

**UNIVERSIDAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**DISEÑO, SIMULACION Y ANALISIS DE EQUIPO  
DE TRATAMIENTO COMPUESTO POR  
MICROORGANISMOS USADO PARA  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
APLICADO EN UNIDAD PESQUERA EN EL PERÚ**

**TESIS**

Para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico

**AUTOR**

Kevinn Gilmer Echevarria Hurtado (ORCID: 0000-0002-6006-0879)

**ASESOR**

Mag. Ing. Omar Bejarano Grandez (ORCID: 0000-0003-4966-3131)

**CO- ASESOR**

Ing. Helard Álvarez Sanchez (ORCID: 0000-0003-4150-9156)

Lima – Perú

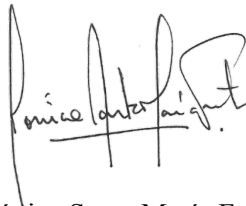
2023

## DECLARACIÓN JURADA

Yo, Mónica Cecilia Santa María Fuster identificada con DNI No 18226712 en mi condición de autoridad responsable de validar la autenticidad de los trabajos de investigación y tesis de la UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA, DECLARO BAJO JURAMENTO:

Que la tesis denominada “DISEÑO, SIMULACION Y ANALISIS DE EQUIPO DE TRATAMIENTO COMPUESTO POR MICROORGANISMOS USADO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES APLICADO EN UNIDAD PESQUERA EN EL PERÚ” ha sido elaborada por el señor Kevinn Gilmer Echevarria Hurtado, con la asesoría de Helard Henry Álvarez Sánchez identificado con DNI 25564293 y Omar Bejarano Grandez identificado con DNI 43219393, y que se presenta para obtener el título profesional de Ingeniero mecánico, ha sido sometida a los mecanismos de control y sanciones anti plagio previstos en la normativa interna de la universidad, encontrándose un porcentaje de similitud de 3%.

En fe de lo cual firmo la presente.



Dra. Mónica Santa María Fuster  
Directora de Investigación

En Barranco, el 05 de diciembre de 2023

*Dedicatoria:*

*Este trabajo está dedicado a mis padres Gilmer Echevarria y Elsa Hurtado, a mis hermanos Josmary y Danfer, quienes me apoyaron incondicionalmente y por qué fueron mi mayor motivación para lograr esta meta. A mi enamorada Lesli por ser un apoyo incondicional, brindándome su amor y confianza.*

*Agradecimientos:*

*Agradezco a mis asesores Omar Bejarano por sus consejos y recomendaciones, Helard Álvarez por apoyarme a realizar este trabajo, a mi coasesor y amigo Jordan Bernaldo por estar siempre presente durante el desarrollo del trabajo y a la Corporación pesquera Hillary S.A.C de mi amigo Cesar Sánchez, por brindarme toda la información necesaria para el desarrollo de este proyecto de tesis.*

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRAC .....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
1.1 Métodos de tratamiento de efluentes .....	9
1.2 Origen de las aguas residuales en una planta de harina y aceite de pescado ..	10
1.2.1 Efluentes generados .....	11
1.3 Consideraciones técnicas .....	12
1.3.1 Trampa de grasa .....	12
1.3.2 Fallas mecánicas .....	14
1.3.3 Filtración .....	16
1.3.4 Teorías aplicadas en la filtración .....	18
1.3.5 Tipo de flujos .....	21
1.4 Fundamento Matemático del CFD.....	23
1.4.1 Estructuras de la dinámica de fluidos computacional.....	23
A. Dominio Computacional.....	24
B. Mallado .....	24
B. Ecuación de Navier Stokes .....	30
C. Modelado de la Turbulencia .....	32
D. Modelado de Turbulencia k-ε estándar.....	32
1.5 Regulaciones y Normativas .....	34
1.5.1 Entidades vinculadas.....	35
1.5.2 Reglamentos involucrados .....	36
1.5.3 Fiscalización .....	37
1.6 Tendencias Futuras .....	39
1.7 Impacto ambiental.....	40
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>41</b>
2.1 Tipo de investigación.....	41

2.2	Fuentes y técnicas de investigación .....	42
2.3	Variables de la investigación .....	42
2.4	Diagrama de metodología de investigación .....	45
2.4.1	Recopilación de información técnica .....	46
2.4.2	Ubicación para el equipo de tratamiento en la planta de procesos .....	47
2.4.3	Recopilación de información técnica .....	48
2.4.4	Esquemmatización del equipo de tratamiento .....	52
2.4.5	Selección de materiales y componentes .....	53
2.4.6	Diseño en CAD del tanque y componentes .....	53
2.5	Simulación computacional .....	55
2.5.1	Simulación estática .....	56
2.5.2	Simulación de fluidos por CFD .....	56
<b>RESULTADOS .....</b>		<b>69</b>
3.1	Data técnica de pesquera .....	69
3.2	Etapa 1: Diseño conceptual .....	70
3.3	Etapa 2: Diseño computacional .....	73
3.4	Etapa 3: Simulación computacional .....	78
3.4.1	Simulación de análisis estructural .....	78
3.4.2	Simulación dinámica por CFD .....	102
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>132</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tabla de entidades fiscalizadoras de aguas residuales del estado peruano.[43].....	35
<b>Tabla 2.</b> Tabla de entidades fiscalizadoras de aguas residuales del estado peruano.[43].....	35
<b>Tabla 3.</b> Leyes que respaldan a la normativa fiscalizadora en la industria pesquera.[43].....	36
<b>Tabla 4.</b> Normativa fiscalizadora para la industria pesquera.[43] .....	37
<b>Tabla 5.</b> Tabla de información técnica de la corporación Hillary S.A.C.[16] .....	46
<b>Tabla 6.</b> Tabla de datos técnicos para simulación. ....	49
<b>Tabla 7.</b> Tabla de materiales de equipo de tratamiento.[55][56][57] .....	53
<b>Tabla 8.</b> Tabla de resultado de mallado de tanque de tratamiento. ....	62
<b>Tabla 9.</b> Tabla de resultado de mallado. ....	63
<b>Tabla 10.</b> Tabla de resultado de mallado. ....	64
<b>Tabla 11.</b> Tabla de resultado de mallado. ....	65
<b>Tabla 12.</b> Tabla de resultado de mallado. ....	66
<b>Tabla 13.</b> Tabla de resultado de mallado de tanque de tratamiento.....	67
<b>Tabla 14.</b> Tabla de resultado de mallado de tanque de tratamiento.....	67
<b>Tabla 15.</b> Configuración parte de cálculo de simulación. ....	68
<b>Tabla 16.</b> Tabla de datos técnicos para simulación. ....	69
<b>Tabla 17.</b> Tabla de datos de mallado de tanque.....	79
<b>Tabla 18.</b> Tabla de datos para cálculo de simulación de análisis estructural. ....	80
<b>Tabla 19.</b> Tabla de datos de mallado de tanque.....	85
<b>Tabla 20.</b> Tabla de datos para cálculo de simulación de análisis estructural. ....	86
<b>Tabla 21.</b> Tabla de datos de mallado de tanque.....	91
<b>Tabla 22.</b> Tabla de datos para cálculo de simulación de análisis estructural. ....	92
<b>Tabla 23.</b> Tabla de datos de mallado de tanque.....	97
<b>Tabla 24.</b> Tabla de datos para cálculo de simulación de análisis estructural. ....	98
<b>Tabla.25</b> Parámetros físico-hidráulicos considerados en la validación. ....	148
<b>Tabla.26</b> Condiciones de frontera para tanque. ....	151

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Procesos que anteceden a la trampa de grasa.[16] .....	11
<b>Figura 1.2.</b> Trampa de grasa con distribución por placas.....	14
<b>Figura 1.3.</b> Trampa de grasa con distribución de planchas verticales compuestas por tuberías. ....	14
<b>Figura 1.4.</b> Zonas frecuentes corroídas una trampa de grasa.[22].....	15
<b>Figura 1.5.</b> Tanque metálico rectangular reforzado con perfiles.[24] .....	16
<b>Figura 1.6.</b> Sistemas de filtración.[26] .....	18
<b>Figura 1.10.</b> Flujo laminar y turbulento. ....	22
<b>Figura 1.11.</b> Capa limite laminar y turbulento. ....	22
<b>Figura. 1.7.</b> Dominio computacional.[34] .....	24
<b>Figura 1.8.</b> Términos empleados de un esquema general de una malla.[33].....	25
<b>Figura 1.9.</b> Tipos de mallas de simulaciones CFD.[35] .....	25
<b>Figura 1.10.</b> Mallado para capa límite con perfil de velocidades en color rojo.[35].....	26
<b>Figura 1.11.</b> Parámetro de calidad de malla.[36].....	27
<b>Figura 1.12.</b> Malla bien orientado y uno mal orientado.[37].....	28
<b>Figura 1.13.</b> Ejemplo de simulación numérica de CFD.[38].....	30
<b>Figura 1.14.</b> Imagen de tabla de fiscalización correspondiente al tamaño o tipo de empresa.[45] .....	38
<b>Figura 1.15.</b> Límites máximos permisibles para efluentes de la industria de harina y aceite de pescado.[46].....	39
<b>Figura 1.16.</b> Imagen de una trampa de grasa con un dispositivo degradador de grasa residual.[47].....	39
<b>Figura 1.17.</b> Dispositivo contenedor de microorganismos para la degradación de grasa residual líquida.[47].....	40
<b>Figura 2.1.</b> Mapa de variables considerados para este proyecto de tesis. ....	43
<b>Figura 2.2.</b> Diagrama de metodología de investigación.....	45
<b>Figura 2.3.</b> Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de efluentes de limpieza de materia prima, equipos y establecimiento industrial.[16].....	47



<b>Figura 2.4.</b> Tanque de trampa de grasa.[16].....	49
<b>Figura 2.5.</b> Vista superior de tanque de trampa de grasa.[16].....	50
<b>Figura 2.6.</b> Dimensiones de la trampa de grasa de la planta de proceso de Hillary E.I.R.L.[16].....	50
<b>Figura 2.7.</b> Tubería de 2 ½ in, para ingreso de agua.[16].....	51
<b>Figura 2.8.</b> Tubería de 6”de descarga.[16] .....	52
<b>Figura 2.9.</b> Imagen referencial del equipo de tratamiento.....	52
<b>Figura 2.10.</b> Geometría de los orificios del Cartucho. ....	54
<b>Figura 2.11.</b> Alternativas propuestas para la simulación de la ubicación de los cartuchos...55	
<b>Figura 2.12.</b> Pasos para la simulación en ANSYS FLUENT.[59] .....	57
<b>Figura 2.13.</b> Geometria del tanque para simulación de fluidos.....	58
<b>Figura 2.14.</b> Geometría del tanque para simulación de fluidos, primer orden propuesto. ....	59
<b>Figura 2.15.</b> Geometria del tanque para simulación de fluidos.....	59
<b>Figura 2.16.</b> Geometria del tanque para simulación de fluidos.....	60
<b>Figura 2.17.</b> Geometría de los agujeros circulares. ....	61
<b>Figura 2.18.</b> Geometría de los agujeros rectangulares. ....	61
<b>Figura 2.19.</b> Geometría de los agujeros hexagonales.....	61
<b>Figura 2.20.</b> Mallado de tanque para simulación por CFD. ....	62
<b>Figura 2.21.</b> Mallado de tanque para primera alternativa para simulación por CFD. ....	63
<b>Figura 2.22.</b> Mallado de tanque para segunda alternativa para simulación por CFD. ....	64
<b>Figura 2.23.</b> Mallado de tanque para tercera alternativa para simulación por CFD.....	65
<b>Figura 2.24.</b> Mallado de tanque para agujeros circulares para simulación por CFD. ....	66
<b>Figura 2.25.</b> Mallado de tanque para agujeros rectangulares para simulación por CFD.....	66
<b>Figura 2.26.</b> Mallado de tanque para agujeros hexagonales para simulación por CFD. ....	67
<b>Figura 3.1.</b> Trampa de grasa dividida en tres partes.....	70
<b>Figura 3.2.</b> Tubería que saldrá de las paredes laterales encargadas de la distribución de etapas dentro del tanque. ....	70
<b>Figura 3.3.</b> Distribución de dispositivos dentro de la trampa de grasa.....	71
<b>Figura 3.4.</b> Soporte para cartuchos.....	71
<b>Figura 3.5.</b> Diseño de cartucho para contener a los polímeros con microorganismos. ....	72

<b>Figura 3.6.</b> Diseño en SOLIDWORKS de tanque rectangular.....	73
<b>Figura 3.7.</b> Tuberías instaladas en la trampa de grasa.....	73
<b>Figura 3.8.</b> Estructura con la primera alternativa propuesta para soportar a los cartuchos. ..	74
<b>Figura 3.9.</b> Estructura con la segunda alternativa planteada para soportar a los cartuchos. .	74
<b>Figura 3.10.</b> Estructura con la tercera alternativa planteada para soportar a los cartuchos. ..	75
<b>Figura 3.11.</b> Soportes de cartuchos ensamblados en la trampa de grasa. ....	75
<b>Figura 3.12.</b> Cartucho con agujero de forma circular.....	76
<b>Figura 3.13.</b> Cartucho con agujero de forma rectangular.....	76
<b>Figura 3.14.</b> Cartucho con agujero de forma hexagonal. ....	77
<b>Figura 3.15.</b> Ensamble de equipo para tratamiento de grasa residual. ....	77
<b>Figura 3.16.</b> Diseño de tanque en 3D .....	78
<b>Figura 3.17.</b> Mallado de tanque de tratamiento de aguas residuales .....	79
<b>Figura 3.18.</b> Restricción en la base de nuestro tanque de tratamiento .....	80
<b>Figura 3.19.</b> Presión hidrostática aplicado al interior del tanque .....	81
<b>Figura 3.20.</b> Análisis estático de tensión nodal. ....	82
<b>Figura 3.21.</b> Resultado de la deformación dado por el análisis estático.....	83
<b>Figura 3.22.</b> Resultado del factor de seguridad dado por el análisis estático.....	83
<b>Figura 3.23.</b> Primera estructura utilizada como soporte para los contenedores.....	84
<b>Figura 3.24.</b> Mallado del primero soporte .....	85
<b>Figura 3.25.</b> Fijación de soporte en la cara que se apoya en el tanque.....	86
<b>Figura 3.26.</b> Peso de contenedor obtenido de propiedades físicas en Solidworks. ....	87
<b>Figura 3.27.</b> Fuerzas aplicadas al soporte de contenedores para realizar un análisis estático. .....	88
<b>Figura 3.28.</b> Análisis estático de tensión nodal. ....	89
<b>Figura 3.29.</b> Resultado de la deformación dado por el análisis estático.....	89
<b>Figura 3.30.</b> Resultado del factor de seguridad dado por el análisis estático.....	90
<b>Figura 3.31.</b> Segunda estructura utilizada como soporte para los contenedores. ....	90
<b>Figura 3.32.</b> Mallado de segundo soporte .....	91
<b>Figura 3.33.</b> Fijación de soporte en la cara que se apoya en el tanque.....	92
<b>Figura 3.34.</b> Peso de contenedor obtenido de propiedades físicas en Solidworks. ....	93

<b>Figura 3.35.</b> Fuerzas aplicadas al soporte de contenedores para realizar un análisis estático. .....	94
<b>Figura 3.36.</b> Análisis estático de tensión nodal. ....	95
<b>Figura 3.37.</b> Resultado de la deformación dado por el análisis estático.....	95
<b>Figura 3.38.</b> Resultado del factor de seguridad dado por el análisis estático.....	96
<b>Figura 3.39.</b> Tercera estructura utilizada como soporte para los contenedores.....	96
<b>Figura 3.40.</b> Mallado de tercera estructura. ....	97
<b>Figura 3.41.</b> Fijación de soporte en la cara que se apoya en el tanque.....	98
<b>Figura 3.42.</b> Peso de contenedor obtenido de propiedades físicas en Solidworks. ....	99
<b>Figura 3.43.</b> Fuerzas aplicadas al soporte de contenedores para realizar un análisis estático. .....	100
<b>Figura 3.44.</b> Análisis estático de tensión nodal. ....	101
<b>Figura 3.45.</b> Resultado de desplazamiento dado por el análisis estático.....	101
<b>Figura 3.46.</b> Resultado del factor de seguridad dado por el análisis estático.....	102
<b>Figura 3.47.</b> Resultado de la presión dinámica en pascales dentro del tanque de tratamiento. .....	103
<b>Figura 3.48.</b> Gráfica de la velocidad del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent.....	104
<b>Figura 3.49.</b> Gráfica de la velocidad del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del segundo tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent. ....	104
<b>Figura 3.50.</b> Gráfica de presión del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent. ....	105
<b>Figura 3.51.</b> Gráfica de presión del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent. ....	106
<b>Figura 3.52.</b> Vectores de velocidad en el plano ZX. ....	107

<b>Figura 3.53.</b> Configuraciones de flujo en todo el dominio del tanque, representadas por líneas de corriente de velocidad. ....	108
<b>Figura 3.54.</b> Resultado de la presión dentro del tanque de tratamiento .....	109
<b>Figura 3.55.</b> Gráfica de la velocidad del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent.....	110
<b>Figura 3.56.</b> Gráfica de la velocidad del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del segundo tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent. ....	110
<b>Figura 3.57.</b> Gráfica de presión del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent. ....	111
<b>Figura 3.58.</b> Gráfica de presión del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent. ....	112
<b>Figura 3.59.</b> Vectores de velocidad en el plano ZX. ....	113
<b>Figura 3.60.</b> Configuraciones de flujo en todo el dominio del tanque, representadas por líneas de corriente de velocidad. ....	114
<b>Figura 3.61.</b> Resultado de la presión dentro del tanque de tratamiento. ....	115
<b>Figura 3.62.</b> Gráfica de la velocidad del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent.....	115
<b>Figura 3.63.</b> Gráfica de la velocidad del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del segundo tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent. ....	116
<b>Figura 3.64.</b> Gráfica de presión del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent. ....	116

<b>Figura 3.65.</b> Gráfica de presión del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent .....	117
<b>Figura 3.66.</b> Vectores de velocidad en el plano ZX. ....	118
<b>Figura 3.67.</b> Configuraciones de flujo en todo el dominio del tanque, representadas por líneas de corriente de velocidad. ....	119
<b>Figura 3.68.</b> Resultado de la presión dentro del tanque de tratamiento. ....	120
<b>Figura 3.69.</b> Gráfica de la velocidad del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent.....	120
<b>Figura 3.70.</b> Gráfica de la velocidad del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del segundo tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent. ....	121
<b>Figura 3.71.</b> Gráfica de presión del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent. ....	121
<b>Figura 3.72.</b> Gráfica de presión del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent .....	122
<b>Figura 3.73.</b> Vectores de velocidad en el plano ZX. ....	123
<b>Figura 3.74.</b> Configuraciones de flujo en todo el dominio del tanque, representadas por líneas de corriente de velocidad. ....	124
<b>Figura 3.75.</b> Resultado de la presión dentro del tanque de tratamiento. ....	125
<b>Figura 3.76.</b> Vectores de velocidad en el plano ZX. ....	126
<b>Figura 3.77.</b> Líneas de corriente de velocidad en todo el dominio del tanque. ....	127
<b>Figura 3.78.</b> Resultado de la presión dentro del tanque de tratamiento. ....	128
<b>Figura 3.79.</b> Vectores de velocidad en el plano ZX. ....	128
<b>Figura 3.80.</b> Líneas de corriente de velocidad en todo el dominio del tanque. ....	129
<b>Figura 3.81.</b> Resultado de la presión dentro del tanque de tratamiento. ....	130
<b>Figura 3.82.</b> Vectores de velocidad en el plano ZX. ....	130

<b>Figura 3.83.</b> Líneas de corriente de velocidad en todo el dominio del tanque .....	131
Figura 0.1 Tanque de cultivo a escala, modelo físico. ....	147
<b>Figura 0.2.</b> Modelo conceptual del tanque a escala, modelado en 3D en CFD.....	148
<b>Figura.0.3.</b> Perfiles de velocidad tangencial (u) del tanque a escala. ....	149

## RESUMEN

En respuesta al Decreto Supremo N°010-2019-VIVIENDA, que rige desde marzo de 2019 y establece los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario de Chimbote. Esto es supervisado por SEDACHIMBOTE, y el artículo 8 de este decreto insta a las industrias a implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Las empresas pesqueras deben cumplir con estos VMA para evitar sanciones por exceso de concentración de parámetros según lo establecido por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). Para esto, existen métodos de tratamiento de aguas residuales, como centrifugación, flotación por aire disuelto, evaporación al vacío y métodos de limpieza con insumos químicos o microorganismos que degradan la nata de grasa.

Realizamos el diseño de un equipo mecánico que preservará los microorganismos inmovilizados y les proporcionará las condiciones adecuadas para degradar las grasas y proteínas acumuladas en las trampas de grasa. Además, llevamos a cabo simulaciones estáticas y de fluidos para determinar el soporte, orden y orificios de los contenedores, considerando el caudal ejercido por el agua residual. La colaboración con la empresa pesquera Hillary E.I.R.L. fue crucial para la obtención de datos técnicos.

En los resultados, se demostró que los tres soportes de contenedores cumplen con los requisitos de resistencia de materiales. En términos de la ubicación de los contenedores en el tanque, se observó que el segundo orden presentaba líneas de corriente de fluido que cubrían los contenedores en su totalidad. En relación con los orificios del contenedor, se encontró que los agujeros hexagonales exhibían una velocidad de flujo más baja, lo que resultaba en menos turbulencia y, por lo tanto, favorecía una mayor captura de partículas de grasa.

### ***Palabras clave:***

Valores Máximos Permitidos, degradación de grasas residuales, microorganismos inmovilizados.

# ABSTRAC

In response to Supreme Decree No. 010-2019-VIVIENDA, which has been in force since March 2019 and establishes the Maximum Admissible Values (VMA) for non-domestic wastewater discharges into the Chimbote sanitary sewer system. This is overseen by SEDACHIMBOTE, and Article 8 of this decree urges industries to implement wastewater treatment systems.

Fishing companies must comply with these VMAs to avoid penalties for excess concentration of parameters as established by the National Superintendence of Sanitation Services (SUNASS). For this, there are wastewater treatment methods, such as centrifugation, dissolved air flotation, vacuum evaporation, and cleaning methods with chemical inputs or microorganisms that degrade the cream from fat.

We carry out the design of a mechanical equipment that will preserve the immobilized microorganisms and provide them with the appropriate conditions to degrade the fats and proteins accumulated in the grease traps. In addition, we carry out static and fluid simulations to determine the support, order and orifices of the containers, considering the flow rate exerted by the wastewater. The collaboration with the fishing company Hillary E.I.R.L. was crucial in obtaining technical data.

In the results, it was shown that all three container supports meet the material strength requirements. In terms of the location of the containers in the tank, it was observed that the second order featured fluid stream lines that covered the containers in their entirety. In relation to the container holes, the hexagonal holes were found to exhibit a lower flow velocity, resulting in less turbulence and thus favoring greater grease particle capture.

## **Keywords:**

Maximum Allowable Values, degradation of residual fats, immobilized microorganisms.



# INTRODUCCIÓN

Chimbote es una ciudad que desembarca aproximadamente 1 130 424 toneladas métricas (TM) de recursos marítimos para CHI<sup>1</sup>. De esta cantidad, 1 130 4 TM corresponden al desembarque de anchoveta. Esto da lugar a la producción de 272 715 TM de harina de pescado y 34 169 TM de aceite de pescado. Sin embargo, esta producción genera una gran cantidad de aguas residuales que contienen contaminantes orgánicos, como la demanda química de oxígeno (DQO) y/o la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), así como lípidos y proteínas. Estas sustancias se vierten directamente al sistema de alcantarillado, lo que provoca su colapso y deterioro, además de una sobrecarga de contaminantes que reduce la eficiencia de las Plantas de Tratamiento y pone en riesgo los cuerpos receptores naturales, como los ríos, las tierras de cultivo y el mar. Con el objetivo de regular las descargas de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario, se aprobó el Decreto Supremo N°010-2019-VIVIENDA. Este decreto establece los Valores Máximos Admisibles (VMA) para los parámetros de concentración en las descargas industriales. En caso de incumplimiento, las industrias están sujetas al pago de un 400% adicional sobre su consumo de agua en concepto de facturas por exceso de concentración de los parámetros establecidos. Esto busca fomentar un manejo más adecuado de las aguas residuales industriales y proteger el medio ambiente.[1][2][3][4]

La situación descrita ha impulsado el desarrollo y la implementación de tecnologías de tratamiento destinadas a la reducción de contaminantes en los sistemas de interceptación de grasas, comúnmente conocidos como trampas de grasa, que se utilizan antes de la descarga de aguas residuales al sistema de alcantarillado. Estas soluciones incluyen métodos físicos, químicos y biológicos, como la centrifugación, el sistema de flotación por aire disuelto y la evaporación al vacío, que se utilizan para separar la crema grasa del agua. Luego de esta etapa, se requiere un segundo tratamiento para asegurar que las concentraciones de contaminantes orgánicos en las aguas residuales estén por debajo de los Valores Máximos

---

<sup>1</sup> CHI: Consumo humano indirecto

Admisibles (VMA) antes de verterse en el punto de recolección designado por la Asociación de Productores de Harina y Aceite de Pescado y Conservas de Pescado (APROFERROL).

Para el segundo tratamiento en las trampas de grasa, se ha comprobado que la aproximación biológica representa una alternativa factible. Esta estrategia aprovecha la capacidad metabólica de los microorganismos para oxidar la materia orgánica presente en los efluentes, utilizando carbono como fuente de energía y generando biomasa. Esto resulta en una disminución del contenido de nutrientes y otros contaminantes. Las ventajas clave de esta tecnología incluyen: i) costos de operación reducidos, ii) requisitos de espacio mínimos y iii) producción baja de lodos.

En el caso de los sistemas de suspensión convencionales, la tecnología de microorganismos inmovilizados en matrices poliméricas ofrece múltiples ventajas, como una alta concentración de biomasa, una elevada tasa de actividad metabólica y una mayor resistencia a sustancias químicas tóxicas. Además, los microorganismos inmovilizados pueden ser reutilizados varias veces sin una pérdida significativa de actividad. Por lo tanto, se vislumbra que la tecnología de microorganismos inmovilizados podría desempeñar un papel importante en el tratamiento de aguas residuales en un futuro próximo.[5]

## **Alcance**

El presente proyecto de investigación se enfoca en el diseño mecánico de un sistema de tratamiento de aguas residuales que utiliza microorganismos. Se llevará a cabo un análisis analítico y computacional utilizando el software ANSYS. El análisis del dispositivo se dividirá en dos etapas: la primera se centrará en la estructura que sostiene los contenedores de microorganismos, mientras que la segunda se enfocará en los propios contenedores. El objetivo es optimizar la aplicación potencial de los microorganismos inmovilizados en matrices poliméricas para que puedan actuar dentro de la trampa de grasas y degradar las partículas de grasas de manera más efectiva.

El diseño del equipo se llevará a cabo cumpliendo las normas E090/2020 para estructuras metálicas en Perú y E030/2016 para el diseño sísmico resistente. Se basará en las características obtenidas de la planta de procesos Hillary S.A.C., como el tipo de agua residual que genera,

el volumen de agua que utiliza en su planta de producción, el dimensionamiento de su trampa de grasa y tuberías, así como los materiales que utiliza para la fabricación de su trampa de grasa.

Se propone el diseño computacional de una trampa de grasa de metal con las mismas dimensiones que la existente de concreto, teniendo en cuenta el volumen de agua que utiliza la empresa. Se llevará a cabo un estudio de simulación estática del tanque rectangular y de la estructura que soporta los contenedores de microorganismos para evaluar el comportamiento mecánico de los elementos y verificar si los espesores y tipos de elementos seleccionados son adecuados o necesitan ser modificados.

Además, se realizarán simulaciones para analizar el comportamiento del fluido en los órdenes propuestos y determinar la posición y cantidad de contenedores, así como la geometría del orificio de los contenedores, con el objetivo de encontrar la propuesta más viable para mejorar el comportamiento del microorganismo en la captura de partículas de grasa.

## **Antecedentes**

La anchoveta es el pescado con mayor captura en el Perú, siendo la primera especie con 1 081 185 TM según el anuario estadístico de pesca del Perú del 2021, siendo su extracción fundamental para la industria pesquera. Este pescado no es considerado como una especie importante dentro del ecosistema marino, pero sostiene la cadena alimenticia contribuyendo a la supervivencia de otras especies. En el último registro dado por Datawrapper dentro del 2019 al 2020 se llegó a registrar alrededor de 160 mil toneladas de captura de anchoveta entre las empresas importantes del país, como Diamante o Exaltar.[1]  
[6]

Ante la enorme captura de anchoveta dada, las empresas plantean diversos métodos y dispositivos para el control de sus residuales, los cuales se dividen cuatro categorías: Preliminar, primario, secundario y terciario, las cuales dependen de la producción de la empresa y del tamaño de su trampa de grasa.

Actualmente también las empresas utilizan técnicas de tratamiento de agua residual para su trampa de grasa principal, como la ultrafiltración, sistema de flotación por aire disuelto y

combinación de ultrafiltración con evaporación al vacío, mientras para su segunda trampa de grasa se da mediante el uso de microorganismos, ya sea en solución líquida o mediante la inmovilización en matrices poliméricas, esta segunda es la que emplearíamos en el desarrollo de este trabajo, ya que la inmovilización de células microbianas ha recibido creciente interés en el campo del tratamiento de aguas residuales. Esta es definida como el confinamiento físico de células microbianas viables en una cierta región definida del espacio de tal manera que se limite su libre migración y se creen características hidrodinámicas que difieran de las del entorno circundante, mientras se retienen sus actividades catalíticas para un uso repetido y continuo. Para el tratamiento de aguas residuales, los materiales poliméricos para la inmovilización microbiana deben cumplir con los siguientes criterios: ser insolubles, no biodegradables, no tóxicos, no contaminantes, livianos, alta estabilidad mecánica y química, alta difusividad, procedimiento de inmovilización simple, alta retención de biomasa, fijación mínima de otros organismos y preferiblemente un bajo costo.[5]

La tecnología de microorganismos inmovilizados se ha aplicado en diversas industrias para tratar sus aguas residuales, gracias a su principio de eliminación mayor mediante el método de adsorción en comparación con el método de incrustación. Un ejemplo de su aplicación es la utilización de microorganismos inmovilizados con biocarbón en aguas residuales agrícolas para reducir el porcentaje de grasas y carbohidratos presentes en su composición. Asimismo, la inmovilización con cloruro de sodio en aguas residuales de una industria cárnica contribuye a la eliminación de agentes contaminantes, aunque se debe tener cuidado con la sobrepoblación de microorganismos inoculados.[7] [8]

En cuanto a la empresa Hillary S.A.C., viene utilizando el método de sistema de flotación por aire disuelto para el tratamiento de aguas residuales en la primera trampa de grasa, donde capturan la nata de grasa que será utilizada reprocesada para la producción de harina y aceite de pescado.[9]

El agua residual que sale de la trampa de grasa principal, se dirige a la segunda trampa de grasa, donde de no ser tratada, generaría problemas diversos problemas, como la obstrucción de las tuberías de descarga, la contaminación al medio ambiente, por los fuertes olores que estos efluentes emiten, y problemas económicos por las multas que recibiría la empresa por pasar los valore máximos permisibles (VMP).

## Justificación

La industria pesquera peruana es una de las industrias que más aportes a brindado al Perú a nivel económico, gracias a la exportación de harina y aceite de pescado. Según el último reporte dado por el Ministerio de Producción, para el año 2020, el PBI pesca extractivo alcanzó los S/. 1,927.00 millones de soles, con un crecimiento de 2.34% con respecto al año 2019, aportando en 0.40% al PBI Nacional. En parte estas cifras están dadas a la pesca de anchoveta para la producción de harina y aceite de pescado pertenecientes al consumo humano indirecto (CHI) [10], mientras en el año 2021, el desembarque de recursos pesqueros con destino consumo humano indirecto (CHI) presenta un incremento de 817% de volumen de desembarque con respecto a los meses anteriores.

Debido al crecimiento de la industria pesquera, en la captura y producción de anchoveta, Corporación Hillary S.A.C. viene incrementando la producción de harina y aceite de anchoveta, llegando a producir cinco toneladas semanales de harina de pescado desde enero hasta la actualidad, teniendo como meta, producir ocho toneladas semanales para el año 2022.

Según el área de mantenimiento de la empresa Hillary, la supervisión de los valores máximos permisibles (VPM) a la salida de sus aguas residuales de la planta se da cada vez que se emiten dichos efluentes industriales al APROFERROL (bahía de aguas residuales ubicada en Chimbote), controlando la turbidez de los efluentes.

Las principales entidades en fiscalizar dichos parámetros de los efluentes emitidos son el Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (SANIPES) y el Organismo de Evaluación y Fiscalización ambiental (OEFA). Estos parámetros están definidos bajo el Decreto Supremo N° 010-2018-MINAM del MINAM donde especifica cuales son los valores que no se debe pasar para que la empresa no sea multada.[11]

Si bien Corporación Hillary E.I.R.L. cuenta con una trampa de grasa sin división interna a la cual se le aplica una solución líquida de microorganismos para reducir los VMP que son dirigidos al sistema de alcantarillado, mientras que el agua residual sigue su trayectoria, dichos microorganismos se encargan de degradar las partículas de grasa durante todo el tiempo que se encuentren dentro de la trampa de grasa. Sin embargo, el 40% de los

microorganismos es desperdiciado debido a que se pierden ante el movimiento del agua residual. [12]

## **Objetivo general**

Optimizar el diseño de un equipo para tratamiento de aguas residuales para trampa de grasa, mediante el uso de análisis estático y simulación computacional (CFD) en ANSYS para evaluar tres alternativas de diseño que contribuya con el control efectivo de las aguas residuales. Caso: EMPRESA HILLARY E.I.R.L.

## **Objetivos específicos**

- Diseñar computacionalmente tres alternativas para un sistema de captura de partículas de grasa dentro de una trampa de grasa, variando los soportes de los contenedores, el orden de los contenedores y el orificio geométrico de los contenedores.
- Realizar un análisis estático mediante Static Structural de ANSYS para evaluar la resistencia estructural y la deformación de cada alternativa de diseño. Esto permitirá seleccionar los materiales adecuados y las dimensiones apropiadas que soporten las cargas requeridas.
- Realizar la simulación computacional mediante CFD en Fluent de ANSYS para analizar el comportamiento del flujo de agua y la captura de grasa en cada alternativa planteada. Se evaluarán parámetros como la distribución de velocidades, la formación de zonas de alta concentración de grasa y la eficiencia en la captura de partículas.
- Analizar los resultados de las tres alternativas planteadas de diseño para seleccionar la opción de diseño óptima que maximice la captura de partículas de grasa en la trampa de grasa.

# CAPITULO I

## MARCO TEÓRICO

En este capítulo, se ahondará en los aspectos cruciales para el diseño del equipo de tratamiento de aguas residuales, abarcando diversas áreas. En primer lugar, se explorarán los métodos de tratamiento actualmente en uso. A continuación, se analizará el origen y las características de las aguas residuales a tratar, proporcionando una base esencial para el diseño del dispositivo. En tercer lugar, se detallarán las consideraciones técnicas inherentes al diseño tanto del dispositivo como del tanque en el cual operará. Además, se presentarán las simulaciones que se llevarán a cabo para evaluar el funcionamiento del dispositivo. Posteriormente, se abordarán las regulaciones y normativas que rigen el tratamiento de aguas residuales, garantizando el cumplimiento de los estándares requeridos. Además, se explorarán las tendencias futuras en dispositivos propuestos para la eliminación de nata de grasa mediante microorganismos y se destacará la importancia de su adopción en la industria. Finalmente, se examinará el impacto ambiental de estas soluciones, subrayando la necesidad de minimizar cualquier efecto negativo en el entorno.[13]

### 1.1 Métodos de tratamiento de efluentes

Existen diversos para el control de aguas residuales antes de ser liberadas al sistema de alcantarillado o punto de acopio designado por la localidad a la que corresponde la empresa pesquera.

El primer método utilizado es el de limpieza superficial, en donde el personal designado hace la limpieza de la trampa de grasa, haciendo uso de herramientas de limpieza, usando químicos de limpieza, conocido también como método casero.

Como segundo método tenemos el que se da mediante un programa de mantenimiento, la cual está dividida en las siguientes etapas: La primera etapa es donde se da la eliminación de materia grueso o arenosa dentro de la trampa de grasa, para luego en la siguiente etapa hacer

uso de microorganismos en solución líquida, este insumo es diluido dentro de la trampa de grasa con el fin de degradar la grasa residual de la trampa como de las tuberías.[14]

## **1.2 Origen de las aguas residuales en una planta de harina y aceite de pescado**

La harina y aceite de pescado se obtienen después de retirar el agua y gran parte de las grasas y aceites del pescado, quedando finalmente la proteína como parte sólida. Esta proteína se seca y muele hasta convertirse en harina. En el Perú, este producto se hace generalmente con anchoveta, que es la única especie permitida por el Ministerio de Producción para esta finalidad. [15]

Para el desarrollo de la tesis, se tomará como referencia la planta de procesamiento de harina y aceite de pescado de la empresa pesquera Hillary E.I.R.L. Durante los procesos de producción se generan aguas residuales compuestas por agua de mar, sanguaza y microorganismos. Estos procesos son relevantes porque permiten entender cuáles son los residuos que llegan a la primera trampa de grasa, la cual es tratada para luego enviar los restos de agua residual, compuestos por líquidos y microorganismos, a una segunda trampa grasa.

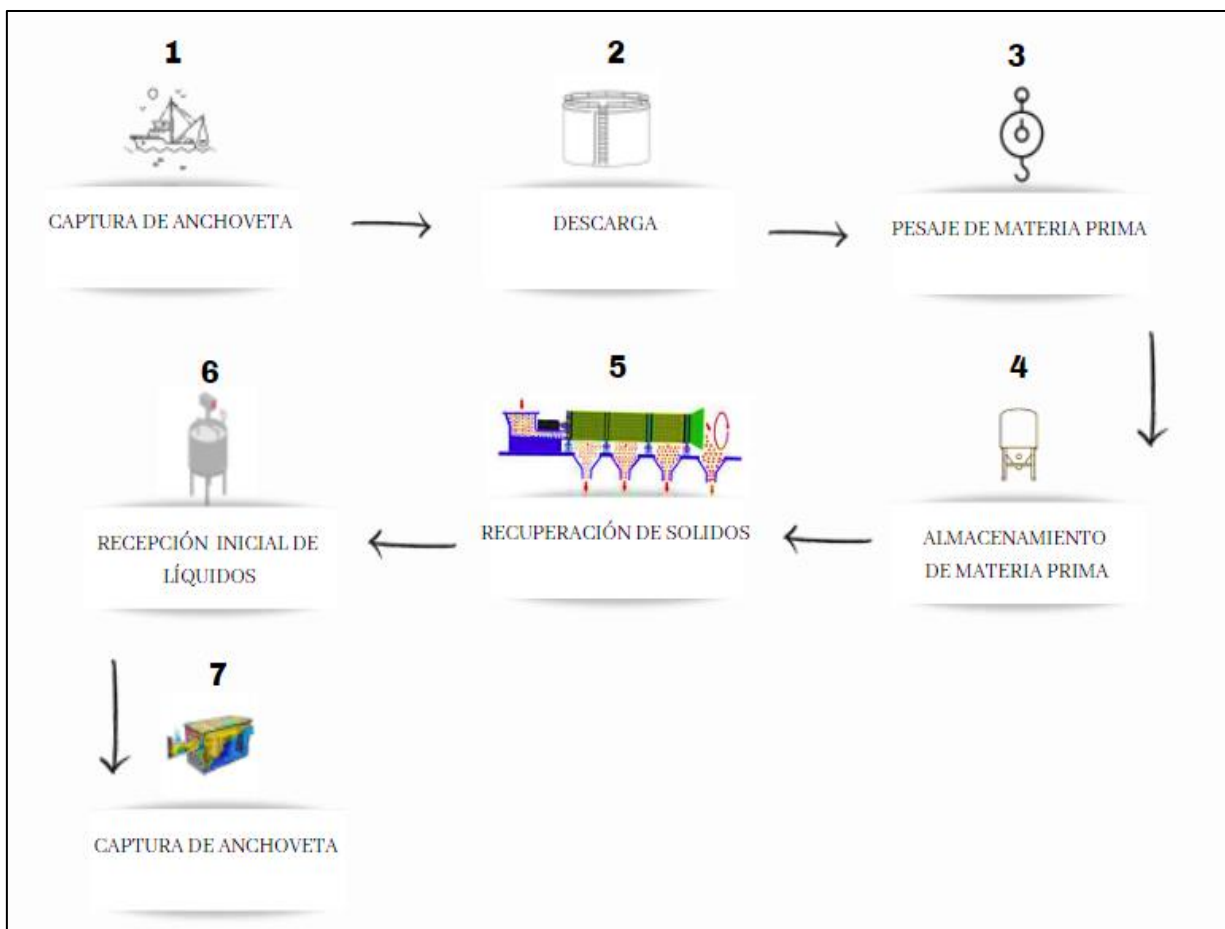
En cuanto a los procesos, se pueden observar en la Figura 1.1, siete procesos que preceden al tratamiento de las aguas residuales en las trampas de grasa. En los procesos 1 y 2, se lleva a cabo la pesca de la anchoveta mediante embarcaciones o "chatas", que son transportadas por tuberías impulsadas por bombas de vacío a la planta de procesamiento. Una vez allí, el pescado es descargado y pesado (proceso 3).

Después de la pesada, se lleva a cabo el almacenamiento del pescado en pozas de concreto de piso inclinado en el proceso 4, donde los líquidos residuales, como el agua de mar y la sanguaza, chorrean y se dirigen al primer tanque de tratamiento. El pescado es dirigido desde las pozas de almacenamiento hacia la zona de recuperación de sólidos en el proceso 5, donde mediante un equipo rotatorio conocido como Trommel se separan los residuos sólidos y líquidos. Los líquidos se dirigen al primer tanque de tratamiento (proceso 6), donde son tratados con microburbujas de aire y se recuperan restos de grasa sólida que se reprocesará.

Por último, en el proceso 7, se encuentra el segundo tanque de almacenamiento o trampa de grasa, donde circula el agua residual proveniente de los procesos anteriores. En este proceso,



se lleva a cabo el tratamiento mediante microorganismos, ya que es el agua que se dirigirá hacia el punto de acopio destinado. [16]



**Figura 1.1.**Procesos que anteceden a la trampa de grasa.[16]

### 1.2.1 Efluentes generados

Los diversos procesos mencionados generan efluentes que son parte de las aguas residuales, tales como:

- El agua de bombeo, el cual es considerado como el mayor efluente del proceso, ya que en el Perú se trabaja con bombas hidráulicas, lo que significa que requiere ser el doble de la proporción de pescado, requiriendo de un volumen elevado de descargas de aguas contaminadas. El agua originada al momento del traslado de la materia prima hacia la planta, estaría constituida por sólidos de pescado (escamas, fragmentos

óseos y grasas), como también por líquidos de pescado (sangre, aceite de pescado y proteína soluble).[17]

- La sanguaza, considerado como el segundo efluente más encontrado en el proceso, generada entre las pozas de almacenamiento, compuesta por desechos proteicos en degradación y en acción enzimática. Tales componentes suelen tener gran carga orgánica de sólidos y grasas. [17]
- El agua de cola, generada en el proceso de la prensa y de la centrifugación de la sanguaza como subproducto residual rico en proteínas y aceites. Así mismo, contiene una fuerte carga orgánica por lo que, de no ser reaprovechada, podría generar una fuerte contaminación al ecosistema marino.[18]

### **1.3 Consideraciones técnicas**

Para el desarrollo del diseño del equipo de tratamiento de aguas residuales, es necesario conocer la función de una trampa de grasa, como el de cada componente para que, al simular nuestro dispositivo, podemos identificar un campo específico ante la ejecución de la simulación por CFD.

#### **1.3.1 Trampa de grasa**

Al diseñar una trampa de grasa para una planta de harina y aceite de pescado, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones técnicas:

- Cumplimiento normativo. -Toda trampa de grasa debe cumplir con las normativas y regulaciones nacionales o locales relacionadas con el tratamiento de aguas residuales, lo que incluye a los límites de descarga establecidos y la implementación de prácticas ambientales y sanitarias.
- Capacidad de retención de grasa. - La trampa de grasa debe tener la capacidad adecuada para retener la cantidad de grasa y aceite generado por la empresa, lo que implica dimensionar la trampa en función del caudal de las aguas residuales y la concentración de grasas presentes.[19]
- Separación de fases. – La trampa de grasa debe ser capaz de separar eficientemente las grasas del agua residual mediante la incorporación de barreras físicas (Figura 1.2

y Figura 1.3) o tecnologías de separación como coalescedores o sistema de flotación por aire disuelto.[19]

- Diseño de entrada y salida. – La entrada y salida de la trampa de grasa debe facilitar un flujo uniforme y controlado, para ello se puede hacer uso de deflectores o baffles para evitar la turbulencia, obteniendo una distribución adecuada del flujo.[19]
- Materiales resistentes a la corrosión. – Dado que las aguas residuales contienen sustancias corrosivas, es importante seleccionar los materiales adecuados resistentes a la corrosión como acero inoxidable o polipropileno reforzado con fibra de vidrio.[19]
- Mantenimiento. – La trampa de grasa debe tener un diseño que facilite el mantenimiento y limpieza periódica, como accesos adecuados, tapas o registros.[19]

Nuestra trampa de grasa es de forma rectangular diseñada para contener a los dispositivos que contienen a los microorganismos, encargados de recibir el agua residual, degradando la grasa presente, antes de ser liberadas hacia el punto de acopio (APROFERROL).

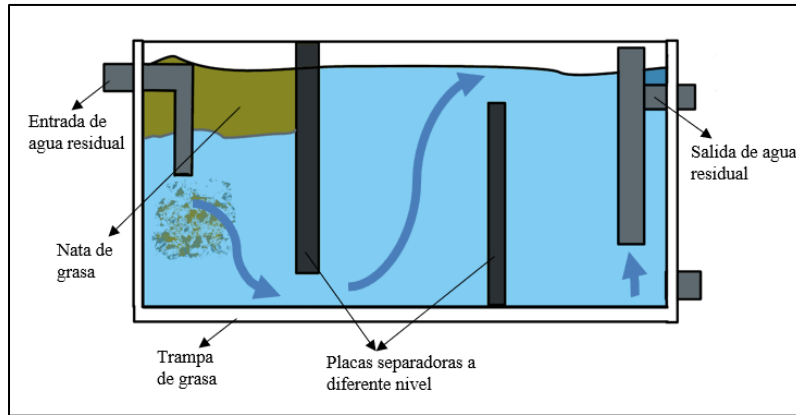
Para realizar el diseño hay que tener en cuenta, la función que va a cumplir, las cargas estáticas o dinámicas, esfuerzos y la cantidad de agua que va recibir el tanque, como también la temperatura, presión, el medio que lo rodea, ya sea el ambiente en donde va a trabajar, como los elementos que contendrá.

Para el diseño preliminar nos hemos respaldado en la Norma API 650, la cual es aplicada para el diseño de tanques cilíndricos que contienen ya sea petróleo, como productos químicos, entre otros.

En cuanto al tipo de separación al interior de la trampa, tendremos de dos tipos:

- **Primer tipo:**

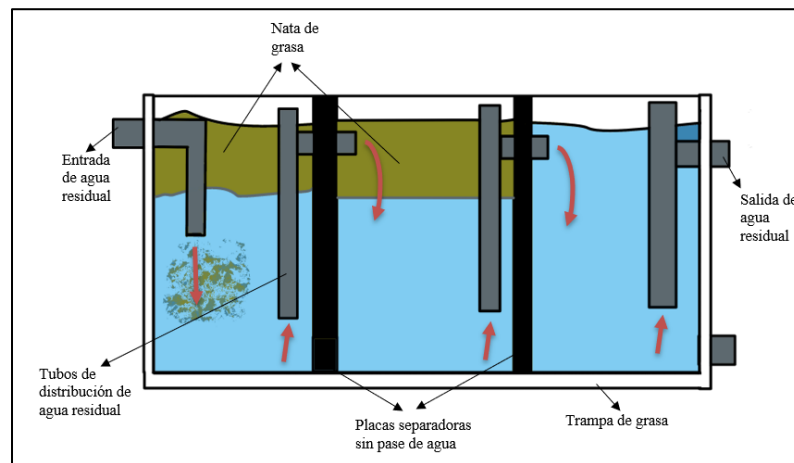
El primer tipo de distribución es mediante separación de placas, las cuales son instaladas una arriba que la otra, para que inicialmente la grasa sea atrapada por la primera distribución para que luego el líquido siga recorriendo hasta el punto de salida. Este tipo de distribución son utilizadas en trampas de grasa de la industria gastronómica debido a que en esta industria las trampas de grasa son pequeñas.[20]



**Figura 1.2.** Trampa de grasa con distribución por placas.

- **Segundo tipo:**

El segundo tipo de separación se da mediante planchas verticales compuestas por tuberías encargadas de succionar el agua residual para luego trasladarlas a una siguiente división. La cantidad división de las etapas de la trampa dependerá del caudal de agua que va a recibir la trampa de grasa.[20]



**Figura 1.3.** Trampa de grasa con distribución de planchas verticales compuestas por tuberías.

**1.3.2 Fallas mecánicas**

Las trampas de grasa son un sistema mecánico que se encarga de separar los residuos sólidos de los líquidos, recepcionando y almacenando las aguas residuales para el tratamiento

correspondiente. Existen diversos factores por los que las trampas de grasa fallan, entre las comunes tenemos:

- **Corrosión**

Las tuberías de una planta de procesamiento de harina y aceite de pescado suelen transportar grandes volúmenes de agua, las cuales contienen contaminantes como aceites y grasas que tienden a adherirse a las superficies. Estas aguas residuales aceleran el proceso de oxidación en la estructura de la trampa de grasa, a pesar de contar con un recubrimiento anticorrosivo, como se puede apreciar en la Figura 1.4. La corrosión se presenta principalmente en tres zonas. En primer lugar, en la base de la estructura, donde se acumulan las grasas y aceites, en segundo lugar, en las juntas soldadas que están en contacto con el flujo del agua en movimiento y por último en los bordes externos. (Figura 1.4) [21]



**Figura 1.4.** Zonas frecuentes corroídas una trampa de grasa.[22]

- **Deformación por cargas o esfuerzos**

El diseño de una trampa de grasa para una planta de procesamiento de una mediana empresa se realiza considerando el tamaño adecuado en relación a la cantidad de

aguas residuales generadas. En este caso, el tanque utilizado tiene dimensiones de 1.2 metros de ancho, 4.2 metros de largo y 1.2 metros de altura.

Las paredes laterales y la base de la trampa de grasa soportarán cargas generadas por los líquidos, grasas y aceites presentes en las aguas residuales. Aunque la presión interna es relativamente baja, estas cargas generan esfuerzos en las paredes laterales y la base del tanque. Para garantizar la rigidez necesaria, se deben seguir las recomendaciones de la norma API 650, que se utiliza para tanques con presiones internas de hasta 2.5 PSI y que almacenan productos derivados de petróleo o agua residual, como en este caso. Dado el tamaño de la trampa de grasa, es necesario utilizar perfiles y apoyos, como se muestra en la Figura 1.5, para asegurar la estabilidad del tanque en las caras laterales y la base.[23]



**Figura 1.5.** Tanque metálico rectangular reforzado con perfiles.[24]

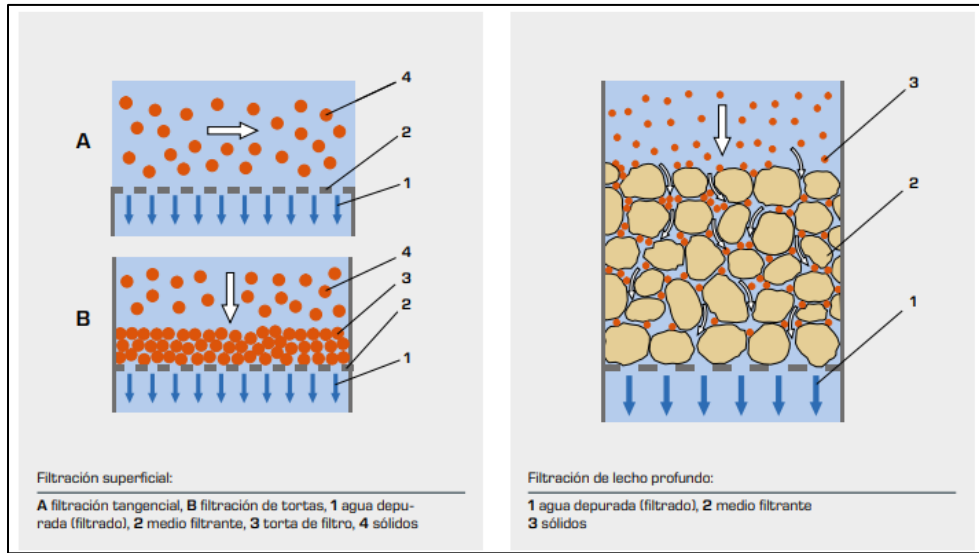
### 1.3.3 Filtración

La filtración es un proceso donde se separan partículas sólidas o solutos disueltos de un fluido mediante el paso a través de un medio poroso, como un filtro o un medio filtrante. Durante este proceso, ocurre una transferencia de masa, es decir, la transferencia de componentes del fluido a través de un medio poroso.[25]

Un filtro puede caracterizarse por ser de rápida o lenta actuación, la de rápida actuación es la que cumple una determinada función por un corto tiempo, mientras un filtro de lenta actuación son las que son instaladas para actuar en un periodo de tiempo largo, cuyas propiedades son determinadas por la composición del filtro. Entre los factores que influyen en la filtración son:

- a) Tipo de partículas
- b) El tamaño de las partículas suspendidas o en contacto con el filtro.
- c) La densidad de las partículas suspendidas.
- d) La resistencia y dureza de las partículas suspendidas.
- e) La temperatura del medio donde va actuar el filtro.
- f) La concentración de las partículas suspendidas en el afluente.
- g) Potencial Zeta
- h) El pH del afluente

Existen dos sistemas distintos de filtración: la filtración superficial y la filtración en lecho profundo. La filtración superficial se basa en el efecto de tamizado, donde los sólidos son retenidos en la superficie del medio filtrante y no penetran en él. Por otro lado, en la filtración en lecho profundo, el agua atraviesa el medio filtrante, dejando los residuos atrapados en dicho medio. Para el diseño de nuestro dispositivo, aplicaremos el principio de filtración en lecho profundo.[26]



**Figura 1.6.** Sistemas de filtración.[26]

### 1.3.4 Teorías aplicadas en la filtración

Debido a que las fuerzas que mantienen a las partículas retiradas de la suspensión adheridas a las superficies de los granos del medio filtrante son efectivas solo a distancias cortas, se suele considerar que la filtración resulta de dos mecanismos complementarios pero distintos: transporte y adherencia. En primer lugar, las partículas a remover son transportadas desde la suspensión hasta la superficie de los granos del medio filtrante. Si logran resistir las fuerzas de corte producidas por las condiciones hidrodinámicas del flujo, permanecerán adheridas a los granos. El transporte de partículas es un fenómeno físico e hidráulico que se ve principalmente afectado por los parámetros que controlan la transferencia de masa. Por otro lado, la adherencia entre partículas y granos es un fenómeno superficial que está influenciado por parámetros físicos y químicos.[27]

Dentro de la filtración contamos con diversos mecanismos de transporte como:

a. Cernido

El proceso de cernido generalmente se restringe a las capas superficiales del lecho y resulta más efectivo con partículas relativamente robustas, capaces de resistir los esfuerzos cortantes generados por el flujo a medida que se intensifica en las áreas de constricción. Hall



propone una fórmula para calcular la probabilidad de remoción de una partícula por cernido (Pr), tomando en consideración aspectos geométricos.[28]

$$\text{Pr} = \left(\frac{d}{D_c}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (1.1)$$

Donde:

d = diámetro de la partícula

D<sub>c</sub> = diámetro del medio filtrante

#### b. Sedimentación

Hazen propuso que los poros de los filtros lentos de arena funcionaban como pequeñas unidades de sedimentación para las partículas suspendidas durante el proceso de filtración, sugiriendo así la influencia de la gravedad en dicho proceso. Sin embargo, durante mucho tiempo se creyó que este mecanismo carecía de relevancia, dado que la velocidad de sedimentación de las partículas suspendidas y los pequeños flóculos era considerablemente menor en comparación con la velocidad intersticial. La sedimentación solo ocurría en zonas del lecho con baja carga hidráulica y con materiales suspendidos relativamente grandes y densos, que poseían una velocidad de asentamiento alta.[28]

La velocidad de sedimentación de las partículas se calcula por la ecuación de Stokes, representada por la siguiente ecuación:[27]

$$v_s = \frac{g (\rho_s - \rho_a) d^2}{18\mu} \quad (1.2)$$

$v_s$  = velocidad de sedimentación de las partículas (LT<sup>-1</sup>)

$g$  = aceleración de la gravedad (LT<sup>-2</sup>)

$\rho_s$  = densidad de partículas (ML<sup>-3</sup>)

$\rho_a$  = densidad del agua ( $ML^{-3}$ )

$d$  = diámetro de partículas (L)

$\mu$  = viscosidad absoluta del agua ( $ML^{-1} T^{-1}$ )

c. Intercepción

Durante el proceso de filtración, es común observar un régimen laminar de flujo, lo que provoca que las partículas se desplacen siguiendo la dirección del flujo de agua. Debido a que las partículas en suspensión tienen una densidad cercana a la del agua, pueden ser eliminadas de la suspensión cuando las líneas de corriente, en relación con la superficie de los granos del medio filtrante, se encuentran a una distancia menor que la mitad del diámetro de las partículas en suspensión.[28]

d. Impacto inercial

Cuando el flujo es bajo, las partículas siguen las líneas de flujo, pero cuando el flujo es alto y las partículas son grandes, la inercia puede hacer que la partícula siga una trayectoria diferente. Este fenómeno se llama "inercia" y puede ser importante en ciertos filtros, como los de aire. En los filtros de suspensiones acuosas, sin embargo, la viscosidad del fluido hace que sea difícil que la materia suspendida adquiera suficiente movimiento para que el impacto inercial sea significativo. En un régimen laminar, el efecto de la inercia es insignificante para partículas suspendidas con tamaños entre 0,01 y 0,10 micrómetros y densidades entre 1,00 y 2,65  $Kg/m^3$ .[29]

e. Acción hidrodinámica

La acción hidrodinámica en la filtración se refiere a la eliminación de partículas floculentas de tamaño relativamente grande (aproximadamente 10 micrómetros) debido al flujo de líquido a través de un medio filtrante. Durante este proceso, la partícula suspendida en el líquido experimenta variaciones de velocidad tangencial en dirección perpendicular al flujo, lo que provoca su rotación y genera una diferencia de presión en dirección perpendicular al flujo. Esta disparidad de presión lleva a la partícula a una región de menor velocidad, resultando finalmente en su eliminación del líquido a través del medio filtrante.

