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio institucional

de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12918/2651>

Tracy, M. (1996). Marine engineering. En E. A. Avallone, & T. Baumeister III, *Marks' standard handbook for mechanical engineers* (10a. ed., pág. 1105). McGraw-Hill.

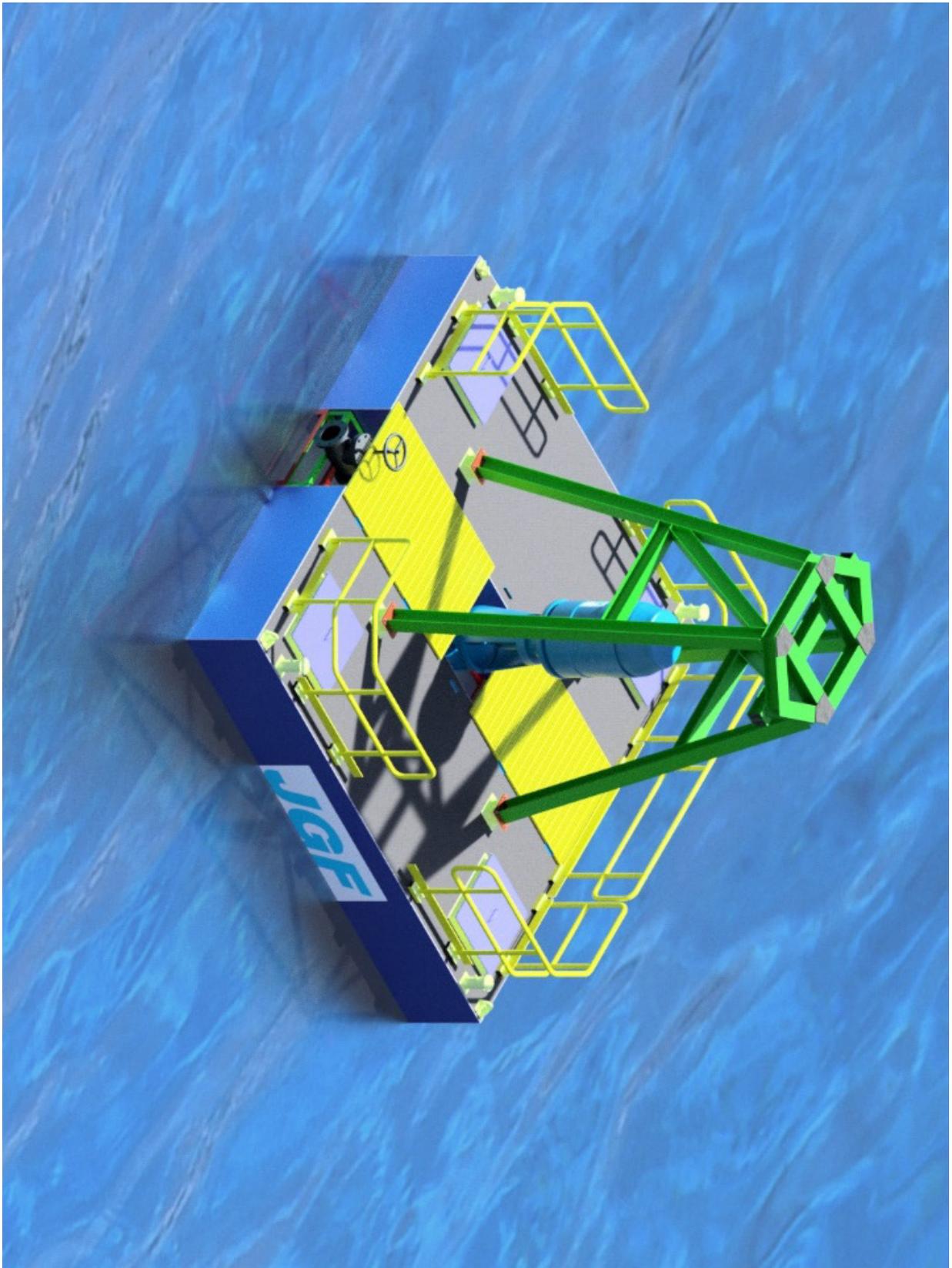
## **ANEXOS**

## **7.1. Anexo 1: Renderizado**

**Vista isométrica: Estructura general**



**Vista isométrica: Estructura flotando**



## **7.2. Anexo 2: Resultados de cálculo estructural**

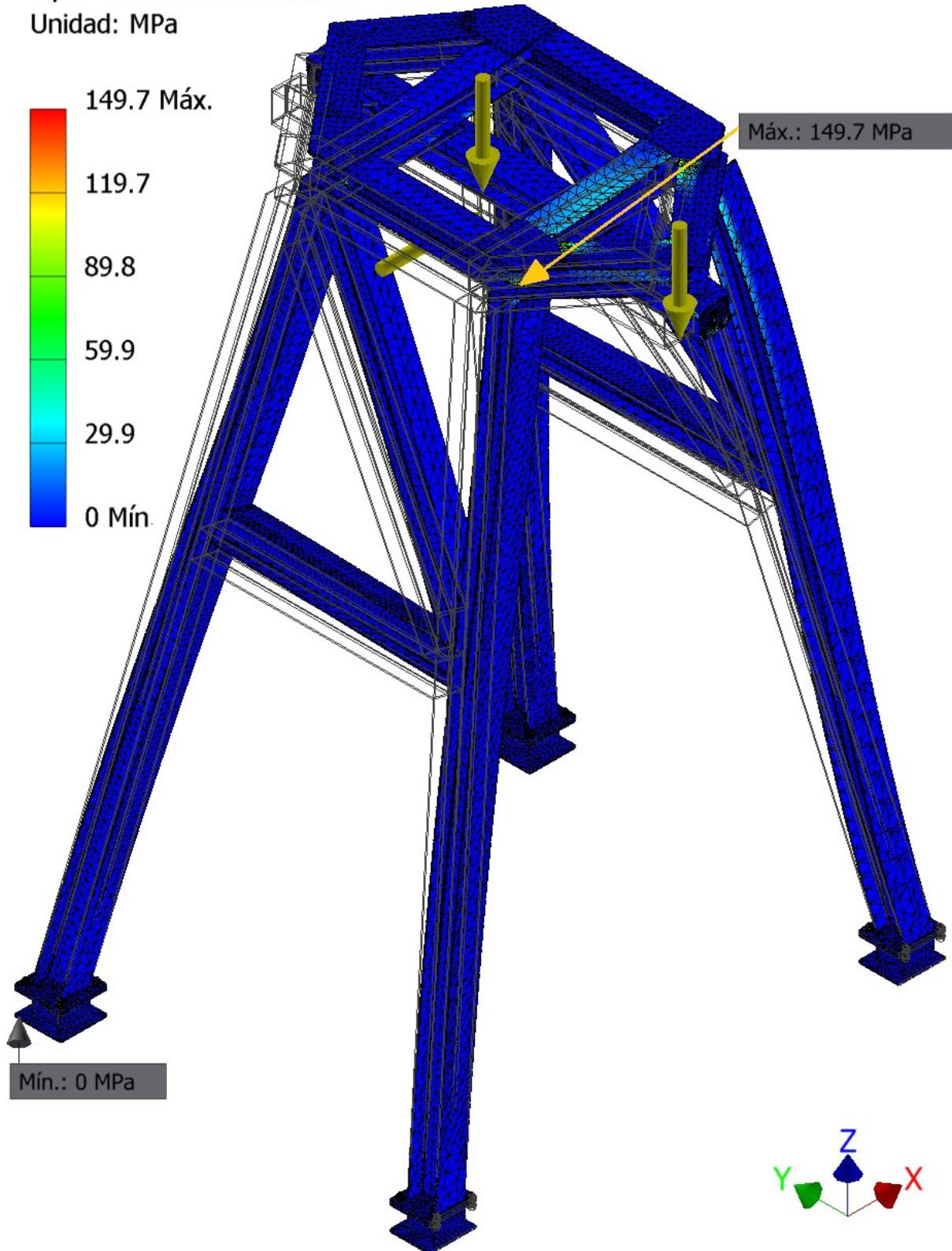
## Pórtico monorriel: tensión

Nodos:645176

Elementos:350726

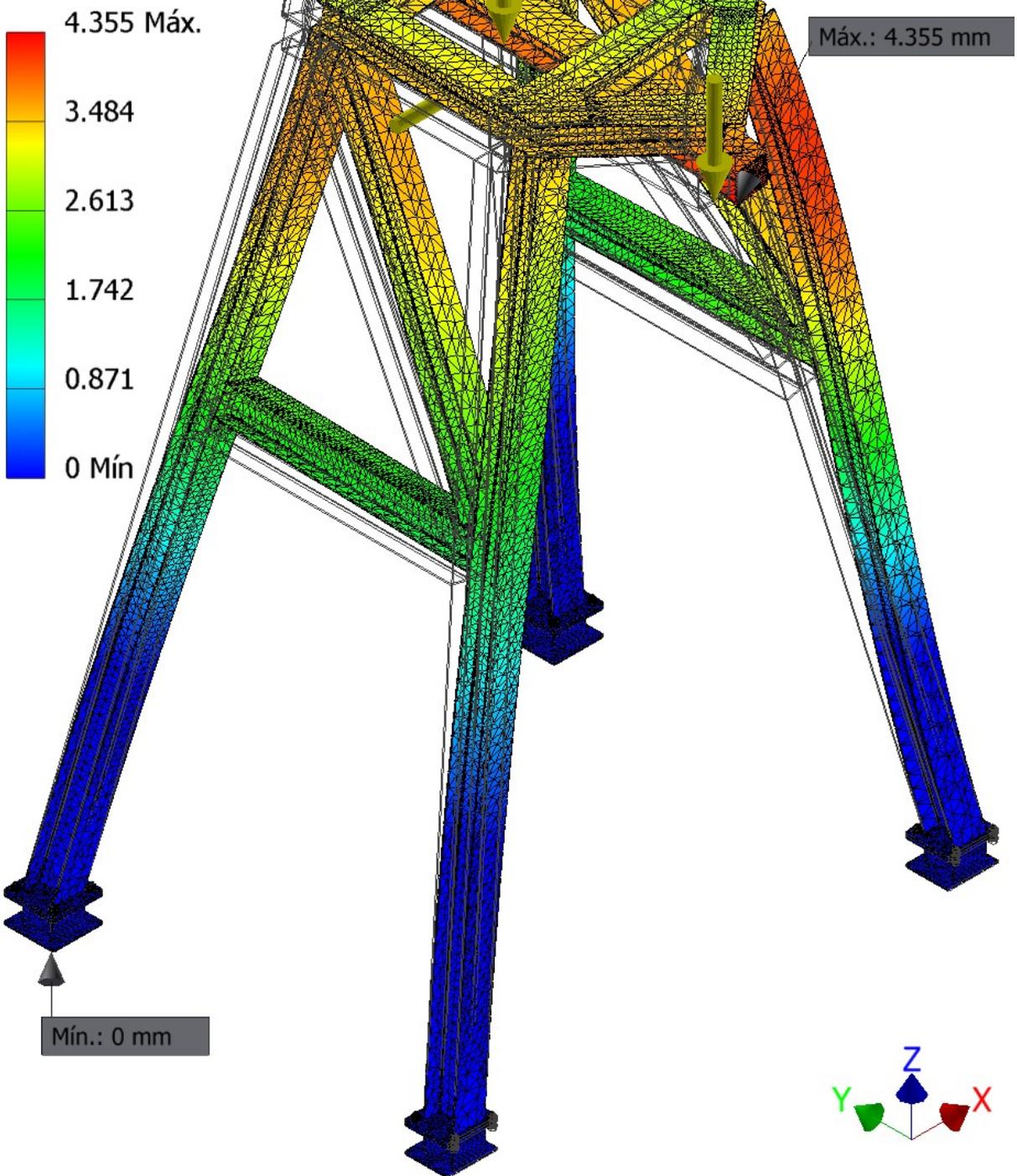
Tipo: Tensión de Von Mises

Unidad: MPa

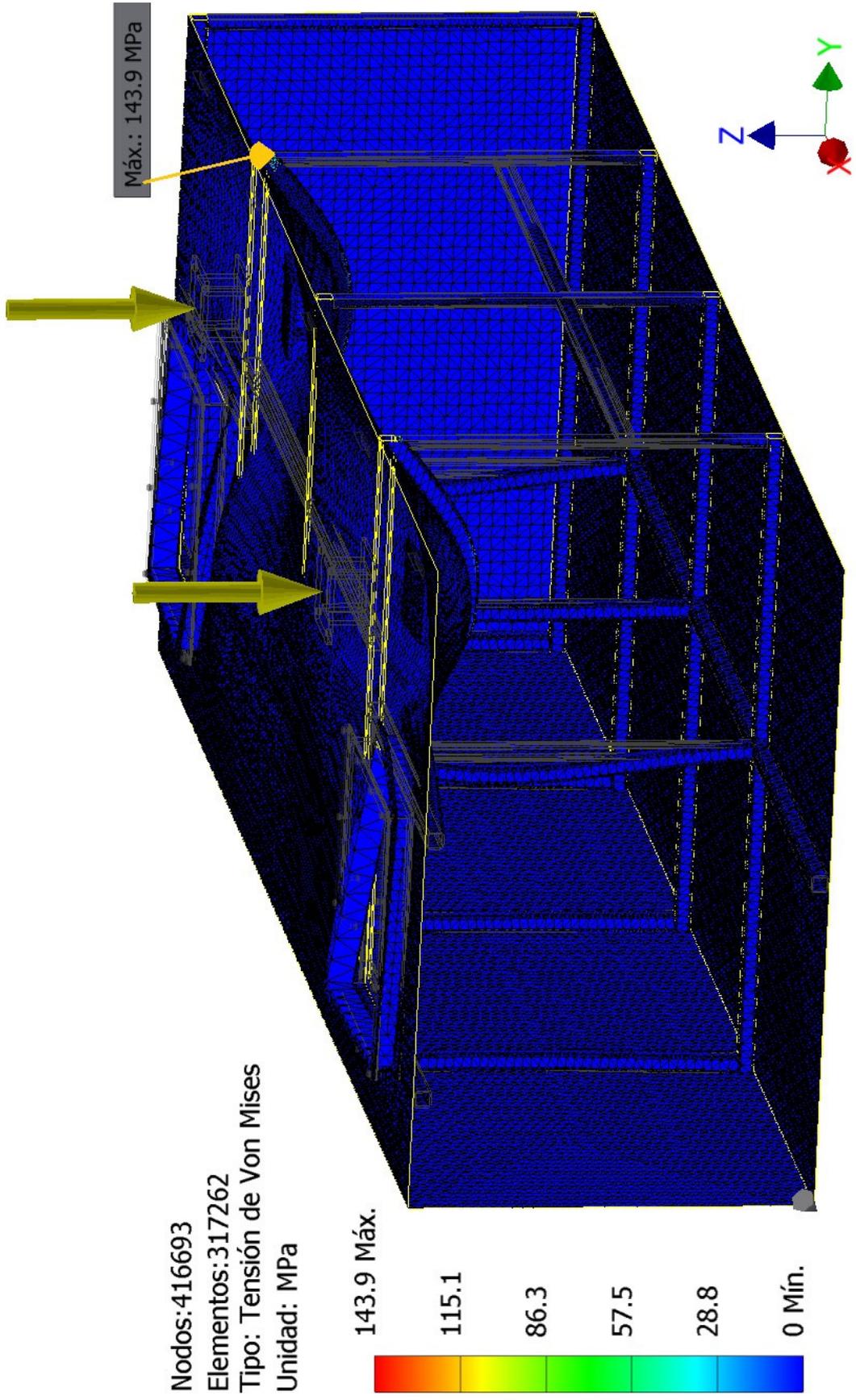


# Pórtico monorriel: desplazamiento

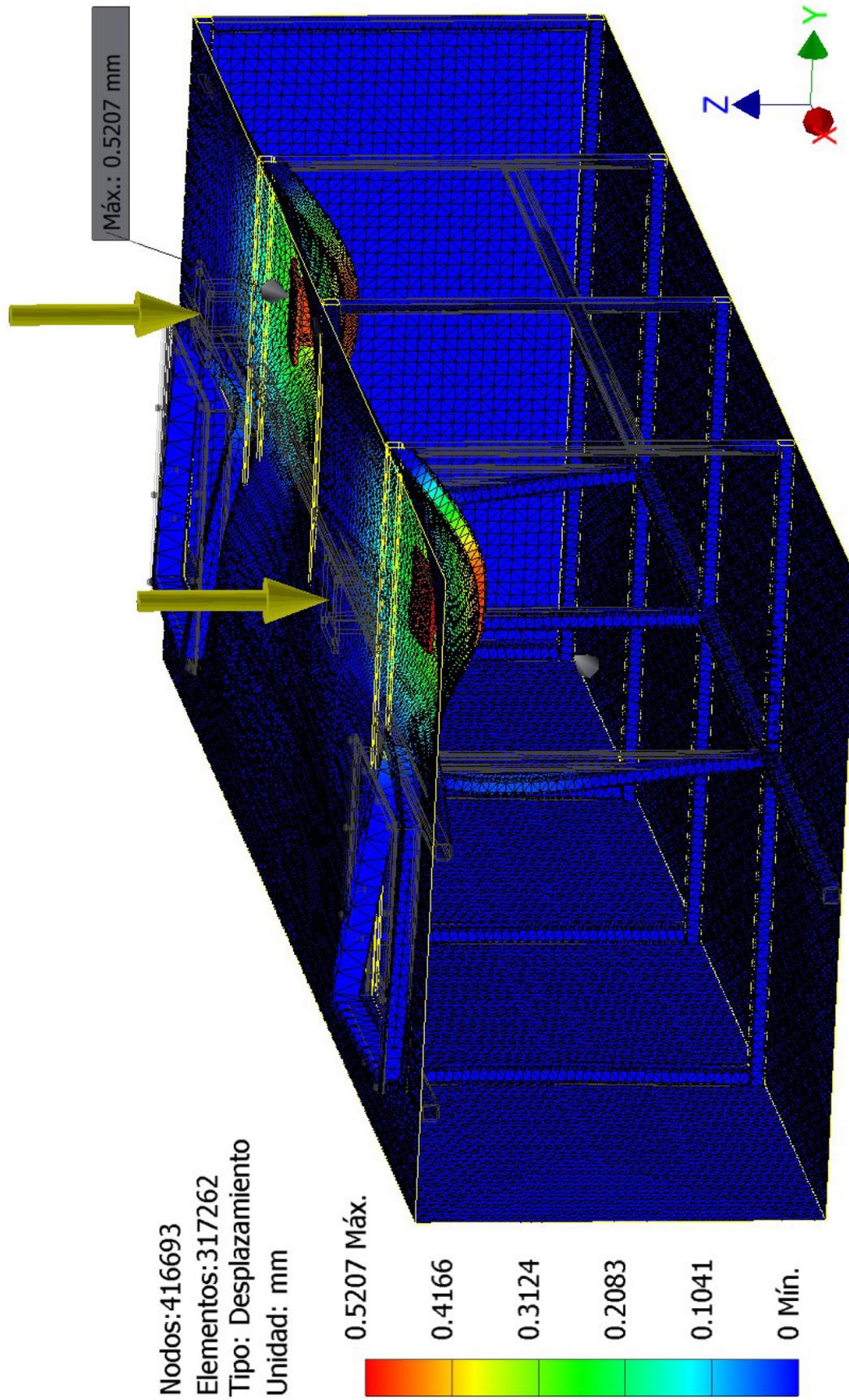
Nodos: 645176  
Elementos: 350726  
Tipo: Desplazamiento  
Unidad: mm



