

Diseño de un Sistema de Agitación a Escala Industrial para la Producción de Geles
Farmacéuticos en la Empresa Zumotec s.a.

Cristian David Mejía Acevedo, Daniel Stibeen Rodriguez Calderón

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

Alejandro Sierra Vargas

Ingeniero Mecánico

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darnos la sabiduría para llevar este proyecto a cabo, a mis padres que merecen un agradecimiento especial por su apoyo constante y sacrificio incansable a lo largo de mi vida y especialmente durante mi carrera universitaria. Su ejemplo de perseverancia y dedicación me ha inspirado a alcanzar mis metas.

A la Universidad Industrial de Santander quiero expresar mi gratitud por proporcionarme una educación de calidad y un ambiente propicio para el aprendizaje. Los conocimientos adquiridos aquí han sido fundamentales para el desarrollo de este proyecto.

Agradecimiento especial a la empresa Zumo tecnología Zumotec s.a. por brindarme la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos en este proyecto. Su apoyo y recursos fueron esenciales para la investigación que aquí se presenta.

A mi compañero de grado y mi amigo cercano le agradezco por su colaboración, amistad y apoyo mutuo durante este desafiante proceso. Juntos hemos superado obstáculos y compartido momentos inolvidables.

A mi director de tesis el Ingeniero Alejandro Sierra Vargas le estoy profundamente agradecido por su sabiduría, orientación experta, paciencia, y dedicación incansable. Sus consejos y dirección fueron cruciales para dar forma a esta investigación.

En resumen, este logro no habría sido posible sin la bendición de Dios, el apoyo inquebrantable de mis padres, la educación de calidad brindada por la universidad, el respaldo de la empresa, la colaboración de mi compañero de grado y la orientación de mi director. Estoy sinceramente agradecido a todos ellos por ser parte de este importante capítulo en mi vida académica.

Tabla de Contenido

Introducción	12
1 Objetivos.....	15
1.1 Objetivo general.....	15
1.2 Objetivos específicos	15
2 Caracterización del gel farmacéutico.....	16
2.1 Caracterización del gel.....	16
2.1.1 Conductividad térmica y calor específico.....	21
3 Tipos de agitadores de flujo axial	21
3.1 Agitador de flujo axial	21
3.1.1 Hélices marinas	22
3.1.2 Hélices de perfil alabeado axial	22
3.1.3 Turbinas de palas planas inclinadas	23
3.1.4 Turbina radial tipo ancla	24
3.1.5 Turbina de hélice doble.....	25
4 Caracterización tanque cilíndrico de 1000 litros	26
4.1 Medidas del tanque.	26
4.1.1 Materiales.....	29
4.1.2 Diseño Sanitario y Acabado de Superficie	29
4.1.3 Seguridad y Calidad.....	29
4.1.4 Etiquetado y Documentación	29
4.1.5 Prevención de Contaminación Cruzada	30

4.1.6	Seguridad en el Manejo	30
4.1.7	Cumplimiento Regulatorio.....	30
4.2	Definición medida para diseño del tanque en SolidWorks	30
4.3	Definición altura máxima de llenado en el proceso de agitación.	31
5	Selección de dos tipos de hélices	32
5.1	Hélice tipo ancla	32
5.1.1	Relación de dimensiones hélice tipo ancla	32
5.1.2	Modelo en SolidWorks	33
5.1.3	Simulación de gel Conductor en Solidworks complemento flow simulation.....	34
5.1.3.1	Comportamiento Torque.....	35
5.1.3.1.1	Potencia requerida aplicable al sistema.	36
5.1.3.2	Viscosidad dinámica.	36
5.1.3.3	Comportamiento densidad.	37
5.2	Agitador tipo Hélice doble.....	38
5.2.1	Relación de dimensiones hélice doble	38
5.2.1.1	Primera referencia de diseño para el agitador tipo hélice doble	38
5.2.1.2	Segunda referencia de diseño para el agitador tipo hélice doble	40
5.2.2	Modelo en SolidWorks	41
5.2.3	Simulación de gel Conductor en Solidworks complemento flow simulation.....	42
5.2.3.1	Comportamiento Torque.....	43
5.2.3.1.1	Potencia requerida aplicable al sistema.	44
5.2.3.2	Comportamiento viscosidad dinámica.....	45
5.2.3.3	Comportamiento densidad.	45

6	Matriz de decisión.....	47
7	Unidad de potencia	48
7.1	Selección unidad de potencia.....	48
7.1.1	Potencia del motor	49
7.2	Sujeción de motor	50
7.3	Acople eje	51
7.4	Teorema de falla por fatiga al eje	52
7.4.1	Simulación deflexión del agitador	58
8	Costo de fabricación.	59
8.1	Costos directos	59
8.2	Costos indirectos.....	61
8.3	Consumo de energía.....	62
8.3.1	Determinación de la potencia nominal del motor	62
8.3.2	Tiempo de funcionamiento del sistema de agitación.....	62
8.3.3	Valor del kilovatio hora en la empresa	62
8.4	Depreciación anual.....	63
	Conclusiones	64
	Recomendaciones	65
	Referencias Bibliográficas	66
	Apéndices.....	67

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 batch manufacturing record de gel conductor.....	16
Tabla 2 Características fisicoquímicas gel conductor Zumotec s.a.	18
Tabla 3 Medida tanque diámetro de 96 centímetros.	27
Tabla 4 Medida tanque diámetro de 97 centímetros.	27
Tabla 5 Medida tanque diámetro de 98 centímetros.	28
Tabla 6 Tabla de acotamientos agitador tipo ancla.....	33
Tabla 7 Tabla de acotamientos agitador tipo hélice doble.....	39
Tabla 8 Matriz de decisión.....	47
Tabla 9 Costos directos de materiales.....	59
Tabla 10 Costos directos de mano de obra	60
Tabla 11 Costos directos de subcontratación.....	60
Tabla 12 Costos indirectos de fabricación	61

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Tipos de comercialización de gel conductor por tamaños.....	17
Figura 2 Propiedades específicas solicitadas por el software Solidworks.....	19
Figura 3 Grafica de viscosidad contra Tasa de corte mediante el estudio de la escuela de Ingeniería Química.....	19
Figura 4 Grafica de viscosidad contra Tasa de corte exportada al software solidworks – Flow simulation.....	20
Figura 5 Comportamientos fluidos con hélices marinas.....	22
Figura 6 Comportamientos fluidos con hélices de perfil alabeado axial.....	23
Figura 7 Comportamientos fluidos con hélices de palas planas inclinadas.....	24
Figura 8 Comportamientos fluidos con hélices radial tipo ancla.....	25
Figura 9 Agitador hélice doble.....	26
Figura 10 Diseño del tanque en SolidWorks.....	31
Figura 11 Relación de dimensiones tipo Ancla.....	32
Figura 12 Diseño del agitador tipo ancla en SolidWorks.....	34
Figura 13 Comportamiento del gel conductor en el SolidWorks con su complemento Flow Simulation.....	35
Figura 14 Comportamiento de torque del gel conductor en SolidWorks.....	36
Figura 15 Comportamiento de viscosidad dinámica del gel conductor en SolidWorks.....	37
Figura 16 Comportamiento densidad del gel conductor en SolidWorks.....	38
Figura 17 Relación de dimensiones tipo hélice doble.....	39

Figura 18 Relación de dimensiones tipo hélice doble	40
Figura 19 Diseño del agitador tipo hélice doble en SolidWorks.....	42
Figura 20 Comportamiento del gel conductor en el SolidWorks con su complemento Flow Simulation.....	43
Figura 21 Comportamiento de torque del gel conductor en SolidWorks	44
Figura 22 Comportamiento de viscosidad dinámica del gel conductor en SolidWorks	45
Figura 23 Comportamiento de viscosidad dinámica del gel conductor en SolidWorks	46
Figura 24 Motor WEG y características técnicas	49
Figura 25 medidas de sujeción del motor en SolidWorks	50
Figura 26 Acoplamiento eje con motorreductor bridado en SolidWorks	51
Figura 27 Acabado superficial	54
Figura 28 factor de carga	54
Figura 29 factor de confiabilidad.....	55
Figura 30 Diseño de fatiga en solidworks.....	57
Figura 31 Deflexión agitador tipo ancla	58

Lista de Apéndices

Anexo A Ficha técnica gel conductor.....	67
Anexo B Resultado de laboratorio ingeniería química de la UIS.....	69
Anexo C Registro fotográfico del tanque en la empresa Zumo tecnología zumotec s.a.	76
Anexo D ficha técnica motor WEG seleccionado	78
Anexo E Planos del sistema de agitación.	79

Resumen

Título: Diseño de un sistema de agitación a escala industrial para la producción de geles farmacéuticos en la empresa Zumotec s.a.*

Autor: Cristian David Mejía Acevedo, Daniel Stibeen Rodriguez Calderón**

Palabras Clave: Agitador, Gel conductor, Simulación, dispositivos médicos.

Descripción: Este proyecto presenta el diseño de un sistema de agitación a escala industrial para un tanque de 1000 litros de gel conductor, desarrollado para la empresa Zumotec s.a., con el fin de impulsar el crecimiento de la compañía. En primer lugar, se diseñó el agitador utilizando el complemento de simulación de flujo del software SolidWorks. Posteriormente se llevaron a cabo varias simulaciones para validar el comportamiento de las variables del fluido, garantizando así el correcto funcionamiento del sistema. Así mismo, se cumplió con la norma ISO13485, que rige la gestión de calidad en dispositivos médicos, para asegurar buenas prácticas de fabricación.

En paralelo, se realizó un estudio fisicoquímico del gel en colaboración con la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander. Esto permitió relacionar el comportamiento real del gel con su simulación.

En relación al tanque, se cuenta con un tanque de 1000 litros proporcionado por la empresa el cual se analiza para cumplir la norma API650, seguidamente se llevó a cabo la selección y diseño de un sistema de transmisión de potencia, que incluye la elección del motor, motorreductor y acople fijo, con un análisis directo de la resistencia en el eje móvil del agitador.

Para concluir, se realizó un presupuesto detallado que incluye costos directos e indirectos, el consumo de energía en Kw/hy su depreciación en el tiempo. Todo esto se hizo con el propósito de que Zumotec SA pueda evaluar la viabilidad del diseño y su posterior construcción.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingeniería Fisicomecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica. Ingeniería Mecánica.
Director: Alejandro Sierra Vargas. Ingeniero Mecánico.

Abstract

Title: Design of an industrial-scale agitation system for the production of pharmaceutical gels in the company Zumotec s.a.*

Author(s): Cristian David Mejía Acevedo, Daniel Stibeen Rodriguez Calderón **

Key Words: Stirrer, Conductive gel, Simulation, medical devices.

Description: This project presents the design of an industrial scale agitation system for a 1000 liter tank of conductive gel, developed for the company Zumotec s.a., in order to boost the company's growth. First, the agitator was designed using the flow simulation plug-in of SolidWorks software. Subsequently, several simulations were carried out to validate the behavior of the fluid variables, thus ensuring the correct operation of the system. Likewise, the ISO13485 standard, which governs quality management in medical devices, was complied with to ensure good manufacturing practices.

At the same time, a physicochemical study of the gel was carried out in collaboration with the School of Chemical Engineering of the Universidad Industrial de Santander. This made it possible to relate the real behavior of the gel with its simulation.

In relation to the tank, a 1000 liter tank provided by the company was analyzed to comply with the API650 standard, then the selection and design of a power transmission system was carried out, including the choice of the motor, geared motor and fixed coupling, with a direct analysis of the resistance in the moving axis of the agitator.

To conclude, a detailed budget was made, including direct and indirect costs, energy consumption in Kw/h and its depreciation over time. All this was done in order for Zumotec SA to evaluate the feasibility of the design and its subsequent construction.

* Degree Work

** School of Physicomechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Mechanical Engineering. Director: Alejandro Sierra Vargas. Mechanical Engineer.

Introducción

A nivel industrial hay variedad de agitadores de tipo vertical u horizontal y cada uno difiere en sus hélices, este sistema cuenta con una aplicación en especial según el proceso y el producto. Los Agitadores Industriales son máquinas utilizadas comúnmente en instalaciones que cuentan con tanques de procesos para combinación de varios fluidos, lo que resulta necesario de un movimiento rotatorio dentro del mismo y lograr generar un nuevo producto en específico.

En contexto internacional en la ciudad de México existe una empresa de agitadores industriales que diseñan y fabrican agitadores de la mejor calidad y dirigido a distintos sectores, esto gracias a procesos de investigación y desarrollo por medio de programas como CFD, permiten aumentar la eficiencia, rendimiento, optimización y operación de los equipos.

Analizando otro panorama en España como menciona en su tesis doctoral Bossio (2021, p24) “el tiempo de producción es un aspecto capital a la hora de establecer la viabilidad o la rentabilidad de un producto” y también es importante recalcar que el dimensionado de los agitadores (según el fabricante) viene dado en gran parte por los esfuerzos combinados de torsión y flexión a los que están sometidos, los cuales se suelen calcular con simulaciones de fluido dinámicas o fórmulas analíticas. El cambio en las características del producto durante su proceso de fabricación, como la densidad y la viscosidad, así como el volumen dentro del depósito, son variaciones en las condiciones de trabajo que se deben tener en cuenta.

Estas problemáticas que se presentan en un contexto internacional son abordadas con soluciones en común según el fabricante con variedad de aplicaciones que simulen el comportamiento de los fluidos o formulas analíticas, optimizando diseños, implementando tecnologías.

En Colombia, existen empresas comercializadoras de mezcladoras de líquidos con viscosidades variables, utilizadas en el sector de la construcción, cosméticos, farmacéuticos entre otros, estos productos tienen diferentes variables dependientes para su diseño, ya que están reguladas por normas previamente estudiadas y aplicadas para su buen proceso, esto lo podemos ver en la industria farmacéutica para la agitación de geles dispositivos médicos, teniendo como base la norma ISO 13485, que regula buenas prácticas de manufactura.

En empresas colombianas dedicadas a la agitación y mezcla de productos se encuentra gran variedad de diseños para la industria alimentaria, química y farmacéutica, teniendo en cuenta las especificaciones de salubridad, especificando los materiales adecuados para cada aplicación dando acompañamiento antes, durante y después del estudio de análisis y diseño, proporcionando información específica y clara.

En Bucaramanga, Santander se encuentra una única empresa de generación de geles dispositivos médicos, la cual hace de alta demanda un crecimiento en la industria farmacéutica para este fin, estos dispositivos médicos son utilizados en procesos de ecografías, catéteres, sondas, lubricante íntimo, ambiente hospitalario entre otros; viendo la demanda de este producto, se requiere crecer en la industria buscando una mayor capacidad de producción.

La empresa Zumotec s.a. como única empresa en la región de Santander en el campo de productos hospitalarios y de limpieza presenta un crecimiento y una transición en los procesos de producción y se plantea la siguiente situación: para avanzar en el mercado competitivo en la industria es importante analizar dos aspectos, la producción y la calidad, en cuanto a producción es importante lograr cubrir la demanda y lo correspondiente a calidad se suma el diseño de un sistema de mezclado excelente, teniendo presente su grado de viscosidad y la cantidad de gel para dispositivos médicos que se requiere utilizar en el proceso. Estas especificaciones son importantes

para el diseño del agitador ya que debe tener el máximo alcance de mezclado y lograr un resultado de manera homogénea para entregar un producto de alta calidad.

Es necesario incorporar un agitador vertical para un tanque de 1.000 litros que cumpla con los requerimientos en cuanto a calidad del producto en el área farmacéutica, considerando variables dependientes del fluido como es la viscosidad, temperatura y densidad, para el proceso de mezclado manteniendo la calidad de homogeneización de este, utilizando el software SolidWorks con su herramienta flow simulation, con el fin de no sobredimensionar el sistema.

Debido a la alta demanda del producto se necesita un agitador de tamaño proporcional al tanque, este será diseñado basado en normatividades respecto al material, antecedentes y diseños ya estudiados en la industria farmacéutica, se seleccionará el diseño de la paleta al que mejor se adapte para su funcionamiento adecuado con las propiedades del gel para dispositivos médicos.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de agitación para la fabricación de gel farmacéutico que cumpla los requerimientos de calidad del producto de acuerdo a la norma ISO 13485, a fin de lograr una producción a escala industrial

1.2 Objetivos específicos

Determinar el diseño del agitador mediante software de análisis CFD acorde a propiedades físicas del gel farmacéutico, para cumplir los requerimientos de calidad del producto conforme a la normativa ISO 13485.

Seleccionar el conjunto motriz: unidad de potencia, sujeción, acoplamiento eje-motor, eje-móvil, mediante referentes teóricos para garantizar la homogeneidad del producto.

Determinar el costo de fabricación del sistema de agitación, por medio del análisis de requerimientos para un correcto funcionamiento (mano de obra, consumo de energía, depreciación) con el fin de que la empresa Zumotec s.a analice su viabilidad.

2 Caracterización del gel farmacéutico

Este producto farmacéutico está compuesto por diferentes materias primas, las cuales le dan sus características de gel dependiendo del porcentaje de aplicación de cada uno.

Tabla 1

batch manufacturing record de gel conductor

Materia Prima	porcentaje
Carbopol 940	--%
Dimethyldimethyl	--%
Hydantoin – kemidant L	--%
Trietanolamina (99%)	--%
Propilenglicol Técnico	--%
Agua potable	96%

Nota. Esta tabla muestra la cantidad de materia prima en porcentaje que se aplica para la producción de gel conductor, no se especifican porcentaje de materia prima por ser información confidencial de la empresa. Tomado de *Zumo Tecnologia Zumotec s.a*

2.1 Caracterización del gel

En la empresa Zumotec s.a. se fabrica el gel conductor Figura 1, siendo un producto comercializado y vendido de alta demanda por la empresa, el cual es fabricado bajo la norma ISO 13485, que estipula la gestión de calidad de dispositivos médicos, se requirió un estudio de

propiedades físicas con las cuales se estudió y analizó su comportamiento para un diseño óptimo en el proceso.

Las propiedades de los geles pueden variar ampliamente según la aplicación que se requiere, los geles para dispositivos médicos pueden tener diferentes grados de viscosidad, densidad u otras características físicas las que hace poco posible estandarizar sus propiedades.

Figura 1

Tipos de comercialización de gel conductor por tamaños



Nota. La figura representa los tamaños de comercialización del gel conductor. Tomado de *Zumotec.com*, Página oficial de la empresa.