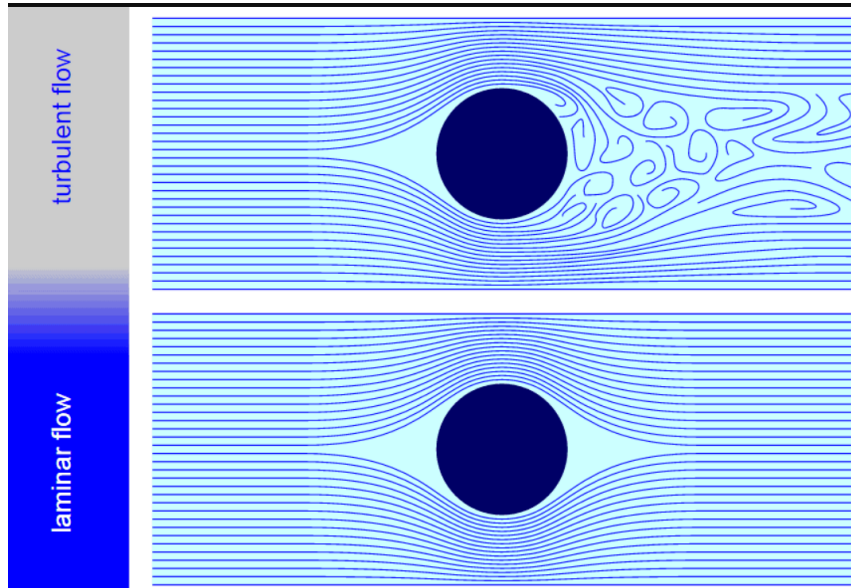
Comprender este mecanismo es crucial para optimizar el proceso de filtración en diversas aplicaciones industriales.[29]

### **1.3.5 Tipo de flujos**

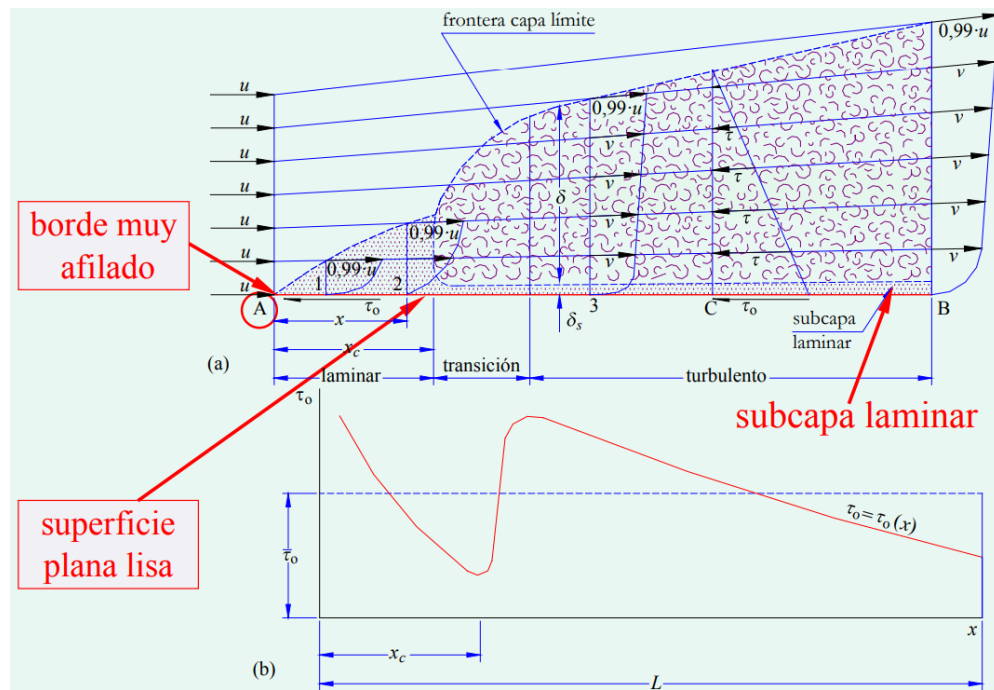
En la presente tesis tendremos el análisis de las simulaciones basados en la simulación por CFD dados a los elementos que componen el equipo de tratamiento de aguas residuales, para ello nos enfocaremos en un flujo externo.

El flujo externo es un flujo en el que las capas límite se desarrollan libremente, sin restricciones impuestas por las superficies adyacentes. En comparación con el flujo interno, los flujos de entrada y los flujos externos presentan efectos altamente viscosos confinados a “capas límite” de rápido crecimiento en la región de entrada, o a capas de cizallamiento delgadas a lo largo de la superficie sólida. En consecuencia, siempre existirá una región del flujo fuera de la capa límite. En esta región, la velocidad, la temperatura y / o la concentración no cambian y sus gradientes pueden descuidarse.

La capa límite es uno de los conceptos más importantes en la mecánica de fluidos y en los fenómenos de transporte. Se trata de una zona de un fluido, en donde el movimiento de este es perturbado por la presencia de un sólido que se encuentra en contacto con el fluido. Podemos decir entonces, que la capa límite es una zona que se encuentra entre un sólido y un fluido, en donde la velocidad del fluido, respecto al sólido en movimiento, varía según la velocidad de la corriente de fluido que no es afectada por el contacto con el sólido. La capa límite puede ser laminar o turbulenta (Figura 1.8). En cuanto al flujo laminar tendremos que las fuerzas viscosas predominan sobre las de inercia y el movimiento del fluido es ordenado, teniendo las líneas de corrientes en forma paralela. Para el flujo turbulento, tendremos un fluido irregular, un intercambio continuo de energía y masa entre capas, así mismo se presentarán fluctuaciones en la velocidad y mayor transmisión de calor asociada a una mayor agitación.



**Figura 1.7.** Flujo laminar y turbulento.  
Fuente: Tipos de flujos.[30]



**Figura 1.8.** Capa limite laminar y turbulento.  
Fuente: Capa limite laminar y turbulento [30]

## **1.4 Fundamento Matemático del CFD**

La dinámica de fluidos computacional tiene como objetivo la simulación del flujo del fluido y los procesos de transferencia de calor. Es una disciplina que emplea los métodos numéricos y algoritmos para simular y analizar el comportamiento de los fluidos en diferentes situaciones. La CFD utiliza modelos matemáticos y técnicas de discretización para dividir el dominio del fluido en una malla o conjunto de celdas, donde se calculan las propiedades del fluido en cada punto de la malla, tales propiedades son: la velocidad, la presión, la temperatura u otras variables relevantes.[31]

### **1.4.1 Estructuras de la dinámica de fluidos computacional**

La solución de un problema en dinámica de fluidos computacional (CFD, por sus siglas en inglés, Computational Fluid Dynamics) implica la secuencia de tres etapas: pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento.

En la etapa de preprocesamiento, se definen las características del problema y se establecen las condiciones iniciales y de contorno. Es importante tener un conocimiento previo del fenómeno para garantizar la validez de los resultados. Se define la geometría del dominio, se genera una malla o rejilla computacional que divide el dominio en celdas y se asignan propiedades físicas y condiciones de contorno a cada celda.

En la etapa de procesamiento, se resuelven numéricamente las ecuaciones que gobiernan el flujo del fluido en cada punto de la malla. Se utilizan métodos numéricos y algoritmos para discretizar las ecuaciones y obtener una solución aproximada. Es importante verificar la estabilidad del proceso numérico y garantizar la convergencia del proceso iterativo. La convergencia se puede evaluar en cada iteración mediante el análisis de los residuos del cálculo numérico, los cuales reflejan la conservación de las propiedades del flujo.

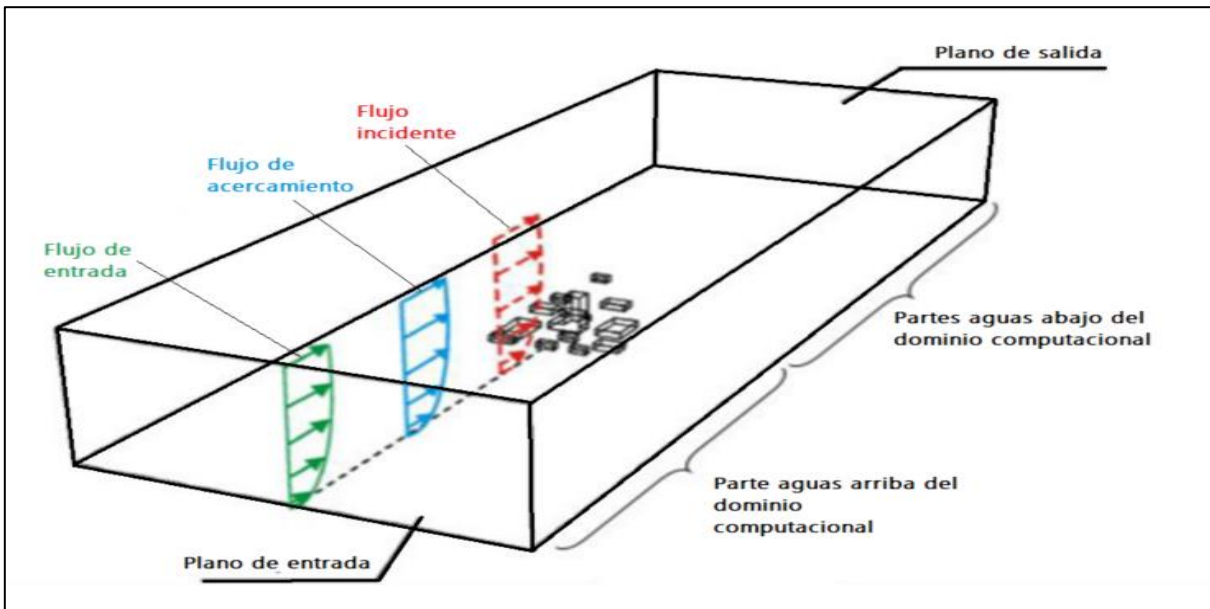
Finalmente, en la etapa de post-procesamiento, se analizan, visualizan y representan los resultados obtenidos. Se realizan cálculos adicionales, como la obtención de variables de interés, la generación de gráficas o la visualización de campos de flujo. Es importante verificar que los resultados sean consistentes y coincidan con los valores esperados en cada punto de la malla.[32]

### 1.4.1.1 Preprocesamiento

En el preprocesamiento definimos la geometría del problema, el volumen ocupado por el fluido y las condiciones de los límites, lo que implica especificar el comportamiento del fluido y las propiedades de los límites del problema.

#### A. Dominio Computacional

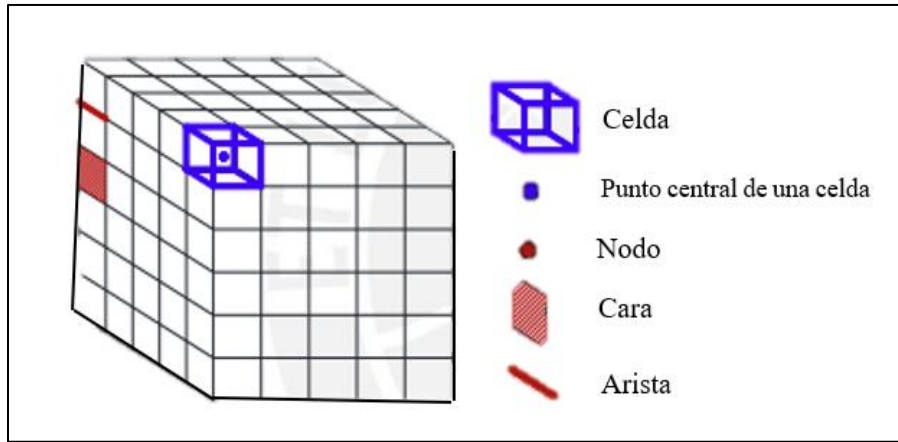
El dominio computacional representa una región, que puede ser bidimensional o tridimensional, donde se resuelven las ecuaciones que describen el flujo de fluidos. En un análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD), el primer paso es definir el dominio y sus límites, ya que esto determinará el tamaño y la duración de la simulación. Además, se establecen las condiciones de frontera durante la programación antes de proceder a obtener la geometría del dominio mediante un software CAD.[33]



**Figura. 1.9.** Dominio computacional.[34]

#### B. Mallado

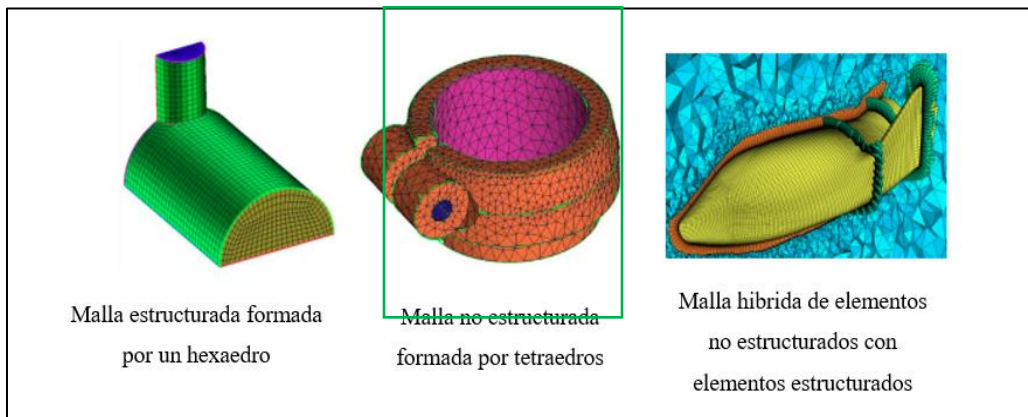
El mallado implica dividir el dominio en un conjunto de celdas, caras y nodos para determinar las variables de flujo, utilizando la metodología de los volúmenes finitos. A este conjunto se le denomina malla, y su representación se muestra en la Figura 1.10.[33]



**Figura 1.10.** Términos empleados de un esquema general de una malla.[33]

➤ **Tipos**

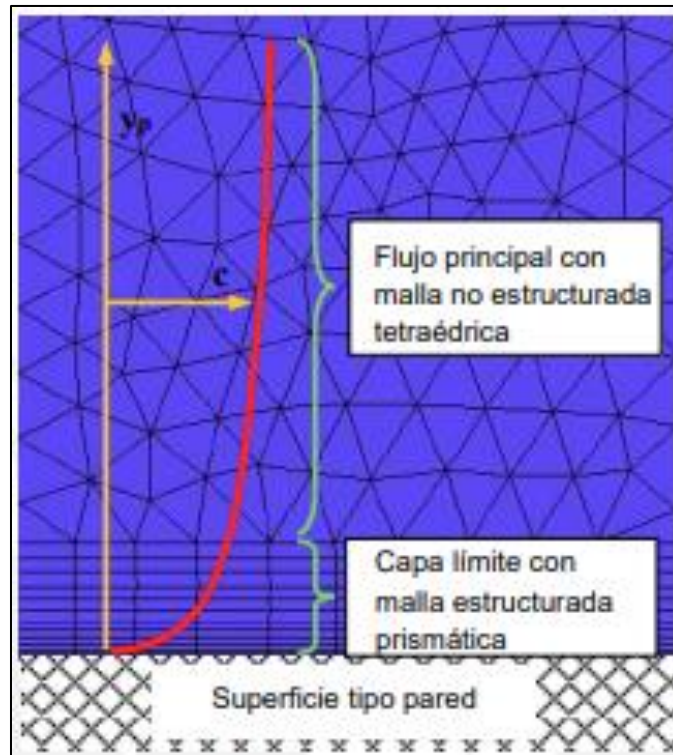
Existen tres tipos de mallas: estructuradas, no estructuradas e híbridas (ver Figura 1.11). En las mallas estructuradas, las celdas siguen una dirección preferente, mientras que, en las no estructuradas, las celdas se disponen de manera arbitraria. Por otro lado, las mallas híbridas aprovechan las ventajas de las no estructuradas para lograr un mayor detalle en menos tiempo. En este trabajo, se empleará una malla no estructurada, ya que se dividirá cada línea en 10 secciones, lo cual se espera que proporcione resultados más precisos.



**Figura 1.11.** Tipos de mallas de simulaciones CFD.[35]

En el proceso de mallado, una consideración crucial es el mallado de las superficies

tipo pared, dado que cualquier flujo próximo a una pared genera una capa límite, que afecta aspectos como la caída de presión en tuberías, transferencia de calor y fuerzas de arrastre o sustentación. Por este motivo, en simulaciones que deben tener en cuenta la influencia de la capa límite (ver Figura 1.12), es esencial utilizar celdas estructuradas y orientadas en la dirección del flujo en las superficies tipo pared. Además, el tamaño del primer elemento de malla en la capa límite adquiere relevancia, ya que determina el valor de la variable  $y^+$ . [33]

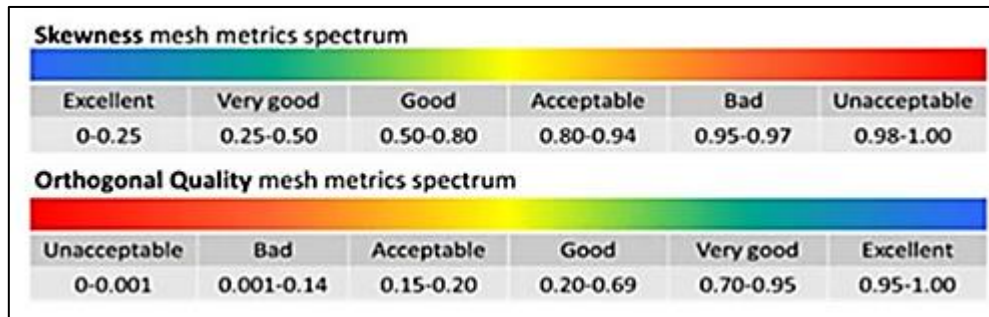


**Figura 1.12.** Mallado para capa límite con perfil de velocidades en color rojo. [35]

➤ **Calidad de mallado**

Un mallado de alta calidad es crucial para lograr resultados precisos y una convergencia adecuada en las simulaciones. Uno de los aspectos clave para evaluar la calidad del mallado es la ortogonalidad y la asimetría de la malla (Figura 1.13). Estos parámetros consideran cómo se distribuyen los elementos de la malla y si presentan desviaciones significativas de una geometría ideal. [36]





**Figura 1.13.** Parámetro de calidad de malla.[36]

Es importante tener en cuenta que una malla se compone de tres elementos fundamentales: nodos, elementos finitos y conectividad. Los nodos representan los puntos discretos en el dominio del problema, los elementos finitos son las unidades geométricas que se utilizan para aproximar las propiedades del flujo en cada región de la malla, y la conectividad establece las relaciones entre los nodos y los elementos. Al diseñar una malla, se busca lograr una distribución adecuada de los nodos y elementos para capturar de manera precisa las características del flujo y las propiedades del sistema. Esto implica asegurar que los elementos sean lo más uniformes posible, evitando distorsiones excesivas y discontinuidades en la malla. La ortogonalidad de la malla se refiere a la perpendicularidad de los elementos finitos con respecto a las superficies y fronteras del dominio. Una malla ortogonal minimiza los errores numéricos y mejora la precisión de la simulación, ya que permite una mejor aproximación de los gradientes y flujos del fluido.

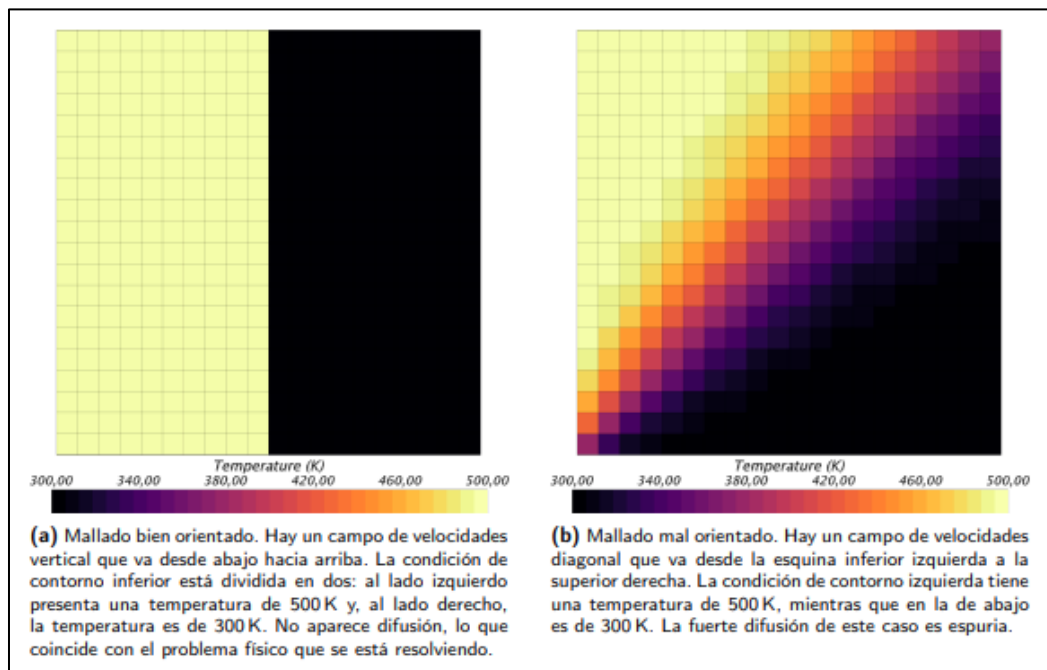
La irregularidad de la malla se refiere a la desviación de la forma de los elementos finitos con respecto a una geometría ideal, y una malla con esta característica puede introducir distorsiones en los resultados y afectar la convergencia del modelo. Para mitigar esta asimetría, se aplican técnicas de refinamiento y optimización.[37]

Para asegurar una calidad óptima de la malla, es crucial considerar los siguientes aspectos:

1. Las celdas no deben presentar deformaciones. La definición de esta deformación varía según el código utilizado, y suele medirse mediante los ángulos máximos y mínimos formados por las esquinas. Es fundamental evitar valores elevados de

deformación, siendo común un valor máximo aceptable de 0,85 para celdas hexaédricas. Es necesario consultar la definición específica y el rango típico de este parámetro, procurando que la mayoría de las celdas tenga una deformación significativamente menor.

2. Las celdas deben ser finas en las capas límites, siguiendo el criterio de tamaño basado en la distancia adimensional  $y^+$  del método utilizado. Además, deben ser pequeñas en áreas con ondas de choque, discontinuidades y gradientes fuertes. En otras partes del dominio, donde se espera una influencia limitada en la zona de interés, las celdas pueden ser más gruesas. Es esencial que las celdas estén adecuadamente orientadas según las direcciones del flujo, ya que caras oblicuas pueden generar problemas de difusión numérica elevada. Este es uno de los motivos por los cuales se prefieren mallas poliédricas sobre tetraédricas en simulaciones tridimensionales, a pesar del tiempo adicional necesario para generarlas. También se recomienda utilizar capas de celdas prismáticas con caras bien orientadas en la dirección del flujo para mallar las capas límites.



**Figura 1.14.** Malla bien orientado y uno mal orientado.[37]

### 1.4.1.2 Procesamiento

Una vez finalizado el enmallado, se procede a establecer las condiciones de contorno, como la velocidad, la presión, entre otras variables relevantes. Además, se establecen las ecuaciones gobernantes que se utilizan para describir el comportamiento del fluido, como ecuación de conservación de la masa y energía, conocidas como las ecuaciones de Navier Stokes.

#### A. Ecuaciones gobernantes

En la modelación matemática de sistemas físicos, se suelen utilizar ecuaciones de balance de cantidades conservativas o no conservativas sobre un volumen de control para calcular el flujo y acumulación de las propiedades.

Las ecuaciones de balance, también conocidas como ecuaciones de conservación, se basan en los principios fundamentales de la física, como la conservación de masa, momento y energía. Estas ecuaciones describen cómo las propiedades físicas, como la masa, el momento lineal y la energía, se transfieren y se acumulan en el sistema.

En el caso de cantidades conservativas, como la masa, la ecuación de balance se conoce como la ecuación de conservación de masa. Esta ecuación establece que la tasa de cambio de masa en el volumen de control es igual a la suma de los flujos de entrada y salida de masa, así como la tasa de acumulación de masa dentro del volumen de control.

En el caso de cantidades no conservativas, como la temperatura o la concentración de un soluto, se utilizan ecuaciones de balance similares. Estas ecuaciones tienen en cuenta los flujos de entrada y salida, así como los procesos de generación o consumo de la propiedad dentro del volumen de control.

Al resolver estas ecuaciones de balance, se obtiene un sistema de ecuaciones diferenciales parciales acopladas que describen la evolución de las propiedades en función del tiempo y la posición en el sistema físico. Para resolver numéricamente estas ecuaciones, se utilizan métodos como la dinámica de fluidos computacional (CFD), que discretiza el dominio en una malla y aproxima las derivadas espaciales y temporales.

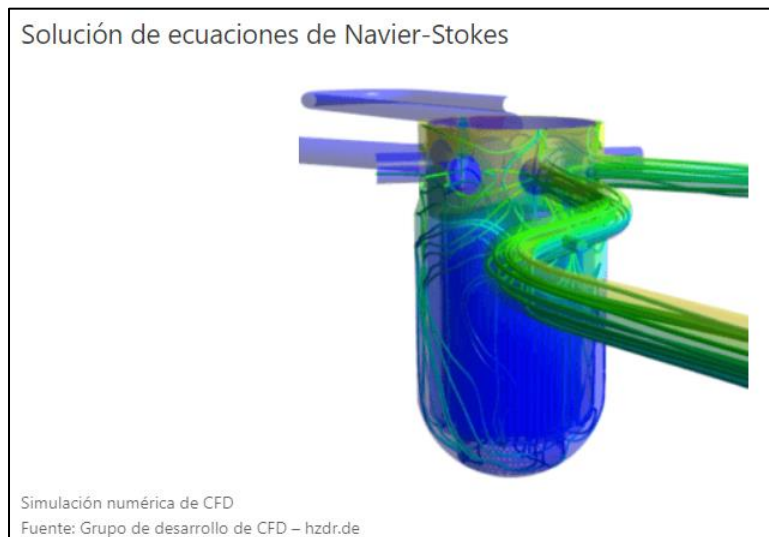
La modelación matemática y la resolución numérica de ecuaciones de balance son herramientas fundamentales en la dinámica de fluidos computacional y en el estudio de sistemas físicos complejos. Estas técnicas permiten comprender y predecir el comportamiento de los fluidos y las interacciones en diversos campos, como la ingeniería, la meteorología, la biología y muchos otros.[32]

Estructura de una ecuación de balance es la siguiente:

$$\textit{Entrada} + \textit{Generación} - \textit{consumo} = \textit{Salida} + \textit{Acumulación}$$

### **B. Ecuación de Navier Stokes**

Las ecuaciones de Navier Stokes, son ecuaciones que describen el movimiento tridimensional de sustancias fluidas viscosas, utilizadas para modelar parámetros de flujo de un fluido, como velocidad, temperatura y presión. Los contornos de velocidad pueden ser posteriormente utilizados para trazar las trayectorias de partículas que viajan a través del flujo, por lo que se pueden calcular distribuciones de tiempo de residencia. Las ecuaciones de Navier-Stokes describen el movimiento de pequeñas regiones y/o volúmenes de fluido. Estas ecuaciones surgen de la aplicación de la segunda ley de Newton para el movimiento de fluidos, juntas con el supuesto de que los esfuerzos del fluido son la suma de un término difuso viscoso (proporcional al gradiente de velocidad), más un término de presión.[38]



**Figura 1.15.** Ejemplo de simulación numérica de CFD.[38]

La forma general de las ecuaciones de Navier-Stokes en coordenadas cartesianas, para un flujo compresible es: [39]

- Ecuación de continuidad

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (1.1)$$

- Ecuación de conservación de momentum

$$\rho \cdot \frac{D\vec{v}}{Dt} = \nabla \tau_{ij} - \nabla \rho + \rho F \quad (1.2)$$

- Ecuación conservación de la energía

$$\rho \cdot \frac{DE}{Dt} + \rho \cdot (\nabla \cdot \vec{v}) = \frac{\partial \rho}{\partial t} - \nabla \rho + \rho F \quad (1.3)$$

Para obtener la Ecuación de Navier-Stokes:

$$\rho \cdot \frac{D\vec{v}}{dt} = \rho \left( \frac{D\vec{v}}{dt} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} \right) = - \nabla \rho + \theta \Delta \vec{v} \quad (1.4)$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del fluido

$\nabla$  = Operador vectorial de sistemas de coordenadas

$\vec{v}$  = Vector de velocidades

E = Energía interna

F = Fuerza

q = Fuente de calor

$\nabla \rho$  = Pérdida de calor por conducción

$\tau_{ij}$  = Tensor de viscosidad

t = Tiempo

$\theta$  = Coeficiente de viscosidad dinámica

### **C. Modelado de la Turbulencia**

La turbulencia es una característica común en muchos flujos de ingeniería, manifestándose como un movimiento caótico e irregular del fluido debido a irregularidades que se distribuyen y amplifican, creando vórtices de diversos tamaños que se generan y desvanecen. La interacción de energía desde vórtices más grandes hacia más pequeños da lugar a una cascada de energía, dividiendo los vórtices en tres escalas turbulentas: macroescala (vórtices grandes), subrango inercial (vórtices intermedios) y microescala (vórtices pequeños).

El desafío en el estudio de la turbulencia radica en su naturaleza aleatoria. En un flujo turbulento, cada variable (como la velocidad o la presión) tiene un valor medio y uno alternante. Esto conlleva a modificar las ecuaciones de conservación para los valores promedio, pero la aparición de más incógnitas requiere la incorporación de ecuaciones adicionales para resolver el sistema. Para abordar este problema, se han desarrollado modelos basados en hipótesis específicas aplicables a casos particulares, ya que no existe una teoría estadística general. Se han propuesto tres enfoques principales: la simulación numérica directa (DNS), la simulación de grandes vórtices (LES) y la simulación RANS (ecuaciones de Navier-Stokes promediadas por Reynolds).[33]

En la simulación DNS, se requiere resolver todas las escalas turbulentas, lo que implica mallas extremadamente finas y pasos temporales muy pequeños, volviendo este método impracticable para aplicaciones de ingeniería. La simulación LES aborda las escalas turbulentas grandes y modela las pequeñas, evitando la necesidad de mallas extremadamente densas y pasos temporales muy pequeños, aunque aún puede ser costosa para empresas pequeñas o medianas. El enfoque RANS implica la modelización de todas las escalas turbulentas, permitiendo mallas y pasos temporales más sencillos, adecuados para el análisis en computadoras convencionales. [33]

### **D. Modelado de Turbulencia k- $\epsilon$ estándar**

Los modelos de ecuaciones k- $\epsilon$  y k- $\omega$  son dos enfoques comunes utilizados en la simulación numérica de la turbulencia en la dinámica de fluidos computacional (CFD, por

sus siglas en inglés). Estos modelos se utilizan para describir y predecir los efectos turbulentos en el flujo de fluidos.

El modelo k-ε se basa en la descomposición de la energía cinética turbulenta en dos componentes: la energía cinética turbulenta de gran escala (k) y la disipación de energía turbulenta (ε). La ecuación k-ε se utiliza para resolver estas dos variables en función de las propiedades del flujo y las condiciones iniciales y de contorno. Este modelo asume una viscosidad turbulenta constante ( $\mu_t$ ) y proporciona una representación razonable de la turbulencia en muchos casos de flujo.[40]

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (1.5)$$

Los valores de k y ε se determinan a partir de las ecuaciones de transporte:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \rho \varepsilon + P_{kb} \quad (1.6)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{1\varepsilon} P_k - C_{2\varepsilon} \rho \varepsilon + C_{1\varepsilon} P_{\varepsilon b}) \quad (1.7)$$

donde  $P_k$  es la producción turbulenta debido a las fuerzas viscosas, mientras que  $P_{kb}$  y  $P_{\varepsilon b}$  representan la influencia de las fuerzas de gravedad. Los valores de las constantes empíricas son:[41]

$$C_\mu = 0.09, C_{1\varepsilon} = 1.44, C_{2\varepsilon} = 1.92, \sigma_\varepsilon = 1.3$$

### 1.4.1.3 Post-procesamiento

En el post-procesamiento finalmente analizamos y visualizamos los resultados obtenidos tanto en las gráficas tridimensionales como en las gráficas que pueda obtener de acuerdo al objetivo planteado en el proyecto de tesis.

#### A. Modelos y ecuaciones empleados en CFD

Gracias a los modelos en CFD, se han llevado a cabo diversos estudios en el campo de la ingeniería, especialmente en mecánica de fluidos. Estos modelos se basan en ecuaciones relacionadas con la conservación de energía, masa y momentum, además de derivadas de las ecuaciones de movimiento de Navier-Stokes. Cuando el flujo es turbulento, es necesario

promediar estas ecuaciones en un intervalo de tiempo pequeño mediante una descomposición de Reynolds. Esto proporciona ecuaciones y modelos específicos que describen la energía de turbulencia presente en el flujo.

## **B. Softwares de Diseño y Simulación**

Un software ampliamente utilizado en la simulación de fluidos es ANSYS Fluent, que ofrece soluciones validadas para una amplia gama de aplicaciones de dinámica de fluidos computacional (CFD) y multifísicas. Este software aborda desafíos de diseño complejos y ofrece diversos modelos de turbulencia según las necesidades de cada aplicación. Uno de estos modelos es el modelo k-generalizado (GEKO), que es ampliamente reconocido en la industria y utiliza coeficientes ajustables para adaptarse a diferentes regímenes de flujo.

La dinámica de fluidos computacional se aplica en diversos sectores y estudios relacionados con la química, metalurgia, hidráulica, entre otros. Permite analizar procesos con o sin transferencia de calor, como la mezcla de diferentes fluidos. El enfoque consiste en formular y resolver las ecuaciones matemáticas que rigen las tres leyes fundamentales del flujo de fluidos, discretizando estas ecuaciones para convertirlas en ecuaciones algebraicas y determinar los valores de las variables de interés.

El CFD es una herramienta informática que realiza simulaciones visuales para predecir y analizar el comportamiento del flujo de fluidos en diferentes cuerpos, ya sea internamente o externamente. Se estudian fenómenos físicos como velocidad, tensión, presión, entre otros. Su objetivo es obtener un diseño que cumpla con los requisitos necesarios, comprender el flujo de fluido e identificar fenómenos físicos y sus causas, verificando si pueden causar daños o deterioro en los equipos o accesorios. El CFD también se utiliza para analizar flujos compresibles, incompresibles, fluidos newtonianos y no newtonianos, tanto estables como transitorios, entre otros. entre otros.[42]

### **1.5 Regulaciones y Normativas**

La parte legal es un elemento esencial en el desarrollo de la tesis, ya que establece las normas y regulaciones que deben seguirse durante la producción de harina y aceite de



pescado. Estas normas y leyes son establecidas por las autoridades competentes a nivel local y estatal, y definen los estándares y parámetros de control que deben cumplirse.

### 1.5.1 Entidades vinculadas

Las entidades vinculadas a la fiscalización ambiental de las aguas residuales en el Perú son las que se muestran en la Tabla 1.

Entidades Principales
<p><b>Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento</b>                      Ente encargado de formular, normar, dirigir, coordinar, ejecutar y supervisar la política nacional de dicho sector, evaluando permanentemente sus resultados, adoptando las correcciones y medidas correspondientes.</p>
<p><b>Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS)</b>                      La entidad se encarga de garantizar la calidad del servicio proporcionado por las EPS de saneamiento. Sus responsabilidades incluyen establecer normativas, regular, supervisar y fiscalizar la prestación de servicios de saneamiento a nivel nacional.</p>
<p><b>Entidades prestadoras de servicios de Saneamiento (EPS Saneamiento)</b>                      Su objetivo principal es operar y mantener en estado adecuado los elementos de los sistemas de suministro de agua potable y alcantarillado. Están obligadas a llevar a cabo el control de los valores máximos admisibles (VMA) mediante laboratorios acreditados por INDECOPI, con el fin de aplicar las sanciones correspondientes.</p>
<p><b>Ministerio de producción (PRODUCE)</b>                      La entidad encargada de formular, diseñar, ejecutar y supervisar la política nacional y sectorial de Pesca, Acuicultura, MYPE e Industria, así como de llevar a cabo el ordenamiento en las actividades pesqueras y acuícolas, tanto industriales como de mediana y gran empresa, y la normalización industrial, es también responsable de impulsar el desarrollo sostenible de estas actividades como fuentes de alimentación</p>
<p><b>Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (SANIPES)</b>                      Encargada de normar, supervisar y fiscalizar las actividades de sanidad e inocuidad pesquera, acuícola. Siendo una de las principales entidades en fiscalizar y determinar la multa correspondiente por superar los VMP</p>

**Tabla 1.** Tabla de entidades fiscalizadoras de aguas residuales del estado peruano.[43]

Entidades locales
<p><b>APROFERROL</b>                      Creada con la finalidad de poder realizar la recolección, acopio y envío de los efluentes tratados de las Empresas Industriales pesqueras, fuera de la bahía El Ferrol, con el fin de poder mejorar las condiciones ambientales del mar de Chimbote.</p>
<p><b>SEDACHIMBOTE</b>                      Seda Chimbote S.A. es una Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento donde su jurisdicción abarca Chimbote, Nuevo Chimbote, Casma y Huarmey, responsable del control, permisos y fiscalización de aguas residuales a nivel local.</p>

**Tabla 2.** Tabla de entidades fiscalizadoras de aguas residuales del estado peruano.[43]

## 1.5.2 Reglamentos involucrados

Las entidades expuestas en la Tabla 1 cumplen su rol fiscalizador bajo diversas normativas para el control de aguas residuales, tanto para las domésticas como para las industriales, las siguientes normas o reglamentos mencionados corresponden a las no domésticas o industriales.

Concepto
<p><b>Ley N°28611 (2005) - Ley general del ambiente, Artículo 121° - Del vertimiento de aguas residuales</b> Emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales, naturales y jurídicas, siempre que dicho vertimiento no cause deterioro de la calidad de aguas.</p>
<p><b>Ley N°29338 (2009) - Ley de recursos hídricos, Artículo 76° - Vigilancia y fiscalización del agua</b> Establece medidas para prevenir, controlar y remediar la contaminación del agua y los bienes asociados a esta.</p>
<p><b>Ley N°29338 (2009) - Ley de recursos hídricos, Artículo 83° - Prohibición de vertimiento de algunas sustancias</b> Está prohibido verter sustancias contaminantes y residuos de cualquier tipo en el agua y en los bienes asociados a esta, que representen riesgos significativos según los criterios de toxicidad, persistencia o bioacumulación.</p>
<p><b>La ley N°28559 (2005) del servicio nacional de sanidad pesquera, dado por el Organismo Nacional de sanidad pesquera</b> Tiene como función velar y verificar el cumplimiento de la legislación sanitaria y de calidad en todas las fases de las actividades pesqueras y acuícolas con el fin de proteger la salud de los consumidores y usuarios, estableciendo funciones de inspección, vigilancia y control sanitario de las actividades pesqueras, emitiendo al final los certificados correspondientes de oficialidad sanitaria y calidad.</p>

**Tabla 3.** Leyes que respaldan a la normativa fiscalizadora en la industria pesquera.[43]

Concepto
<p><b>Decreto supremo N°021-2009-Vivienda – Artículo 1°</b> Se aprueban los valores máximos permitidos (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado. Esta aprobación busca asegurar un funcionamiento adecuado y sostenible de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.</p>
<p><b>Decreto supremo N°021-2009-Vivienda – Artículo 2°</b> Establece que los usuarios cuyas descargas excedan los valores indicados en el Anexo N°1 estarán sujetos al pago de una tarifa determinada por la entidad competente. Esta tarifa es adicional a las disposiciones establecidas en el reglamento de la norma actual.</p>
<p><b>Decreto supremo N°021-2009-Vivienda – Artículo 4°</b></p>

<p>Las EPS o entidades equivalentes tienen la facultad de imponer a los usuarios no domésticos un cargo adicional, de acuerdo con la normativa vigente, por exceder las concentraciones permitidas de los parámetros como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST) y Aceites y Grasas (AyG), los cuales se miden en la caja de registro de la red de alcantarillado o en un dispositivo designado para tal fin.</p>
<p><b>Decreto supremo N°021-2009-Vivienda – Artículo 7°</b>  Se aprueban los valores máximos admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado, según el Artículo 7°, que aborda el control de aguas residuales no domésticas. La supervisión de la concentración de parámetros en las descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario será responsabilidad de las EPS o entidades designadas para ello, con la participación de laboratorios acreditados por INDECOPI.</p>
<p><b>Decreto supremo N° 025 – 2005 – PRODUCE, de reglamento de Ley N° 28559</b>  Norma la actividad pesquera con el fin de promover su desarrollo sostenido como fuente de alimentación, empleo e ingresos, propiciando la modernización de la industria pesquera.</p>
<p><b>Decreto Supremo N°017-2017-PRODUCE</b>  Tal decreto aprueba el reglamento de Fiscalización y Sanción de las actividades pesqueras y Acuícolas. [44]</p>
<p><b>Decreto Supremo N°029-2019- PRODUCE</b>  Proyecto de Resolución Ministerial que aprueba el “Protocolo para el Monitoreo de Efluentes de los Establecimientos Industriales Pesqueros de Consumo Humano Directo e Indirecto”.</p>

**Tabla 4.** Normativa fiscalizadora para la industria pesquera.[43]

### 1.5.3 Fiscalización

En el Decreto N°017-2017 detallado en la Tabla 4, el Ministerio de Producción señala que todas las empresas relacionadas con la industria pesquera o acuícola tienen la obligación de ser fiscalizadas por las autoridades correspondientes del Perú. En nuestro caso, el control de descarga de aguas residuales industriales en la localidad de Chimbote dirigidas al sistema de alcantarillado sanitario está a cargo de SEDACHIMBOTE, encargada del control de aguas residuales. Esta entidad establece sus parámetros de control bajo la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento (EPS) y cuenta con diversas instituciones encargadas de regular o impedir la contaminación del agua por la descarga de aguas residuales. Tales organismos incluyen el Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (SANIPES) y la OEFA, quienes

fiscalizan el cumplimiento de las obligaciones ambientales en el desarrollo de actividades de procesamiento industrial, tal como se muestra en la Figura 1.16.

Esquema				
Actividad	Procesos		Fiscalización y sanción, ordenamiento	Fiscalización y sanción ambiental
Acuícola	Selección y acondicionamiento del medio, obtención o producción de semilla, siembra, cultivo o crianza, cosecha, procesamiento primario.	<b>Por nivel de producción:</b> <b>Mayor escala:</b> Mayor a 50 TM brutos por año.	Produce	OEFA
		<b>Menor escala:</b> Menor 50 TM a 2 TM brutos por año.	Gobiernos Regionales	Gobiernos Regionales
		<b>Subsistencia:</b> Hasta 2 TM brutos por año.	Gobiernos Regionales	Gobiernos Regionales
	Procesamiento	<b>Industrial:</b> Emplea técnicas, procesos y operaciones que requieran de maquinarias y equipos, cualquiera sea el tipo de tecnología.	Produce	OEFA
Pesqueros	Procesamiento	<b>Industrial:</b> Emplea técnicas, procesos y operaciones que requieran de maquinarias y equipos, cualquiera sea el tipo de tecnología.	Produce	OEFA
		<b>Artesanal:</b> Emplea instalaciones y técnicas simples con predominio, trabajo manual.	Gobiernos Regionales	Gobiernos Regionales

**Figura 1.16.** Imagen de tabla de fiscalización correspondiente al tamaño o tipo de empresa.[45]

El Decreto Supremo N°010-2008-PRODUCE establece los valores máximos permisibles para los efluentes de la Industria de Harina y Aceite de pescado que resultan de aplicación a los establecimientos industriales pesqueros de consumo humano indirecto. Las plantas de consumo humano indirecto deben ubicar el punto de muestreo después de la última fase de tratamiento de los efluentes y antes de su vertimiento. Este punto debe ser codificado y georreferenciado con el fin de evitar la dilución de los efluentes antes de su muestreo.[43]

La supervisión se realiza a través del monitoreo de los Límites Máximos Permisibles (LMP) según lo establecido en la Ley N°29338 (ver Tabla 3). Esta legislación define al Límite Máximo Permisible como la medida de concentración o nivel de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a un efluente o una emisión y que,

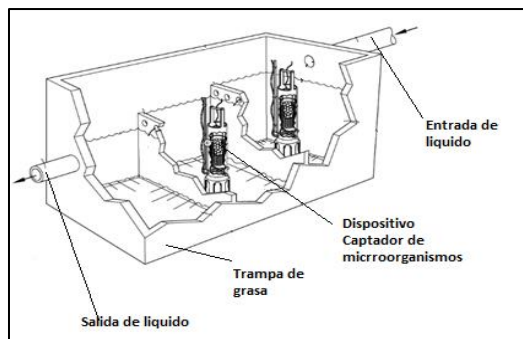
si se sobrepasa, puede ocasionar perjuicios a la salud, al bienestar humano y al medio ambiente. Los parámetros que conforman estos LMP incluyen el control de aceites y grasas, sólidos suspendidos totales, pH y la demanda bioquímica de oxígeno, detallados en la Figura 1.17.[43]

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	DBO5	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	S.S.T.	500
Aceites y Grasas	mg/l	A y G	100

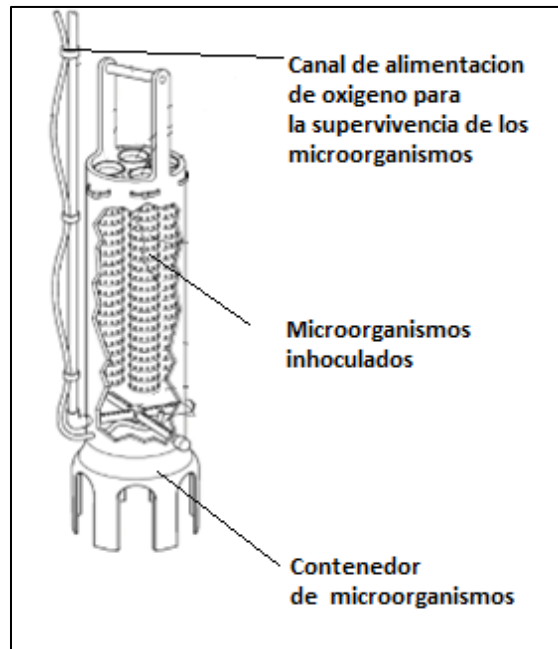
**Figura 1.17.** Límites máximos permisibles para efluentes de la industria de harina y aceite de pescado.[46]

## 1.6 Tendencias Futuras

Actualmente existen diversos dispositivos para el tratamiento de aguas residuales, como el dispositivo para la biorremediación de residuos líquidos. Este dispositivo se encuentra dentro de las trampas de grasa tal como se aprecia en la Figura 1.18, incluye un dispositivo de biorremediación que incluye un medio para formar una película microbiana y para exponer la película microbiana a un efluente para descomponer una primera sustancia transportada en el efluente y producir una segunda sustancia a partir de la descomposición de la primera sustancia. Se acopla un aireador al medio para suministrar oxígeno a la película microbiana y acelerar el efluente alrededor de la película microbiana tal como se muestra en la Figura 1.18.[47]



**Figura 1.18.** Imagen de una trampa de grasa con un dispositivo degradador de grasa residual.[47]



**Figura 1.19.** Dispositivo contenedor de microorganismos para la degradación de grasa residual líquida.[47]

## 1.7 Impacto ambiental

Las aguas residuales son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por cualquier actividad humana y que, por su composición y calidad, requieren de un tratamiento previo antes de ser reutilizadas. En el Perú se generan aproximadamente 2 217 946 m<sup>3</sup> de aguas residuales que son descargadas al sistema de alcantarillado de las empresas prestadoras de servicios de saneamiento (EPS), de las cuales solo el 32 % recibe tratamiento. El 68 % restante es considerado un foco de infección debido a la presencia de residuos médicos, pesticidas agrícolas y sustancias químicas potencialmente tóxicas para la salud, generando enfermedades, muertes de animales y plantas.[43]

En el caso de la industria pesquera, las aguas residuales que produce suelen tener un alto contenido de materia orgánica compuesta por proteínas (40-60%), carbohidratos (25-50%) y grasas y aceites (10%), así como microorganismos, cuya cantidad depende del tipo de pescado que se procesa y de la operación que se realiza. Debido al contenido de materia orgánica, se genera una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y una demanda química de oxígeno (DQO) que deben ser tratadas antes de que el agua pueda ser reutilizada.[48]

# **CAPITULO II**

## **METODOLOGÍA**

El capítulo presente se enfoca en el diseño metodológico de investigación, el cual establece la estructura de la misma y proporciona la argumentación de los conceptos metodológicos empleados en relación al tema de estudio. Esta información es fundamental para cumplir con los objetivos planteados. La metodología propuesta comienza con la recolección de información de diversas fuentes y aplicaciones técnicas relevantes al tema de estudio. A partir de esta recopilación, se procede a identificar y plantear las variables que serán objeto de estudio. En cuanto al diseño del dispositivo y del soporte, se ha elegido utilizar el software ANSYS debido a que ofrece mejores opciones de análisis y simulación en aplicaciones mecánicas. Esto permitirá realizar un estudio detallado y preciso del comportamiento del dispositivo en diferentes condiciones de carga y entorno simulación.

### **2.1 Tipo de investigación**

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, se utiliza el enfoque de investigación aplicada. Este enfoque se centra en encontrar soluciones prácticas y aplicables en el mundo real, y utiliza el método científico para diseñar y llevar a cabo estudios que tengan un impacto directo en la sociedad, la industria o cualquier otro ámbito de aplicación. Se busca utilizar el conocimiento y los resultados de investigación de manera rigurosa, organizada y sistemática para comprender la realidad.[49]

En cuanto al tipo de estudio, se trata de una investigación experimental. Este tipo de investigación se caracteriza por la manipulación de una variable experimental no comprobada en condiciones rigurosamente controladas. El objetivo es describir el modo o la causa que produce una situación o acontecimiento en particular. En el caso de este estudio, se desarrolla dentro de una planta de procesos de harina y aceite de pescado. El objetivo es realizar un análisis comparativo de diversas simulaciones realizadas en software de diseño. Se tienen variables independientes, como el medio y la velocidad del fluido, que se modifican para determinar las variables dependientes, como la posición y dimensión de los cartuchos.[50]

En resumen, se trata de una investigación aplicada que utiliza el enfoque experimental para realizar un análisis comparativo en una planta de procesos de harina y aceite de pescado, con el objetivo de comprender y determinar las variables que influyen en la posición y dimensión de los cartuchos a través de simulaciones en software de diseño.

## **2.2 Fuentes y técnicas de investigación**

Las fuentes primarias son aquellas que contienen información original y no han sido filtradas, interpretadas o evaluadas por terceros. En nuestro caso, se obtuvieron fuentes primarias de la Corporación Pesquera Hillary E.I.R.L. del año 2022, que proporcionaron datos técnicos como el tamaño de la trampa de grasa, tuberías y soportes, volumen aproximado de agua residual, métodos de limpieza de las trampas de grasa, información técnica de la planta de procesos y el calendario de mantenimiento de las trampas de grasa. También se utilizaron las normas y reglamentos establecidos por las autoridades competentes en cuanto a los valores máximos permisibles de las aguas residuales, así como la Norma API 650 para el diseño de tanques.[51]

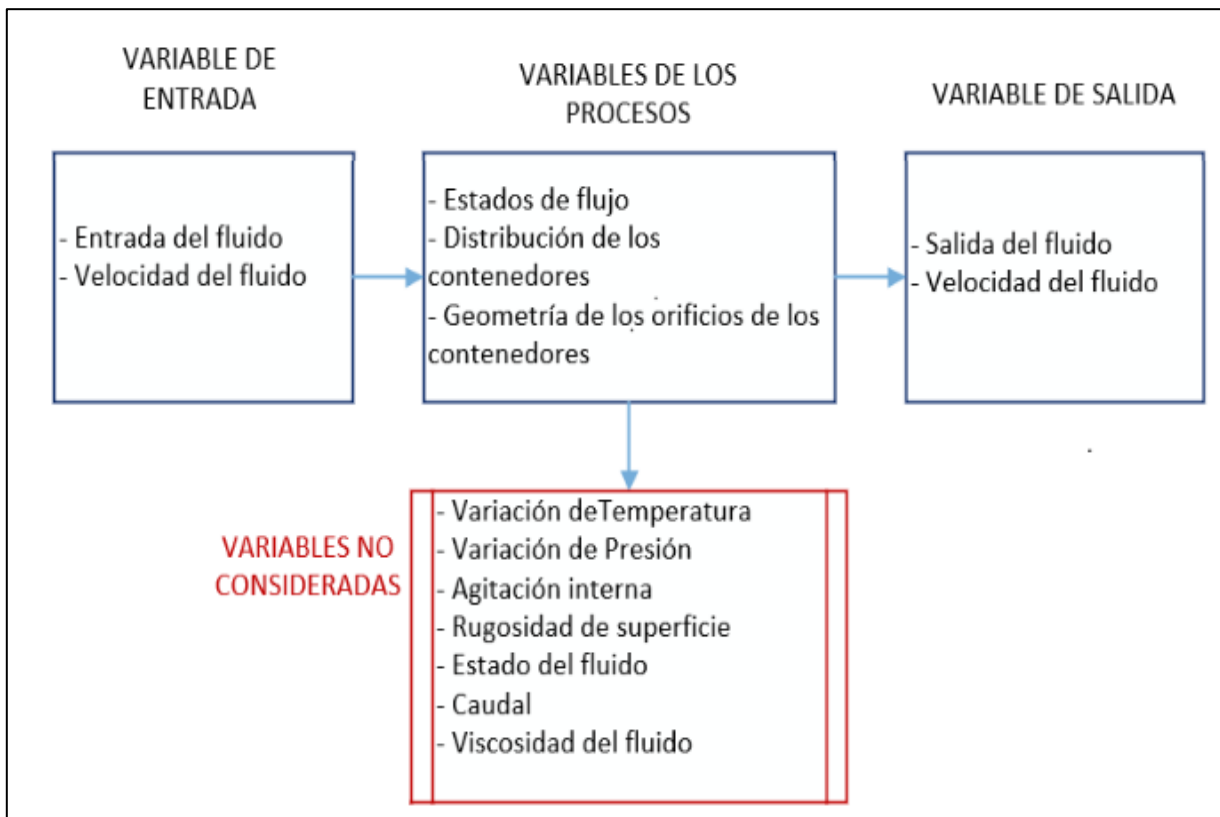
Por otro lado, se utilizaron fuentes secundarias, que consisten en información primaria reorganizada con el fin de facilitar y maximizar el acceso a dichas fuentes. Estas fuentes incluyen investigaciones publicadas, tesis de postgrado, papers y otros documentos. En el desarrollo del presente trabajo, se emplearon fuentes secundarias en gran parte del marco teórico.[51]

## **2.3 Variables de la investigación**

Bajo el concepto de variables de investigación, definimos nuestras variables en tres categorías principales: variables de entrada, variables de salida y variables del proceso. Estas variables desempeñan un papel crucial en nuestro estudio, ya que nos permiten obtener información y datos relevantes para el diseño, simulación y análisis de nuestro equipo de tratamiento compuesto por microorganismos utilizado en el tratamiento de aguas residuales en una unidad pesquera en el Perú. A lo largo del proceso, hemos variado estas variables con el objetivo de obtener resultados óptimos en términos de selección del orden, geometría y materiales que componen nuestro dispositivo. Las variables de entrada son aquellas que se



modifican o controlan en el sistema, como la velocidad del flujo, la concentración de partículas de grasa y los parámetros de operación. Las variables de salida son las respuestas o resultados que se obtienen del sistema, como la eficiencia de captura de partículas de grasa, la calidad del efluente tratado y la vida útil del equipo. Por último, las variables del proceso se refieren a las características internas del sistema, como la distribución de velocidades, la presión y la concentración de microorganismos. Al analizar y ajustar estas variables a lo largo del estudio, buscamos optimizar el rendimiento y la eficiencia de nuestro equipo de tratamiento.



**Figura 2.1.** Mapa de variables considerados para este proyecto de tesis.

- **Velocidad del fluido al interior del tanque.** - La velocidad de un fluido se refiere a la rapidez con la que el fluido se mueve en una dirección particular en un momento dado. Esta velocidad puede medirse en términos de la cantidad de fluido que fluye a través de un área determinada por unidad de tiempo, lo que se conoce como flujo volumétrico o caudal volumétrico. También se puede medir la velocidad en términos

de la distancia recorrida por el fluido en una unidad de tiempo, lo que se conoce como velocidad lineal. La velocidad del fluido puede variar en diferentes puntos dentro del mismo, dependiendo de factores como la geometría del sistema, la viscosidad del fluido, la presión y la temperatura, entre otros.[52]

Para el desarrollo de la tesis, se obtuvieron resultados en graficas bajo esta variable, donde no se involucró otro parámetro excepto la presión.

- **Geometría de agujeros de los contenedores.** – Para esta variable debemos tener en cuenta la forma y tamaño de los agujeros, el espaciado entre agujeros y el material del contenedor que tendrá los agujeros, bajo estas consideraciones verificamos los resultados en las simulaciones dadas en el software de diseño.
- **Posicionamiento.** – Una de las variables a considerar será la distribución interna de los contenedores, para poder identificar mediante el software, en qué posición es óptimo su funcionamiento, considerando factores como, el acceso adecuado para su mantenimiento, que sea de tamaño idóneo para manipulación de un operario y que pueda estar dentro de la trayectoria de flujo del agua residual con mayor contenido de porcentaje de grasas residuales. (Figura 2.11).
- **Estado de flujo.** - Los estados de flujo en la dinámica de fluidos se clasifican en función de la forma en que el fluido se mueve en un sistema. Estos estados de flujo incluyen:

Flujo laminar: En este estado, el fluido se mueve de manera ordenada y suave, en capas paralelas sin mezclarse significativamente. Las partículas del fluido siguen trayectorias ordenadas y las fuerzas viscosas dominan sobre las fuerzas inerciales. El flujo laminar se caracteriza por tener líneas de corriente bien definidas y un perfil de velocidad uniforme.

Flujo turbulento: En este estado, el fluido se mueve de manera caótica y desordenada, con remolinos, vórtices y fluctuaciones aleatorias en la velocidad y la presión. Las fuerzas inerciales son dominantes sobre las fuerzas viscosas y se producen intercambios de energía entre diferentes partes del fluido. El flujo turbulento se caracteriza por tener una mezcla intensa y un perfil de velocidad no uniforme con fluctuaciones.[53]

## 2.4 Diagrama de metodología de investigación

En el siguiente diagrama se presenta la metodología de investigación a seguir.

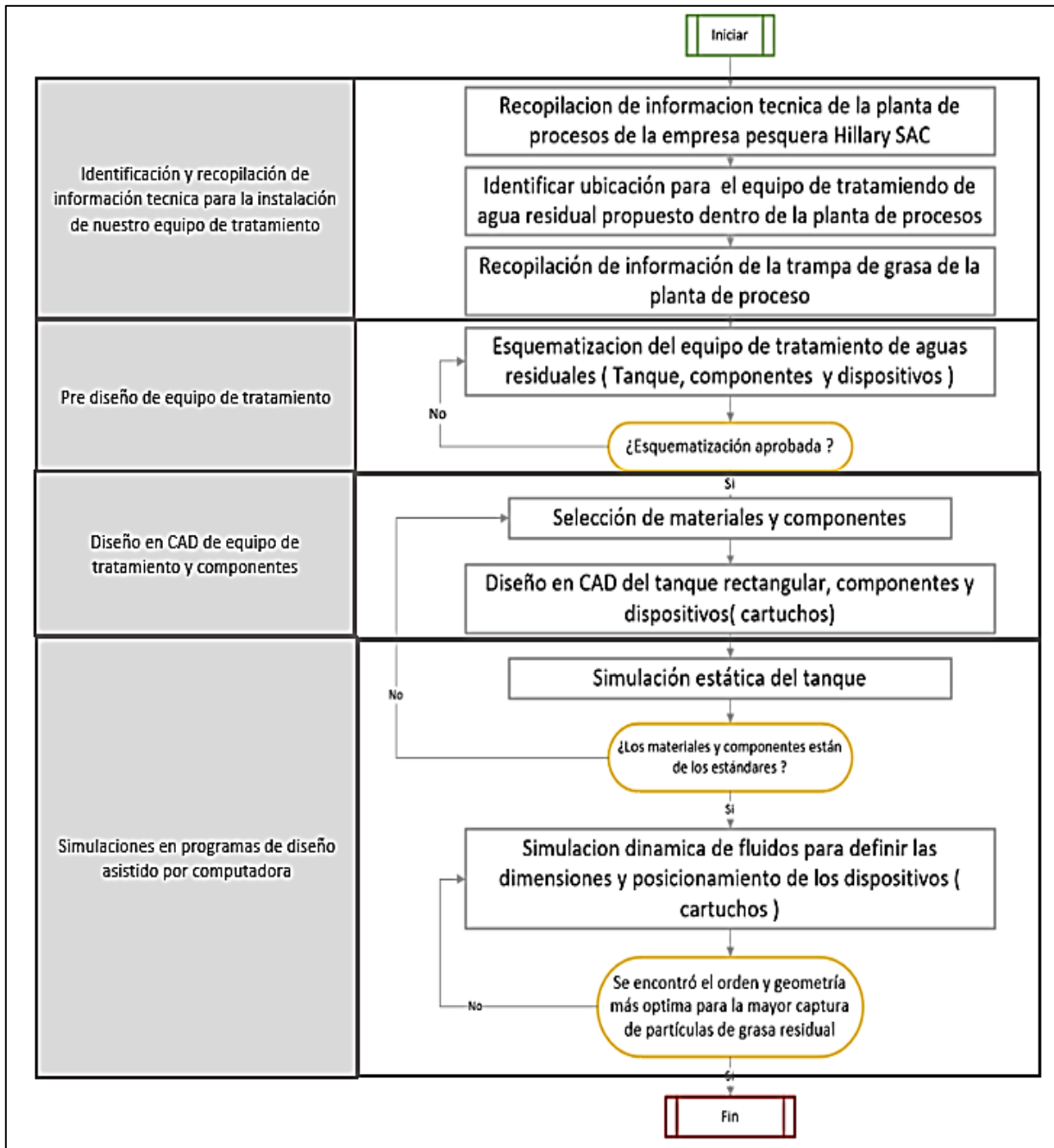


Figura 2.2. Diagrama de metodología de investigación.