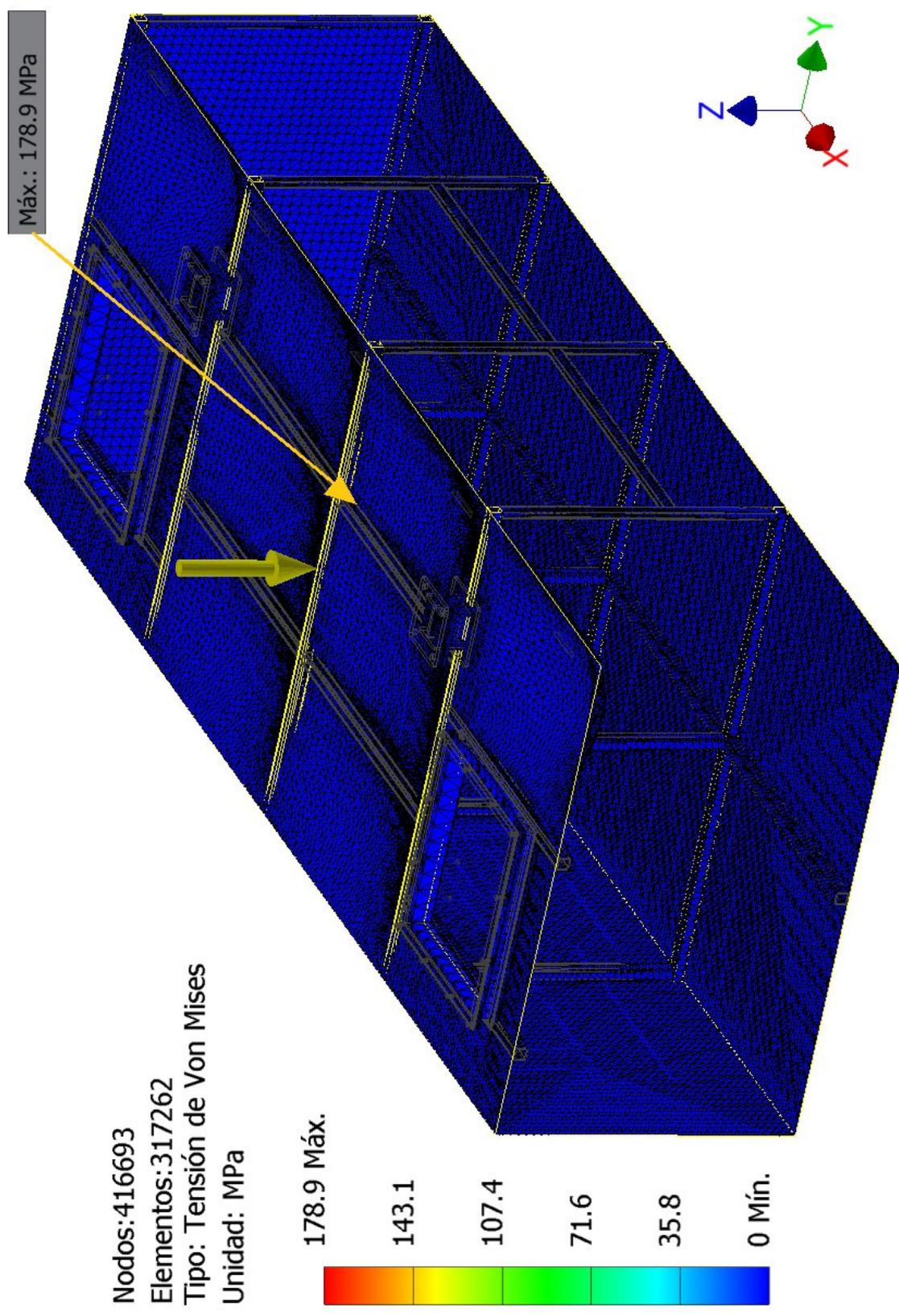
# Flotador – Caso 1: tensión



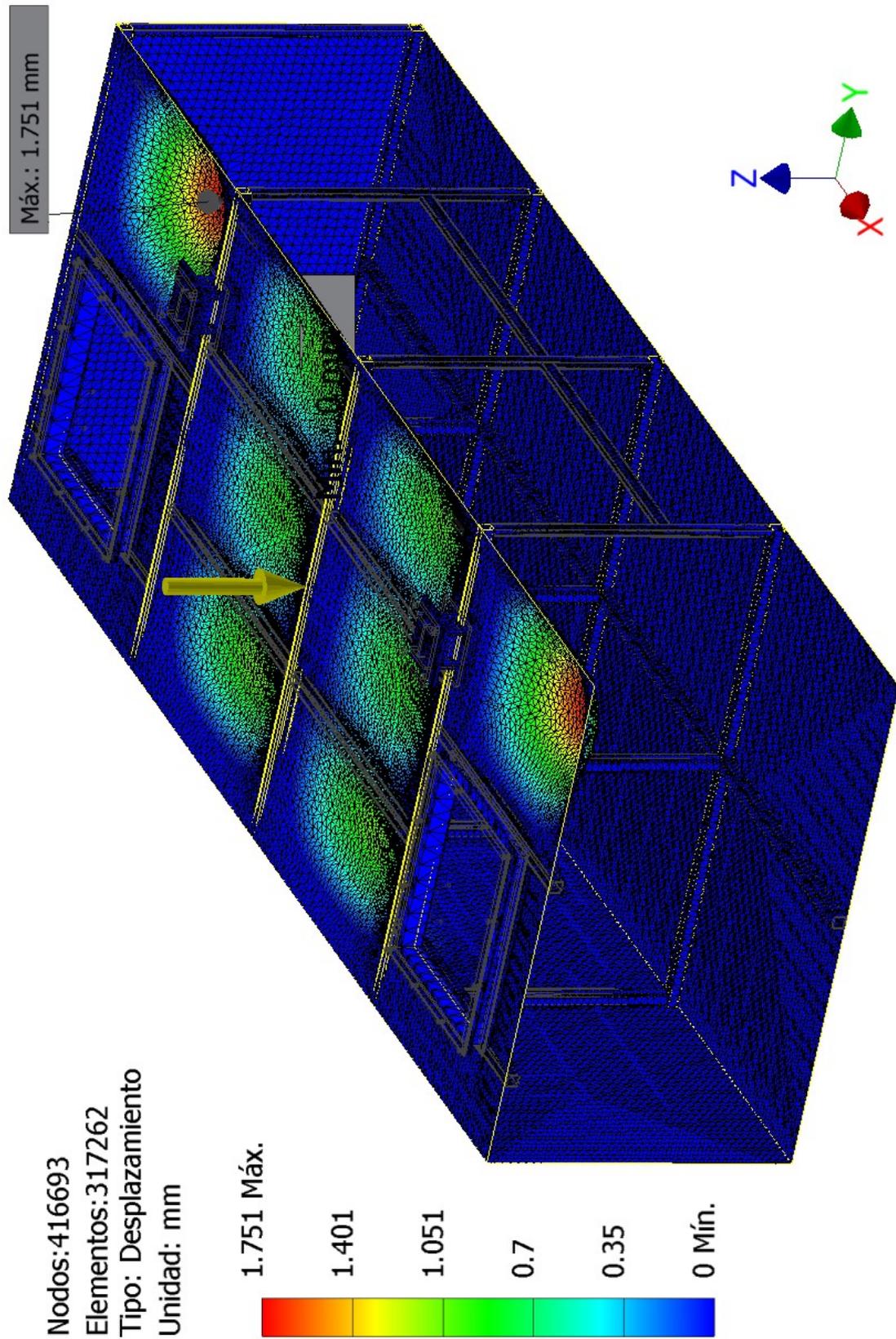
# Flotador – Caso 1: desplazamiento



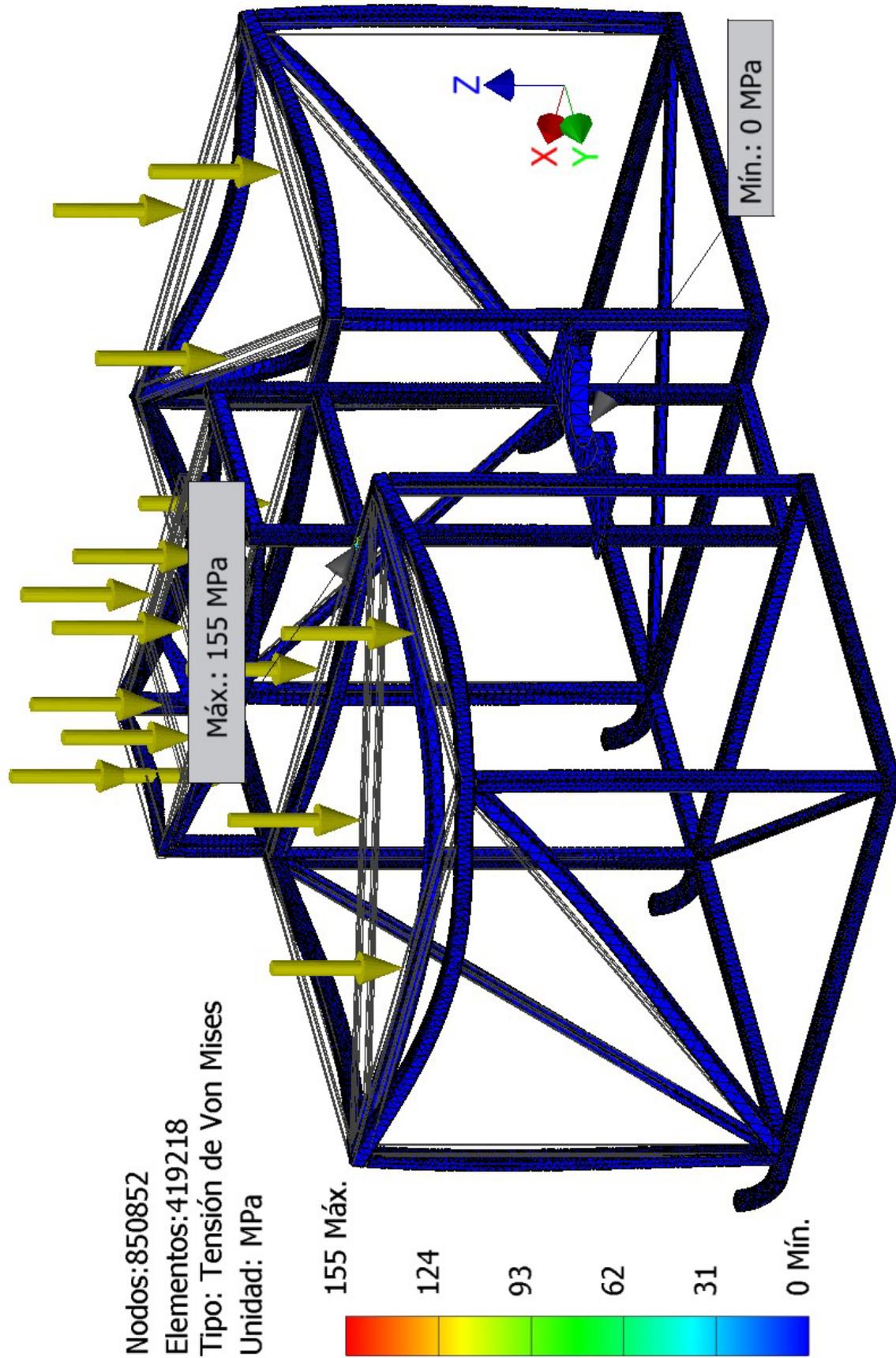
# Flotador – Caso 2: tensión



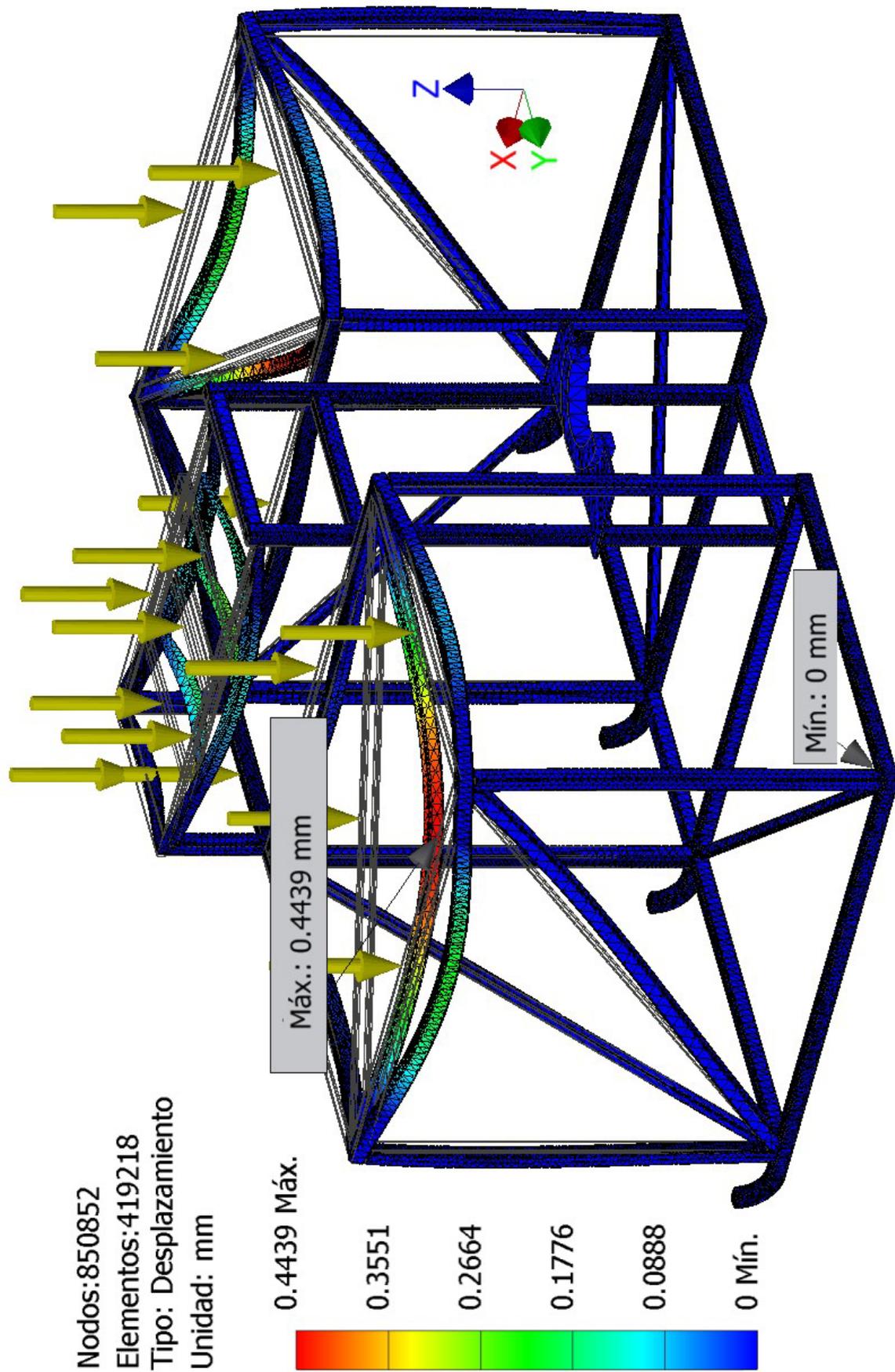
## Flotador – Caso 2: desplazamiento



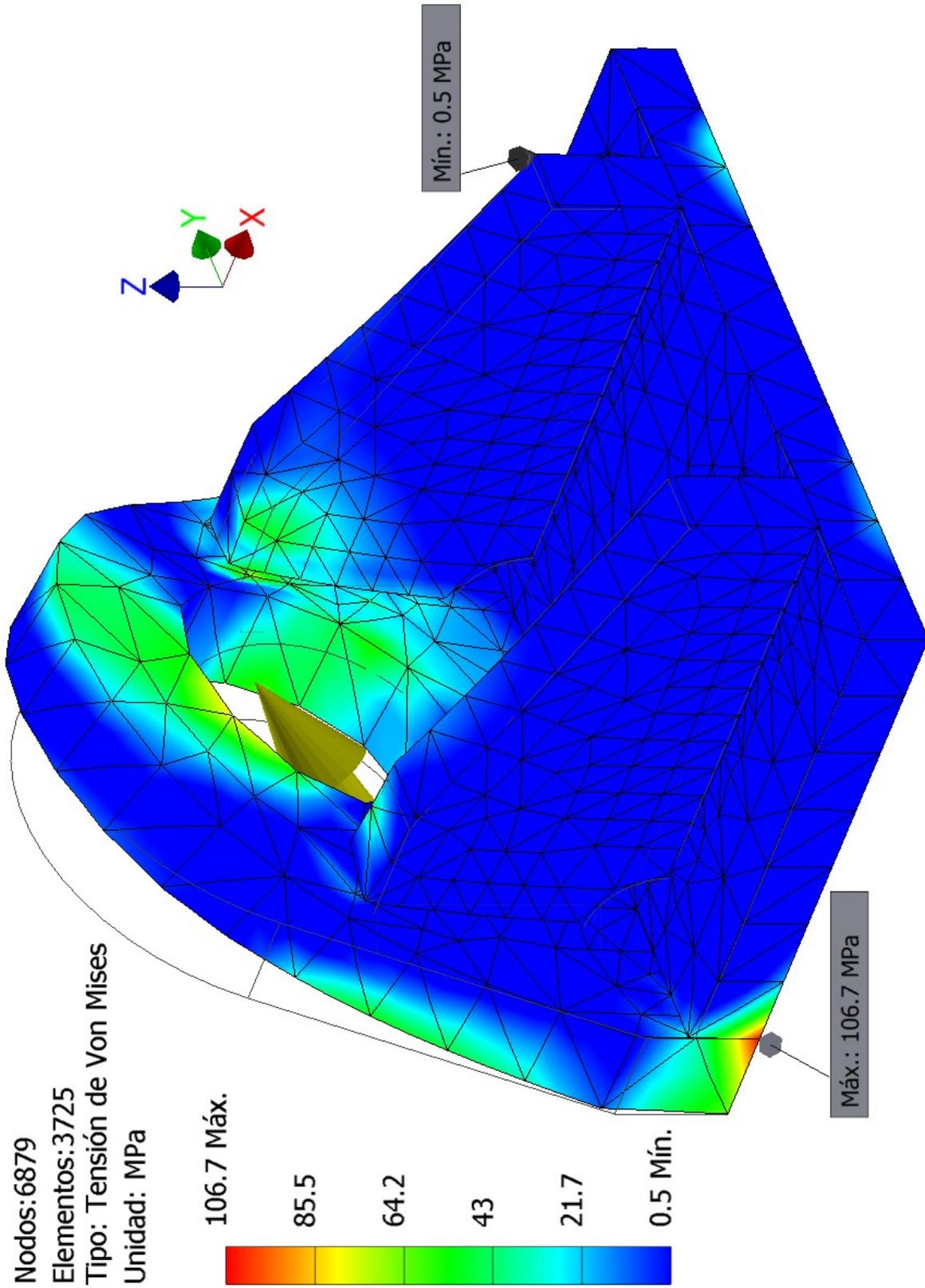
Patín: tensión



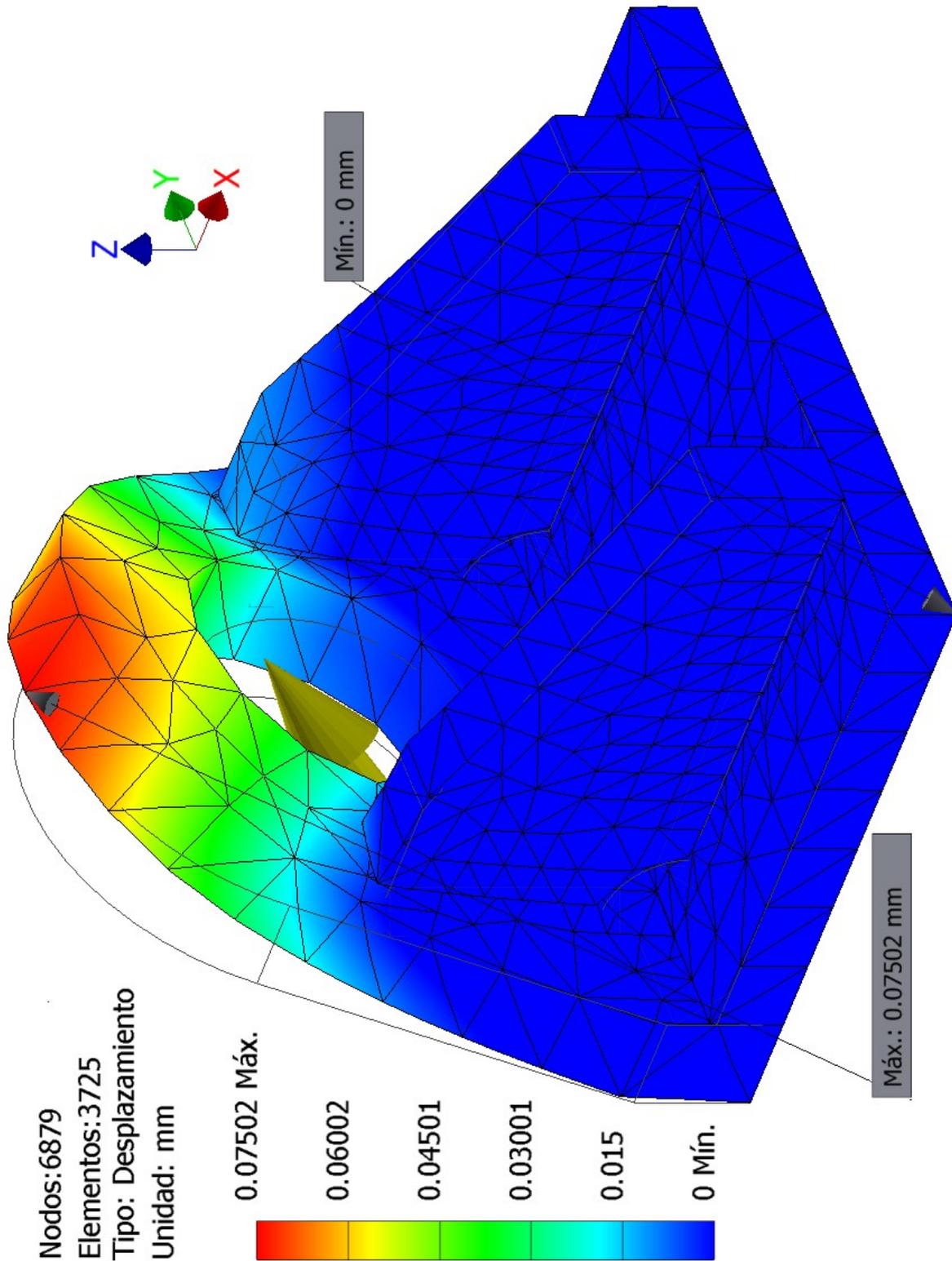
Patín: desplazamiento



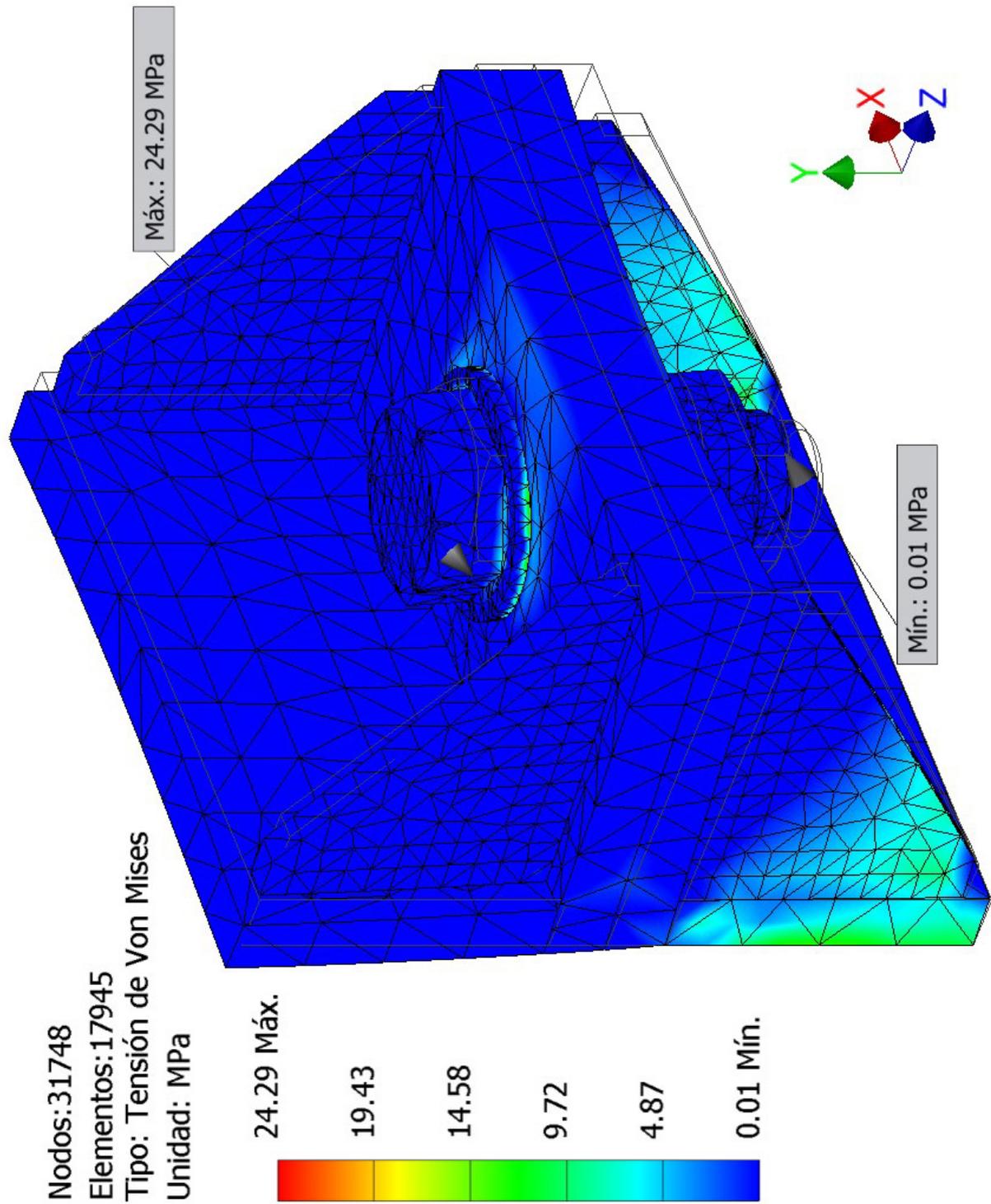