Se posee una ficha técnica del gel farmacéutico en la empresa, que tiene información de las propiedades fisicoquímicas

Tabla 2 de dicho gel según el registro sanitario INVIMA 2019DM-0020164, como también su ficha de seguridad, véase en el Anexo A.

Tabla 2*Características fisicoquímicas gel conductor Zumotec s.a.*

CARATERISTICAS FISICOQUIMICAS		
ANALISIS	ESPECIFICACIONES	TECNICA
Aspecto y color	Liquido Traslucido viscoso	Organoléptica
Olor	Inodoro	Organoléptica
Gravedad especifica	0.9 – 1.2	Gravimétrica
Turbidez	<10	Espectrofotométrica
pH (25°C)	6.5 - 7	Potenciométrica

Nota. En esta tabla se tiene un estudio de los análisis especificaciones y técnicas, en el que se tomó una muestra para su caracterización. Hecho por la empresa para su caracterización del gel conductor.

El software SolidWorks con el complemento flow simulation requirió las siguientes propiedades del gel Figura 2: densidad, calor específico, conductividad térmica y viscosidad con las cuales se hizo una simulación de comportamiento del gel en el proceso de producción.

Este gel, al variar la viscosidad con la tensión cortante que se le aplique se comporta como un fluido no newtoniano en todo el proceso, propiedades como conductividad térmica y rangos de viscosidad se definieron mediante fichas técnicas de geles semejantes en su aplicación, propiedades físicas básicas y pruebas de laboratorio hechas al gel conductor.

Figura 2

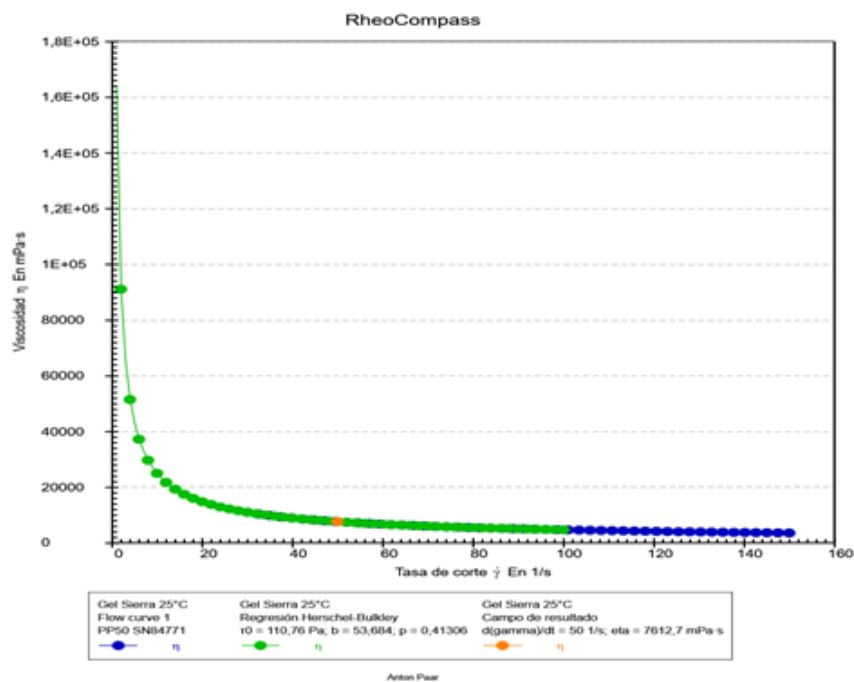
Propiedades específicas solicitadas por el software Solidworks.

Property	Value
Name	New Non-Newtonian Liquid
Comments	
Density	0.001025 kg/m ³
Specific heat	3000 J/(kg*K)
Thermal conductivity	0.4 W/(m*K)
Viscosity	Viscosity table
Viscosity data set	(Table)
Newtonian cut-off (maximum)	<input type="checkbox"/>

Se solicitó en el laboratorio de Ingeniería química de la UIS un estudio específico de estas características del gel, las cuales aportan: tasa de corte, esfuerzo cortante, viscosidad. Con el fin de tener datos proporcionales y reales del mismo con los que tuvimos los siguientes resultados véase en el Anexo B.

Figura 3

Grafica de viscosidad contra Tasa de corte mediante el estudio de la escuela de Ingeniería Química.

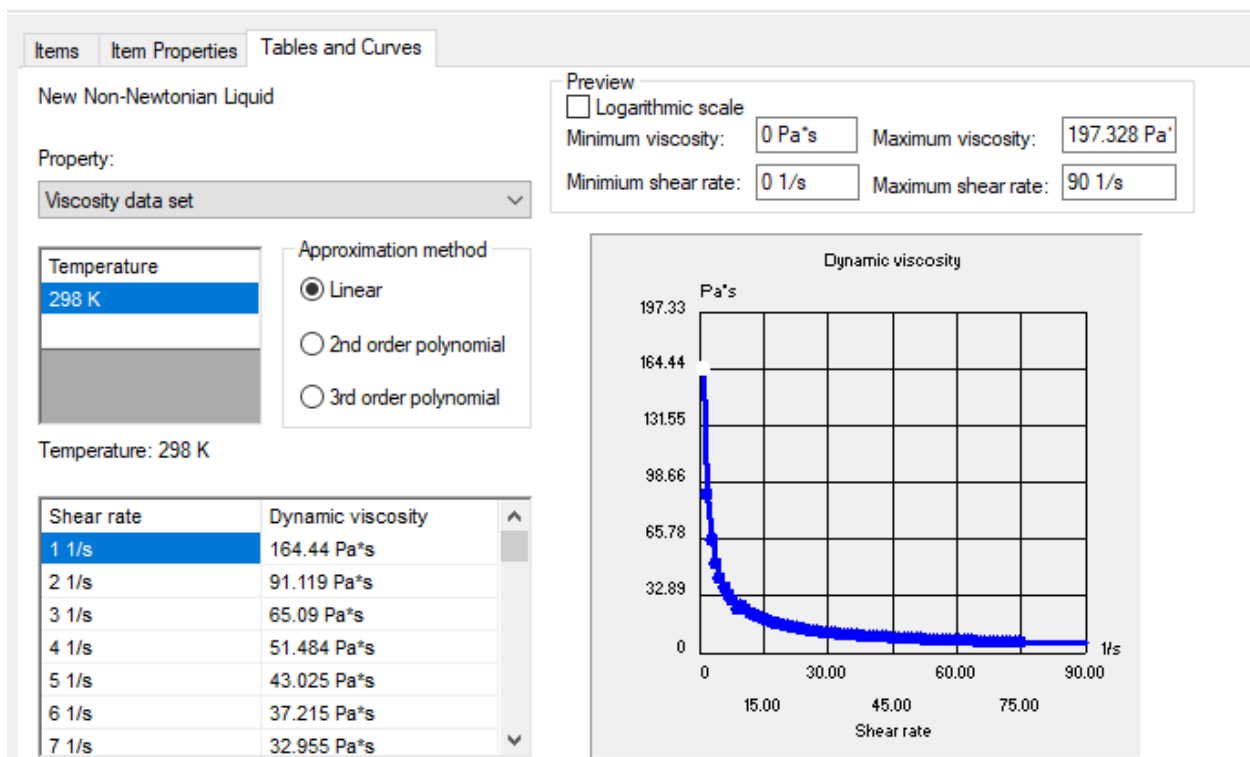


Nota. En la imagen se presentan los datos necesarios para hacer una simulación de comportamiento del gel en el proceso de producción. Tomado del Software *Solidworks-flow simulation*, por los autores.

Los datos obtenidos por el laboratorio de ingeniería química de la UIS, se exportaron al software solidWorks con el fin de validar la simulación al comportamiento real del gel conductor.

Figura 4

Grafica de viscosidad contra Tasa de corte exportada al software solidworks – Flow simulation



Nota. En la Imagen se muestra la correlación de datos reales con la simulación, esto para tener resultados reales del sistema, tomado de *solidworks – Flow simulation* por los autores.

La información restante, conductividad térmica y calor específico son datos teóricos en base a la ficha técnica y referencias del gel.

2.1.1 Conductividad térmica y calor específico

Los valores de conductividad térmica y calor específico están basados en datos y estudios teóricos, Elsevier Inc. on behalf of World Federation for Ultrasound in Medicine & Biology afirma que “(thermal conductivity: 0.57-0.6 W/m.K; specific heat capacity: 2.99-3.06 MJ/m³ .K)”(p. 6) en donde este estudio se hizo para caracterización de las propiedades acústicas, de cavitación y térmicas de los hidrogeles de poli(alcohol vinílico) para su uso como imitadores de tejido ecográfico terapéutico, el cual tiene valores y aplicaciones semejantes del gel conductor producido en Zumotec s.a.

El procedimiento de fabricación demuestra que su viscosidad varía respecto de su agitación y composición; esto da una hipótesis de comportamiento de sus variables físicas del gel y mecánicas del sistema, los que van a variar durante el proceso de fabricación.

La caracterización del gel conductor dio los pasos iniciales para el diseño del sistema de agitación, propiedades utilizadas en el software SOLIDWORKS, mediante el cual se acercó al comportamiento real del gel en proceso de producción.

3 Tipos de agitadores de flujo axial

3.1 Agitador de flujo axial

Los agitadores forman corrientes en sentido al eje. En estos sistemas de agitación los impulsores más comunes son las hélices marinas, de perfil alabeado y las turbinas de palas planas inclinadas.

3.1.1 Hélices marinas

Estos provocan turbulencia media, para no generar vórtices, deben posicionarse fuera del centro. Se usan para mezclar líquidos de baja viscosidad y en volúmenes pequeños (2 o 3 m³) en aplicaciones de homogenización, disolución, preparación de reactivos y neutralización.

Figura 5

Comportamientos fluidos con hélices marinas.



Nota. En esta figura observamos el comportamiento del fluido cuando lo agitamos con hélices marinas, Tomado de *AgitadoresFluidmix.com*.

3.1.2 Hélices de perfil alabeado axial

El perfil de alto rendimiento suministra un volumen considerable de bombeo a velocidades inferiores y con poco gasto de potencia. Son eficientes para volúmenes inferiores a 5 m³ y homogeneización de productos de viscosidad media.

Figura 6

Comportamientos fluidos con hélices de perfil alabeado axial



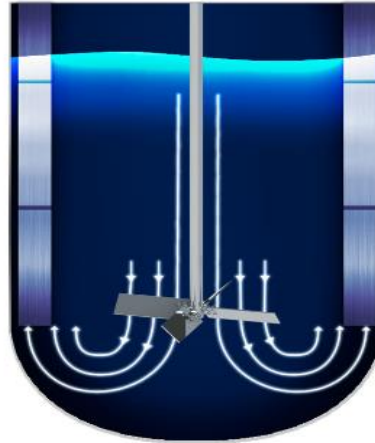
Nota. En esta figura observamos el comportamiento del fluido cuando lo agitamos con una hélice de perfil alabeado axial, Tomado de *AgitadoresFluidmix.com*.

3.1.3 Turbinas de palas planas inclinadas

Turbina compuesta de palas inclinadas. Su eficiencia es baja por la forma sencilla de las palas, sin embargo, se trata de un perfil inestable, económico y comúnmente usado en la industria. La dirección primordial del flujo es axial, se crean corrientes de flujo radial.

Figura 7

Comportamientos fluidos con hélices de palas planas inclinadas.



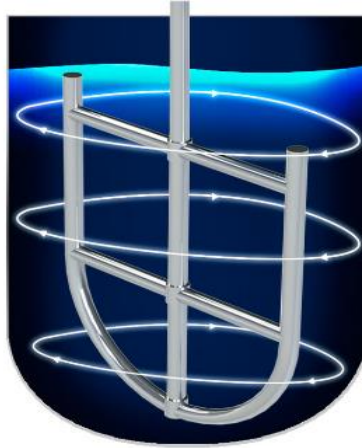
Nota. En esta figura observamos el comportamiento del fluido cuando lo agitamos con una hélice de palas planas inclinadas, Tomado de *AgitadoresFluidmix.com*.

3.1.4 Turbina radial tipo ancla

El ancla comprende de dos palas paralelas unidas por otra transversal en la parte baja según la configuración del fondo del tanque. La relación entre el diámetro de la turbina y el del tanque debe ser alto, siendo la separación de las palas con relación a la pared del tanque es reducido. Logrando así, evitar la adhesión del material a las paredes.

Figura 8

Comportamientos fluidos con hélices radial tipo ancla.



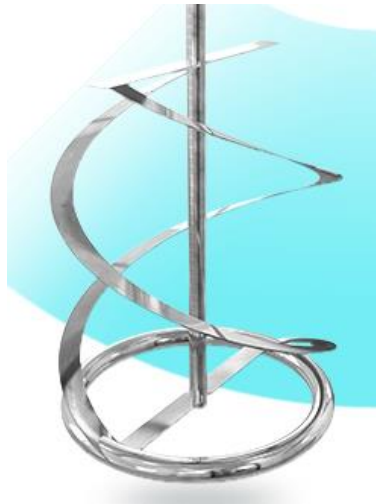
Nota. En esta figura observamos el comportamiento del fluido cuando lo agitamos con una hélice tipo ancla, Tomado de *AgitadoresFluidmix.com*.

3.1.5 Turbina de hélice doble

Las Hélices determinan un direccionamiento del líquido agitar el cual se mueve a través de las hélices hasta llegar al punto de ser desviadas al fondo o a las paredes del tanque, son utilizadas para aplicaciones de velocidades medias y bajas.

Figura 9

Agitador hélice doble.



Nota. En esta figura observamos el diseño del agitador, Tomado de *copyright la librería del ingeniero, Pagina web*

4 Caracterización tanque cilíndrico de 1000 litros

La empresa Zumotec s.a. proporciona el tanque cilíndrico de 1000 litros, teniendo registro fotográfico véase en el Anexo C, relacionándolo con una producción a nivel industrial, esto define el tamaño y tipo de hélice, teniendo referentes teóricos de diseño para este tipo.

4.1 Medidas del tanque.

La caracterización del tanque se hace mediante un promedio de tamaño, tomando medidas de altura para determinar el volumen del recipiente con diámetros estándar, al mismo tiempo se hace lo mismo haciendo el llenado del tanque y se calcula la altura mediante fórmula de volumen.

$$V = \pi r^2 h \quad (1)$$

$$h = V/\pi r^2 \quad (2)$$

Tabla 3

Medida tanque diámetro de 96 centímetros.

NIVEL[cm]	VOLUMEN [L] Ecu 1	VOLUMEN [L]	NIVEL [cm] Ecu 2
70	506,68	500	69,08
75	542,87	550	75,99
80	579,06	600	82,89
90	651,44	650	89,80
95	687,63	700	96,71
100	723,82	750	103,62
110	796,21	800	110,52
115	832,40	850	117,43
120	868,59	900	124,34
125	904,78	950	131,25
135	977,16	1000	138,16

Nota. Esta tabla muestra la capacidad del tanque dependiendo del nivel y el diámetro, utilizando fórmulas de geometría se obtuvieron cálculos aproximados de su volumen y con respecto a su volumen se obtuvo niveles de altura para asegurar un tanque cilíndrico.

Tabla 4

Medida tanque diámetro de 97 centímetros.

NIVEL [cm]	VOLUMEN [L] Ecu 1	VOLUMEN [L]	NIVEL [cm] Ecu 2
70	517,29	500	67,66
75	554,24	550	74,43
80	591,19	600	81,19
90	665,08	650	87,96
95	702,03	700	94,72
100	738,98	750	101,49
110	812,88	800	108,26
115	849,83	850	115,02
120	886,78	900	121,79
125	923,73	950	128,56
135	997,63	1000	135,32

Nota. Esta tabla muestra la capacidad del tanque dependiendo del nivel y el diámetro, utilizando fórmulas de geometría se obtuvieron cálculos aproximados de su volumen y con respecto a su volumen se obtuvo niveles de altura para asegurar un tanque cilíndrico.

Tabla 5

Medida tanque diámetro de 98 centímetros.

NIVEL [cm]	VOLUMEN [L] Ecu 1	VOLUMEN [L]	NIVEL [cm] Ecu 2
70	528,01	500	66,28
75	565,72	550	72,91
80	603,44	600	79,54
90	678,87	650	86,17
95	716,58	700	92,80
100	754,30	750	99,43
110	829,73	800	106,05
115	867,44	850	112,68
120	905,16	900	119,31
125	942,87	950	125,94
135	1018,30	1000	132,57

Nota. Esta tabla muestra la capacidad del tanque dependiendo del nivel y el diámetro, utilizando fórmulas de geometría se obtuvieron cálculos aproximados de su volumen y con respecto a su volumen se obtuvo niveles de altura para asegurar un tanque cilíndrico.

En la industria farmacéutica, y con base a la norma API650 los tanques cuentan un papel crucial en el almacenamiento, la mezcla y la producción. Los tanques aplicados a la industria farmacéutica deben cumplir con requisitos estrictos de calidad, seguridad y regulación debido a la materia prima y productos mezclados en la agitación. Hay algunas estimaciones para los tanques utilizados en la industria farmacéutica

4.1.1 Materiales

Los tanques deben estar contruidos con materiales de alta calidad que sean compatibles con los productos farmacéuticos, en este caso se utilizó un tanque de acero inoxidable el cual es resistente a la corrosión y no reacciona químicamente. El acero inoxidable es uno de los materiales más comunes debido a su durabilidad y capacidad para resistir la contaminación cruzada.

4.1.2 Diseño Sanitario y Acabado de Superficie

Los tanques deben tener un diseño higiénico que permita la limpieza y desinfección eficientes para prevenir la contaminación y asegurar la integridad del producto, contando con una válvula de salida en la parte inferior del tanque para su fácil manipulación del gel y limpieza del tanque; Las superficies internas de los tanques deben tener un acabado de alta calidad y pulido para evitar la acumulación de residuos y facilitar la limpieza.

4.1.3 Seguridad y Calidad

Los tanques deben cumplir con regulaciones estrictas de seguridad y calidad para garantizar que los productos farmacéuticos no se contaminen y que el almacenamiento sea seguro contando y aplicando normas como lo son ISO 13485, con la cual se garantiza las buenas prácticas de manufactura.

4.1.4 Etiquetado y Documentación

Los tanques deben estar etiquetados correctamente con información sobre el contenido, las fechas de producción y vencimiento, y otros detalles relevantes. La documentación completa de los procesos de fabricación y mezcla también es esencial para fines regulatorios.