De acuerdo a la Figura 2.2, para realizar el análisis de la simulación dinámica de fluidos del equipo de tratamiento, primero recopilaremos toda la información necesaria de la planta de procesos harina y aceite de pescado de la empresa pesquera, identificamos los procesos que generan mayor cantidad de aguas residuales dirigidas a la trampa de grasa y recopilaremos la información técnica necesaria para el desarrollo del diseño del equipo.

Una vez obtenida toda la información técnica necesaria (caudal, dimensiones de la trampa de grasa existente, volumen de agua, etc.), continuaremos con el prediseño, realizando un bosquejo referencial del equipo de tratamiento, plasmando la forma, tamaño y componentes principales, para luego definir los materiales y accesorios de acuerdo a la función de cada componente.

La siguiente etapa según nuestro diagrama, será llevar el bosquejo a un diseño en CAD, donde podamos visualizar cada detalle de nuestro equipo de tratamiento, así mismo podremos realizar la etapa final, que sería la simulación estática del tanque como la simulación por CFD de los dispositivos que se encuentran dentro del tanque.

#### 2.4.1 Recopilación de información técnica

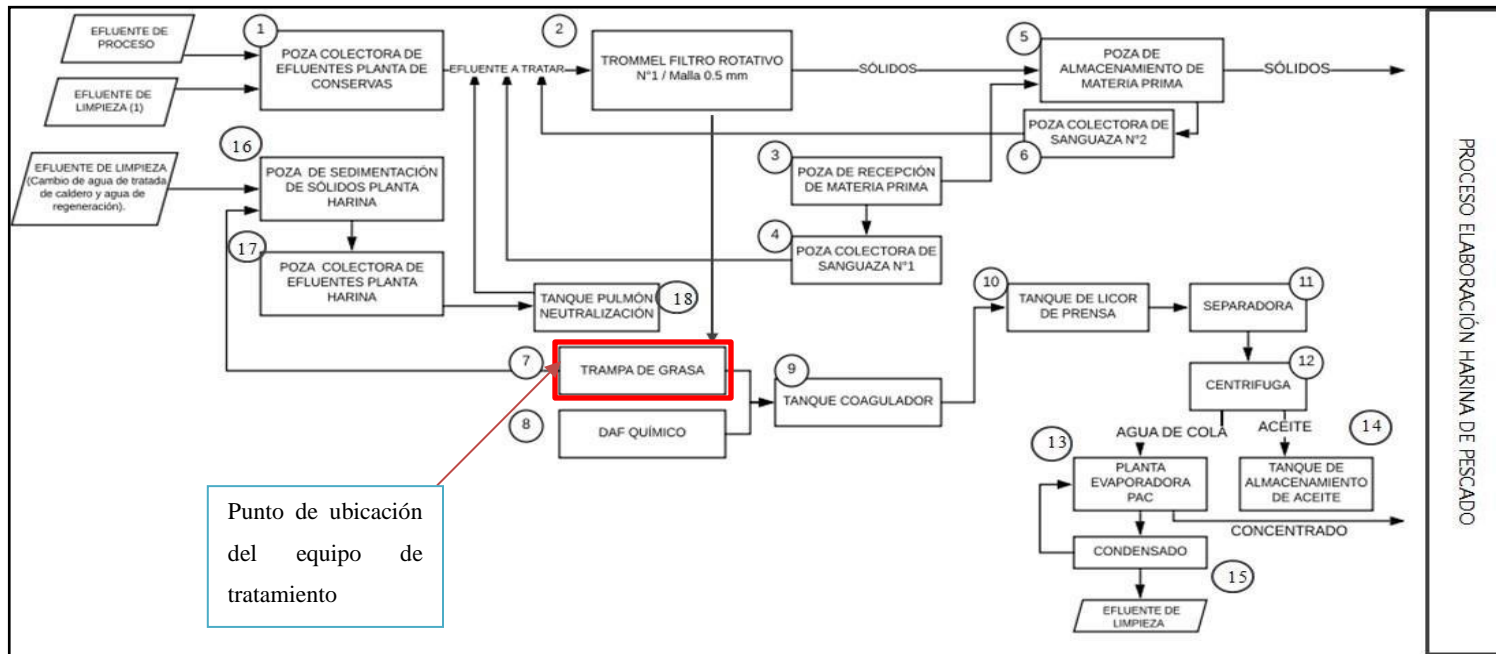
En la siguiente tabla se muestra la información técnica brindada por la Corporación Hillary S.A.C. para el desarrollo de este trabajo de tesis

Información Técnica	
Tamaño de trampa de grasa	1.2 metros de ancho, 4.2 metros de largo y 1.2 metros de altura.
Capacidad de producción de harina de pescado diario	6.5 TM
Capacidad de producción de harina de pescado anual	311.2 TM
Consumo de agua x día requerido para el funcionamiento de la planta	200 m <sup>3</sup>

**Tabla 5.**Tabla de información técnica de la corporación Hillary S.A.C.[16]

## 2.4.2 Ubicación para el equipo de tratamiento en la planta de procesos

Tal como se muestra en la Figura 2.3, es en el punto 7 donde se dará la instalación de nuestro equipo.



**Figura 2.3.** Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de efluentes de limpieza de materia prima, equipos y establecimiento industrial.[16]

Para la instalación del equipo es necesario identificar los procesos que generan las aguas residuales que van dirigidas a la trampa de grasa, estos procesos son los siguientes:

Los efluentes provenientes de la planta de Conserva caen a una canaleta de ojo chino las cuales primero convergen a una cajas de registros que en su totalidad son 5, las cuales contienen una trampa de solidos que está diseñado de material de acero inoxidable revestido con una malla de 5 mm de diámetro (los sólidos son derivados al gusano que transporta los residuos hidrobiológico para su reaprovechamiento), luego los efluentes son llevados a una poza de concreto ubicada en la planta de harina residual de pescado, que a su vez es utilizada para almacenamiento de efluentes de limpieza de ambas plantas, la misma que se encuentra implementada con una bomba sumergible, la cual bombea los efluentes industriales a los desaguadores rotativos (TROMMEL)(Figura 2.3).

El trommel de filtro rotativo esta revestido con una malla tipo Johnson de 0.5 mm de abertura, la cual tiene como función recuperar las escamas y solidos mayores de 1 mm de diámetro y se colecta con los residuos en la Poza de Almacenamiento de materia prima, la cual se realizan por inyección de agua a presión mediante toberas y de esa forma arrastrar los sólidos a la poza para continuar el proceso de elaboración de harina de pescado; la parte líquida cae por gravedad al tanque de Recuperación de Grasa (Trampa de grasa principal). Una vez que el líquido ingresa a la trampa de grasa principal es tratada para recuperar la mayor nata de grasa que será reutilizada en el proceso de harina de pescado, dirigiendo el agua tratada hacia una segunda trampa de grasa, así mismo los efluentes de limpieza (cambio de agua tratada de caldero y agua de regeneración) pasan a una poza de sedimentación donde los sólidos se sedimentan y el líquido sobrenadante pasa por rebose a la poza colectora y de pasa al tanque de neutralización, para regular el pH a límites de control aceptable para la disposición final hacia el APROFERROL.(Figura 2.3)

### 2.4.3 Recopilación de información técnica

Para la simulación tendremos en cuenta la siguiente data obtenida por la Corporación pesquera Hillary E.I.R.L.

Datos técnicos para simulación	
Velocidad de agua de entrada al tanque de tratamiento	10 a 15 m/s
Tipo de fluido	Según la información técnica brindada por la Corporación tenemos 90% liquido.

Tamaño de partículas que capturan los microorganismos	de que los	Las bacterias varían en tamaño desde aproximadamente $0,2\mu\text{m}$ hasta más de $700\mu\text{m}$ de diámetro. La mayoría de las bacterias con forma de bastón tienen entre $0,5\mu\text{m}$ y $4\mu\text{m}$ de ancho y menos de $15\mu\text{m}$ de largo, mientras que las bacterias con forma de coco tienen un diámetro promedio de alrededor de $0,5$ a $1,0\mu\text{m}$ . El tamaño de las bacterias está limitado por su volumen y capacidad para transportar compuestos dentro y fuera de la célula. Una célula bacteriana menos de $0.1\mu\text{m}$ de diámetro tiene un volumen demasiado pequeño para albergar los componentes esenciales de las células, es decir, ácidos nucleicos, proteínas y ribosomas.[54]
---	------------	---

**Tabla 6.** Tabla de datos técnicos para simulación.

Para el realiza el bosquejo de nuestro equipo es necesario tener como referencia la ubicación de trampa de grasa existente de la planta de proceso, para ello se tuvo que hacer una visita a la planta de procesos de Hillary E.I.R.L., tal como muestra la Figura 2.4, que es una vista de planta aproximada, la Figura 2.5 que muestra una vista de planta alejada para distinguir las tuberías que ingresan a la trampa de grasa.

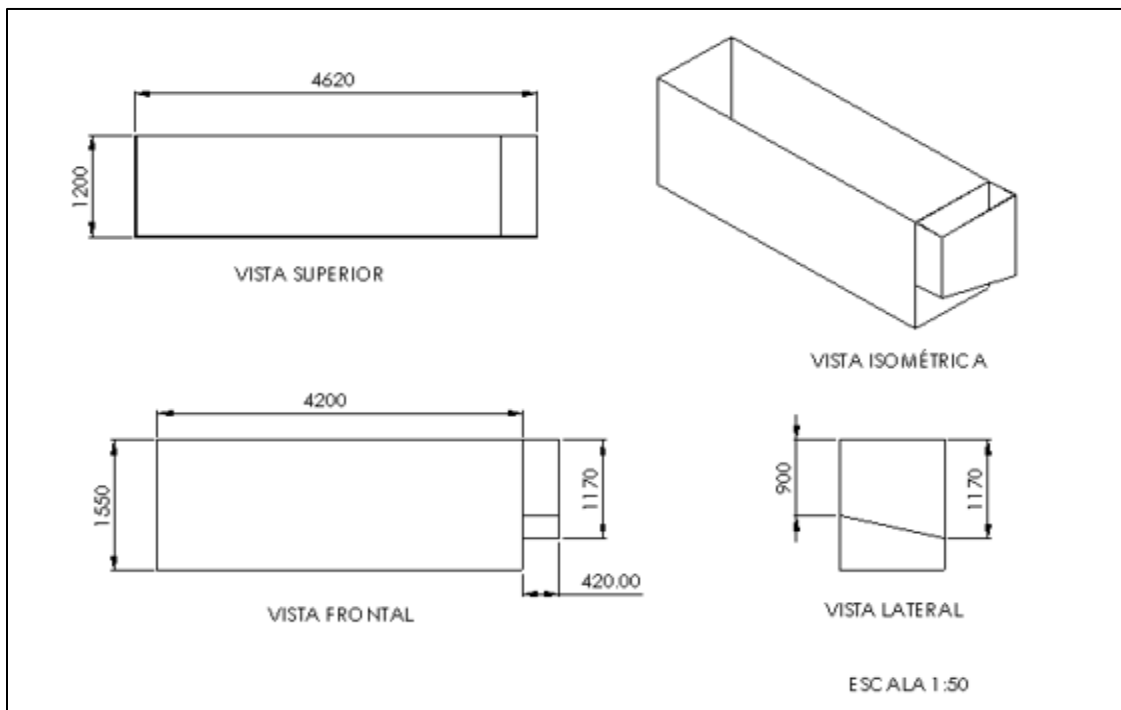


**Figura 2.4.** Tanque de trampa de grasa.[16]



**Figura 2.5.** Vista superior de tanque de trampa de grasa.[16]

Asimismo, obtuvimos las dimensiones de la trampa de grasa, usando como referencia la trampa de grasa de la planta de procesos de la empresa pesquera. Donde también identificamos las tuberías de entrada y salida.

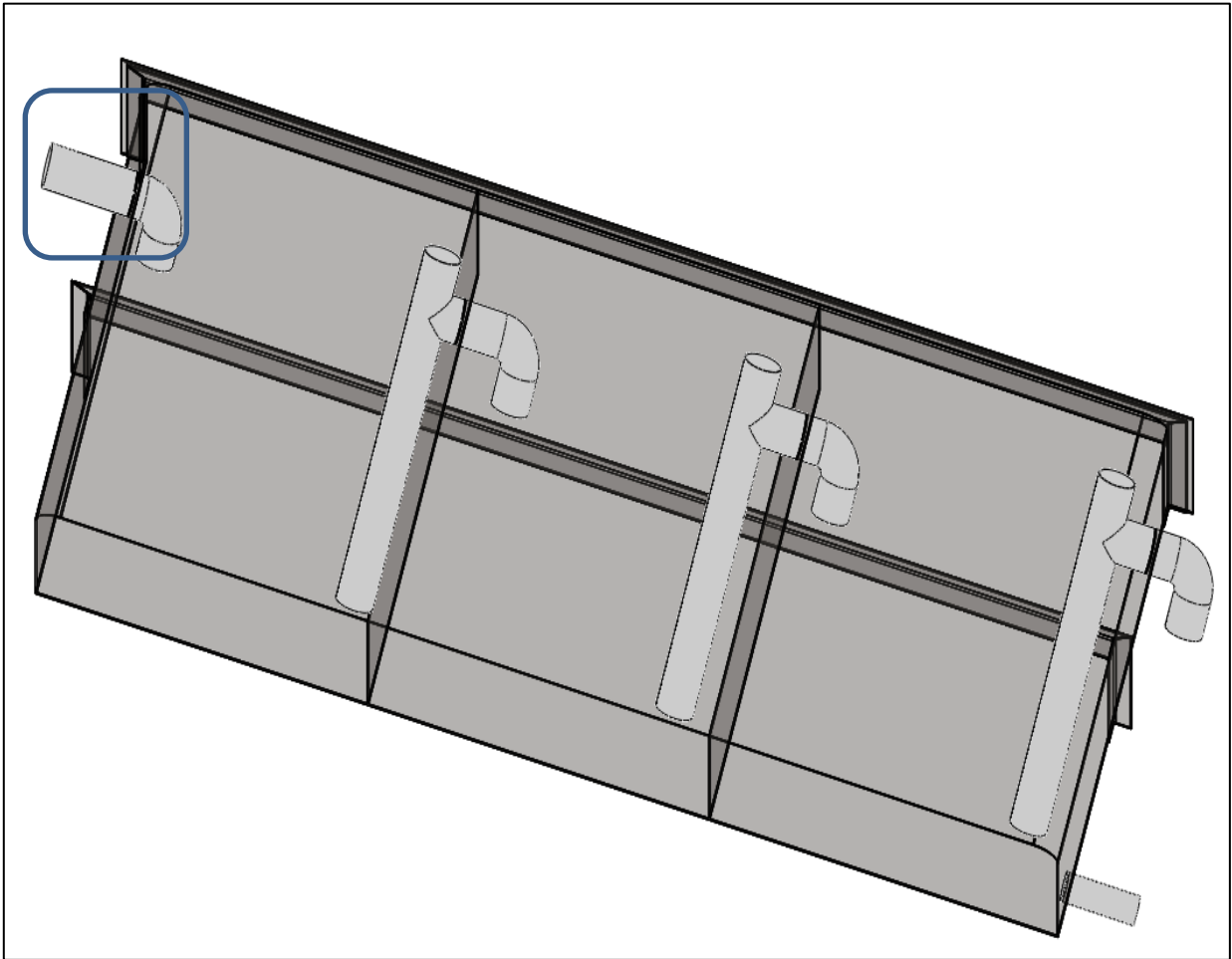


**Figura 2.6.** Dimensiones de la trampa de grasa de la planta de proceso de Hillary E.I.R.L.[16]



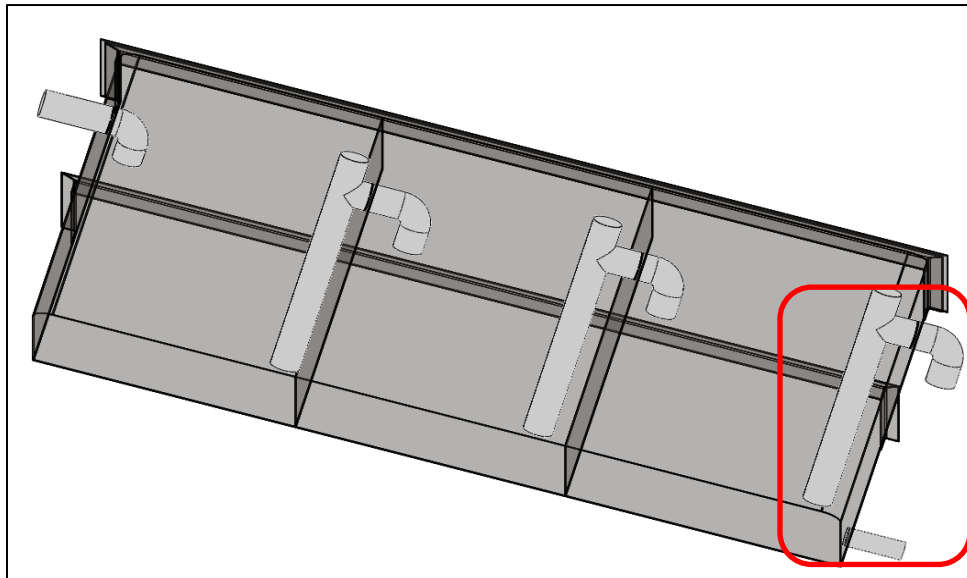
### 2.4.3.1 Tuberías de trampa de grasa

Con respecto a las tuberías que ingresan a la trampa de grasa, tenemos de dos dimensiones, de 2 ½ in para la entrada de agua, para hacer la limpieza de la trampa de grasa tal como se muestra en la Figura 2.7.



**Figura 2.7.** Tubería de 2 ½ in, para ingreso de agua.[16]

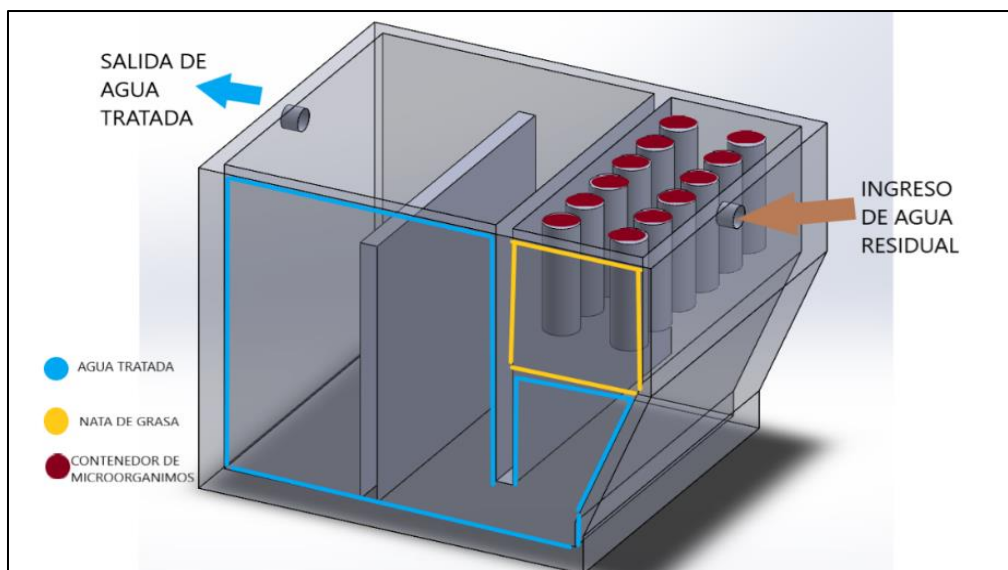
Otra tubería considerable en el diseño de la trampa de grasa, es la tubería de descarga que va dirigida a la, este tubo es de 6 pulgadas, esta tubería va dirigida al sistema residual general de la localidad.



**Figura 2.8.** Tubería de 6”de descarga.[16]

#### 2.4.4 Esquematación del equipo de tratamiento

Para realizar el diseño en CAD, es necesario realizar un esquema en borrador del diseño del equipo de tratamiento para identificar la forma y tamaño del tanque, y de los componentes que lo conforman. En la Figura 2.9 se muestra un dibujo de la trampa de grasa y de los dispositivos en el lugar donde se propone ubicarlos.



**Figura 2.9.** Imagen referencial del equipo de tratamiento.

## 2.4.5 Selección de materiales y componentes

Para llevar a cabo el diseño, es imperativo seleccionar cuidadosamente los materiales destinados al tanque, los contenedores y los soportes. Estos materiales deben cumplir con rigurosos estándares de rendimiento y durabilidad, especialmente considerando la exposición del sistema al entorno marino y al agua salina. A continuación, se presenta una tabla que detalla los materiales propuestos para cada componente del diseño.

Componente	Material
Tanque Rectangular	Plancha de 9.53 mm /ASTM A283 Grado C
Estructura para soporte de cartucho	- Angulo de 3 x 3in /ASTM A36 con revestimiento anticorrosivo - Varillas de 3/8 in / ASTM A36 con revestimiento anticorrosivo
Cartucho	Planchas plegadas de 1.2 mm de acero inoxidable ASTM A316L

**Tabla 7.** Tabla de materiales de equipo de tratamiento.[55][56][57]

## 2.4.6 Diseño en CAD del tanque y componentes

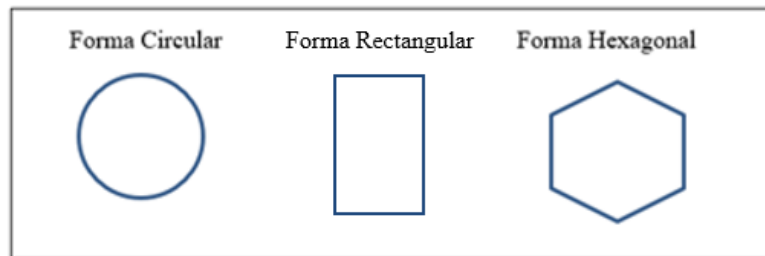
Para validar el diseño de la estructura y del cartucho contenedor de microorganismo será necesario hacer la simulación mediante el software de diseño SOLIDWORKS, tanto del tanque de tratamiento, la estructura que irá empotrada en la trampa de grasa y el cartucho que estará apoyado en esta estructura, con el fin de analizar el comportamiento estático y dinámico respectivamente.

Para el diseño del tanque es necesario tener las siguientes consideraciones:

- Se realizó el diseño del tanque, teniendo las medidas y espesores obtenidos por la empresa pesquera.
- Se realizaron las 3 divisiones al interior del tanque con la plancha del mismo espesor de las paredes laterales.
- Se realizaron los agujeros de entrada y de salida, las cuales serán empleadas para la simulación dinámica.

- En cuanto a las tuberías, se hicieron tuberías enteras sin presentar detalles como uniones (codos o conectores tipo T), por fines prácticas de simulación.

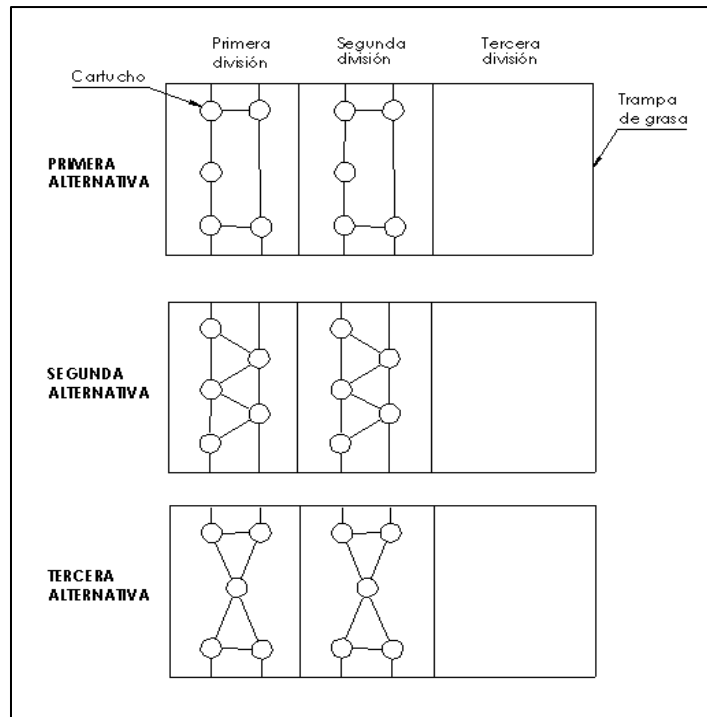
En cuanto al diseño del cartucho, estos serán de forma cilíndrica, y sus orificios serán de las geometrías que se presentan en la Figura 2.10. Cabe resaltar que a cada tipo de orificio son de las planchas plegadas que se encuentran en el mercado nacional.



**Figura 2.10.** Geometría de los orificios del Cartucho.

Para el diseño de la estructura, se presentará la propuesta de 3 formas distintas para realizar la simulación, identificando el orden más óptimo para nuestro dispositivo, para ello tendremos en cuenta las siguientes consideraciones:

- La selección de los elementos que componen la estructura será de acuerdo a la función y carga.
- Tres alternativas propuestas para la posición de los cartuchos son los que se muestran en la Figura 2.11.



**Figura 2.11.** Alternativas propuestas para la simulación de la ubicación de los cartuchos.

## 2.5 Simulación computacional

Las simulaciones computacionales son utilizadas actualmente para mejorar el proceso de diseño de un proceso o equipo, que permite a los ingenieros visualizar el funcionamiento, permitiéndoles hacer configuraciones de acuerdo a las necesidades requeridas. Así mismo, al realizar una simulación computacional podríamos obtener diversas ventajas, como:

- Se obtiene un menor costo a comparación del uso de pruebas físicas, experimentales y pruebas para obtener los datos esenciales de ingeniería para el diseño.
- Se pueden ejecutar en un corto periodo de tiempo.
- Proporciona flexibilidad para variar y/o cambiar los parámetros de diseño sin tener la necesidad de hacer cambios en todo un sistema.
- La capacidad de simular condiciones reales de flujo; es decir, cualquier condición física.
- Permite al ingeniero analizar diversos datos ligados a diversas propiedades que, a diferencia de los experimentos, solo se pueden obtener datos limitados.

### **2.5.1 Simulación estática**

Para validar un proyecto de diseño en las etapas iniciales, se recomienda hacer simulaciones estáticas para verificar y analizar los resultados del diseño que se está creando. Por ello, realizaremos dos simulaciones estáticas principales, al tanque y a la estructura que soportan los cartuchos.

La simulación se dará mediante los pasos dados en análisis estático por Static Structural de ANSYS, en el que recomienda lo siguiente:

1. Inicialmente seleccionamos el material del elemento.
2. Colocamos las condiciones, tales como las cargas a las que será sometido el elemento.
3. El mallado, el cual es un paso importante porque definirá la precisión de la simulación, entre más fino sea el mallado, mayor exactitud habrá en los resultados.
4. Luego de haber colocado los pasos anteriores sin problema alguno, corremos la simulación.

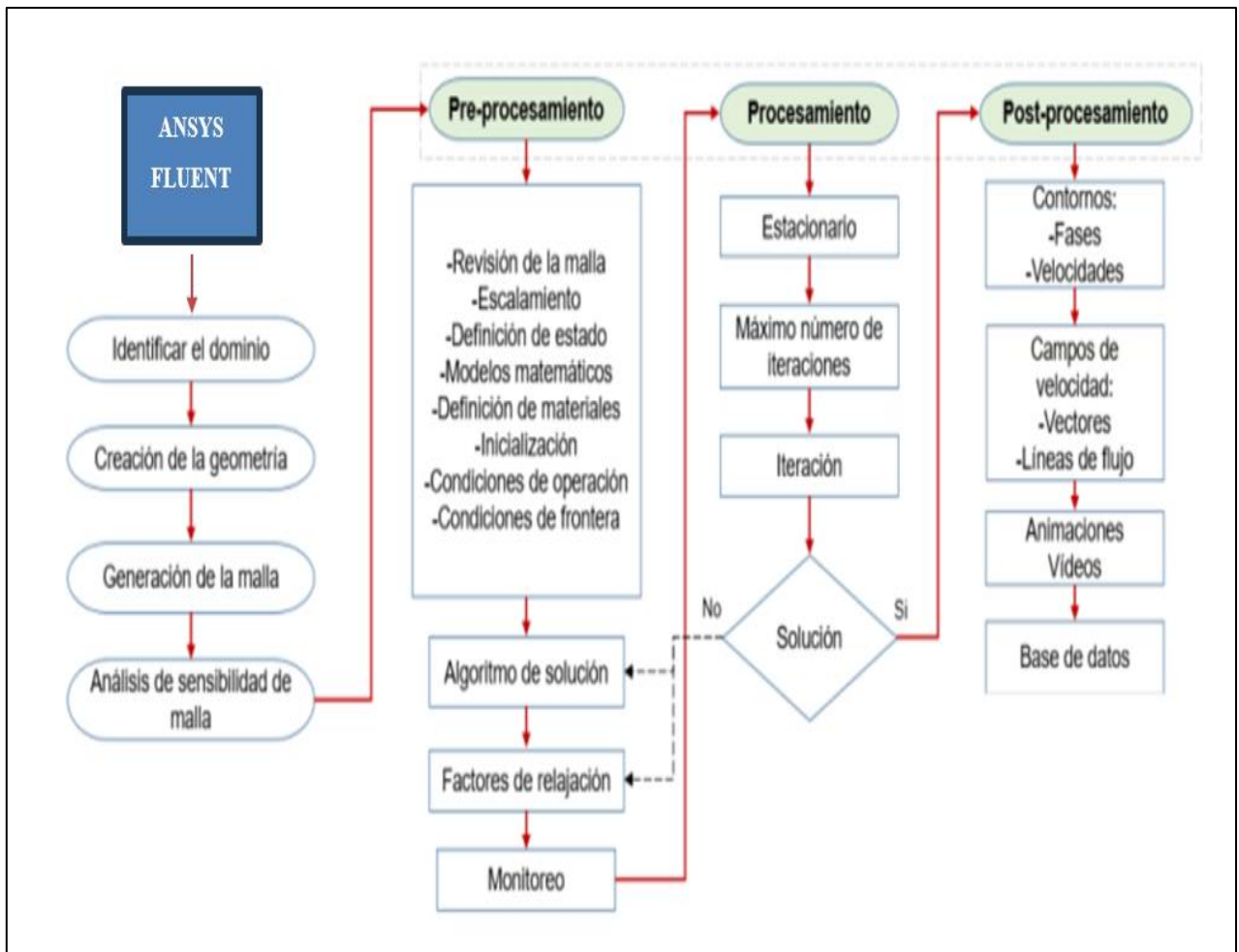
Luego de someter los pasos correspondientes obtendremos resultados que nos han determinado el comportamiento de nuestro elemento o estructura analizada, como son las tensiones, desplazamientos y deformaciones [58].

### **2.5.2 Simulación de fluidos por CFD**

En cuanto a la simulación por dinámica de fluidos, realizamos la simulación al equipo como tal, mostrando el ingreso del líquido al tanque de tratamiento de aguas residuales, pudiendo observar y analizar el comportamiento de nuestros dispositivos, tabulando de esa manera, el tamaño y orden en el que los dispositivos cumplen la función de retener mayores partículas de grasa.

La utilización de herramientas de apoyo como ANSYS Fluent en la dinámica de fluidos computacional es esencial para este proyecto. Este software facilita el modelado dinámico de fluidos (ya sea gas o líquido) con configuraciones de entrada y salida. Además, permite la asignación de reacciones básicas para comprender el comportamiento de diversas composiciones e incluso optimizar equipos. Para una correcta simulación es recomendable seguir el orden que te brinda el mismo programa, tal como se muestra en la Figura 2.12 donde

se da primero la geometría del elemento, luego el mallado, las condiciones de la simulación, la solución y análisis de resultado. Con respecto al mallado, es recomendable que la pieza o ensamble no presente muchos componentes a detalle, ni tener formas como curvas en el diseño de la pieza que no sean relevantes para la simulación. Dependerá del tamaño del mallado, el tiempo que tardará la simulación. En cuanto a la consideración para la configuración de la ejecución del programa, es necesario tener en cuenta que solo habilitaremos y aplicaremos aquella propiedad que serán principales para nuestro objetivo; es decir, que ejecutaremos de acuerdo a las propiedades que trabajaremos, en nuestro caso, caudal, velocidad del fluido y presión, la temperatura no será una propiedad relevante para nuestro análisis.



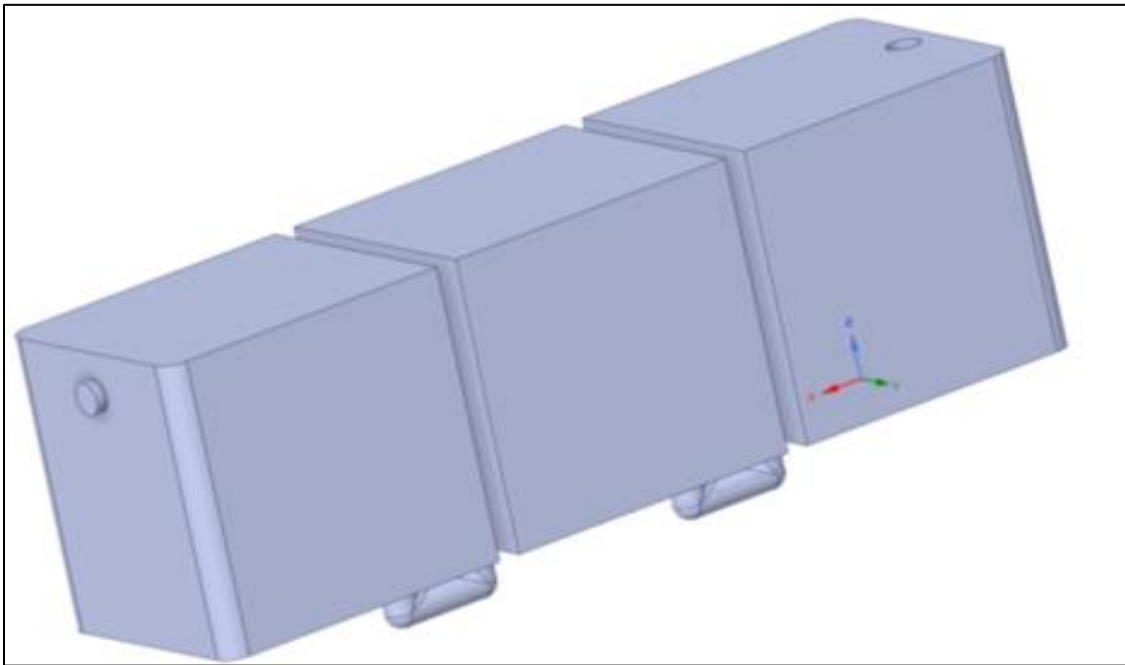
**Figura 2.12.** Pasos para la simulación en ANSYS FLUENT.[59]

## 2.5.2.1 Simulación de fluidos del tanque

### 2.5.2.1.1 Geometría de elementos a analizar

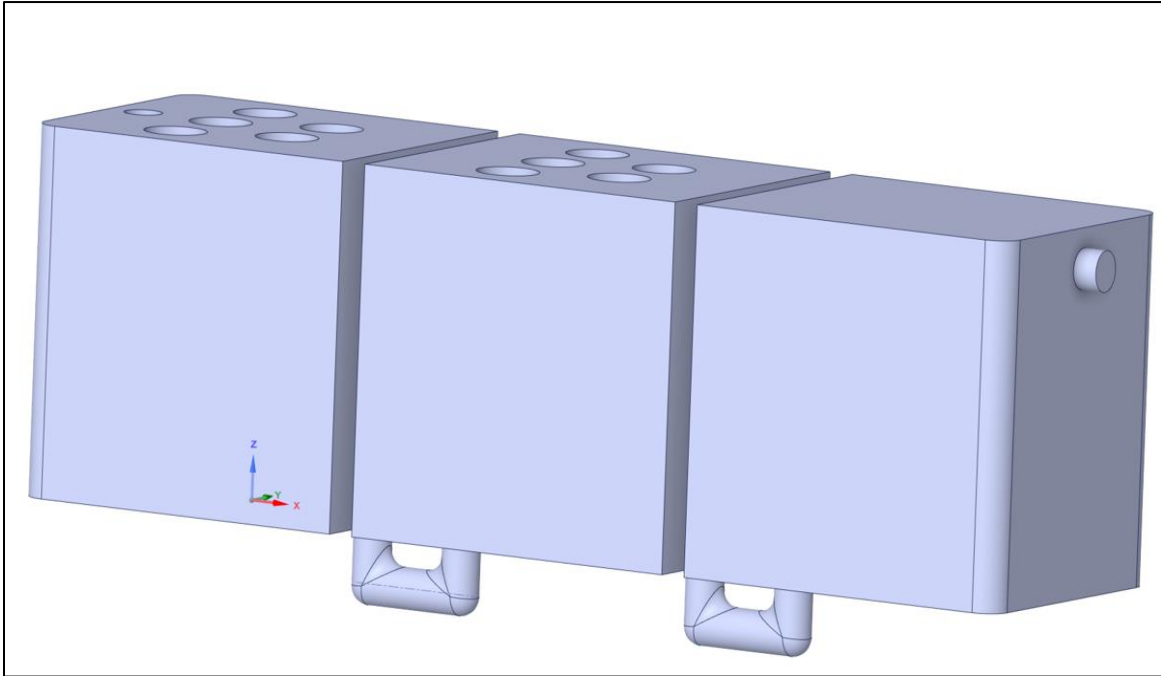
De acuerdo a la Figura 2.12, para realizar la simulación en el ANSYS Fluent, primero se tiene que hacer la geometría, por ello hicimos la geometría del tanque bajo las medidas dadas por la corporación pesquera en escala 1:1. Cabe resaltar que la forma es de acuerdo al área por donde circulo el fluido.

La Figura 2.13, representa a la geometría del tanque sin ninguna alternativa, la cual será empleada como patrón para comparar con las tres alternativas planteadas tal como se muestran en las figuras 2.14, 2.15 y 2.16.

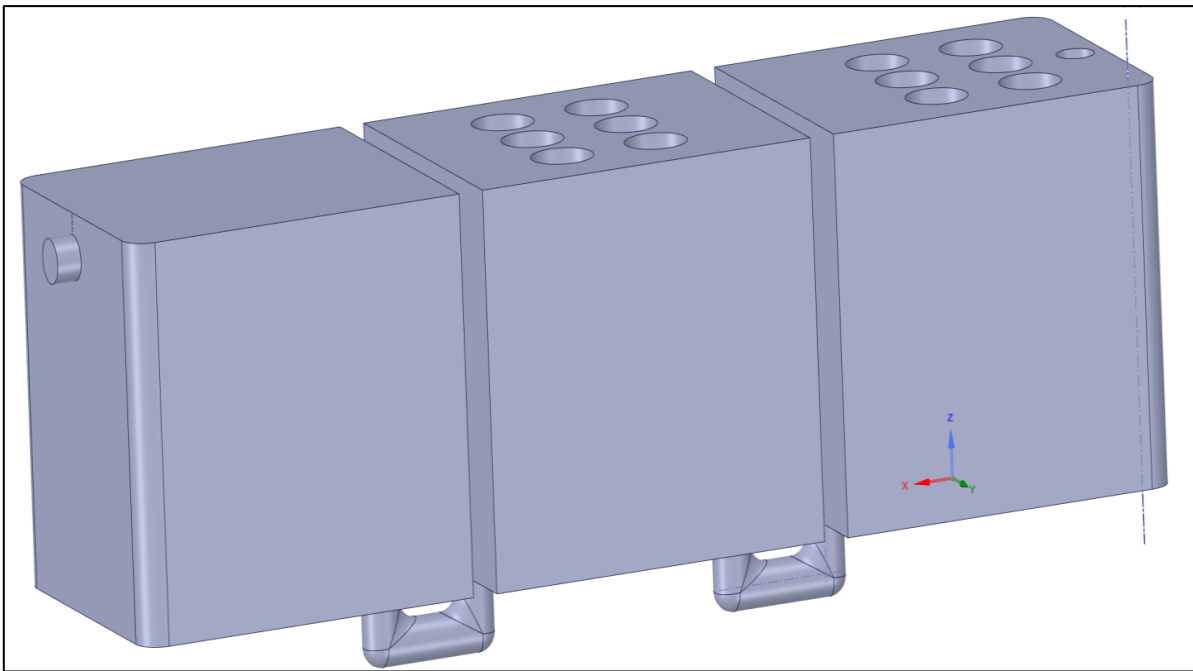


**Figura 2.13.** Geometria del tanque para simulación de fluidos.

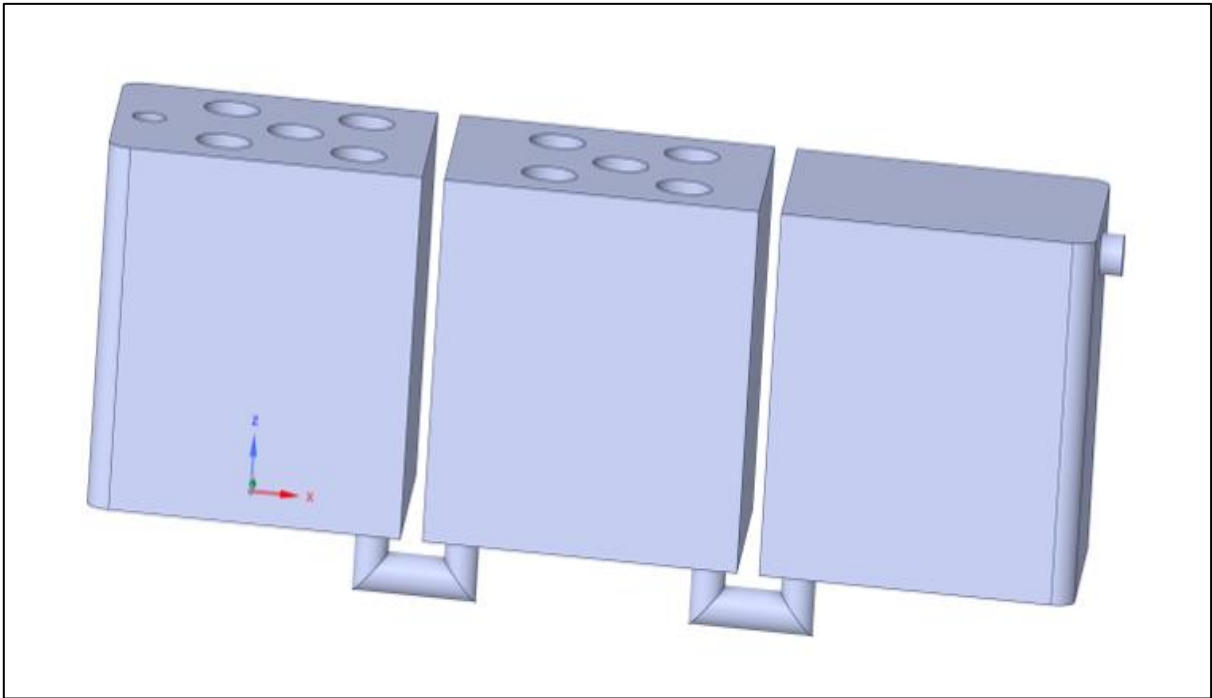




**Figura 2.14.** Geometría del tanque para simulación de fluidos, primer orden propuesto.

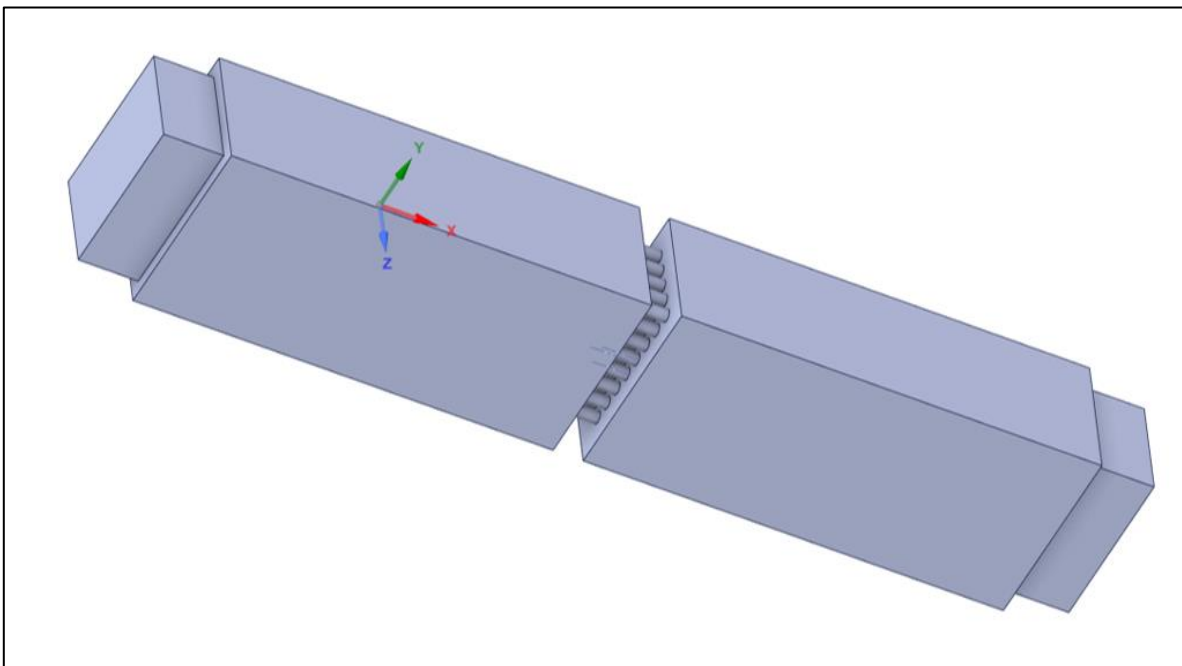


**Figura 2.15.** Geometría del tanque para simulación de fluidos.

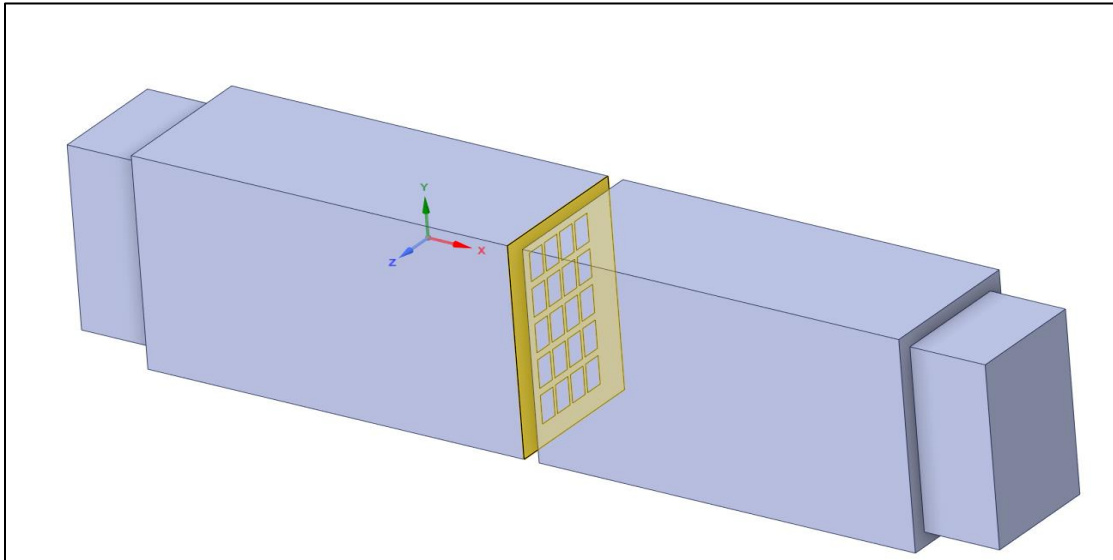


**Figura 2.16.** Geometría del tanque para simulación de fluidos.

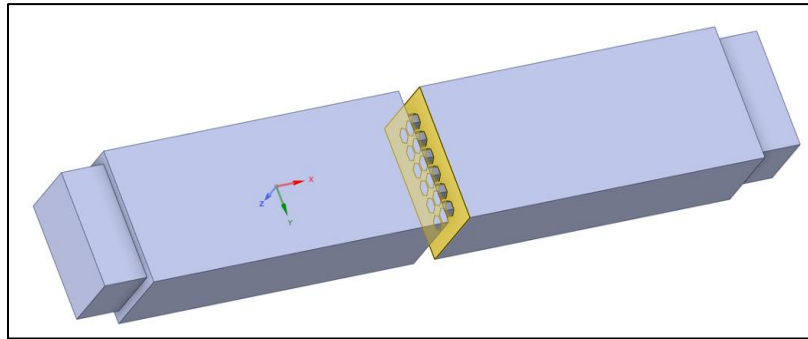
Así mismo tenemos la geometría para los tres orificios geométricos planteados, los circulares en la Figura 2.17, los agujeros rectangulares en la Figura 2.18 y hexagonales en la Figura 2.19.



**Figura 2.17.** Geometría de los agujeros circulares.



**Figura 2.18.** Geometría de los agujeros rectangulares.

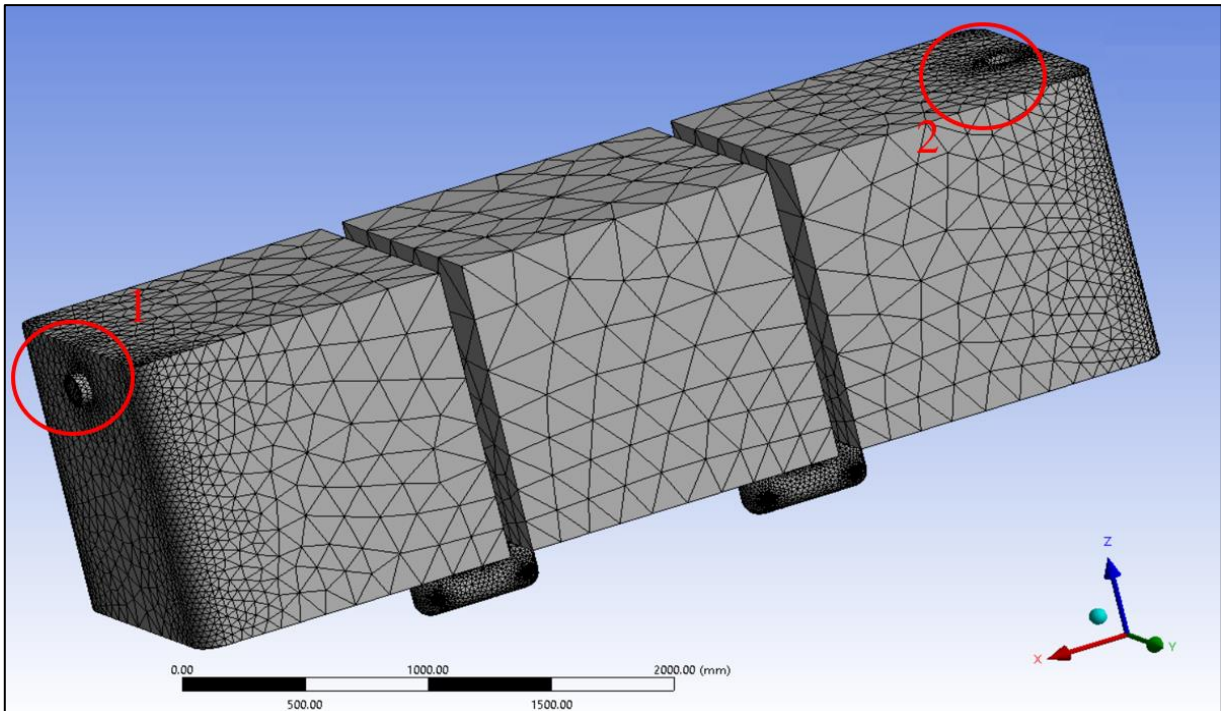


**Figura 2.19.** Geometría de los agujeros hexagonales.

#### 2.5.2.1.2 Mallado de elementos

Después de crear la geometría, procederemos a realizar el mallado en el tanque patrón y en las tres alternativas propuestas. Para ello, seleccionaremos la opción "INFLATION" dentro de las opciones de mallado. Este método se utiliza para obtener un mallado mucho más detallado, como se puede apreciar en la Figura 2.20, 2.18, 2.19 y 2.20. Se tendrán capas en las entradas (punto 1) y salidas (punto 2) de nuestro diseño, lo que nos ayudará a obtener resultados más precisos en el estudio del fluido y su comportamiento dentro del tanque.

También utilizaremos un tipo de malla tetraédrica en lugar de hexaédrica, lo que reducirá el tiempo de simulación computacional.

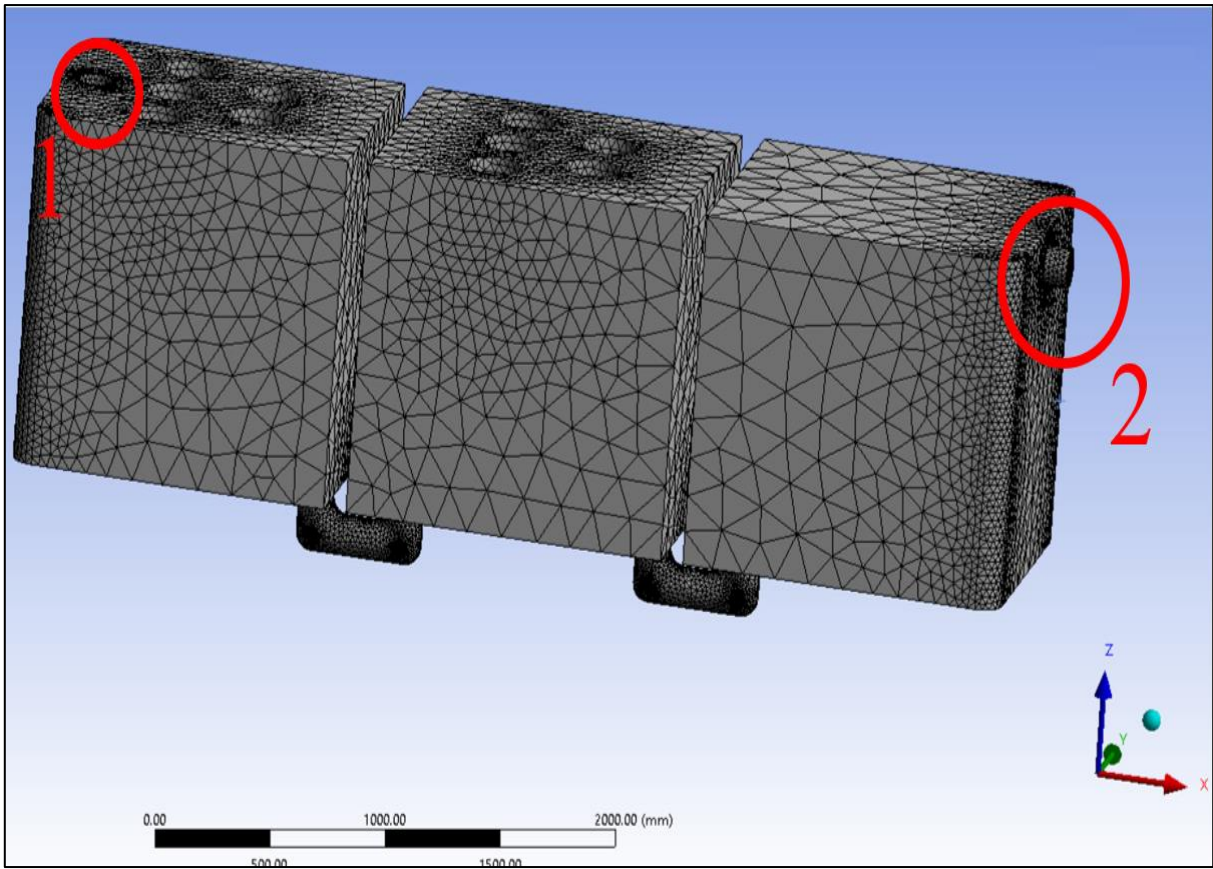


**Figura 2.20.** Mallado de tanque para simulación por CFD.

Detalles del mallado para el tanque patrón se presentan en la siguiente tabla.

Detalles de mallado	
Tipo de elemento	Tetraédrica
Método de mallado	Inflation
Tamaño de elemento	245 mm
Cuadro delimitador diagonal	4904.3 mm
Longitud mínima del borde	239.78 mm
Nodos	55909
Elementos	164229

**Tabla 8.** Tabla de resultado de mallado de tanque de tratamiento.

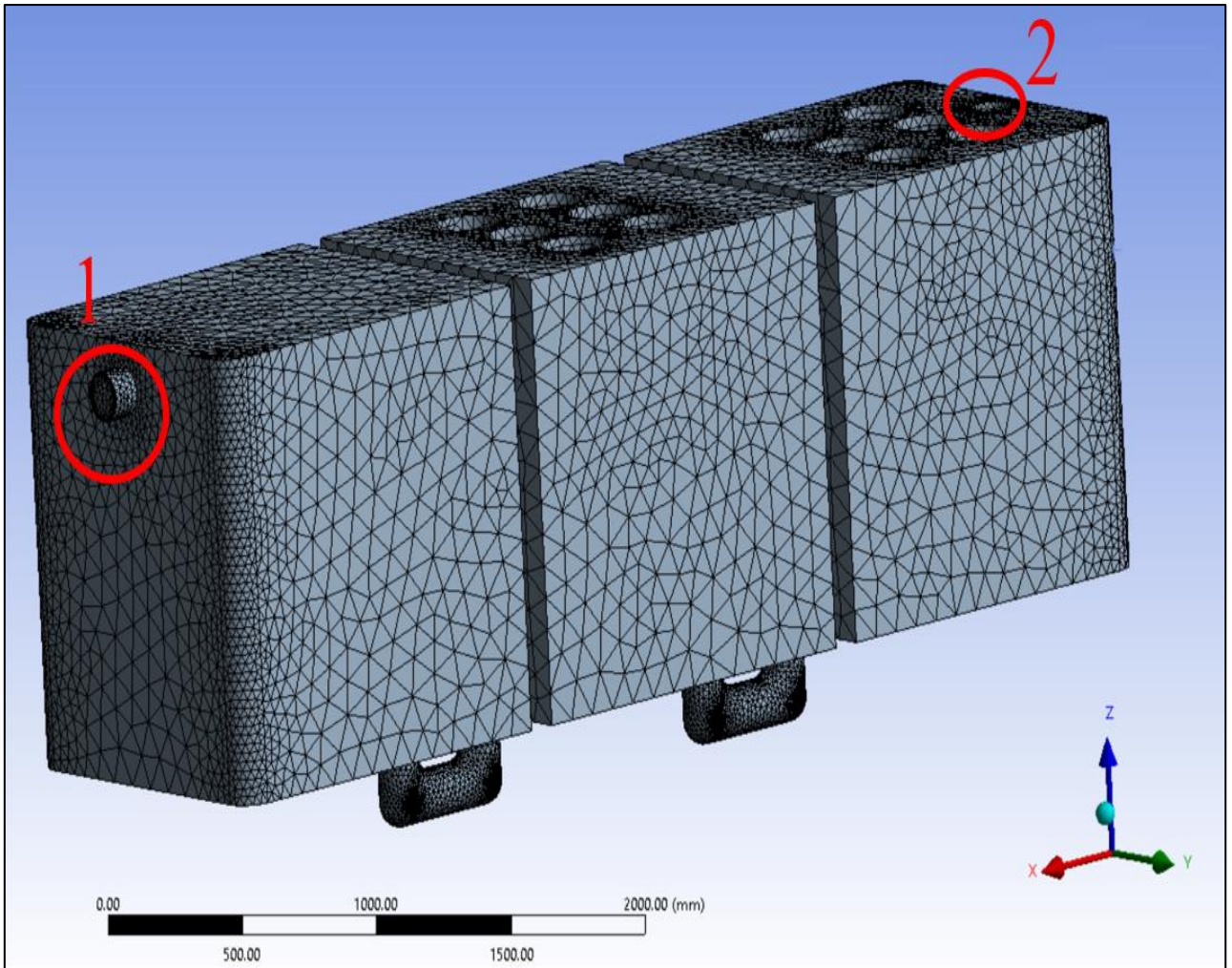


**Figura 2.21.** Mallado de tanque para primera alternativa para simulación por CFD.

Los detalles del mallado para la primera alternativa son los siguiente, mostrados en la siguiente tabla.