# Asa de izaje: tensión



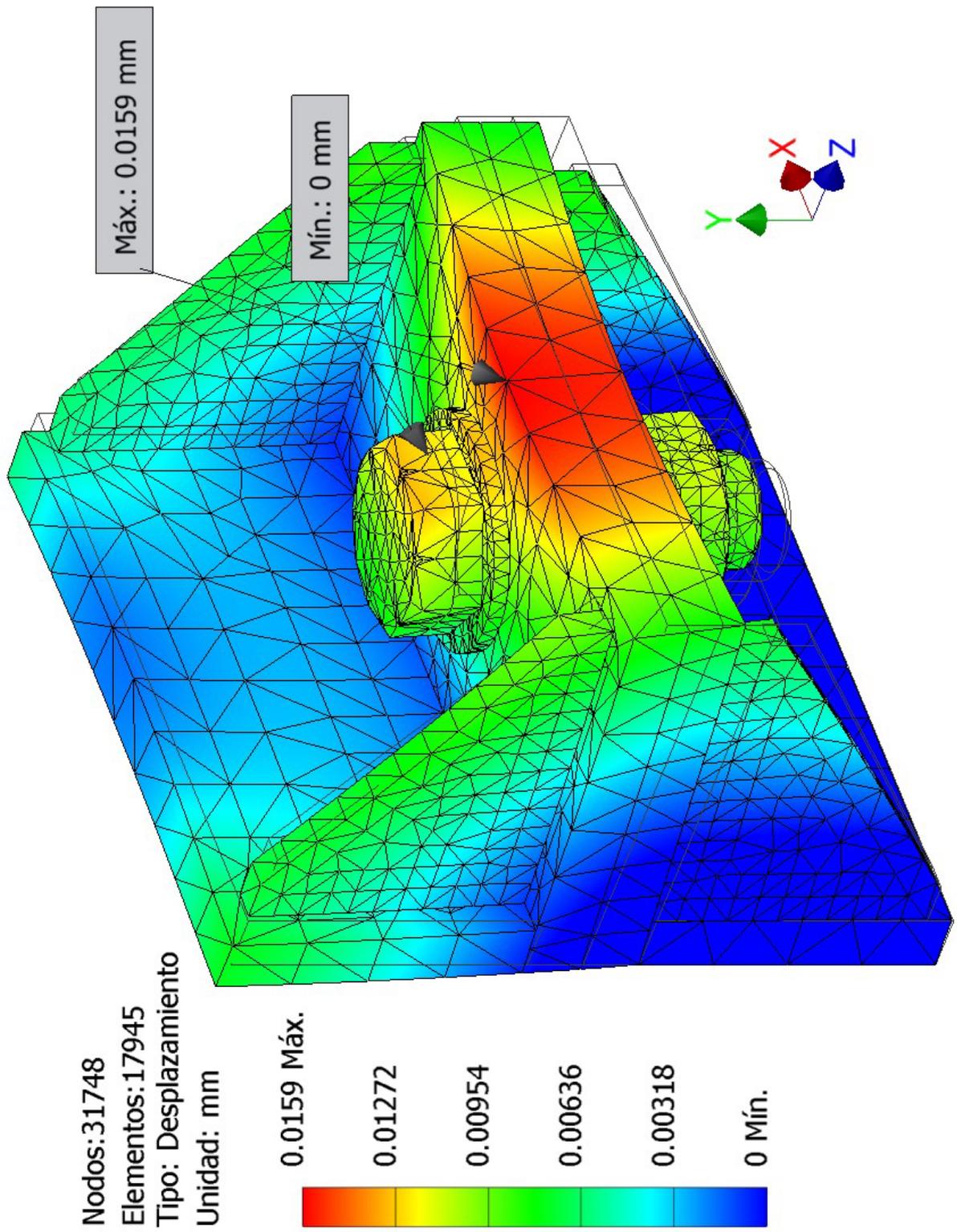
### Asa de izaje: desplazamiento



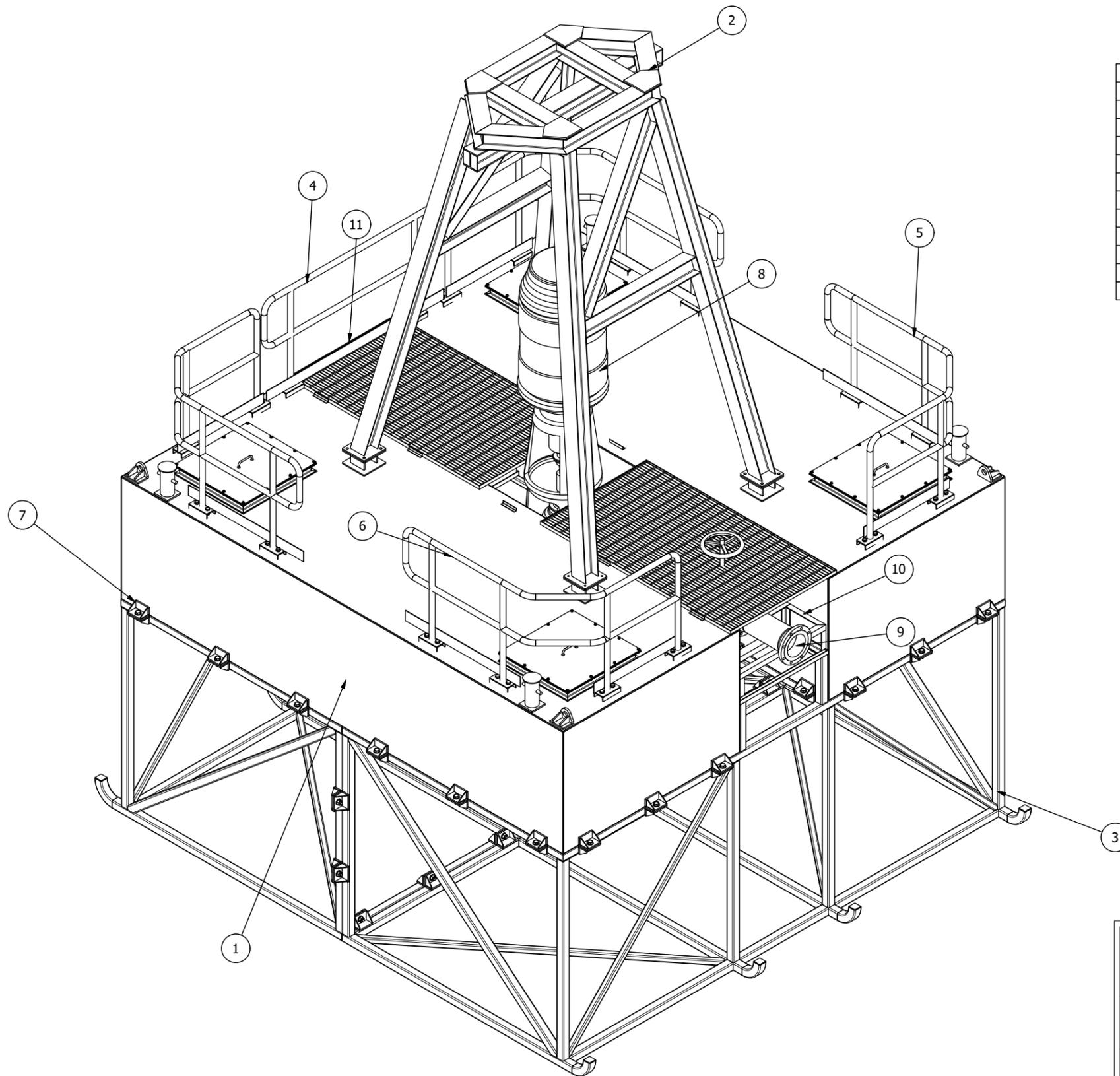
### Conexiones: tensión



### Conexiones: desplazamiento



### **7.3. Anexo 3: Planos del diseño**



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	FLOTADOR	PLANO 04
2	1	MONORRIEL	PLANO 05
3	2	PATIN	PLANO 03
4	1	Baranda tipo 1	PLANO 06
5	2	Baranda tipo 2	PLANO 06
6	2	Baranda tipo 3	PLANO 06