4.1.5 Prevención de Contaminación Cruzada

La empresa Zumotec s.a implementó medidas para prevenir la contaminación cruzada entre diferentes productos farmacéuticos almacenados, en la cual cuentan con sistema de filtración de aire y manejo de EPP correctos para el proceso de producción del gel y prevención en el cuidado del personal encargado

4.1.6 Seguridad en el Manejo

Los tanques deben estar diseñados para la seguridad del personal que trabaja con ellos, incluyendo características como acceso seguro, escaleras y barandillas, teniendo en cuenta que el tanque tiene una altura de 120 cm, el tanque cuenta con una escalera para su acceso y prevenir actos inseguros en su utilización.

4.1.7 Cumplimiento Regulatorio

Los tanques utilizados en la industria farmacéutica deben cumplir con las normativas locales e internacionales, como las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y otras regulaciones específicas para productos farmacéuticos.

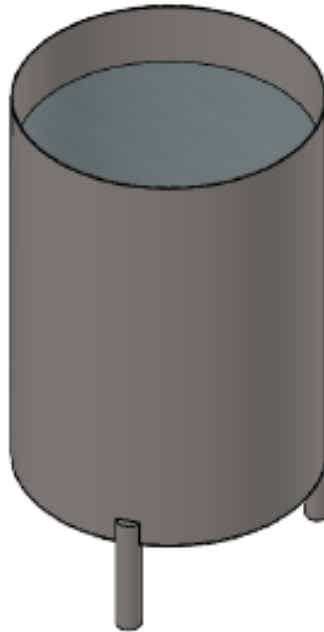
4.2 Definición medida para diseño del tanque en SolidWorks

Para entrar al diseño del tanque en SOLIDWORKS, se procedió con una toma de medidas para estandarizar y hacer un promedio de medida general.

Se seleccionó por promedio de diámetro una medida de 97 cm Tabla 4, el cual da una capacidad máxima de 998 litros con una altura de 134 cm, esta condición se da cuando el tanque esta sin el sistema de agitación incorporado, se resalta, que en el proceso de agitación el tanque no puede estar a su máxima capacidad, siendo un tanque vertical abierto.

Figura 10

Diseño del tanque en SolidWorks.



Nota. En esta figura se da el diseño del tanque, las dimensiones se muestran en el Anexo E, Tomado por los autores.

4.3 Definición altura máxima de llenado en el proceso de agitación.

En el proceso de agitación se controla el llenado máximo del tanque para no presentar derrames del producto, se definió una altura máxima antes del proceso de agitación, haciendo un llenado del 85% del tanque, para no tener derrame en la simulación.

5 Selección de dos tipos de hélices

Se analizó la aplicación de cada tipo de hélice y su aplicación en la industria, seleccionando los tipos más aptos en esta aplicación, iniciando con la modelación en SolidWorks con parámetros de diseño como lo son Operaciones unitarias II, H. Ameer, M. Bouzit, A. Ghenaim y Performance of Helical Ribbon and Screw Impellers for Mixing Viscous Fluids in Cylindrical Reactors.

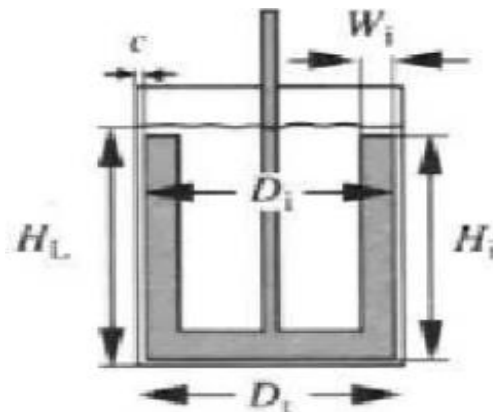
5.1 Hélice tipo ancla

El diseño consta de una paleta contorneada la cual se ajusta al diseño del recipiente, lo que da una apariencia de herradura o ancla, este tipo de hélice tiene la característica de trabajar en velocidades bajas cuando se necesita un nivel de turbulencia bajo; Este tipo de hélice es utilizado específicamente para fluidos altamente viscosos comportándose como fluidos no newtonianos.

5.1.1 Relación de dimensiones hélice tipo ancla

Figura 11

Relación de dimensiones tipo Ancla.



Nota. En esta figura se da el diseño básico del Agitador tipo Ancla, donde los autores se apoyaron para un diseño adecuado, Tomado de *Operaciones Unitarias II*, grupo N° 6, (Pag 1).

Tabla 6*Tabla de acotamientos agitador tipo ancla*

Agitador	Dt/Di	c/Di	Hi/Di	Wi/Di
Ancla	1,02	0,01	1	0,1

Nota. En esta tabla tenemos las dimensiones respecto al tanque de agitación, tomado de

Operaciones Unitarias II, grupo N° 6, (Pag 1).

Donde:

Dt: Diámetro del Recipiente o reactor

Di: Diámetro del Agitador Tipo Ancla

C: Distancia entre uno de los brazos y la pared del recipiente

Hi: Altura de uno de los brazos del Agitador Tipo Ancla

HL: Altura del Líquido agitado

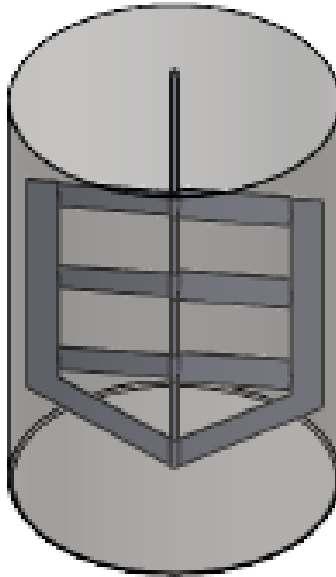
Wi: Ancho de uno de los brazos del Agitador Tipo Ancla

5.1.2 Modelo en SolidWorks

En base a las relaciones de medidas encontradas en literatura se diseñó en SolidWorks la hélice tipo ancla, en lo que se le hacen acomodaciones con base a las ya diseñadas y creadas en la empresa Zumotec s.a, véase en la Figura 12.

Figura 12

Diseño del agitador tipo ancla en SolidWorks



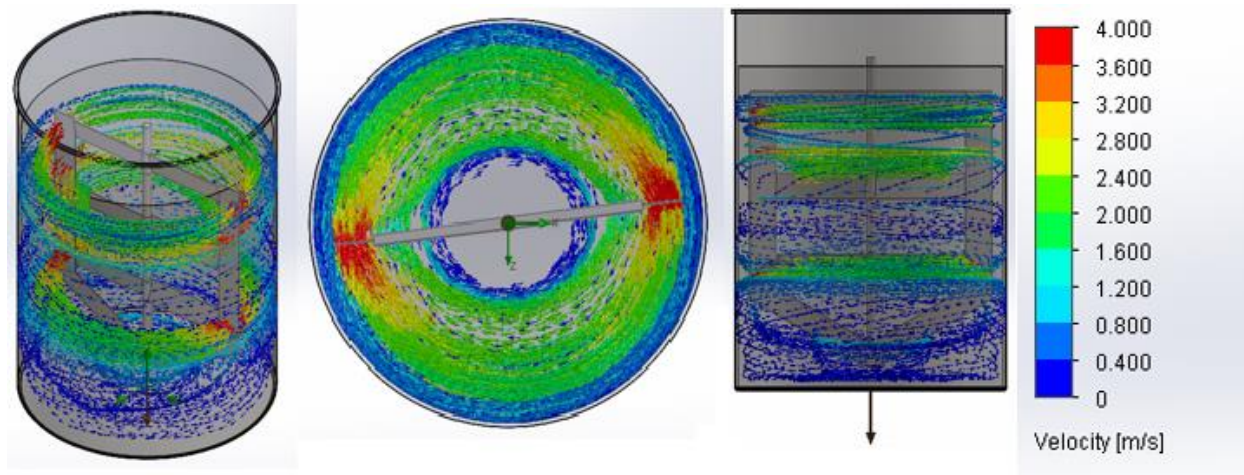
Nota. Se tomó este diseño acotando las dimensiones básicas según la referencia, las dimensiones se muestran en el Anexo E. Tomado de *SolidWorks*, Por los autores.

5.1.3 Simulación de gel Conductor en Solidworks complemento flow simulation.

Después de tener el diseño creado en el software, analizamos su comportamiento con un complemento flow simulation de análisis de fluidos en el cual evaluamos sus variables de torque, densidad y la viscosidad dinámica del fluido, donde se comparó y analizo el mejor diseño para esta aplicación.

Figura 13

Comportamiento del gel conductor en el SolidWorks con su complemento Flow Simulation



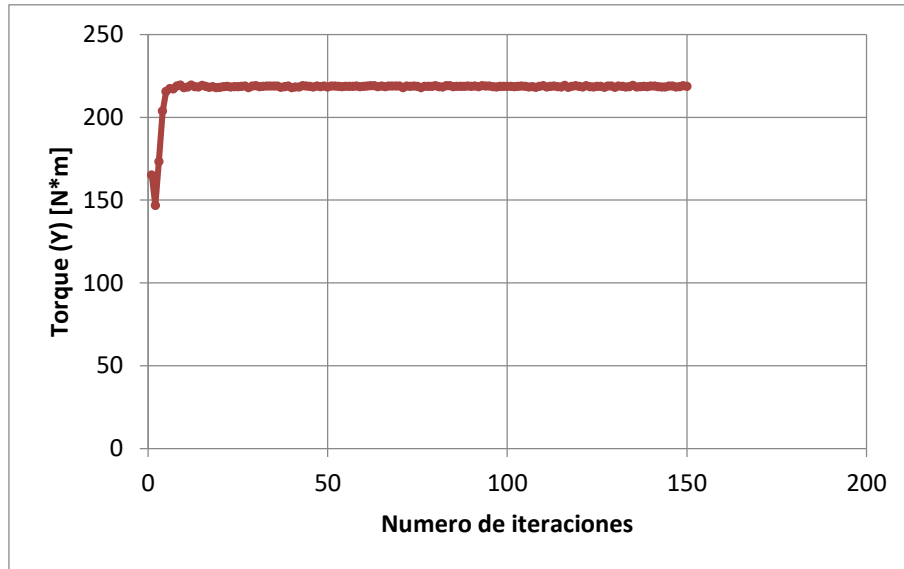
Nota. Con el complemento Flow Simulation se observa el comportamiento del gel conductor en su proceso de producción.

5.1.3.1 Comportamiento Torque.

En la gráfica Figura 14, se indicó una potencia aproximada del motor, teniendo en cuenta el rango de estabilización del torque en el proceso de agitación, con un torque promedio de 225 [N*m]

Figura 14

Comportamiento de torque del gel conductor en SolidWorks



Nota. En esta grafica se tiene el comportamiento de torque en todo el proceso, estando en el rango adecuado en aplicaciones semejantes, Tomado de *SolidWorks*, por el autor.

5.1.3.1.1 Potencia requerida aplicable al sistema.

En base a cálculos teóricos se obtuvo el valor de potencia en el eje Y, donde se re direcciona este valor a la potencia del motor, utilizando referencia el libro Diseño de máquinas Robert L.Norton, capitulo 6 ejes, cuñas y acoplamientos, haciendo énfasis en cálculo de potencia con agitadores tipo hélice.

$$Pot\ mot = \frac{w * T_m}{745,7} \quad (3)$$

Donde:

w: Velocidad Angular (100 rpm)

Tm: torque promedio (225 N*m)

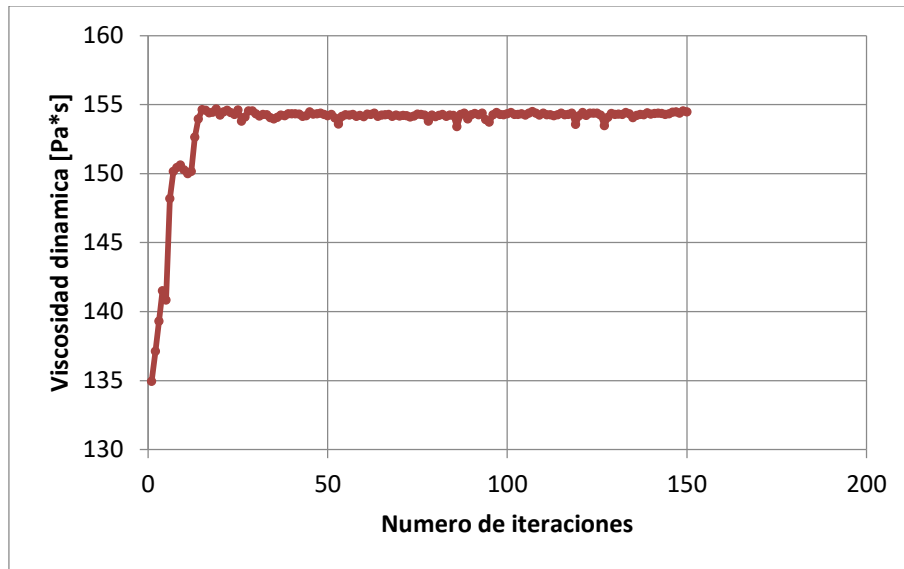
Según la ecuación 3, la potencia requerida para el motor es de 3,15 HP

5.1.3.2 Viscosidad dinámica.

Se observa en la Figura 15, el análisis de viscosidad dinámica siendo variable en el proceso de agitación, teniendo un comportamiento semejante en el proceso de producción de gel.

Figura 15

Comportamiento de viscosidad dinámica del gel conductor en SolidWorks



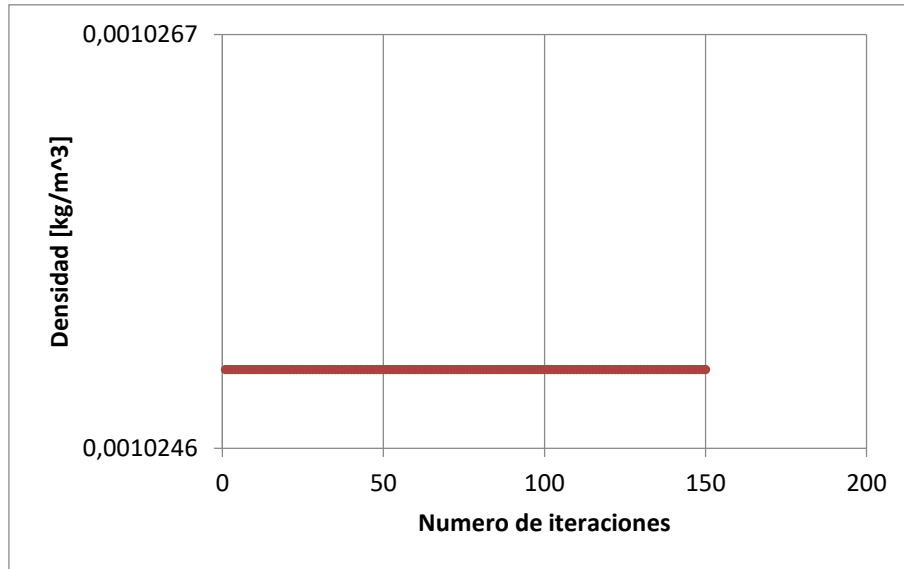
Nota. En esta grafica se tiene el comportamiento de viscosidad dinámica en todo el proceso, estando en el rango adecuado en aplicaciones semejantes, Tomado de *SolidWorks*, por el autor.

5.1.3.3 Comportamiento densidad.

Se observa en la Figura 16, el comportamiento de la densidad estable, teniendo presente en la simulación una mezcla homogénea en todo el proceso

Figura 16

Comportamiento densidad del gel conductor en SolidWorks



Nota. En esta grafica se tiene el comportamiento de la densidad en todo el proceso, estando en el rango adecuado en aplicaciones semejantes, las iteraciones son técnicas de aproximación en donde se supone una solución y se evalúan los errores presentes en la simulación. Tomado de *SolidWorks*, por el autor.

5.2 Agitador tipo Hélice doble

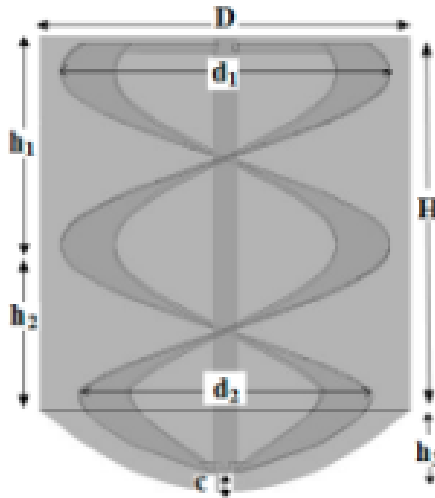
El diseño consta de dos hélices que dan forma de tornillo, este tipo de hélice tiene la característica de trabajar en velocidades bajas cuando se necesita un nivel de turbulencia bajo; Este tipo de hélice es utilizado específicamente para fluidos altamente viscosos comportándose como fluidos no newtonianos.

5.2.1 Relación de dimensiones hélice doble

5.2.1.1 Primera referencia de diseño para el agitador tipo hélice doble

Figura 17

Relación de dimensiones tipo hélice doble



Nota. En esta figura se da el diseño básico del Agitador tipo hélice doble, con el cual los autores se apoyaron para un diseño adecuado, Tomado de *Performance of Helical Ribbon and Screw Impellers for Mixing Viscous Fluids in Cylindrical Reactors.*

Tabla 7

Tabla de acotamientos agitador tipo hélice doble.

Tipo	H/D	d_1/D	d_2/D	h_1/D	h_2/D	h_3/D	c/D
N° 1	1	0,89	0,89	0,445	0,445	0	0,052
N° 2	1	0,4	0,89	0,445	0,445	0	0,052
N° 3	1	0,4	0,89	0,779	0,111	0	0,052
N° 4	1	0,89	0,89	0,445	0,445	0,222	0,052
N° 5	1	0,4	0,89	0,445	0,445	0,338	0,052

Nota. En esta tabla tenemos 5 variedades de dimensiones, teniendo en cuenta la base plana o curva del tanque, Tomado de *Performance of Helical Ribbon and Screw Impellers for Mixing Viscous Fluids in Cylindrical Reactors.*

Para la simulación se tuvo en cuenta la configuración del recipiente, donde tiene una base recta por lo cual se obtuvo el tipo de acotamiento número 1, complementando y ajustando el diseño con otras fuentes de información.