Detalles de mallado	
Tipo de elemento	Tetraédrica
Método de mallado	Inflation
Tamaño de elemento	247 mm
Cuadro delimitador diagonal	4949.7 mm
Longitud mínima del borde	239.78 mm
Nodos	93234
Elementos	277389

**Tabla 9.** Tabla de resultado de mallado.

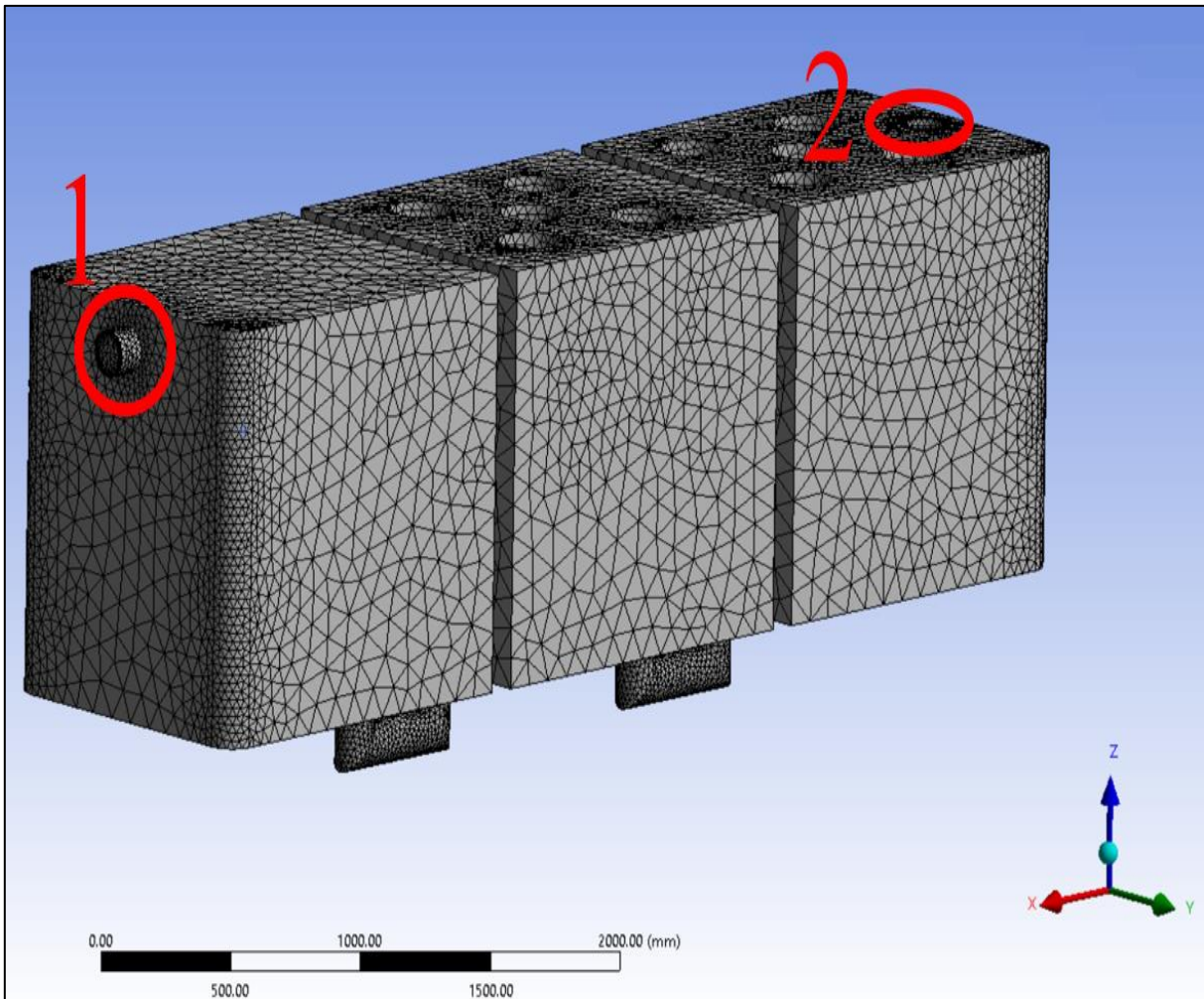


**Figura 2.22.** Mallado de tanque para segunda alternativa para simulación por CFD.

Los resultados del mallado son los siguiente, mostrados en la siguiente Tabla 2.5.

Detalles de mallado	
Tipo de elemento	Tetraédrica
Método de mallado	Inflation
Tamaño de elemento	100 mm
Cuadro delimitador diagonal	4949.7 mm
Longitud mínima del borde	239.78 mm
Nodos	112008
Elementos	329063

**Tabla 10.** Tabla de resultado de mallado.



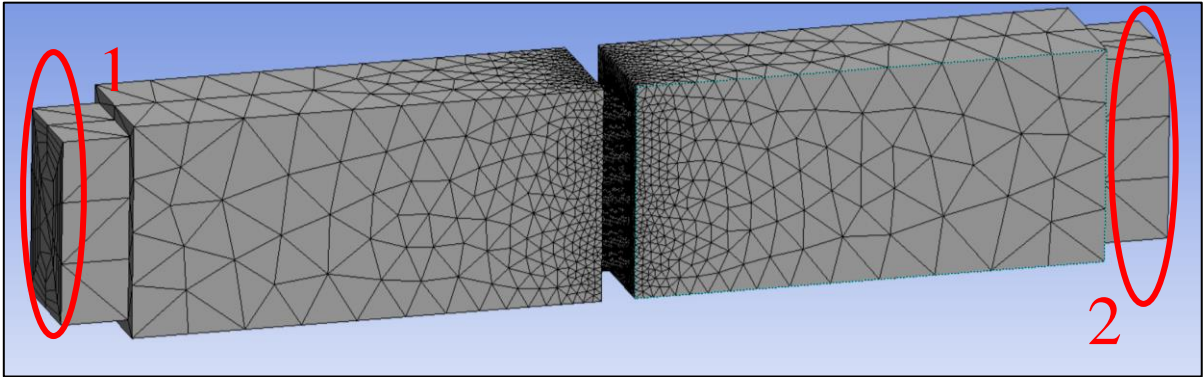
**Figura 2.23.** Mallado de tanque para tercera alternativa para simulación por CFD

Los resultados del mallado son los siguiente, mostrados en la siguiente Tabla 11.

Detalles de mallado	
Tipo de elemento	Tetraédrica
Método de mallado	Inflation
Tamaño de elemento	100 mm
Cuadro delimitador diagonal	4949.7 mm
Longitud mínima del borde	478.78 mm
Nodos	89349
Elementos	263784

**Tabla 11.** Tabla de resultado de mallado.  
Fuente: Elaboración propia

Aplicamos el mismo método de mallado para los agujeros geométricos planteados.

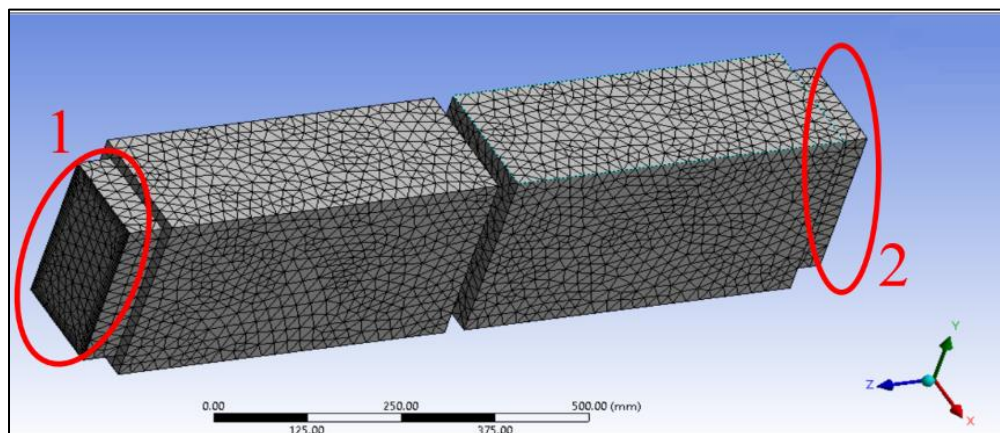


**Figura 2.24.** Mallado de tanque para agujeros circulares para simulación por CFD.

Los resultados del mallado son los siguientes, mostrados en la siguiente Tabla 2.7.

Detalles de mallado	
Método de mallado	Inflation
Tamaño de elemento	84 mm
Cuadro delimitador diagonal	1688.9 mm
Longitud mínima del borde	62.83 mm
Nodos	168982
Elementos	491503
Tipo de elemento	Tetraédrica

**Tabla 12.** Tabla de resultado de mallado.



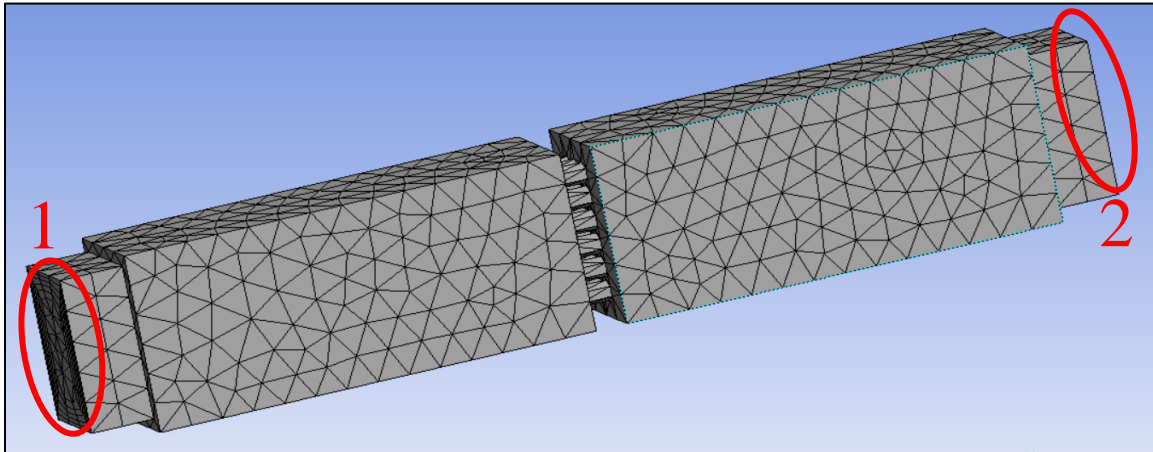
**Figura 2.25.** Mallado de tanque para agujeros rectangulares para simulación por CFD.



Los resultados del mallado son los siguiente, mostrados en la siguiente Tabla 13.

Detalles de mallado	
Método de mallado	Inflation
Tamaño de elemento	20 mm
Cuadro delimitador diagonal	1186.1 mm
Longitud mínima del borde	20 mm
Nodos	25105
Elementos	68332
Tipo de elemento	Tetraédrica

**Tabla 13.** Tabla de resultado de mallado de tanque de tratamiento.



**Figura 2.26.** Mallado de tanque para agujeros hexagonales para simulación por CFD.

Los resultados del mallado son los siguiente, mostrados en la siguiente Tabla 14.

Detalles de mallado	
Método de mallado	Inflation
Tamaño de elemento	50 mm
Cuadro delimitador diagonal	1689.9 mm
Longitud mínima del borde	17.32 mm
Nodos	6041
Elementos	14317
Tipo de elemento	Tetraédrica

**Tabla 14.** Tabla de resultado de mallado de tanque de tratamiento.

### 2.5.2.1.3 Configuración para simulación

Para alcanzar los objetivos relacionados con la presión y velocidad del fluido en el tanque, se llevó a cabo la configuración detallada de la simulación como se indica en la Tabla 15. Esto para cada una de las alternativas planteadas.

Tipo de simulación:	Fluid Flow (fluent)
Tipo de fluido:	Agua: Incompresible, continuo, Newtoniano
Tipo de flujo	Laminar y turbulento
Tipo de régimen	Estacionario
Tipo de modelamiento de turbulencia	k- $\epsilon$ , k-w, SST
Velocidad de fluido	13 m /s
Proceso de transferencia de calor	Isotérmico
Presión de referencia	1 atm
Coefficiente de tensión superficial	0.072 Nm <sup>-1</sup>
Condición de paredes	Sin deslizamiento (rugosidad 0.15 mm)
Escala de tiempo físico	1.5 s
Método de resolución de ecuaciones	Método de volúmenes finitos
Tasa de disipación turbulenta:	Contra el viento de primer orden
Energía:	Contra el viento de segundo orden
Número de iteraciones	1000

**Tabla 15.** Configuración parte de cálculo de simulación.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS

El presente capítulo muestra e interpreta los resultados obtenidos en el diseño de la trampa de grasa y las tres alternativas planteadas compuestas por soporte de los contenedores, los contenedores y la geometría de los orificios de los contenedores desarrollada bajo las condiciones técnicas de la empresa pesquera Hillary. Así mismo se muestran los resultados de las simulaciones estáticas y de dinámica de fluidos computacional realizado en ANSYS, variando el diseño del soporte, el orden de los contenedores y la geometría de los orificios de los contenedores de acuerdo al comportamiento de la velocidad y presión dada en la simulación para una mayor captura de partículas de grasa.

#### 3.1 Data técnica de pesquera

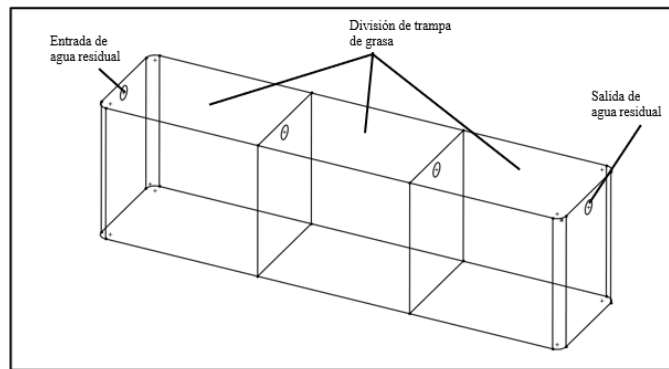
Para la simulación tendremos en cuenta la siguiente data obtenida por la Corporación pesquera Hillary E.I.R.L.

Datos técnicos para simulación	
Velocidad de agua de entrada al tanque de tratamiento	10 a 15 m/s
Tipo de fluido	Según la información técnica brindada por la Corporación tenemos 90% líquido.
Tamaño de partículas que capturan los microorganismos	Las bacterias varían en tamaño desde aproximadamente 0,2 $\mu$ m hasta más de 700 $\mu$ m de diámetro. La mayoría de las bacterias con forma de bastón tienen entre 0,5 $\mu$ m y 4 $\mu$ m de ancho y menos de 15 $\mu$ m de largo, mientras que las bacterias con forma de coco tienen un diámetro promedio de alrededor de 0,5 a 1,0 $\mu$ m. El tamaño de las bacterias está limitado por su volumen y capacidad para transportar compuestos dentro y fuera de la célula. Una célula bacteriana menos de 0.1 $\mu$ m de diámetro tiene un volumen demasiado pequeño para albergar los componentes esenciales de las células, es decir, ácidos nucleicos, proteínas y ribosomas.[54]

**Tabla 16.** Tabla de datos técnicos para simulación.

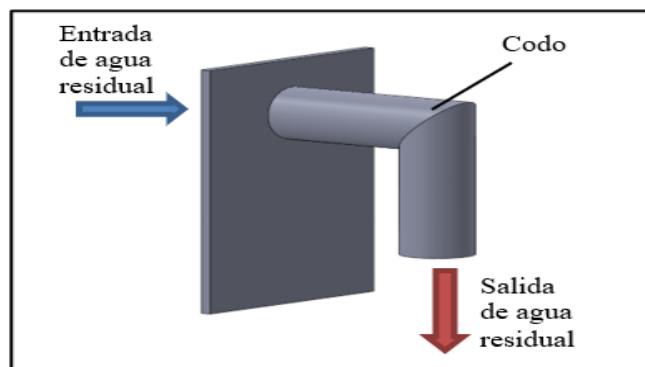
### 3.2 Etapa 1: Diseño conceptual

Para realizar el diseño computacional, primero realizaremos el bosquejo de nuestro equipo de tratamiento, así como el detalle de los elementos que la componen. Primero realizaremos la modificación de la trampa de grasa existente, para ello se plantea dividir el tanque en 3 partes (Figura 3.1), con paredes verticales con orificios por donde ingresarán las tuberías de entrada y salida de agua, tal como se ve en la Figura 3.1.



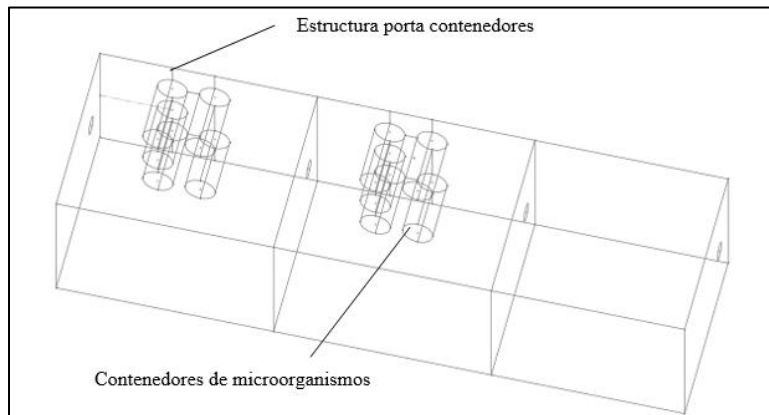
**Figura 3.1.** Trampa de grasa dividida en tres partes.

Con respecto a las tuberías que ingresarán en las paredes verticales, serán tubos de 6", compuestas por tubos verticales y codos, tal como se aprecia en la siguiente Figura 3.2. Los codos son para que el agua residual tenga una mejor distribución del líquido dentro del tanque.



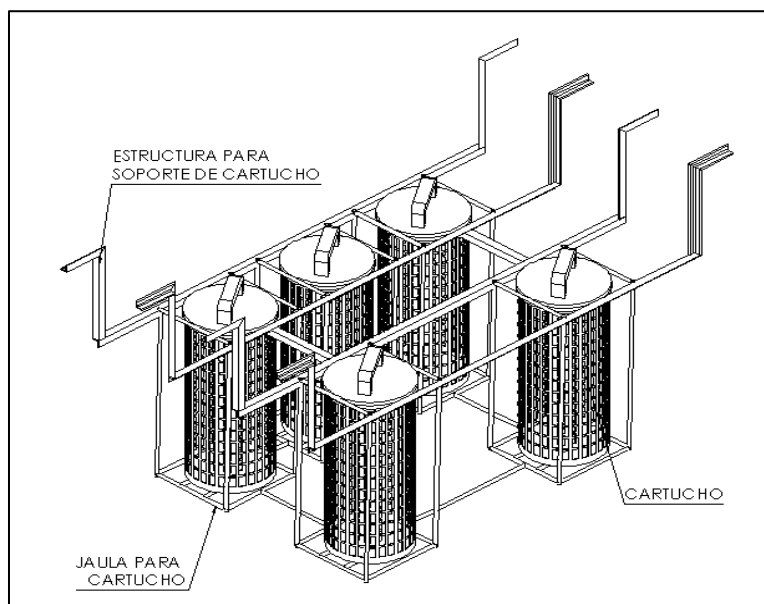
**Figura 3.2.** Tubería que saldrá de las paredes laterales encargadas de la distribución de etapas dentro del tanque.

En cuanto a la aplicación de los contenedores, estos serán colocados en la primera y segunda etapa (Figura 3.3), esto debido a que en la primera y segunda división es donde más partículas de grasa se suelen concentrar por lo que obtendremos mayor captura de partículas de grasa, en la siguiente Figura 3.4, se muestra la ubicación para la instalación de nuestros cartuchos.



**Figura 3.3.** Distribución de dispositivos dentro de la trampa de grasa.

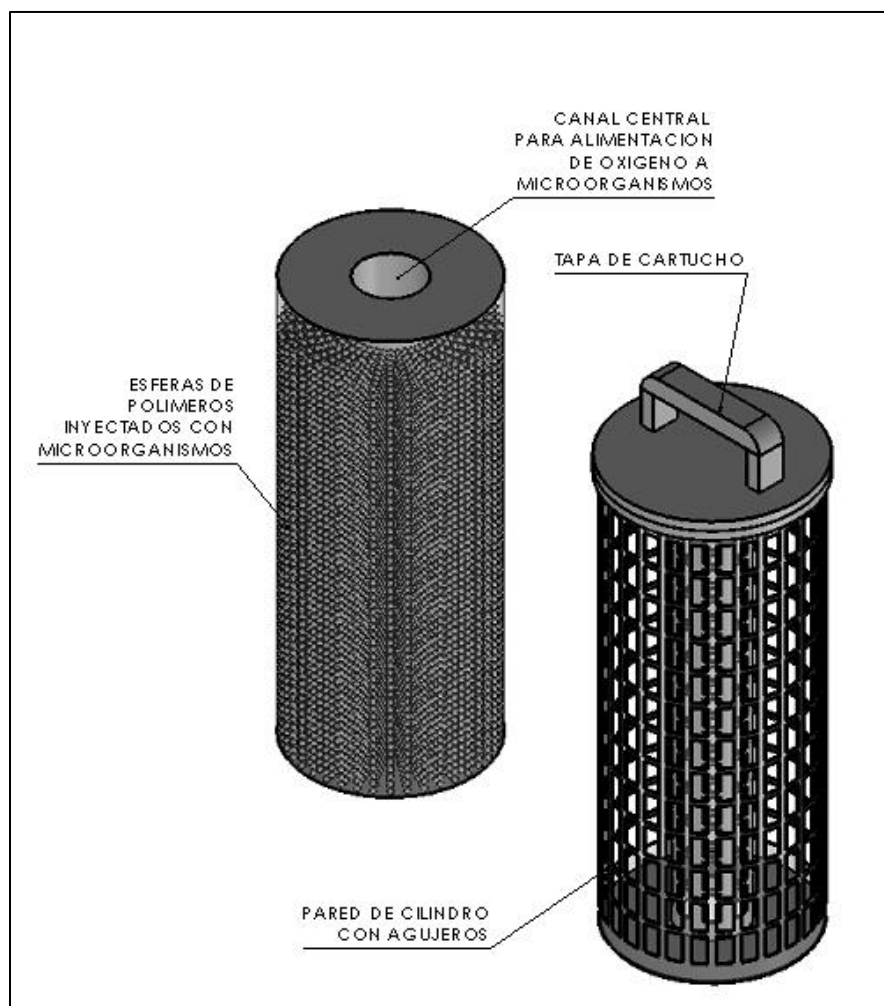
Con respecto a la estructura de los cartuchos, estaría conformada por un elemento principal que será el que soporte toda la carga dada por los cartuchos, pero también jaula cuadrada usada para sostener a los cartuchos.



**Figura 3.4.** Soporte para cartuchos.

Por último, tendremos el diseño del cartucho, el cual tiene presenta las siguientes características:

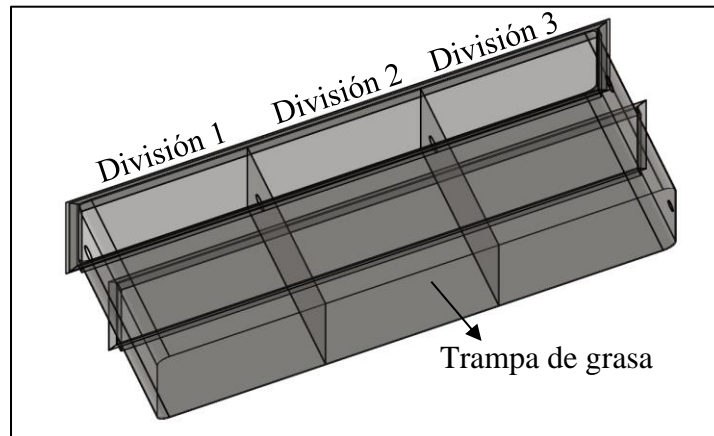
- El cartucho está compuesto por planchas plegadas que tienen agujeros circulares, hexagonales o romboides, tal como se menciona en el punto 2.4.6. Estas planchas servirán como las paredes tanto al exterior como al interior del cartucho, permitiendo el ingreso de las aguas residuales y entrando en contacto con los microorganismos inyectados en los polímeros. Además, cuenta con un agujero central para el ingreso del tubo con orificios utilizado para oxigenar los microorganismos.



**Figura 3.5.** Diseño de cartucho para contener a los polímeros con microorganismos.

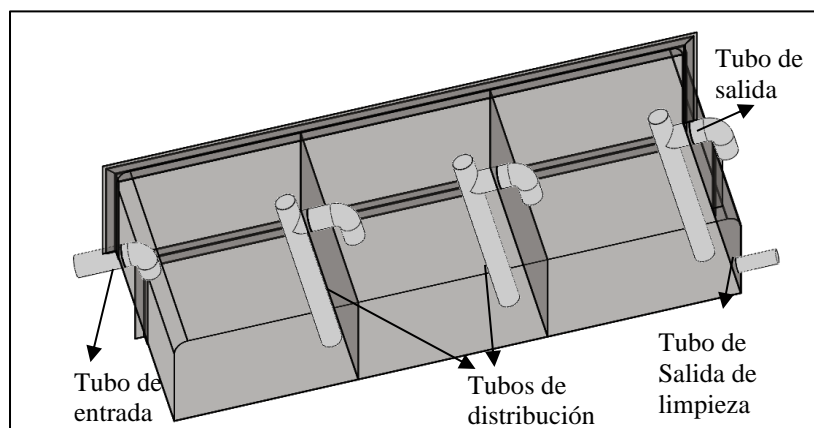
### 3.3 Etapa 2: Diseño computacional

En cuanto al diseño de los componentes seguiremos el orden planteado en la metodología, por lo que inicialmente haremos el diseño del tanque de tratamiento, considerando las divisiones verticales y los agujeros para las tuberías de carga y descarga, como también los ángulos de refuerzo en la parte superior como al centro del tanque. El espesor de la plancha es de la misma que tiene el tanque de la empresa Hillary E.I.R.L.



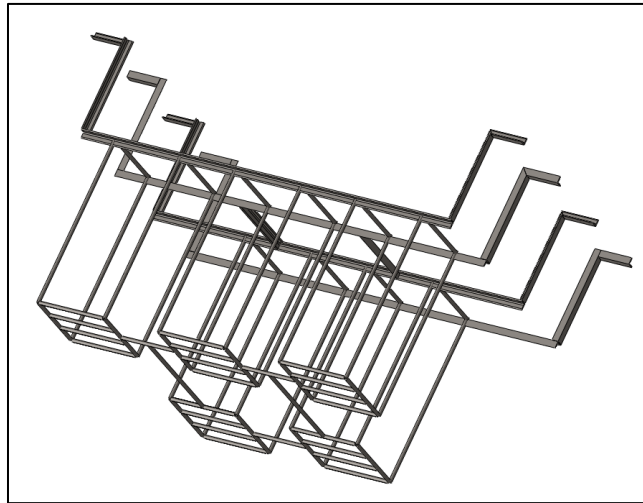
**Figura 3.6.** Diseño en SOLIDWORKS de tanque rectangular.

Luego continuamos con el diseño de las tuberías de entrada y salida, para ello tomamos los datos dados en el 2.4.3.1, donde señala cuales son los diámetros de las tuberías que ingresan y salen a la trampa de grasa de la planta de procesos de la empresa pesquera.

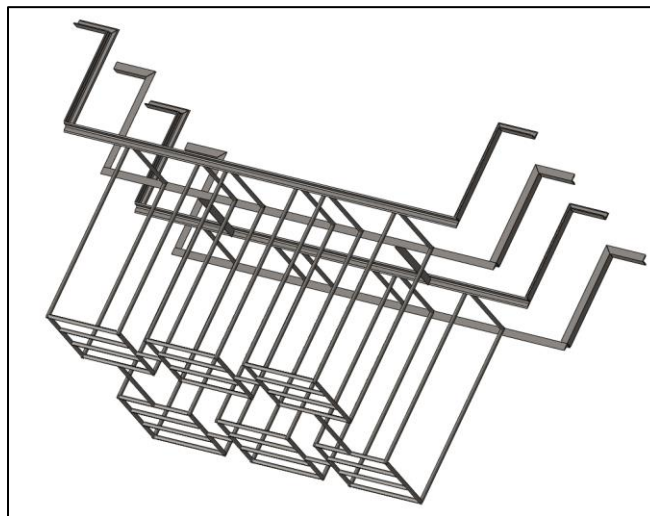


**Figura 3.7.** Tuberías instaladas en la trampa de grasa.

Una vez terminado el diseño de la trampa de grasa, pasamos al diseño de la estructura encargada de soportar a todos los cartuchos que irán instalados en la primera y segunda división de la trampa de grasa. Para el desarrollo de la tesis se plantea tres alternativas diferentes definidas en la Figura 2.11. Alternativas propuestas para la simulación de la ubicación de los cartuchos.. Estas alternativas son representadas en las figuras Figura 3.8, Figura 3.9 y Figura 3.10 respectivamente.

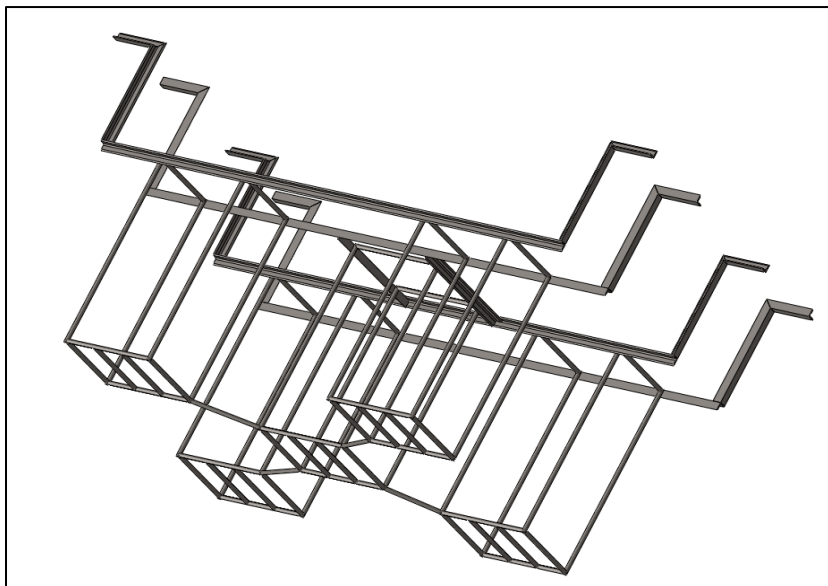


**Figura 3.8.** Estructura con la primera alternativa propuesta para soportar a los cartuchos.



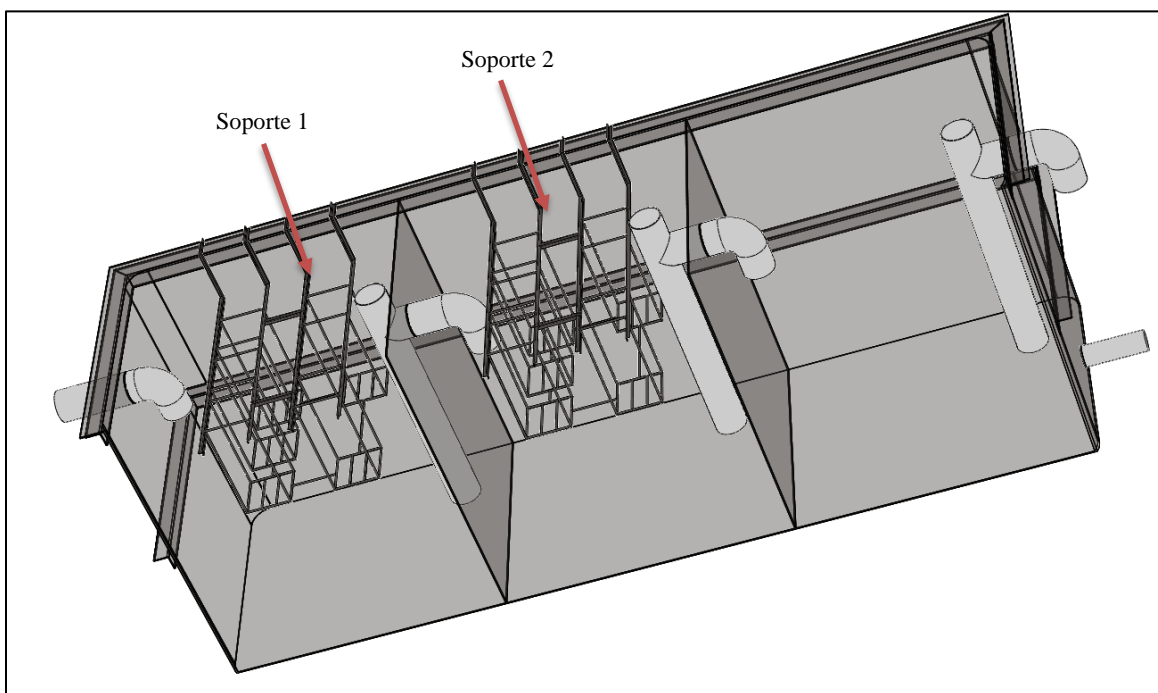
**Figura 3.9.** Estructura con la segunda alternativa planteada para soportar a los cartuchos.





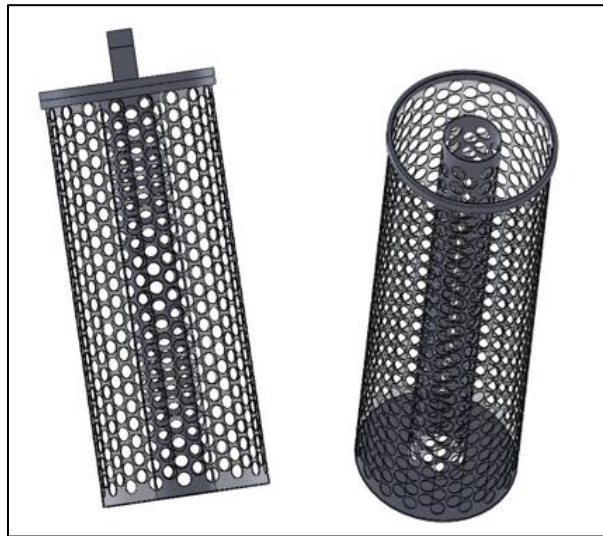
**Figura 3.10.** Estructura con la tercera alternativa planteada para soportar a los cartuchos.

En la siguiente Figura 3.11 se muestra la ubicación de los soportes de cartuchos dentro de la trampa de grasa.



**Figura 3.11.** Soportes de cartuchos ensamblados en la trampa de grasa.

Por último, tendremos el diseño de los cartuchos donde para ello también planteamos la simulación de los cartuchos con agujeros de 3 formas distintas tal como señala la Figura 2.10, siendo estas de forma circular (Figura 3.12), rectangular (Figura 3.13) y hexagonal (Figura 3.14).



**Figura 3.12.** Cartucho con agujero de forma circular.

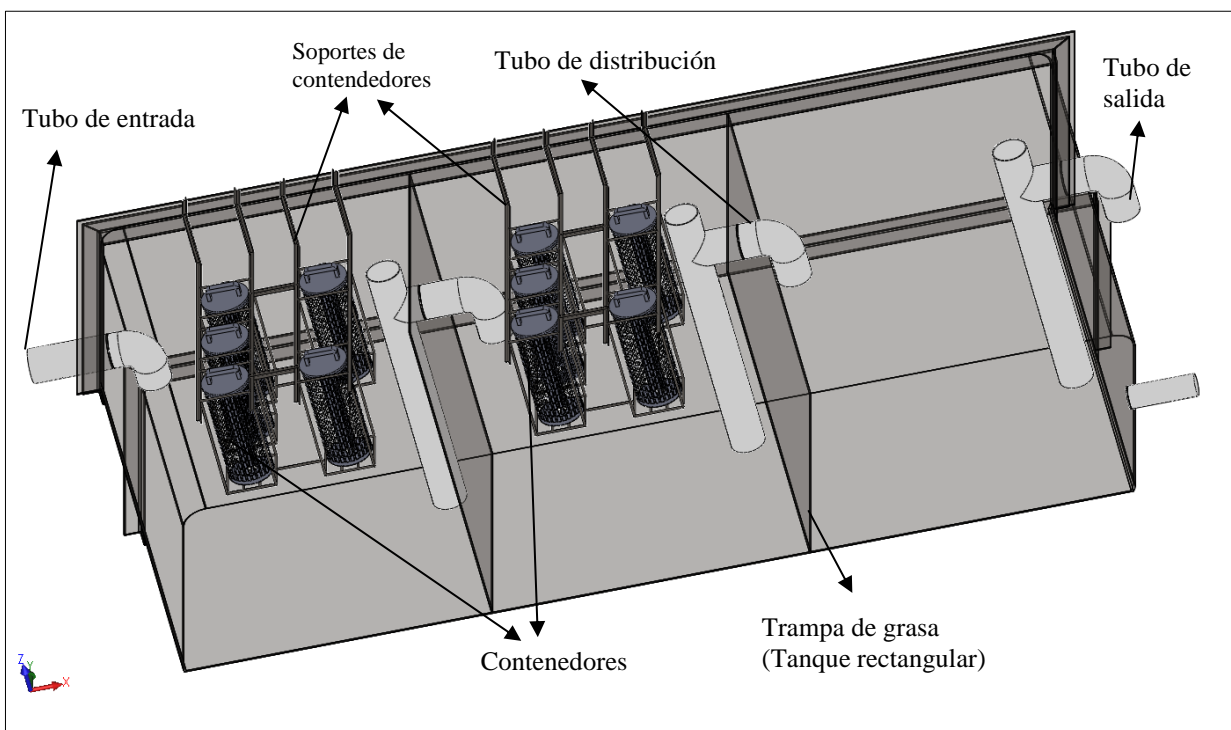


**Figura 3.13.** Cartucho con agujero de forma rectangular.



**Figura 3.14.** Cartucho con agujero de forma hexagonal.

En la siguiente figura, se muestra el ensamble final de cartuchos instalados en el tanque de tratamiento de grasa, dentro de la primera y segunda división.



**Figura 3.15.** Ensamble de equipo para tratamiento de grasa residual.

### 3.4 Etapa 3: Simulación computacional

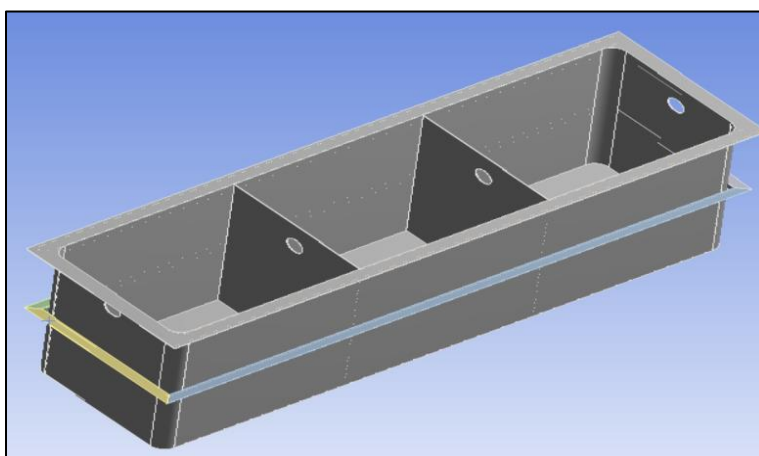
Para alcanzar los objetivos de la tesis, se realizará una simulación estática de las estructuras del tanque y de la porta contenedor, así como una simulación dinámica del tanque para determinar la geometría óptima de los agujeros del cartucho que maximice el desempeño de los microorganismos en presencia de agua residual.

#### 3.4.1 Simulación de análisis estructural

Con esta simulación, podremos evaluar el comportamiento y la resistencia de los componentes y estructuras del equipo de tratamiento de aguas residuales bajo diferentes cargas. Obtendremos resultados como los mayores desplazamientos, las áreas propensas a fallas o deformaciones excesivas, así como las reacciones y fuerzas internas en los puntos de apoyo. Estos resultados nos permitirán determinar si los materiales seleccionados son adecuados para soportar las cargas requeridas y cumplir con la función deseada.

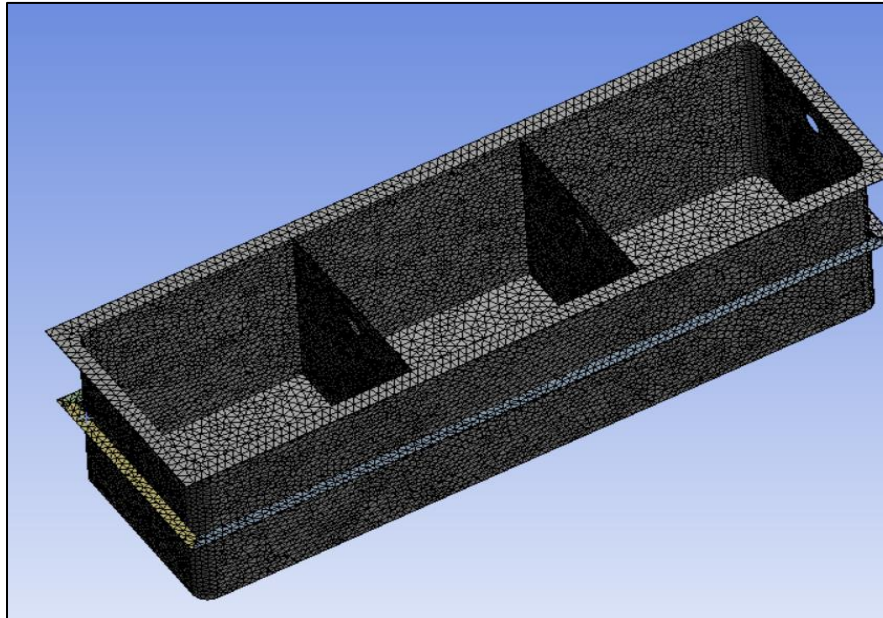
##### 3.4.1.1 Análisis estructural de tanque

La primera simulación estática y análisis estructural se realizó en el tanque donde se reciben las aguas residuales y se soportan los contenedores. En la Figura 3.16 se presenta el diseño computacional en 3D de la trampa de grasa con las medidas especificadas en la Figura 2.6, con la finalidad de tener una realidad sobre el comportamiento del contenedor ante la presión ejercida por el fluido.



**Figura 3.16.** Diseño de tanque en 3D

Después de definir la geometría (Figura 3.16), se procedió con el mallado como se muestra en la Figura 3.17. En esta simulación, se utilizó un tipo de malla tetraédrica, en lugar de hexaédrica, lo cual redujo el tiempo de simulación computacional.



**Figura 3.17.** Mallado de tanque de tratamiento de aguas residuales

Una vez realizado el mallado obtendremos los siguientes datos, cabe resaltar que, debido al tamaño geométrico, 50 mm es lo mínimo que nos permite como tamaño de elemento.

Detalles de mallado	
Tipo de elemento	Solid
Tamaño de elemento	50 mm
Tipo de malla	No estructurado
Bounding box diagonal	4887.6 mm
Average Surface área	4.7473e+005 mm <sup>2</sup>
Mínimum Edge length	5.08e-003mm
Nodos	168163
Elementos	82839

**Tabla 17.** Tabla de datos de mallado de tanque.

Continuando con la simulación, pondremos las cargas dadas en la Tabla 18, la cual representa al fluido depositado dentro del tanque, con ello podremos realizar los cálculos para el análisis estructural del tanque.

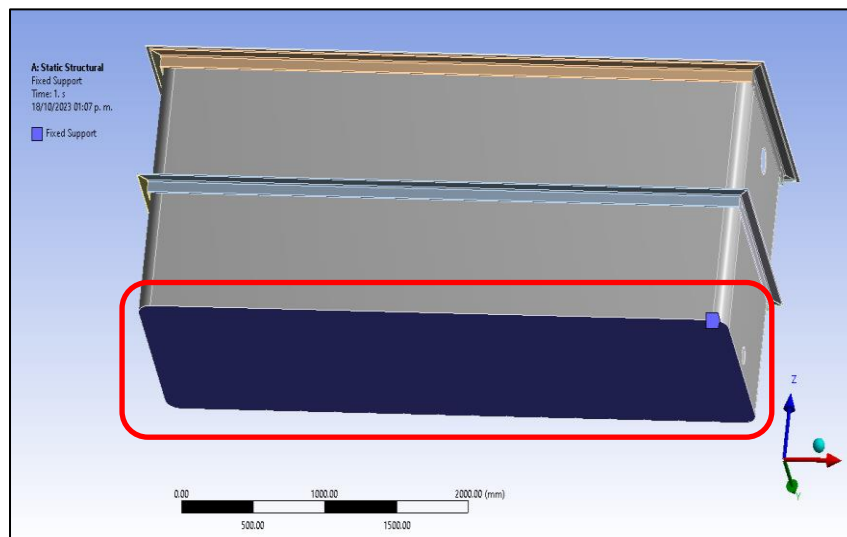
Análisis Estructural:	Tanque rectangular con plancha de 3/8 in
Material:	Acero ASTM A283 Grado C
Presión:	9810 N/m <sup>2</sup>
Densidad:	Agua 997 kg/m <sup>3</sup>

**Tabla 18.** Tabla de datos para cálculo de simulación de análisis estructural.

### 3.4.1.1.1 Condiciones de contorno

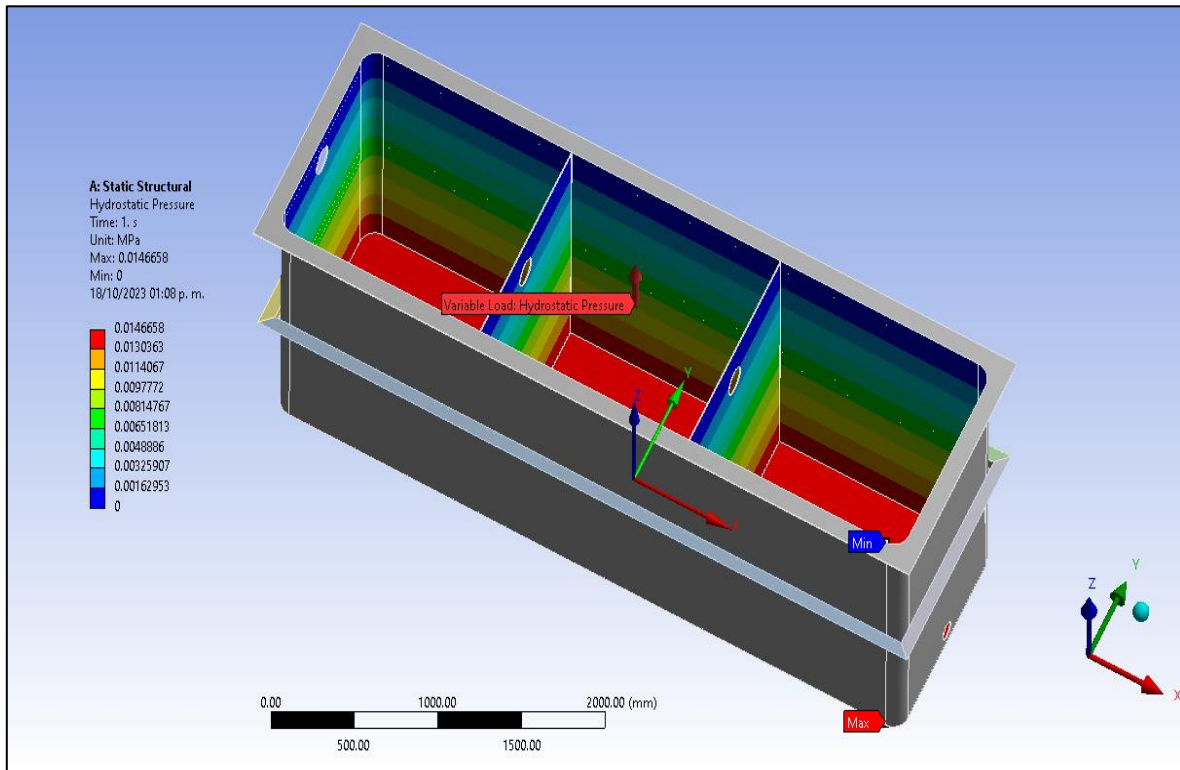
Para poder proceder con la ejecución de la simulación, es necesario tener en cuenta las condiciones de contorno, que implican tener un conjunto de restricciones o aplicaciones que se definen en los bordes o límites de un dominio. Estas condiciones determinan cómo se comporta el fenómeno físico o una variable en la frontera del dominio de estudio.

Para nuestro tanque de tratamiento de aguas residuales mostrado en la Figura 3.18, colocamos la restricción en la base del tanque, como representación del tanque empotrado al piso.



**Figura 3.18.** Restricción en la base de nuestro tanque de tratamiento

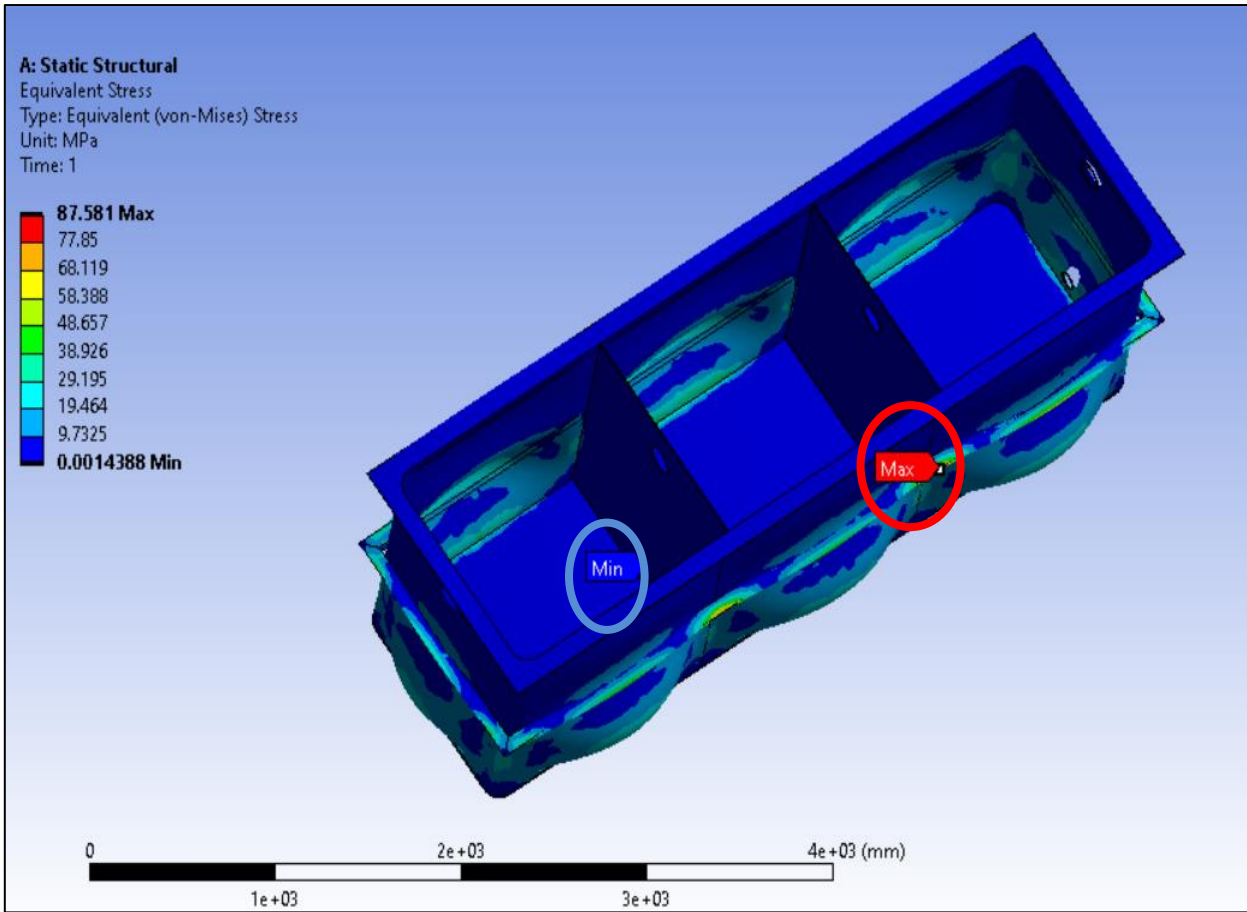
Una vez colocada la restricción, estableceremos la condición de aplicación en nuestro tanque para ejecutar la simulación y obtener los resultados necesarios para la elaboración de esta tesis. Para calcular la deformación de las paredes de nuestro tanque, aplicamos presión hidrostática en el interior del mismo.



**Figura 3.19.** Presión hidrostática aplicado al interior del tanque

#### A) Primer resultado: Von Mises Stress

Tal como se aprecia en la Figura 3.20, podemos observar que, de acuerdo a la escala de colores, el esfuerzo máximo obtenido es de 87.58 MPa < 240 MPa, esto nos indica que el material tiene un buen comportamiento dúctil, siendo el material seleccionado el idóneo para la fabricación del tanque de tratamiento. Así mismo podemos observar que el máximo esfuerzo se da entre la división de la primera con la segunda etapa (círculo rojo), zona donde se da la mayor mezcla del líquido con las partículas de grasa.

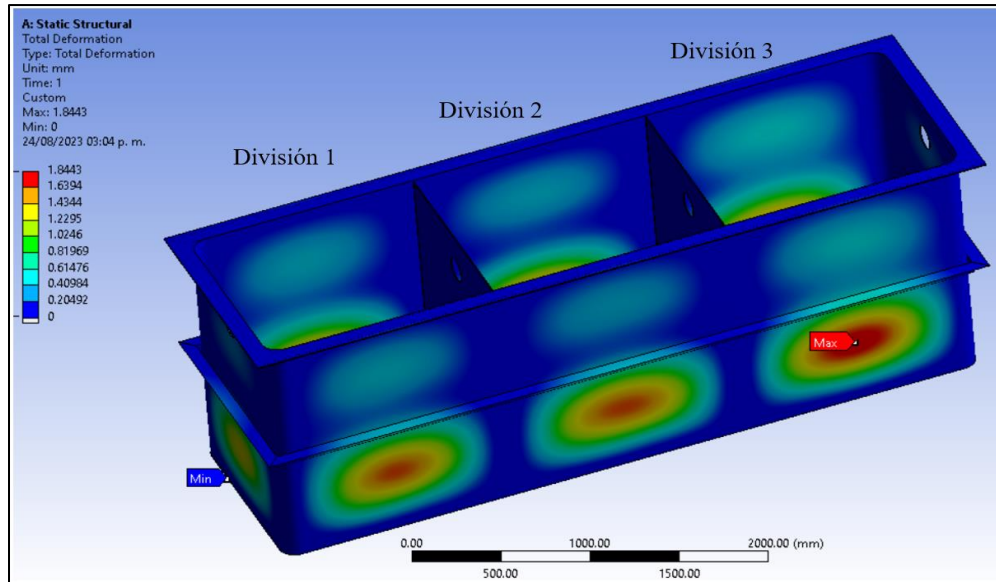


**Figura 3.20.** Análisis estático de tensión nodal.

B) Segundo resultado: deformación de material

Dada la descarga inicial de las aguas residuales en la división 1, se observa en la Figura 3.21 que la presión es mayor en esta zona. Al analizar los resultados, se encuentra que la máxima deformación obtenida es de 0.77 mm. Esta cifra insignificante indica que el material no experimentará falla. Este resultado se debe, en parte, al uso de los ángulos colocados como soportes en el diseño.

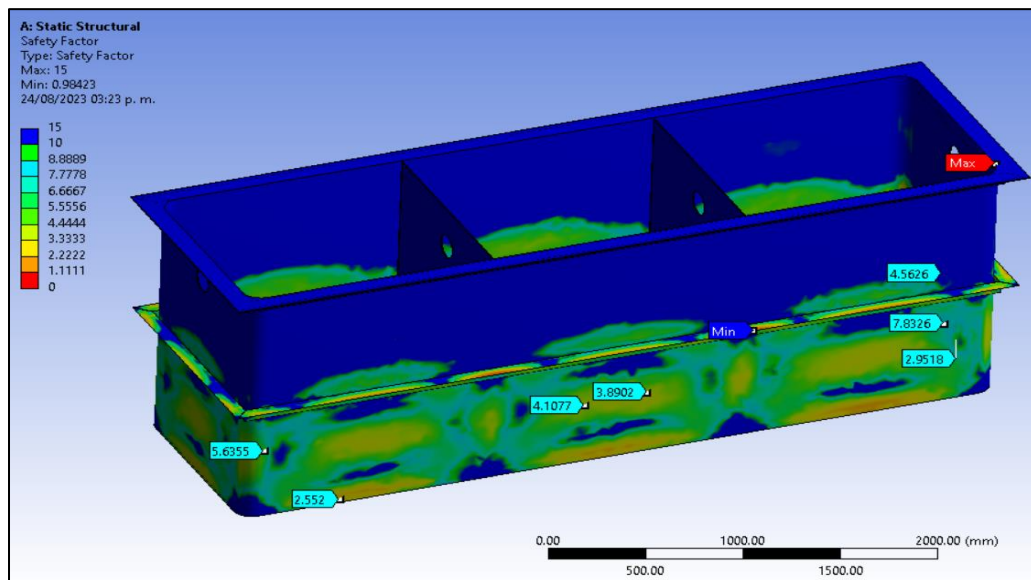




**Figura 3.21.** Resultado de la deformación dado por el análisis estático.

C) Tercer resultado: Factor de seguridad

El factor de seguridad hallado es de 2.5 en la parte inferior del tanque, el cual es mayor a uno, lo que nos indica que el material no fallará.