7	52	Conjunto de sujeción	PLANO 02
8	1	Bomba turbina vertical	
9	1	Tubería de descarga	
10	1	Soporte de tubería	PLANO 07
11	1	Contrapeso de concreto	PLANO 02

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

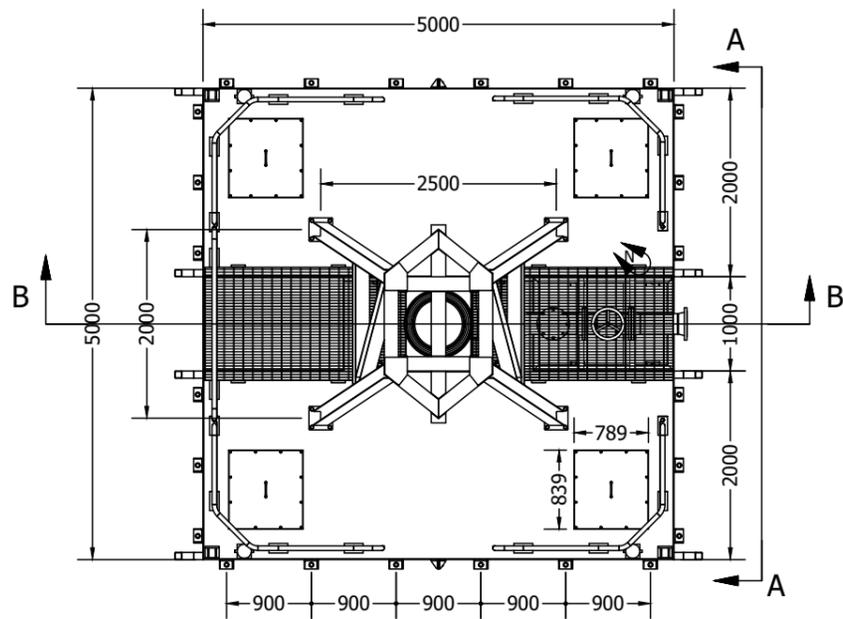
ACERO ESTRUCTURAL:

- PERFILES LAMINADOS Y PLANCHAS ASTM A36, Gr36:  $f_y=2530\text{kg/cm}^2$
- PERFILES FORMADOS EN FRÍO ASTM A36, Gr36:  $f_y=2530\text{kg/cm}^2$

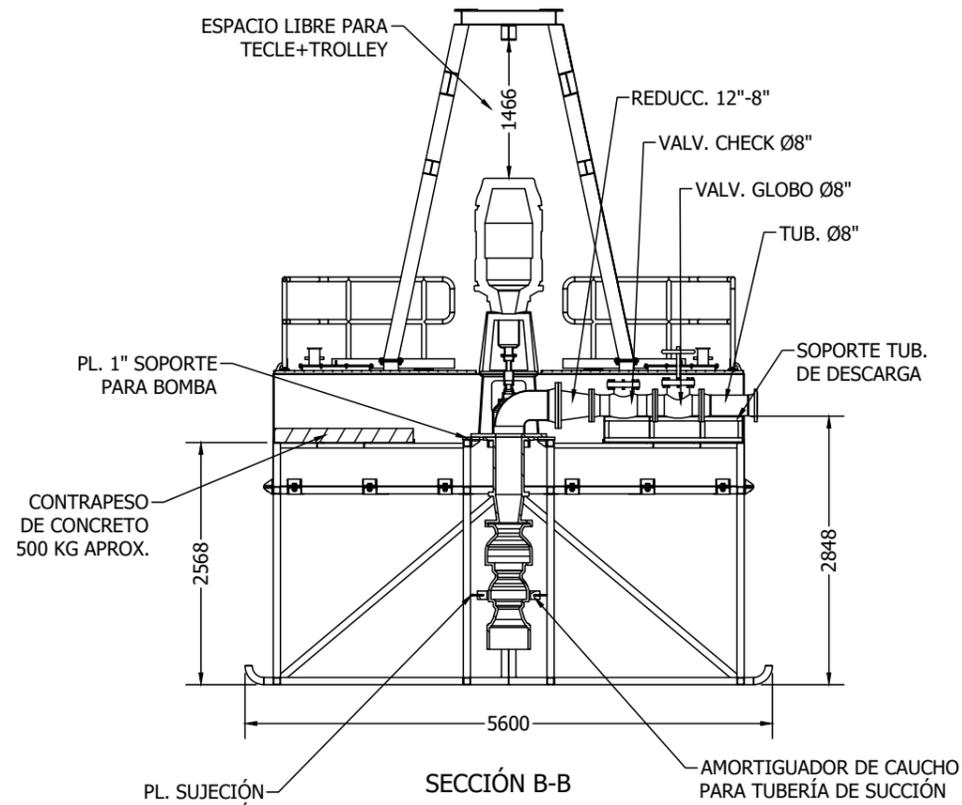
CONEXIONES:

- PERNOS DE ALTA RESISTENCIA ASTM-325  $f_u=8400\text{kg/cm}^2$

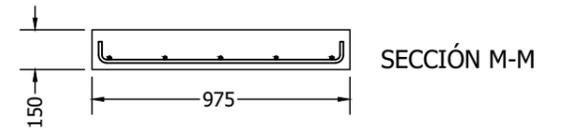
		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>			
TÍTULO TESIS: "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UNA PLATAFORMA FLOTANTE PARA BOMBA DE TURBINA VERTICAL"					
<b>PLANO:</b> <b>PLATAFORMA FLOTANTE 5X5</b>		DEPARTAMENTO: CAJAMARCA PROVINCIA: CAJAMARCA DISTRITO: CAJAMARA		<b>ESCALA:</b> S/E	
<b>ESCUELA ACADÉMICA:</b> <b>INGENIERÍA CIVIL</b>			<b>FECHA:</b> <b>OCTUBRE 2023</b>		<b>PLANO N°:</b> <b>01</b>
<b>RESPONSABLE:</b> Bach. Johan Arturo García Ferrel			<b>ASESOR:</b> M. Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez		



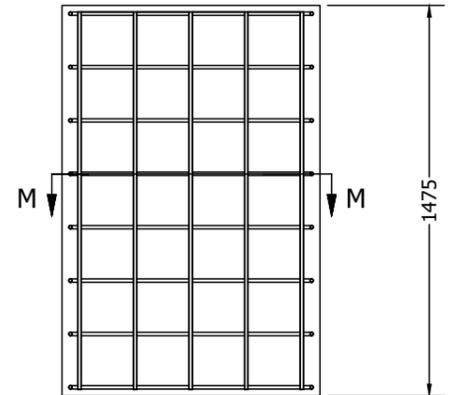
PLANTA  
ESCALA 1/75



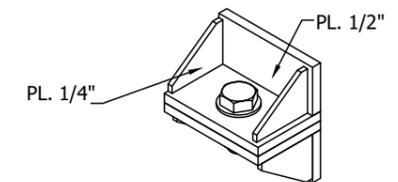
SECCIÓN B-B  
ESCALA 1/75



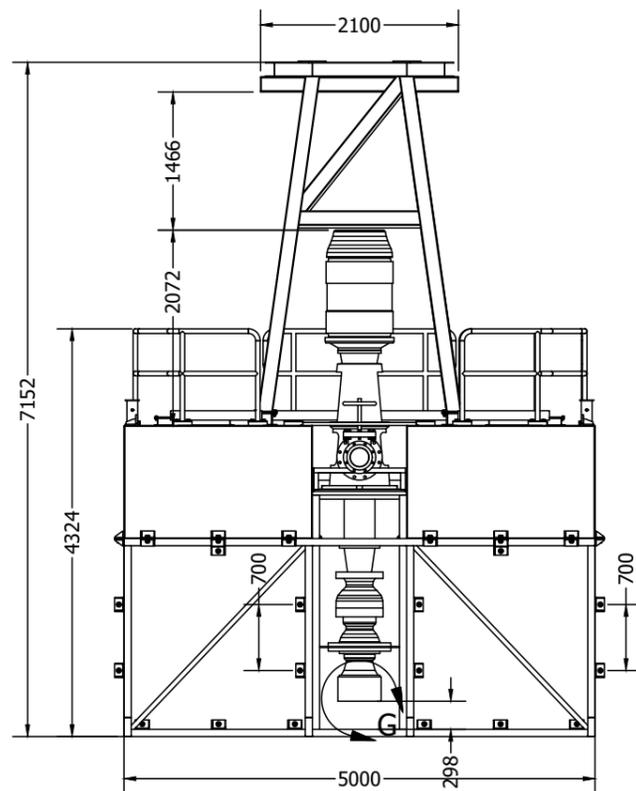
Ø 1/2" @ 0.20 m  
f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>



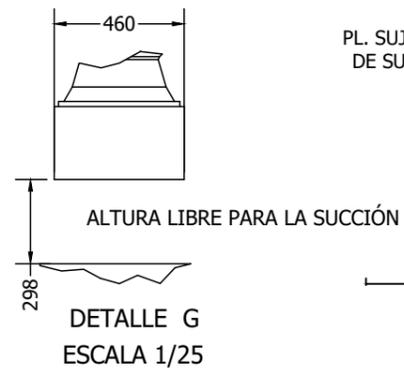
CONTRAPESO DE CONCRETO  
ESCALA S/E



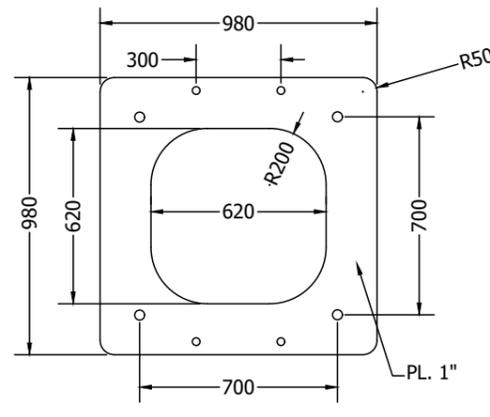
CONJUNTO DE SUJECCIÓN  
ESCALA S/E



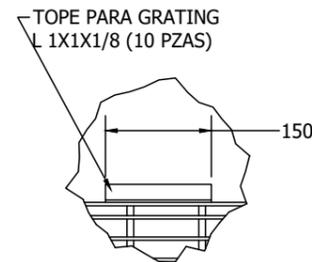
VISTA A-A  
ESCALA 1/75



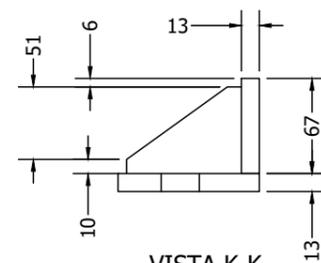
DETALLE G  
ESCALA 1/25



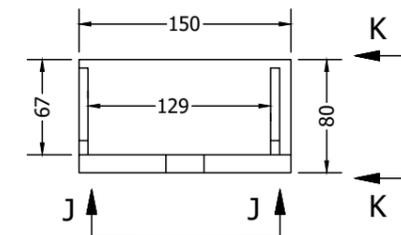
BASE BOMBA TURBINA  
ESCALA 1/25



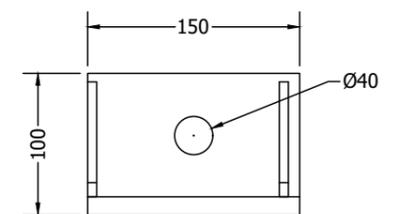
DETALLE N  
ESCALA 1/10



VISTA K-K  
ESCALA 1/5

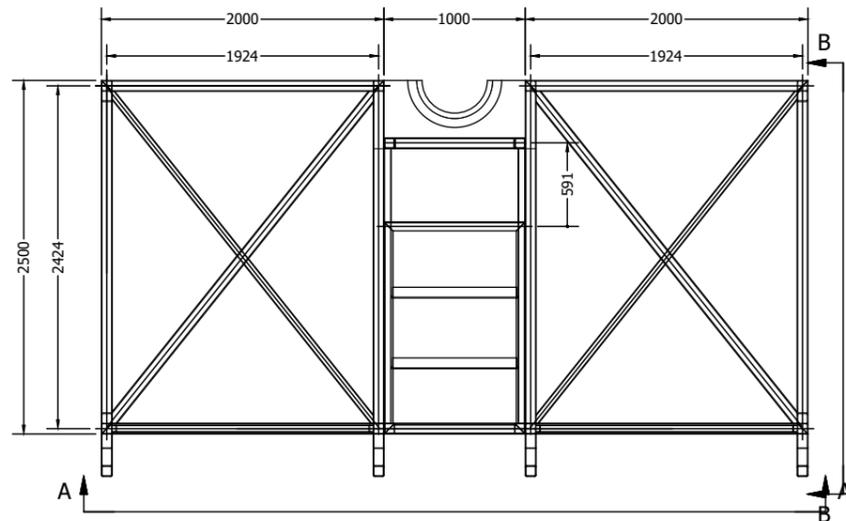


Plancha de sujeción  
ESCALA 1/5

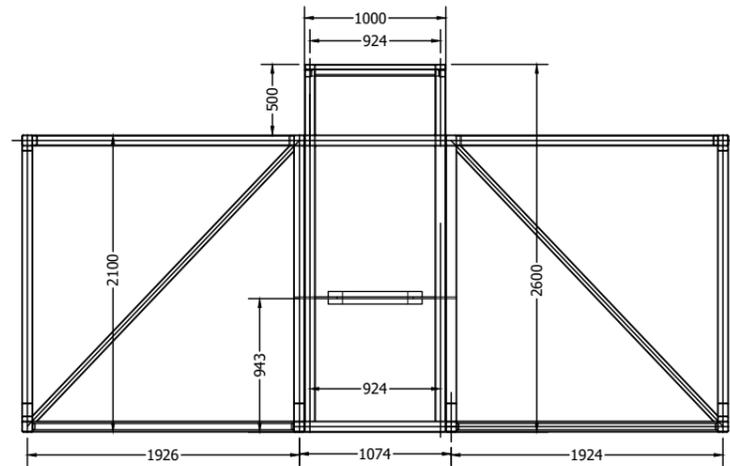


VISTA J-J  
ESCALA 1/5

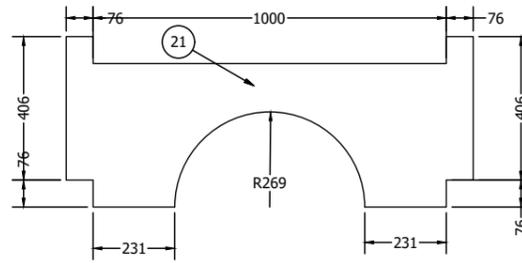
 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b> 	
TÍTULO TESIS: "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UNA PLATAFORMA FLOTANTE PARA BOMBA DE TURBINA VERTICAL"	
PLANO: <b>SECCIONES Y DETALLES</b>	DEPARTAMENTO: CAJAMARCA PROVINCIA: CAJAMARCA DISTRITO: CAJAMARCA
ESCUELA ACADÉMICA: <b>INGENIERÍA CIVIL</b>	FECHA: <b>OCTUBRE 2023</b>
RESPONSABLE: Bach. Johan Arturo García Ferrel	ASESOR: M. Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez
ESCALA: <b>INDICADA</b> PLANO N°: <b>02</b>	