Donde:

D : Diámetro del Recipiente o reactor

d_1 : Diámetro superior del Agitador Tipo Hélice doble

d_2 : Diámetro inferior del Agitador Tipo Hélice doble

C : Distancia entre la parte inferior del agitador y la base del recipiente

h_1 : Altura de la mitad del Agitador Tipo Hélice doble

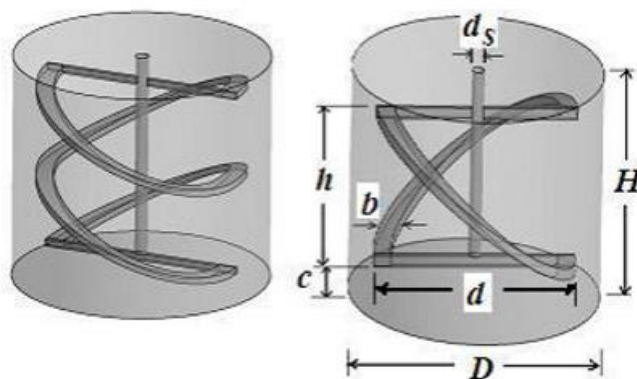
h_2 : Altura de la mitad del Agitador Tipo Hélice doble

h_3 : Altura de la base del recipiente

5.2.1.2 Segunda referencia de diseño para el agitador tipo hélice doble

Figura 18

Relación de dimensiones tipo hélice doble



Nota. En esta figura se da el diseño básico del Agitador tipo hélice doble, con el cual los autores se apoyaron para un diseño adecuado, Tomado de *H. Ameer, M. Bouzit, A. Ghenaïm* Capítulo 2, *Mixer configurations*, (pag. 89)

Donde se recomienda que; el ancho de la hoja presenta una relación de $0.1 \cdot D$, también que d_s/D : 0,05; y se recomendó cuatro configuraciones geométricas, las cuales fueron; h/D : 0.5; 0.62; 0.72; 0.9, con las cuales se hicieron ajustes al diseño final.

5.2.2 *Modelo en SolidWorks*

En base a las relaciones de medidas encontradas en literatura se diseñó en SolidWorks el agitador tipo hélice doble, donde se hacen ajustes acordes con el diseño teórico encontrado, el diseño se encuentran en el Figura 19.

Figura 19

Diseño del agitador tipo hélice doble en SolidWorks.



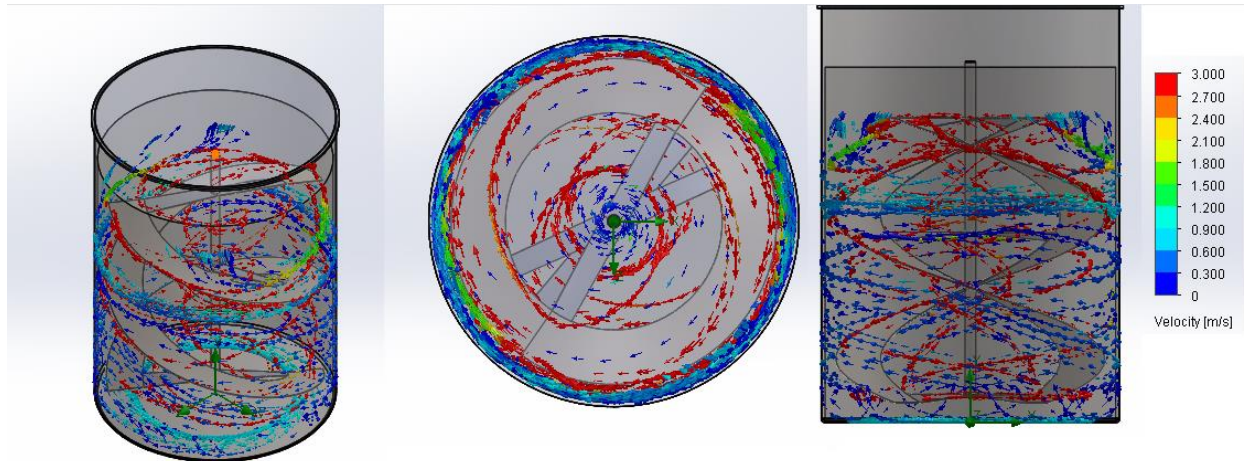
Nota. Se tomó este diseño acotando las dimensiones básicas y ajustadas a la literatura encontrada, las dimensiones se muestran en el Anexo E Tomado de *SolidWorks*, Por los autores.

5.2.3 Simulación de gel Conductor en Solidworks complemento flow simulation.

Después de realizar el diseño se analizó su comportamiento con un software de análisis de fluidos en el cual miraremos el comportamiento de torque, viscosidad dinámica y densidad del fluido, con el fin de poder comparar y analizar el mejor diseño para esta aplicación.

Figura 20

Comportamiento del gel conductor en el SolidWorks con su complemento Flow Simulation



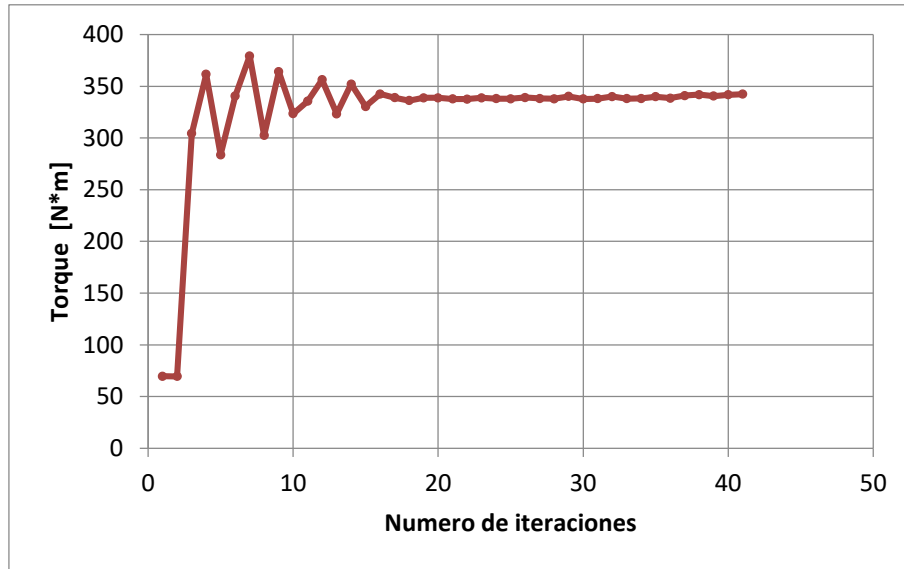
Nota. Con el complemento Flow Simulation se visualizó el comportamiento del gel conductor en su proceso de agitación. Tomado de *solidworks – Flow simulation* hecho por *los autores*.

5.2.3.1 Comportamiento Torque.

En la Figura 21, se indicó una potencia aproximada del motor, teniendo en cuenta el rango de estabilización del torque en el proceso de producción, con un torque promedio de 350 [N*m]

Figura 21

Comportamiento de torque del gel conductor en SolidWorks



Nota. En esta grafica se tiene el comportamiento de torque en todo el proceso, estando en el rango adecuado en aplicaciones semejantes, las iteraciones son técnicas de aproximación con las cuales se supone una solución y se evalúan los errores presentes en la simulación. Tomado de *SolidWorks*, por los autores.

5.2.3.1.1 Potencia requerida aplicable al sistema.

En base a cálculos teóricos se obtuvo el valor de potencia en el eje Y, donde se re direcciona este valor a la potencia del motor, utilizando referencia el libro Diseño de máquinas Robert L.Norton, capítulo 6 ejes, cuñas y acoplamientos, haciendo énfasis en cálculo de potencia con agitadores tipo hélice.

$$Pot\ requereida = \frac{w * T_m}{745,7} \quad (4)$$

Donde:

w: Velocidad Angular (100 rpm)

Tm: torque promedio (350 N*m)

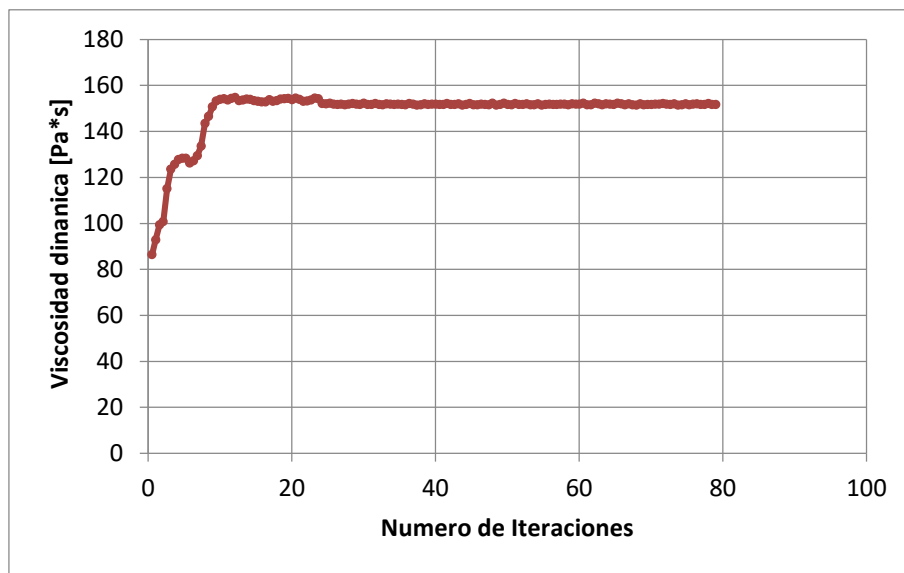
Según la ecuación 4, la potencia requerida para el motor es de 4,91 HP

5.2.3.2 Comportamiento viscosidad dinámica.

Se observa en la Figura 22, el análisis de viscosidad dinámica siendo variable en el proceso de agitación, teniendo un comportamiento semejante en el proceso de producción de gel.

Figura 22

Comportamiento de viscosidad dinámica del gel conductor en SolidWorks



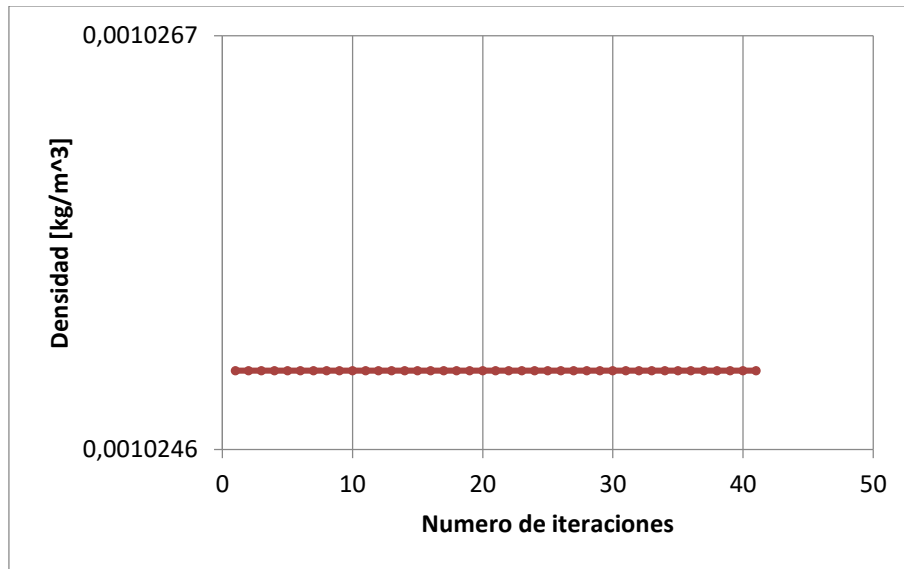
Nota. En esta grafica se tiene el comportamiento de viscosidad dinámica en todo el proceso, estando en el rango adecuado en aplicaciones semejantes, las iteraciones son técnicas de aproximación donde se supone una solución y se evalúan los errores presentes en la simulación. Tomado de *SolidWorks*, por el autor.

5.2.3.3 Comportamiento densidad.

Se observó en la Figura 23, el comportamiento de la densidad estable, teniendo presente en la simulación una mezcla homogénea en todo el proceso

Figura 23

Comportamiento de viscosidad dinámica del gel conductor en SolidWorks



Nota. En esta grafica se tiene el comportamiento de la densidad estable en todo el proceso por no tener cambios significativos en la temperatura, estando en el rango adecuado en aplicaciones semejantes, las iteraciones son técnicas de aproximación donde se supone una solución y se evalúan los errores presentes en la simulación. Tomado de *SolidWorks*, por el autor.

La norma ISO 13485 refiere a la gestión de calidad, haciendo controles en el entorno de trabajo para garantizar la seguridad del producto, requerimiento específico para la validación de procesos a dispositivos médicos y requerimientos para la limpieza de los sistemas utilizados, se diseñó un sistema acoplado a planes estratégicos para la limpieza adecuada del sistema de agitación, se cuenta en la empresa con un entorno de aire tratado que cumple con los requerimientos para la producción del gel, y se valida el proceso para la producción utilizando elementos en el sistema de agitación acordes para aplicar las buenas prácticas de manufactura.

6 Matriz de decisión

Para seleccionar el agitador adecuado se planteó una matriz de decisión donde se comparó el consumo energético, fabricación, comportamiento del gel conductor y estabilidad de viscosidad, esto se definió mediante el peso de criterio y lo viable que puede ser el mismo.

Tabla 8

Matriz de decisión.

Criterio	Peso de criterio	Agitador tipo ancla		Agitador tipo hélice doble	
		Valor	Punto	Valor	Punto
Consumo energético	4	3	12	2	8
Exigencia fabricación	3	2	6	1	3
Comportamiento uniforme del gel conductor	2	2	4	3	6
Estabilización de viscosidad dinámica	1	3	3	2	2
			total	total	
			25	19	

Nota. Se clasifica valores de 1 al 3; 1 no viable, 2 medio práctico, 3 viable

El diseño tipo Ancla fue seleccionado según los valores de criterios, siendo el más efectivo entre los dos para la agitación de gel conductor para un tamaño industrial de un tanque de 1000 litros.

7 Unidad de potencia

Al especificar el motor que se va utilizar en el diseño de potencia nos basamos en el capítulo de comportamiento de torque en el agitador tipo ancla, con el cual obtuvimos el valor de torque y potencia necesaria para el completo funcionamiento del sistema.

7.1 Selección unidad de potencia

Con el cálculo de potencia aplicada al sistema de agitación de hélice tipo ancla, tenemos un valor de 3,9 HP con un valor en vatios de 2349 W en el cual se deben tener en cuenta los factores de servicio del motor, con el fin de seleccionar en moto adecuado para el sistema.

Se especifica que se utilizara un motorreductor el cual nos va a disminuir la velocidad de 1800 rpm a 100 rpm, por lo cual la potencia de salida de la caja reductora se aumenta.

$$Par_{entrada-reductor} = Par_{salida-reductor} * \left(\frac{velocidad\ del\ sistema}{velocidad\ del\ motor} \right) \quad (5)$$

Donde:

$Par_{salida-reductor}$: 225 N*m

$velocidad\ del\ sistema$: 100 rpm

$velocidad\ del\ motor$: 1800 rpm

Teniendo un par generado por el motor de 12,5 N*m

La potencia no varía en la caja de reducción, lo que se tendrá en cuenta para la selección del motor.

7.1.1 Potencia del motor

Para calcular la potencia que tendrá el motor primero se definió la potencia requerida por el sistema, se tuvo en cuenta una eficiencia del motor del 80% a un trabajo máximo continuo con un factor de servicio de 1,25

$$Pot_{entrada} = \frac{Pot_{salida}}{eficiencia} \times 100 \quad (6)$$

Donde:

$Pot_{entrada}$: Potencia eléctrica de entrada al motor

Pot_{salida} : Potencia de salida requerida de 2349 vatios

Se calculó la potencia de entrada en voltios la cual nos dio en 2936 vatios, aproximado a 4 HP

El cálculo de potencia nos dio la entrada al catálogo de motores WEG en el que se escogió la referencia de 5HP trifásico a 1800 rpm con un tensión de 230 voltios y una corriente nominal de 13 A, con una eficiencia al 0.8 a un trabajo máximo, con un grado de protección IP55 con una buena protección de agua y polvo, teniendo la ficha técnica en el Anexo D.

Figura 24

Motor WEG y características técnicas



Norma	NEMA MG-1	Potencia	5 HP
Frecuencia	60//50 Hz	Fijación	Con pies
Tensión	230/460//380 V	Brida	Sin
Numero de polos	4	Forma constructiva	F-2
Grado de protección	IP55	Caja de conexión ¹	Posición derecha
Rotación sincrónica	1800 rpm	Refrigeración	IC411 - TEFC

Nota. En la figura se especifican las características técnicas del motor WEG, tomado de

Página web principal de WEG.

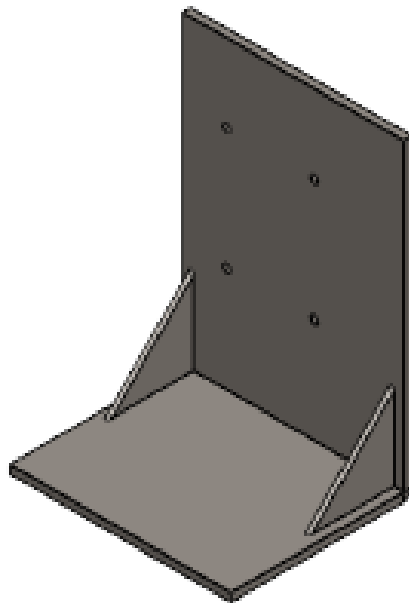
Es necesario adaptar una platina para la sujeción del motor, y los diferentes acoples del eje con el motorreductor, definiendo un buen funcionamiento y una transmisión de potencia correcta.

7.2 Sujeción de motor

Se diseña una platina, para la sujeción del motor la cual se hace en SolidWorks con el fin de determinar medidas básicas para su fabricación, ver Figura 25.