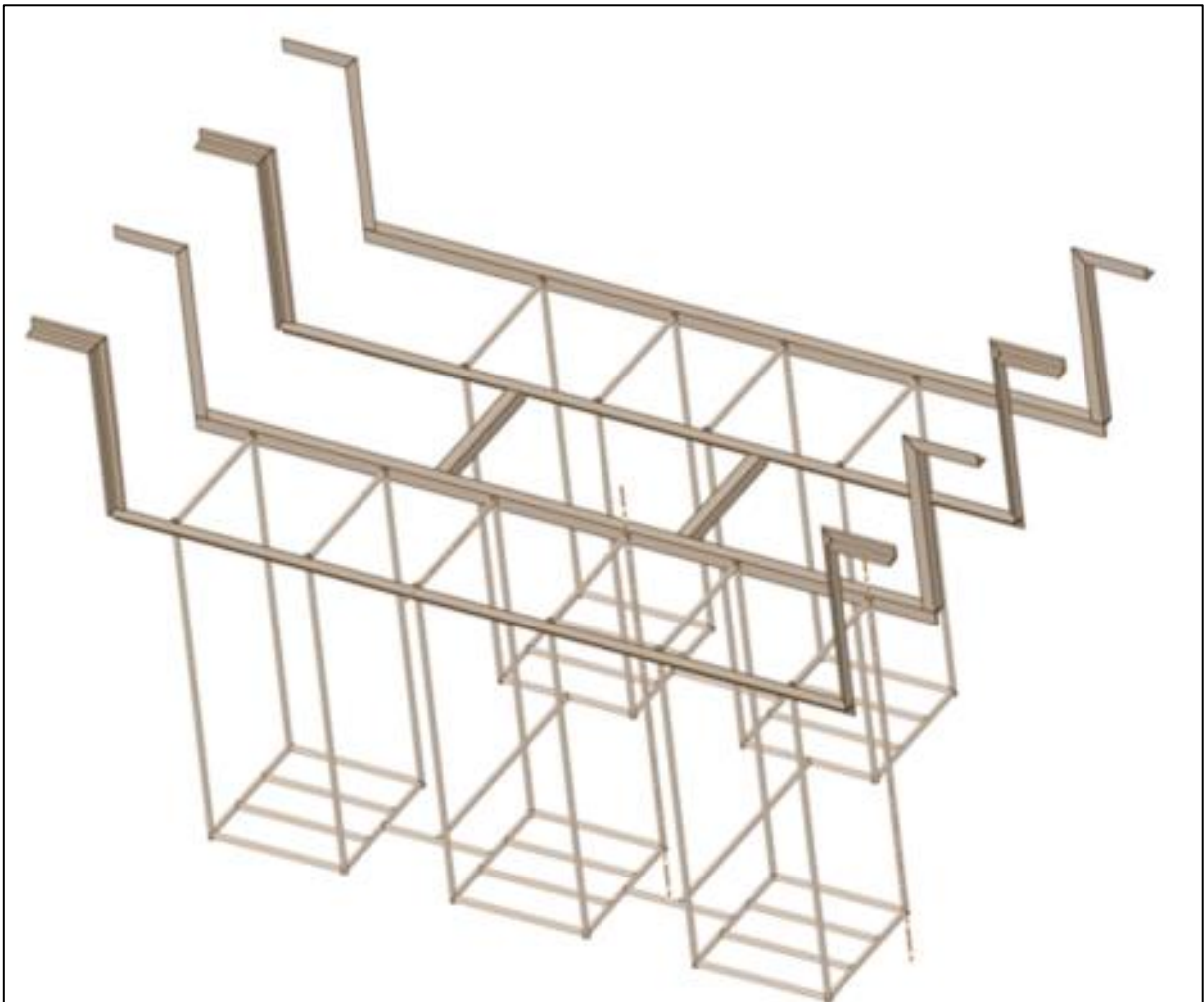
**Figura 3.22.** Resultado del factor de seguridad dado por el análisis estático.

### 3.4.1.2 Análisis estructural de la estructura que soporta los contenedores de microorganismos

Otro componente importante de nuestro equipo tratamiento, es el soporte donde irán instalados los contenedores, diseñado para soportar a los contenedores, sumergidos dentro de la trampa de grasa. En cuanto al desarrollo de la tesis se ha propuesto 3 diseños distintos (Figura 2.11) para definir con cuál de ellos podremos tener un mejor resultado en cuanto al comportamiento dado por las cargas de los contenedores.

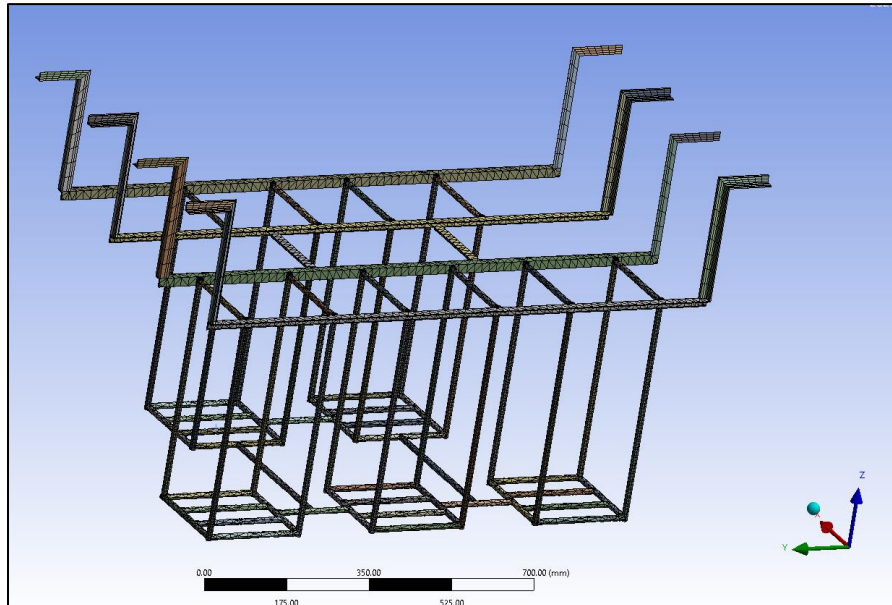
#### 3.4.1.2.1 Primera alternativa

Primera estructura diseñada para el soporte de los contenedores.



**Figura 3.23.** Primera estructura utilizada como soporte para los contenedores.

Luego de tener la geometría definida, se procedió con el mallado como se muestra en la Figura 3.24. En esta simulación, se utilizó un tipo de malla tetraédrica, en lugar de hexaédrica, lo cual redujo el tiempo de simulación computacional.



**Figura 3.24.** Mallado del primero soporte

Una vez realizado el mallado obtendremos los siguientes datos, cabe resaltar que, debido al tamaño geométrico, 87 mm es lo mínimo que nos permite como tamaño de elemento.

Detalles de mallado	
Tipo de elemento	Solid
Cuadro delimitador diagonal	1767.1 mm
Superficie media	3538 mm
Longitud mínima del borde	4.71 mm
Nodos	442600
Elementos	123876

**Tabla 19.** Tabla de datos de mallado de tanque.

Continuando con la simulación, pondremos las cargas dadas en la Tabla 20, con ello podremos realizar los cálculos para el análisis estructural al tanque.

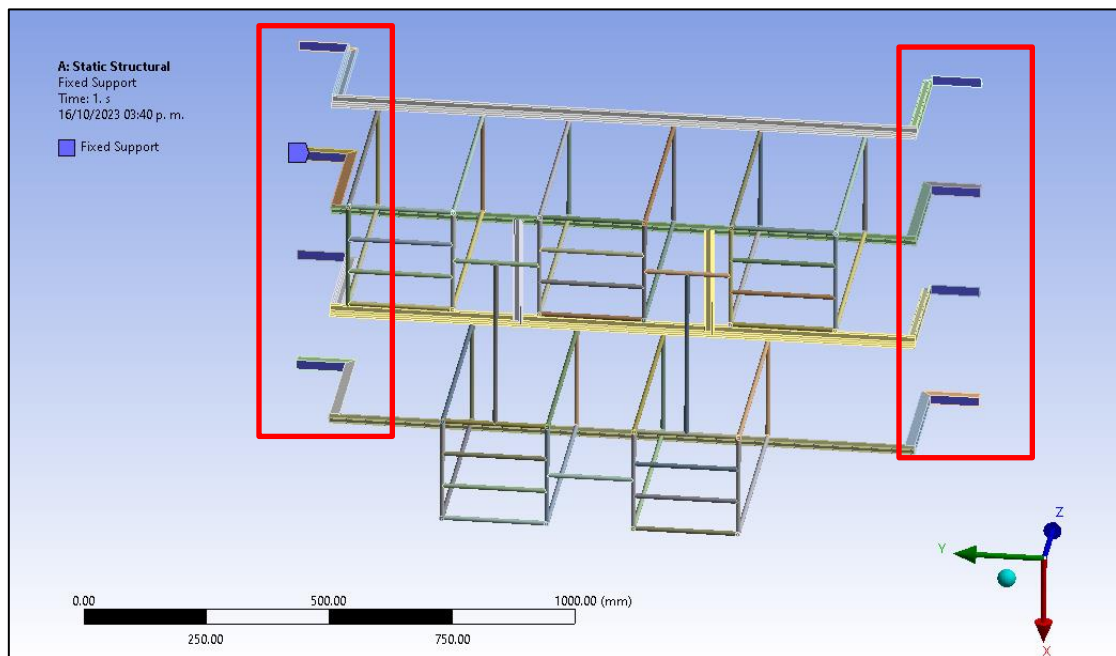
Análisis Estructural:	Primer Diseño
Material:	Acero estructural A36 - Ángulos de 20 x 20 x 3 como elementos principales - Varillas de 1/2 in
Fuerza:	30 N por cada uno, 150 N en total
Unión:	Soldadura

**Tabla 20.** Tabla de datos para cálculo de simulación de análisis estructural.

### 3.4.1.2.1.1 Condiciones de contorno

Para poder proceder con la ejecución de la simulación, es necesario tener en cuenta las condiciones de contorno, que implican tener un conjunto de restricciones o aplicaciones que se definen en los bordes o límites de un dominio. Estas condiciones determinan cómo se comporta el fenómeno físico o una variable en la frontera del dominio de estudio.

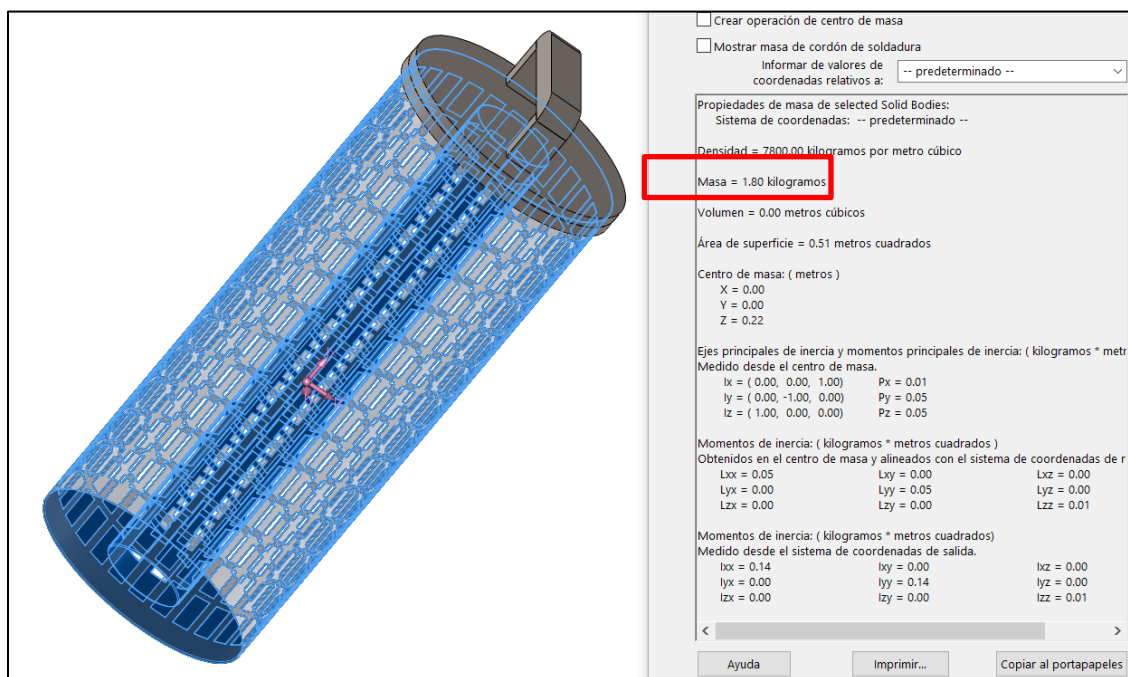
Para nuestro tanque de tratamiento de aguas residuales mostrado en la Figura 3.25 colocamos la restricción en la base de los brazos que irán apoyados en el tanque, lugar donde será posicionado para soportar a los contenedores.



**Figura 3.25.** Fijación de soporte en la cara que se apoya en el tanque.

Una vez que la restricción esté en su lugar, estableceremos las condiciones de aplicación en nuestro soporte de contenedores para llevar a cabo la simulación y obtener los resultados necesarios para la elaboración de esta tesis. Con el fin de calcular la resistencia y deformación de los elementos que componen el soporte de contenedores, aplicamos fuerzas en la zona donde serán colocados los contenedores.

Para obtener la carga del cartucho tendremos en consideración los siguientes pesos.



**Figura 3.26.** Peso de contenedor obtenido de propiedades físicas en Solidworks.

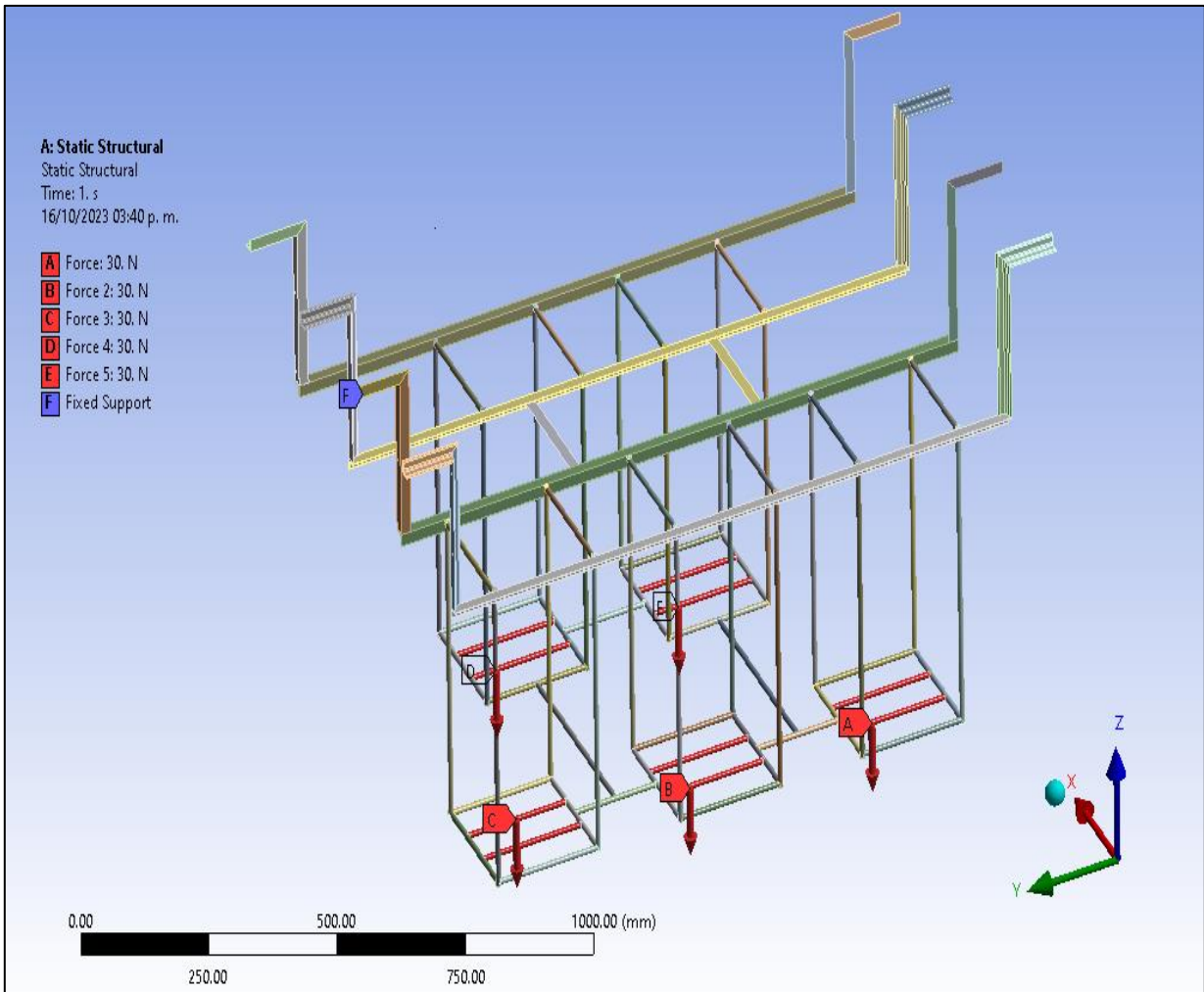
Peso del Contenedor = 1.8 Kg

Tapa de contenedor = 0.2 kg

Peso de perlas poliméricas con carga de microorganismos = 1 kg

Peso total = 3 kg

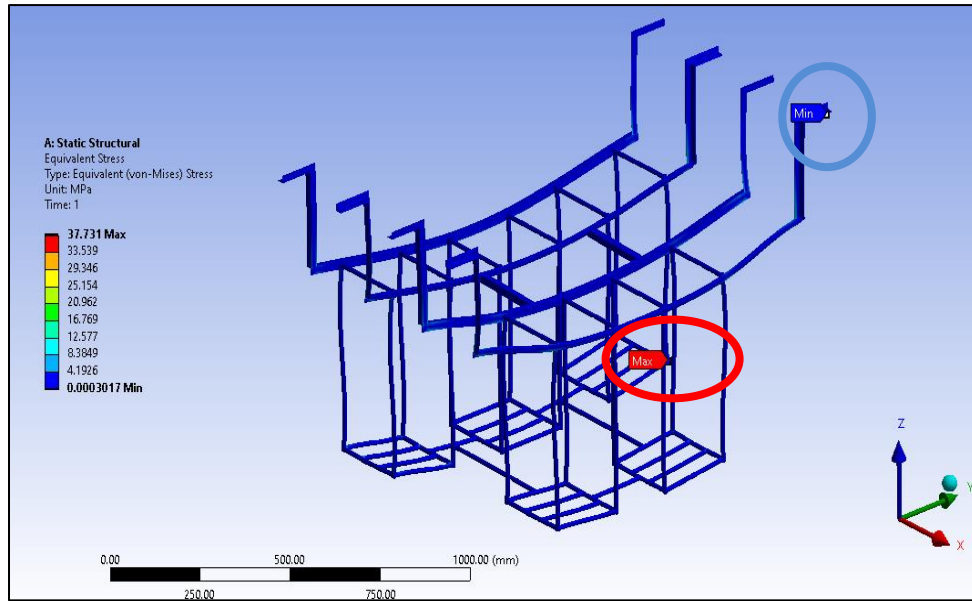
Fuerza aplicada = 30 N



**Figura 3.27.** Fuerzas aplicadas al soporte de contenedores para realizar un análisis estático.

A) Primer resultado: Von Mises Stress

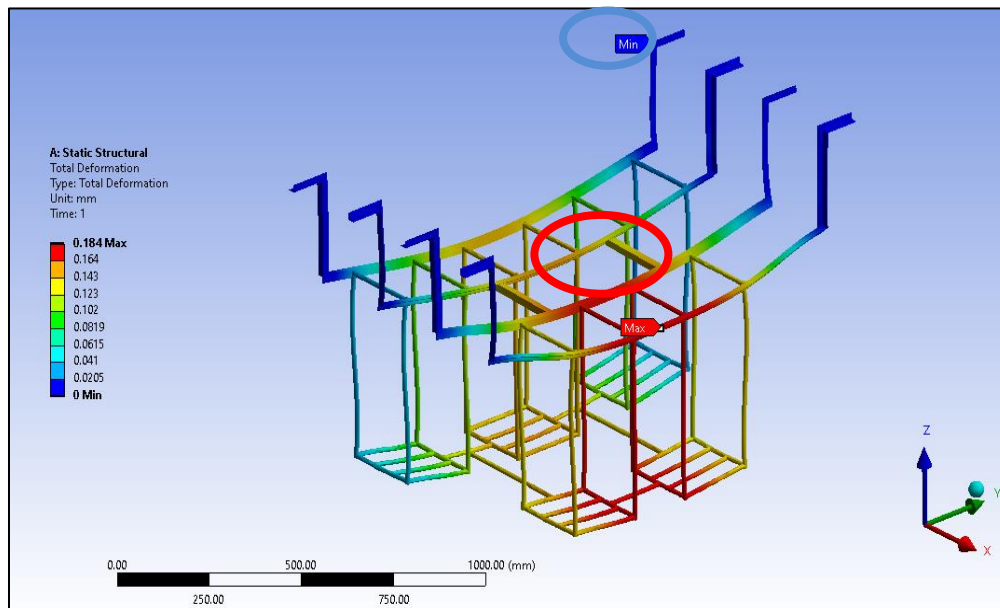
Tal como se aprecia en la Figura 3.28, podemos observar que, de acuerdo a la escala de colores, el esfuerzo máximo obtenido es de 37.731 MPa < 250 MPa, esto nos indica que el material tiene un buen comportamiento dúctil, siendo el material seleccionado el idóneo para la fabricación de la estructura. Así mismo podemos observar que el máximo esfuerzo se da en la base de una de las jaulas (círculo rojo).



**Figura 3.28.** Análisis estático de tensión nodal.

B) Segundo resultado: deformación de material

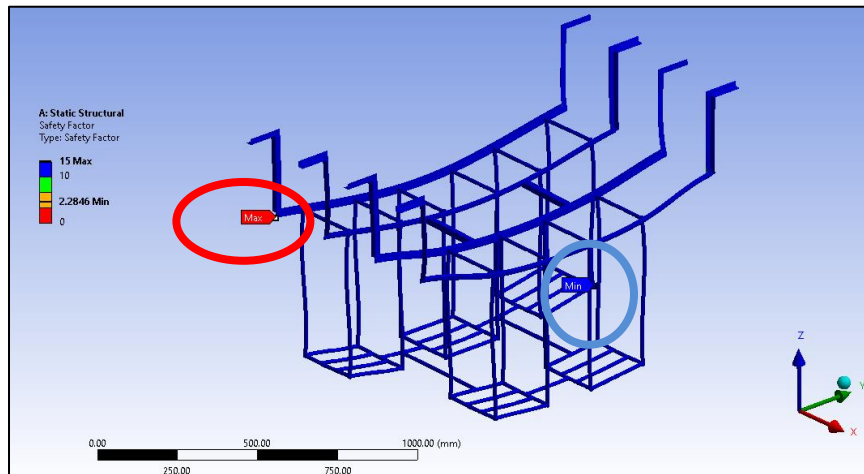
La máxima deformación obtenida es de 0.184 mm, siendo este resultado en la unión de las jaulas posteriores, lugar donde se colocan los contenedores.



**Figura 3.29.** Resultado de la deformación dado por el análisis estático.

### C) Tercer resultado: Factor de seguridad

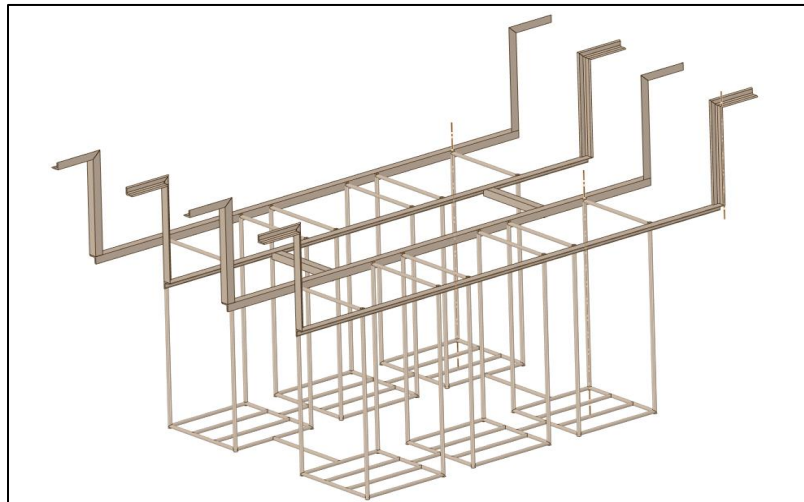
El factor de seguridad hallado es de 2.28, mayor a uno, lo que nos indica que el material no fallará.



**Figura 3.30.** Resultado del factor de seguridad dado por el análisis estático.

#### 3.4.1.2.2 Segunda alternativa

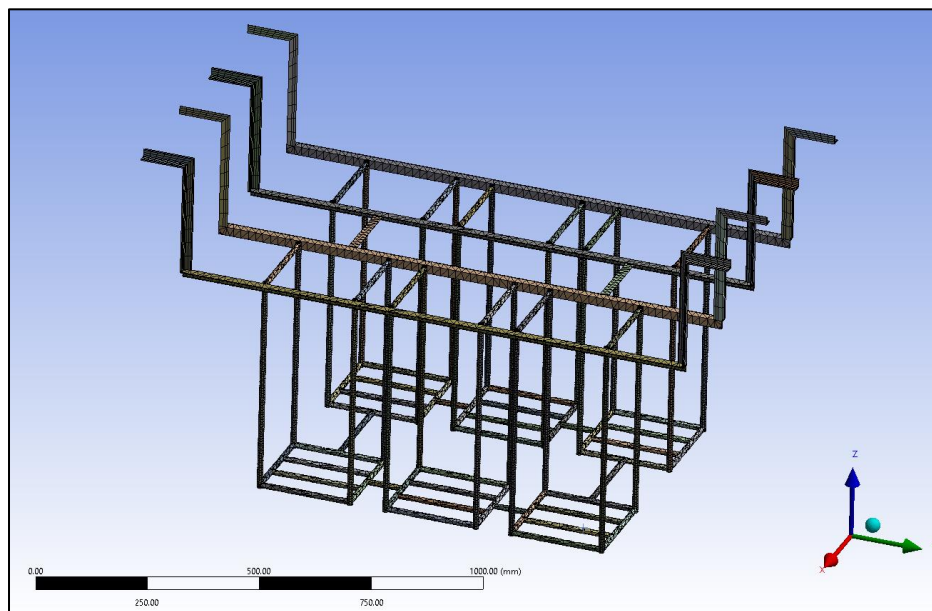
Segunda estructura diseñada para el soporte de los contenedores.



**Figura 3.31.** Segunda estructura utilizada como soporte para los contenedores.



Luego de tener la geometría definida, se procedió con el mallado como se muestra en la Figura 3.32. En esta simulación, se utilizó un tipo de malla tetraédrica, en lugar de hexaédrica, lo cual redujo el tiempo de simulación computacional.



**Figura 3.32.** Mallado de segundo soporte

Una vez realizado el mallado obtendremos los siguientes datos, cabe resaltar que, debido al tamaño geométrico, 87 mm es lo mínimo que nos permite como tamaño de elemento.

Detalles de mallado	
Tipo de elemento	Solid
Cuadro delimitador diagonal	1755.2 mm
Superficie media	3486.5 mm
Longitud mínima del borde	4.71 mm
Nodos	517566
Elementos	142480

**Tabla 21.** Tabla de datos de mallado de tanque.

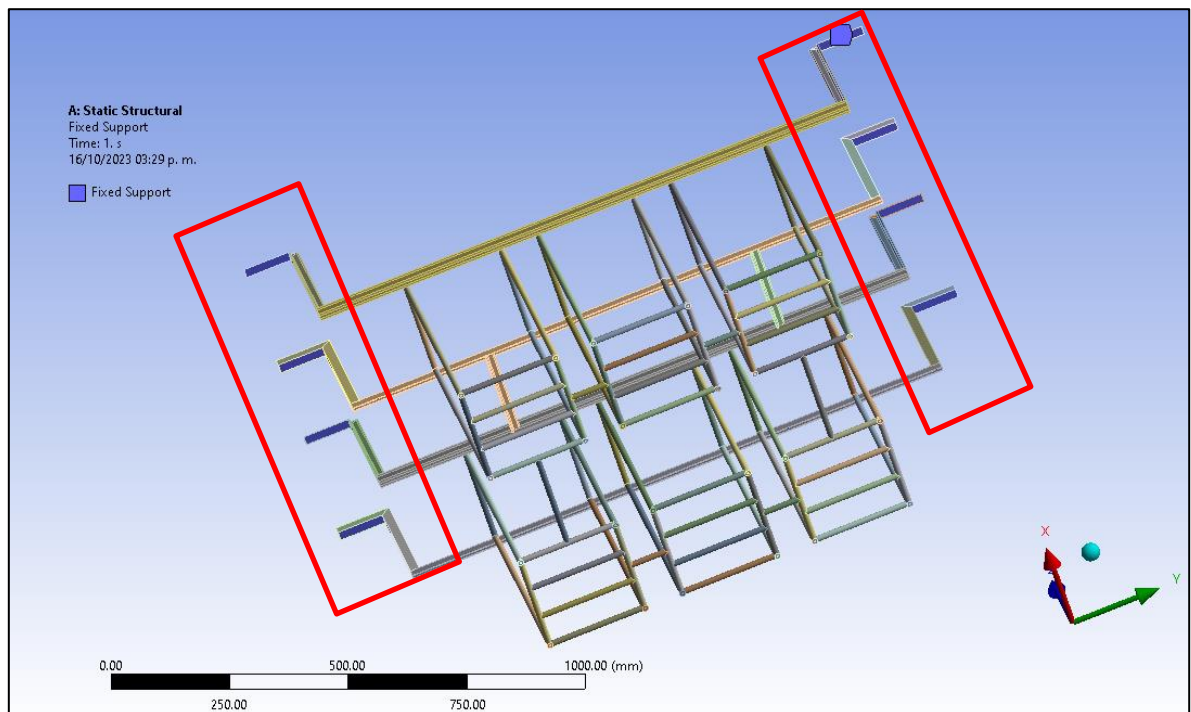
Continuando con la simulación, pondremos las cargas dadas en la Tabla 22, con ello podremos realizar los cálculos para el análisis estructural al tanque.

Análisis Estructural:	Segundo diseño
Material:	Acero estructural A36 - Ángulos de 20 x 20 x 3 como elementos principales - Varillas de 1/2 in
Fuerza:	30 N por cada uno, 180 N en total
Unión:	Soldadura

**Tabla 22.** Tabla de datos para cálculo de simulación de análisis estructural.

Para poder proceder con la ejecución de la simulación, es necesario tener en cuenta las condiciones de contorno, que implican tener un conjunto de restricciones o aplicaciones que se definen en los bordes o límites de un dominio. Estas condiciones determinan cómo se comporta el fenómeno físico o una variable en la frontera del dominio de estudio.

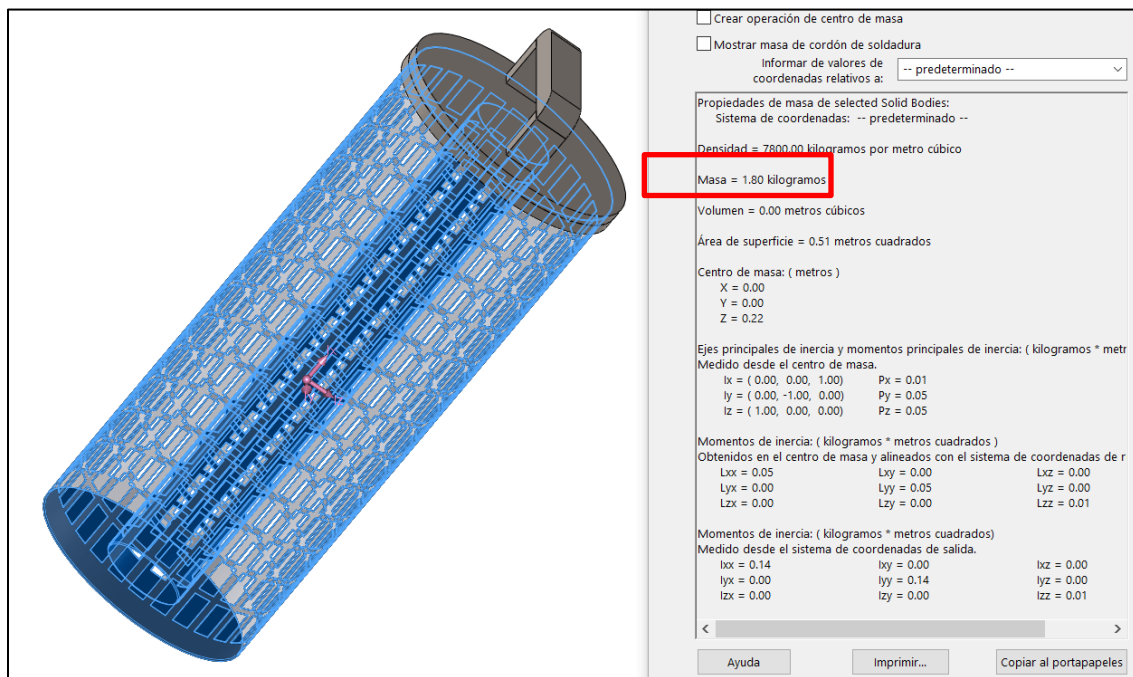
Para nuestro tanque de tratamiento de aguas residuales mostrado en la Figura 3.33 colocamos la restricción en la base de los brazos que irán apoyados en el tanque, lugar donde será posicionado para soportar a los contenedores.



**Figura 3.33.** Fijación de soporte en la cara que se apoya en el tanque.

Una vez que la restricción esté en su lugar, estableceremos las condiciones de aplicación en nuestro soporte de contenedores para llevar a cabo la simulación y obtener los resultados necesarios para la elaboración de esta tesis. Con el fin de calcular la resistencia y deformación de los elementos que componen el soporte de contenedores, aplicamos fuerzas en la zona donde serán colocados los contenedores.

Para obtener la carga del cartucho tendremos en consideración los siguientes pesos.



**Figura 3.34.** Peso de contenedor obtenido de propiedades físicas en Solidworks.

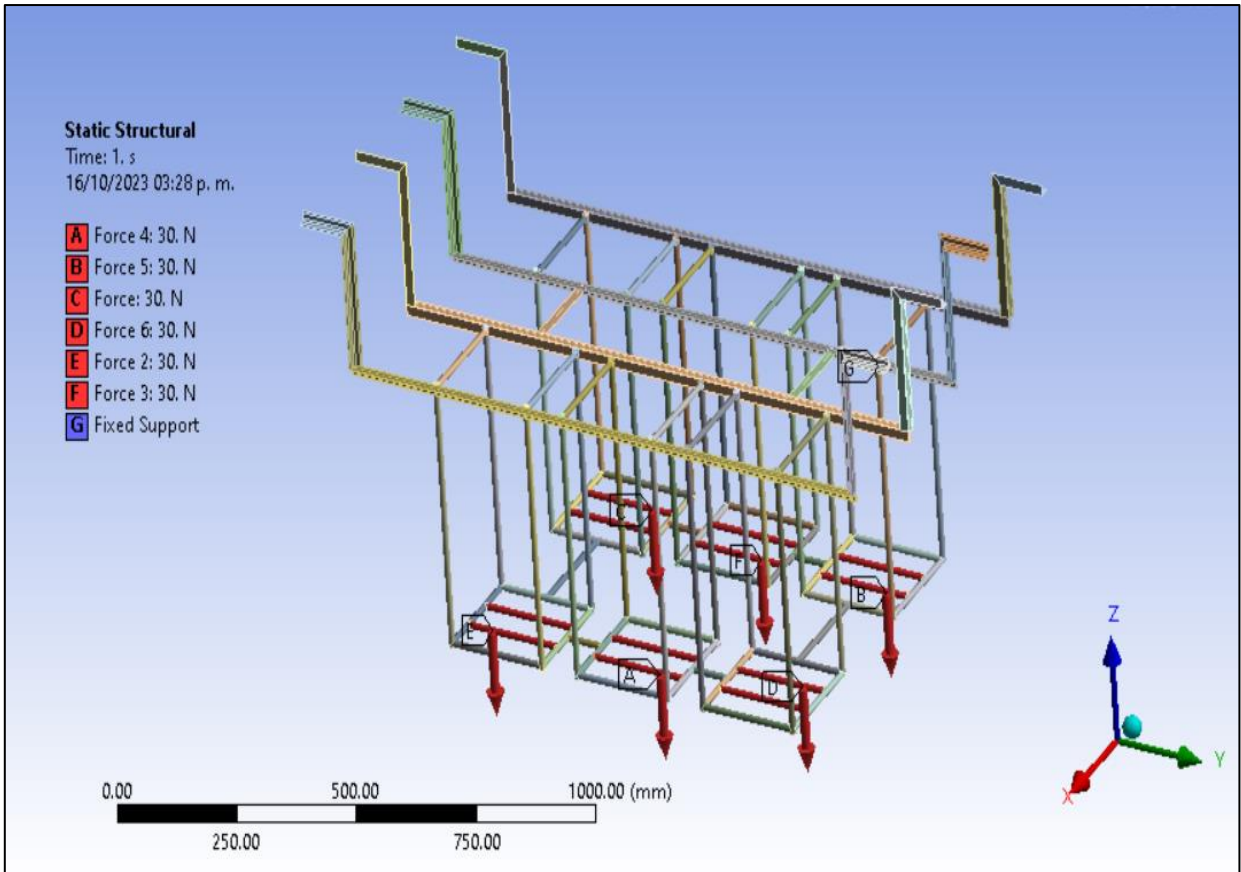
Peso del Contenedor = 1.8 Kg

Tapa de contenedor = 0.2 kg

Peso de perlas poliméricas con carga de microorganismos = 1 kg

Peso total = 3 kg

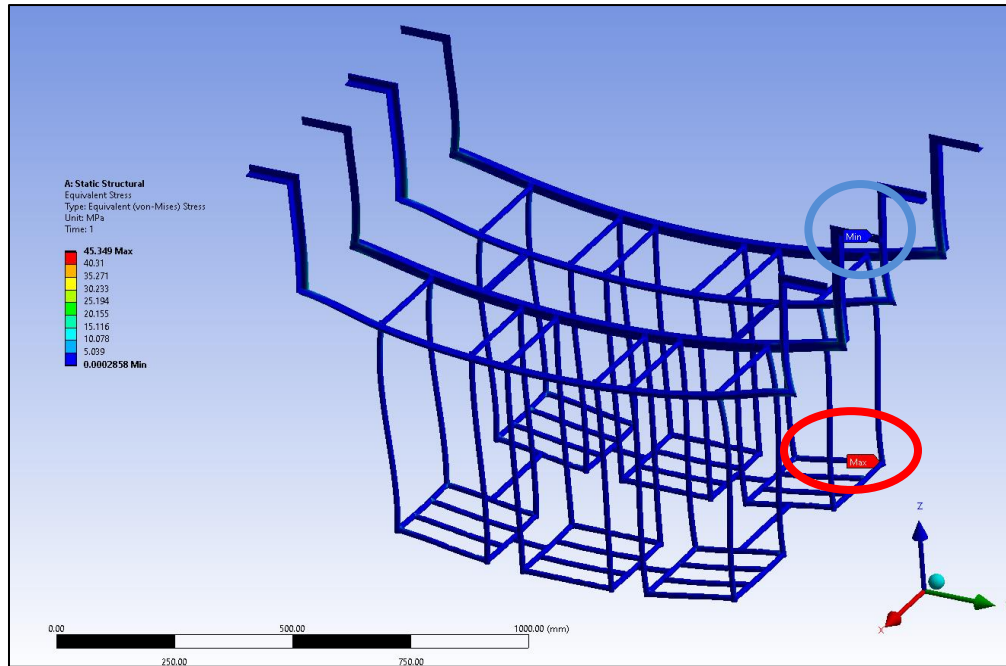
Fuerza aplicada = 30 N



**Figura 3.35.** Fuerzas aplicadas al soporte de contenedores para realizar un análisis estático.

A) Primer resultado: Von Mises Stress

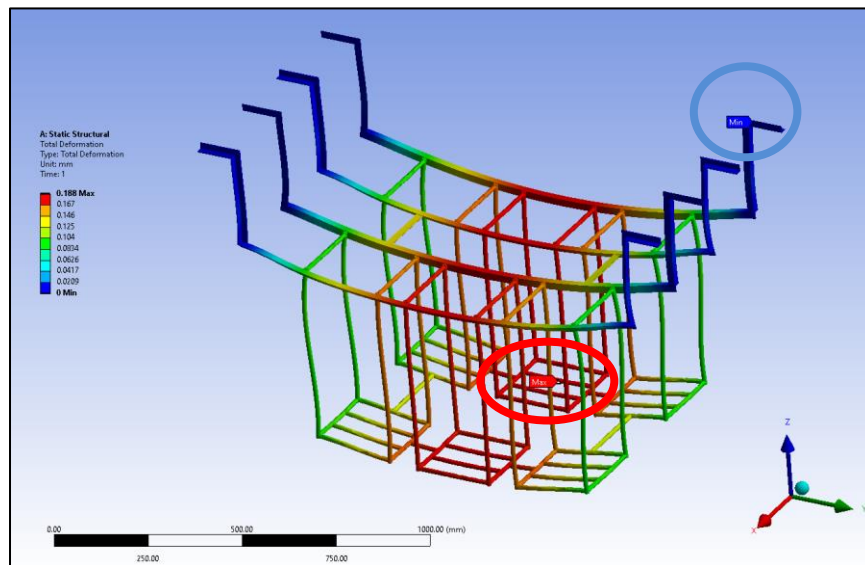
Tal como se aprecia en la Figura 3.36, podemos observar que, de acuerdo a la escala de colores, el esfuerzo máximo obtenido es de 45.34 MPa < 250 MPa, esto nos indica que el material tiene un buen comportamiento dúctil, siendo el material seleccionado el idóneo para la fabricación de la estructura. Así mismo podemos observar que el máximo esfuerzo se da en la base de una de las jaulas (círculo rojo).



**Figura 3.36.** Análisis estático de tensión nodal.

B) Segundo resultado: deformación de material

La máxima deformación obtenida es de 0.18 mm, siendo este resultado en la unión de las jaulas posteriores, lugar donde se colocan los contenedores.



**Figura 3.37.** Resultado de la deformación dado por el análisis estático.

### C) Tercer resultado: Factor de seguridad

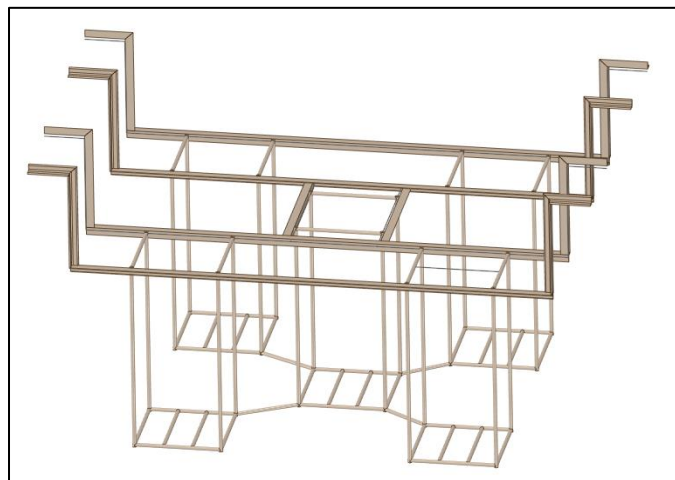
El factor de seguridad hallado es de 1.9, mayor a uno, lo que nos indica que el material no fallará.



**Figura 3.38.** Resultado del factor de seguridad dado por el análisis estático.

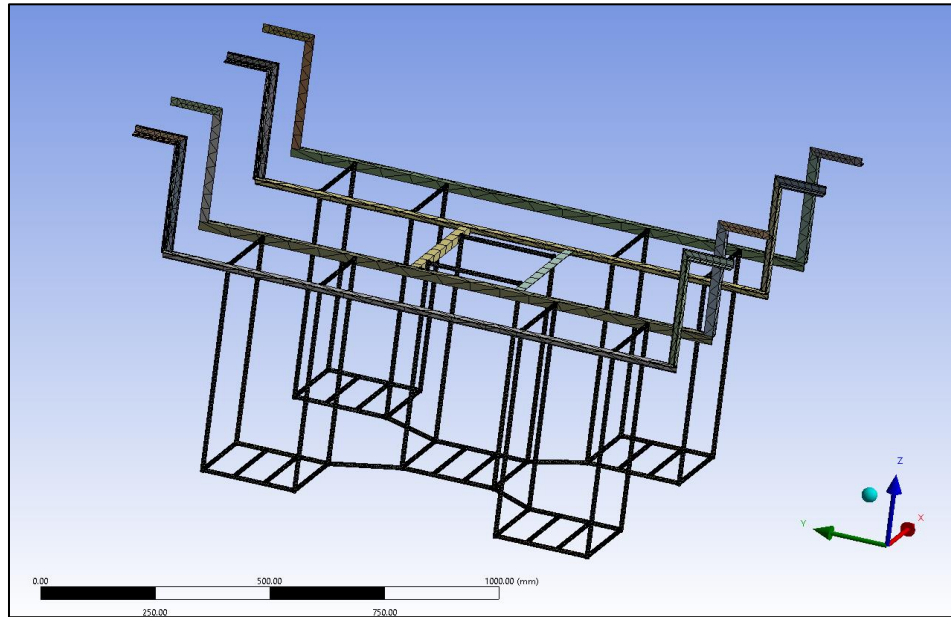
#### 3.4.1.2.3 Tercera alternativa

Tercera estructura diseñada para el soporte de los contenedores.



**Figura 3.39.** Tercera estructura utilizada como soporte para los contenedores.

Luego de tener la geometría definida, se procedió con el mallado como se muestra en la Figura 3.40. En esta simulación, se utilizó un tipo de malla tetraédrica, en lugar de hexaédrica, lo cual redujo el tiempo de simulación computacional.



**Figura 3.40.** Mallado de tercera estructura.

Una vez realizado el mallado obtendremos los siguientes datos, cabe resaltar que, debido al tamaño geométrico, 87 mm es lo mínimo que nos permite como tamaño de elemento.

Detalles de mallado	
Tipo de elemento	Solid
Cuadro delimitador diagonal	1820.1 mm
Superficie media	3538.9 mm
Longitud mínima del borde	4.71 mm
Nodos	1696798
Elementos	874482

**Tabla 23.** Tabla de datos de mallado de tanque.

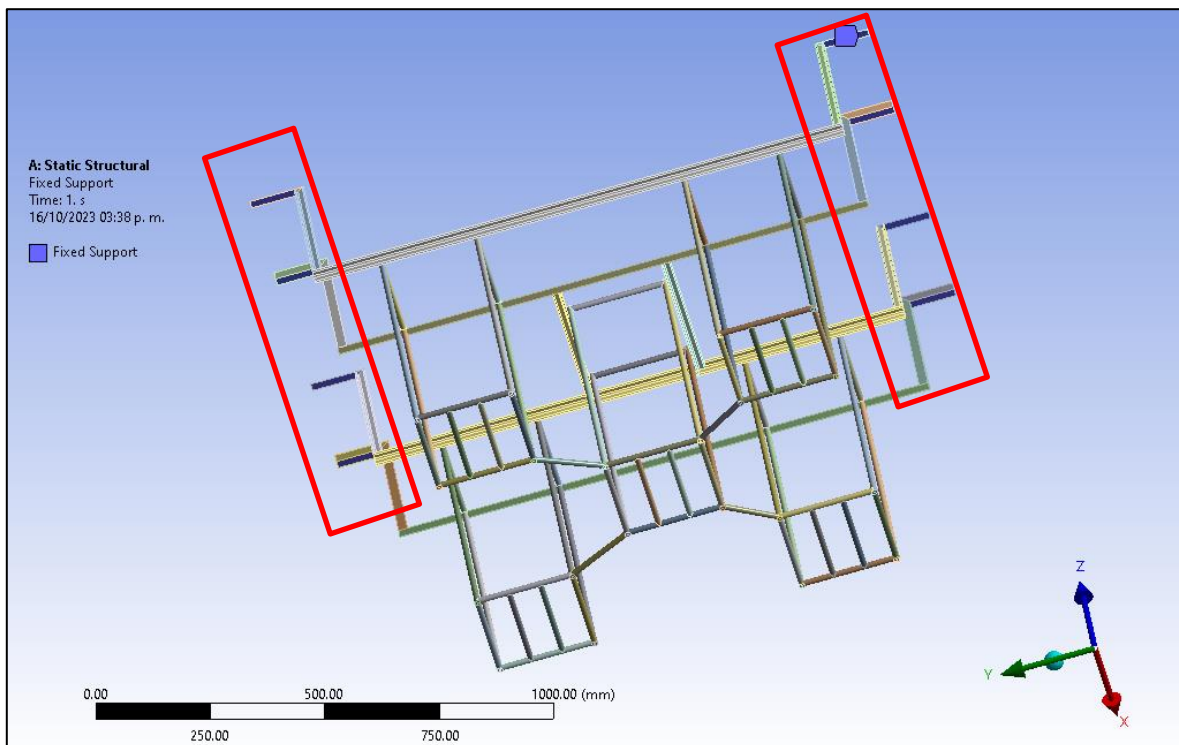
Continuando con la simulación, pondremos las cargas dadas en la Tabla 24, con ello podremos realizar los cálculos para el análisis estructural al tanque.

Análisis Estructural:	Tercer diseño
Material:	Acero estructural A36 - Ángulos de 20 x 20 x 3 como elementos principales - Varillas de 1/2 in
Fuerza:	40 N por cada uno, 200 N en total
Unión:	Soldadura

**Tabla 24.** Tabla de datos para cálculo de simulación de análisis estructural.

Para poder proceder con la ejecución de la simulación, es necesario tener en cuenta las condiciones de contorno, que implican tener un conjunto de restricciones o aplicaciones que se definen en los bordes o límites de un dominio. Estas condiciones determinan cómo se comporta el fenómeno físico o una variable en la frontera del dominio de estudio.

Para nuestro tanque de tratamiento de aguas residuales mostrado en la Figura 3.41 colocamos la restricción en la base de los brazos que irán apoyados en el tanque, lugar donde será posicionado para soportar a los contenedores.

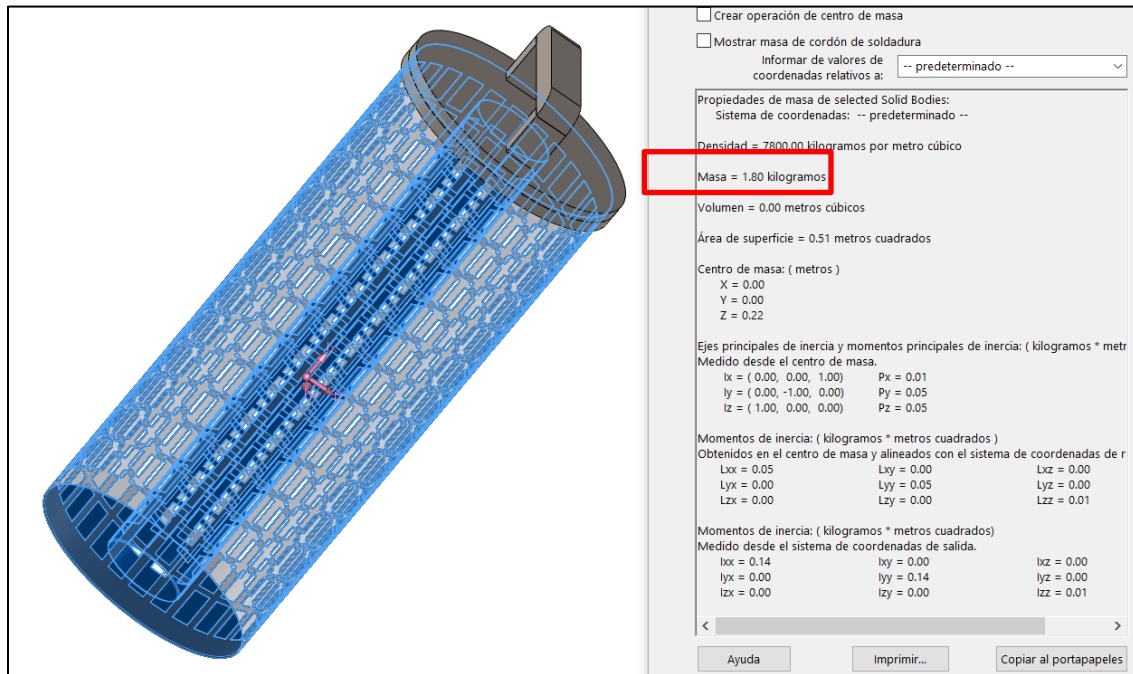


**Figura 3.41.** Fijación de soporte en la cara que se apoya en el tanque.



Una vez que la restricción esté en su lugar, estableceremos las condiciones de aplicación en nuestro soporte de contenedores para llevar a cabo la simulación y obtener los resultados necesarios para la elaboración de esta tesis. Con el fin de calcular la resistencia y deformación de los elementos que componen el soporte de contenedores, aplicamos fuerzas en la zona donde serán colocados los contenedores.

Para obtener la carga del cartucho tendremos en consideración los siguientes pesos.



**Figura 3.42.** Peso de contenedor obtenido de propiedades físicas en Solidworks.

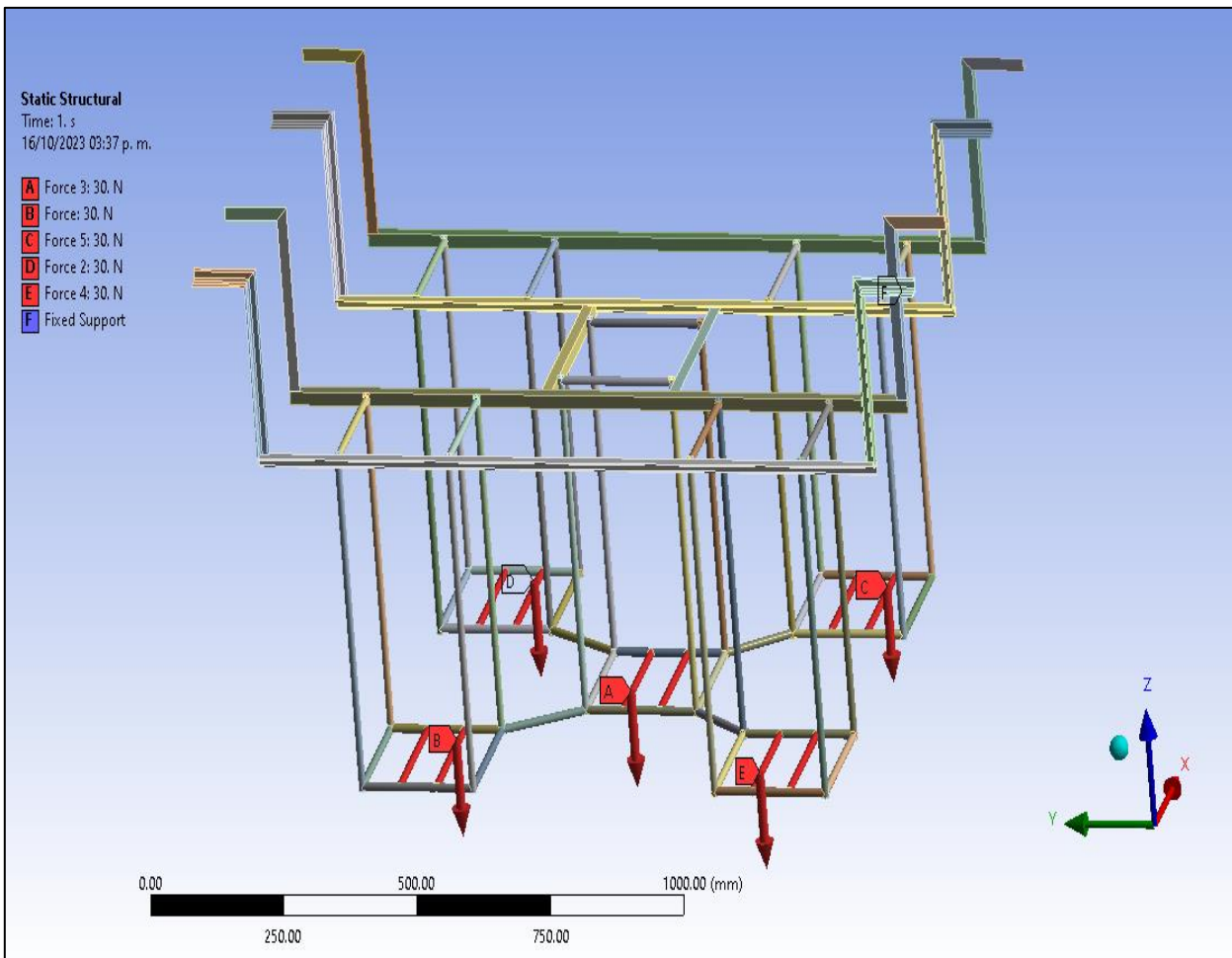
Peso del Contenedor = 1.8 Kg

Tapa de contenedor = 0.2 kg

Peso de perlas poliméricas con carga de microorganismos = 1 kg

Peso total = 3 kg

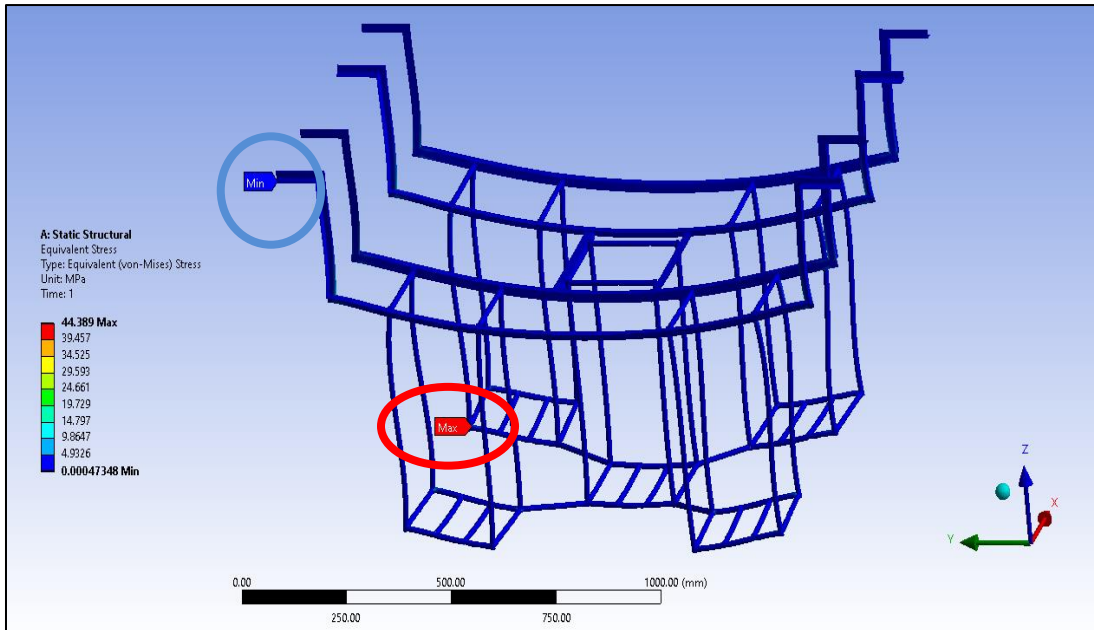
Fuerza aplicada = 30 N



**Figura 3.43.** Fuerzas aplicadas al soporte de contenedores para realizar un análisis estático.

A) Primer resultado: Von Mises Stress

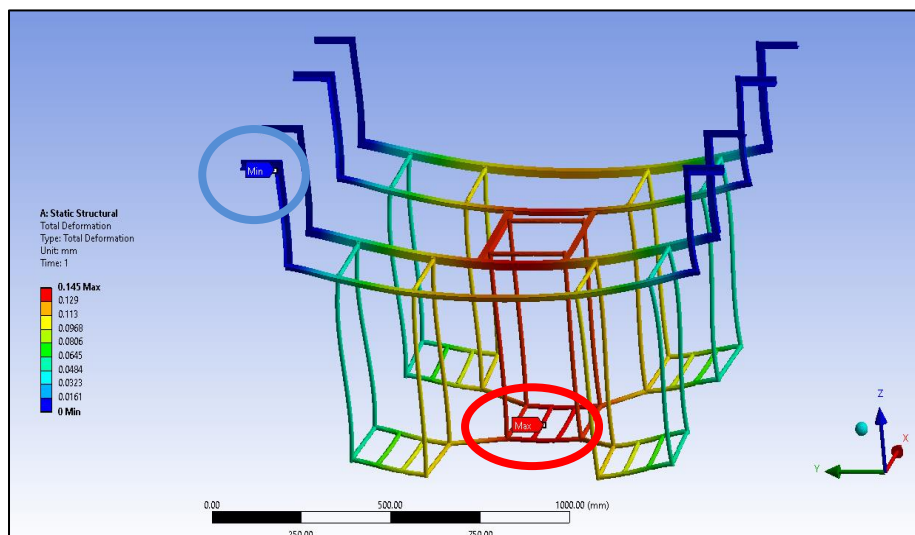
Tal como se aprecia en la Figura 3.44, podemos observar que, de acuerdo a la escala de colores, el esfuerzo máximo obtenido es de 44.38 MPa < 250 MPa, esto nos indica que el material tiene un buen comportamiento dúctil, siendo el material seleccionado el idóneo para la fabricación de la estructura. Así mismo podemos observar que el máximo esfuerzo se da en la base de una de las jaulas (círculo rojo).



**Figura 3.44.** Análisis estático de tensión nodal.

B) Segundo resultado: deformación de material

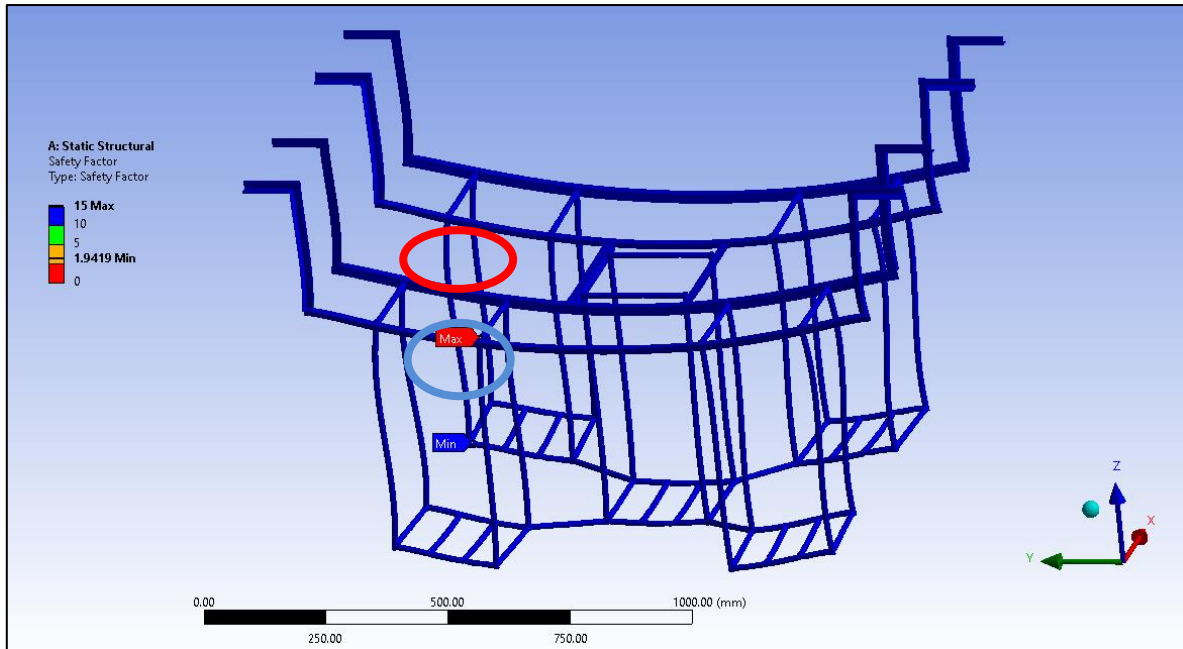
La máxima deformación obtenida es de 0.145 mm, siendo este resultado en la unión de las jaulas posteriores, lugar donde se coloca los contenedores.



**Figura 3.45.** Resultado de desplazamiento dado por el análisis estático.

### C) Tercer resultado: Factor de seguridad

El factor de seguridad hallado es de 1.9, mayor a uno, lo que nos indica que el material seleccionado no fallará.



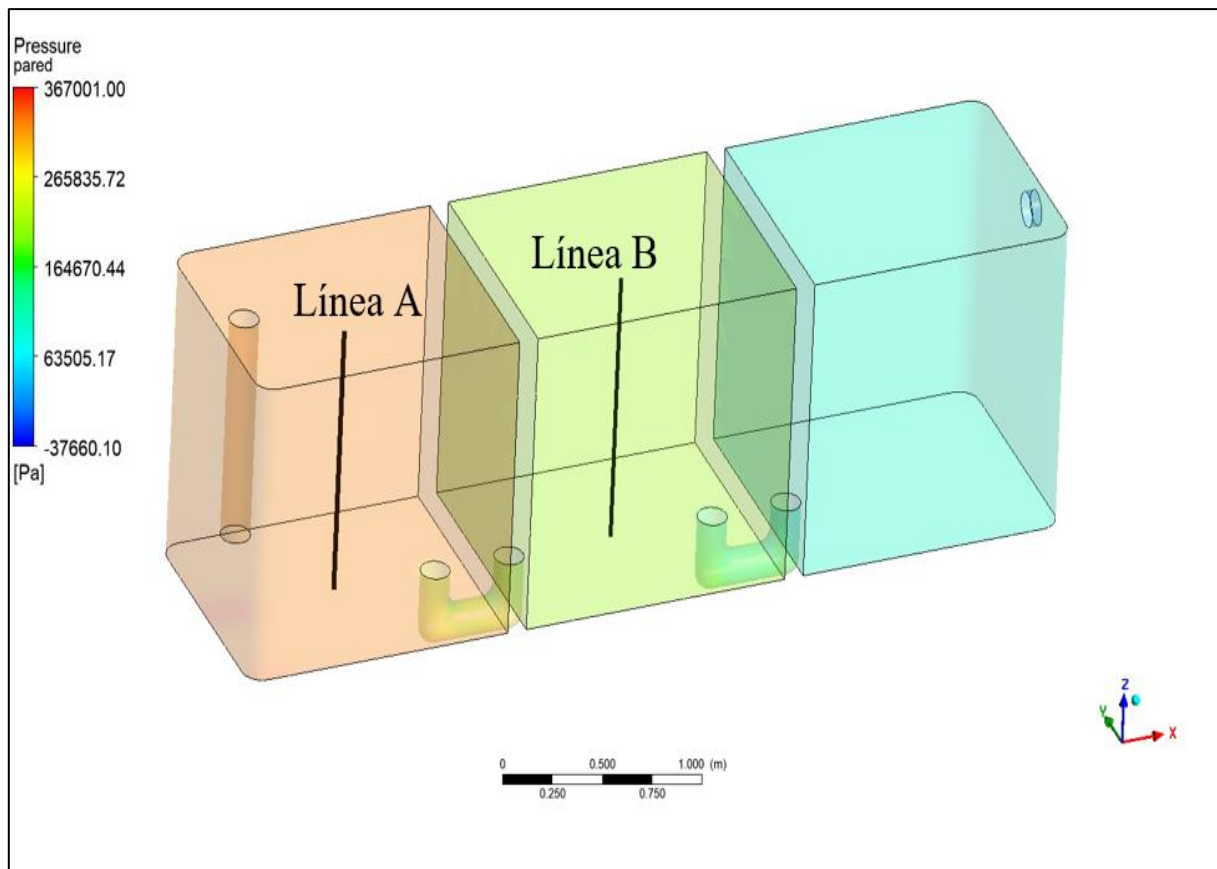
**Figura 3.46.** Resultado del factor de seguridad dado por el análisis estático.

### 3.4.2 Simulación dinámica por CFD

Para la simulación dinámica, se realizó la simulación dinámica inicialmente al tanque sin las estructuras instaladas ni los recipientes, con ellos podremos hacer un análisis inicial al comportamiento de flujo. Luego hicimos la simulación al tanque con la instalación de las formas de estructuras planteadas, finalmente se hizo una simulación a la geometría del orificio de la pared los contenedores de microorganismos.

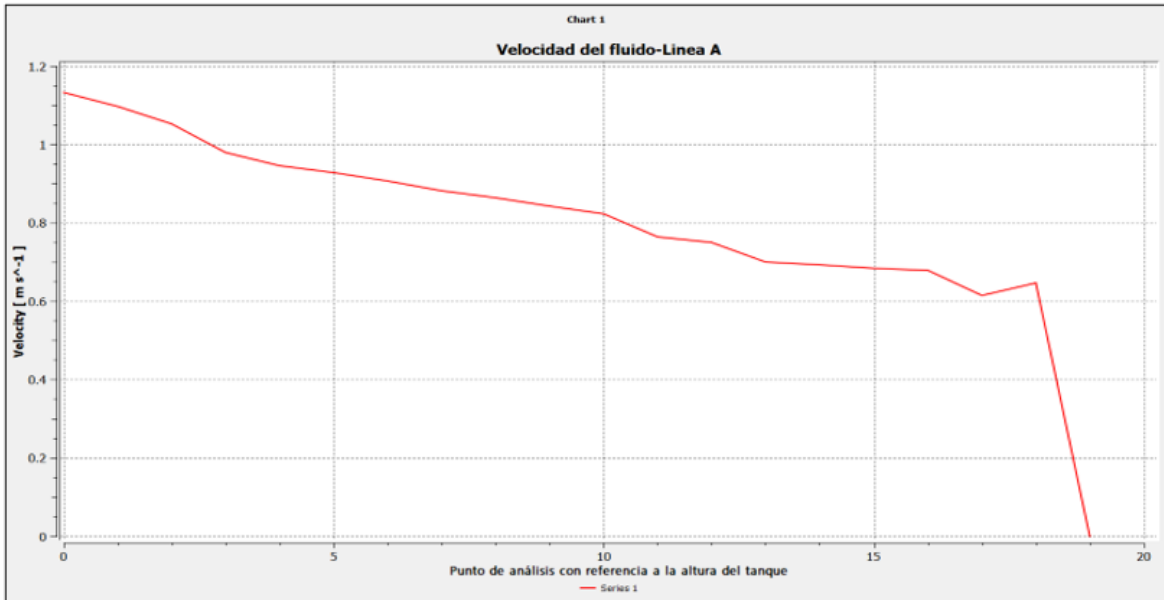
Una vez generada la configuración de cálculo, analizamos los resultados obtenidos. En la Figura 3.47 se muestra el resultado del análisis de presión en el tanque de tratamiento. Aunque la presión de entrada del sistema de trampa de grasa al tanque no es alta, a través de esta simulación podemos observar que en la primera y segunda etapa del tanque se produce una mayor concentración de partículas de grasa. Para un análisis más detallado, se trazaron

dos líneas con veinte puntos cada una, lo que nos permitirá obtener gráficas que nos ayudarán a un mayor análisis de estas divisiones del tanque.

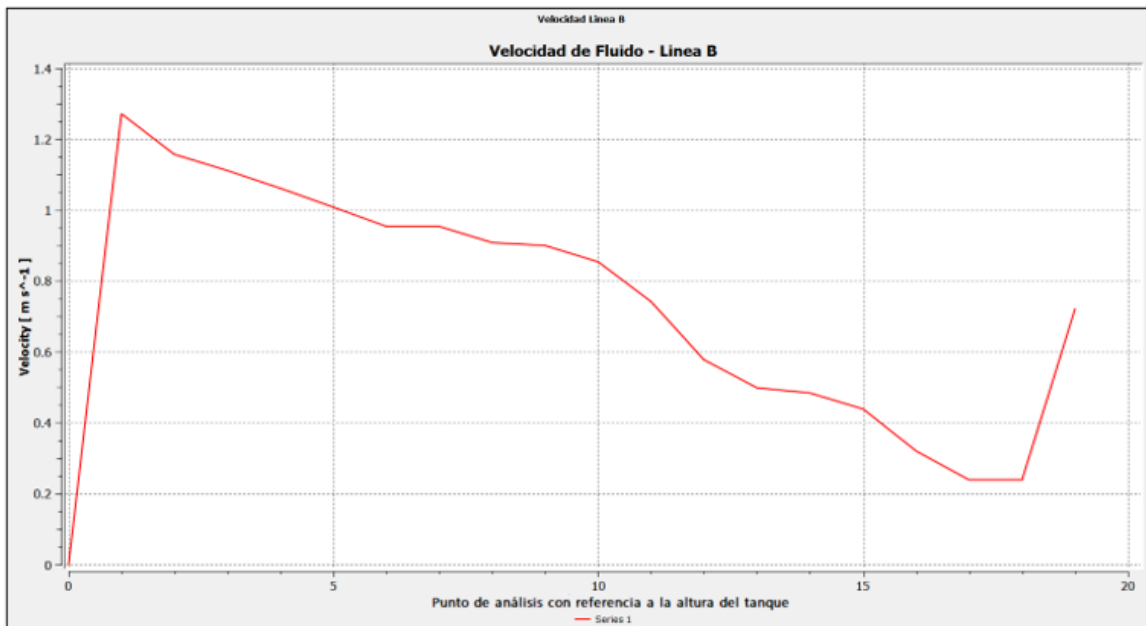


**Figura 3.47.** Resultado de la presión dinámica en pascales dentro del tanque de tratamiento.

Las siguientes gráficas de velocidad y presión representan los resultados obtenidos en los 20 puntos ubicados en las líneas A y B, en el centro de la primera y segunda división de la trampa de grasa. Estas divisiones no contienen ningún dispositivo adicional, lo que nos permite utilizarlas como referencia para comparar y analizar el comportamiento del fluido en relación a las tres alternativas planteadas. Estas gráficas nos proporcionarán una mejor comprensión del flujo y nos ayudarán en la toma de decisiones para mejorar el diseño y la eficiencia del sistema de tratamiento.

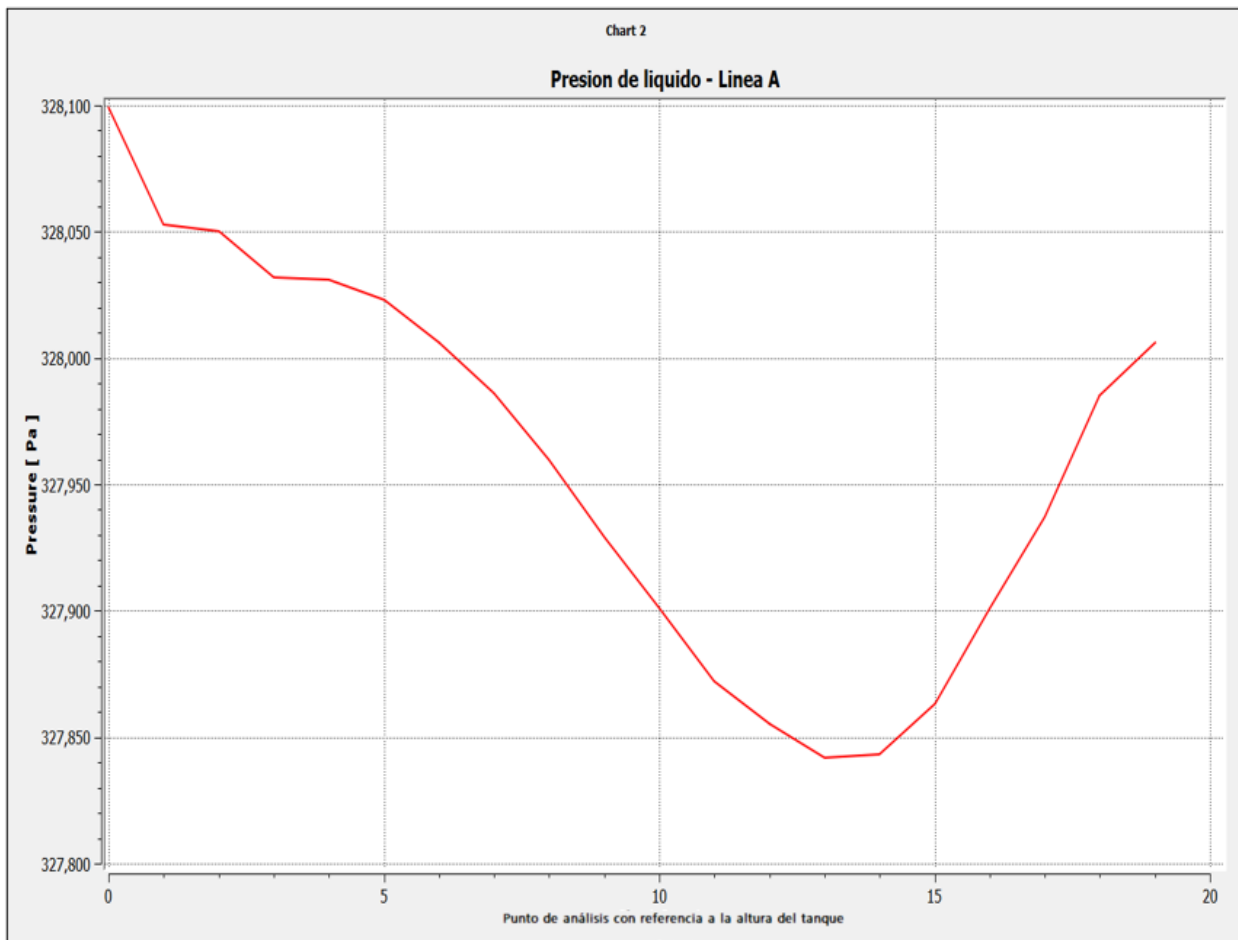


**Figura 3.48.** Gráfica de la velocidad del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent.

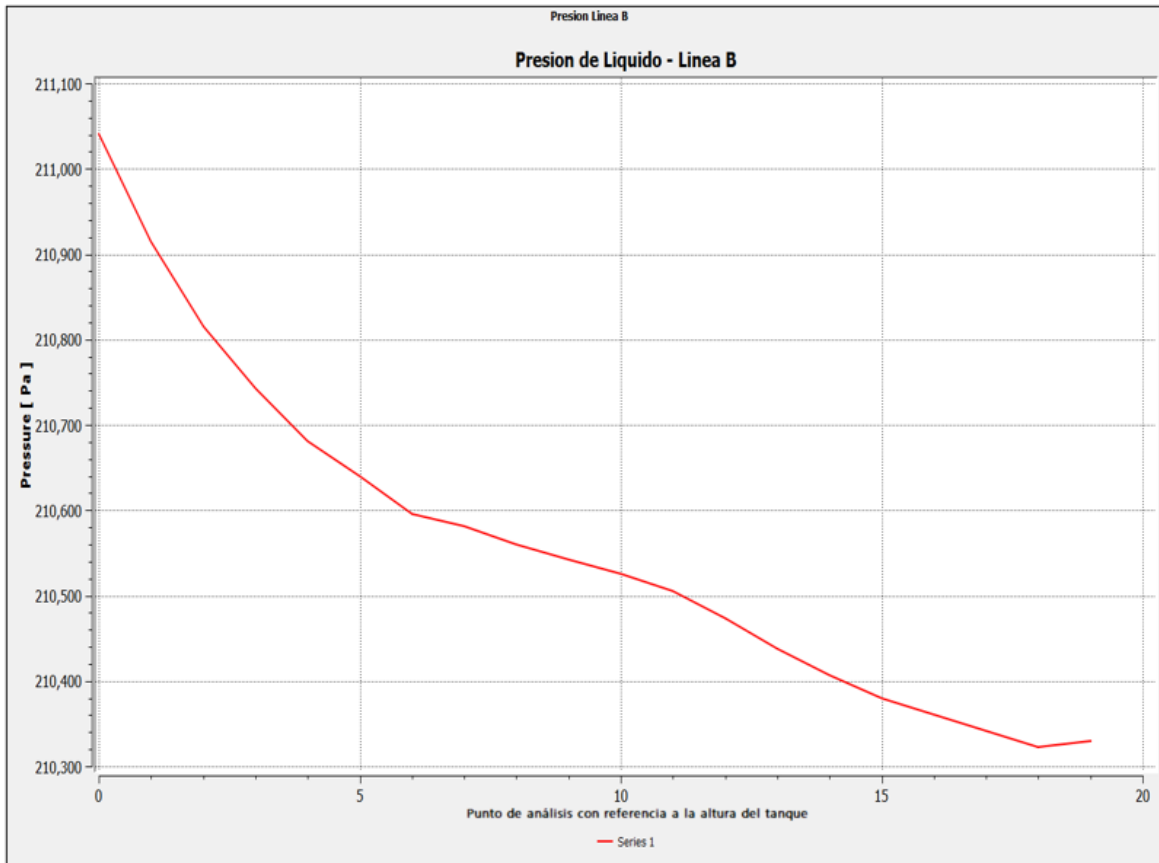


**Figura 3.49.** Gráfica de la velocidad del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del segundo tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent.

En las gráficas presentadas (Figura 3.48, Figura 3.49) se observa que la velocidad más alta del fluido se encuentra entre el centro y la parte superior del tanque. Esto indica una mayor agitación de las partículas de grasa, lo cual es beneficioso para nuestros contenedores. Con esta agitación, se logra una mayor captura de partículas de grasa, permitiendo que los orificios de los contenedores estén libres y disponibles para capturar estas partículas.



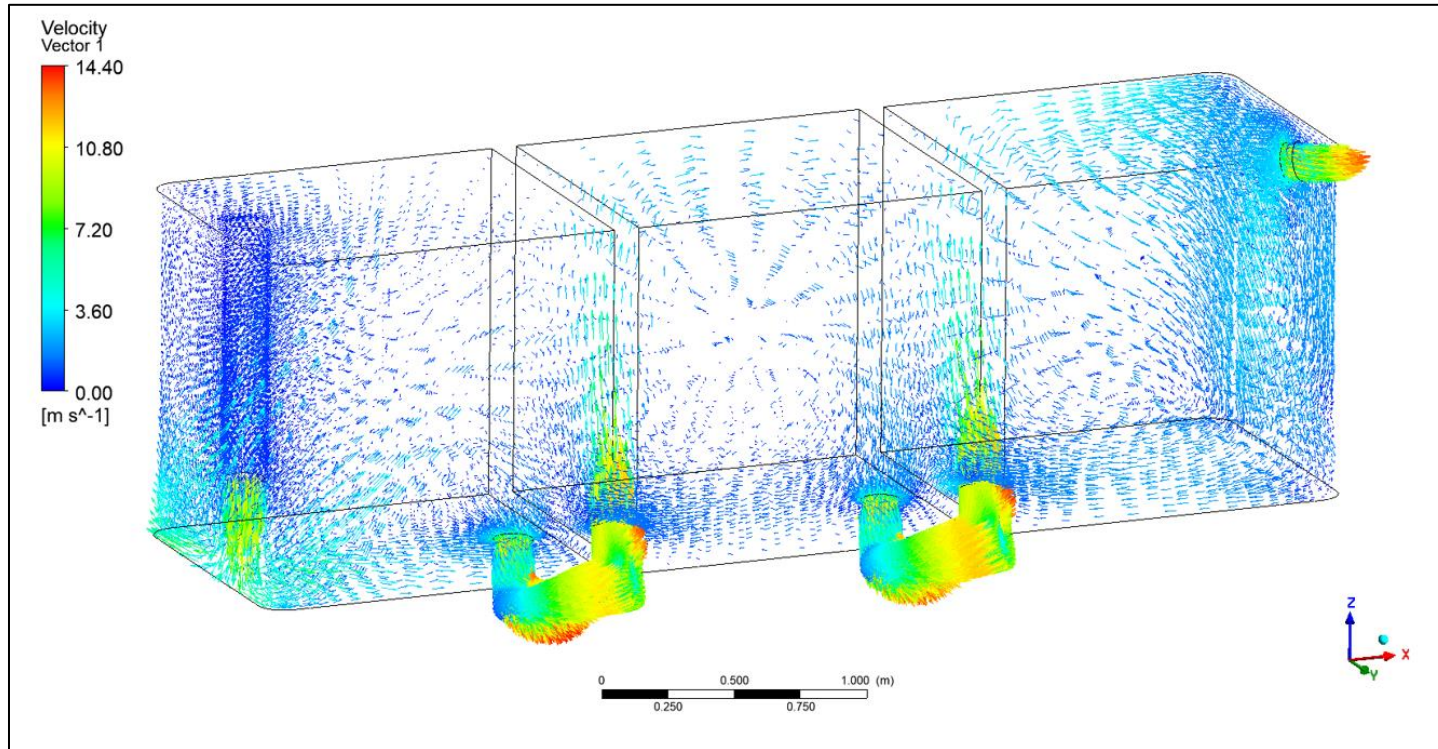
**Figura 3.50.** Gráfica de presión del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent.



**Figura 3.51.** Gráfica de presión del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent.

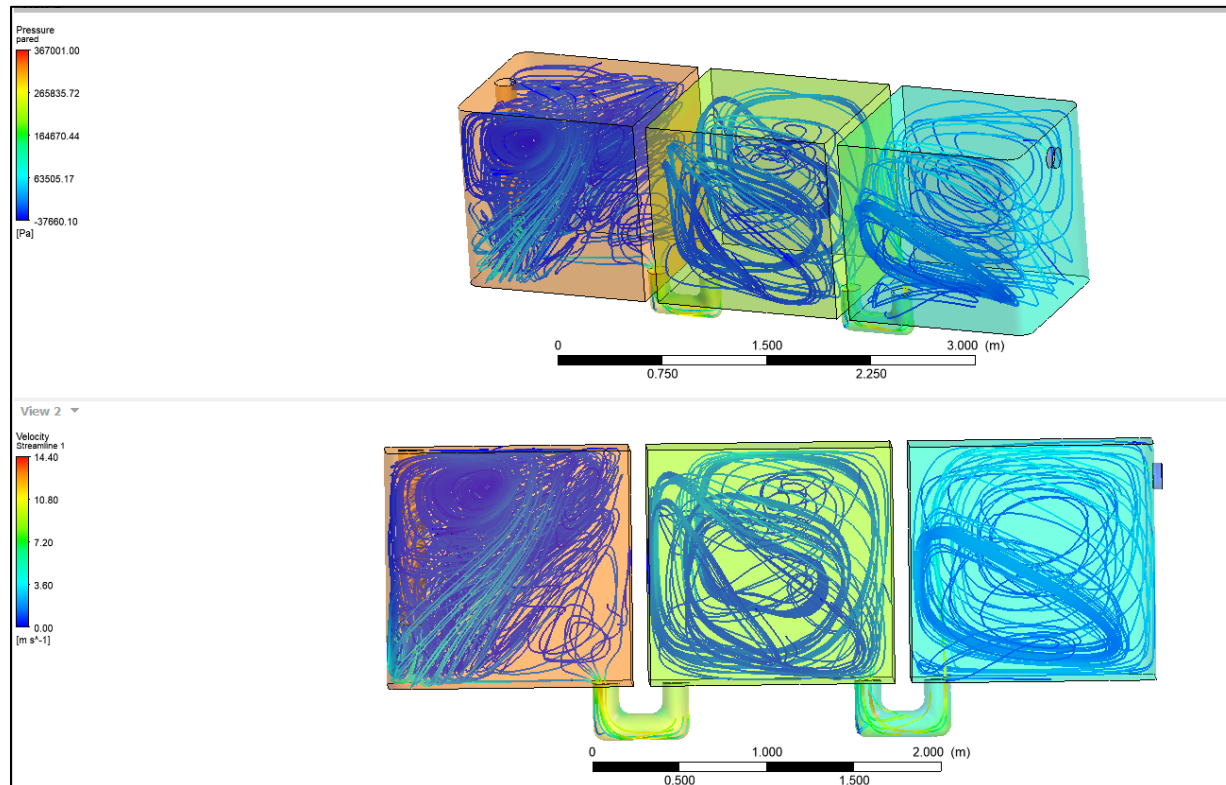
Con respecto a las gráficas (Figura 3.50, Figura 3.51) se observa que la presión en ambos tanques, tanto en el primero como en el segundo, es mayor a partir de la mitad del tanque hacia la parte superior. Esto indica una alta concentración de partículas de grasa en esa zona, que es donde se encuentran ubicados los contenedores. Estos resultados son consistentes con la distribución esperada de las partículas de grasa en el tanque. Al tener una mayor concentración de grasa en la parte superior, se garantiza que los contenedores estén ubicados estratégicamente para capturar estas partículas y lograr un tratamiento efectivo de las aguas residuales.





**Figura 3.52.** Vectores de velocidad en el plano ZX.

La Figura 3.52 presenta el campo de vectores de velocidad en el plano de corte ZX. En este, se visualiza cómo el flujo se expulsa radialmente desde la tubería de entrada hacia la salida de cada división, colisionando con las paredes del tanque. Posteriormente, una parte del flujo se desplaza axialmente hacia la parte superior, mientras que la otra se dirige hacia la parte inferior del tanque. Ambos flujos regresan hacia las tuberías de salida para ser expulsados nuevamente. Esta representación facilita la comprensión del patrón de flujo y su comportamiento.



**Figura 3.53.** Configuraciones de flujo en todo el dominio del tanque, representadas por líneas de corriente de velocidad.

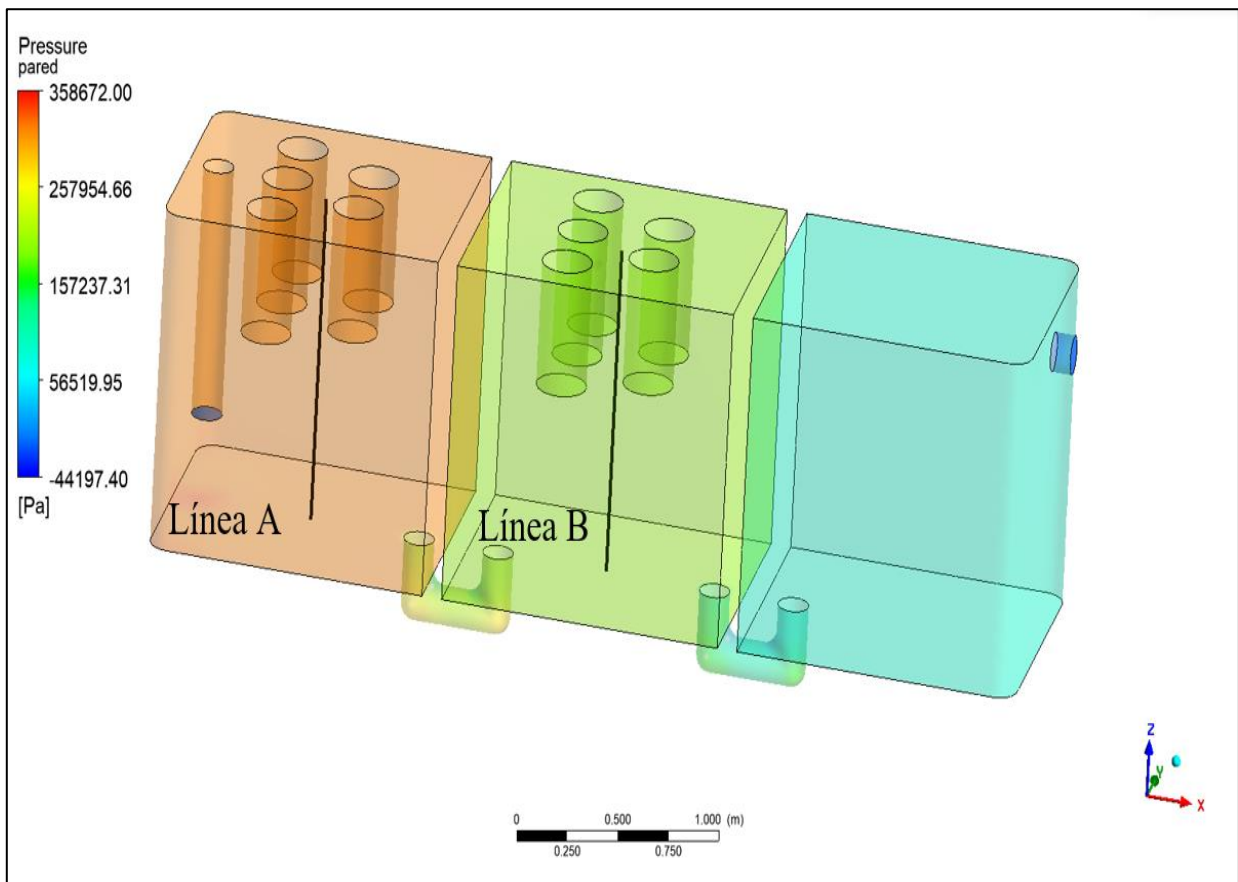
En la Figura 3.53 se presentan las disposiciones del flujo en toda la extensión del tanque, mostradas a través de las líneas de corriente de velocidad. En ella, se visualiza cómo el flujo se origina desde la tubería de entrada y se distribuye tanto hacia la parte superior como hacia la inferior del tanque. También se destacan la presencia de remolinos en la primera división, que corresponde al punto de entrada de las aguas residuales.

### 3.4.2.1 Simulación de fluido en los diseños propuestos para el orden de contenedores

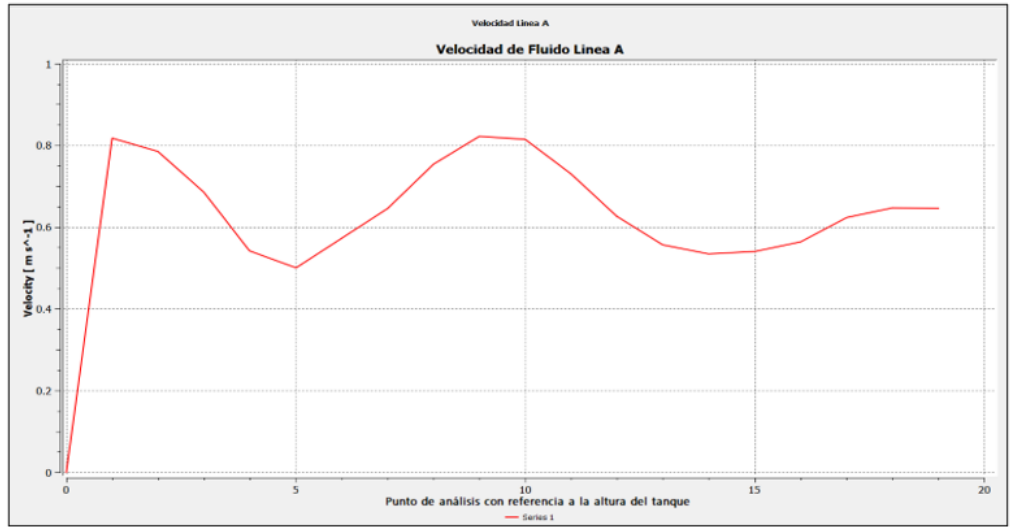
A continuación, se presenta la simulación de fluido en los 3 diseños propuestos, para definir el comportamiento del fluido ante los órdenes propuestos de los contenedores.

#### 3.4.2.1.1 Simulación de fluido del primer diseño de estructura

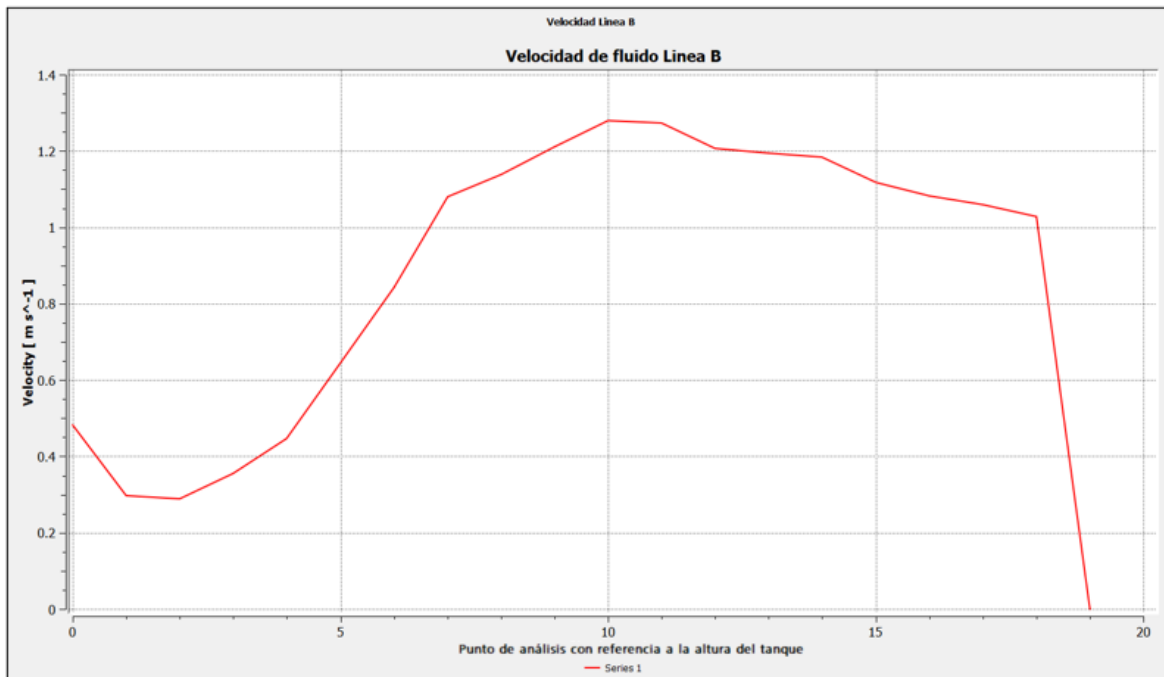
Una vez generada la configuración de cálculo, analizamos los resultados obtenidos, en la Figura 3.54 tenemos el resultado del tanque basado en la presión. Con respecto a la presión, para los 3 diseños propuestos tendremos un resultado similar, en la que se define la primer y segunda división como lugares donde se da las mayores presiones.



**Figura 3.54.** Resultado de la presión dentro del tanque de tratamiento

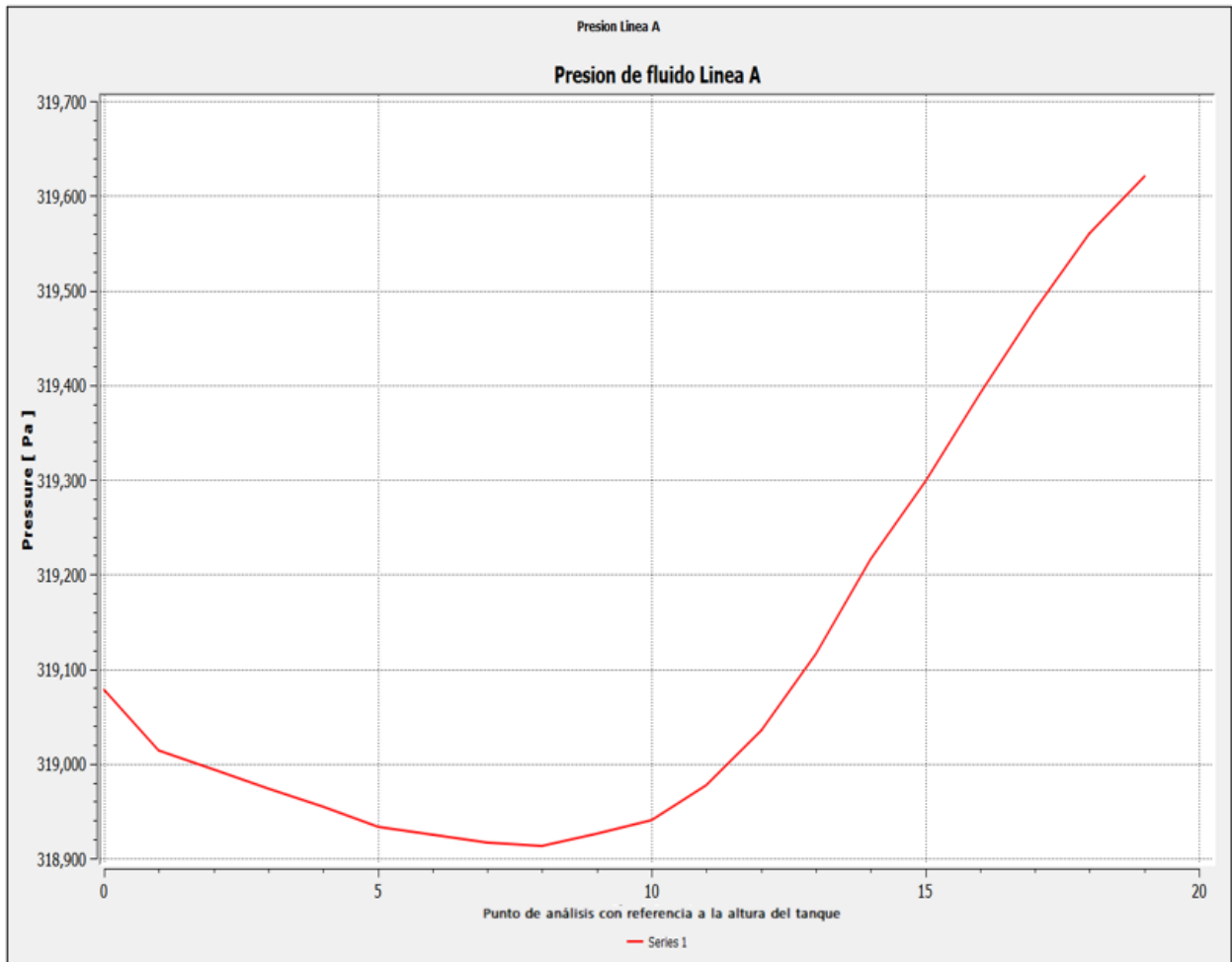


**Figura 3.55.** Gráfica de la velocidad del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent.

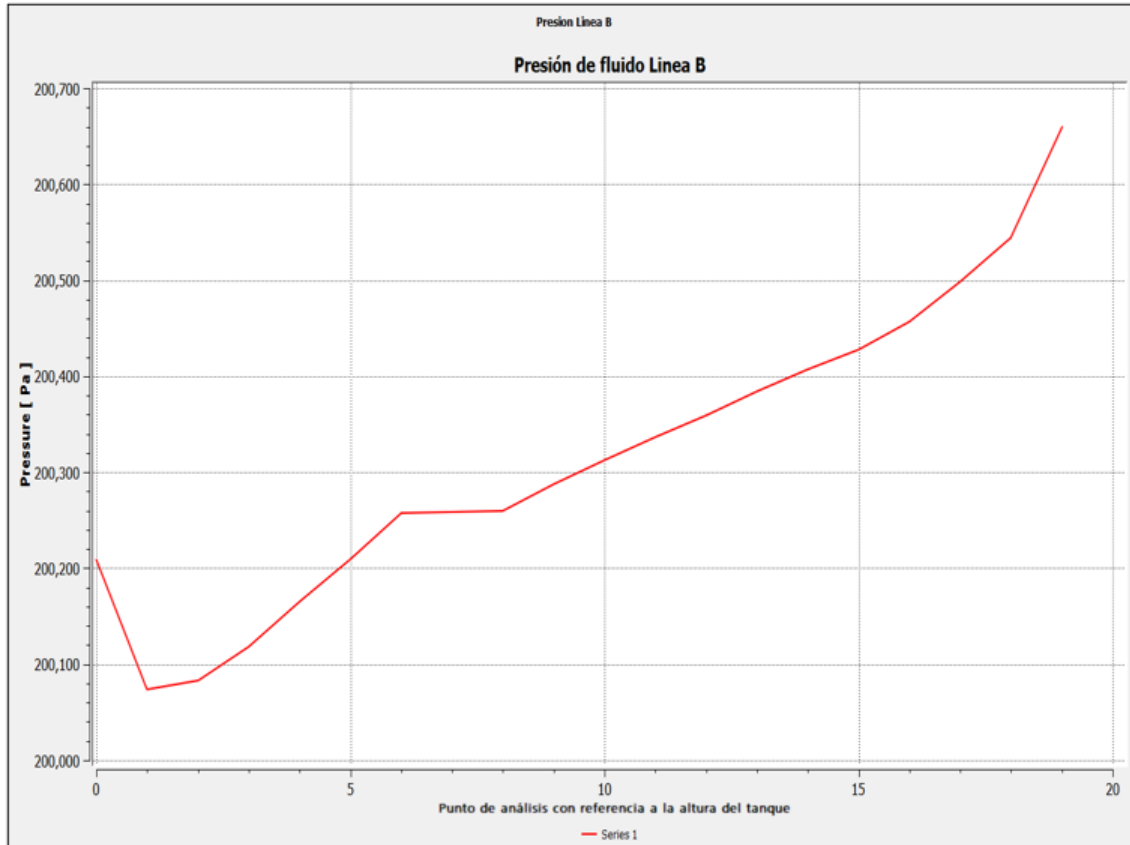


**Figura 3.56.** Gráfica de la velocidad del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del segundo tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent.

En las gráficas presentadas (Figura 3.55, Figura 3.56) se observa que la velocidad más alta del fluido se encuentra entre el centro y la parte superior del tanque. Esto indica una mayor agitación de las partículas de grasa, lo cual es beneficioso para nuestros contenedores. Con esta agitación, se logra una mayor captura de partículas de grasa, permitiendo que los orificios de los contenedores estén libres y disponibles para capturar estas partículas.

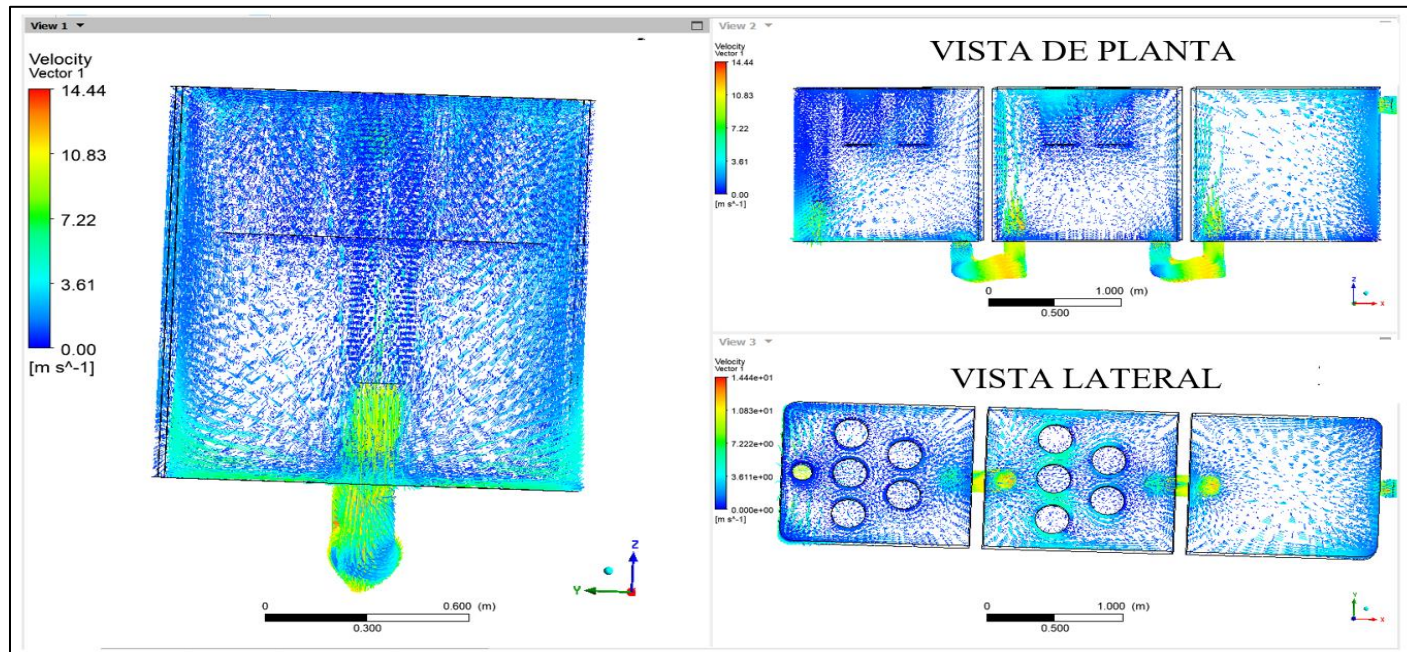


**Figura 3.57.** Gráfica de presión del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent.



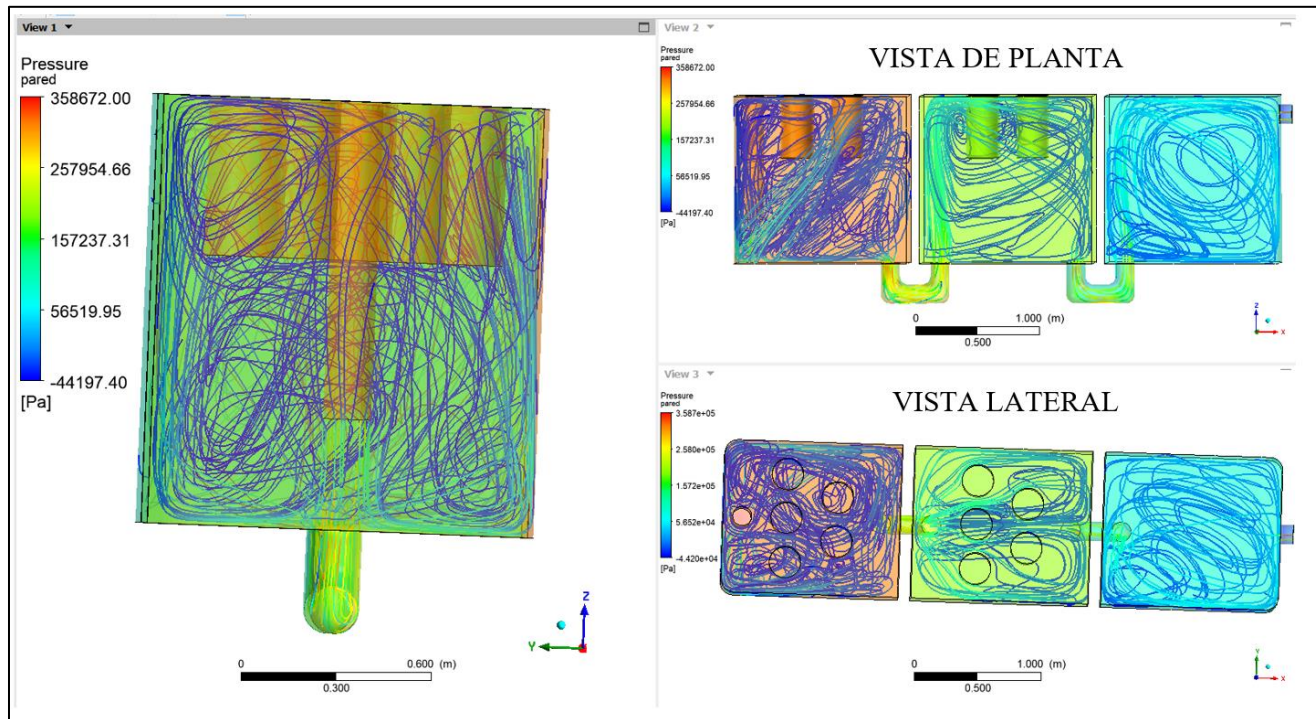
**Figura 3.58.** Gráfica de presión del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent.

Con respecto a las gráficas (Figura 3.57, Figura 3.58) se observa que la presión en ambos tanques, tanto en el primero como en el segundo, es mayor a partir de la mitad del tanque hacia la parte superior. Esto indica una alta concentración de partículas de grasa en esa zona, que es donde se encuentran ubicados los contenedores. Estos resultados son consistentes con la distribución esperada de las partículas de grasa en el tanque. Al tener una mayor concentración de grasa en la parte superior, se garantiza que los contenedores estén ubicados estratégicamente para capturar estas partículas y lograr un tratamiento efectivo de las aguas residuales.



**Figura 3.59.** Vectores de velocidad en el plano ZX.

La Figura 3.59 exhibe el campo de vectores de velocidad en el plano de corte ZX. En ella, se evidencia cómo el flujo se expulsa radialmente desde la tubería de entrada hacia la salida de cada división, impactando contra las paredes del tanque. Luego, una parte del flujo se dirige axialmente hacia la parte superior, mientras que la otra se desplaza hacia la parte inferior del tanque. Ambos flujos regresan hacia las tuberías de salida para ser expulsados nuevamente. Esta representación contribuye a comprender el patrón de flujo y su comportamiento. Además, se nota una disminución de velocidad en la segunda división en comparación con la posición de los contenedores.



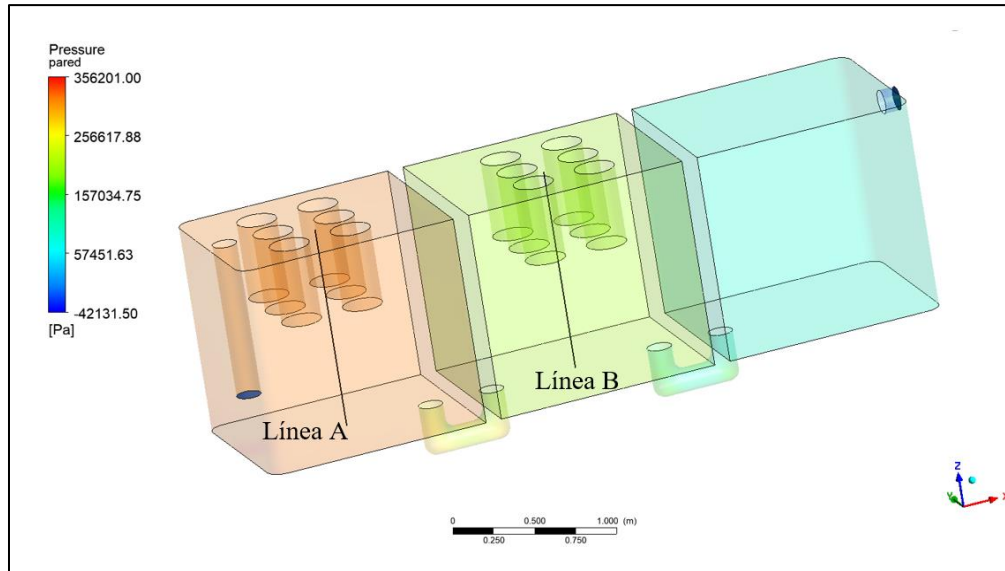
**Figura 3.60.** Configuraciones de flujo en todo el dominio del tanque, representadas por líneas de corriente de velocidad.

La Figura 3.60. exhibe las disposiciones del flujo en todo el dominio del tanque, representadas mediante líneas de corriente de velocidad. Se percibe cómo el flujo se inicia desde la tubería de entrada y se distribuye tanto hacia la parte superior como hacia la inferior del tanque. También se destaca que la trayectoria del fluido abarca completamente los recipientes en la primera división, mientras que en la segunda división uno de los recipientes no se encuentra cubierto. Además, se observa una disminución de los remolinos de turbulencia en la primera división en comparación con la simulación general del tanque.

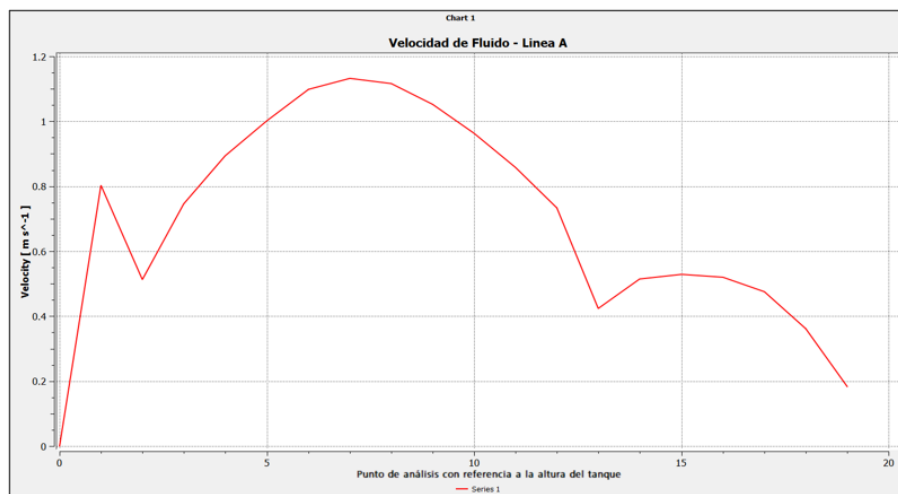


### 3.4.2.1.2 Simulación de fluido del segundo diseño de estructura

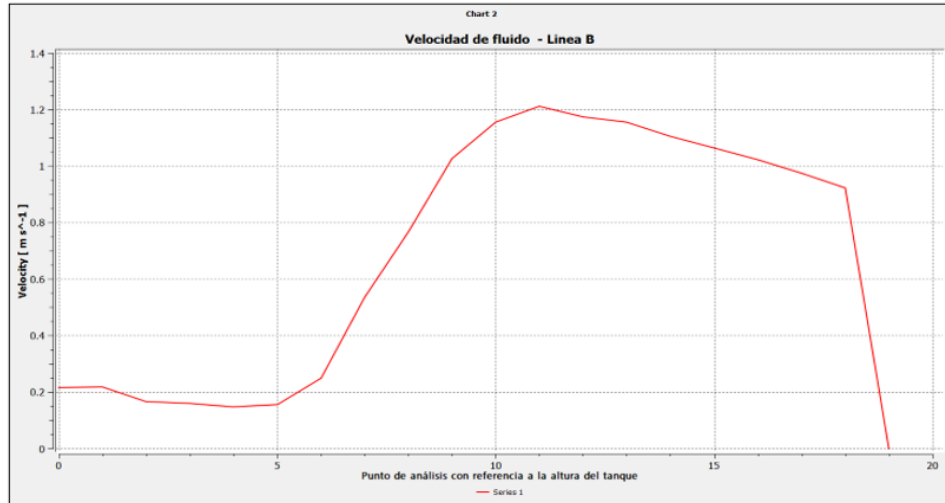
Una vez generada la configuración de cálculo, analizamos los resultados obtenidos, en la Figura 3.61 tenemos el resultado del tanque basado en la presión.



**Figura 3.61.** Resultado de la presión dentro del tanque de tratamiento.

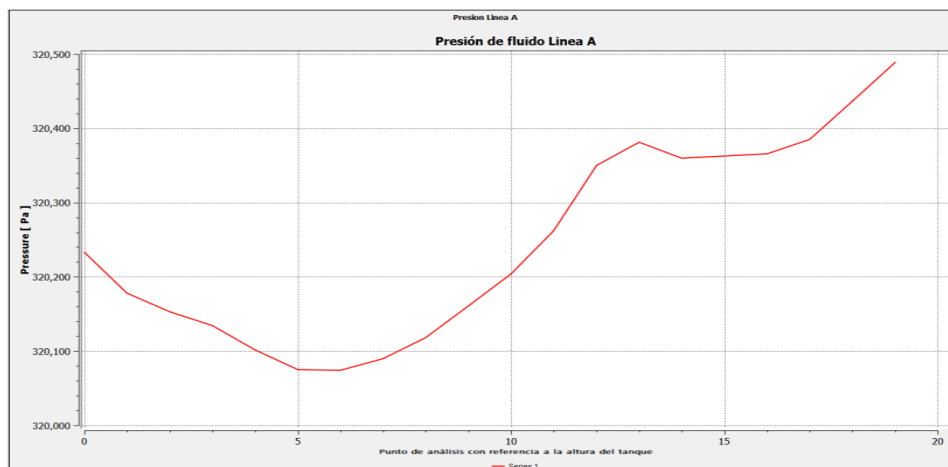


**Figura 3.62.** Gráfica de la velocidad del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent.

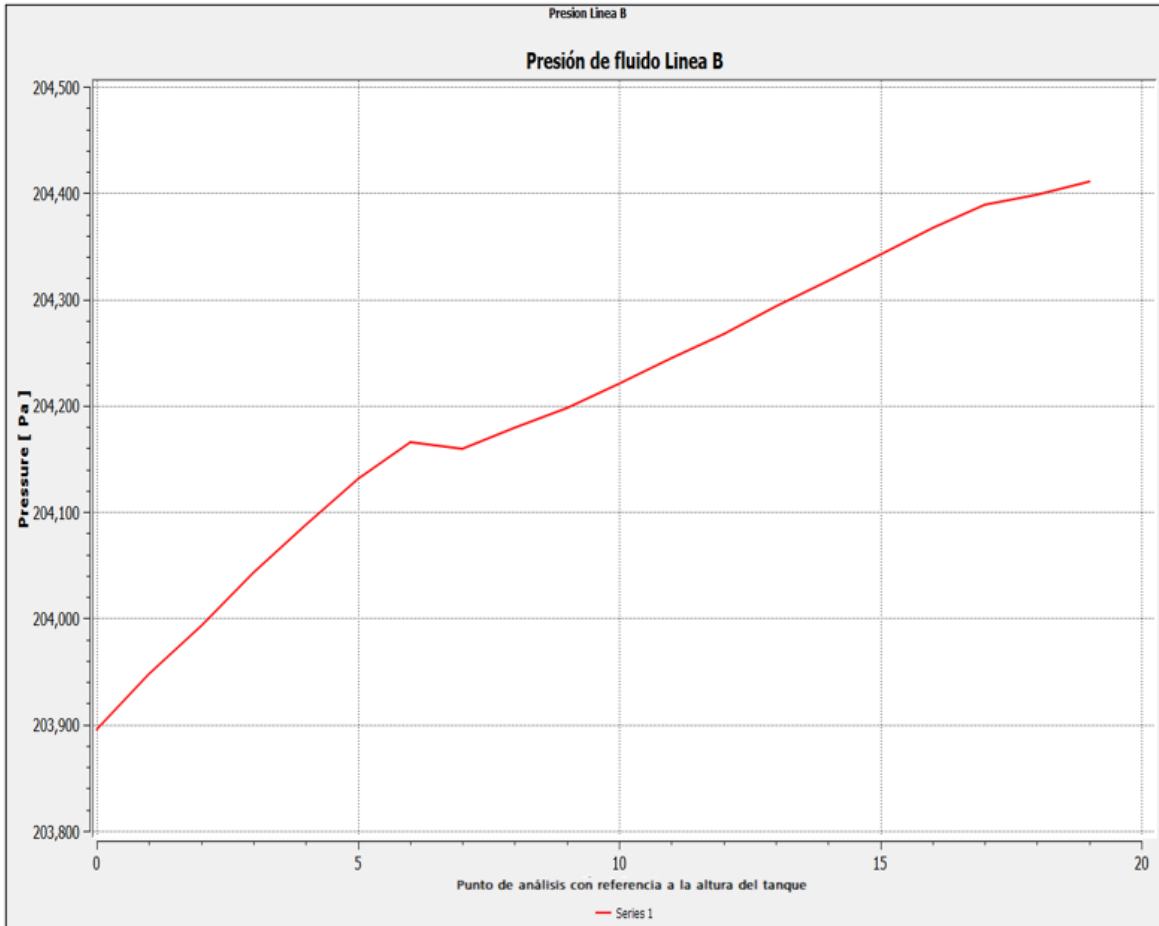


**Figura 3.63.** Gráfica de la velocidad del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del segundo tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent.

En las gráficas presentadas (Figura 3.62 y Figura 3.64) se observa que la velocidad más alta del fluido se encuentra entre el centro y la parte superior del tanque. Esto indica una mayor agitación de las partículas de grasa, lo cual es beneficioso para nuestros contenedores. Con esta agitación, se logra una mayor captura de partículas de grasa, permitiendo que los orificios de los contenedores estén libres y disponibles para capturar estas partículas.

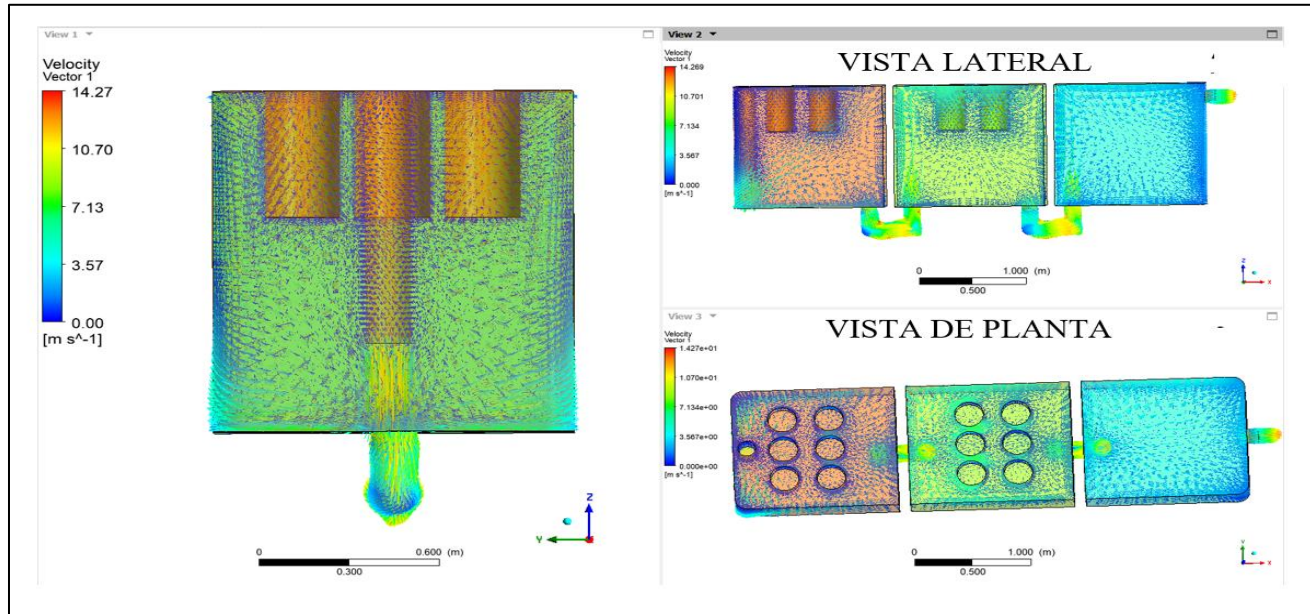


**Figura 3.64.** Gráfica de presión del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent.



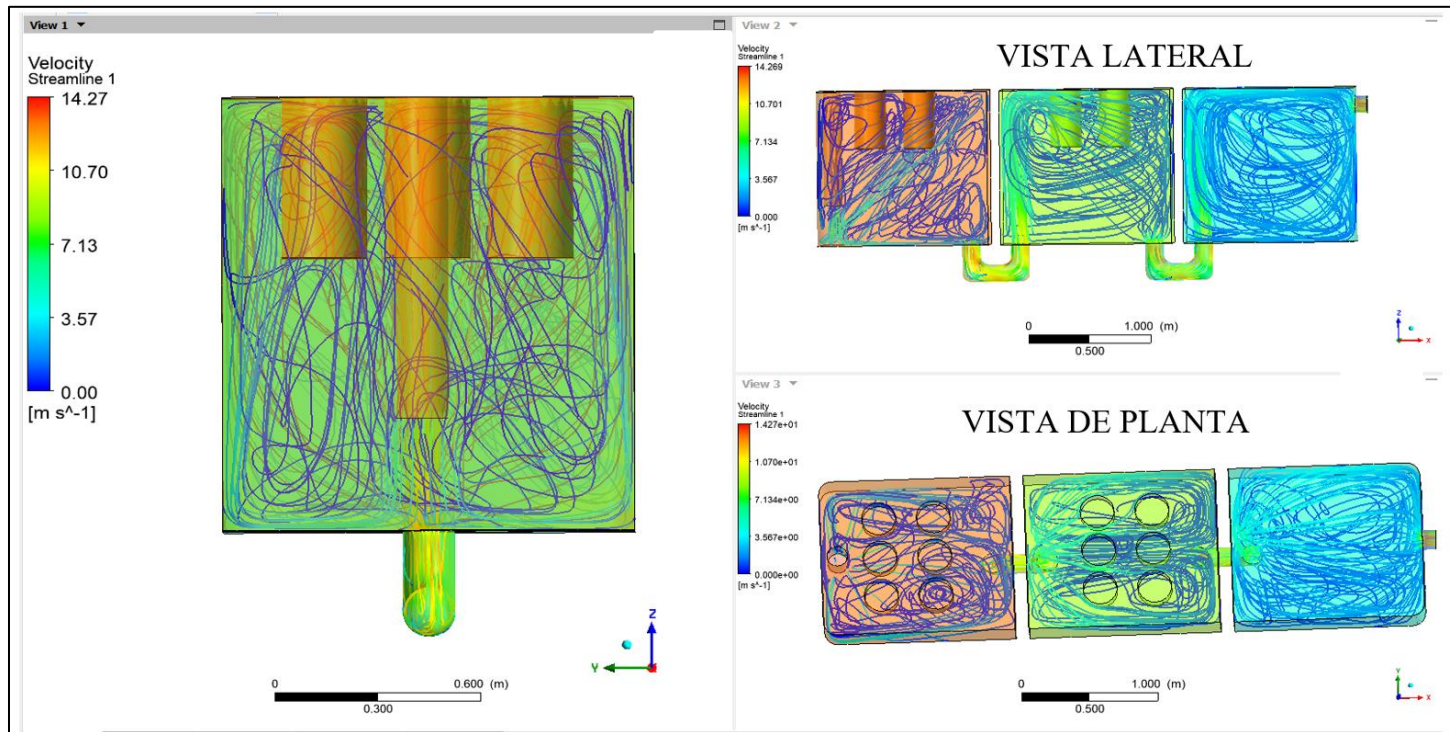
**Figura 3.65.** Gráfica de presión del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent

Con respecto a las gráficas (Figura 3.64 y Figura 3.65) se observa que la presión en ambos tanques, tanto en el primero como en el segundo, es mayor a partir de la mitad del tanque hacia la parte superior. Esto indica una alta concentración de partículas de grasa en esa zona, que es donde se encuentran ubicados los contenedores. Estos resultados son consistentes con la distribución esperada de las partículas de grasa en el tanque. Al tener una mayor concentración de grasa en la parte superior, se garantiza que los contenedores estén ubicados estratégicamente para capturar estas partículas y lograr un tratamiento efectivo de las aguas residuales.



**Figura 3.66.** Vectores de velocidad en el plano ZX.

La Figura 3.66 presenta el campo de vectores de velocidad en el plano de corte ZX. En este, se aprecia cómo el flujo se expulsa radialmente desde la tubería de entrada hacia la salida de cada división, colisionando con las paredes del tanque. Posteriormente, una parte del flujo se desplaza axialmente hacia la parte superior, mientras que la otra se dirige hacia la parte inferior del tanque. Ambos flujos retornan hacia las tuberías de salida para ser expulsados nuevamente. Esta representación facilita la comprensión del patrón de flujo y su comportamiento. Además, se observa que en la segunda división hay una reducción de velocidad en comparación con la posición de los contenedores, y en la tercera división también se aprecia una disminución de la velocidad del fluido.

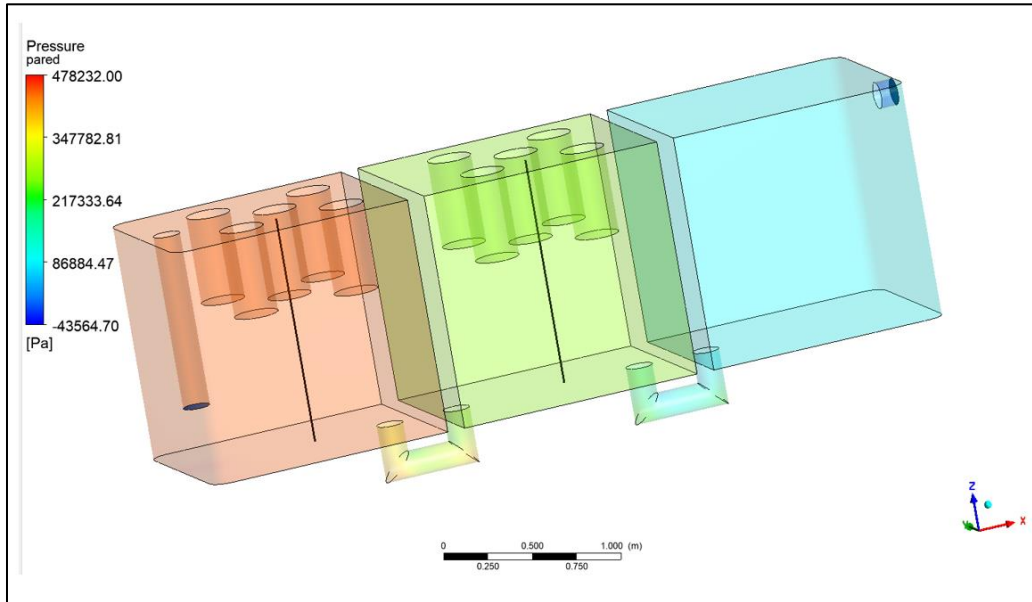


**Figura 3.67.** Configuraciones de flujo en todo el dominio del tanque, representadas por líneas de corriente de velocidad.

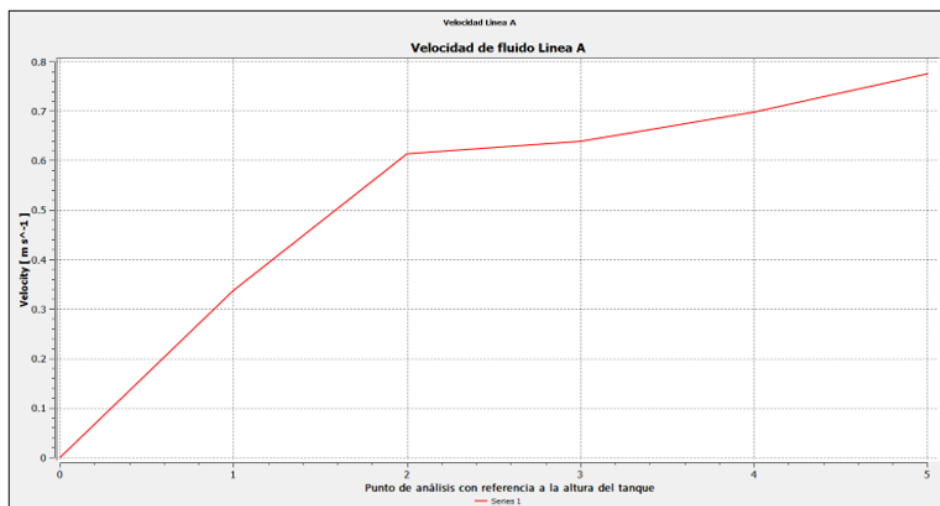
La Figura 3.67 ilustra las configuraciones de flujo en todo el dominio del tanque, representadas mediante líneas de corriente de velocidad. En ella, se destaca cómo el flujo se origina desde la tubería de entrada y se distribuye tanto hacia la parte superior como hacia la inferior del tanque. También se nota que la trayectoria del fluido abarca completamente los recipientes en la primera división, mientras que en la segunda división uno de los recipientes no queda cubierto. Además, se observa una reducción de los remolinos de turbulencia tanto en la primera como en la segunda división en comparación con la simulación general del tanque.

### 3.4.2.1.3 Simulación de fluido del tercer diseño de estructura

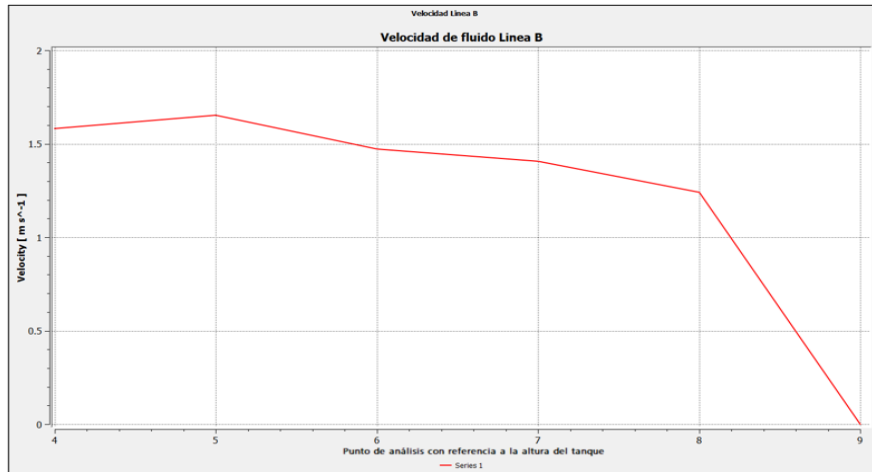
Una vez generada la configuración de cálculo, analizamos los resultados obtenidos, en la Figura 3.68 tenemos el resultado del tanque basado en las presiones.



**Figura 3.68.** Resultado de la presión dentro del tanque de tratamiento.

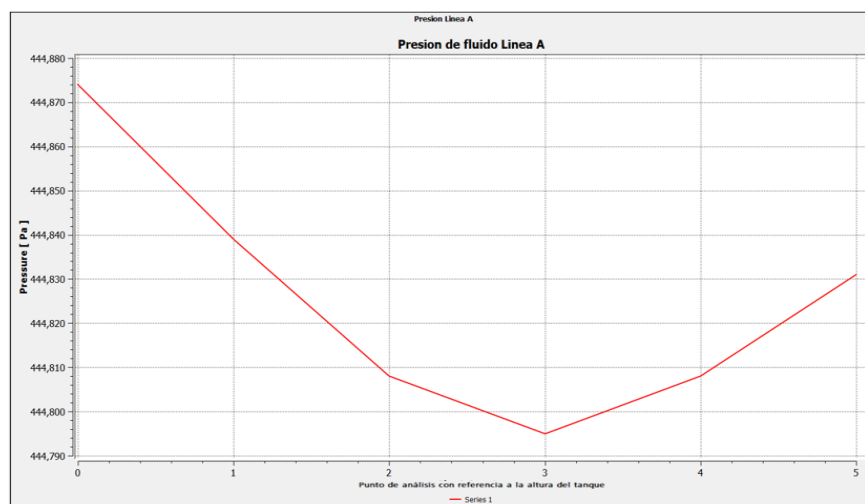


**Figura 3.69.** Gráfica de la velocidad del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent.

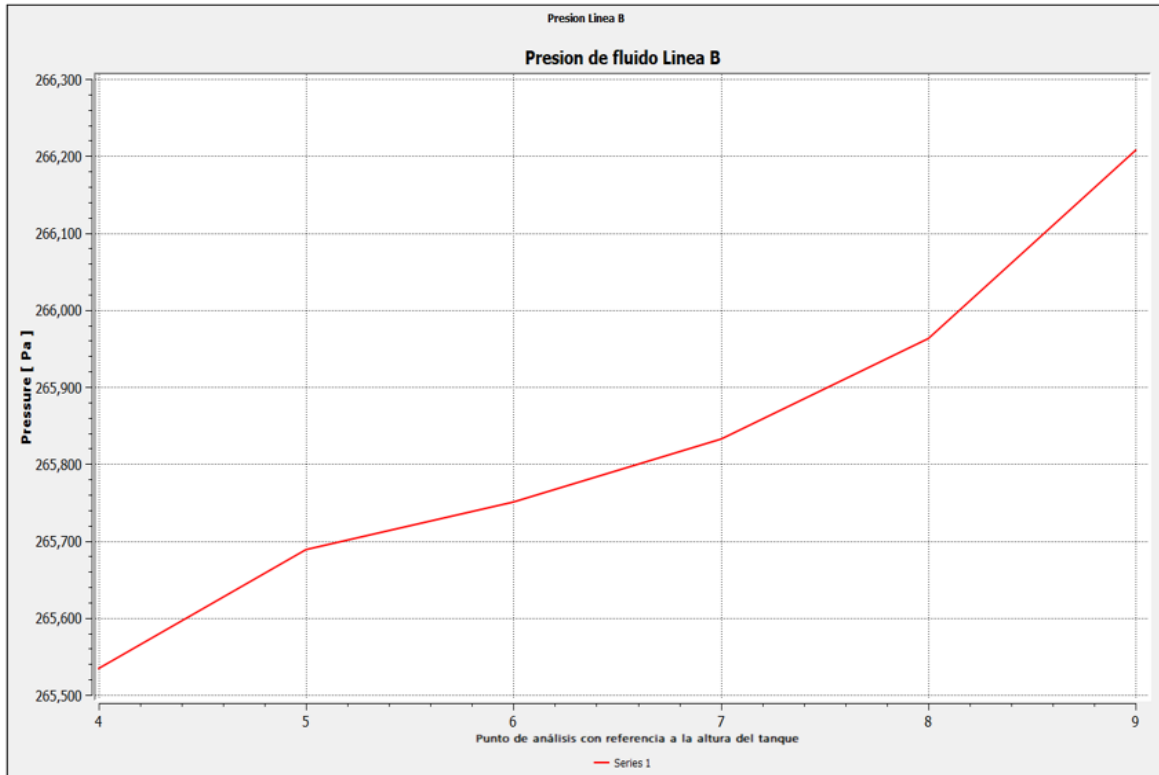


**Figura 3.70.** Gráfica de la velocidad del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del segundo tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent.

En las gráficas presentadas (Figura 3.69 y Figura 3.70) se observa que la velocidad más alta del fluido se encuentra entre el centro y la parte superior del tanque. Esto indica una mayor agitación de las partículas de grasa, lo cual es beneficioso para nuestros contenedores. Con esta agitación, se logra una mayor captura de partículas de grasa, permitiendo que los orificios de los contenedores estén libres y disponibles para capturar estas partículas.



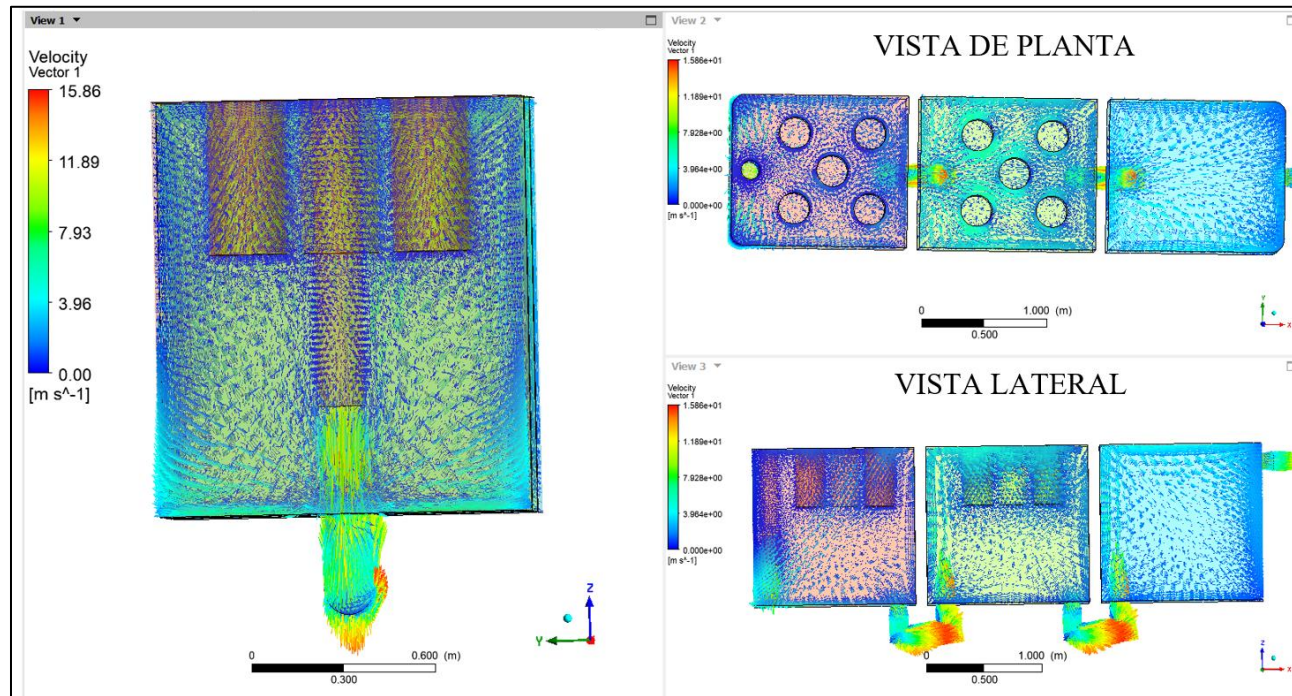
**Figura 3.71.** Gráfica de presión del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent.



**Figura 3.72.** Gráfica de presión del fluido en función del recorrido, tomada en veinte puntos diferentes dentro del centro del primer tanque y con dirección descendente, mediante la simulación en ANSYS Fluent

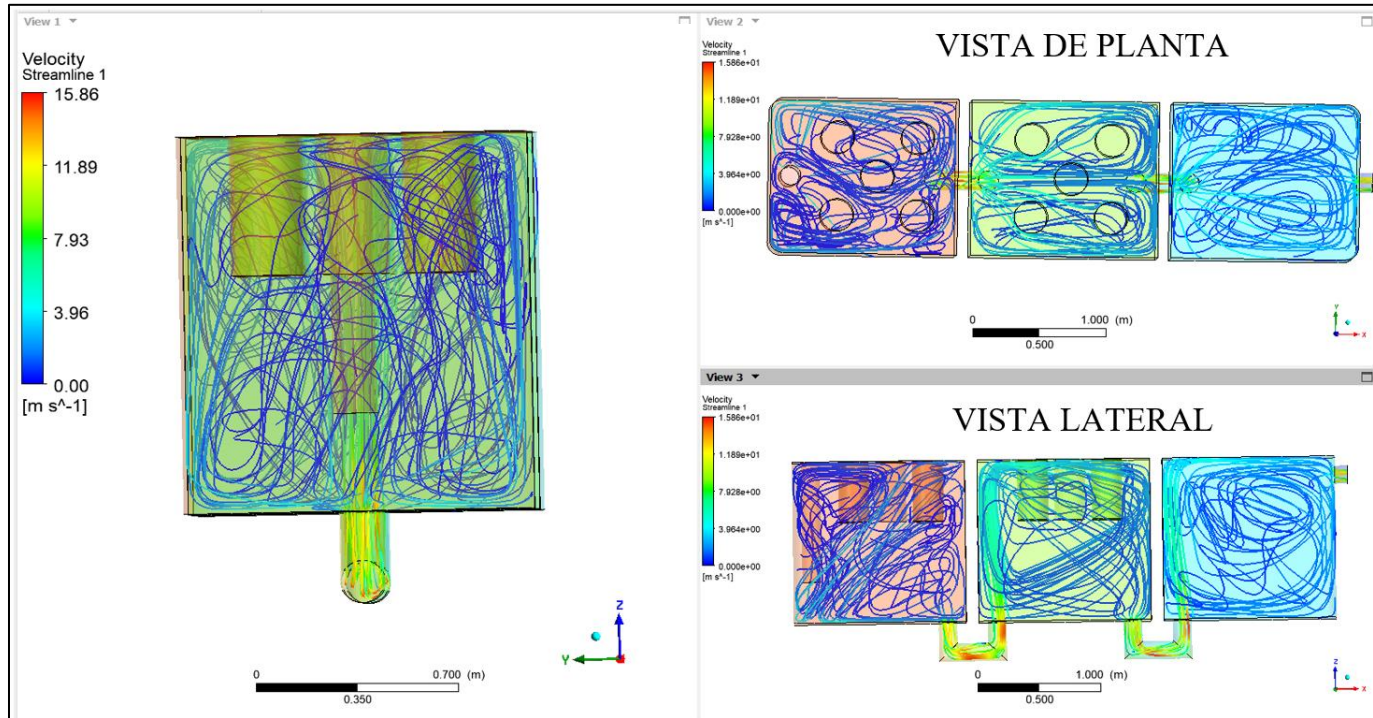
Con respecto a las gráficas (Figura 3.71 y Figura 3.72) se observa que la presión en el primer tanque ambos tanques, tanto en el primero como en el segundo, es mayor a partir de la mitad del tanque hacia la parte superior. Esto indica una alta concentración de partículas de grasa en esa zona, que es donde se encuentran ubicados los contenedores. Estos resultados son consistentes con la distribución esperada de las partículas de grasa en el tanque. Al tener una mayor concentración de grasa en la parte superior, se garantiza que los contenedores estén ubicados estratégicamente para capturar estas partículas y lograr un tratamiento efectivo de las aguas residuales.





**Figura 3.73.** Vectores de velocidad en el plano ZX.

La Figura 3.73 exhibe el campo de vectores de velocidad en el plano de corte ZX, mostrando cómo el flujo se expulsa radialmente desde la tubería de entrada hacia la salida de cada división, impactando contra las paredes del tanque. Posteriormente, una parte del flujo se desplaza axialmente hacia la parte superior, mientras que la otra se dirige hacia la parte inferior del tanque. Ambos flujos retornan hacia las tuberías de salida para ser expulsados nuevamente. Este análisis proporciona una comprensión del patrón de flujo, describiendo su comportamiento. Además, se observa que en la segunda división hay una disminución de la velocidad en comparación con la ubicación de los contenedores.



**Figura 3.74.** Configuraciones de flujo en todo el dominio del tanque, representadas por líneas de corriente de velocidad.

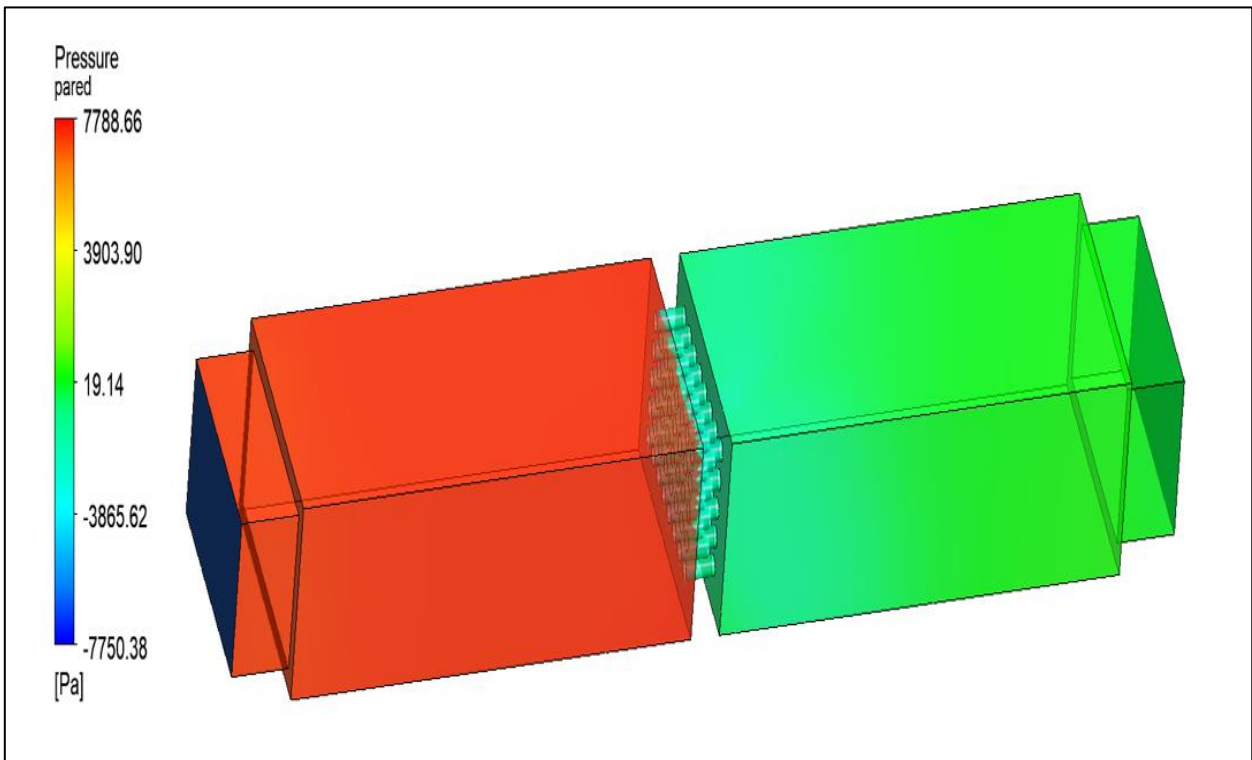
La Figura 3.74 muestra las configuraciones de flujo en todo el dominio del tanque, representadas por líneas de corriente de velocidad, en él se observa como el flujo parte desde la tubería de entrada hacia la parte superior e inferior del tanque. Además, se puede apreciar que la trayectoria del fluido cubre en su totalidad los recipientes en la primera división, mientras en la segunda división uno de los recipientes no es cubierto, así mismo podemos observar la disminución de los remolinos de turbulencia en la primera división a comparación de la simulación general del tanque.

### 3.4.2.2 Simulación de fluidos para definir los agujeros de los contenedores

Los contenedores de microorganismos son cilindros echas con planchas plegadas de diferentes geometrías, para ello se dará la simulación y análisis de las 3 geometrías propuestas y definir cuál de las 3 es la geometría que favorece al diseño del contenedor y al desempeño del microorganismo. Así mismo, la simulación se hizo en una pared vertical, con la geometría propuesta cuyo objetivo es el comportamiento de los agujeros ante la presencia del fluido.

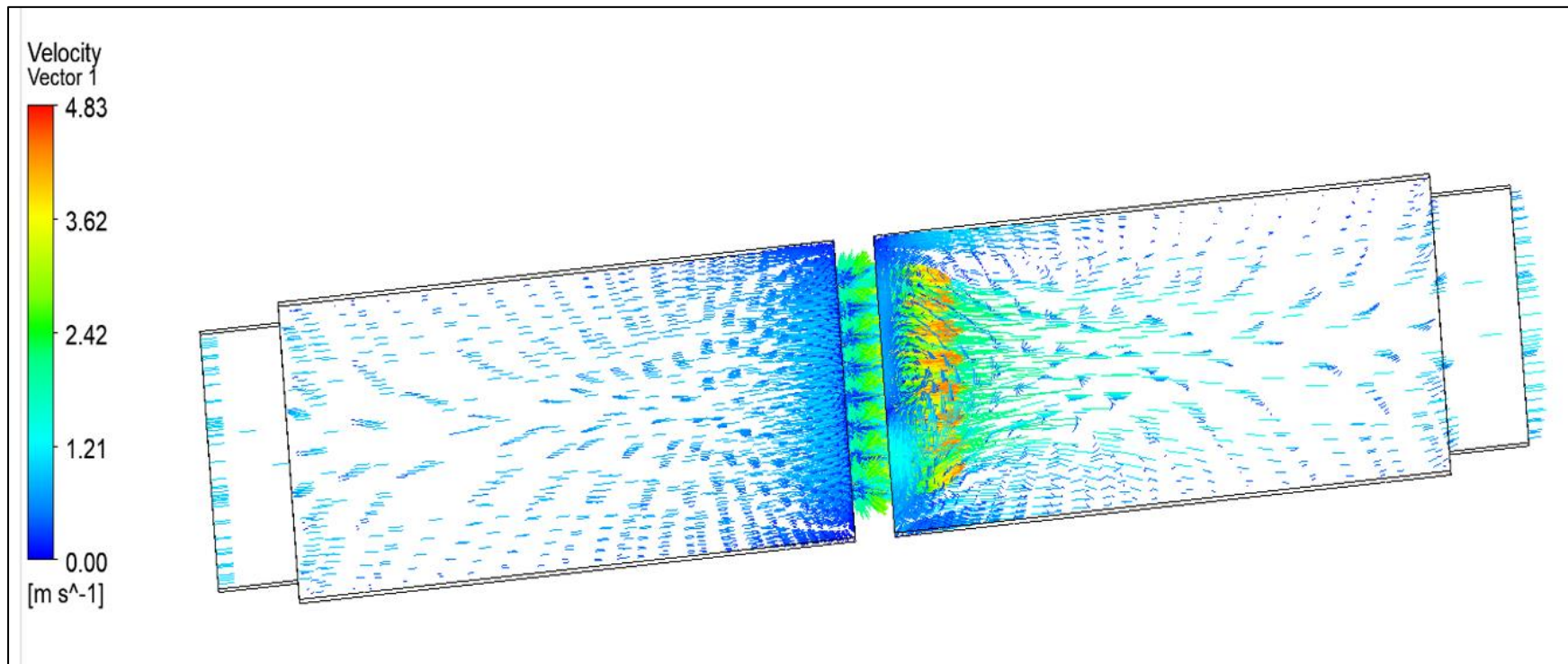
#### 3.4.2.2.1 Agujeros circulares

Una vez generada la configuración de cálculo, analizamos los resultados obtenidos, en la Figura 3.75 tenemos el resultado del tanque basado en la presión.



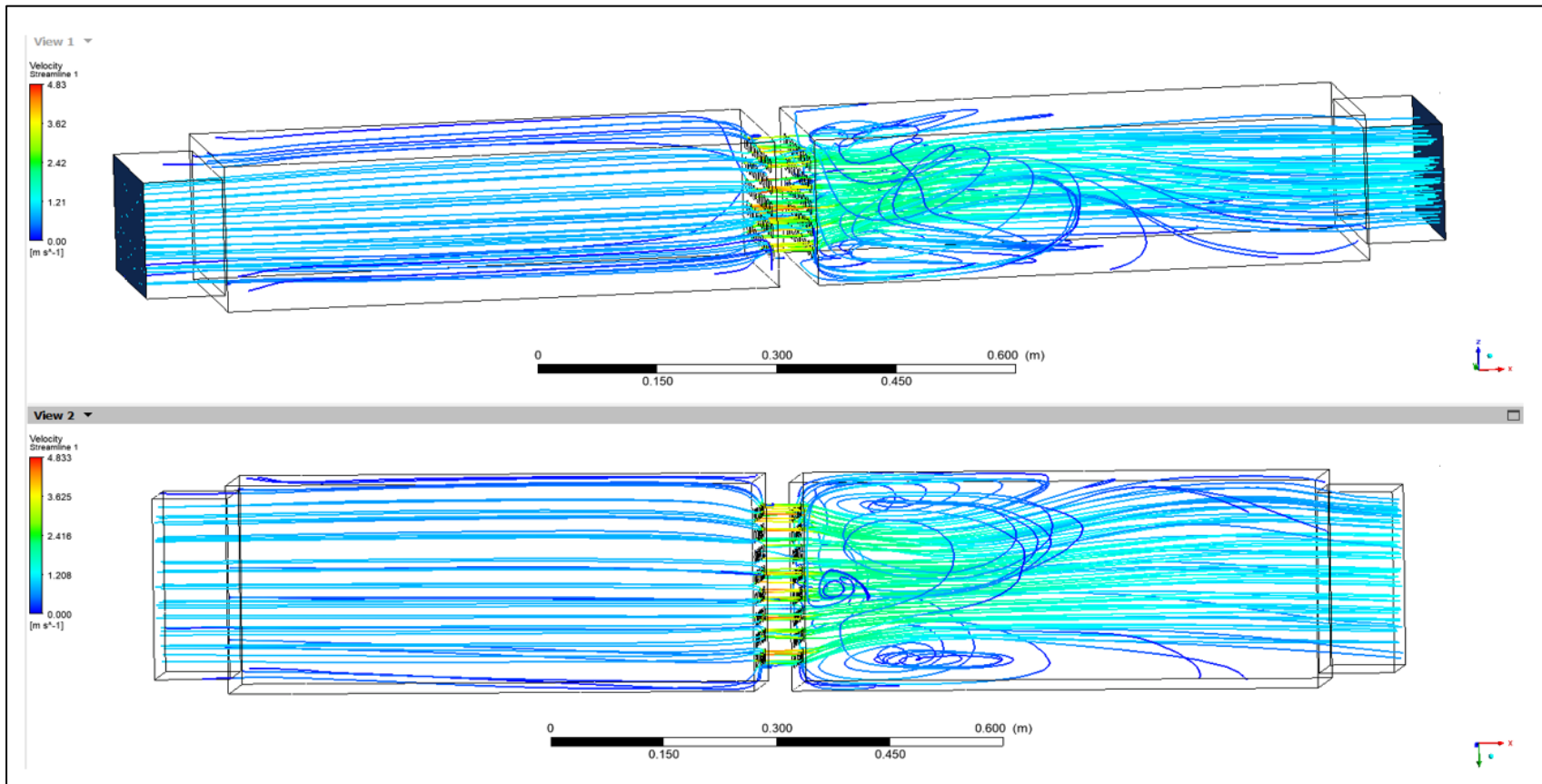
**Figura 3.75.** Resultado de la presión dentro del tanque de tratamiento.

En la Figura 3.76 se presenta el campo de vectores de velocidad, evidenciando la expulsión del flujo hacia el centro en la entrada del canal, donde se ubican los agujeros hexagonales. Se nota un incremento de velocidad en la salida de la pared de agujeros, siendo menor que la velocidad observada en agujeros circulares y rectangulares.



**Figura 3.76.** Vectores de velocidad en el plano ZX.

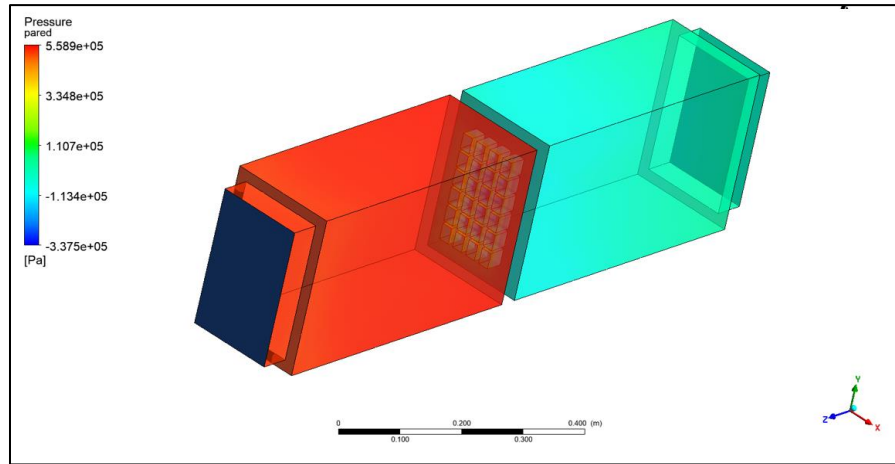
La Figura 3.77 muestra las líneas de corriente de velocidad en todo el dominio del tanque, lo cual, al cruzar los agujeros, se logra apreciar remolinos de turbulencias, que representarían la parte inferior de los contenedores.



**Figura 3.77.** Líneas de corriente de velocidad en todo el dominio del tanque.

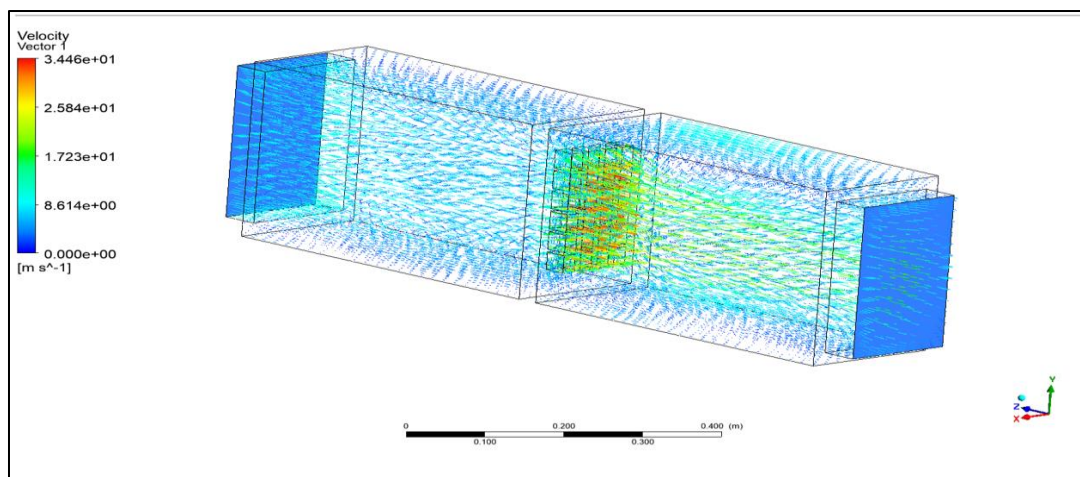
### 3.4.2.2.2 Agujeros rectangulares

Una vez generada la configuración de cálculo, analizamos los resultados obtenidos, en la Figura 3.78 tenemos el resultado del tanque basado en la presión.



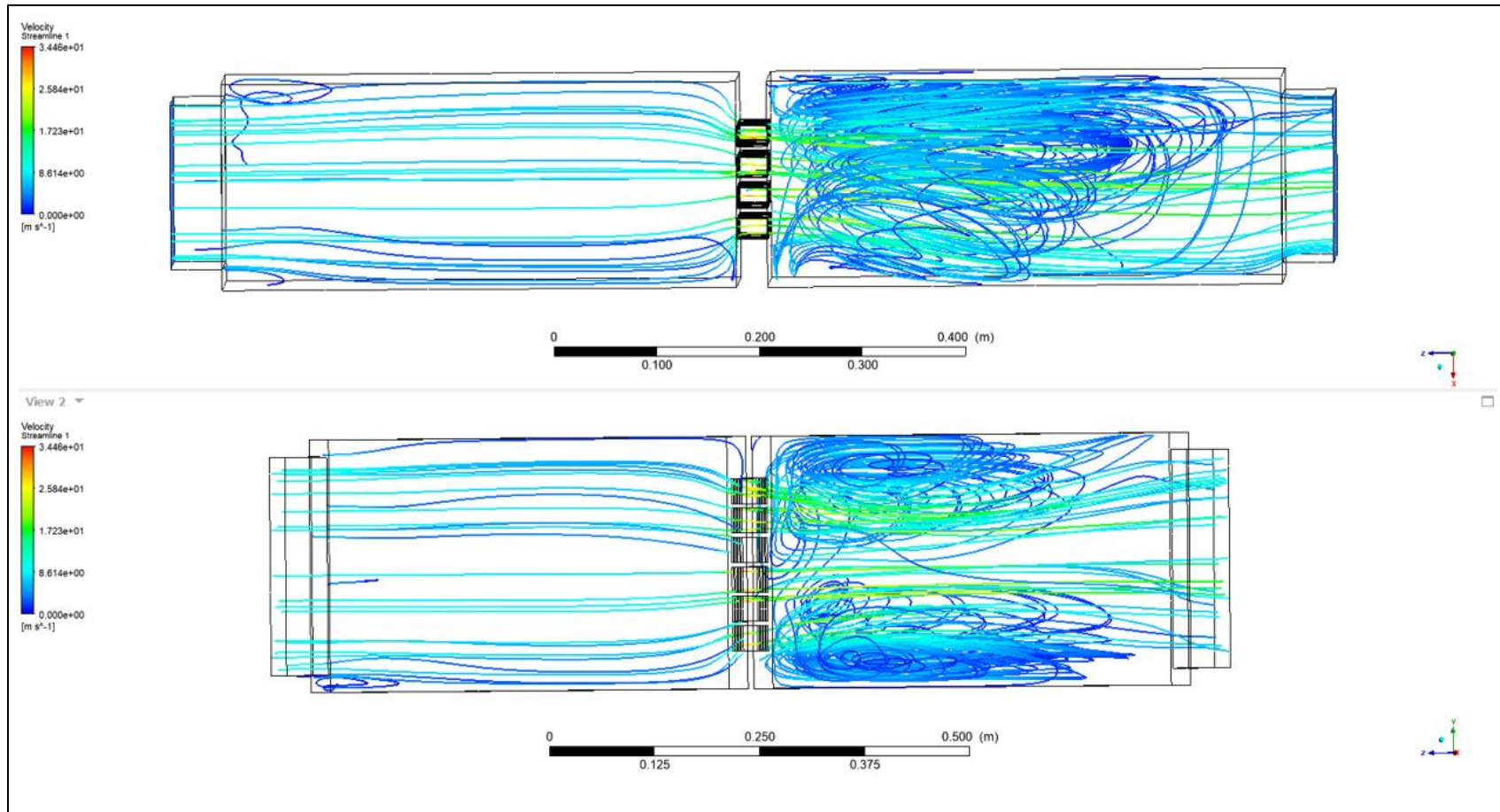
**Figura 3.78.** Resultado de la presión dentro del tanque de tratamiento.

En la Figura 3.79 se presenta el campo de vectores de velocidad, evidenciando la expulsión del flujo hacia el centro en la entrada del canal, donde se ubican los agujeros hexagonales. Se nota un incremento de velocidad en la salida de la pared de agujeros, siendo menor que la velocidad observada en agujeros circulares y rectangulares.



**Figura 3.79.** Vectores de velocidad en el plano ZX.

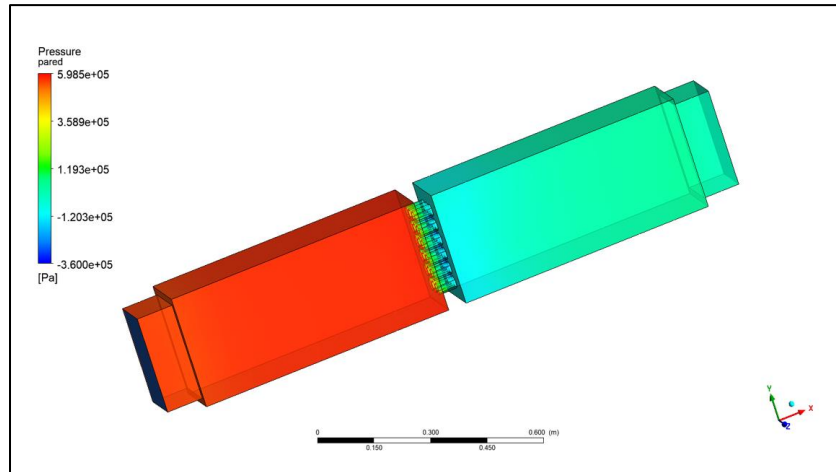
La Figura 3.80 muestra las líneas de corriente de velocidad en todo el dominio del tanque, lo cual, al cruzar los agujeros, se logra apreciar mayor crecimiento remolinos de turbulencias a comparación de los agujeros circulares.



**Figura 3.80.** Líneas de corriente de velocidad en todo el dominio del tanque.

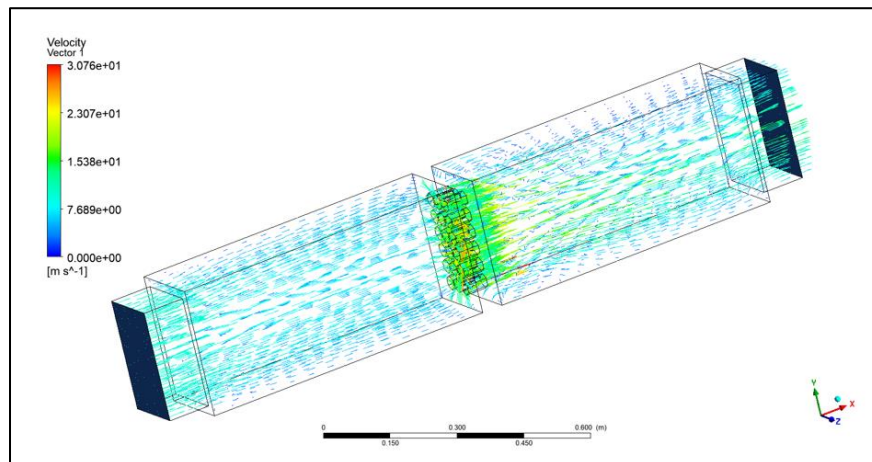
### 3.4.2.2.3 Agujeros Hexagonales

Una vez generada la configuración de cálculo, analizamos los resultados obtenidos, en la Figura 3.81 tenemos el resultado del tanque basado en la presión.



**Figura 3.81.** Resultado de la presión dentro del tanque de tratamiento.

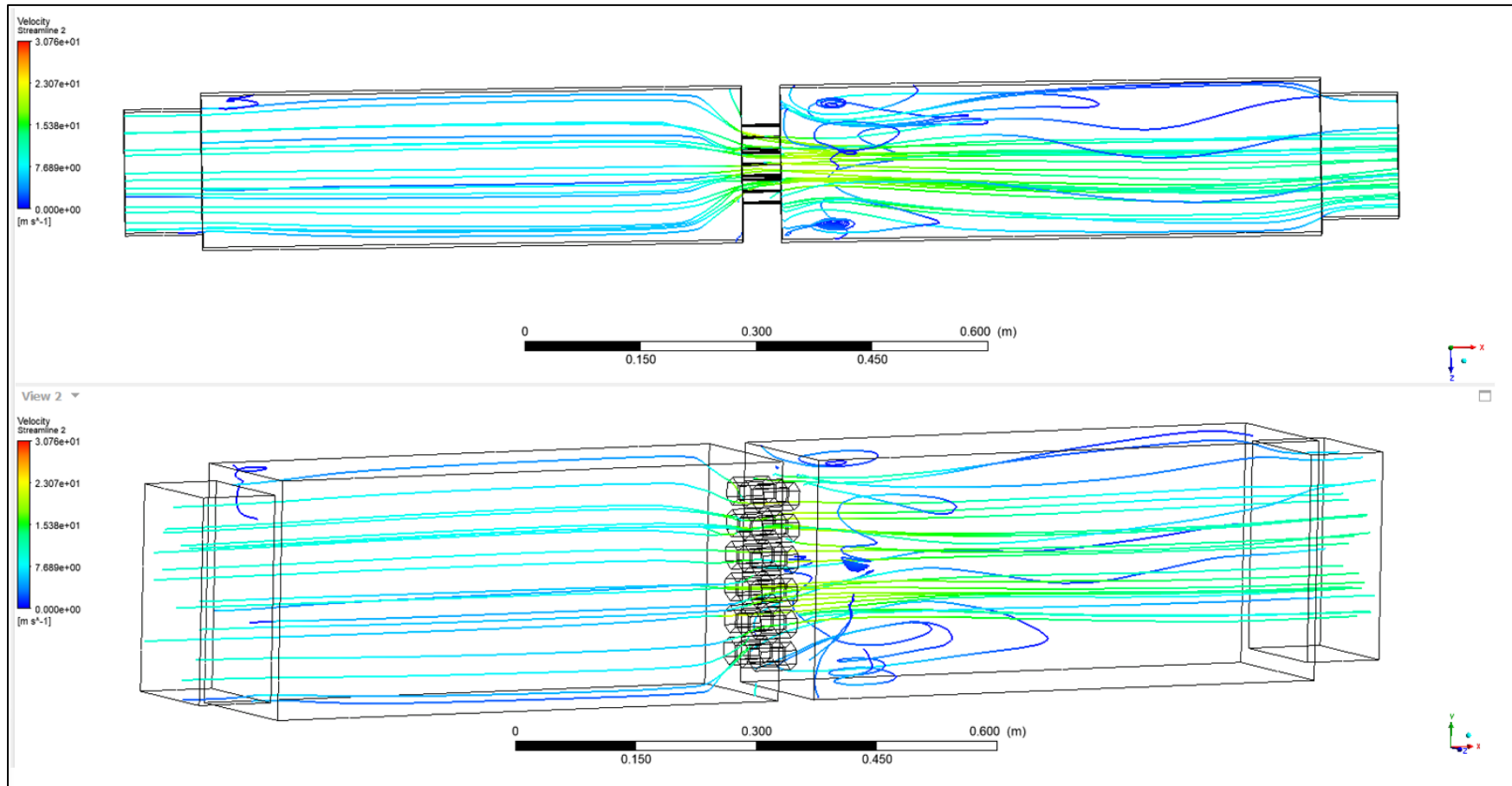
En la Figura 3.82. Vectores de velocidad en el plano ZX se presenta el campo de vectores de velocidad, evidenciando la expulsión del flujo hacia el centro en la entrada del canal, donde se ubican los agujeros hexagonales. Se nota un incremento de velocidad en la salida de la pared de agujeros, siendo menor que la velocidad observada en agujeros circulares y rectangulares.



**Figura 3.82.** Vectores de velocidad en el plano ZX.



La Figura 3.83 muestra las líneas de corriente de velocidad en todo el dominio del tanque, lo cual, al cruzar los agujeros, se logra apreciar menor remolinos de turbulencia a comparación de los agujeros circulares y rectangulares.



**Figura 3.83.** Líneas de corriente de velocidad en todo el dominio del tanque

## CONCLUSIONES

1. Se llevó a cabo el diseño computacional del tanque de tratamiento de aguas residuales, tomando en consideración las dimensiones proporcionadas por la planta de procesos de harina de pescado de la empresa Hillary E.I.R.L. Este enfoque asegura la integración del tanque en el entorno existente. Además, se aplicaron principios clave de diseño, como dividir el tanque en tres secciones (característica principal de las trampas de grasa), mediante placas, tal como señala el tipo 2 (Figura 1.2), debido a que en este tipo se obtiene una mayor captura de partículas de grasa tanto en la primera como en la segunda división a diferencia del tipo 1, donde solo se da captura en la primera división (Figura 1.19), lo que demuestra un diseño fundamentado en buenas prácticas.

En relación al sistema de tuberías, se diseñó para el ingreso y salida del agua, con el objetivo de minimizar la agitación durante el llenado del tanque. Esta consideración resulta esencial para mantener una concentración adecuada de partículas de grasa en el líquido y, en última instancia, mejorar la eficiencia del tratamiento. Asimismo, se tuvieron en cuenta los ángulos de apoyo ubicados en el exterior del tanque, lo que refleja una preocupación por reducir al máximo la deformación de las paredes laterales. Esta consideración contribuye a preservar la integridad estructural del tanque.

2. La selección de materiales para el dispositivo se basó en consideraciones específicas relacionadas con el entorno de operación y las cargas que cada componente enfrentaría. La elección de la plancha plegada con orificios de acero inoxidable ASTM A316L para la fabricación los cartuchos reflejan una atención especial a la resistencia a la corrosión, fundamental en entornos marinos como los de una unidad pesquera. La estructura de soporte se construyó con acero estructural ASTM A36 para asegurar la robustez necesaria. Además, se aplicó un revestimiento anticorrosivo estratégico para prolongar la vida útil de los elementos, crucial en entornos marítimos desafiantes. El tanque rectangular, diseñado según la normativa ASTM A283 con una

plancha de 9.53 mm de espesor, fue evaluado y simulado para garantizar no solo su resistencia sino también su durabilidad, cumpliendo con los estándares normativos exigidos.

Esta selección integral de materiales y el diseño estructural cuidadosamente evaluado no solo aseguran la eficacia del dispositivo en su entorno operativo, sino que también garantizan el cumplimiento de los más altos estándares de calidad y seguridad requeridos para operar de manera efectiva en el contexto desafiante de una unidad pesquera.

3. Se realizó el análisis para seleccionar la alternativa óptima para soportar los contenedores de microorganismos. Se evaluaron tres alternativas de diseño (Figura 2.11), y los resultados mostraron que todas cumplen con los requisitos de resistencia y deformación.

En cuanto al esfuerzo máximo, se determinó que la primera alternativa tiene el valor más bajo, alcanzando los 37.73 MPa, mientras que la segunda tiene 45.34 MPa y la tercera 44.38 MPa. Estos valores están por debajo del límite de fluencia del acero estructural, que es de 250 MPa. En lo que respecta al desplazamiento, se encontró que la primera alternativa tiene una deformación mínima de 0.184 mm, la segunda de 0.188 mm y la tercera de 0.145 mm. Todos estos valores se sitúan por debajo de los límites permitidos para la deformación. Además, el factor de seguridad calculado para las alternativas propuestas es mayor que uno, lo que indica que el material no sufrirá fallas bajo las cargas aplicadas.

Estos resultados también confirman la selección adecuada de los materiales utilizados en el diseño, que incluye ángulos de 20 x 20 x 3 como elementos principales y varillas de 1/2 pulgada como elementos secundarios.

4. Se llevó a cabo una simulación del comportamiento del fluido utilizando C.F.D. en ANSYS FLUENT para las tres configuraciones de contenedores propuestas con el objetivo de identificar la alternativa óptima que logre la máxima captura de microorganismos. En el caso de la segunda propuesta, se observó que, a diferencia de

las alternativas primera y tercera, las líneas de corriente de velocidad cubren completamente los cartuchos, lo que resulta en una menor presencia de turbulencias, como se puede apreciar en la Figura 3.66. Esta característica conduce a una mayor captura de partículas de grasa.

Para respaldar esta hipótesis, se compararon las gráficas de velocidad del fluido a lo largo de 20 puntos diferentes en el centro del primer y segundo tanque, en dirección descendente. Estas gráficas mostraron que la velocidad del fluido se mantiene constante en un rango de 0.8 m/s a 1 m/s entre los puntos 3 y 13, que corresponden a la altura que coincide con el mayor contacto con los cartuchos. Estas condiciones son ideales para la captura de partículas de grasa. En contraste, tanto el primer como el tercer orden muestran fluctuaciones en la velocidad que no son óptimas para la captura de partículas de grasa. Estos resultados respaldan la selección del segundo orden como la opción más eficiente y efectiva para la captura de partículas de grasa en el diseño de los contenedores.

5. En cuanto a los orificios de la pared del contenedor o cartucho y como parte del proceso de diseño de los contenedores, se empleó la simulación de fluidos en ANSYS Fluent para evaluar el comportamiento del fluido en las tres geometrías propuestas (Figura 2.10), a fin de encontrar la geometría de los orificios del cartucho óptimo para la captura de partículas de grasa. Al analizar la gráfica de velocidad del fluido, se evidenció que los orificios hexagonales exhiben una velocidad de flujo más baja, registrando un valor de 4.833 m/s, en contraste con los 34.46 m/s de los orificios rectangulares y los 30.76 m/s de los orificios circulares. Esta diferencia indica que los orificios hexagonales generan menos turbulencia en el flujo de fluido en comparación con los otros tipos de orificios. En contraste, se pudo determinar que los orificios hexagonales mostraron un mejor rendimiento en comparación con los orificios rectangulares y circulares.
6. Esta tesis representa una contribución al diseño de un equipo de tratamiento de aguas residuales destinado a su implementación en la industria pesquera. El próximo paso es la fabricación y la puesta en marcha de este sistema dentro de la planta de procesos

de harina de pescado de la empresa pesquera Hillary E.I.R.L. El objetivo principal es reducir los niveles de contaminantes y, en consecuencia, minimizar los riesgos para el medio ambiente y la fauna, al tiempo que se evitan costosas multas por incumplimiento de los límites máximos admisibles de agentes contaminantes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Ministerio de la Producción, “Anuario Estadístico Pesquero y Acuícola 2021.” Accessed: May 21, 2023. [Online]. Available: <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oee-documentos-publicaciones/publicaciones-anauales/item/1080-anuario-estadistico-pesquero-y-acuicola-2021>
- [2] J. César *et al.*, “Tratamiento de aguas residuales de una industria procesadora de pescado en reactores anaerobicos discontinuos,” CIENCIA E INGENIERIA NEOGRANDINA. Accessed: Apr. 09, 2022. [Online]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v25n1/v25n1a03.pdf>
- [3] BOOSTECH, “Tratamiento de Aguas Residuales para Industrias Pesqueras - BossTech,” BOSS TECH. Accessed: Apr. 09, 2022. [Online]. Available: <https://bosstech.pe/tratamiento-de-aguas-residuales-para-industrias-pesqueras/>
- [4] C. Y. S. DECRETO SUPREMO - N° 010-2019-VIVIENDA - PODER EJECUTIVO - VIVIENDA, “Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario ,” El Peruano. Accessed: Apr. 09, 2022. [Online]. Available: <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-el-reglamento-de-valores-maximos-decreto-supremo-n-010-2019-vivienda-1748339-3/>
- [5] M. C. Silveira Suzana, “Immobilization of microbial cells: A promising tool for treatment of toxic pollutants in industrial wastewater ,” African Journal of Biotechnology Vol.12 N°28 . Accessed: Apr. 09, 2022. [Online]. Available: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/133541>
- [6] Estrada Magali, “Grandes pesqueras continúan extrayendo anchoveta juvenil sin restricciones | Ojo Público,” OJO PUBLICO. Accessed: Apr. 10, 2022.

- [Online]. Available: <https://ojo-publico.com/3058/grandes-pesqueras-extraen-anchoveta-juvenil-sin-restriccion>
- [7] R. Li *et al.*, “Application of biochar immobilized microorganisms for pollutants removal from wastewater: A review,” *Science of The Total Environment*, vol. 837, p. 155563, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2022.155563.
- [8] X. Hu, Y. E. Meneses, and A. Aly Hassan, “Integration of sodium hypochlorite pretreatment with co-immobilized microalgae/bacteria treatment of meat processing wastewater,” *Bioresour Technol*, vol. 304, p. 122953, May 2020, doi: 10.1016/J.BIORTECH.2020.122953.
- [9] Grupo Vento, “Tratamiento de aguas residuales en la industria pesquera.” Accessed: Apr. 10, 2022. [Online]. Available: <https://evaporadoresindustriales.grupovento.com/tratamiento-de-aguas-residuales-en-la-industria-pesquera/>
- [10] PRODUCE, “Anuario estadístico pesquero y acuícola,” Ministerio de Producción. Accessed: Apr. 10, 2022. [Online]. Available: <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oe-documentos-publicaciones/publicaciones-anauales/item/1001-anuario-estadistico-pesquero-y-acuicola-2020>
- [11] DECRETO SUPREMO N° 010-2018-MINAM, “Aprueban Límites Máximos Permisibles para Efluentes de los Establecimientos Industriales Pesqueros de Consumo Humano Directo e Indirecto ,” *El Peruano*. Accessed: Apr. 10, 2022. [Online]. Available: <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-limites-maximos-permisibles-para-efluentes-de-los-e-decreto-supremo-n-010-2018-minam-1697202-3/>
- [12] American Biosystems, “Microorganismos en solución líquida.” Accessed: Apr. 10, 2022. [Online]. Available: <https://dev-american-biosystems.pantheonsite.io/wp-content/uploads/2015/09/Maintain@L-span.pdf>

- [13] A. Valderrama & D. Vega, “REDISEÑO Y SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DE LA RED HIDRÁULICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UN CENTRO COMERCIAL.” Accessed: Apr. 21, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/2632/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [14] Vásquez Alejandro, “Propuesta de mejora de tratamiento de aguas residuales en una empresa pesquera.” Accessed: Apr. 11, 2022. [Online]. Available: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1712/PYT\\_\\_Informe\\_Final\\_\\_PMTAR.pdf?seque](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1712/PYT__Informe_Final__PMTAR.pdf?seque)
- [15] Gonzales Thalia, “Harina de Pescado: Perú lidera su producción mundial,” Tecno Soluciones. Accessed: Apr. 09, 2022. [Online]. Available: <https://tecnosolucionescr.net/blog/283-harina-de-pescado-peru-lidera-su-produccion-mundial>
- [16] Empresa Pesquera Hillary, “Planta de Harina y Aceite de pescado,” 2022.
- [17] Nuñez Claudia, “Recuperación de sólidos del agua de cola por coagulación-Floculación y cuantificación de Histamina .” Accessed: Apr. 11, 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/1920/P10.N8-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [18] ANA(Autoridad Nacional del Agua), “Vertimientos de aguas residuales de una industria pesquera al mar. Guía para la determinación de la zona de mezcla y la evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo natural de aguaitle.” [Online]. Available: <http://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle%0A/20.500.12543/900/ANA0000682.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [19] L. Gutierrez and M. Paola, “CARACTERIZACIÓN COMPARATIVA DE LOS ADITIVOS DE LA HARINA DE PESCADO EN PROCESO



- OPERATIVO PARA PLANTAS INDUSTRIALES PESQUERAS.” Accessed: May 24, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ace07992-dbd5-4419-9c72-82f069f00bdc/content>
- [20] ECODENA, “Trampas de grasas verticales y horizontales .” Accessed: May 01, 2022. [Online]. Available: <https://ecodena.com.mx/caracteristicas-de-las-trampa-de-grasas/>
- [21] EHISA, “Succión y limpieza de trampas de grasa.” Accessed: Apr. 16, 2022. [Online]. Available: <http://www.ehisa.com.pe/servicios/succion-y-limpieza-de-trampas-de-grasa>
- [22] SERNISSI, “LIMPIEZA DE TRAMPAS DE GRASAS - SERVICIOSNISSI.” Accessed: Jun. 06, 2023. [Online]. Available: <https://serviciosnissi.com/limpiezagrasas/>
- [23] PLAREMESA, “Características de los tanques bajo normas API .” Accessed: May 24, 2023. [Online]. Available: <https://www.plaremesa.net/caracteristicas-de-los-tanques-bajo-normas-api/>
- [24] INGLESA, “Diseño y calculo de tanques de almacenamiento .” Accessed: Apr. 17, 2022. [Online]. Available: <https://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Dise%C3%B1o+y+c%C3%A1lculo+de+tanques+de+almacenamiento.pdf/cf73a420-13f2-248f-034a-d413cb8a3924>
- [25] Red Educativa, “Clases de Filtros y su clasificacion.” Accessed: Apr. 10, 2022. [Online]. Available: <https://cursosonlineweb.com/filtros.html>
- [26] GUNT, “Filtration.” Accessed: May 24, 2023. [Online]. Available: [https://www.gunt.de/images/download/filtration\\_water\\_spanish.pdf](https://www.gunt.de/images/download/filtration_water_spanish.pdf)
- [27] f. Willy & c.Escobar, “Descripcion Hidraulica de la bateria de filtros de planta No.1 de lal atarjea.” Accessed: Apr. 22, 2023. [Online]. Available:

[https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/cristobal\\_ef/cap02.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/cristobal_ef/cap02.pdf)

- [28] V. Maldonado, “Filtración Cap.9.” Accessed: Apr. 22, 2023. [Online]. Available: [http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo2/ma1\\_tomo2\\_cap9.pdf](http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo2/ma1_tomo2_cap9.pdf)
- [29] D. Carangui, “DESARROLLO DE UN PLAN PARA EVALUACION DEL SISTEMA DE FILTRACION RAPIDA DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE LA JUNTA DE AGUA POTABLE DE BAYAS.” Accessed: Apr. 22, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23369/1/tesis%20pdf.pdf>
- [30] J. Aguera, “Resistencia de flujos externos.” Accessed: Jun. 05, 2022. [Online]. Available: <http://www.uco.es/termodinamica/ppt/pdf/fluidos%205.pdf>
- [31] Elmer Mendoza, “INTERÉS Y POSIBILIDADES DE LA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL .” Accessed: May 25, 2023. [Online]. Available: [https://www.academia.edu/10539747/INTER%C3%89S\\_Y\\_POSIBILIDADES\\_DE\\_LA\\_DIN%C3%81MICA\\_DE\\_FLUIDOS\\_COMPUTACIONAL](https://www.academia.edu/10539747/INTER%C3%89S_Y_POSIBILIDADES_DE_LA_DIN%C3%81MICA_DE_FLUIDOS_COMPUTACIONAL)
- [32] R. Ramírez Tijerina, “Aplicación de la dinámica de fluidos computacional a distintos casos de estudio en el área académica e industrial,” *Exploraciones, intercambios y relaciones entre el diseño y la tecnología*, pp. 57–79, Dec. 2007, doi: 10.16/CSS/JQUERY.DATATABLES.MIN.CSS.
- [33] Villaroel Luis, “Simulacion numerica de un flujo de agua a traves de una valvula tipo mariposa de doble excentricidad.” Accessed: Apr. 10, 2022. [Online]. Available: [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6408/VILLARROEL\\_LUIS\\_SIMULACION\\_NUMERICA\\_FLUJO\\_AGUA.pdf?sequence=4](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6408/VILLARROEL_LUIS_SIMULACION_NUMERICA_FLUJO_AGUA.pdf?sequence=4)

- [34] Y. Abu-Zidan, P. Mendis, and T. Gunawardena, "Impact of atmospheric boundary layer inhomogeneity in CFD simulations of tall buildings." Accessed: May 26, 2023. [Online]. Available: <https://pdf.sciencedirectassets.com/313379/1-s2.0-S2405844019X00080/1-s2.0-S240584402031118X/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEBMaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIA%2BLGmbxWkuRRZ%2FKnI9vRbF6EoBuqCllfGVduU4tk5OJAiEAm7WDYGrWt2n%2FDTbrW%2BxLtlZ%2BslFHep9Zqa6Sm%2FzCwToqsgUITBAFGgwWNTkwMDM1NDY4NjUiDFocr8vccDB9fZJJryqPBdFyiTKKt%2FImQ0yPJQxeEuKyMIjh%2B2C5UvpSwZpqSTi7ltGRgSI%2FVP7C6alqoHu61GNtB8omHvKeOZO%2FUJcpeInD%2BBwAcmdWWcLxowt5Vq6jnlwDO19eVlctrC2SuRdQt9%2F02z06e77YOynB%2FI6iLzq2eeViHPoaJ%2FkKdsRpQ>
- [35] ANSYS, "ANSYS CFX-Solver Theory Guide - PDF Free Download." Accessed: Apr. 10, 2022. [Online]. Available: <https://docplayer.net/27095438-Ansys-cfx-solver-theory-guide.html>
- [36] N. Fatchurrohman and S. T. Chia, "Performance of hybrid nano-micro reinforced mg metal matrix composites brake calliper: simulation approach." Accessed: May 25, 2023. [Online]. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/257/1/012060/pdf>
- [37] Garcia Luis, "Mecanica de fluidos computacional:Tipos de mallas y calidad del mallado." Accessed: Apr. 10, 2022. [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/146219/Garc%C3%ADa-Cuevas%3BGil%3BNavarro%20-%20Mec%C3%A1nica%20de%20fluidos%20computacional%3A%20tipos%20de%20mallas%20y%20calidad%20del%20mall....pdf?sequence=1>
- [38] N. Connor, "¿Qué es la ecuación de Navier-Stokes? Definición." Accessed: Jun. 14, 2022. [Online]. Available: <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-ecuacion-de-navier-stokes-definicion/>

- [39] G. Cedeño and A. Cuadro, “ESTUDIO DEL FLUJO DE UNA TUBERÍA DE DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES EN BASTIÓN POPULAR MEDIANTE DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD).” Accessed: May 25, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/57458/1/BINGQ-IQ-21P39.pdf>
- [40] A. Giraldo, “SIMULACIÓN MEDIANTE DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD) DE UN INTERCAMBIADOR DE FLUJO CRUZADO.” Accessed: May 25, 2023. [Online]. Available: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/117152/TFG\\_Giraldo\\_Vivas\\_Adria.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/117152/TFG_Giraldo_Vivas_Adria.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [41] B. E. Launder and D. B. Spalding, “The numerical computation of turbulent flows,” *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. Accessed: May 26, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0045782574900292>
- [42] R. Palaguachi, “Análisis de fenómeno en el flujo de fluidos en los accesorios, en las instalaciones hidráulicas de las centrales hidroeléctricas de mediana potencia aplicando la dinámica de fluidos computacional.” Accessed: Apr. 11, 2022. [Online]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6189/1/15T00654.pdf>
- [43] OEFA, “Fiscalización ambiental en Aguas Residuales.” Accessed: Apr. 09, 2022. [Online]. Available: [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)
- [44] N. 017-2017-P. DECRETO SUPREMO, “Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Fiscalización y Sanción de las Actividades Pesqueras y Acuicola.” Accessed: Apr. 10, 2022. [Online]. Available: <https://vlex.com.pe/vid/696353337>
- [45] OEFA, “La fiscalización ambiental del organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental- OEFA en el Sector Pesquería.” Accessed: Apr. 10,

2022. [Online]. Available: <http://www.oefa.gob.pe/wp-content/uploads/2014/02/fiscalizacionpesuqeria200.pdf>
- [46] DECRETO SUPREMO N°010-2008-PRODUCE, “Límites Máximos Permisibles (LMP) para la Industria de Harina y Aceite de Pescado y Normas Complementarias.” Accessed: Apr. 10, 2022. [Online]. Available: [https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/01/LMP\\_DS-010-2008-PRODUCE.pdf](https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/01/LMP_DS-010-2008-PRODUCE.pdf)
- [47] Lenger Markus, “US20080017574A1 - Dispositivo para la biorremediación in situ de residuos líquidos - Google Patents,” Google Patentes. Accessed: Apr. 11, 2022. [Online]. Available: <https://patents.google.com/patent/US20080017574>
- [48] Clean TeQ Water, “Tratamiento de Aguas Residuales en la Industria Pesquera .” Accessed: Apr. 09, 2022. [Online]. Available: <https://www.cleanteqwater.com/es/mercados/industria-pesquera/>
- [49] Vargas Zoila, “La investigación aplicada,” Revista Educación . Accessed: Apr. 17, 2022. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>
- [50] Baena Guillermina, “Metodología de la investigación ,” Grupo Editorial Patria. Accessed: Apr. 17, 2022. [Online]. Available: <https://editorialpatria.com.mx/pdf/files/9786074384093.pdf>
- [51] Coll Francisco, “Tipos de fuentes de información,” Economipedia. Accessed: Apr. 17, 2022. [Online]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/tipos-de-fuentes-de-informacion.html>
- [52] J. M. J.Cedillo, “Estudio experimental y computacional mediante CFD ANSYS del flujo de aire a través de techos de edificaciones usando un tunel de viento.” Accessed: Apr. 22, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7958/1/UPS-CT004821.pdf>

- [53] J. Torres, “Dinamica de fluidos.” Accessed: May 26, 2023. [Online]. Available: <https://www.ugr.es/~jtorres/t7.pdf>
- [54] CM Oikonomou, “Estructura de la célula bacteriana: descripción general | Temas de ScienceDirect.” Accessed: Jun. 17, 2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/immunology-and-microbiology/bacterial-cell-structure>
- [55] PERUMETALES, “ASTM A283 GR C.” Accessed: Apr. 29, 2022. [Online]. Available: [https://perumetalescorporacion.com/astm\\_A283.php](https://perumetalescorporacion.com/astm_A283.php)
- [56] INAMESA, “Planchas, Tuberías y Accesorios de acero inoxidable.” Accessed: Dec. 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.inamesa.pe/planchas-de-acero-inoxidable/>
- [57] POLIMETALES, “Expertos en Acero | Perú.” Accessed: Dec. 13, 2023. [Online]. Available: <https://polimetales.com/products>
- [58] SOLIDWORKS, “Simulacion en Solidworks.” Accessed: May 01, 2022. [Online]. Available: <https://blogs.solidworks.com/solidworkslatamyesp/solidworks-blog/simulacion/estudio-estatico-simulation/>
- [59] M. I. Cándido, “Introducción a la modelación numérica con Dinámica de Fluidos Computacional (CFD).” Accessed: May 26, 2023. [Online]. Available: <https://www.riego.mx/files/webinars/webinar16.pdf>
- [60] R. López & S. Tapia & G. Pulido, “EVALUACIÓN HIDRODINÁMICA DE UN TANQUE PARA EL CULTIVO DE PECES, EMPLEANDO DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL CFD.” Accessed: Jun. 14, 2022. [Online]. Available: <http://investigacionesyproyectoshidraulicos.com/web/Material%20Cientifico/Articulos/Mas%20de%201000%20Articulos/599.pdf>



# **ANEXOS**



## Anexo 1: Validación de resultados

Para validar la simulación del tanque de tratamiento de aguas residuales, se compararán los resultados obtenidos con los resultados de un estudio hidrodinámico de tanques de recirculación empleados en acuicultura, realizado mediante la aplicación de CFD ANSYS Fluent.

En la simulación del tanque de tratamiento se utilizó el software ANSYS-Fluent basado en CFD. Este software no requiere una etapa de calibración, ya que su fundamento es la solución numérica de las ecuaciones gobernantes de la Hidráulica y Mecánica de Fluidos. Debido a la falta de trabajos antecedentes en este tipo de sistemas, se realizó la validación del software de simulación en este trabajo. Para ello, se modeló tridimensionalmente un tanque de cultivo a escala (Figura 0.1). Los autores de otro estudio aplicaron técnicas de velocimetría óptica PIV y PTV para calcular de manera no intrusiva los campos de velocidad del flujo en 2D. Los datos geométricos reportados en este trabajo sirvieron como base para realizar el modelo conceptual tridimensional (Figura 0.2) del modelo físico a escala mediante el software ANSYS-Fluent V15.[60]

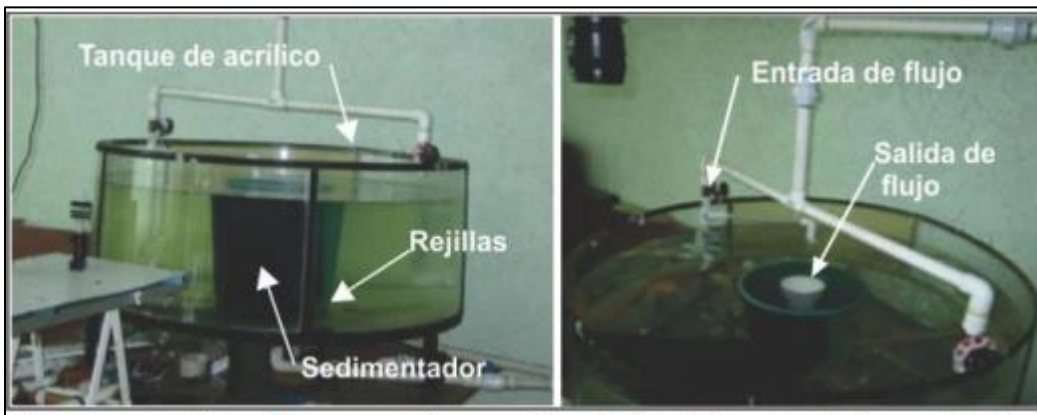
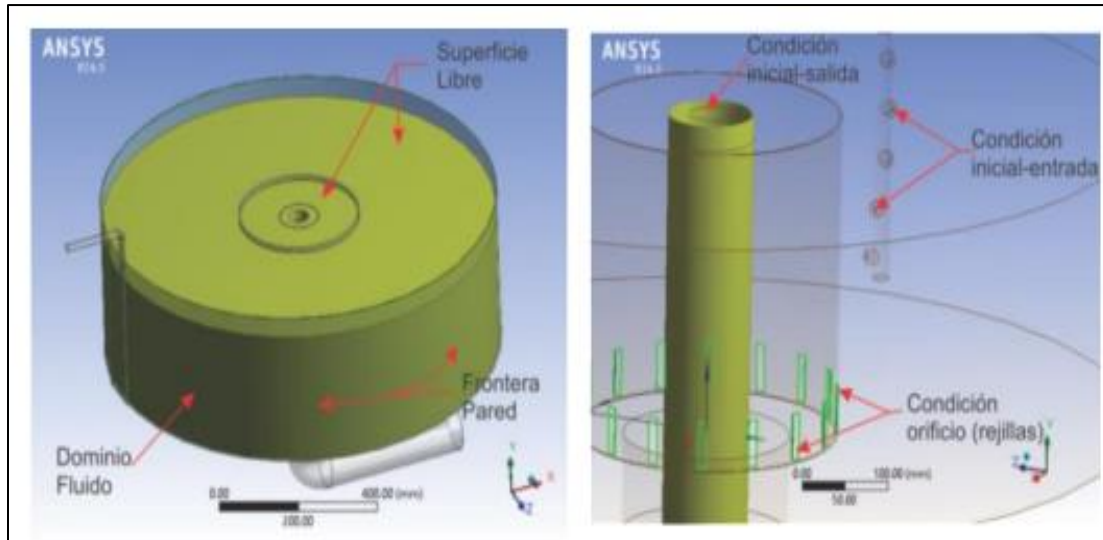


Figura 0.1 Tanque de cultivo a escala, modelo físico.



**Figura 0.2.** Modelo conceptual del tanque a escala, modelado en 3D en CFD.

La Tabla 3.1 muestra los parámetros físico-hidráulicos utilizados en el tanque experimental (Flores y López, 2015), los cuales se establecieron en las condiciones iniciales y de frontera para la simulación del tanque mediante el software FLUENT.

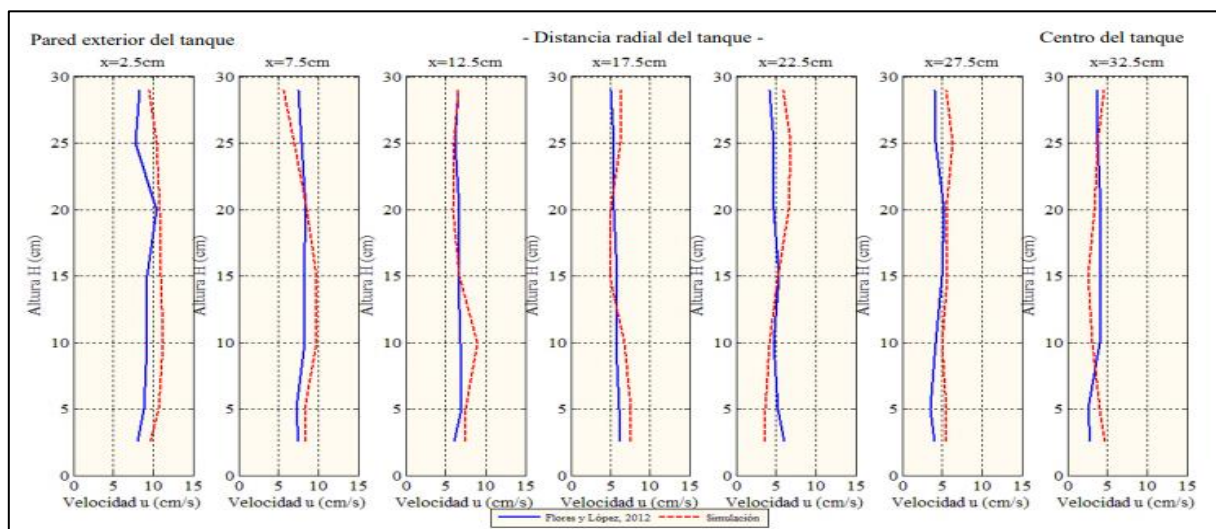
Parámetros	Valor
Diámetro de difusor	3.18
Caudal(lpm)	9
Carga Hidráulica	119/11667
Tirante (cm)	30
Nº de difusores	5
Velocidad promedio en el tanque (cm/s)	5.95
Velocidad promedio de difusor ( $V_{orif}$ ) en (cm/s)	474.79
Coefficiente de descarga calculado (Cd)	0.8

**Tabla.25** Parámetros físico-hidráulicos considerados en la validación.

Establecimiento del modelo geométrico, se realizó la discretización del dominio mediante una malla tridimensional. Esta consistió en la fragmentación del sólido en pequeños volúmenes de control. Para este caso se estableció un refinamiento estructurado con geometrías hexaédricas de tamaño de 1-2 cm. Con ello se garantiza una convergencia satisfactoria en el proceso iterativo del cálculo de la solución. Por otro lado, ANSYS-FLUENT posee una biblioteca de diversas ecuaciones relacionadas al movimiento de fluidos,

modelos de turbulencia y esquemas numéricos de solución. En la simulación realizada en el presente trabajo se seleccionaron aquellos que mejor se ajustaron al comportamiento del tanque en estudio. Los modelos utilizados fueron mediante el esquema de las ecuaciones RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes)

Una vez establecidos los parámetros, ecuaciones y esquemas numéricos de solución en el software, se procedió al procesamiento cálculo de la solución. Los resultados arrojados por el software son principalmente campos de velocidad y turbulencia, en zonas de interés del tanque y dentro del sedimentador. La **Figura.0.3** muestra los perfiles de velocidad obtenidos por Flores y López (2012) mediante técnicas ópticas y los calculados en el presente trabajo con CFD, para las mismas condiciones de operación del tanque. Puede observarse que los perfiles en ambos casos tienen una tendencia similar. La variación entre los perfiles experimentales y los calculados con CFD, fue menor a 15%, lo cual se le atribuye principalmente a que la velocidad calculada experimentalmente únicamente se consideró en 2D. Por otro lado, con el uso de CFD se toma en cuenta la velocidad en 3D, efectos de vorticidad y fenómenos de turbulencia.[60]



**Figura.0.3.** Perfiles de velocidad tangencial (u) del tanque a escala.

Los parámetros mencionados se utilizaron para simular el tanque de cultivo a escala real llamado "El Zarco", los datos técnicos son los mostrados en la Tabla 2 y Tabla 3[60]

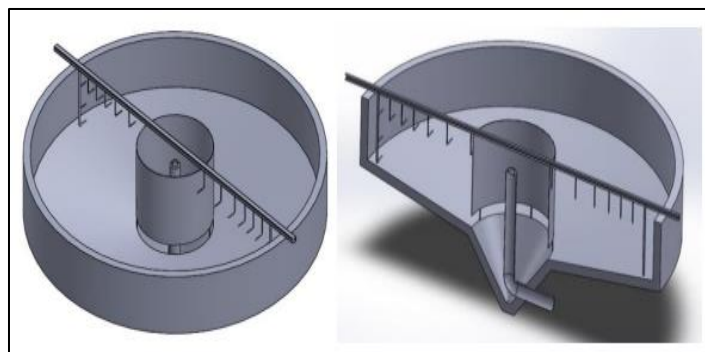
Elemento	Dimensión	Descripción
Tanque circular	Diámetro = 6m	Con 5 ranuras perimetrales (rejillas) separadas a 2.54cm y con altura de 17cm
Tubo interior del hidrociclón (salida de agua)	Diámetro = 1.6 m	Altura (tirante)=1.1m en la parte más profunda del tanque (cercana al hidrociclón exterior);0.9m en la parte menos profunda (cercana a la pared exterior del tanque)
Pendiente del fondo del tanque	Diámetro =0.20m (8")	Inclinación cónica del fondo (captura de sólidos)
Difusores (entrada de agua)	Diámetro =1/2"	2 arreglos equidistantes de 6 difusores horizontales y 3 verticales

**Tabla. 2** Parámetros hidráulicos del tanque y del sedimentador “El Zarco”

Parámetros	Valor
Caudal de entrada (Q)	9
Volumen de tanque (V)	25m <sup>3</sup>
Area de sedimentador (A)	2.01 m <sup>3</sup>
Carga hidráulica superficial (sedimentador)	12.53 m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> d
Velocidad media del flujo (sedimentador)	4.46x10 <sup>-3</sup> m/s
Velocidad longitudinal máxima (tanque)	10.4 cm/s

**Tabla 3.** Parámetros hidráulicos del tanque y del sedimentador “El Zarco” (Tenorio, 2014).

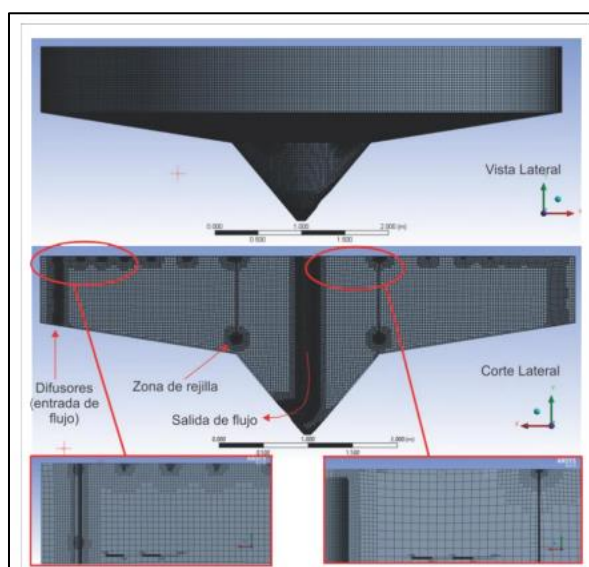
Teniendo los datos, procederemos a la simulación, iniciando con el modelamiento del tanque con dimensiones en escala (1:1), tal como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 4.** Modelo 3D del Tanque de recirculación.

Se procedió a la selección y generación de una malla que se adapte apropiadamente a la

geometría del dominio. La malla consta principalmente de elementos hexaédricos, totalizando 3,054,764 elementos volumétricos con un tamaño mínimo de 0.01m y un máximo de 0.03m. Esta configuración asegura una transición suave entre los elementos y un ajuste preciso a la geometría del sólido. Se llevó a cabo un refinamiento significativo en áreas críticas, como las entradas y salidas del flujo y la zona de rejillas, para garantizar una estimación precisa del comportamiento del flujo en esas áreas, donde los fenómenos de turbulencia son más notables. La estructura detallada de la malla se presenta en la Figura 3.5.[60]



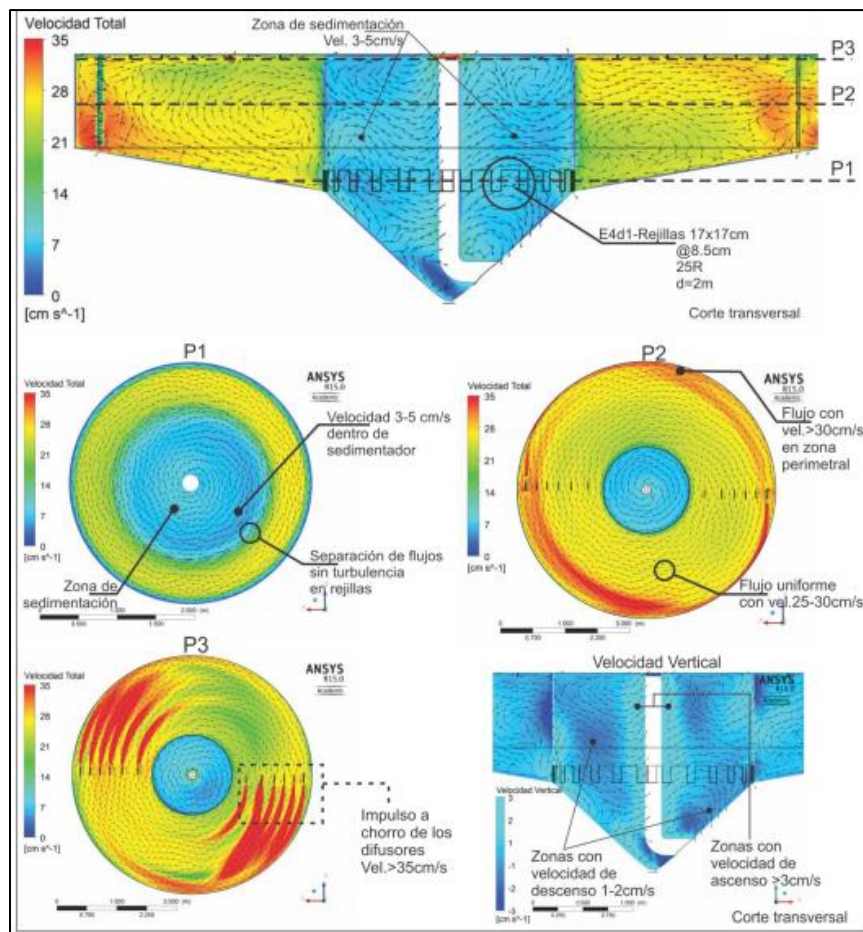
**Figura 5.** Detalle de malla del tanque.

En relación a las condiciones iniciales, se evaluó un flujo estacionario con un nivel de agua constante en el tanque. Se establecieron condiciones de entrada mediante velocidades en cada difusor. Los detalles de los parámetros de entrada para la simulación del tanque "El Zarco" se ilustran en la Figura 3.9.

Escenario	Elemento	Zona	Condición	Valor	Observaciones
Operación actual del tanque	Entrada	Área transversal de los difusores	Entrada de velocidad	257 cm/s	-
	Salida	Pared interna de hidrociclón	Salida de flujo	Caudal calculado	Carga de vertido de 3 cm
Se asumió que el flujo se mantiene constante en el tiempo, es decir, que no hay variaciones transitorias. En consecuencia, tanto el nivel de agua en el tanque como las tasas de entrada y salida de flujo permanecen invariables a lo largo del tiempo					

**Tabla.26** Condiciones de frontera para tanque.

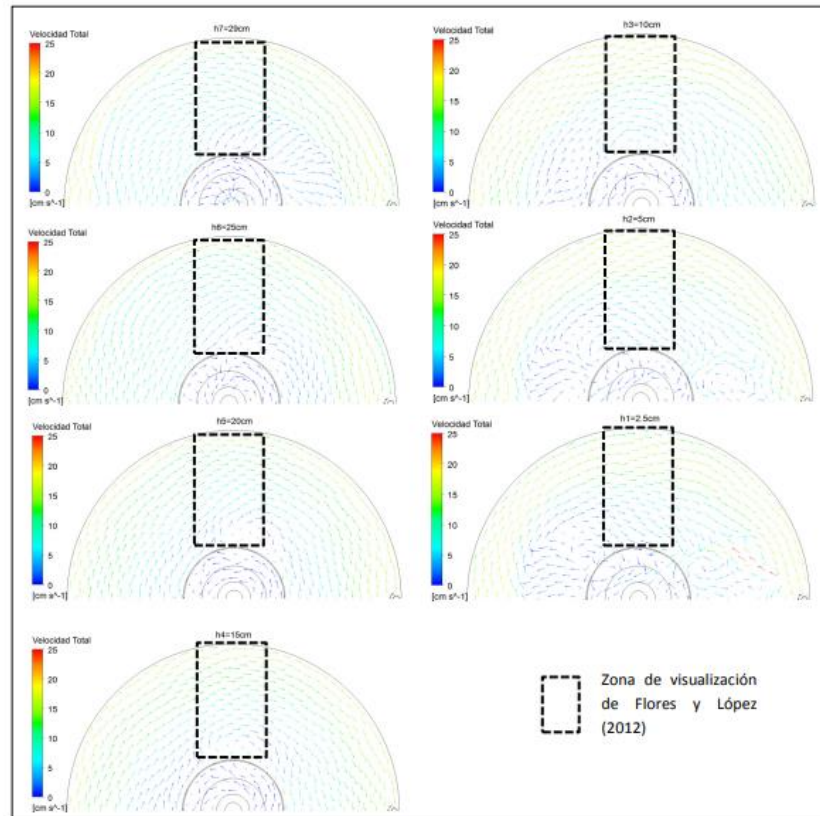
En la Figura 6, se presenta principalmente la hidrodinámica del tanque, expresada en términos de la velocidad total y vertical. Este gráfico ilustra el comportamiento del flujo tanto en el plano vertical (corte) como en el horizontal (planta) para el escenario dado, mostrando contornos y vectores de velocidad. También se evidencia que los factores clave que afectan la hidrodinámica tanto del tanque como del sedimentador son la forma y distribución de las rejillas en el sedimentador, así como su diámetro.



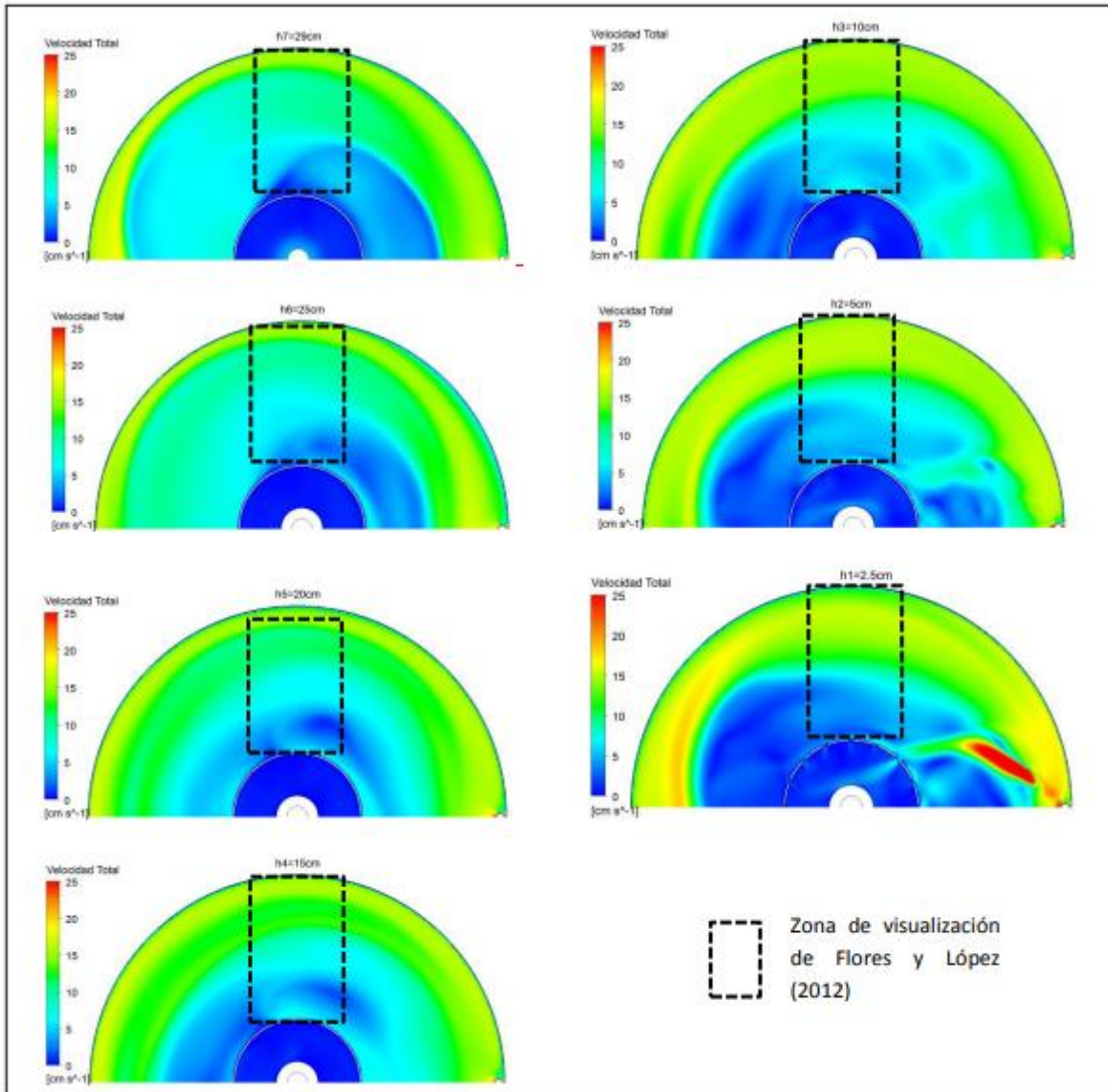
**Figura 6.** Contornos y vectores de velocidad, escenario.

En las Ilustraciones 7 y 8 se visualizan los contornos y vectores de velocidad derivados de la simulación a escala del tanque. Los campos de velocidad del flujo, obtenidos a través de CFD, detallan con precisión la dirección y magnitud de los vectores, ya que la simulación incluyó la velocidad vertical ( $v$ ). Además, el software considera los fenómenos de turbulencia

mediante las ecuaciones k-ε planteadas. Aunque los resultados de CFD no son completamente exactos, muestran un comportamiento similar al observado.



**Figura 7.** Vectores de velocidad total del tanque a escala, obtenidos en la simulación.



**Figura 8.** Contornos de velocidad total del tanque a escala, obtenidos mediante la simulación.





## Anexo 3: Detalles del mallado del tanque de tratamiento de aguas residuales

Details of "Mesh"	
Display Style	Use Geometry Setting
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
<input type="checkbox"/> Element Size	Default
<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	Default (2)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	4887.6 mm
Average Surface Area	4.7473e+005 mm <sup>2</sup>
Minimum Edge Length	5.08e-003 mm
<b>Quality</b>	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
<input type="checkbox"/> Transition Ratio	0.272
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
<b>Statistics</b>	
<input type="checkbox"/> Nodes	168163
<input type="checkbox"/> Elements	82839

## Anexo 4: Detalles del mallado de la primera estructura porta contenedores

Details of "Mesh"	
Element Order	Program Controlled
<input type="checkbox"/> Element Size	Default
<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizi...	Yes
Resolution	Default (2)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Di...	1765.1 mm
Average Surface ...	2960.9 mm <sup>2</sup>
Minimum Edge L...	4.7124 mm
<b>Quality</b>	
Check Mesh Qua...	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
<b>Inflation</b>	
Use Automatic In...	None
Inflation Option	Smooth Transition
<input type="checkbox"/> Transition Ratio	0.272
<input type="checkbox"/> Maximum Lay...	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1.2
Inflation Algorit...	Pre
View Advanced ...	No
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs ...	Program Controlled
Straight Sided El...	No
Rigid Body Behav...	Dimensionally Reduced
Triangle Surface ...	Program Controlled
Topology Checki...	Yes
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch o...	No
<b>Statistics</b>	
<input type="checkbox"/> Nodes	1696798
<input type="checkbox"/> Elements	874482

## Anexo 5: Detalles del mallado de la segunda estructura porta contenedores

Details of "Mesh"	
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Order	Linear
<input type="checkbox"/> Element Size	100.0 mm
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizing	No
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1.2)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (200.0 m...
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (0.5 mm)
Capture Curvature	Yes
<input type="checkbox"/> Curvature Min Size	Default (1.0 mm)
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18.0°)
Capture Proximity	No
Bounding Box Diagonal	4949.7 mm
Average Surface Area	5.7636e+005 mm <sup>2</sup>
Minimum Edge Length	157.08 mm
<b>Quality</b>	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	Default (0.9)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
<input type="checkbox"/> Transition Ratio	0.272
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel...	Program Control...
Straight Sided Elements	
Rigid Body Behavior	Dimensionally R...
Triangle Surface Mesher	Program Control...
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Default (0.9 mm)
Generate Pinch on Refresh	No
<b>Statistics</b>	
<input type="checkbox"/> Nodes	125241
<input type="checkbox"/> Elements	365180

## Anexo 6: Detalles del mallado de la tercera estructura porta contenedores

Details of "Mesh" <span style="float: right;">▼ ↑ ×</span>	
<input type="checkbox"/> <b>Display</b>	
Display Style	Use Geometry Setting
<input type="checkbox"/> <b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
<input type="checkbox"/> Element Size	Default
<input type="checkbox"/> <b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	Default (2)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	1818.0 mm
Average Surface Area	2974.9 mm <sup>2</sup>
Minimum Edge Length	4.7124 mm
<input type="checkbox"/> <b>Quality</b>	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
<input type="checkbox"/> <b>Inflation</b>	
<input type="checkbox"/> <b>Advanced</b>	
Number of CPUs	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface	Program Controlled
Topology Check	Yes
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch Objects	No
<input type="checkbox"/> <b>Statistics</b>	
<input type="checkbox"/> Nodes	1606879
<input type="checkbox"/> Elements	818199

## Anexo 7: Detalles del mallado del tanque de tratamiento para simulación de fluidos

Details of "Mesh"	
<b>Display</b>	
Display Style	Use Geometry Setting
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Order	Linear
<input type="checkbox"/> Element Size	Default (245.22 mm)
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizing	No
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1.2)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (490.43 mm)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (1.2261 mm)
Capture Curvature	Yes
<input type="checkbox"/> Curvature Min Size	Default (2.4522 mm)
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18.0°)
Capture Proximity	No
Bounding Box Diagonal	4904.3 mm
Average Surface Area	9.0019e+005 mm <sup>2</sup>
Minimum Edge Length	239.78 mm
<b>Quality</b>	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	Default (0.9)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
<b>Inflation</b>	
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel...	Program Controlled
Straight Sided Elements	
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Default (2.2069 mm)
Generate Pinch on Refresh	No
<b>Statistics</b>	
<input type="checkbox"/> Nodes	55909
<input type="checkbox"/> Elements	164229

## Anexo 8: Detalles del mallado tanque de tratamiento para simulación de fluidos, primer diseño

Details of "Mesh" <span style="float: right;">▼ 🔍 ✕</span>	
<b>Display</b>	
Display Style	Use Geometry Setting
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Order	Linear
<input type="checkbox"/> Element Size	Default (247.49 mm)
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizing	No
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1.2)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (494.97 mm)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (1.2374 mm)
Capture Curvature	Yes
<input type="checkbox"/> Curvature Min Size	Default (2.4749 mm)
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18.0°)
Capture Proximity	No
Bounding Box Diagonal	4949.7 mm
Average Surface Area	6.4916e+005 mm <sup>2</sup>
Minimum Edge Length	239.78 mm
<b>Quality</b>	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	Default (0.9)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
<b>Inflation</b>	
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel...	Program Controlled
Straight Sided Elements	
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Default (2.2274 mm)
Generate Pinch on Refresh	No
<b>Statistics</b>	
<input type="checkbox"/> Nodes	93234
<input type="checkbox"/> Elements	277389

## Anexo 9: Detalles del mallado tanque de tratamiento para simulación de fluidos, segundo diseño

Details of "Mesh"	
<b>Display</b>	
Display Style	Use Geometry Setting
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Order	Linear
<input type="checkbox"/> Element Size	100.0 mm
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizing	No
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1.2)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (200.0 mm)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (0.5 mm)
Capture Curvature	Yes
<input type="checkbox"/> Curvature Min Size	Default (1.0 mm)
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18.0°)
Capture Proximity	No
Bounding Box Diagonal	4949.7 mm
Average Surface Area	6.1896e+005 mm <sup>2</sup>
Minimum Edge Length	239.78 mm
<b>Quality</b>	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	Default (0.9)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
<b>Inflation</b>	
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Default (0.9 mm)
Generate Pinch on Refresh	No
<b>Statistics</b>	
<input type="checkbox"/> Nodes	112008
<input type="checkbox"/> Elements	329063



## Anexo 10: Detalles del mallado tanque de tratamiento para simulación de fluidos, segundo diseño

Details of "Mesh"	
<b>Display</b>	
Display Style	Use Geometry Setting
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Order	Linear
<input type="checkbox"/> Element Size	100.0 mm
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizing	No
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1.2)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (200.0 mm)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (0.5 mm)
Capture Curvature	Yes
<input type="checkbox"/> Curvature Min Size	Default (1.0 mm)
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18.0°)
Capture Proximity	No
Bounding Box Diagonal	4949.7 mm
Average Surface Area	7.5784e+005 mm <sup>2</sup>
Minimum Edge Length	478.78 mm
<b>Quality</b>	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	Default (0.9)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
<b>Inflation</b>	
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Default (0.9 mm)
Generate Pinch on Refresh	No
<b>Statistics</b>	
<input type="checkbox"/> Nodes	89349
<input type="checkbox"/> Elements	263784

## Anexo 11: Detalles del mallado de los agujeros circulares

Details of "Mesh"	
<b>Display</b>	
Display Style	Use Geometry Setting
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Order	Linear
<input type="checkbox"/> Element Size	Default (84.447 mm)
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizing	No
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1.2)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (168.89 mm)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (0.42223 mm)
Capture Curvature	Yes
<input type="checkbox"/> Curvature Min Size	Default (0.84447 mm)
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18.0°)
Capture Proximity	No
Bounding Box Diagonal	1688.9 mm
Average Surface Area	30782 mm <sup>2</sup>
Minimum Edge Length	62.832 mm
<b>Quality</b>	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	Default (0.9)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
<b>Inflation</b>	
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel...	Program Controlled
Straight Sided Elements	
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Default (0.76002 mm)
Generate Pinch on Refresh	No
<b>Statistics</b>	
<input type="checkbox"/> Nodes	168982
<input type="checkbox"/> Elements	491503

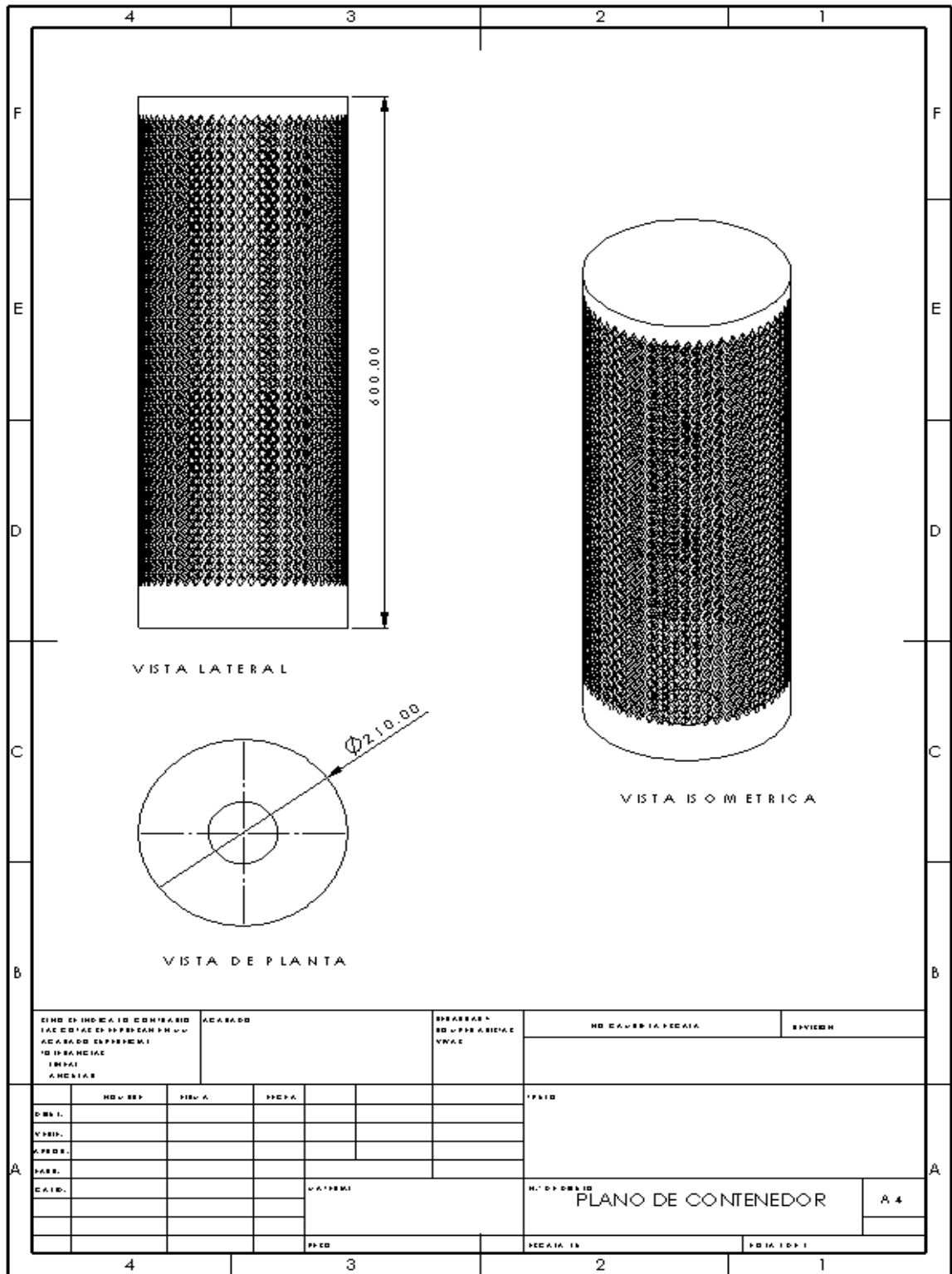
## Anexo 12: Detalles del mallado de los agujeros rectangulares

Details of "Mesh" <span style="float: right;">▼ ↑ ×</span>	
<b>Display</b>	
Display Style	Use Geometry Setting
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Order	Linear
<input type="checkbox"/> Element Size	20.0 mm
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizing	No
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1.2)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (40.0 mm)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (0.1 mm)
Capture Curvature	Yes
<input type="checkbox"/> Curvature Min Size	Default (0.2 mm)
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18.0°)
Capture Proximity	No
Bounding Box Diagonal	1186.1 mm
Average Surface Area	11586 mm <sup>2</sup>
Minimum Edge Length	20.0 mm
<b>Quality</b>	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	Default (0.9)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
<b>Inflation</b>	
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Default (0.18 mm)
Generate Pinch on Refresh	No
<b>Statistics</b>	
<input type="checkbox"/> Nodes	25105
<input type="checkbox"/> Elements	68332

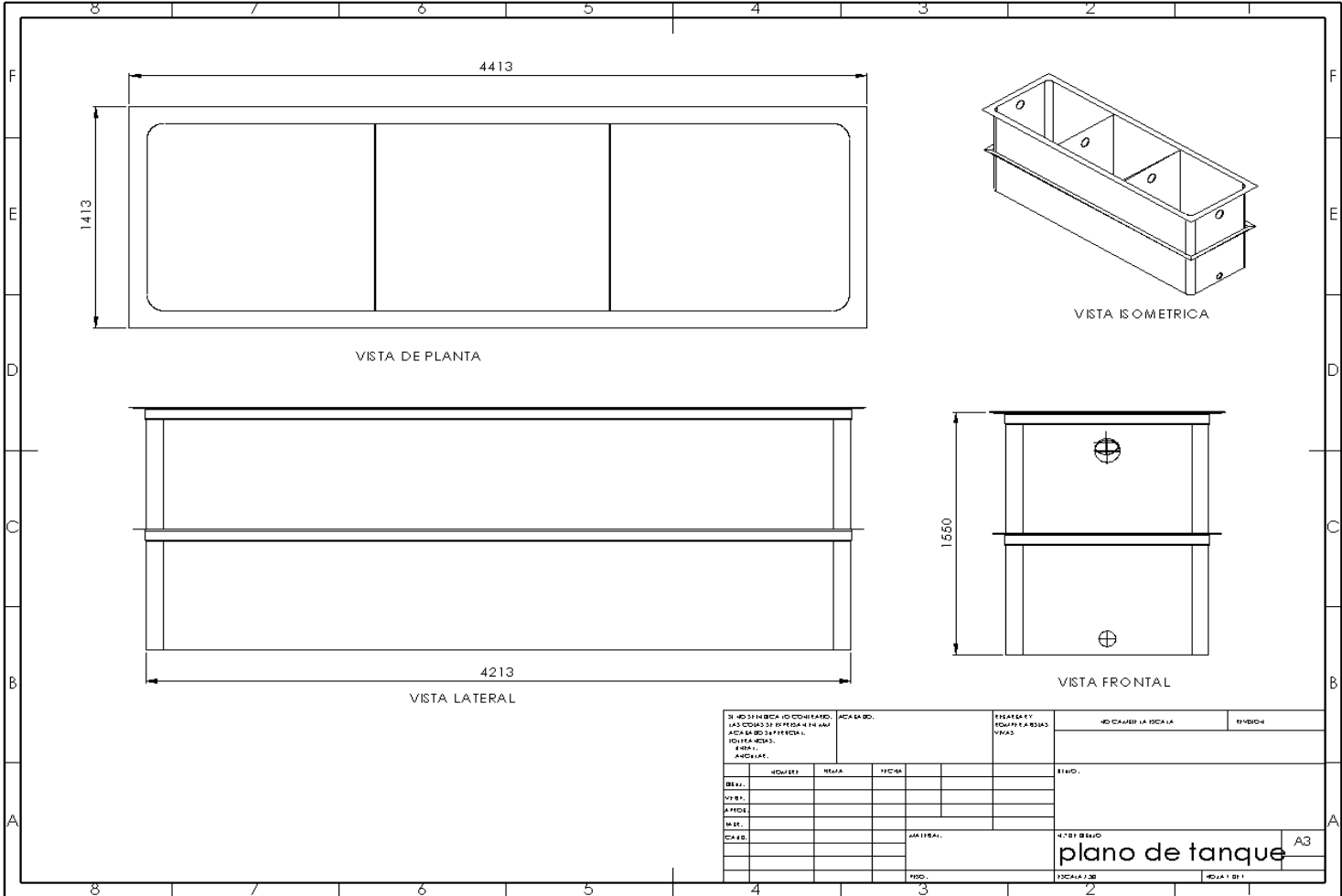
## Anexo 13: Detalles del mallado de los agujeros hexagonales

Details of "Mesh"	
<b>Display</b>	
Display Style	Use Geometry Setting
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Order	Linear
<input type="checkbox"/> Element Size	50.0 mm
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizing	No
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1.2)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (100.0 mm)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (0.25 mm)
Capture Curvature	Yes
<input type="checkbox"/> Curvature Min Size	Default (0.5 mm)
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18.0°)
Capture Proximity	No
Bounding Box Diagonal	1688.9 mm
Average Surface Area	14411 mm <sup>2</sup>
Minimum Edge Length	17.321 mm
<b>Quality</b>	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	Default (0.9)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
<b>Inflation</b>	
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel...	Program Controlled
Straight Sided Elements	
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Default (0.45 mm)
Generate Pinch on Refresh	No
<b>Statistics</b>	
<input type="checkbox"/> Nodes	6041
<input type="checkbox"/> Elements	14317

# Anexo 14: Plano de contenedor



# Anexo 15: Plano de tanque



# Anexo 16: Plano de soporte