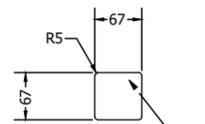
PLANTA  
ESCALA 1/50



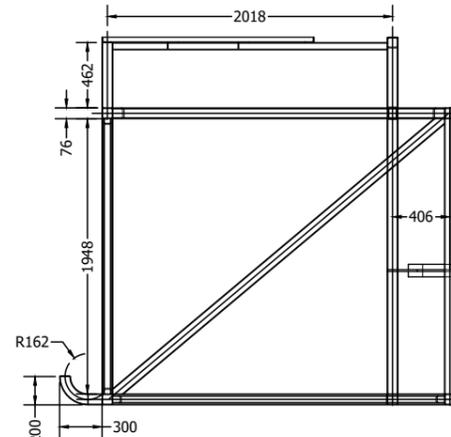
VISTA A-A  
ESCALA 1/50



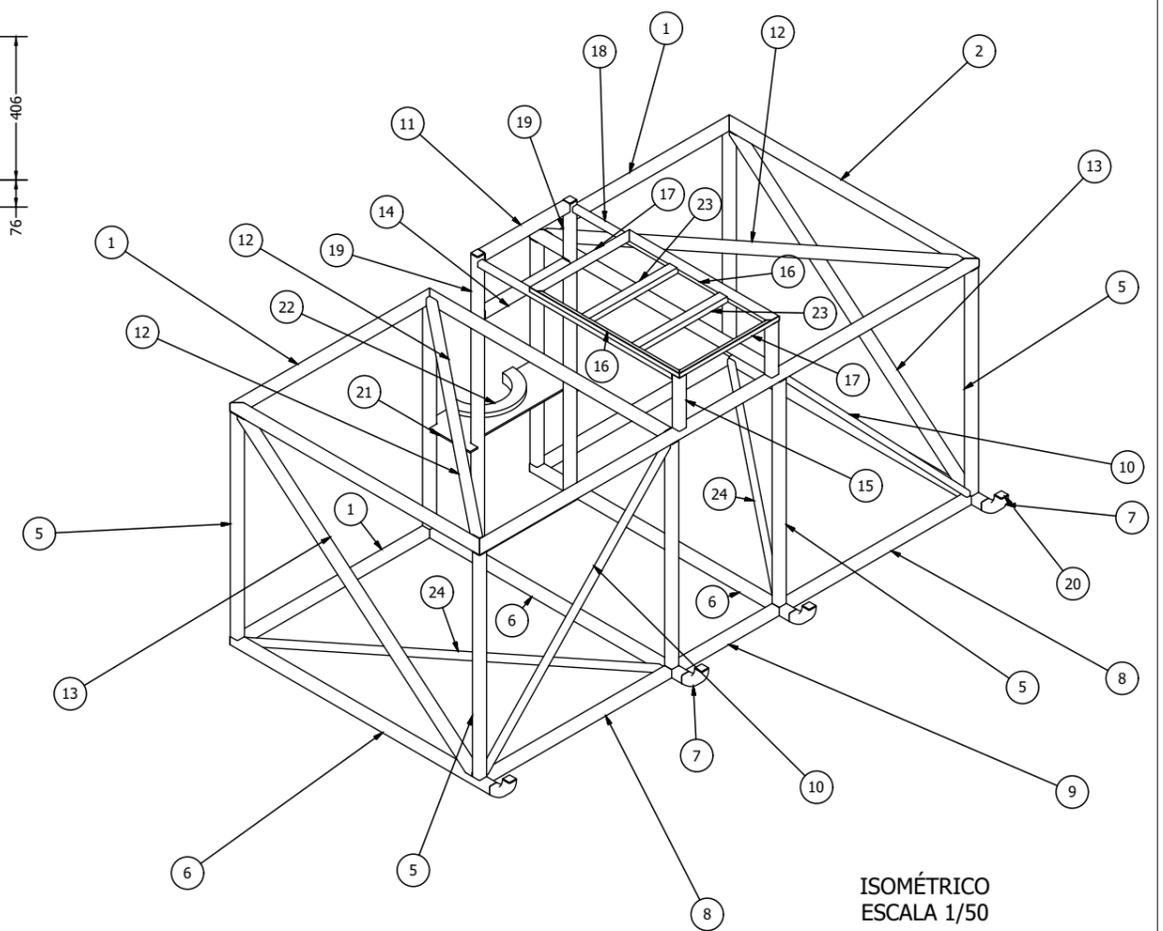
PLANCHA PARA SUCCION  
ESCALA 1/20



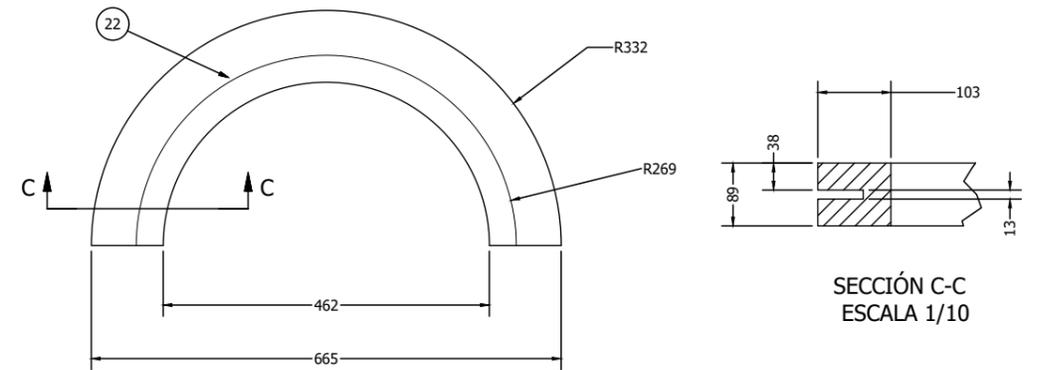
TAPA 3x3  
ESCALA 1/10



VISTA B-B  
ESCALA 1/50



ISOMÉTRICO  
ESCALA 1/50

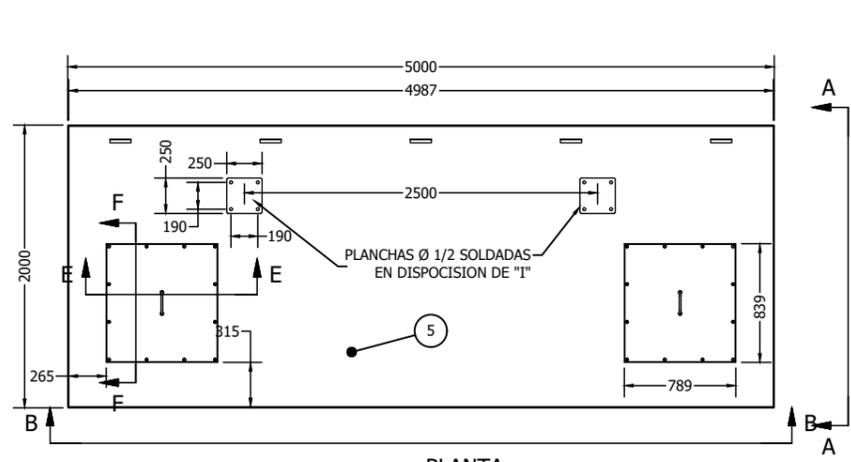


SECCIÓN C-C  
ESCALA 1/10

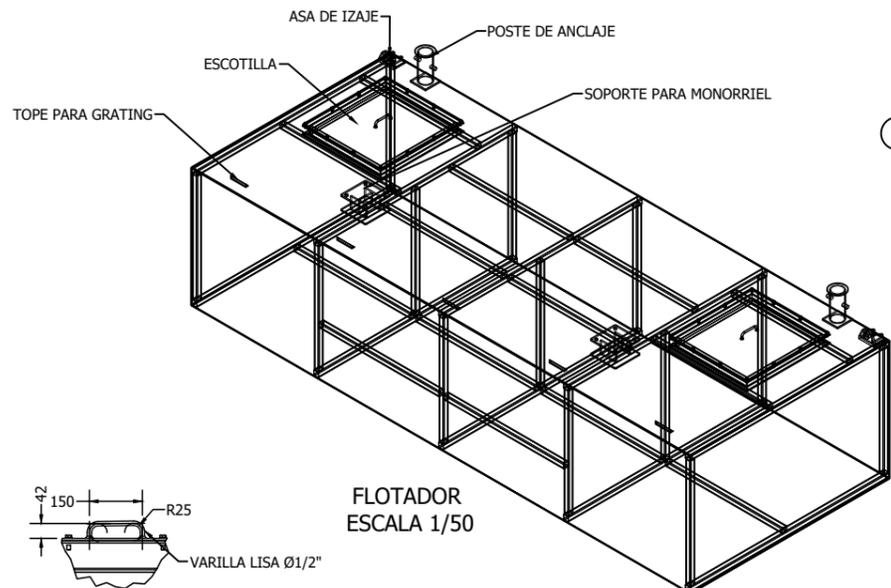
LISTA DE PIEZAS							
ELEMENTO	CTDAD ELEMENTOS	CTDAD BASE	CTDAD	Nº DE PIEZA	MASA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
1	4	2000 mm	8000 mm	AISC - 3 x 3 x 3/16 - 78.74	19.67 kg	Tubo	Acero ASTM A36
2	2	2500 mm	5000 mm	AISC - 3 x 3 x 3/16 - 98.425	24.78 kg	Tubo	Acero ASTM A36
3	2	2424 mm	4848 mm	AISC - 3 x 3 x 3/16 - 95.425	24.39 kg	Tubo	Acero ASTM A36
4	1	5000 mm	5000 mm	AISC - 3 x 3 x 3/16 - 196.85	50.34 kg	Tubo	Acero ASTM A36
5	8	1948 mm	15581 mm	AISC - 3 x 3 x 3/16 - 76.677	19.91 kg	Tubo	Acero ASTM A36
6	4	2600 mm	10400 mm	AISC - 3 x 3 x 3/16 - 102.362	26.19 kg	Tubo	Acero ASTM A36
7	4	254 mm	1017 mm	AISC - 3 x 3 x 3/16 - 10.012	2.60 kg	Tubo	Acero ASTM A36
8	2	1848 mm	3695 mm	AISC - 3 x 3 x 3/16 - 72.74	18.89 kg	Tubo	Acero ASTM A36
9	2	1000 mm	2000 mm	AISC - 3 x 3 x 3/16 - 39.37	10.22 kg	Tubo	Acero ASTM A36
10	2	2732 mm	5465 mm	AISC - 2 x 2 x 3/16 - 107.573	17.03 kg	Tubo	Acero ASTM A36
11	1	848 mm	848 mm	AISC - 3 x 3 x 1/4 - 33.37	11.11 kg	Tubo	Acero ASTM A36
12	2	3053 mm	6106 mm	AISC - 3 x 3 x 1/4 - 120.191	38.38 kg	Tubo	Acero ASTM A36
13	2	3124 mm	6249 mm	AISC - 3 x 3 x 3/16 - 123.005	30.59 kg	Tubo	Acero ASTM A36
14	1	848 mm	848 mm	AISC - 3 x 3 x 3/16 - 33.37	8.67 kg	Tubo	Acero ASTM A36
15	2	462 mm	924 mm	AISC - 3 x 3 x 3/16 - 18.185	4.72 kg	Tubo	Acero ASTM A36
16	2	1500 mm	3000 mm	AISC - L 2.5 x 1.5 x 1/4 - 59.055	6.97 kg	Sección angular de acero	Acero ASTM A36
17	2	1000 mm	2000 mm	AISC - L 2.5 x 1.5 x 1/4 - 39.37	4.57 kg	Sección angular de acero	Acero ASTM A36
18	2	1942 mm	3883 mm	AISC - 2 x 2 x 3/16 - 76.441	12.48 kg	Tubo	Acero ASTM A36
19	2	2519 mm	5038 mm	AISC - 3 x 3 x 1/4 - 99.175	33.03 kg	Tubo	Acero ASTM A36
20	6			tapa 3x3	.17 kg	PL. 3/16"	Acero ASTM A36
21	1			pl. para succion	35.31 kg	PL. 1/2"	Acero ASTM A36
22	1			amortiguador de caucho	6.73 kg	Perfil extruido de caucho	Caucho, negro
23	2	898 mm	1797 mm	AISC - L 3 x 2 x 1/4 - 35.37	5.35 kg	Sección angular de acero	Acero ASTM A36
24	2	3047 mm	6094 mm	AISC - 2 x 2 x 3/16 - 119.962	18.92 kg	Tubo	Acero ASTM A36

- NOTAS:
- MATERIALES DE PERFILES Y PLANCHA : ASTM A36
  - MATERIAL DE AMORTIGUADOR : CAUCHO
  - LOS MATERIALES ESTAN DADOS PARA UN ENSAMBLAJE (CONSIDERAR EL DOBLE)
  - LOS PESOS CONSIDERADOS SON UNITARIOS (POR ELEMENTO)

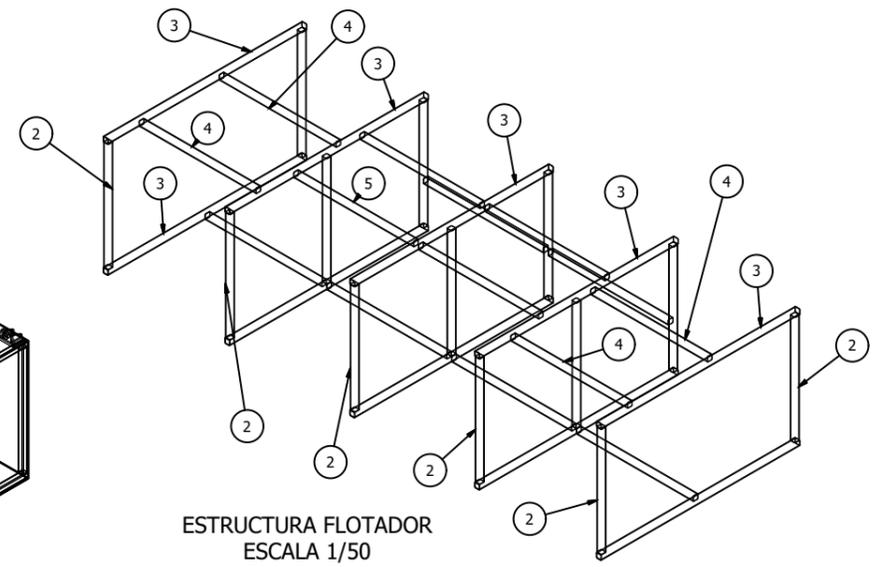
 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>		
TÍTULO TESIS: "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UNA PLATAFORMA FLOTANTE PARA BOMBA DE TURBINA VERTICAL"		
PLANO: <b>PATÍN</b>	DEPARTAMENTO: CAJAMARCA PROVINCIA: CAJAMARCA DISTRITO: CAJAMARCA	ESCALA: INDICADA
ESCUELA ACADÉMICA: <b>INGENIERÍA CIVIL</b>	FECHA: <b>OCTUBRE 2023</b>	PLANO N°: <b>03</b>
RESPONSABLE: Bach. Johan Arturo García Ferrel	ASESOR: M. Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez	