Figura 25

medidas de sujeción del motor en SolidWorks



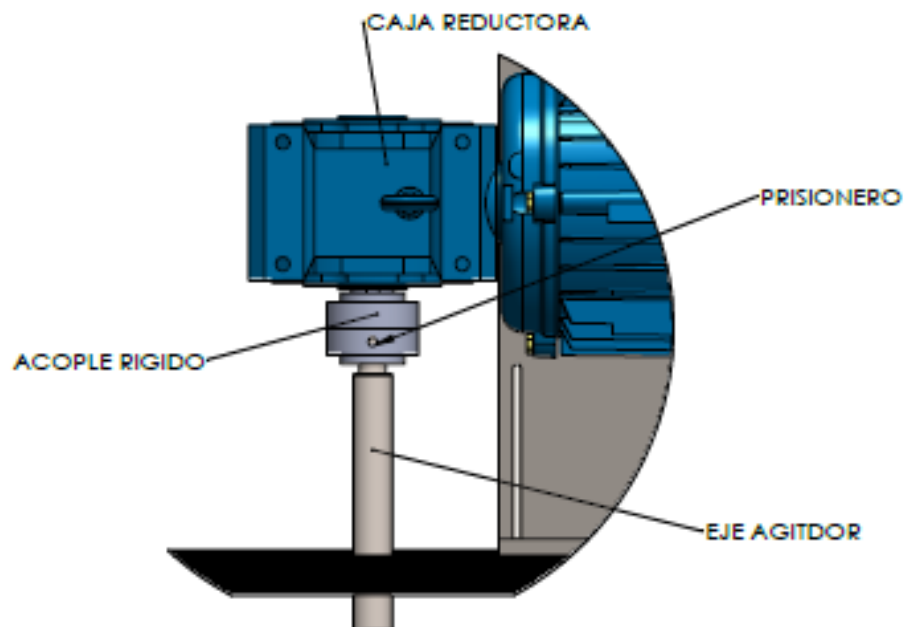
Nota. En la figura se especifican medidas de la sujeción del motor, las dimensiones se muestran en el Anexo E Tomado de *SolidWorks* Hecho por el *Autor*.

7.3 Acople eje

El acoplamiento del eje con el motorreductor se define con ajustes bridados con prisioneros y cuña, donde garantizan el funcionamiento adecuado en el sistema de agitación, ver Figura 26.

Figura 26

Acoplamiento eje con motorreductor bridado en SolidWorks



Nota. En la figura se especifica el acople bridado que se utilizara en el sistema de agitación, tomado de *SolidWorks* por el Autor.

7.4 Teorema de falla por fatiga al eje

Se hace el cálculo estático del diámetro del eje en milímetros en base a referentes teóricos con la ecuación 6.6B basado en el libro de Norton capítulo diseño de ejes y cuñas, donde se enfoca en cargas distribuidas en un eje, se tuvo en cuenta un factor de seguridad de 2, siendo el mínimo para definir un diámetro inicial en el diseño

$$diam\ eje = \left(\frac{16 * \sqrt{3}}{\pi} * nf * \frac{tm}{sy} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (7)$$

Donde:

nf: factor de seguridad de 2

tm: torque medio de 292,5 [N*m]

sy: esfuerzo a la tracción AISI 316L de 485 Mega pascales [Mpa]

Para un diámetro de eje de 21 milímetros, se ajusta a una medida comercial de barra maciza de 1 in.

Al tener cargas de torsión y flexión, en un proceso dinámico el cálculo del diámetro del eje se ajusta a una teoría de falla por fatiga.

Mediante el teorema de falla por fatiga expuesto por el libro de *Diseño de ingeniería mecánica de Shigley, 9na edición*, para determinar el diámetro del eje primero se definió el factor de seguridad en el proceso de agitación, donde se define mediante varios factores que relacionan

el proceso de agitación, el valor del S_{ut} corresponde al valor de esfuerzo ultimo del material siendo un valor de 485 [Mpa] para un acero inoxidable AISI 316L.

Se obtuvo un valor de resistencia a la fatiga corregido para el sistema de agitación.

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_f \cdot S_{e'} \quad (8)$$

Donde:

K_a : Factor de superficie

K_b : Factor de tamaño

K_c : Factor de carga

K_d : Factor de temperatura

K_e : Factor de confiabilidad

K_f : Factor de efectos varios

$S_{e'}$: $0.5 S_{ut}$ donde el valor es de 243 [Mpa]

Se define el factor de superficie del material K_a mediante el acabado de la superficie, se toma como referencia el libro de *Diseño de ingeniería mecánica de Shigley, 9na edicion*, capitulo 6, fallas por fatiga, arrojando un factor de superficie de 0,88

$$K_a = aS_{ut}^b \quad (9)$$

Figura 27*Acabado superficial*

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{utr} kpsi	S_{utr} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Nota. En la figura se define que el acabado superficial es un laminado en frío por la forma de fabricación del eje. Tomado de *libro de Diseño de ingeniería mecánica de Shigley*.

El factor de tamaño del diámetro K_b se definió mediante la ecuación 10, especificando que la carga es aplicada en flexión y torsión, donde se define un diámetro superior a 2 in e inferior a 10 in, donde el factor de tamaño nos dio un valor de 0,76

$$K_b = 0,91 d^{-0,107} \quad 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \quad (10)$$

El factor de carga se especificó en la figura 28, donde se tiene en cuenta las cargas aplicadas en el sistema, siendo cargas de flexión y torsión, definiendo un valor de 0,59.

Figura 28*factor de carga*

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases}$$

Nota. En la figura se muestran los valores respecto a las cargas aplicadas en el sistema para el factor de carga. Tomado de *Diseño de ingeniería mecánica de Shigley, 9na edición*.

La confiabilidad se estableció de un 95% obteniendo el valor del factor de confiabilidad 0,897, según la gráfica 29

Figura 29

factor de confiabilidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_α	Factor de confiabilidad k_c
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Nota. Se muestra en la imagen el valor correspondiente a la confiabilidad definida con anterioridad.

Tomado de *Diseño de ingeniería mecánica de Shigley, 9na edición*.

El factor de efectos varios K_f se determinó principalmente en el cambio de diámetro del eje, donde se definió una sección crítica con presencia de acumuladores de esfuerzo, al presentarse una carga de torsión donde se obtuvo un valor de 0,88 determinando que el valor se definió en la división del esfuerzo máximo de la pieza con muesca sobre el esfuerzo de la pieza sin muesca.

El valor de resistencia con factores de carga, de la ecuación 8 nos da un valor de 74,54 [Mpa].

Se determinó el valor de esfuerzo máximo σ_{max} y esfuerzo mínimo σ_{min} en el eje, para determinar el esfuerzo medio σ_m calculado en la ecuación 11 y esfuerzo alternante σ_a calculado en la ecuación 12.

El par torsión máximo generado por el motor y entregado a la salida del motor-reductor es de 360 N*m, y valor del par torsión mínimo obtenido de la simulación del eje con un valor de 225 N*m, donde se calculó el esfuerzo máximo σ_{max} dando un valor de 13,99 [Mpa] y un esfuerzo mínimo σ_{min} de 8,74 [Mpa]

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (11)$$

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right| \quad (12)$$

Donde el σ_m tiene un valor de 11.36 [Mpa]

Donde el σ_a tiene un valor de 2,6 [Mpa]

Se definió el factor de seguridad por fatiga según Goodman, mediante la ecuación 13 tomado del libro Diseño de ingeniería mecánica de Shigley, 9na edición.

$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}} \quad (13)$$

Donde:

S_{ut} : Esfuerzo ultimo a la tracción

σ_m : Esfuerzo medio

σ_a : Esfuerzo alternante

S_e : Resistencia a la fatiga

El factor de seguridad es de 16,99 para esta aplicación.

La dimensión del eje se calcula mediante la ecuación 14 la cual define el diámetro teórico del eje, esto llevo un proceso de iteración para relacionar el teorema de falla por fatiga y ajustar los factores de corrección.

$$diam\ eje = \left(\frac{16 * \sqrt{3}}{\pi} * nf * \frac{tm}{sy} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (14)$$

Donde:

nf: factor de seguridad de 16,9

tm: torque medio de 292,5 [N*m]

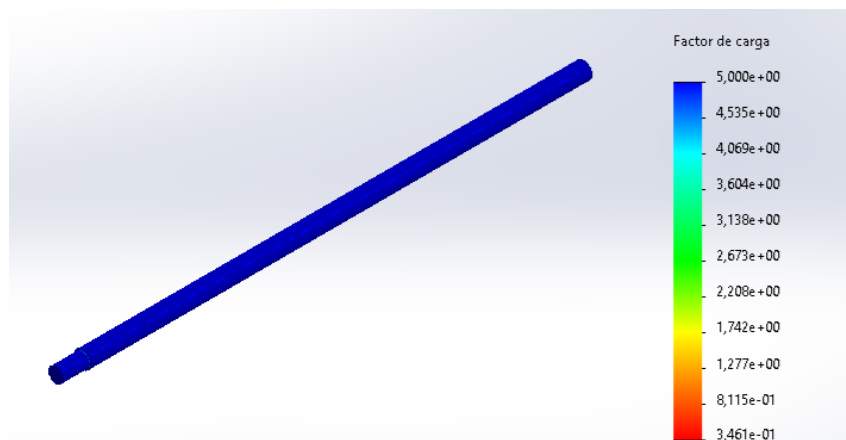
sy: esfuerzo a la tracción AISI 316L de 485 [Mpa]

Para un diámetro de eje de 45,87 milímetros, se ajusta a una medida comercial de barra maciza de 2 in

Según el software SolidWorks se hace el análisis del eje con el diámetro de 2 pulgadas para fatiga el cual nos da un resultado de vida infinita en el proceso, lo que soporta los cálculos teóricos.

Figura 30

Diseño de fatiga en solidworks



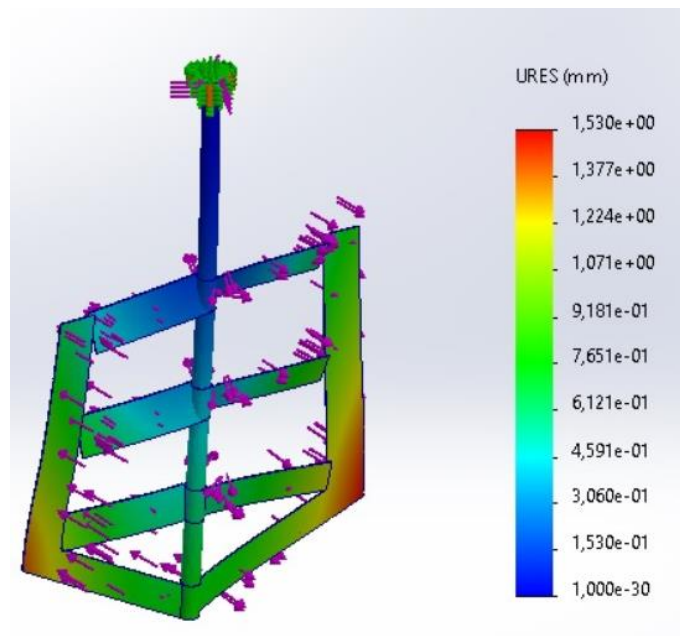
Nota. En la figura se comprueba la vida infinita del eje de agitador, la escala de color inferior a 1 indica fallo. Tomado de *Solidworks por los Autores*.

7.4.1 Simulación deflexión del agitador

Con el software SolidWorks se relazo una distribución de cargas estáticas para determinar el máximo desplazamiento del agitador con respecto a su eje vertical para determinar su desplazamiento dentro del tanque, la simulación mostro un desplazamiento de 2 milímetros.

Figura 31

Deflexión agitador tipo ancla



Nota. En la figura se ve la deflexión estática en el agitador. Tomado de *SolidWorks por los Autores*.

8 Costo de fabricación.

Después de seleccionar el tipo de agitador, calcular la potencia consumida en el proceso, el diámetro del eje del agitador, especificar los accesorios necesarios para la transmisión de potencia, se inició con un mapeo general de la mano de obra, consumo de energía y depreciación con el tiempo que va tener este sistema de agitación.

En este proceso de verificación y cotización de la fabricación del sistema de agitación se tuvo en cuenta conceptos específicos como lo son costos directos, costos indirectos, gastos generales y precio final.

8.1 Costos directos

Mediante búsqueda de información y validación con personal de conocimiento de fabricación se llegó a los siguientes costos.

Tabla 9

Costos directos de materiales

Descripción	Unidad de medida	Cantidad	valor unitario	IVA	Total
Acero inoxidable AISI 316L	Kilogramo [Kg]	20	\$420.168	\$79.831	\$500.000
Acople bridado	unidad	1	\$151.260	\$28.739	\$180.000
Motorreductor a 100 rpm	unidad	1	\$2.941.176	\$558.823	\$3.500.000
motor 5HP WEG	unidad	1	\$3.193.277	\$606.722	\$3.800.000
				Subtotal	\$6.705.882
				IVA	\$ 1.274.117
				Total	\$7.980.000

Notas. En la tabla podemos ver costos totales de materiales presentes en todo el proceso de fabricación. Hecho por el *Autor*.

Tabla 10*Costos directos de mano de obra*

Descripción	Unidad de medida	Cantidad	valor unitario	IVA	Total
Fabricación de agitador	Tiempo en horas [h]	56	\$12.500	\$2.000	\$700.000
Acoplamiento de las partes	Tiempo en horas [h]	8	\$12.500	\$2.000	\$100.000
Montaje del sistema de agitación	Tiempo en horas [h]	16	\$12.500	\$2.000	\$200.000
Estudio de diseño	Tiempo en horas [h]	240	\$25.000	\$4.000	\$6.000.000
<u>Subtotal</u>					\$5.882.352
<u>IVA</u>					\$1.117.647
<u>Total</u>					\$7.000000

Notas. En la tabla se especifica la mano de obra aplicada a todo el proceso de diseño y fabricación del sistema de agitación. Hecho por el *Autor*.

Tabla 11*Costos directos de subcontratación*

Descripción	Unidad de medida	Cantidad	valor unitario	IVA	Total
Análisis de Ingeniería Química	Estudio	1	\$128.571	\$24.428	\$153.000
Muestra gel conductor 250 ml	Frasco	1	\$5.882	\$1.117	\$7.000
Transporte	Pasaje	40	\$5.000	\$800	\$200.000
Internet	Mensual	3	\$84.033	\$15.966	\$300.000
Paquete SolidWorks	Año	1	\$1.697.478	322521	\$2.020.000
Paquete Microsoft Office	Año	1	\$184.873	\$35.126	\$220.000
<u>Subtotal</u>					\$2.436.974

IVA	\$ 463.025
Total	\$2.900.000

Notas. En la tabla se especifica las subcontrataciones que se presentan en todo el diseño y fabricación del sistema de agitación. Hecho por el *Autor*.

8.2 Costos indirectos

En los costos indirectos se tiene en cuenta los costos generales de operación, alquiler de instalaciones, suministros de papelería, lo cual sigue involucrando el costo final del proyecto.

Tabla 12

Costos indirectos de fabricación

Descripción	Unidad de medida	Cantidad	valor unitario	IVA	Total
Frenado/reanudación de operación	Tiempo en horas [h]	2	\$100.000	\$19.000	\$200.000
Instalaciones de fabricación	Tiempo en horas [h]	2	\$25.000	\$4,750	\$50.000
Papelería		1	\$300.000	\$ 57.000	\$300.000
				Subtotal	\$462.184
				IVA	\$87.815
				Total	\$550.000

Notas. En la tabla se especifica los costos indirectos que se presentan en todo el diseño y fabricación del sistema de agitación. Hecho por el *Autor*.

Por último se calcula el valor total de la maquina sumando los totales de los costos directos e indirectos, teniendo en cuenta el procedimiento de diseño y la fabricación del sistema, sumando un 10% de imprevistos en todo el proyecto dando un valor de \$20.273.000. COP al año 2023, el cual será valorado por la empresa Zumotec s.a para su posible estudio de viabilidad y fabricación.

8.3 Consumo de energía

En el cálculo del consumo de energía se tuvieron en cuenta factores como la potencia nominal del motor, duración del funcionamiento del sistema de agitación y el porcentaje de eficiencia que se induce al motor.

8.3.1 Determinación de la potencia nominal del motor

Siendo un motor WEG de 5 HP, en la ficha técnica indica una potencia nominal de 2990 Vatios, verificado en el Anexo D.

8.3.2 Tiempo de funcionamiento del sistema de agitación

El tiempo de funcionamiento se definió mediante indagaciones hechas por procesos técnicos de fabricación propios de la empresa, proporcionados por el director técnico, los cuales indican que para un procedimiento de agitación de un tanque de 500 litros se estima un tiempo de 2 horas diarias por día, esto nos da un índice de tiempo de agitación aproximado de 3 horas con un porcentaje de eficiencia del 100%.

8.3.3 Valor del kilovatio hora en la empresa

En Bucaramanga el consumo de energía varía por la estratificación, lo cual el valor del kilovatio/hora en esta zona es de un valor aproximado de \$575/Kwh

El consumo de energía producido por el sistema de agitación se calcula de la siguiente manera.

$$\text{Consumo de energía} = \text{Potencia nominal} \times \text{tiempo} \quad (15)$$

Donde:

Potencia nominal: 2990 vatios

Tiempo: 3 horas

El consumo de energía del sistema de agitación es de 8,97Kwh

De manera que el precio de funcionamiento del sistema de agitación en todo el proceso es de aproximadamente \$5.200 COP

8.4 Depreciación anual

Para el cálculo de la depreciación del sistema de agitación nos basamos en el método de línea recta, en el cual distribuye uniformemente el costo de la maquina durante su vida útil, con la siguiente ecuación.

$$\text{Depreciacion anual} = (Cm - Vr)/Vu \quad (16)$$

Donde:

Cm: Costo original de la maquina \$20.273.000 COP

Vr: Valor de rescate el cual indica el valor final estimado al final de su vida útil el cual es de \$8.000.000 COP

Vu: Vida útil de 10 años

El cual nos da una depreciación anual de \$1.227.300/Año.

Conclusiones

Esta pasantía empresarial permitió la visualización de crecimiento en la empresa, aportando conocimiento de ingeniería en todo el desarrollo, iniciando con una investigación y caracterización de las propiedades fisicoquímicas del gel conductor, analizando su comportamiento en todo el proceso de producción del gel y aportando un estudio de resistencia en el eje móvil que trasmite la potencia al sistema.

Los resultados en el proceso de diseño con un software CFD en cual se utilizó SolidWorks con su complemento flow simulation, nos arrojó un comportamiento esperado y controlado, lo cual nos ayudó con la definición más clara de un agitador tipo ancla para ser el más adecuado en un proceso a escala industrial.

El desarrollo de este proyecto nos permitió demostrar la aplicabilidad del conocimiento de comportamiento de fluidos, mecánica de máquinas y resistencia de materiales con donde se diseñó un proceso industrial basado en una necesidad de la empresa Zumo tecnología Zumotec s.a.

Se concluye que con base a la investigación teórica se definió la selección adecuada del conjunto motriz para asegurar la estabilidad y durabilidad del acoplamiento eje-moto y del eje móvil, para su correcto funcionamiento del sistema, asegurando la uniformidad y fiabilidad del producto.

Mediante todo el proceso de diseño fue posible realizar un estudio del valor del proyecto, orientando a un crecimiento industrial, con una evaluación detallada de los costos de fabricación del sistema donde proporciona una visión clara de los recursos necesarios para su implementación. Esto permitirá a la empresa Zumotec s.a. tomar decisiones estratégicas sobre la viabilidad financiera del proyecto.

Recomendaciones

Se recomienda un tanque con base cóncava, para cumplir con requerimiento de diseño de tanques, procedimientos y aseguramientos, mejorara la resistencia a la fluencia en la parte inferior y disminuye el consumo de potencia en el sistema.

Se puede cambiar el acople bridado fijo a diferentes tipos de sujeciones con el fin de hacer un desmontaje del sistema más sencillo para los operarios.

Dentro del alcance de este proyecto, se recomienda la incorporación de un variador de frecuencia (VFD) como componente esencial para mejorar la eficiencia y el control del sistema. El VFD permitirá ajustar la velocidad y la frecuencia de funcionamiento de los motores eléctricos, lo que contribuirá significativamente a la optimización del proceso y a la reducción del consumo de energía.

Referencias Bibliográficas

Autmix. (2022). ¿Qué es un agitador industrial? Identifica los componentes. Obtenido de Autmix Industrial Group: Obtenido de <https://autmix.com/blog/que-es-agitador-industrial>

Bujaico, H. O. (octubre de 2013). Estudio del flujo de un tanque agitador vertical de impulsor PTB con superficie libre. Obtenido de Pontificia Universidad catolica del Perú: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle>

El acero inoxidable y la industria farmaceutica. (2023). Obtenido de Venmir, Obtenido de: <https://venmir.com/el-acero-inoxidable-y-la-industria-farmaceutica/>

FluidMix. (2022). Agitadores Industriales. Obtenido de FluidMix Effective Mixing: <https://www.agitadoresfluidmix.com/agitadores-industriales/> Ingelyt. (2023).

Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 9na Edición teoría falla por fatiga.

Tipos de aceros en la industria farmaceutica. Obtenido de INGELYT Ingenieria e Instalaciones: <https://ingelyt.com/blog/tipos-acero-en-la-industriafarmaceutica-pulidos-y-acabados/>

Maupe. (2022). Características del acero inoxidable. Obtenido de Maupe tecnologia LED: <https://www.maupe.com/Empresa/caracteristicas-del-acero-inoxidable/>

Ministerio de salud. (6 de agosto de 1998). Resolución número 3131 de 1998. Obtenido de Ministerio De Salud: <https://www.minsalud.gov.co/sites>.

ISO 13485 (2016). Norma de gestión de calidad, Obtenido de: <https://www.nqa.com/>

Timsa. (2022). Agitadores Industriales. Obtenido de Timsa técnica e ingeniería de mezclas: <https://www.timsa.com/agitadores-industriales/>

Zumo tecnología zumotec s.a. (2022). Certificaciones. Obtenido de Zumotec s.a: <https://zumotec.com/desinfectantes-certificados-certificaciones/>

Apéndices

Anexo A Ficha técnica gel conductor.

GEL CONDUCTOR

Cód. DPF-061 – V. 1.0 – 2019/09/06

Gel Conductor - Visoft es un producto formulado especialmente para uso médico como transductor ultrasónico o transductor de corriente eléctrica. Este actúa como conductor de ondas o electricidad sobre la piel para usarse con equipos médicos. Puede utilizarse en técnicas de diagnóstico, terapias, electro estimulación, gimnasia pasiva y/o rehabilitación al igual que en equipos tales como ecógrafos, IPL, laser, ultrasonido, ultra cavitación, radiofrecuencia, etc.

El compuesto es completamente acuoso, hipo-alérgico, no mancha la ropa, no deteriora los electrodos de los dispositivos médicos y no irrita la piel. Posee excelente lubricación y viscosidad, se extiende fácilmente y sin secarse durante el tiempo promedio del proceso. No contiene sales o parabenos. No testado en animales.

COMPOSICIÓN

Este producto está compuesto por:

- Espesantes
- Emolientes
- Excipientes

PRESENTACIONES

250 mL, 500 mL, 1.000 mL, 3.800 mL y 19.000 mL. Utilizando envases plásticos o colapsibles con tapa y tapón o tapa disc top, respectivamente.

REGISTRO SANITARIO

2019DM-0020164

Al igual que en equipos tales como ecógrafos, IPL, laser, ultrasonido, ultracavitación, radiofrecuencia, etc.

VIDA ÚTIL:

La vida útil de este producto es de 36 meses (según análisis de Estabilidad) conservándose tapado, en lugar fresco y seco

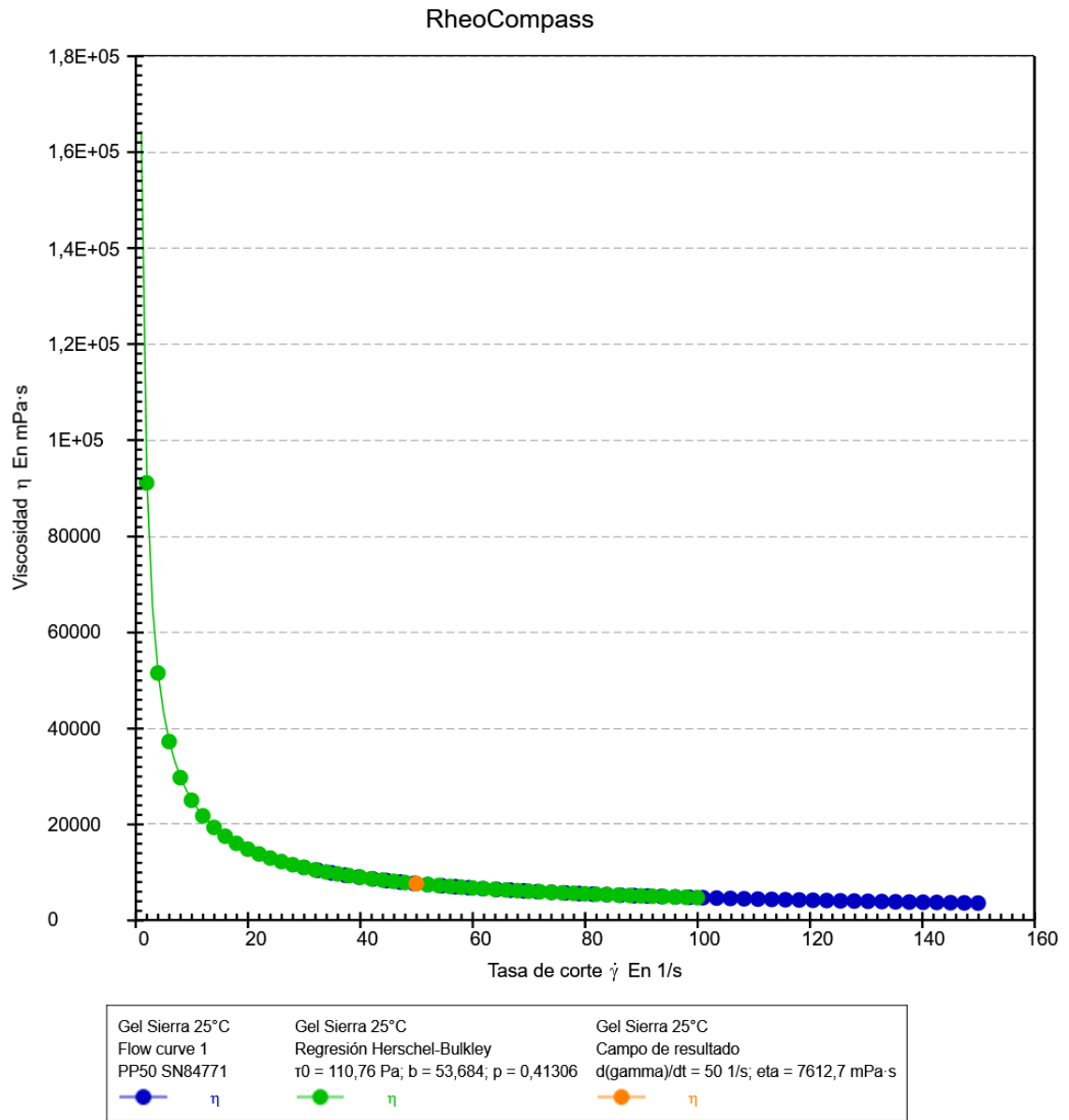
INSTRUCCIONES DE USO

- Aplicar la cantidad necesaria directamente sobre la piel en las zonas de contacto a examinar o directamente sobre el electrodo.
- Terminado su uso, retirar el exceso con una toalla absorbente.

PRECAUCIONES Y ADVERTENCIAS

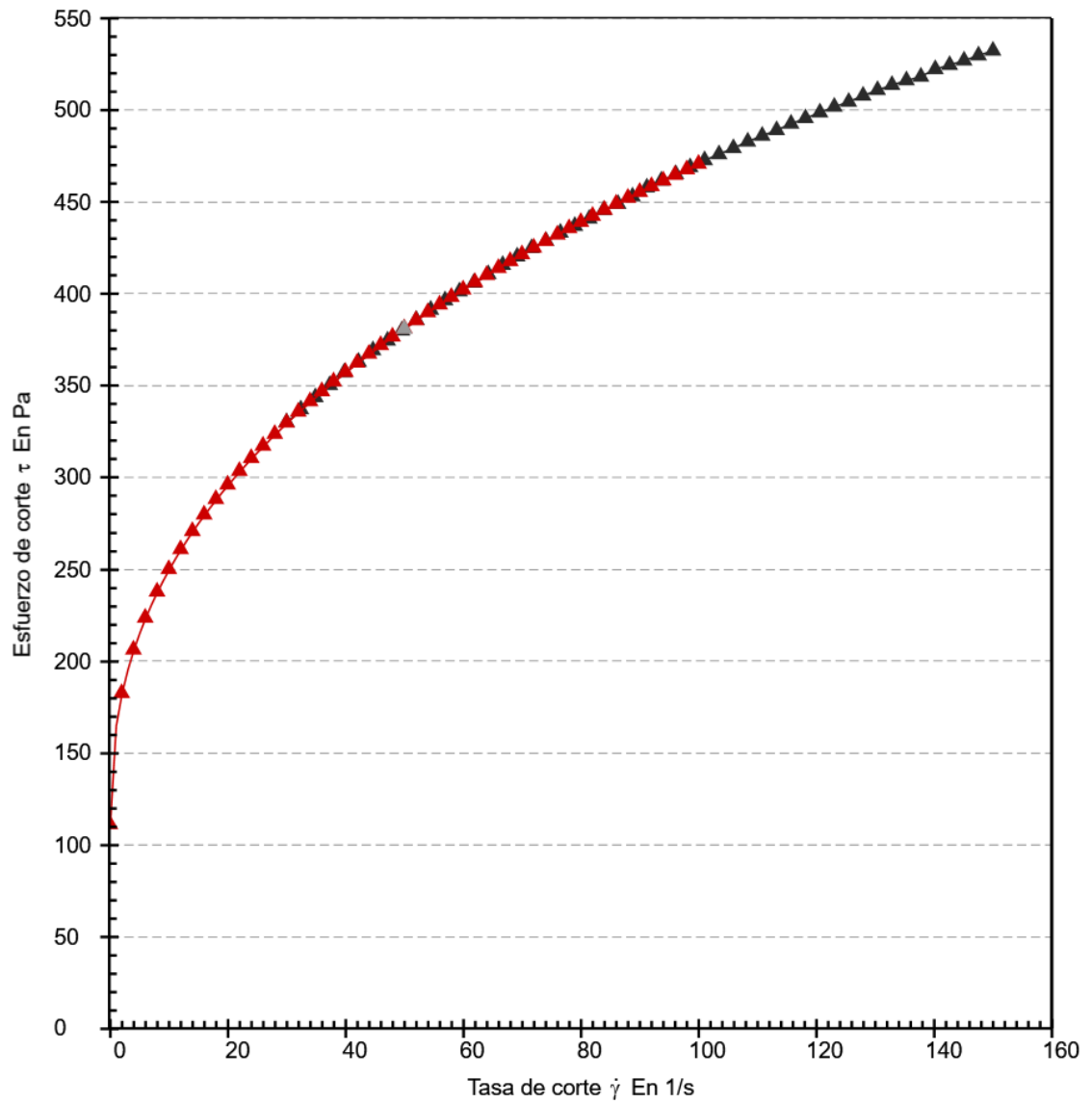
- Manténgase fuera del alcance de los niños.
- Evite el contacto con los ojos.
- Mantenga en un recipiente cerrado.
- Mantenga en un ambiente fresco y seco.
- No ingerir.

Anexo B Resultado de laboratorio ingeniería química de la UIS

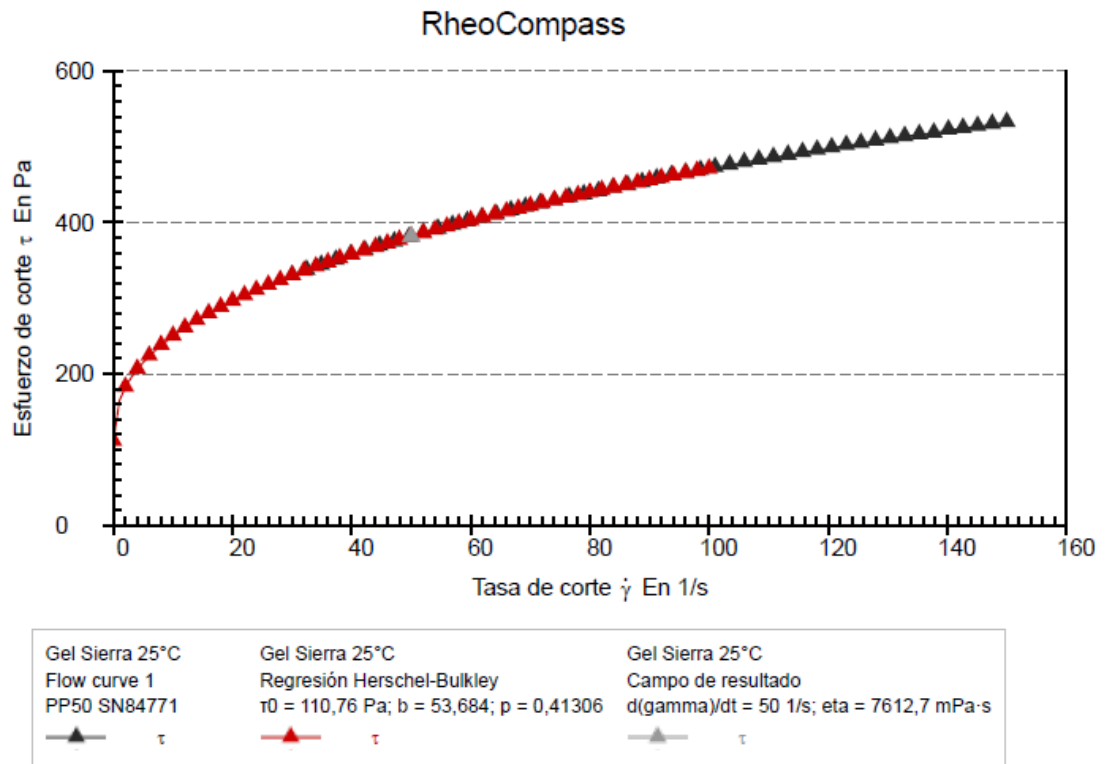


Anton Paar

RheoCompass



Gel Sierra 25°C Flow curve 1 PP50 SN84771	Gel Sierra 25°C Regresión Herschel-Bulkley $\tau_0 = 110,76 \text{ Pa}; b = 53,684; p = 0,41306$	Gel Sierra 25°C Campo de resultado $d(\text{gamma})/dt = 50 \text{ 1/s}; \text{eta} = 7612,7 \text{ mPa}\cdot\text{s}$
τ	τ	τ



Gel Sierra 25°C, Flow curve 1, Intervalo 1

Número de punto Nº	Tasa de corte $\dot{\gamma}$ [1/s]	Esfuerzo de corte τ [Pa]	Viscosidad η [mPa·s]	Torque M [mN·m]	Estado Stat
1	30	329,74	10988	12,112	Dy_aut o
2	32,4	336,76	10382	12,37	Dy_aut o
3	34,9	343,38	9839,4	12,613	Dy_aut o
4	37,3	349,97	9371,3	12,856	Dy_aut o
5	39,8	356,84	8964,6	13,108	Dy_aut o
6	42,2	362,56	8582,8	13,318	Dy_aut o
7	44,7	368,95	8255,5	13,553	Dy_aut o

8	47,2	374,2	7934,7	13,746	Dy_au o
9	49,6	379,66	7654,9	13,946	Dy_au o
10	52	385,51	7407,4	14,161	Dy_au o
11	54,5	391,04	7175,7	14,364	Dy_au o
12	56,9	396,12	6957,4	14,551	Dy_au o
13	59,4	400,97	6751,7	14,729	Dy_au o
14	61,8	405,7	6561	14,902	Dy_au o
15	64,3	410,4	6384,2	15,075	Dy_au o
16	66,7	415,43	6225,6	15,26	Dy_au o
17	69,2	419,95	6069,6	15,426	Dy_au o
18	71,6	424,54	5926	15,595	Dy_au o
19	74,1	428,44	5783,2	15,738	Dy_au o
20	76,5	432,96	5657	15,904	Dy_au o
21	79	436,63	5528,6	16,039	Dy_au o
22	81,4	440,58	5410,1	16,184	Dy_au o
23	83,9	445,25	5308,4	16,355	Dy_au o
24	86,3	448,66	5197,1	16,481	Dy_au o
25	88,8	452,67	5098,9	16,628	Dy_au o
26	91,2	457,55	5015,9	16,807	Dy_au o
27	93,7	461,3	4924,8	16,945	Dy_au o
28	96,1	464,87	4835,9	17,076	Dy_au o
29	98,6	468,59	4753,8	17,213	Dy_au o
30	101	472,44	4676,9	17,354	Dy_au o

31	103	475,7	4597,5	17,474	Dy_au o
32	106	479,03	4522,5	17,596	Dy_au o
33	108	482,59	4453,6	17,727	Dy_au o
34	111	485,76	4383,6	17,844	Dy_au o
35	113	488,8	4315,5	17,955	Dy_au o
36	116	492,29	4254,5	18,083	Dy_au o
37	118	495,3	4191,9	18,194	Dy_au o
38	121	498,43	4132,6	18,309	Dy_au o
39	123	501,56	4075,9	18,424	Dy_au o
40	126	504,24	4017,4	18,522	Dy_au o
41	128	507,59	3967	18,645	Dy_au o
42	130	510,64	3915,8	18,757	Dy_au o
43	133	513,39	3864,1	18,858	Dy_au o
44	135	515,92	3812,7	18,951	Dy_au o
45	138	517,92	3759,6	19,025	Dy_au o
46	140	522,04	3723,4	19,176	Dy_au o
47	143	524,29	3675,3	19,259	Dy_au o
48	145	526,74	3630,2	19,349	Dy_au o
49	148	529,52	3588,6	19,451	Dy_au o
50	150	532,08	3547,1	19,545	Dy_au o

Gel Sierra 25°C, Regresión Herschel-Bulkley, Intervalo 1

Número de punto Nº	Tasa de corte $\dot{\gamma}$ [1/s]	Esfuerzo de corte τ [Pa]	Viscosidad η [mPa-s]	Torque M [mN-m]	Estado Stat
1	0	110,76	---	---	---
2	1	164,44	1,6444E+05	---	---
3	2	182,24	91119	---	---
4	3	195,27	65090	---	---
5	4	205,93	51484	---	---
6	5	215,12	43025	---	---
7	6	223,29	37215	---	---
8	7	230,69	32955	---	---
9	8	237,49	29686	---	---
10	9	243,81	27089	---	---
11	10	249,72	24972	---	---
12	11	255,3	23209	---	---
13	12	260,59	21716	---	---
14	13	265,63	20433	---	---
15	14	270,44	19317	---	---
16	15	275,06	18337	---	---
17	16	279,5	17469	---	---
18	17	283,78	16693	---	---
19	18	287,91	15995	---	---
20	19	291,91	15364	---	---
21	20	295,79	14790	---	---
22	21	299,56	14265	---	---
23	22	303,22	13783	---	---
24	23	306,79	13339	---	---
25	24	310,27	12928	---	---
26	25	313,66	12546	---	---
27	26	316,97	12191	---	---
28	27	320,21	11860	---	---
29	28	323,38	11549	---	---
30	29	326,49	11258	---	---
31	30	329,53	10984	---	---
32	31	332,51	10726	---	---
33	32	335,44	10482	---	---
34	33	338,31	10252	---	---
35	34	341,14	10033	---	---
36	35	343,91	9826,1	---	---
37	36	346,64	9628,9	---	---
38	37	349,33	9441,2	---	---
39	38	351,97	9262,3	---	---
40	39	354,57	9091,6	---	---
41	40	357,13	8928,3	---	---
42	41	359,66	8772,2	---	---
43	42	362,15	8622,6	---	---
44	43	364,6	8479,2	---	---

45	44	367,03	8341,5	---	---
46	45	369,42	8209,3	---	---
47	46	371,78	8082,1	---	---
48	47	374,1	7959,7	---	---
49	48	376,41	7841,8	---	---
50	49	378,68	7728,1	---	---
51	50	380,92	7618,4	---	---
52	51	383,14	7512,6	---	---
53	52	385,33	7410,3	---	---
54	53	387,5	7311,4	---	---
55	54	389,65	7215,7	---	---
56	55	391,77	7123,1	---	---
57	56	393,87	7033,4	---	---
58	57	395,95	6946,4	---	---
59	58	398	6862,1	---	---
60	59	400,04	6780,3	---	---
61	60	402,05	6700,9	---	---
62	61	404,05	6623,8	---	---
63	62	406,03	6548,8	---	---
64	63	407,98	6475,9	---	---
65	64	409,92	6405,1	---	---
66	65	411,85	6336,1	---	---
67	66	413,75	6269	---	---
68	67	415,64	6203,6	---	---
69	68	417,51	6139,9	---	---
70	69	419,37	6077,8	---	---
71	70	421,21	6017,2	---	---
72	71	423,03	5958,2	---	---
73	72	424,84	5900,5	---	---
74	73	426,63	5844,3	---	---
75	74	428,41	5789,4	---	---
76	75	430,18	5735,7	---	---
77	76	431,93	5683,3	---	---
78	77	433,67	5632,1	---	---
79	78	435,4	5582	---	---
80	79	437,11	5533	---	---
81	80	438,81	5485,1	---	---
82	81	440,5	5438,2	---	---
83	82	442,17	5392,4	---	---
84	83	443,84	5347,4	---	---
85	84	445,49	5303,4	---	---
86	85	447,13	5260,3	---	---
87	86	448,76	5218,1	---	---


Anexo C Registro fotográfico del tanque en la empresa Zumo tecnología zumotec s.a.

Se muestran los registros fotográficos del tanque de 1000 litros.



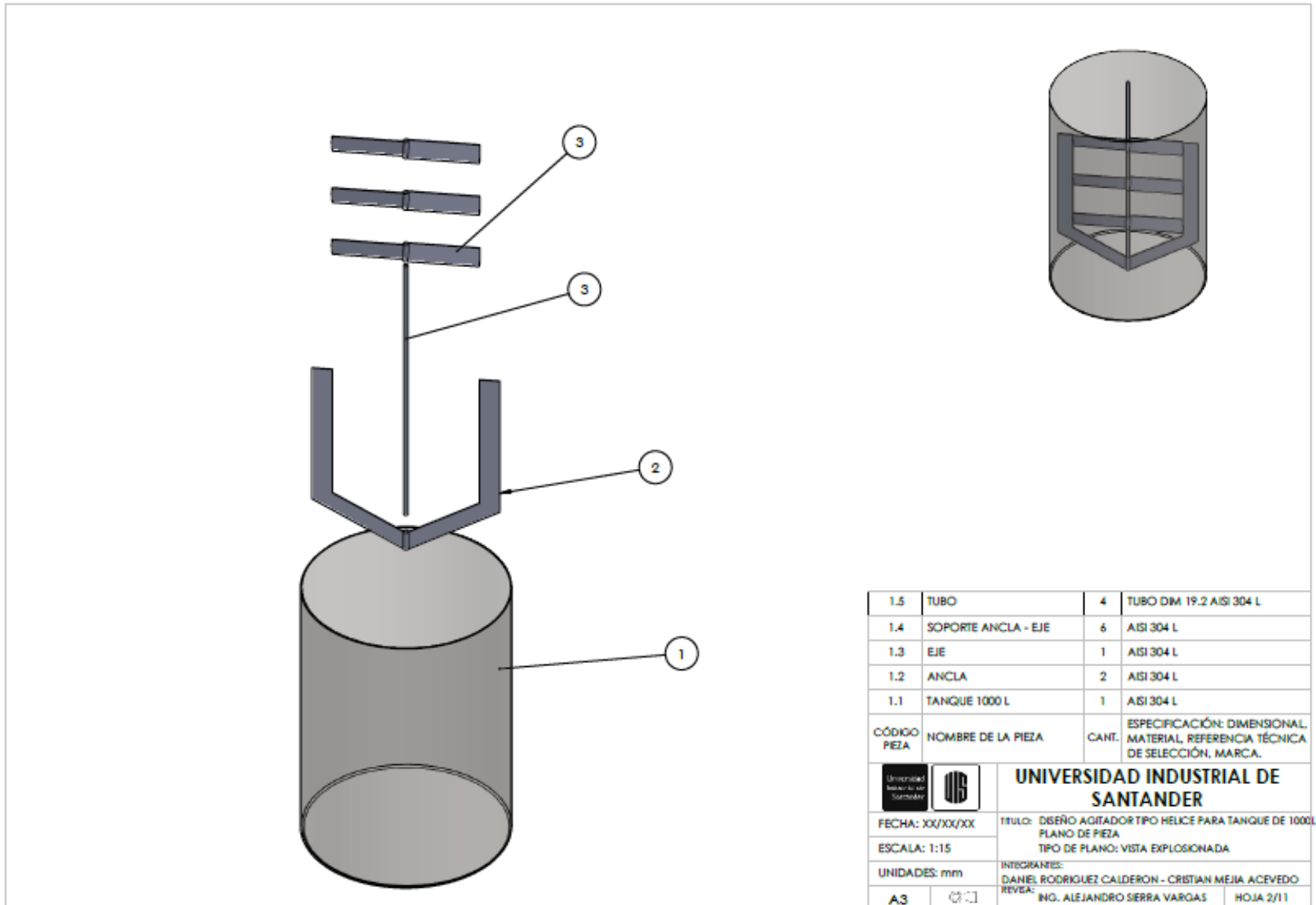


Anexo D ficha técnica motor WEG seleccionado

HOJA DE DATOS						
Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula						
Cliente :						
Línea del producto : W22 NEMA Premium Efficiency Trifásico			Código del producto :		12097205	
			Catalog # :		00518ET3E184TF2-W22	
Carcasa : 182/4T Potencia : 5 HP (3.7 kW) Polos : 4 Frecuencia : 60 Hz Tensión nominal : 230/460 V Corriente nominal : 13.0/6.49 A Corriente de arranque : 97.4/48.7 A Ip/In : 7.5x(Cód. J) Corriente en vacío : 5.80/2.90 A Rotación nominal : 1750 rpm Resbalamiento : 2.78 % Torque nominal : 20.3 Nm Torque de arranque : 229 % Torque máximo : 290 % Clase de aislamiento : F Factor de servicio : 1.25 Momento de inercia (J) : 0.0169 kgm ² Categoría : B			Tiempo de rotor bloqueado : 27s (frío) 15s (caliente) Elevación de temperatura : 80 K Régimen de servicio : Cont.(S1) Temperatura ambiente : -20°C hasta +40°C Altitud : 1000 m Grado de protección : IP55 Método de refrigeración : IC411 - TEFC Forma constructiva : F-2 Sentido de giro ¹ : Ambos Nivel de ruido ² : 56.0 dB(A) Método de Arranque : Partida directa Masa aproximada ³ : 45.0 kg			
Potencia	25%	50%	75%	100%	Fuerzas en la fundación	
Rendimiento (%)	88.2	88.5	89.5	89.5	Tracción máxima : 1175 N	
Cos Φ	0.38	0.62	0.74	0.80	Compresión máxima : 1617 N	
Pérdidas en puntos de funcionamiento estándar (velocidad; par), en porcentaje de la potencia nominal						
P1 (0,9;1,0)	P2 (0,5;1,0)	P3 (0,25;1,0)	P4 (0,9;0,5)	P5 (0,5;0,5)	P6 (0,5;0,25)	P7 (0,25;0,25)
11.3	9.4	8.6	5.5	3.7	2.5	1.8
Tipo de cojinete :			Delantero		Trasero	
Sello :			6207 ZZ		6206 ZZ	
Intervalo de lubricación :			VRing		VRing	
Cantidad de lubricante :			-		-	
Tipo de lubricante :			Mobil Polyrex EM			

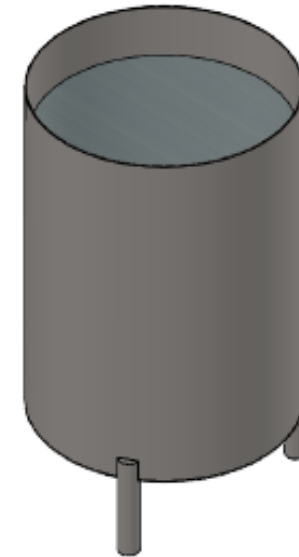
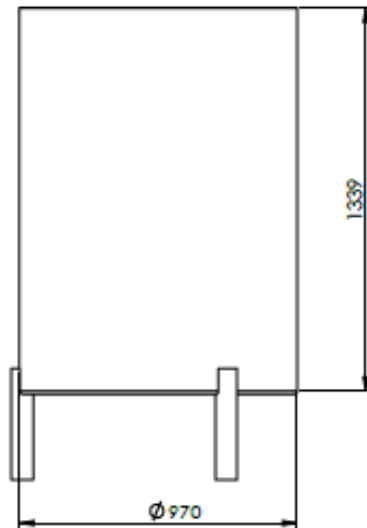
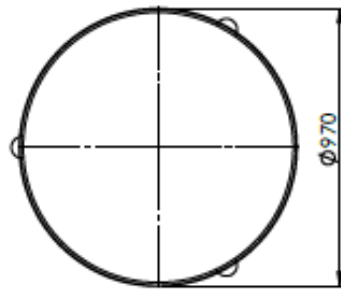
Anexo E Planos del sistema de agitación.

1.4	SOPORTE HÉLICE-EJE	6	AISI 304 L
1.3	EJE	1	AISI 304 L
1.2	HÉLICE	2	AISI 304 L
1.1	TANQUE 1000 L	1	AISI 304 L
CÓDIGO PIEZA	NOMBRE DE LA PIEZA	CANT.	ESPECIFICACIÓN: DIMENSIONAL, MATERIAL, REFERENCIA TÉCNICA, DE SELECCIÓN, MARCA.
		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA:	XX/XX/XX	TÍTULO: DISEÑO AGITADOR TIPO HÉLICE PARA TANQUE DE 1000L	
ESCALA:	1:15	PLANO DE PIEZA	
UNIDADES:	mm	TIPO DE PLANO: VISTA EXPLOSIONADA	
A3		INTEGRANTES: DANIEL RODRIGUEZ CALDERON - CRISTIAN MEJIA ACEVEDO REVISÓ: ING. ALEJANDRO SIERRA VARGAS	HOJA 1/11



TANQUE 1000 LITROS

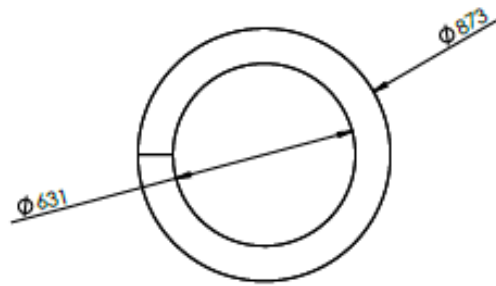
Material: AISI 316L



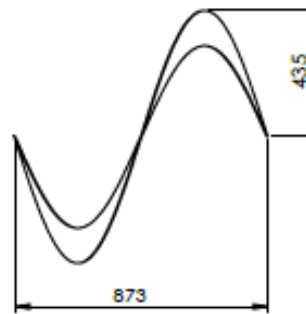
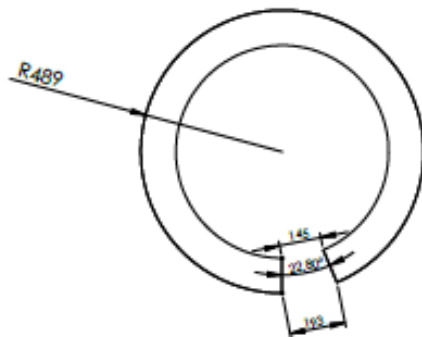
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: XX/XX/XX		TÍTULO:	
ESCALA: 1:15		DISEÑO AGITADOR TIPO HELICE PARA TANQUE DE 1000L PLANO DE PIEZA	
UNIDADES: mm		COD DE PIEZA: 1.1 TANQUE 1000 L	
A3		INTEGRANTES:	
		DANIEL RODRIGUEZ CALDERON- CRISTIAN MEJA ACEVEDO	
		REVISOR:	
		ING. ALEJANDRO SIERRA VARGAS	
		HOJA 3/11	

DISEÑO HÉLICE

Material: AISI 304



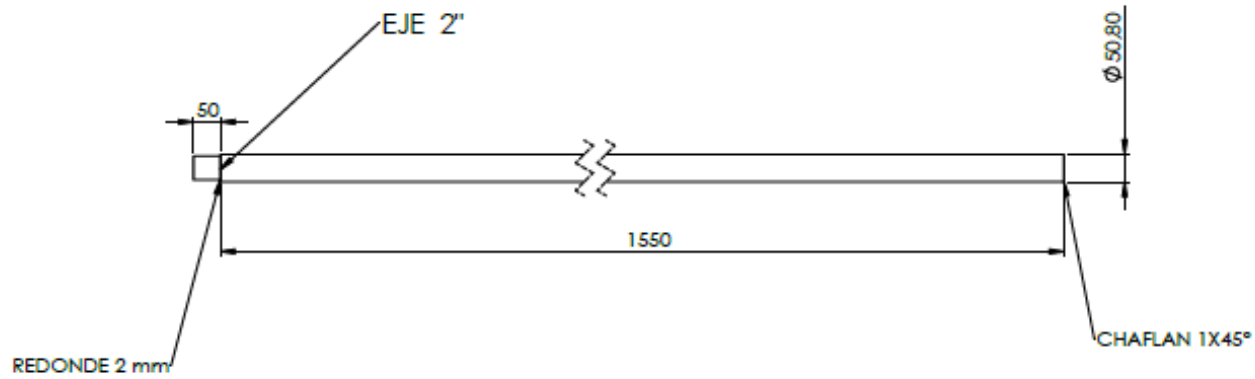
CHAPA
DESPLEGADA



		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: XX/XX/XX		TÍTULO: DISEÑO AGITADOR TIPO HÉLICE PARA TANQUE DE 1000L	
ESCALA: 1:15		PLANO DE PIEZA COD DE PIEZA: 1.2 HÉLICE	
UNIDADES: mm		INTEGRANTES: DANIEL RODRIGUEZ CALDERON - CRISTIAN MEJIA ACEVEDO	
A3		REVA: ING. ALEJANDRO SIERRA VARGAS	HOJA 4/11

DISEÑO EJE ANCLA

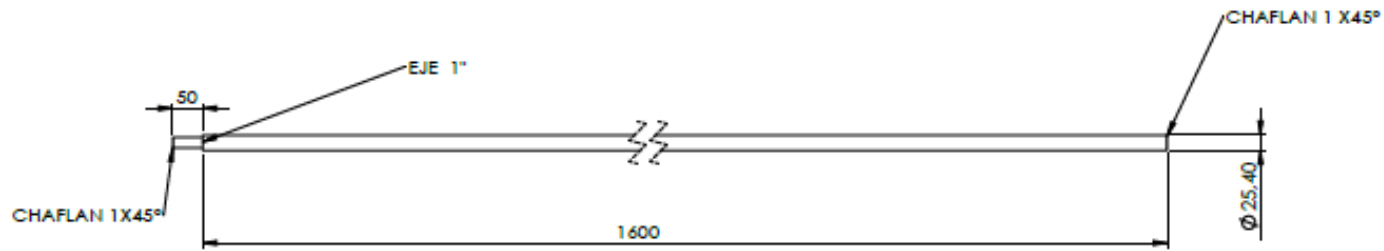
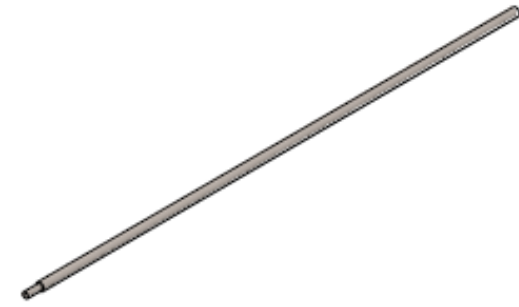
Material: AISI 304



		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: XX/XX/XX		TÍTULO: DISEÑO AGITADOR EJE PARA TANQUE DE 1000L PLANO DE PIEZA:FRONTAL COD DE PIEZA: 1.3 EJE	
ESCALA: 1:15		INTEGRANTES: DANIEL RODRIGUEZ CALDERON - CRISTIAN MEJIA ACEVEDO	
UNIDADES: mm		REVISÓ: ING. ALEJANDRO SIERRA VARGAS	
A3		HOJA 5/11	

DISEÑO EJE HELICE

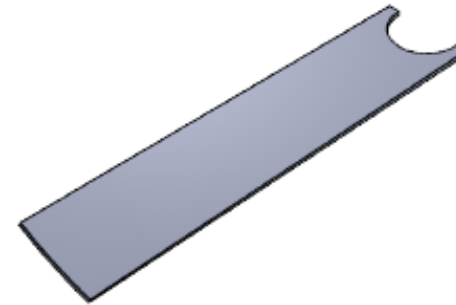
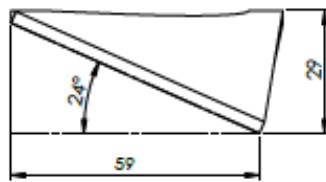
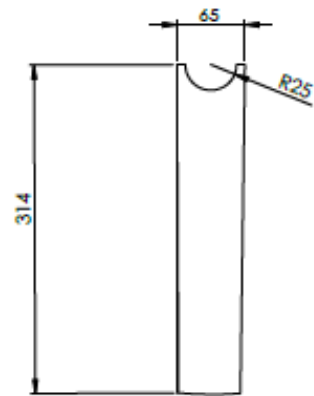
Material: AISI 304



 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: XX/XX/XX		TÍTULO: DISEÑO AGITADOR EJE PARA TANQUE DE 1000L	
ESCALA: 1:15		PLANO DE PIEZA:FRONTAL COD DE PIEZA: 1.3 EJE	
UNIDADES: mm		INTEGRANTES: DANIEL RODRIGUEZ CALDERON - CRISTIAN MEJIA ACEVEDO	
A3		REVISÓ: ING. ALEJANDRO SIERRA VARGAS	HOJA 6/11

DISEÑO SOPORTE HÉLICE

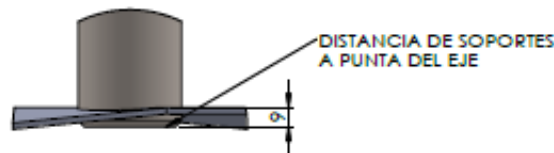
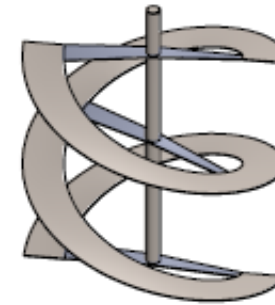
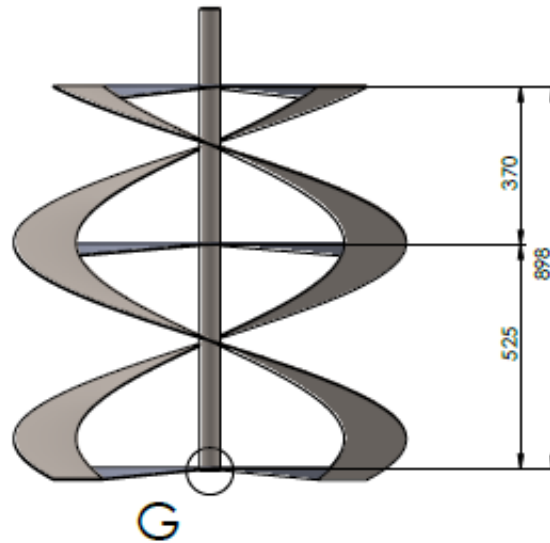
Material: AISI 316L



 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: XX/XX/XX		TÍTULO: DISEÑO AGITADOR TIPO HÉLICE PARA TANQUE DE 1000L	
ESCALA: 1:2		PLANO DE PIEZA	
UNIDADES: mm		COD DE PIEZA: 1.4 SOPORTE HÉLICE-EJE	
A3		INTEGRANTES: DANIEL RODRIGUEZ CALDERON - CRISTIAN MEJIA ACEVEDO	
		REVISOR: ING. ALEJANDRO SIERRA VARGAS	
		HOJA 7/11	

DETALLE DE ENSAMBLAJE

HÉLICE-SOPORTE-EJE

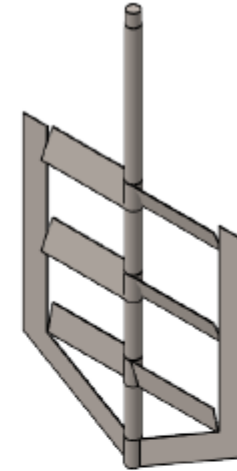
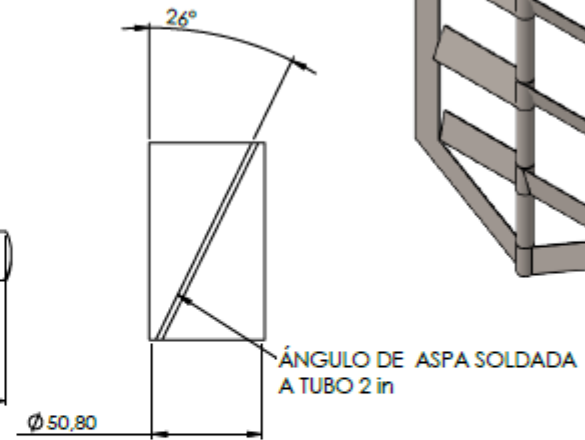
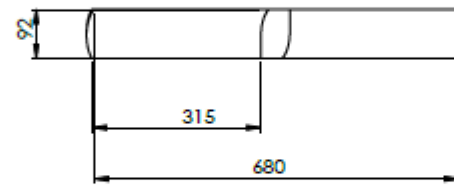
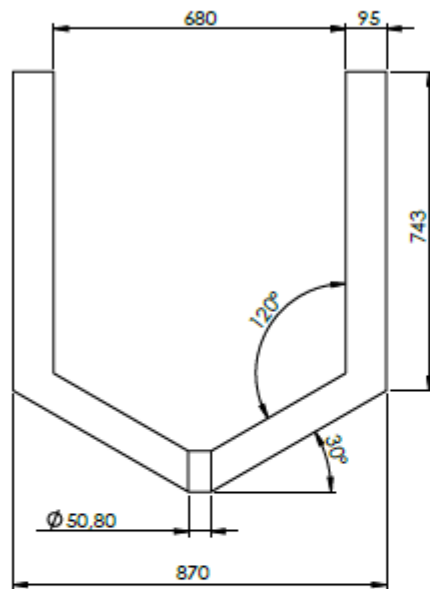


DETALLE G
ESCALA 1 : 2

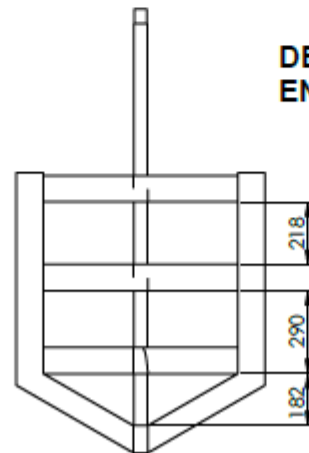
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: XX/XX/XX		TÍTULO:	
ESCALA: 1:8		DISEÑO AGITADOR TIPO HELICE PARA TANQUE DE 1000 L	
UNIDADES: mm		TIPO DE PLANO: VISTA FRONTAL ENSAMBLAJE	
A3		DIBUJANTE:	
		DANIEL RODRIGUEZ CALDERON- CRISTIAN MEJIA ACEVEDO	
		REVISOR:	
		ING. ALEJANDRO SIERRA VARGAS	
		HOJA 8/11	

DISEÑO ANCLA

Material: AISI 316L

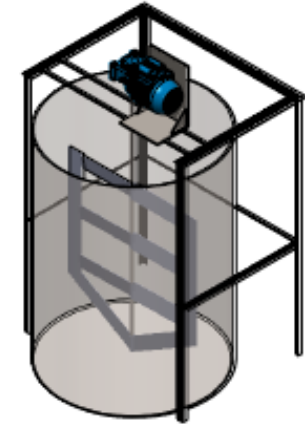
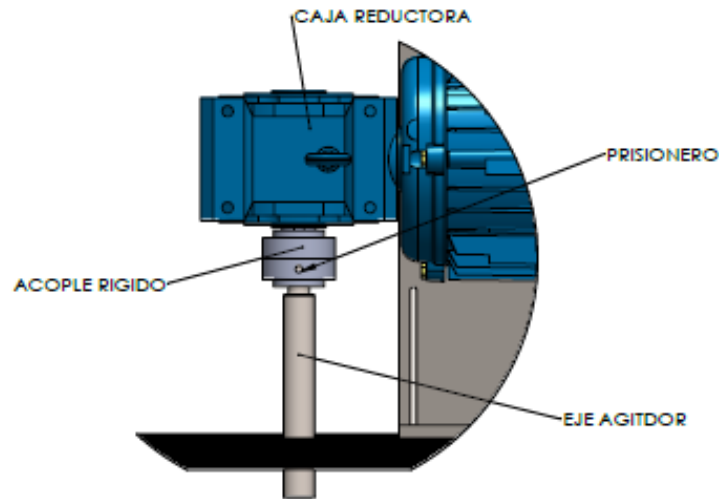
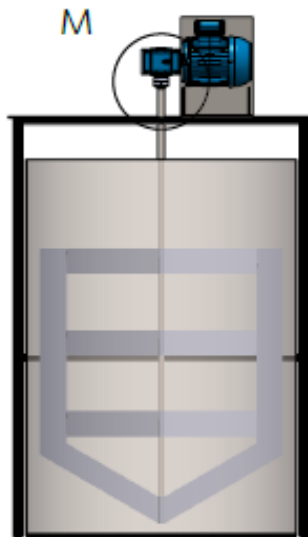


DETALLE DE ENSAMBLAJE



 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: XX/XX/XX	TÍTULO:	DISEÑO AGITADOR TIPO ANCLA PARA TANQUE DE 1000 L	
ESCALA: 1:15	TIPO DE PLANO: VISTA FRONTAL	AUTOR:	
UNIDADES: mm	REVISIÓN:	DANIEL RODRIGUEZ CALDERON-CRISTIAN MEJIA ACEVEDO	
A3		REVISOR:	ING. ALEJANDRO SIERRA VARGAS
			HOJA 9/11

ACOPLE-EJE

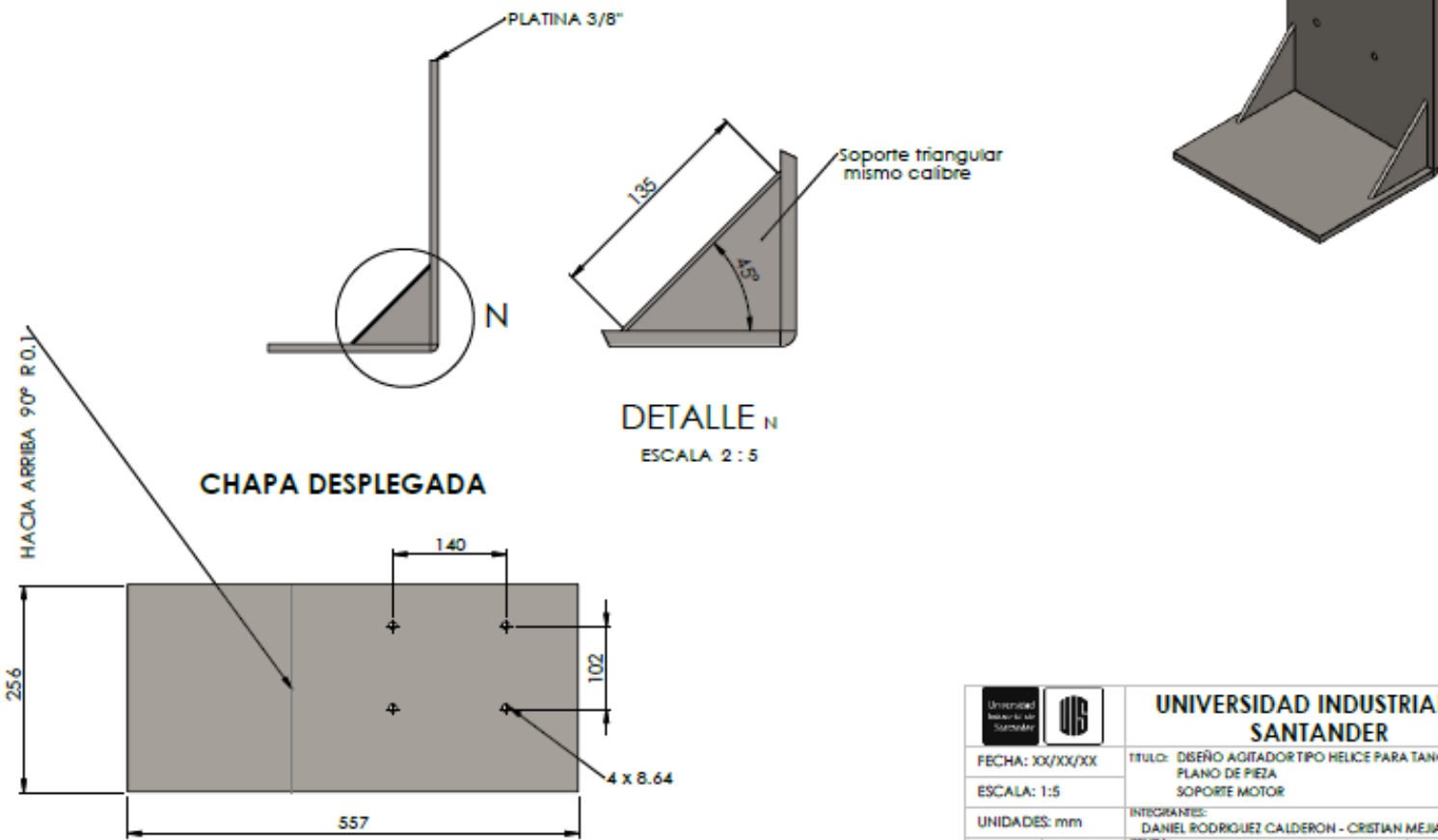


DETALLE M
ESCALA 1 : 3

 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: XX/XX/XX		TÍTULO: DISEÑO AGITADOR EJE PARA TANQUE DE 1000L	
ESCALA: 1:15		PLANO DE PIEZA:FRONTAL DETALLE DE ENSAMBLAJE	
UNIDADES: mm		INTEGRANTES: DANIEL RODRIGUEZ CALDERON - CRISTIAN MEJIA ACEVEDO	
A3		REVISOR: ING. ALEJANDRO SIERRA VARGAS	
		HOJA 10/11	

DISEÑO SOPORTE MOTOR

Material: AISI 316L



		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: XX/XX/XX		TÍTULO: DISEÑO AGITADOR TIPO HELICE PARA TANQUE DE 1000L	
ESCALA: 1:5		PLANO DE PIEZA SOPORTE MOTOR	
UNIDADES: mm		INTEGRANTES: DANIEL RODRIGUEZ CALDERON - CRISTIAN MEJIA ACEVEDO	
A3		REVIS: ING. ALEJANDRO SIERRA VARGAS	HOJA 11/11

Anexo F Mantenimiento al sistema de agitación.**Mantenimiento Diario:**

Inspección visual: Verificar visualmente el agitador para detectar cualquier signo de desgaste, fugas, daños en el motor o las hélices.

Lubricación: Si es necesario, aplicar lubricante a los puntos de lubricación designados para evitar el desgaste prematuro.

Mantenimiento Semanal:

Limpieza: Limpieza de las partes externas del agitador para eliminar polvo y suciedad que puedan afectar su rendimiento.

Verificación de fugas: Inspeccionar cuidadosamente todas las conexiones y juntas para detectar posibles fugas de líquidos.

Mantenimiento Mensual:

Lubricación: Revisar y volver a lubricar los puntos de lubricación según las recomendaciones del fabricante.

Calibración de velocidad: Verificar la velocidad de agitación y, si es necesario, calibrar el agitador para asegurarse de que esté operando a la velocidad correcta.

Mantenimiento Trimestral:

Inspección eléctrica: Revise los componentes eléctricos, como los cables y las conexiones, para asegurarse de que estén en buen estado y no haya signos de desgaste o daño.

Reemplazo de sellos y juntas: Si se detectan fugas o desgaste en los sellos o juntas, reemplácelos según las especificaciones del fabricante.

Mantenimiento Anual:

Mantenimiento preventivo: Realizar un mantenimiento preventivo más completo según las pautas proporcionadas por el fabricante. Esto puede incluir la revisión de componentes internos, la limpieza de las partes internas, y el reemplazo de piezas desgastadas.

Pruebas de funcionamiento: Realizar pruebas de funcionamiento para asegurarse de que el agitador esté operando dentro de los parámetros especificados.

Mantenimiento Especializado:

Calibración profesional: Contratar a un técnico especializado para calibrar y verificar el agitador de manera regular, especialmente si se utiliza en aplicaciones críticas donde la precisión es fundamental.

Reemplazo de piezas desgastadas: Reemplace las piezas desgastadas o dañadas de inmediato para evitar un mayor deterioro del equipo.

Mantenimiento de seguridad: Asegúrese de que se cumplan todas las normativas de seguridad y realice inspecciones regulares de seguridad para evitar accidentes.