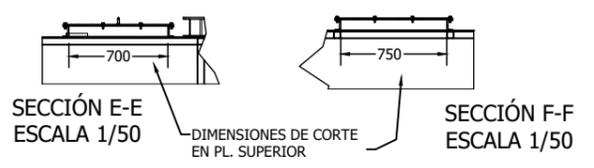
PLANTA ESCALA 1/50



FLOTADOR ESCALA 1/50

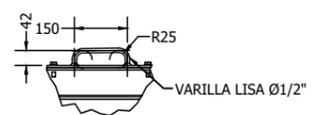


ESTRUCTURA FLOTADOR ESCALA 1/50

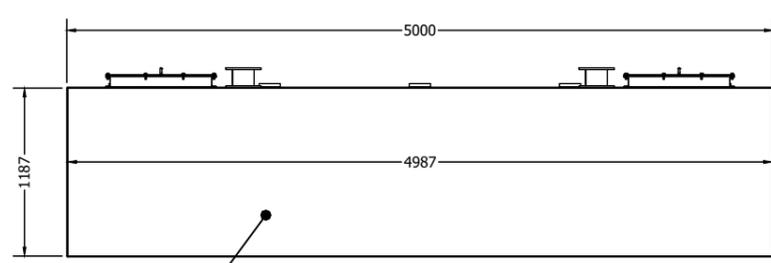


SECCIÓN E-E ESCALA 1/50

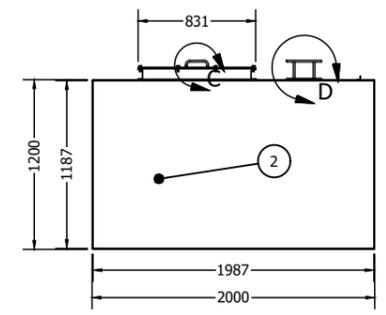
SECCIÓN F-F ESCALA 1/50



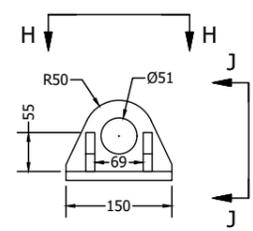
DETALLE C ESCALA 1/20



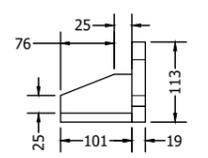
VISTA B-B ESCALA 1/50



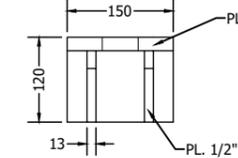
VISTA A-A ESCALA 1/50



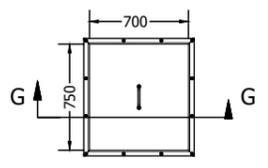
ASA DE IZAJE ESCALA 1/10



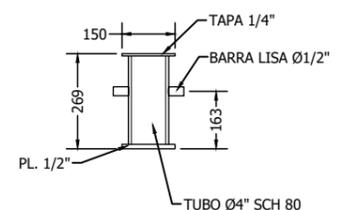
VISTA J-J ESCALA 1/10



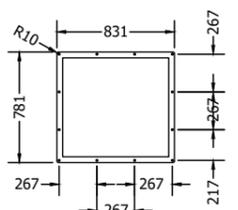
VISTA H-H ESCALA 1/10



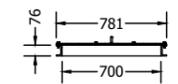
ESCOTILLA ESCALA 1/50



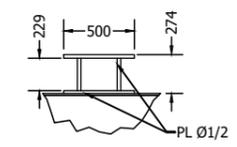
POSTE DE ANCLAJE ESCALA 1/20



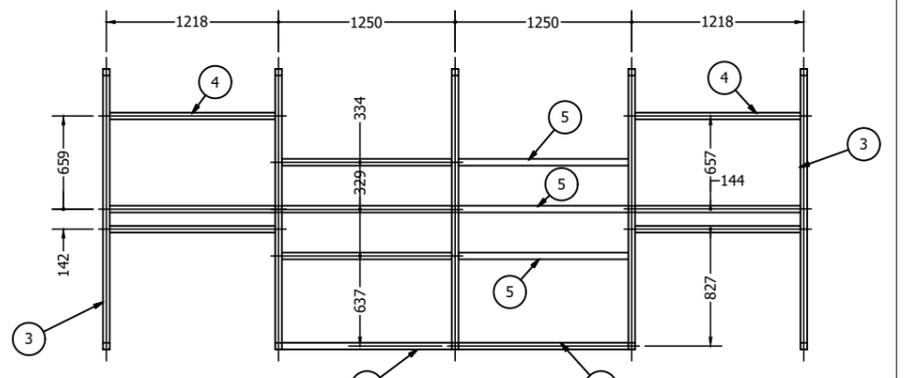
SELLO DE CAUCHO ESCALA 1/50



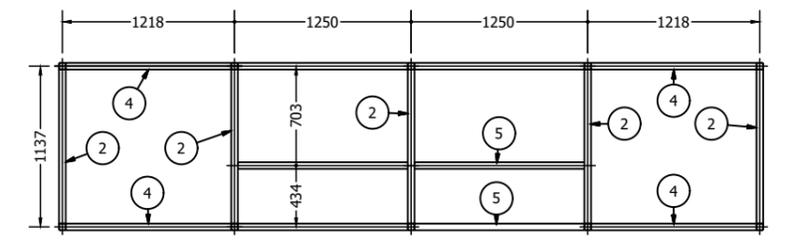
SECCIÓN G-G ESCALA 1/50



DETALLE D ESCALA 1/20



ESTRUCTURA FLOTADOR-PLANTA ESCALA 1/50



ESTRUCTURA FLOTADOR-LATERAL ESCALA 1/50

- NOTAS:
- MATERIALES DE PERFILES Y PLANCHA : ASTM A36
  - MATERIAL DE SELLO : CAUCHO
  - LOS MATERIALES ESTAN DADOS PARA UN ENSAMBLAJE (CONSIDERAR EL DOBLE)
  - LOS PESOS CONSIDERADOS SON UNITARIOS (POR ELEMENTO)

LISTA DE PIEZAS				LISTA DE PIEZAS							
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	ELEMENTO	CTDAD ELEMENTOS	CTAD BASE	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	MASA	MATERIAL
1	1	ESCOTILLA		1	1	1 mm	1 mm	ESTRUCTURA FLOTADOR			
2	1	marco escotilla	canal U 4x4.5	2	13	1086 mm	14114 mm	AISC - 2 x 2 x 3/16 - 42.744	Tubo	6.977 kg	Acero ASTM A36
3	12	AS 1110 - M10 x 35	Pernos y tornillos métricos ISO de precisión de cabeza hexagonal	3	10	1987 mm	19873 mm	AISC - 2 x 2 x 3/16 - 78.24	Tubo	12.770 kg	Acero ASTM A36
4	24	ANSI B18.22M - 10 N	Arandelas métricas planas	4	6	1167 mm	7005 mm	AISC - 2 x 2 x 3/16 - 45.963	Tubo	7.502 kg	Acero ASTM A36
5	1	asa escotilla	barra lisa 1/2"	5	8	1199 mm	9594 mm	AISC - 2 x 2 x 3/16 - 47.213	Tubo	7.706 kg	Acero ASTM A36
6	1	sello de caucho	e=1/4"								

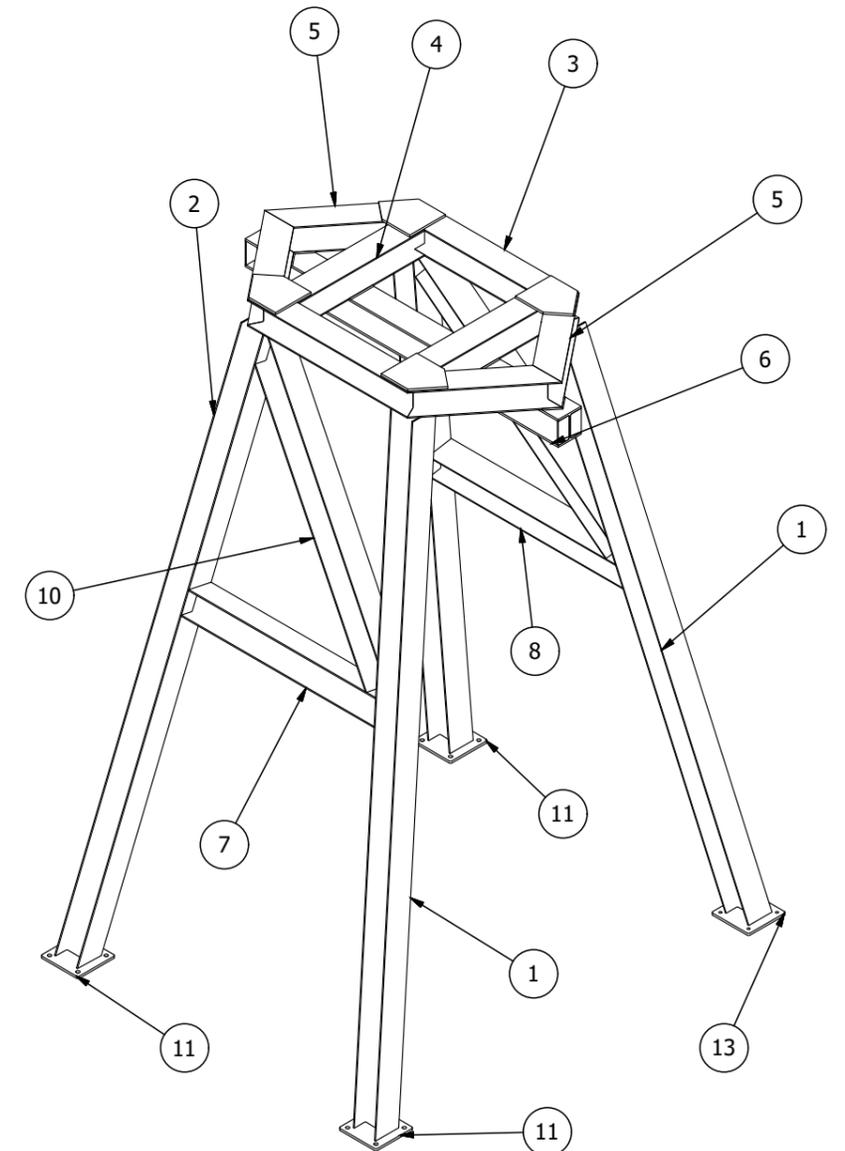
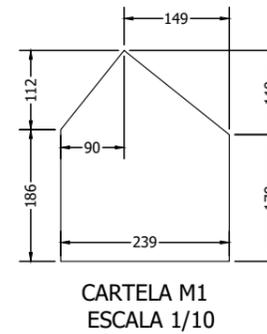
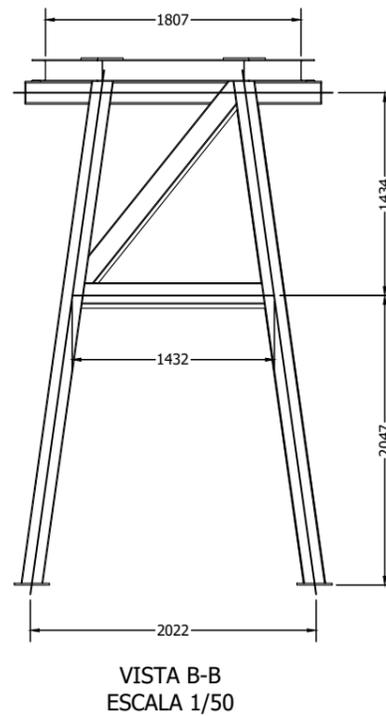
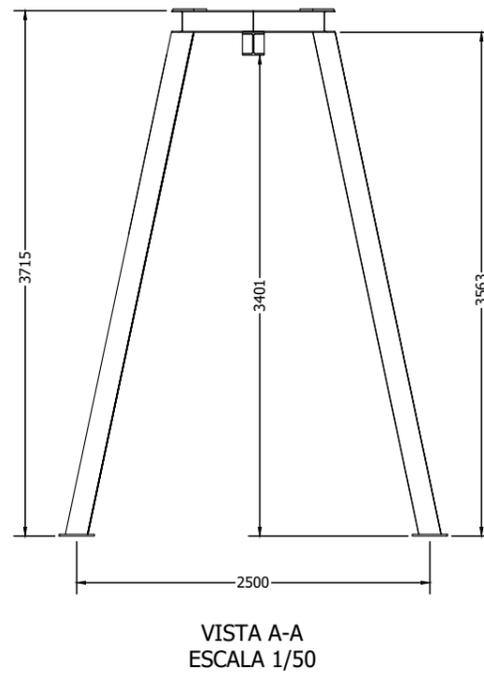
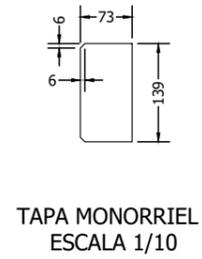
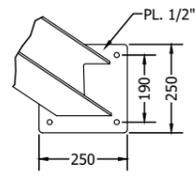
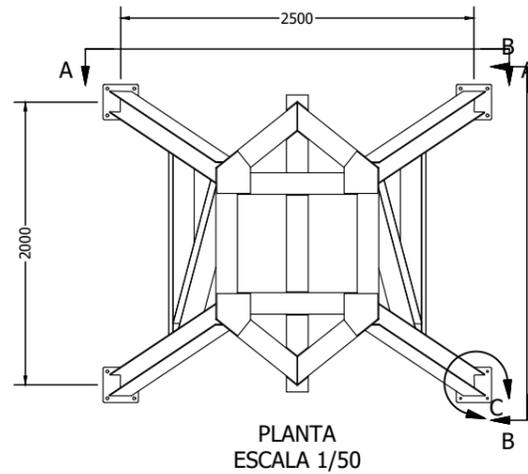


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



TÍTULO TESIS: "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UNA PLATAFORMA FLOTANTE PARA BOMBA DE TURBINA VERTICAL"

PLANO: <b>FLOTADOR</b>	DEPARTAMENTO: CAJAMARCA PROVINCIA: CAJAMARCA DISTRITO: CAJAMARA	ESCALA: <b>INDICADA</b>
ESCUELA ACADÉMICA: <b>INGENIERÍA CIVIL</b>	FECHA: <b>OCTUBRE 2023</b>	PLANO N°: <b>04</b>
RESPONSABLE: <b>Bach. Johan Arturo García Ferrel</b>	ASESOR: <b>M. Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez</b>	



LISTA DE PIEZAS							
ELEMENTO	CTDAD ELEMENTOS	CTAD BASE	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	MASA	MATERIAL
1	3	3716 mm	11149 mm	AISC - W 6x15 - 146.314	Forma de W	82.110 kg	Acero ASTM A36
2	1	3716 mm	3716 mm	AISC - W 6x15 - 146.302	Forma de W	82.110 kg	Acero ASTM A36
3	2	1073 mm	2146 mm	AISC - W 6x15 - 42.249	Forma de W	22.418 kg	Acero ASTM A36
4	2	1000 mm	2000 mm	AISC - W 6x15 - 39.37	Forma de W	19.803 kg	Acero ASTM A36
5	4	738 mm	2951 mm	AISC - W 6x15 - 29.045	Forma de W	14.355 kg	Acero ASTM A36
6	1	2100 mm	2100 mm	AISC - W 6x25 - 82.677	Forma de W	78.031 kg	Acero ASTM A36
7	1	1296 mm	1296 mm	AISC - W 6x15 - 51.041	Forma de W	28.544 kg	Acero ASTM A36
8	1	1299 mm	1299 mm	AISC - W 6x15 - 51.127	Forma de W	28.544 kg	Acero ASTM A36
9	1	2015 mm	2015 mm	AISC - W 6x15 - 79.313	Forma de W	37.030 kg	Acero ASTM A36
10	1	2031 mm	2031 mm	AISC - W 6x15 - 79.975	Forma de W	37.021 kg	Acero ASTM A36
11	4			base monorriel	PL. 1/2"	6.089 kg	Acero ASTM A36
14	4			tope monorriel	PL. 1/4"	0.505 kg	Acero ASTM A36
15	4			cartela m1	PL. 1/2"	5.710 kg	Acero ASTM A36

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

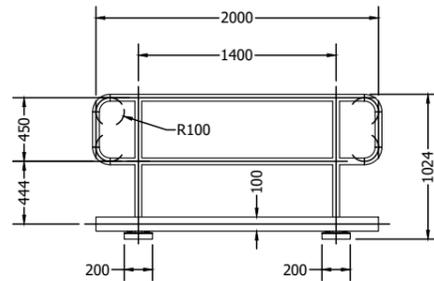
ACERO ESTRUCTURAL:

- PERFILES LAMINADOS Y PLANCHAS ASTM A36, Gr36:  $f_y=2530\text{kg/cm}^2$
- PERFILES FORMADOS EN FRÍO ASTM A36, Gr36:  $f_y=2530\text{kg/cm}^2$

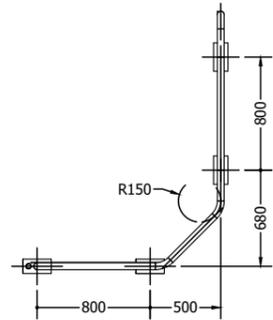
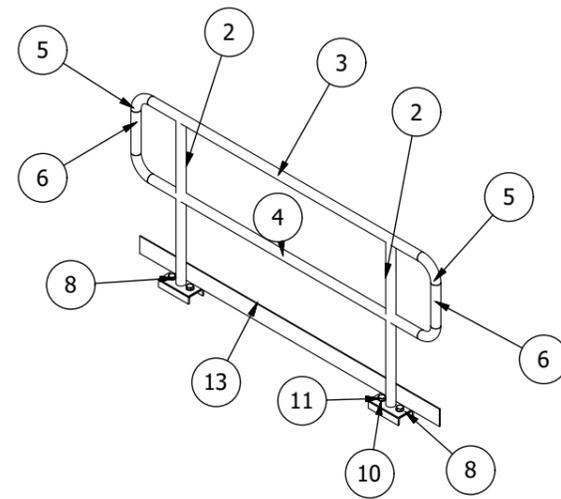
SOLDADURA Y CONEXIONES:

- ELECTRODO CELULÓSICO E70XX AWS A51  $f_u=4900\text{kg/cm}^2$

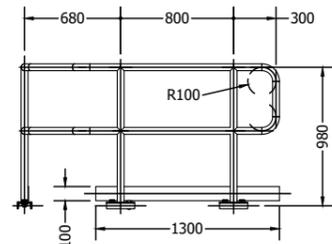
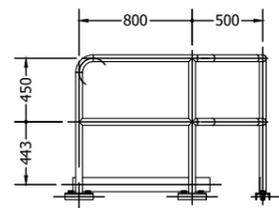
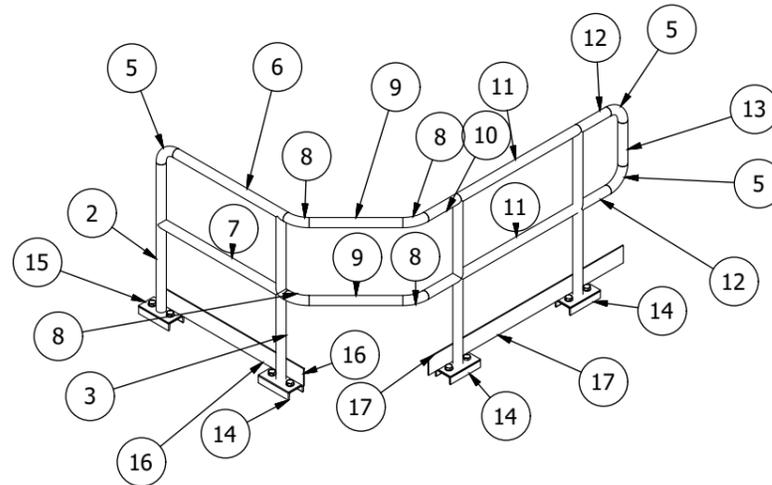
 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>		
TÍTULO TESIS: "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UNA PLATAFORMA FLOTANTE PARA BOMBA DE TURBINA VERTICAL"		
PLANO: <b>MONORRIEL</b>	DEPARTAMENTO: CAJAMARCA PROVINCIA: CAJAMARCA DISTRITO: CAJAMARA	ESCALA: <b>INDICADA</b>
ESCUELA ACADÉMICA: <b>INGENIERÍA CIVIL</b>	FECHA: <b>OCTUBRE 2023</b>	PLANO N°: <b>05</b>
RESPONSABLE: Bach. Johan Arturo García Ferrel	ASESOR: M. Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez	



BARANDA TIPO 1  
ESCALA 1/50



BARANDA TIPO 2  
ESCALA 1/50



LISTA DE PIEZAS

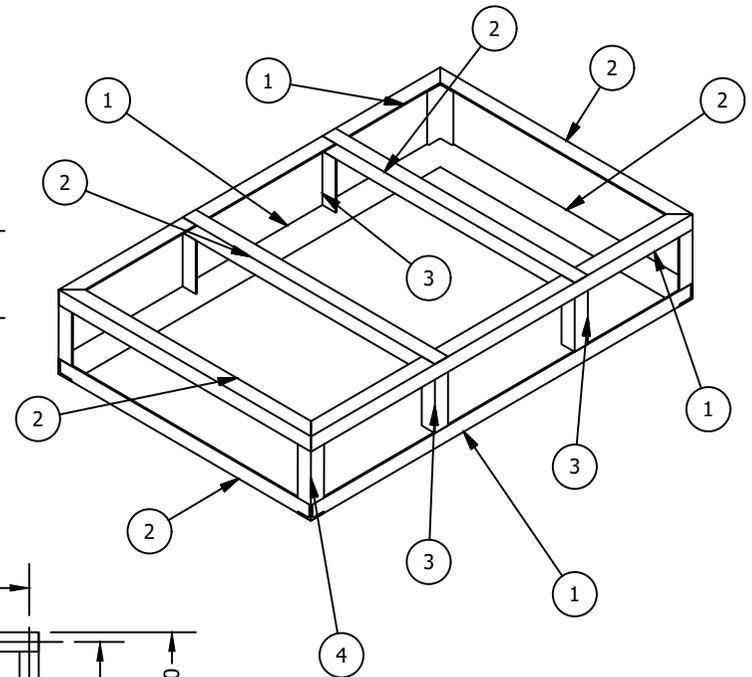
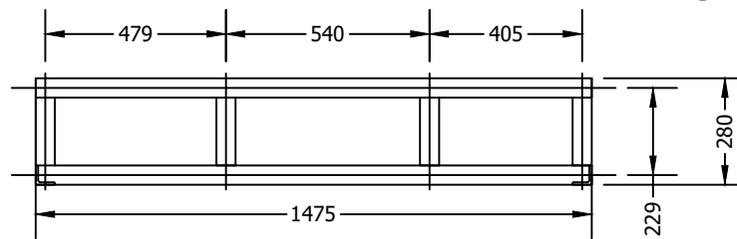
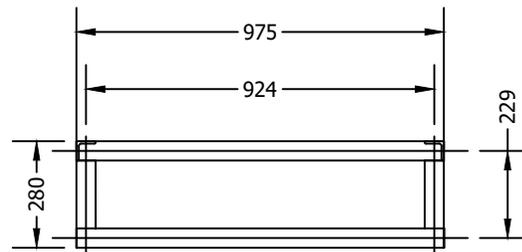
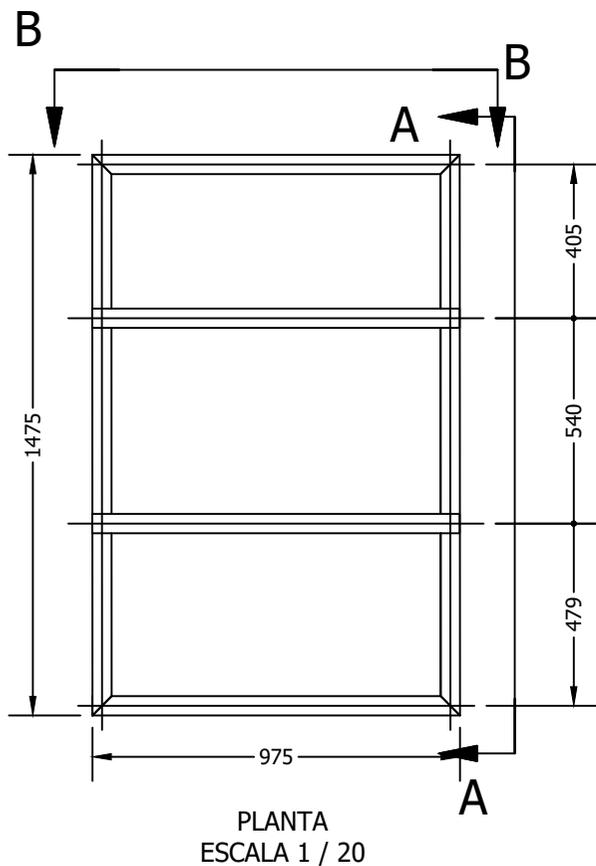
ELEMENTO	CTDAD ELEMENTOS	CTAD BASE	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	MASA	MATERIAL
1	1	1 mm	1 mm	baranda tipo 1			
2	2	954 mm	1907 mm	ANSI - 1 1/2 x 0.145 - 37.54	Tubería	3.861 kg	Acero ASTM A36
3	1	1800 mm	1800 mm	ANSI - 1 1/2 x 0.145 - 70.866	Tubería	7.288 kg	Acero ASTM A36
4	1	1400 mm	1400 mm	ANSI - 1 1/2 x 0.145 - 55.118	Tubería	5.668 kg	Acero ASTM A36
5	4	157 mm	628 mm	ANSI - 1 1/2 x 0.145 - 6.184	Tubería	0.636 kg	Acero ASTM A36
6	2	250 mm	500 mm	ANSI - 1 1/2 x 0.145 - 9.843	Tubería	1.012 kg	Acero ASTM A36
7	2	200 mm	400 mm	ANSI - 1 1/2 x 0.145 - 7.874	Tubería	0.810 kg	Acero ASTM A36
8	2	200 mm	400 mm	AISC - C 4 x 4.5 - 7.874	Forma de U	1.398 kg	Acero ASTM A36
9	2			base baranda	PL. 1/4"	0.980 kg	Acero ASTM A36
10	8	25 mm	203 mm	ANSI B18.22.1 - 3/4 - Fino - Tipo A	Arandela plana (Pulgada) Tipo A y B	0.045 lbmasa	Acero, suave
11	4	25 mm	102 mm	ANSI B18.2.6 - 3/4-10 UNC - 1.5	Perno de construcción hex. grueso - UNC (Rosca regular - Pulgadas)	0.365 lbmasa	Acero, suave
12	4	25 mm	102 mm	ANSI B18.2.2 - 3/4 - 10	Tuercas hex. (serie en pulgadas) Tuerca hexagonal	0.139 lbmasa	Acero, suave
13	1			rodapie t1	PL. 3/16"	7.477 kg	Acero ASTM A36

LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD ELEMENTOS	CTAD BASE	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	MASA	MATERIAL
1	1	1 mm	1 mm	baranda tipo 2			
2	1	854 mm	854 mm	ANSI - 1 1/2 x 0.145 - 33.605	Tubería	3.385 kg	Acero ASTM A36
3	1	955 mm	955 mm	ANSI - 1 1/2 x 0.145 - 37.612	Tubería	3.798 kg	Acero ASTM A36
4	2	956 mm	1913 mm	ANSI - 1 1/2 x 0.145 - 37.656	Tubería	3.802 kg	Acero ASTM A36
5	3	157 mm	471 mm	ANSI - 1 1/2 x 0.145 - 6.184	Tubería	0.636 kg	Acero ASTM A36
6	1	738 mm	738 mm	ANSI - 1 1/2 x 0.145 - 29.05	Tubería	2.988 kg	Acero ASTM A36
7	1	838 mm	838 mm	ANSI - 1 1/2 x 0.145 - 32.987	Tubería	3.252 kg	Acero ASTM A36
8	4	118 mm	471 mm	ANSI - 1 1/2 x 0.145 - 4.638	Tubería	0.477 kg	Acero ASTM A36
9	2	441 mm	883 mm	ANSI - 1 1/2 x 0.145 - 17.379	Tubería	1.787 kg	Acero ASTM A36
10	2	218 mm	436 mm	ANSI - 1 1/2 x 0.145 - 8.577	Tubería	0.882 kg	Acero ASTM A36
11	2	800 mm	1600 mm	ANSI - 1 1/2 x 0.145 - 31.496	Tubería	3.239 kg	Acero ASTM A36
12	2	200 mm	400 mm	ANSI - 1 1/2 x 0.145 - 7.874	Tubería	0.810 kg	Acero ASTM A36
13	1	250 mm	250 mm	ANSI - 1 1/2 x 0.145 - 9.843	Tubería	1.012 kg	Acero ASTM A36
14	4	200 mm	800 mm	AISC - C 4 x 4.5 - 7.874	Forma de U	1.399 kg	Acero ASTM A36
15	4			base baranda		0.980 kg	Acero ASTM A36
16	1			rodapie tipo 2		3.626 kg	Acero ASTM A36
17	1			rodapie tipo 2.1		4.860 kg	Acero ASTM A36
18	15	25 mm	381 mm	ANSI B18.22.1 - 3/4 - Fino - Tipo A	Arandela plana (Pulgada) Tipo A y B	0.045 lbmasa	Acero, suave
19	7	25 mm	178 mm	ANSI B18.2.6 - 3/4-10 UNC - 1.5	Perno de construcción hex. grueso - UNC (Rosca regular - Pulgadas)	0.365 lbmasa	Acero, suave
20	9	25 mm	229 mm	ANSI B18.2.2 - 3/4 - 10	Tuercas hex. (serie en pulgadas) Tuerca hexagonal	0.139 lbmasa	Acero, suave
21	1	25 mm	25 mm	ANSI B18.2.6 - 3/4-10 UNC - 2	Perno de construcción hex. grueso - UNC (Rosca regular - Pulgadas)	0.428 lbmasa	Acero, suave

- NOTAS:
- MATERIALES DE PERFILES Y PLANCHA : ASTM A36
  - CONSIDERAR DOBLEZ EN VEZ DE ACCESORIOS
  - PARA BARANDA TIPO3 CONSIDERAR LA BARANDA TIPO 2 POR SIMETRIA
  - CONSIDERAR 1 BARANDA TIPO1, 2 TIPO 2 Y 2 TIPO 3
  - LOS PESOS CONSIDERADOS SON UNITARIOS (POR ELEMENTO)

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>		
TÍTULO TESIS: "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UNA PLATAFORMA FLOTANTE PARA BOMBA DE TURBINA VERTICAL"		
PLANO: <b>BARANDAS</b>	DEPARTAMENTO: CAJAMARCA PROVINCIA: CAJAMARCA DISTRITO: CAJAMARA	ESCALA: INDICADA
ESCUELA ACADÉMICA: <b>INGENIERÍA CIVIL</b>	FECHA: <b>OCTUBRE 2023</b>	PLANO N°: <b>06</b>
RESPONSABLE: Bach. Johan Arturo García Ferrel	ASESOR: M. Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez	



LISTA DE PIEZAS						
ELEM.	CTDAD	CTAD BASE	CTDAD	Nº DE PIEZA	MASA	MATERIAL
1	4	1475 mm	5898 mm	AISC - L 2 x 2 x 1/4 - 58.055	6.913 kg	Acero ASTM A36
2	6	975 mm	5848 mm	AISC - L 2 x 2 x 1/4 - 38.37	4.380 kg	Acero ASTM A36
3	6	178 mm	1070 mm	AISC - L 2 x 2 x 1/4 - 7.024	0.854 kg	Acero ASTM A36
4	2	179 mm	357 mm	AISC - L 2 x 2 x 1/4 - 7.029	0.854 kg	Acero ASTM A36

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>		
TÍTULO TESIS: "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UNA PLATAFORMA FLOTANTE PARA BOMBA DE TURBINA VERTICAL"		
PLANO: <b>SOPORTE TUBERÍA</b>	DEPARTAMENTO: CAJAMARCA PROVINCIA: CAJAMARCA DISTRITO: CAJAMARA	ESCALA: <b>INDICADA</b>
ESCUELA ACADÉMICA: <b>INGENIERÍA CIVIL</b>	FECHA: <b>OCTUBRE 2023</b>	PLANO N°: <b>07</b>
RESPONSABLE: Bach. Johan Arturo García Ferrel	ASESOR: M. Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez	