

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Diseño de un sistema mecánico e hidráulico para mejorar el uso de la salmuera en el proceso de congelación del camarón”

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Mecánico**

Presentado por:

Maria Belén Jara Arámbulo

José Luis Paz Avelino

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2021

## **DEDICATORIA**

Este proyecto es dedicado a las múltiples personas que han brindado su experiencia a nuestros servicios para la ejecución de esta obra.

Al M.Sc. Federico Camacho, por su constante dedicación y supervisión.

Especialmente agradezco a mi mentor laboral el M. Sc. Jefferson Cruz por su confianza y entrenamiento en este camino laboral.

**José Luis Paz Avelino**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios en primer lugar y la Virgen María por su eterna protección. A mi familia que incondicionalmente me han apoyado y animado en este largo trayecto, en especial a agradecimiento a mis padres que un siempre ser mi motivación y ejemplo de perseverancia y constancia.

Agradezco el eterno apoyo de mis amigos, sin ellos este proceso no hubiera sido igual y no me lo hubiera disfrutado de la misma manera.

**María Belén Jara Arámbulo**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi querida y adorada madre, una persona admirable de quien estoy enormemente agradecido por su apoyo incondicional. A mi padre que, en base a sacrificios, me ha permitido lograr cada uno de mis objetivos. A mis hermanos quienes son mis inspiraciones para ser una mejor persona. Y por último a esas amistades que han sido parte de este largo camino, un camino que no hubiera podido cruzar sin su ayuda. A todas aquellas personas que han influenciado de una u otra manera en mi vida. Y finalmente a mi compañera de la materia integradora, una gran persona y una gran amiga.

**GRACIAS TOTALES.**

**José Luis Paz Avelino**

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *José Luis Paz Avelino* y *María Belén Jara Arámbulo* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

*José Luis Paz A.*

---

**José Luis Paz Avelino**

*María Belén Jara A.*

---

**María Belén Jara Arámbulo**

## EVALUADORES



---

**MSc. Federico Camacho**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**PhD Ángel Ramírez**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El sector camaronero anualmente registra grandes volúmenes de producción y con ello gran consumo de materia prima. El proceso de congelación por salmuera representa el 75% de la producción total. En dicho proceso se desecha aproximadamente el 37.5% del total de salmuera producida en el día.

La propuesta del proyecto fue elaborar un sistema que permita recolectar, regenerar y reutilizar la salmuera usada, en futuros procesos de congelación, con la finalidad de optimizar los recursos empleados en la elaboración de la sustancia. El proceso de regeneración consta de cuatro tanques mezcladores cuya capacidad es de 5 m<sup>3</sup>, que permite suplir la demanda de reposición de 2,5 congeladores en el lapso de un turno correspondiente a 10 horas laborales; el cual cuenta con un sistema de refrigeración que costa de un serpentín sumergido y aislamiento térmico con la finalidad de conservarla y de esta manera evitar la proliferación de bacterias. Además, se seleccionó un sistema de filtrado que garantiza la separación de sólidos suspendidos en la salmuera a regenerar. Todo este proceso consta de un sistema hidráulico que permite la dosificación de la salmuera desde los congeladores hasta el área de regeneración.

Por último, se realizó un análisis la viabilidad del proyecto en donde se determinó que la inversión inicial iba a ser recuperable en un periodo de 61 días laborales y se obtuvo una disminución correspondiente al 25% del costo de producción unitario de salmuera.

**Palabras Clave:** Camarón, Salmuera, Sistemas de mezclado, Sistema de regeneración; Sistema de filtrado.

## **ABSTRACT**

*The shrimp sector annually registers large production volumes and with it large consumption of raw materials. The brine freezing process represents 75% of total production. In this process, approximately 37.5% of the total brine produced in the day is discarded.*

*The project proposal was to develop a system that allows collecting, regenerating and reusing the used brine, in future freezing processes, in order to optimize the resources used in the preparation of the substance. The regeneration process consists of four mixing tanks with a capacity of 5 m<sup>3</sup>, which allows the replacement demand of 2.5 freezers to be met in the course of a shift corresponding to 10 working hours; which has a cooling system that costs a submerged coil and thermal insulation in order to preserve it and thus prevent the proliferation of bacteria. In addition, a filtering system was selected that guarantees the separation of suspended solids in the brine to be regenerated. This entire process consists of a hydraulic system that allows the dosing of brine from the freezers to the regeneration area.*

*Finally, an analysis of the feasibility of the project was carried out, where it was determined that the initial investment was going to be recoverable in a period of 61 working days and a decrease corresponding to 25% of the unit production cost of brine was obtained.*

**Keywords:** *Shrimp, Brine, Mixing systems, Regeneration system; Filter system.*



# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
ÍNDICE DE PLANOS .....	XIII
CAPÍTULO 1 .....	1
1.    Introducción .....	1
1.1    Definición del Problema .....	1
1.2    Justificación del proyecto.....	1
1.3    Objetivos.....	2
1.3.1    Objetivo General .....	2
1.3.2    Objetivos Específicos .....	2
1.4    Marco teórico .....	3
1.4.1    Importancia de congelar el camarón .....	3
1.4.2    Procesos de congelamiento del camarón .....	3
1.4.3    Beneficio del empleo de sustancias acuosas en sistemas de congelación	4
1.4.4    Proceso de congelamiento por medio de sustancia salmuera .....	4
1.4.5    Preparación y parámetros de operación de la sustancia salmuera .....	5
1.4.6    Sistema de agitación de fluidos.....	7
1.4.7    Sistema de filtrado parámetros de regeneración de sustancia salmuera .	9
CAPÍTULO 2.....	11

2.	Metodología .....	11
2.1	Parámetros de producción actual .....	11
2.1.1	Diagrama de Flujo de Proceso actual .....	12
2.2	Selección de Alternativas.....	13
2.2.1	Factores de Influencia para el Diseño .....	13
2.2.2	Propuesta del sistema de mezclado.....	13
2.2.3	Propuesta para el Sistema de Filtrado .....	14
2.2.4	Propuesta para el Sistema de Regeneración.....	15
2.3	Descripción de la Alternativa Seleccionada .....	15
2.3.1	Sistema de Mezclado .....	15
2.3.2	Sistema de Filtrado .....	27
2.3.3	Sistema de refrigeración .....	31
CAPÍTULO 3.....		40
3.	Resultados Y Análisis .....	40
3.1	Diseño de Equipos.....	40
3.1.1	Tanque de Preparación.....	40
3.1.2	Eje de mezclado y hélices.....	41
3.1.3	Sistema Motriz.....	45
3.1.4	Soportes axiales y radiales .....	47
3.1.5	Estructura soporte Eje agitador .....	48
3.1.6	Sistema de Regeneración .....	49
3.2	Selección de Equipos .....	50
3.2.1	Sistema de Filtrado .....	50
3.2.2	Instrumentación.....	51
3.3	Diseño detallado del Sistema de Mezclado, Filtrado y Regeneración .....	53
3.4	Análisis económico .....	54

3.4.1	Análisis de Efectividad .....	54
3.4.2	Análisis de Costos.....	55
3.4.3	Análisis de Producción e Inversión.....	56
3.4.4	Factibilidad .....	56
CAPÍTULO 4.....		58
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	58
4.1	Conclusiones .....	58
4.2	Recomendaciones .....	59

## BIBLIOGRAFÍA

## APÉNDICES

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
NACE	National Association of Corrosion Engineer
SSC	Electrodo de Plata Cloruro de Plata
CSE	Electrodo de Cobre Sulfato de Cobre
HWL	High Water Level
LWL	Low Water Level
CIS	Inspección pasó a paso, medición de potenciales de encendido
MPY	Milésimas de pulgadas por año

## SIMBOLOGÍA

in	pulgada
mm	milímetro
m	metro
s	segundos
kg	kilogramo
g	Gravedad
N	Newton
rpm	Revoluciones por minutos
rps	Revoluciones por segundos
$\omega$	Radianes por segundo
$\rho_a$	Densidad del acero inoxidable
$S_y$	Esfuerzo de fluencia del acero inoxidable
$S_{ut}$	Esfuerzo ultimo de tensión del acero inoxidable
$\%_e$	Porcentajes de elongación del acero inoxidable
$\sigma_{perm}$	Esfuerzo permisible
$W_{eje}$	Peso del eje motriz
$m_{eje}$	Masa del eje motriz
$\rho_s$	Densidad de la salmuera
$\mu_s$	Viscosidad de la salmuera
$\mu_w$	Viscosidad de la salmuera en las cercanías de la superficie contenedora
$C_{p_s}$	Calor especifico de la salmuera
$k_s$	Conductividad térmica de la salmuera
$h_T$	Coeficiente de convección en el interior del tanque
C	Coeficiente de forma para (Depende del tipo de impulsor)
$T_s$	Temperatura en la superficie del tanque.
$H_T$	Altura total del tanque de agitación de salmuera.
H	Altura del nivel del fluido en el tanque de agitación de salmuera
$D_t$	Diámetro del tanque.
$t_s$	Espesor del tanque de agitación de salmuera.
$A_T$	Área superficial del tanque agitación de salmuera.

$A_{\text{impulsor}}$	Área total de todas las superficies de las caras de una hélice
$A_{\text{sup}_{\text{aspa}}}$	rea de una cara de aspas de hélice
$\#_{\text{paletas}}$	Numero de palas por impulsor
$\#_{\text{helices}}$	Numero de hélices
$D_a$	Diámetro del impulsor mecánico
$D_e$	Diámetro del eje motriz
$e_{\text{impulsor}}$	Espesor de las palas del impulsor
$b$	Distancia vertical entre la base de los deflectores y el final del tanque.
$\alpha$	Angulo de inclinación de las paletas del impulsor
$W$	Ancho de las paletas del agitador mecánico
$J$	Ancho de las placas deflectoras
$L_b$	Longitud de eje agitador de salmuera
$Y$	Distancia de separación entre impulsores mecánicos
$Y_2$	Distancia vertical entre la superficie del líquido y el impulsor superior
$E$	Distancia vertical entre el impulsor inferior y el fondo del tanque de agitación
$f$	Separación entre las placas deflectoras y las paredes del tanque
$E$	Distancia vertical entre la base de los deflectores y el inicio del fondo elíptico
$Re$	Numero de Reynolds
$N_Q$	Numero de Flujo
$N_p$	Numero de potencia
$Q_a$	Caudal generado por el impulsor
$N_a$	Velocidad angular del impulsor
$V_a$	Velocidad lineal en las puntas del impulsor
$v_{\text{entrada}}$	Velocidad lineal en la entrada del impulsor
$P_{\text{impulsor}}$	Potencia consumida por un impulsor
$P_T$	Potencia total consumida por dos impulsores
$P_M$	Potencia del motor
$T$	Torque sobre el eje
$P$	Presión del fluido en impulsor
$P_{\text{atm}}$	Presión atmosférica
$F$	Fuerza ejercida por la presión

$h$	Distancia vertical desde el nivel del fluido hasta las hélices
$F_H$	Fuerza Hidrodinámica
$C_H$	Coeficiente de arrastre
$A_H$	Área total superficie de las hélices
$F_e$	Fuerza de empuje
$V_{helice}$	Volumen de hélice
$V_{eje}$	Volumen de eje
$h$	Altura del tanque de salmuera en el congelador
$L$	Longitud del tanque de salmuera en el congelador
$b$	Ancho del tanque de salmuera en el congelador
$A_{descarga}$	Área de sección transversal de la tubería de descarga en el congelador.
$V_{descarga}$	Velocidad del flujo de salmuera en la tubería de descarga en el congelador.
$t_{descarga}$	Duración de descarga del volumen a filtrar
$Q_{descarga}$	Caudal en la tubería de descarga en el congelador
$A_{filtrante}$	Área total de la sección filtrante del tambor rotatorio
$p_{tambor}$	Perímetro del tambor rotatorio
$l_{tambor}$	Longitud del tambor rotatorio
$A_{filtrante\ util}$	Área neta de la sección filtrante.
$f_{area}$	Relación entre el área filtrante total y el área filtrante útil.
$\#_{vueltas}$	Numero de vueltas que el tambor rotatorio debe de girar
$\omega_{tambor}$	Velocidad angular del tambor rotatorio
$\dot{V}_{bombeo}$	Caudal de bombeo desde el tanque pulmón hacia el tanque de agitación
$h_{i1}$	Coeficiente convectivo interno a la tubería de transporte de salmuera
$T_{f1}$	Temperatura de película del aire en la tubería de transporte de salmuera
$T_{\infty}$	Temperatura ambiente
$T_i$	Temperatura de la salmuera en el interior de la tubería
$\nu_{aire1}$	Viscosidad dinámica del aire a la temperatura de película 1
$Pr_{aire1}$	Numero de prandtl del aire a la temperatura de película 1
$D_{tuberia}$	Diámetro de la tubería de transporte de salmuera

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Densidad de la salmuera vs temperatura de congelación para diferentes concentraciones de sal y azúcar.....	6
Figura 1.2: Vista general de un tanque de agitación mecánica .....	7
Figura 1.3 Imagen Izquierda) Líneas de flujo axial. Derecha) Líneas de flujo radial....	8
Figura 1.4 Diferentes configuraciones de los deflectores .....	8
Figura 1.5 A la izquierda un tamiz rotativo y a la derecha un tamiz estático.....	10
Tabla 2.1 Detalle volumen salmuera descargado y por recargar en 20 h laborales. .	11
Figura 2.2 Diagrama de flujo proceso actual en congelamiento de camarón .....	11
Figura 2.3 Relaciones dimensionales tanque hélices inclinadas .....	17
Figura 2.4 Selección de tipo de agitador y velocidad de operación recomendada. (Towler, G., & Sinnott, R, 2014).....	18
Figura 2.5 Esquema para el cálculo de aislamiento.....	37
Figura 3.1 Diagrama de cuerpo libre DCL eje agitador .....	41
Figura 3.2 Diagrama de cuerpo libre DCL hélice 45° inclinación .....	42
Figura 3.3 Plano de dimensiones del eje y hélices del tanque agitador.....	43
Figura 3.4 Plano de dimensiones del suple y pin axial .....	43
Figura 3.5 Conjunto eje agitador + hélice + suple.....	44
Figura 3.6 Factor de seguridad en fatiga del conjunto eje agitador + hélice + suple .	45
Figura 3.7 Deformación total en conjunto agitador + hélices + suple.....	45
Figura 3.8 Resultados análisis CFD Estructura soporte eje agitador.....	48
Figura 3.9 Parámetros de temperatura del serpentín .....	50
Figura 3.10 Dimensiones filtro TRF 40/50 (Toro Wastewater Equipment Industries)	51
Figura 3.11 Refractario de azúcar HI96801 (Hanna Instruments).....	52
Figura 3.12 Refractario de salinidad y densidad HI96821 (Hanna Instruments) .....	52
Figura 3.13 Esquema del sistema propuesto.....	53
Figura 5.1 Velocidad de corrosión atmósfera según la clase de corrosión .....	68
Figura 5.2 a) Diagrama Fuerza cortante del eje agitador b) Diagrama Momento Flector del eje agitador .....	74
Figura 5.3 Diseño de forma hélice bipartida .....	75
Figura 5.4 Simulador de Pernos Hélices Bipartidas (Autodesk, 2020).....	76



Figura 5.5 Simulación CFD supe eje agitador (Autodesk, 2020).....	80
Figura 5.6 Simulador de Pin de seguridad (Autodesk, 2020).....	81
Figura 5.7 Motor seleccionado para eje agitador .....	82
Figura 5.8 Dimensiones motor seleccionado para eje agitador .....	83
Figura 5.9 Dimensiones brida motor para eje agitador .....	83
Figura 5.10 Selección reductor planetario para eje agitador.....	84
Figura 5.11 Dimensiones reductor planetario para eje agitador .....	84
Figura 5.12 Coeficiente de corrección de servicio dependiendo de la aplicación – Lovejoy .....	85
Figura 5.13 Torque máximo por acople flexible – Lovejoy.....	86
Figura 5.14 Dimensiones araña acople flexible, Lovejoy .....	87
Figura 5.15 Dimensiones cuerpo flexible acople flexible, Lovejoy .....	88
Figura 5.16 Vida nominal de acuerdo con las aplicaciones en máquinas y vida requerida.....	89
Figura 5.17 Selección Rodamiento Axial .....	90
Figura 5.18 Ficha técnica rodamiento axial 29415 E .....	91
Figura 5.19 Montaje retenedor V-ring .....	91
Figura 5.20 Selección V-ring Tapa Inferior .....	92
Figura 5.21 Ficha técnica Cojinete Fricción PCZ 4848 E SKF .....	93

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Receta de salmuera .....	6
Tabla 2.1 Factores de influencia para la selección de la mejor alternativa. ....	13
Tabla 2.2 Matriz de opciones de alternativas.....	13
Tabla 2.3 Matriz de selección para tanque mezclador de salmuera .....	14
Tabla 2.4 Matriz de selección para Sistema de Filtrado de salmuera por regenerar .	14
Tabla 2.5 Matriz de selección para instrumentación en Sistema de Regeneración ...	15
Tabla 2.6 Masa de salmuera almacenada y tiempo de llenado. ....	37
Tabla 3.1 Dimensiones geométricas tanque mezclador .....	40
Tabla 3.2 Dimensiones geométricas tapa elíptica.....	41
Tabla 3.3 Cargas y fuerzas externas aplicadas en hélice y eje .....	42
Tabla 3.4 Dimensiones del eje y hélice del tanque agitador .....	43
Tabla 3.5 Dimensiones del suple y pin axial .....	44
Tabla 3.6 Datos eléctricos Motor IE2 – 60 Hz.....	46
Tabla 3.7 Datos eléctricos Reductor NRG 40-L.....	46
Tabla 3.8 Datos Acople Flexible .....	46
Tabla 3.9 Soporte Superior Axial .....	47
Tabla 3.10 Soporte Inferior Auto lubricante .....	47
Tabla 3.11 Temperatura de equilibrio térmico entre la salmuera filtrada y la de renovación .....	49
Tabla 3.12 Dimensionamiento serpentín de enfriamiento.....	50
Tabla 3.13 Costo de producción salmuera por lb de camarón situación actual .....	54
Tabla 3.14 Costo de producción salmuera por lb de camarón situación propuesta...	55
Tabla 3.15 Análisis de Inversión inicial sistema propuesto .....	56
Tabla 5.1 Volumen salmuera regenerado total .....	64

## ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Tanque mezclador
- PLANO 2 Estructura motor
- PLANO 3 Estructura externa

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Definición del Problema

Actualmente en la industria camaronera, se ha vuelto clave el uso de la sustancia salmuera, como actor principal en la línea de congelación del marisco, debido a que esta solución ofrece beneficios relevantes que son de gran valor para el empresario y para el consumidor. La salmuera es una mezcla de agua, sal y azúcar cuya elaboración requiere un seguimiento riguroso, por tal motivo, una mala preparación incide en el desperdicio de los ingredientes que conforman la mezcla, elevando el costo de producción.

Además, debido a que esta sustancia interactúa de manera directa con el camarón hace que este juegue un papel importante en la inocuidad del alimento, por ende, su mal manejo pone en peligro no solo **aspectos económicos** de la organización; también involucra la **salud** del consumidor y desde cierto punto de vista afecta al **medio ambiente** dependiendo de las condiciones en que es desechada al desagüe luego de su uso.

### 1.2 Justificación del proyecto

Cada empacadora de camarón posee su propia receta para la elaboración de salmuera. En cada formulación varían tanto las concentraciones de los solutos principales (sal y azúcar), como de los compuestos adicionales (ácido cítrico y antiespumante) que brindan propiedades para evitar la proliferación de hongos y grandes capas de espuma en la superficie del fluido. La discrepancia de las porciones de los solutos empleados produce que el costo de elaboración varíe entre 2 y 10 centavos por cada libra de camarón procesada; Rango referencial obtenido por investigación propia. Teniendo en cuenta la gran demanda internacional del camarón y por ende los grandes volúmenes de producción de cada empacadora, se estima que el costo monetario diario para la elaboración de esta mezcla asciende a valores significativos.

Posterior al proceso de congelación, la salmuera restante contiene altos niveles de acidez, factor que dificulta su tratamiento previo al desecho en los grandes cuerpos de agua. Esta característica posee un impacto ambiental debido a que, en el caso de no tener una planta de tratamiento de aguas residuales adecuada, se corre el riesgo de introducir una sustancia con parámetros no aptos hacia el ecosistema.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema que permita recolectar, regenerar y reutilizar salmuera usada, en futuros procesos de congelación, con la finalidad de optimizar los recursos empleados en la elaboración de la sustancia.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Diseñar un sistema de filtración mecánica que permita separar partículas indeseables de la salmuera recolectada.
2. Diseñar un sistema mecánico para agitar la salmuera recolectada con la finalidad de mantener en suspensión los solutos que conforman la mezcla durante el tiempo de almacenamiento.
3. Diseñar un sistema de refrigeración que me permita mantener la temperatura de conservación de la salmuera recolectada con la finalidad de minimizar la proliferación de bacterias durante el tiempo de almacenamiento.
4. Seleccionar un sistema hidráulico que me permita regenerar la salmuera recolectada por medio de la dosificación de salmuera virgen con la finalidad de recuperar sus propiedades físicas a tal punto de obtener parámetros aptos para su reutilización y a su vez transportar la sustancia a los diversos puntos de interés.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Importancia de congelar el camarón**

Los alimentos pueden deteriorarse ya sea por la presencia de microorganismos tales como bacteria, levaduras y mohos que provienen de una higiene no adecuada o por medio de reacciones de origen biológico y bioquímico tales como la oxidación el cual degrada el aspecto y el sabor del producto cuando se expone al oxígeno del aire dándole un sabor rancio (Inungaray & Munguía, 2014). Estas reacciones son aceleradas por el calor y, por ende, disminuir la temperatura del producto por arriba de los 0°C, es uno de los métodos de conservación más utilizados en la industria ya que retarda la actividad enzimática de los microorganismos. Sin embargo, si llevamos al producto a temperaturas negativas inferiores a -18°C, detenemos el desarrollo de estos agentes indeseables dándole al alimento un tiempo de vida útil de varios meses.

### **1.4.2 Procesos de congelamiento del camarón**

El agua cuando se congela se expande por debajo de los 4°C por lo tanto cuando congelamos el producto, el agua en el interior del marisco se expande dañando la integridad física de los tejidos del camarón.

A nivel celular se dañan las paredes que contienen el fluido intercelular. Es decir, se libera el citoplasma (líquido o sopa de nutrientes) que permiten mantener las condiciones actuales de los tejidos y a su vez de los músculos del animal. Por ende, al descongelar el alimento la ruptura de las paredes celulares permite que este líquido gotee por fuera del producto lo que implica una degradación en su carne, dando una apreciación sensorial negativa en el consumidor.

El nivel de daño celular generado por la congelación depende del tamaño de los cristales de hielo que se formaron en el interior del alimento. La velocidad con la que congelamos es de vital importancia, ya que un congelamiento lento limita el número de nucleaciones que dan origen a los cristales (Hervé, 2017) y permite que los pocos cristales que se generaron crezcan tanto como sean posibles deformando y dañando la estructura

celular del producto, mientras que un congelamiento rápido da paso a la creación de múltiples núcleos limitando el crecimiento de cada núcleo obligándolos a reagrupándose en el espacio sin generar un daño celular significativo.

En resumen, el congelado realizado de manera rápida permite detener los procesos microbianos del producto, conservándolo por un periodo considerablemente largo, manteniendo las cualidades originales del mismo o en su defecto presenta cambios insignificantes y la mayor frescura posible, cualidades que son apreciados por un mercado exigente. (Hervé, 2017)

#### **1.4.3 Beneficio del empleo de sustancias acuosas en sistemas de congelación**

Las sustancias acuosas presentan coeficientes globales de transferencia de calor mayores a otras sustancias usadas para enfriar alimentos. Su valor es alrededor de  $900 \frac{W}{m^2 K}$ , lo cual es superior al del aire en un factor de 50 veces e inclusive es 9 veces mejor que las sustancias criogénicas. Esto significa que es más fácil para las sustancias acuosas transferir el calor de un cuerpo a otro. (Hervé, 2017)

#### **1.4.4 Proceso de congelamiento por medio de sustancia salmuera**

Una solución acuosa es aquella que está conformada por agua en mayor porcentaje. Por lo tanto, se concluye que dicha sustancia se solidifica a 0°C. Un dilema puesto que, para congelar al marisco es necesario sumergirlo o bañarlo con dicha mezcla, algo imposible si se encuentra en estado sólido. Además, para conservar el camarón, esta mezcla debe encontrarse a -18°C, con la finalidad de que la temperatura del camarón baje hasta -15 °C y posteriormente hasta -18°C en una segunda etapa de refrigeración por aire. La solución es usar salmuera, el cual es una mezcla eutéctica cuyo soluto es la sal. Al agregar sal en agua, forzamos a que el punto de solidificación del agua se sitúe por debajo de los 0°C. (Hervé, 2017)

En un diagrama de fase binario, se denomina al punto eutéctico a aquel punto en donde las concentraciones de ambos compuestos que forman la mezcla son tales que permiten alcanzar la temperatura más baja de solidificación. Al 22% de sal, la salmuera posee una densidad de 1.170 kg/m<sup>3</sup> y se comporta como una mezcla pura sólida a -21.2 °C, siempre que la mezcla se haga a temperatura ambiente. Mientras menor sea la cantidad de sal, la temperatura de solidificación de la mezcla se acerca a los 0°C. Presentando una mezcla de salmuera líquida más hielo. Mientras mayor sea la cantidad de sal, la mezcla genera partículas sólidas a temperaturas por arriba de los °C, presentando salmuera con sal sólida.

Al limitar el porcentaje de sal en el punto eutéctico, podemos enfriar la salmuera hasta -20°C y al ponerlo en contacto con el camarón. El delta temperatura del camarón a la entrada y salida del 2do proceso de congelación es relativamente pequeño, lo que implica que el tiempo de congelado se reduzca drásticamente hasta 30 minutos aproximadamente. Si el camarón no hubiera pasado por el baño de salmuera, sino por un proceso alterno de congelación ya sea por placas o aire, este se hubiera enfriado a temperaturas positivas, dificultando el segundo proceso de congelación ralentizándolo hasta 2 horas.

#### **1.4.5 Preparación y parámetros de operación de la sustancia salmuera**

Además de la sal, algunas empresas utilizan azúcar en la formulación de la salmuera ya que proporciona las siguientes propiedades:

La azúcar es más densa que la sal, por lo tanto, cuando cierta cantidad de volumen de salmuera se vierta sobre el producto, las partículas de sal se asentarán sobre la cascara del camarón formando una barrera protectora que impida que la sal sea absorbida en grandes cantidades por la carne del marisco.

Dicha capa pegajosa de azúcar sobre el marisco le da un brillo único al camarón que le brinda estética al producto.

y finalmente actúa en conjunto con la sal para disminuir el punto de fusión de la mezcla.



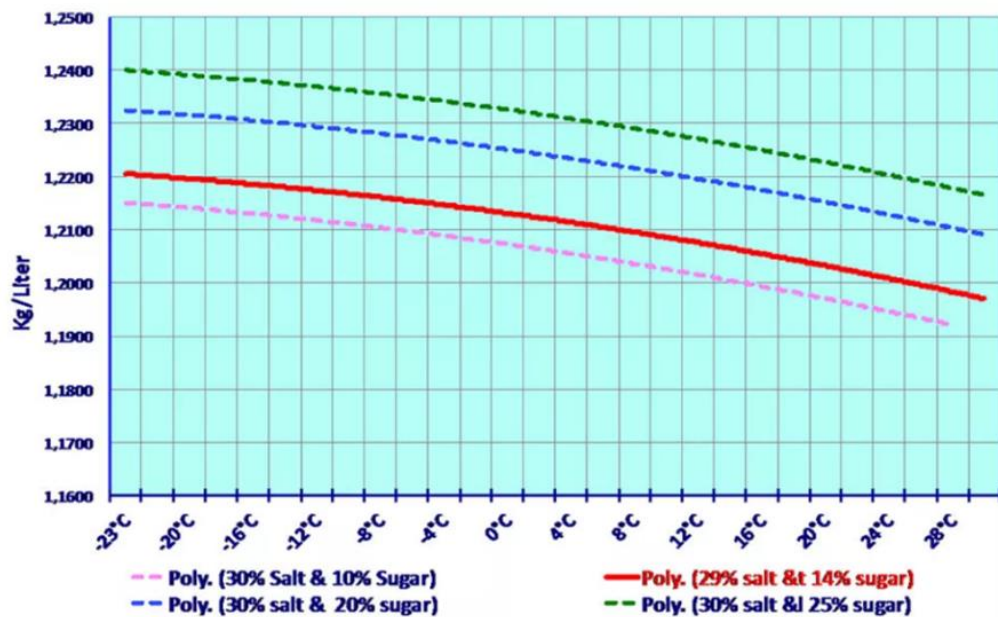
Las concentraciones de sal y azúcar en agua dependen del proceso y de la temperatura de fusión que se desee alcanzar.

La mezcla debe realizarse a temperatura ambiente. Estos valores varían considerablemente dependiendo de la temperatura. Algo que deberá ser monitoreado constantemente.

**Tabla 1.1 Receta de salmuera**

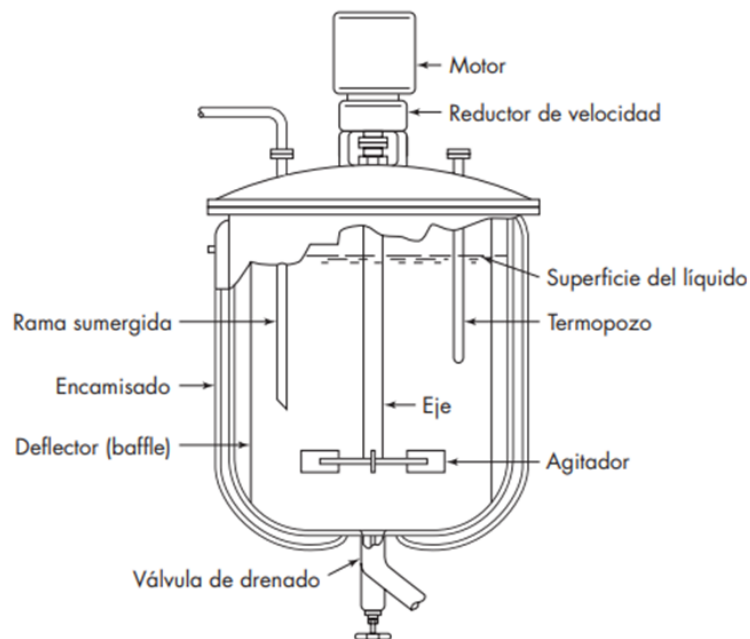
Fuente: Elaboración propia

Receta de la salmuera				
Insumos	Agua	Sal	Azúcar	Densidad
Porcentajes de la mezcla	52%	26%	22%	26 grados Baumé



**Figura 1.1 Densidad de la salmuera vs temperatura de congelación para diferentes concentraciones de sal y azúcar (Hervé Lucien-Brun, 2017)**

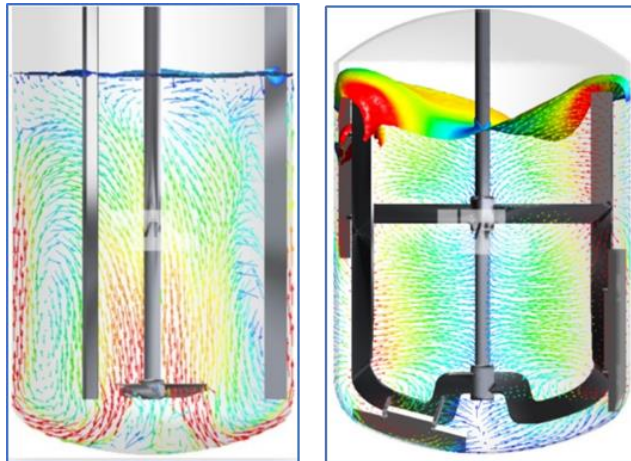
### 1.4.6 Sistema de agitación de fluidos



**Figura 1.2: Vista general de un tanque de agitación mecánica (McCabe, W. L., Smith, J., & Harriot, P, 2007)**

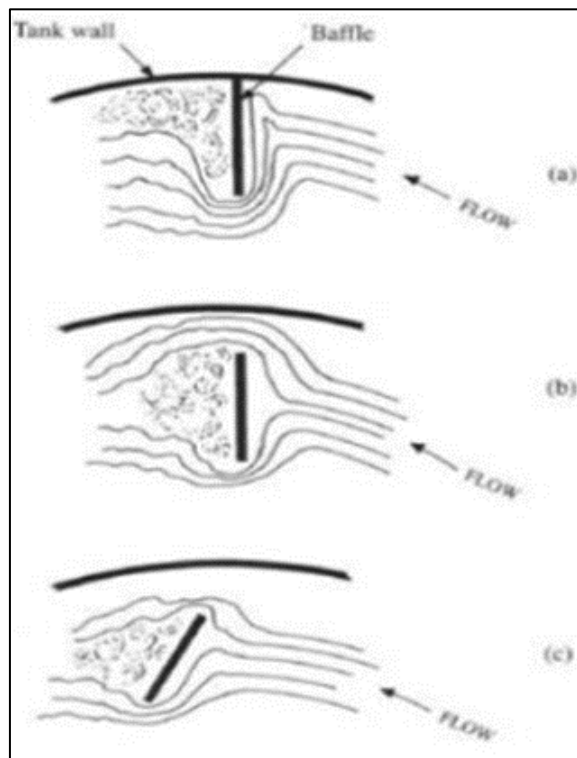
Son sistemas que suministran trabajo por medio de una flecha mecánica a un fluido dentro de un contenedor. De manera general los componentes que lo conforman son:

- 1) El motor quien suministra la energía de agitación.
  - 2) El eje o flecha quien transmite la energía hacia el propulsor
  - 3) El propulsor quien induce un movimiento determinado de las líneas de flujo dentro del tanque.
- Propulsor axial: este tipo de agitador induce un movimiento vertical por lo general en dirección paralela a la flecha del motor.
  - Propulsor radial: este tipo induce un movimiento en dirección perpendicular al eje desde el centro de la flecha hacia las paredes del tanque.
  - Propulsor tangencial: Este movimiento por lo general es indeseado ya que el líquido actúa como un sólido en revolución, ni agita, ni mezcla solo gira.



**Figura 1.3 Imagen Izquierda) Líneas de flujo axial. Derecha) Líneas de flujo radial (VAK KIMSA)**

- 1) Los deflectores son elementos de forma rectangular soldadas o empernadas en la pared interior del tanque cuya función es la de generar turbulencia y evitar la creación de remolinos en la periferia del eje y propulsor de manera análoga con las bombas son aquellos quienes evitan que el propulsor cavite.



**Figura 1.4 Diferentes configuraciones de los deflectores (Doran, 1995)**

- 2) El encamisado permite enfriar o calentar el interior del tanque puesto que es un compartimiento por el cual un fluido de trabajo puede recorrer.
- 3) Un termo pozo es un ducto por el cual se puede introducir una termocupla para evaluar la temperatura del fluido.
- 4) Tuberías de admisión y descarga son ductos por medio del cual el líquido puede entrar o salir del tanque.

#### **1.4.7 Sistema de filtrado parámetros de regeneración de sustancia salmuera**

Un sistema de congelación por aspersion de salmuera consiste en un tanque cuyo interior está conformado por intercambiadores de calor tipo placas para enfriar la solución que se almacena en dicho contenedor. A continuación, por medio de un motor impulsor se desplaza dicha sustancia hacia unas duchas con el fin de rociarlo sobre el camarón que cruza a través del congelador gracias a bandas transportadoras, finalmente la solución rociada vuelve al tanque. En este proceso la salmuera que interactúa con el camarón se contamina al arrastrar material orgánico tales como bigotes, cascara e inclusive al propio marisco. Paulatinamente la sustancia contaminada pierde propiedades físicas lo cual obliga a desechar la solución. Por tal motivo antes de enviar la salmuera a regenerar es necesario que pase por un sistema de filtrado en el cual queden retenidos todos estos elementos que pueden acelerar la proliferación de bacterias y acabar rápidamente con la vida útil de la salmuera. La filtración mecánica consta de una malla perforada con diámetros pequeños por lo general del orden de  $10^{-3}$  m que me permite el paso del flujo de salmuera, pero retiene el paso de la basura orgánica. Existen diferentes formas de realizar esta separación entre los cuales sobresale los tamices estáticos y rotatorios.



**Figura 1.5 A la izquierda un tamiz rotativo y a la derecha un tamiz estático  
(Prowater, 2008)**

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Parámetros de producción actual

Para satisfacer la demanda de producto, la empresa cuenta con 3 congeladores en los que su capacidad de producción es de  $88000 \frac{[lb]}{día}$  en cada congelador de los cuales se desecha  $0.3 \text{ m}^3$  de salmuera cada hora hacia la planta de tratamientos y requiere de  $0.8 \text{ m}^3$  de salmuera para reposición durante las 20 horas laborable. Es decir que diariamente se bota  $18 \text{ m}^3$  de salmuera y se producen  $48 \text{ m}^3$  adicionales.

Tabla 2.1 Detalle volumen salmuera descargado y por recargar en 20 h laborales.

Congelador	DESCARGA		REPOSICIÓN	
	No. Descargas en 20h laborales	Volumen descargado en 20h laborales [m3]	No. Recargas en 20h laborales	Volumen recarga en 20h laborales [m3]
1	20	6	20	16
2	20	6	20	16
3	20	6	20	16
<b>TOTAL</b>	<b>60</b>	<b>18</b>	<b>60</b>	<b>48</b>

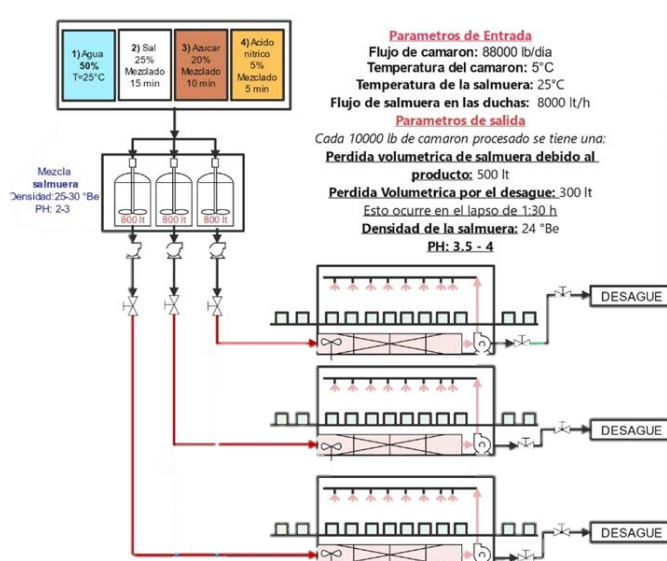


Figura 2.2 Diagrama de flujo proceso actual en congelamiento de camarón

### 2.1.1 Diagrama de Flujo de Proceso actual

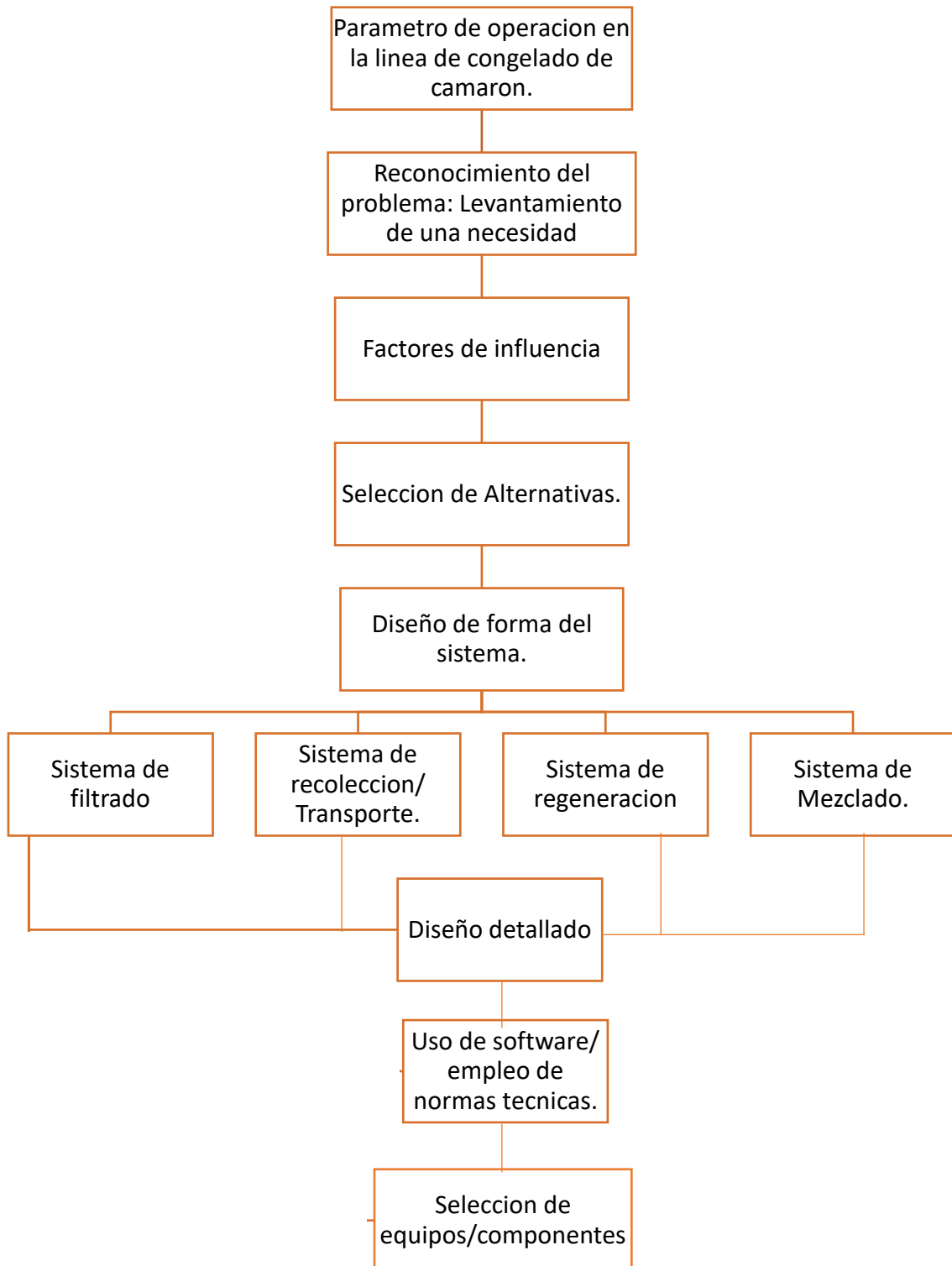


Figura 2.1 Diagrama de flujo de la metodología utilizada.

## 2.2 Selección de Alternativas

### 2.2.1 Factores de Influencia para el Diseño

**Tabla 2.1 Factores de influencia para la selección de la mejor alternativa.**

CRITERIO DE EVALUACIÓN	DESCRIPCIÓN
Montaje e instalación	Ensamblaje en menor número de pasos
Operación	Facilidad para el trabajador de operar el sistema
Seguridad	Mínimo riesgo durante la operación del sistema
Mantenimiento	Menor número de actividades y baja complejidad para realizar el mantenimiento

### 2.2.2 Propuesta del sistema de mezclado

Para determinar los compuestos del sistema de mezclado, se presentó 4 propuestas en 7 parámetros principales.

**Tabla 2.2 Matriz de opciones de alternativas**

PARÁMETROS	ALTERNATIVA			
	#1	#2	#3	#4
POSICIÓN DEL EJE	Vertical – centrado	Vertical – no centrado	Horizontal	Inferior inclinado
TIPO DE AGITADOR	Turbinas Inclínada 45°	Hélice	Turbina áncora	Turbina disco
NO. AGITADORES	2 iguales	2 iguales	2 diferentes	2 diferentes
FONDO DEL TANQUE	Elíptico	Cónico	Plano	Inclinado
SISTEMA MOTRIZ	Acople elástico	Poleas	Piñones	Lovejoy
NO. ALERONES	4	2	3	4
TIPOS DE ALERONES	Placa Uniforme	Placa Perforada	Placa Uniforme	Placa Uniforme



## Ponderación de criterios

**Tabla 2.3 Matriz de selección para tanque mezclador de salmuera**

CRITERIOS	PESO	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3		ALTERNATIVA 4	
		Nota Parcial	Total	Nota Parcial	Total	Nota Parcial	Total	Nota Parcial	Total
MONTAJE E INSTALACIÓN	30%	5	1.5	3	0.9	2	0.6	2	0.6
OPERACIÓN	15%	5	0.75	3	0.45	3	0.45	3	0.45
SEGURIDAD	15%	4	0.6	4	0.6	3	0.45	3	0.45
MANTENIMIENTO	40%	5	2	4	1.6	3	1.2	4	1.6
<b>SUMA TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>4.85</b>		<b>3.55</b>		<b>2.7</b>		<b>3.1</b>	

### 2.2.3 Propuesta para el Sistema de Filtrado

Para el sistema de filtrado se ha evaluado 2 opciones:

1) Un tamiz estático

Equipo cuyo funcionamiento consiste en un fluido atravesando por la superficie del tamiz donde se produce la separación de los sólidos en la malla y el paso del fluido a una cubeta de contención

2) Un tamiz rotativo

Su funcionamiento consiste en un tamiz rotativo el cual retiene sólidos en su superficie los cuales son retirados con una cuchilla mientras se produce el movimiento rotativo.

**Tabla 2.4 Matriz de selección para Sistema de Filtrado de salmuera por regenerar**

CRITERIOS	PESO	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2	
		Nota Parcial	Total	Nota Parcial	Total
MONTAJE E INSTALACIÓN	30%	5	1.5	4	1.2
OPERACIÓN	15%	5	0.75	4	0.6
SEGURIDAD	15%	4	0.6	3	0.45
MANTENIMIENTO	40%	5	2	1	0.4
<b>SUMA TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>4.85</b>		<b>2.65</b>	

## 2.2.4 Propuesta para el Sistema de Regeneración

La propuesta consiste en determinar las concentraciones de la salmuera filtrada y en base a ello proceder a realiza una solución nueva con dichas concentraciones para que al mezclarlas poder recuperar las propiedades físicas originales. Las mediciones de los parámetros son manuales y requieren intervención humana e instrumentación. El criterio de selección es exactitud en lectura de propiedades.

Para la instrumentación se ha evaluado 4 opciones:

- 1) Refractómetro de sal y azúcar
- 2) Densímetro
- 3) Sensor de nivel
- 4) PH metro

**Tabla 2.5 Matriz de selección para instrumentación en Sistema de Regeneración**

CRITERIOS	PESO	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3		ALTERNATIVA 4	
		Nota Parcial	Total	Nota Parcial	Total	Nota Parcial	Total	Nota Parcial	Total
EXACTITUD EN LECTURA DE PROPIEDADES	100%	5	1.5	3	0.9	2	0.6	2	0.6
<b>SUMA TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>7.5</b>		<b>2.7</b>		<b>1.2</b>		<b>1.2</b>	

## 2.3 Descripción de la Alternativa Seleccionada

### 2.3.1 Sistema de Mezclado

#### 2.3.1.1 Dimensionamiento Tanque de Mezclado

De los diversos métodos de mezclado descritos en la sección 2.2.2 se escogió como alternativa la construcción de un tanque mezclador conformado por un eje vertical superior centrado, con 4 turbinas de paletas inclinadas a 45°, 2 agitadores turbinas iguales ubicadas en el mismo eje y con 4 alerones placa uniforme recta.

Para el dimensionamiento del tanque mezclador se empleó como guía los datos de propiedades termo-físicas establecidas en el artículo 'USO DE SALMUERA PARA CONGELAR CAMARÓN' (Hervé, 2017)

**Tabla 2.7 Datos teóricos propiedades termo-físicas de la salmuera**

Mass of salt in % per 100 kg of water	Density at 25°C [kg/m <sup>3</sup> ]	Viscosity [Pa*s]	Freezing point
29%	1260	0.37	-21.2 °C

Como punto de partida se calculó el volumen total del tanque de mezclado, este incluye volumen de salmuera desechadas más salmuera concentrada para regeneración, para ello se empleó la siguiente relación (2.1)

$$\begin{aligned} \text{Volumen tanque mezclador total} & & (2.1) \\ &= \text{Volumen salmuera desechada} \\ &+ \text{Volumen salmuera concentrada} \end{aligned}$$

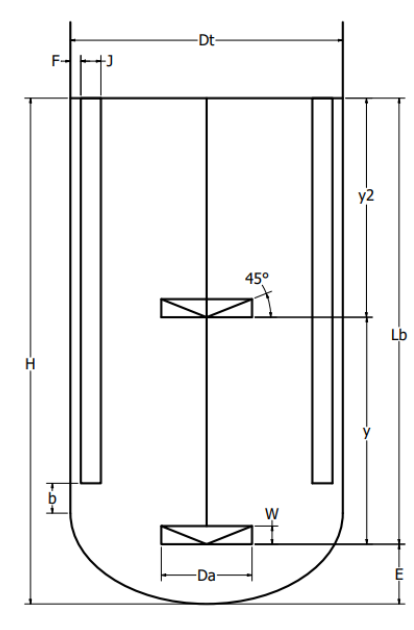
La selección de número de impulsores y la distribución geométrica de estos dependerá de la viscosidad del fluido a mezclar (Universidad Abierta y a distancia de Mexico UnADM)

**Tabla 2.8 Relaciones para ubicación del agitador**

Viscosidad [cP]	Nivel Max. H/Dt	No. Impulsores	Ubicación hélice desde el fondo	Ubicación hélice desde el nivel superior
$> 25 * 10^3$	1.4	1	H/3	---
$> 25 * 10^3$	2.1	2	$D_t/3$	$(2/3) H$
$< 25 * 10^3$	0.8	1	H/3	---
$< 25 * 10^3$	1.6	2	$D_t/3$	$(2/3) H$

(UnADM)

Para el cálculo de parámetros geométricos y especificaciones técnicas se empleó estándares recomendados establecidos en el capítulo 'AGITACIÓN Y MEZCLA DE LÍQUIDOS' (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

	Relaciones dimensionales tanque hélices inclinadas.			
	$\frac{H}{D_t} = 1.6$	$\frac{E}{D_t} = \frac{1}{2}$	$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{10}$	$L_B = \frac{5}{6}H$
	$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3}$	$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$	$\frac{f}{D_t} = \frac{1}{50}$	$\alpha = 45$
$V_{\text{tanque}} = \frac{\pi * D_t^2 * H}{4}$	$y = \frac{1}{2}H$	$y_2 = \frac{H}{3}$	$b = \frac{D_a}{2}$	

**Figura 2.3 Relaciones dimensionales tanque hélices inclinadas (McCabe, W. L., Smith, J., & Harriot, P, 2007)**

Para el cálculo del espesor de cuerpo del tanque se toma como guía la normativa ASME VIII DIV1 para diseño de tanques a presión.

### 2.3.1.2 Eje Mezclador y Hélices

Para obtener una solución homogenizada se requiere que la turbulencia del fluido logre gradientes considerables de velocidad en la salmuera, de esta forma la sustancia será dirigida adecuadamente garantizando un proceso de agitación eficaz (Uribe, 2013). La turbulencia consume energía, por ende, es vital conocer la potencia consumida del sistema, esta dependerá del número de Reynolds y número de potencia del sistema.

Con el número de Reynolds (Re) se determina la turbulencia del fluido dependiendo de su densidad y viscosidad.

$$Re = \frac{N_a D_a^2 \rho_s}{\mu_s} \quad (2.2)$$

Donde:

$N_a$  = Velocidad de rotación recomendada [rps]

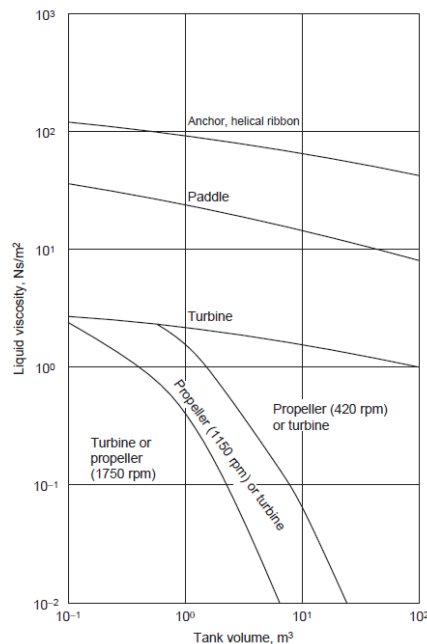
$D_a$  = Diámetro del eje agitador [m]

$\rho_s$  = Densidad de la salmuera [kg/m<sup>3</sup>]

$\mu_s$  = Viscosidad de la salmuera [Pa\*s]

El número de Reynolds determina el régimen del fluido de acuerdo con los siguientes rangos

- Régimen laminar:  $Re < 10$
- Régimen transitorio:  $300 < Re < 10000$
- Régimen turbulento:  $Re > 10000$

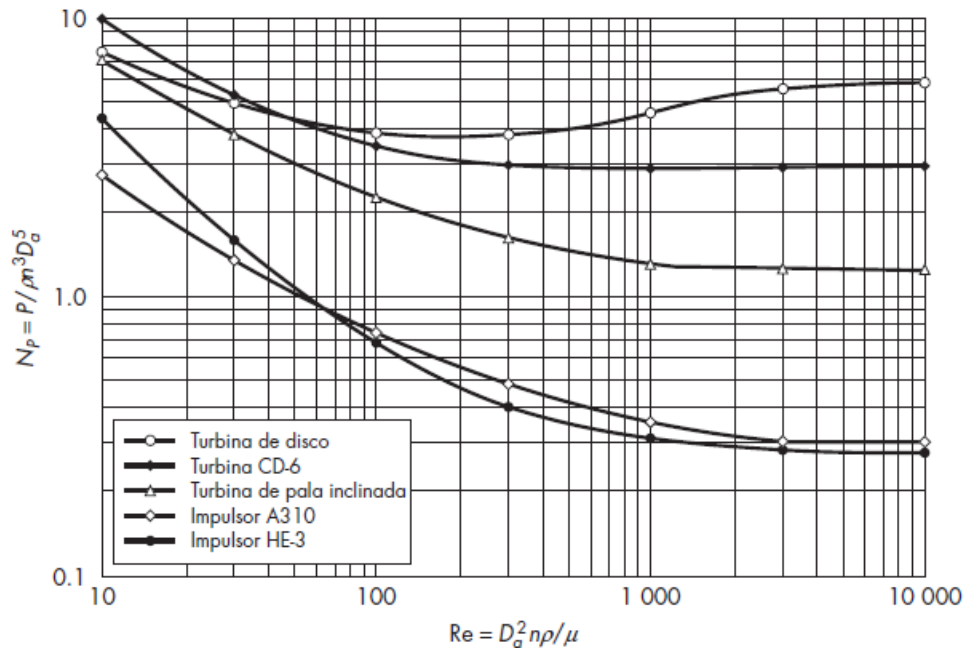


**Figura 2.4 Selección de tipo de agitador y velocidad de operación recomendada. (Towler, G., & Sinnott, R, 2014)**

La velocidad de rotación del eje se determinará de acuerdo con la curva de selección del agitador (Towler & Sinnott, 2014), dicha curva identifica el tipo de agitador adecuado dependiendo del volumen y viscosidad del fluido a tratar.

El número de Potencia ( $N_p$ ) es adimensional y establece el esfuerzo necesario del impulsor para vencer la fricción generada entre el fluido de

movimiento y la superficie del tanque. En tanque con placas deflectoras, con Numero de Reynolds superior a 10 000, el  $N_p$  es constante.



**Figura 2.3 Número Potencia vs Número Reynolds para turbinas de alta eficiencia (Towler, G., & Sinnott, R., 2014)**

La potencia requerida para el proceso de agitación se calcula mediante la siguiente relación:

$$P_{\text{impulsor}} = N_p N_a^3 D_a^5 \rho_s \quad (2.3)$$

Si el eje consta de 2 turbinas separadas con una distancia igual o mayor al diámetro del impulsor, la Potencia consumida total por el eje será de 1.9 veces a la potencia por un impulsor (Angeles, 2018)

$$P_T = 1.9 P_{\text{impulsor}} \quad (2.4)$$

### Velocidad lineal punta de la hélice

La velocidad lineal de la punta de la hélice es la velocidad transmitida al fluido para la agitación.

$$V_a = \frac{Q_a}{\frac{\pi}{4} * D_a^2} \quad (2.5)$$

$Q_a$  corresponde al caudal generado por el impulsor

$$Q_a = N_Q N_a D_a^3 \quad (2.6)$$

Donde  $N_q$  corresponde al número de flujo

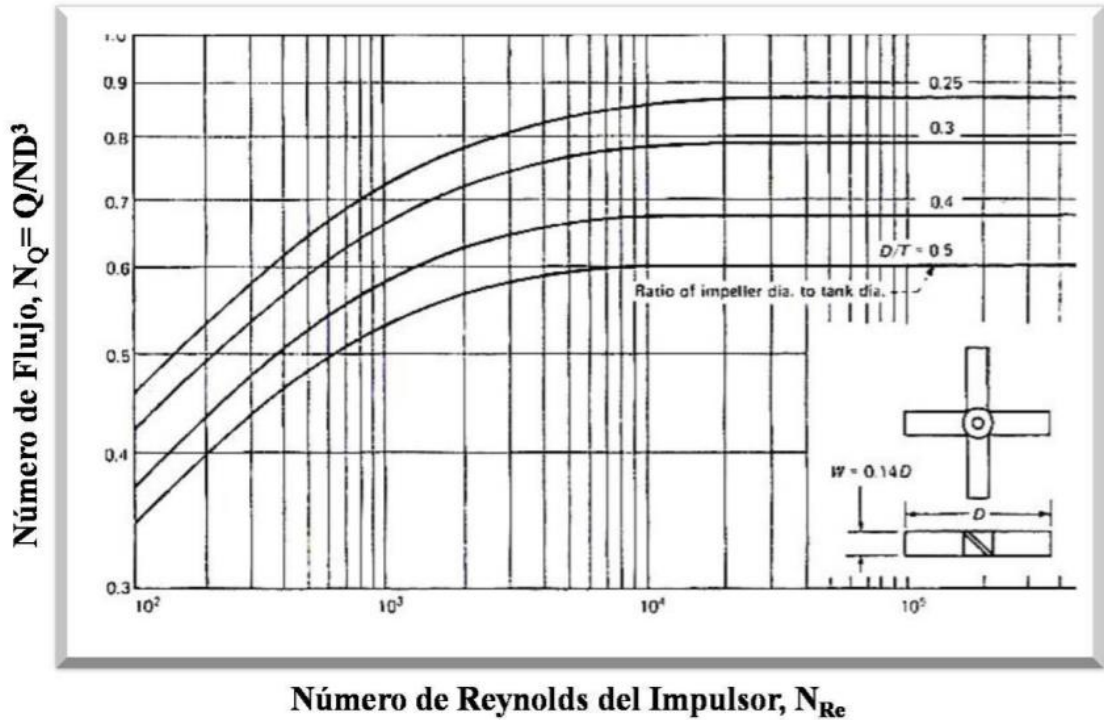


Figura 2.4 Curva de  $N_{re}$  vs  $N_q$  dependiendo de la relación diámetro impulsor y diámetro tanque (McCabe, W. L., Smith, J., & Harriot, P, 2007)

### Material eje agitador y hélices

Todo elemento estructural que tenga contacto directo con un alimento deberá ser de acero inoxidable.

Tabla 2.9 Propiedades mecánicas Acero Inoxidable 304

Propiedades Acero Inoxidable 304			
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Esfuerzo Fluencia $S_y$ [MPa]	Esfuerzo Tracción $S_{ut}$ [MPa]	Elongación [%]
7930	241	586	40

(Norton, R. L, 2011)

## Análisis de cargas y fuerzas exteriores en hélices y eje agitador

El eje agitador durante el proceso de mezclado está sometido a fuerzas y cargas exteriores, estas fuerzas están divididas en tres secciones, las cargas que actúan en el impulsor o hélice, Fuerza axial del eje y Torque que actúa en el impulsor. (SEW Eurodrive, 2018)

### - Cargas que actúan en el Impulsor

#### o Fuerza Ejercida por la Presión

Ejercida por la presión generada por la salmuera, varía en magnitud de acuerdo con la variación de altura de la hélice con respecto al nivel del fluido. Se lo calcula con la siguiente ecuación

$$F = P * A_{\text{impulsor}} \quad (2.7)$$

Donde:

$A_{\text{impulsor}}$  = Área total superficie de las hélices

$$A_{\text{impulsor}} = \# \text{ Paletas} * A_{\text{sup}_{\text{aspa}}} \quad (2.8)$$

Presión es calculada

$$P = P_{\text{atm}} + \rho_s * g * h \quad (2.9)$$

Donde h hace referencia a la distancia entre el nivel del fluido y el punto a estudiar (Hélices).

#### o Fuerza Hidrodinámica

Se genera por la interacción de la hélice con el fluido en movimiento, está compuesta por dos cargas, la de sustentación y de arrastre. La fuerza de arrastre posee un efecto de elevar al impulsor. Esta carga actúa en dirección perpendicular a la velocidad del fluido y la de arrastre es paralela al fluido, su efecto es impedir rotación en el eje agitador.

$$F_H = C_H * A_{\text{impulsor}} * \rho_s * v_a^2 \quad (2.10)$$

Donde:

$C_H$  = Coeficiente de arrastre

$v_a^2$  = Velocidad en la punta del aspa



El coeficiente de arrastre en impulsores puede ser considerado similar al Número de Potencia, para flujos en régimen turbulento. (Orozco, 2010)

$$C_H = N_P \quad (2.11)$$

- Fuerza axial del eje

o Fuerza de empuje

Los elementos sumergidos sufren una fuerza que evita que el cuerpo se siga sumergiendo en el fluido, esta carga se encuentra empujando el elemento en dirección opuesta al peso del cuerpo y su magnitud es:

$$F_e = \rho_s * g * (\forall_{helice} + \forall_{eje})_{sumergido} \quad (2.12)$$

Donde Volumen de hélice y eje sumergido está definido por la ecuación

$$\forall_{Helice} = \#_{paletas} * W * L * e_{impulsor} \quad (2.13)$$

$$\forall_{eje} = \frac{\pi}{4} * D_e^2 * L_b \quad (2.14)$$

o Peso

Fuerza ejercida por la acción de la gravedad debido a la masa del eje

$$W_{eje} = m_{eje} * g \quad (2.15)$$

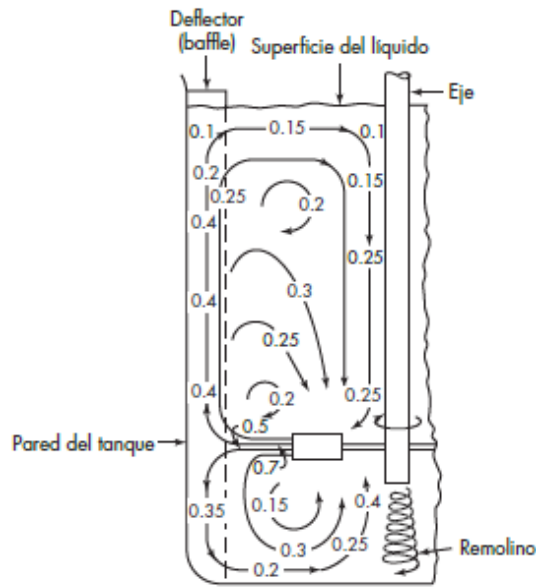
$$m_{eje} = \rho_a * (\forall_{eje} + \forall_{Helice}) \quad (2.16)$$

o Fuerza de impulsión

Durante la operación del agitador, este bombea cierto volumen en la dirección axial. Por 3era ley de Newton el fluido genera una reacción sobre el propulsor en sentido contrario (elevando el eje) y de magnitud:

$$F_i = \#_{helices} * \frac{\rho_s * \pi * \left(\frac{D_a}{2}\right)^2}{2} * (v_a^2 - v_{entrada}^2) \quad (2.17)$$

Se emplea la Figura , para obtener la velocidad de entrada del fluido a la hélice. (McCabe, Smith, & Harriot, 2007)



**Figura 2.5 Patrones de velocidad de un agitador de turbina (Couper, J., Penney, W., Fair, J., & Walas, S, 2005)**

- Torque sobre eje

El movimiento del eje agitador genera esfuerzos que producen un momento par sobre el eje.

$$T = \frac{P_T}{\omega} \quad (2.18)$$

Donde

$\omega$  = Velocidad angular [rad/s]

**Diseño de hélice de eje agitador por Fatiga**

Diseño de hélice por Esfuerzo permisible

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_{falla}}{F.S} \quad (2.19)$$

$$S_{req} = \frac{M_{max}}{\sigma_{perm}} \quad (2.20)$$

Momento de Inercia para una sección rectangular

$$S_{aspa} = \frac{W * e^2}{6} = S_{req} \quad (2.21)$$

### Diseño de fatiga para un eje agitador por Von Mises/Goodman

Diseñar un elemento que soporte cargas que varían, nos permite que el objeto no alcance esfuerzo máximo que conllevan a la rotura de la pieza (Lozano Salas, 2016).

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_y} = \frac{1}{F.S} \quad (2.22)$$

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2} \quad (2.23)$$

$$\sigma'_m = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_{m\text{axial}})^2 + 3\tau_m^2} \quad (2.24)$$

### Esfuerzos Von Mises

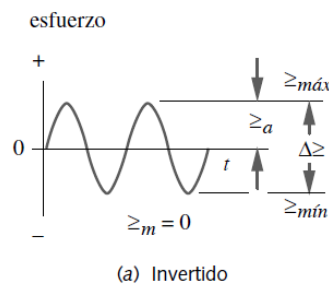


Figura 2.6 Esfuerzo variante – ciclo de carga invertida (Norton, R. L, 2011)

- Tracción

$$\sigma_{m.\text{axial}} = k_{fm} \frac{4 F_{\text{axial}}}{\pi d^3} \quad (2.25)$$

- Flexión:

$$\sigma_a = k_f \frac{32 M_a}{\pi d^3} \quad (2.26)$$

$$\sigma_m = k_{fm} \frac{32 M_m}{\pi d^3} = 0$$

- Torsión:

$$\tau_a = k_{fs} \frac{16 * T_a}{\pi * d^3} = 0 \quad (2.27)$$

$$\tau_m = k_{fsm} \frac{16 * T_m}{\pi * d^3}$$

Los coeficientes de concentradores de esfuerzos se determinan en base al radio de la muesca establecido.

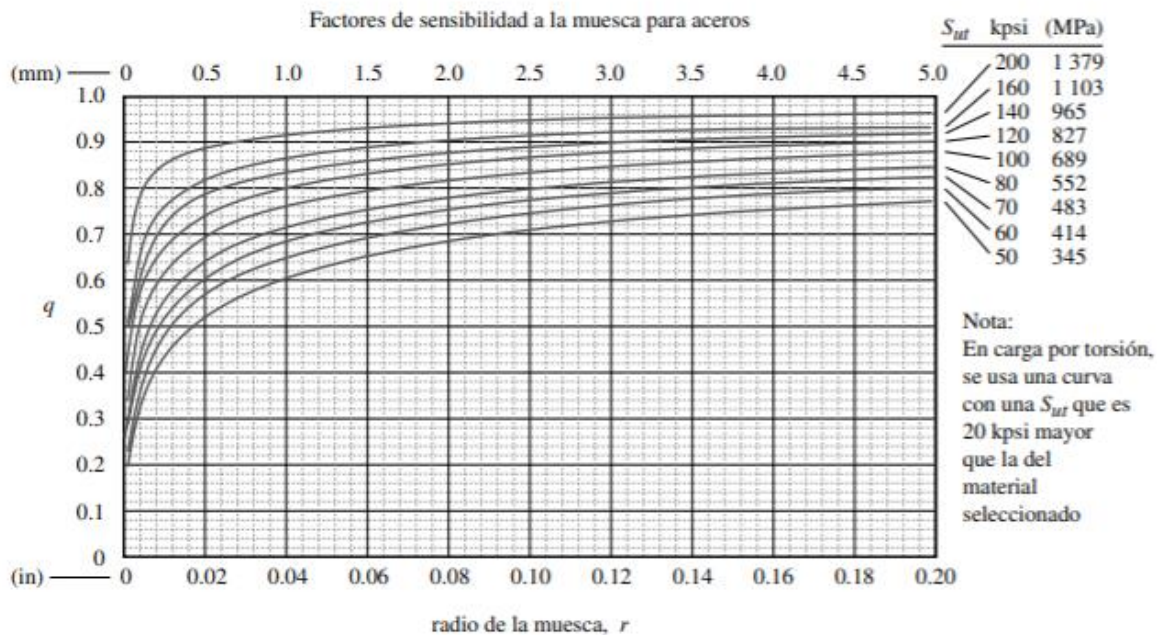


Figura 2.7 Curva de sensibilidad a la muesca para aceros (Norton, R. L, 2011)

Límite de resistencia corregido  $S_e$

$$S_e = C_{CA} * C_{TA} * C_{TE} * C_{su} * C_R * S_e' \quad (2.28)$$

aceros:

$$\left\{ \begin{array}{ll} S_e \cong 0.5 S_{ut} & \text{para } S_{ut} < 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ S_e \cong 100 \text{ kpsi (700 MPa)} & \text{para } S_{ut} \geq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \end{array} \right\}$$

Figura 2.8 Coeficiente de Limite de resistencia sin corregir  $S_e'$  (Norton, R. L, 2011)

Coeficientes de corrección para Límite de resistencia

- Factor de Carga  $C_{CA}$

$$\begin{aligned} \text{flexión:} & C_{carga} = 1 \\ \text{carga axial:} & C_{carga} = 0.70 \end{aligned}$$

**Figura 2.9 Factor de carga  $C_{ca}$  (Norton, R. L, 2011)**

- Factor de Tamaño  $C_{TA}$

$$\begin{aligned} \text{para } d \leq 0.3 \text{ in (8 mm):} & C_{tamaño} = 1 \\ \text{para } 0.3 \text{ in} < d \leq 10 \text{ in:} & C_{tamaño} = 0.869d^{-0.097} \\ \text{para } 8 \text{ mm} < d \leq 250 \text{ mm:} & C_{tamaño} = 1.189d^{-0.097} \end{aligned}$$

**Figura 2.10 Factor de tamaño  $C_{ta}$  (Norton, R. L, 2011)**

- Factor de Temperatura  $C_{TE}$

$$\begin{aligned} \text{para } T \leq 450 \text{ }^\circ\text{C (840 }^\circ\text{F):} & C_{temp} = 1 \\ \text{para } 450 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 550 \text{ }^\circ\text{C:} & C_{temp} = 1 - 0.0058(T - 450) \\ \text{para } 840 \text{ }^\circ\text{F} < T \leq 1020 \text{ }^\circ\text{F:} & C_{temp} = 1 - 0.0032(T - 840) \end{aligned}$$

**Figura 2.11 Factor de Temperatura  $C_{te}$  (Norton, R. L, 2011)**

- Factor de Confiabilidad  $C_R$

% de confiabilidad	$C_{conf}$
50	1.000
90	0.897
95	0.868
99	0.814
99.9	0.753
99.99	0.702
99.999	0.659
99.9999	0.620

**Figura 2.3 Factor de confiabilidad  $C_r$  (Norton, R. L, 2011)**

- Factor de Superficie  $C_{su}$

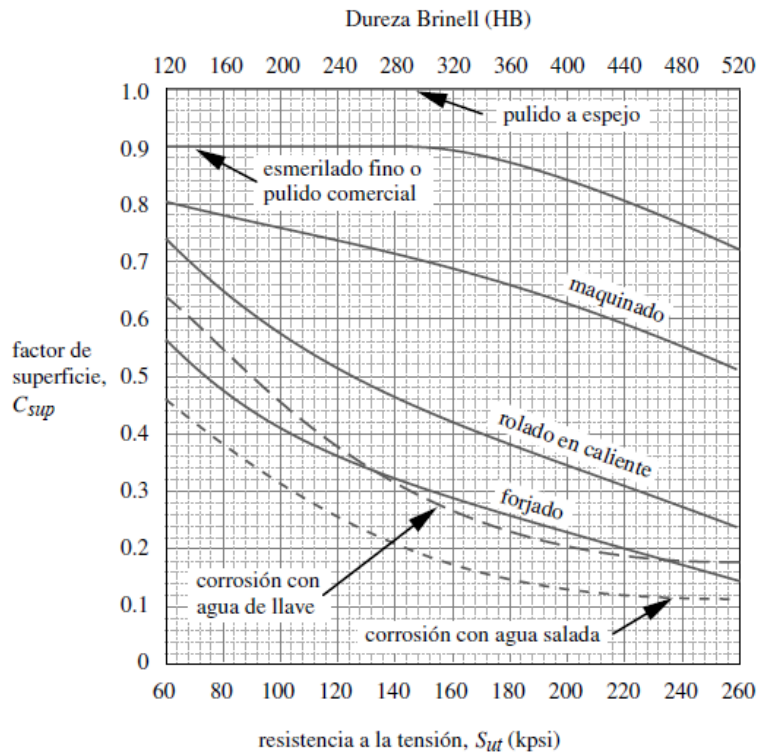


Figura 2.12 Factor de superficie  $C_{su}$  (Norton, R. L, 2011)

### 2.3.2 Sistema de Filtrado

Para regenerar la mezcla es necesario eliminar todo tipo de cuerpos extraños y para lograr este objetivo se hace uso de un tamiz rotativo.

Las dimensiones del tanque en el congelador son de:

$$\text{Largo}_{\text{tanque}} = 8 \text{ m} \quad \text{Ancho}_{\text{tanque}} = 2 \text{ m} \quad \text{Altura}_{\text{tanque}} = 0.6 \text{ m}$$

$$d_{\text{descarga}} = 4 \text{ in}$$

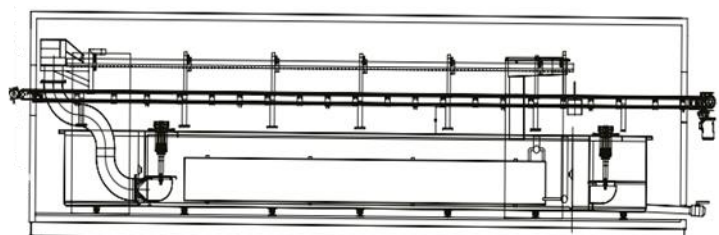


Figura 2.4 Congelador por aspersión de salmuera (Sistema Sal- Shower)

Partimos del volumen desechado por cada congelador y estimamos que el 10% de la masa total de la mezcla son bigotes de camarón con un espesor promedio de 2 mm.

- Velocidad de descarga por medio del teorema de Torricelli

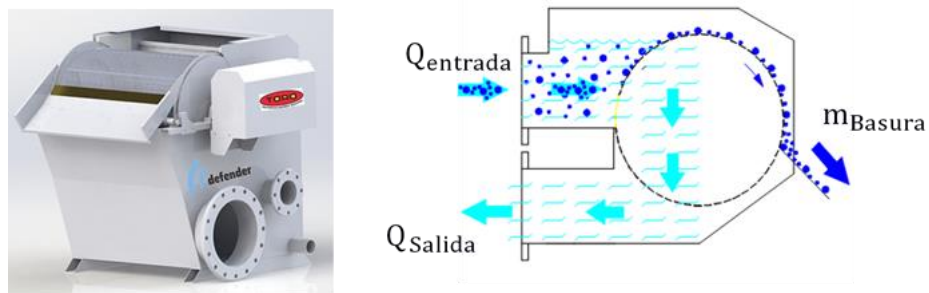
$$V_{\text{descarga}} = \sqrt{2 * g * \text{altura}_{\text{tanque}}} \quad (2.29)$$

Conociendo las dimensiones de la tubería de descarga procedemos a calcular el caudal máximo de descarga y el tiempo de descarga.

$$Q_{\text{descarga}} = V_{\text{descarga}} * A_{\text{descarga}} \quad (2.30)$$

$$t_{\text{descarga}} = \frac{V_{\text{descarga}}}{Q_{\text{descarga}}} \quad (2.31)$$

Por medio de catálogos seleccionamos aquel que cumpla con las condiciones de operación.



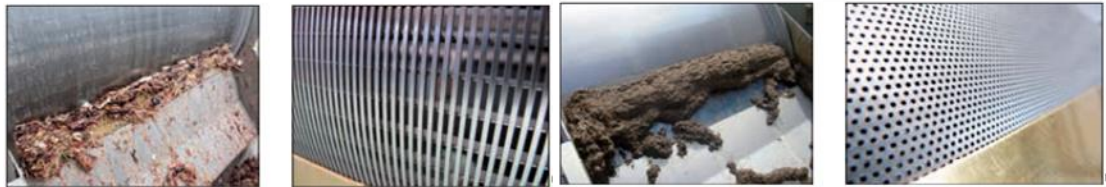
**Figura 2.5 Esquema del funcionamiento (Toro Wastewater Equipment Industries)**

- Selección de la malla de filtrado.

La Figura 2. nos brinda categorías que nos permite identificar el tipo de sólido con el cual tratamos.

MALLA DE REJILLA ▼▼	MALLA PERFORADA Ø	SÓLIDOS
☹	☺	Escamas - Cuerpos gelatinosos
☹	☺	Film, plásticos...
☹	☺	Fibras largas - ej. cabellos, cerdas...
☺	☹	Grasas *
☺	☺	MSS
☹	☺	Arenas
☹	☺	Lavado de Lanas

\* Con porcino limpieza de mallas a temperatura del agua < 50°



**Figura 2.6 Selección de elemento filtrante dependiendo del sólido a filtrar  
(Toro Wastewater Equipment Industries)**

- Selección del modelo del tamiz.

Una vez identificado el tipo de sólidos a filtra es necesario fijar el máximo tamaño de la partícula. Con este dato y el caudal de descarga y se procede a escoger el modelo del tamiz. (Ver Figura 2.)



Modelo	Capacidad en m <sup>3</sup> /h (Luz malla, mm)								
	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	2,00	2,50	3
TRF-24/25	9	15	20	25	27	30	35	40	45
TRF-24/50	12	20	25	30	25	40	47	52	55
TRF-30/30	2	5	6	9	10	12	16	20	30
TRF-40/23	14	25	34	40	50	65	70	70	80
TRF-40/50	30	50	71	77	85	98	113	125	135
TRF-40/80	49	86	115	124	148	158	183	202	217
TRF-40/100	58	100	138	148	160	188	220	240	260
TRF-63/30	27	48	65	80	90	105	115	115	125
TRF-63/50	50	80	110	140	160	180	190	190	210
TRF-63/60	55	100	135	170	190	215	230	230	250
TRF-63/75	70	120	160	205	240	280	290	290	310
TRF-63/90	85	150	205	252	290	325	350	350	375
TRF-63/100	100	170	225	285	320	360	385	385	400
TRF-63/120	110	200	270	340	380	430	480	480	510
TRF-63/150	135	250	340	420	480	540	580	580	610
TRF-63/180	170	300	415	505	560	650	700	700	730
TRF-91/200	275	476	665	785	915	1000	1000	1300	1340
TRF-91/300	410	715	1000	1175	1375	1575	1875	2075	2120
TRF-120/300	575	1024	1386	1473	1650	1910	2244	2507	2719
TRF-120/400	747	1332	1802	1914	2016	2484	2917	3259	3534

a) Selección del modelo

Modelo	∅ Tambor	Long. Tambor	A	B	C	D1	D2	D3	Peso vacío	Peso lleno	Motor (kW)
TRF-24/25	240	250	460	600	480	100	100	50	80	115	0,18
TRF-24/50	240	500	700	600	480	100	100	50	80	120	0,18
TRF-30/30	309	300	600	710	665	80	100	80	95	140	0,18
TRF-40/23	404	230	520	690	560	100	100	100	115	160	0,18
TRF-40/50	404	500	720	815	725	150	200	80	110	170	0,25
TRF-40/80	404	800	1020	815	725	200	250	100	160	200	0,25
TRF-40/100	404	1000	1220	815	725	200	250	100	190	250	0,25
TRF-63/30	632	300	1000	1070	1420	150	200	100	158	320	0,55
TRF-63/50	632	500	950	1205	1260	200	250	100	210	290	0,55
TRF-63/60	632	600	1220	1170	1280	200	250	140	260	450	0,55
TRF-63/75	632	750	1086	1150	1280	200	250	140	280	520	0,55
TRF-63/90	632	900	1520	1170	1280	200	250	140	300	575	0,55
TRF-63/100	632	1000	1450	1205	1260	200	250	200	320	430	0,55
TRF-63/120	632	1200	1820	1170	1280	300	350	200	340	700	0,75
TRF-63/150	632	1500	1950	1205	1260	300	350	200	330	570	0,75
TRF-63/180	632	1800	2420	1170	1280	300	350	200	420	950	0,75
TRF-91/200	914	2000	2450	1205	1260	300	350	200	390	710	1,5
TRF-91/300	914	3000	3800	1680	1920	2X300	2X300	200	1200	2250	1,5
TRF-120/300	1200	3000	3235	2250	1926	2x600	Libre	400	2650	3000	2,2
TRF-120/400	1200	4000	4500	2250	1926	2x750	Libre	500	2650	3100	2,2

b) Parámetros dimensionales

Figura 2.17 a) Modelo del tamiz restringido por el caudal de operación y la abertura de la malla b) Dimensiones del modelo seleccionado (Toro Wastewater Equipment Industries)

- Revoluciones por minutos del tamiz.

Tal como se muestra en la Figura 2. solo una cuarta parte del tambor actúa como filtro por lo tanto la velocidad angular del mismo debe ser la necesaria para que jamás se presente acumulación de los sólidos en dicha región. Adicionalmente se debe considerar que no toda el área de la sección filtrante es útil ya que las únicas secciones que permiten el paso del flujo son las aberturas que posee el tambor.

$$A_{\text{filtrante}} = \frac{P_{\text{tambor}} l_{\text{tambor}}}{4} \quad (2.32)$$

$$A_{\text{filtrante util}} = \#_{\text{agujeros}} * A_{\text{agujero}} \quad (2.33)$$

$$f_{\text{area}} = \frac{A_{\text{placade filtrado}}}{A_{\text{agujero}}} \quad (2.34)$$

$$\#_{\text{vueltas}} = \frac{f_{\text{area}}}{4}$$

Lo ideal es que se pueda utilizar toda  $A_{\text{filtrante neta}}$  para ello el tambor debe de girar  $\#_{\text{vueltas}}$  durante un tiempo  $t_{\text{filtrado}}$  para poder abastecer el  $\dot{V}_{\text{filtrado}}$ . Por lo tanto, la velocidad angular del tambor es de:

$$\omega_{\text{tambor}} [\text{rpm}] = \frac{\#_{\text{vueltas}}}{t_{\text{filtrado}}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \quad (2.35)$$

### 2.3.3 Sistema de refrigeración

Aislante térmico de las tuberías que transportan la sustancia salmuera desde el congelador hasta el tanque de agitación.

Se desea bombear  $1 \text{ m}^3$  de salmuera filtrada hacia los tanques de agitación en un tiempo aproximado de 1,5 minutos.

$$\dot{V}_{\text{bombeo}} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = \frac{V_{\text{bombeo}}}{t_{\text{Bombeo}}} \quad (2.36)$$

Para este caudal se recomienda una tubería de acero inoxidable de 2 in cedula 40, con una velocidad de  $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . La longitud para recorrer es de 230 m.

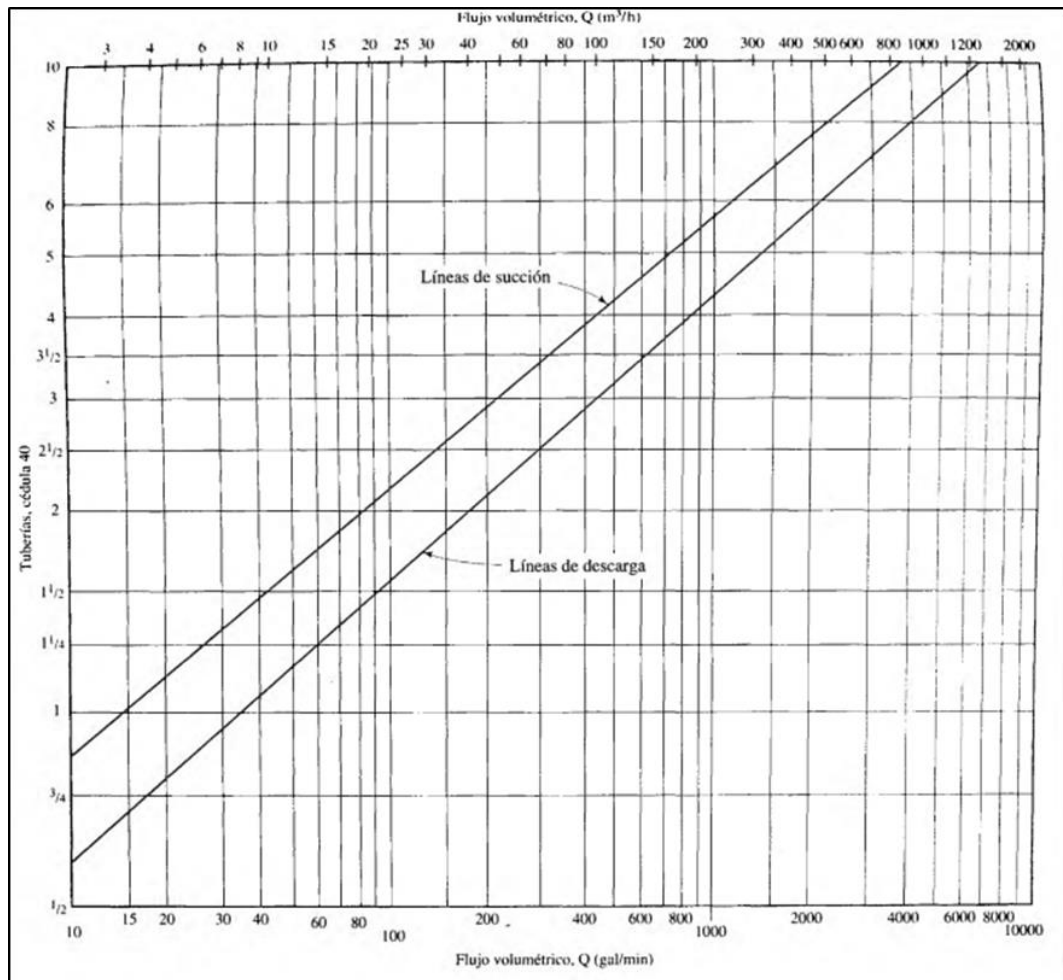


Figura 2.18 Diámetro recomendados vs caudal (Robert. L. Mott, 2006)

Flujo volumétrico		Línea de succión			Línea de descarga		
		Tamaño de tub. (pulg)	Velocidad		Tamaño de tub. (pulg)	Velocidad	
gal/min	m³/h		pie/s	m/s		pie/s	m/s
10	2.3	1	3.7	1.1	3/4	6.0	1.8
100	22.7	2 1/2	6.7	2.0	2	9.6	2.9
500	114	5	8.0	2.4	3 1/2	16.2	4.9
2000	454	8	12.8	3.9	6	22.2	6.8

Figura 2.19 Diámetro vs velocidad de flujo (Robert. L. Mott, 2006)

Se asume el coeficiente de convección interna en  $h_{i1} = 900 \frac{W}{m^2 k}$  según la referencia.

- Cálculo del coeficiente convectivo exterior del aire.

$$\text{Propiedades del aire @ } \left( T_{f1} = \frac{T_{\infty} + T_i}{2} \right) = \begin{cases} k_{\text{aire}_1} \\ Pr_{\text{aire}_1} \\ \nu_{\text{aire}_1} \end{cases} \quad (2.37)$$

$$\beta_1 \text{ [K}^{-1}\text{]} = \frac{1}{T_{f1}} \quad (2.38)$$

$$Ra_1 = Gr_1 * Pr_{\text{aire}_1} = \frac{g \beta_1 (T_s + T_{\infty}) D_{\text{tuberia}}}{\nu_{\text{aire}_1}^2} * Pr_{\text{aire}_1} \quad (2.39)$$

$$Nu_{\text{cilindros horizontales}} = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 Ra_2^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,559}{Pr_{\text{aire}_2}} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad (2.40)$$

$$h_{\text{aire}_2} = \frac{k_{\text{aire}_1}}{D_{\text{tuberia}}} * Nu_{\text{cilindros horizontales}} \quad (2.41)$$

- Flujo de calor en la tubería sin aislar.

$$q_2 = m C_p \Delta T \quad (2.42)$$

- Cálculo del calor permisible.

$$(q_2)_{\text{permisible}} = 1\% * q_2 \quad (2.43)$$

- Flujo de calor en la tubería aislada.

$$q_{\text{conduccion}} \quad (2.44)$$

$$= \frac{(T_{\infty} - T_i)}{\frac{1}{2\pi r_1 h_t} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_a} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_{\text{aislante}}} + \frac{1}{2\pi r_3 h_{\text{aire}_2}}}$$

Nota: Si el flujo de calor aislado es igual o menor que el flujo permisible, entonces el espesor de aislante supuesto es adecuado

- Temperatura superficial de la tubería sin aislar

$$q_2 = \frac{(T_\infty - T_s)}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_a}} \quad (2.45)$$

- Temperatura superficial de la tubería aislada

$$q_{conduccion} = \frac{(T_\infty - T_s)}{\frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_{aislante}} + \frac{1}{2\pi r_3 h_{aire_2}}} \quad (2.46)$$

- Temperatura a la salida de la tubería aislada

$$A = 2\pi r_2 L$$

$$T_2 = T_{s_1} - (T_{s_1} - T_i) * e^{\frac{-h_s * A}{\rho_s * \dot{V}_{bombeo} * C_{p_s}}}$$

- Temperatura de equilibrio al mezclar salmuera filtrada con salmuera nueva.

$$\begin{aligned} q_{sfiltrada} &= q_{snueva} \\ m_{sfiltrada} * C_{p_s} (T_e - T_i) &= m_{snueva} * C_{p_s} * (T_e - T_\infty) \end{aligned} \quad (2.47)$$

Nota: La salmuera nueva es mezclada a temperatura ambiente.

### 2.3.3.1 Espesor de aislante para el tanque de agitación

- Cálculo del calor permisible.

Es la cantidad de calor que puede entrar al interior del tanque asegurando que la temperatura del producto almacenado se encuentre dentro de los parámetros adecuados para su conservación. La temperatura mínima recomendada es de  $T_{min} = -8^\circ\text{C}$ . Se procede a calcular el espesor necesario de aislante para que permita esta cantidad de energía durante el lapso de 20 horas. Según RITE este valor debe fijarse en 1% del calor sensible.

$$\dot{Q}_{permisible} [W] = 1\% \dot{Q}_{sensible} [W] \quad (2.48)$$

A continuación, graficas donde se ilustran las propiedades de la salmuera.

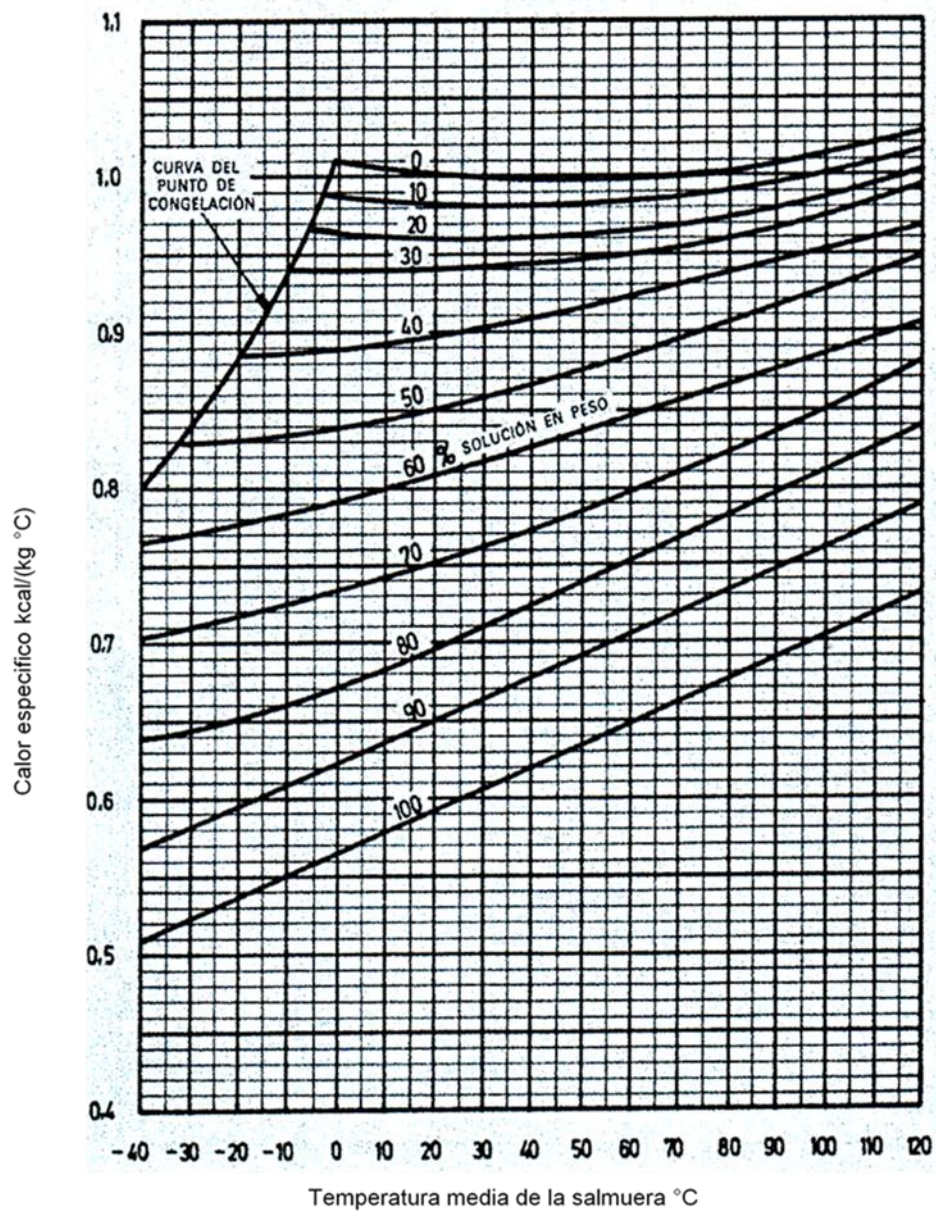


Figura 2.20 Curva de Conductividad térmica VS Temperatura media de salmuera (Unión Caribe Chemicals CO, 1958)

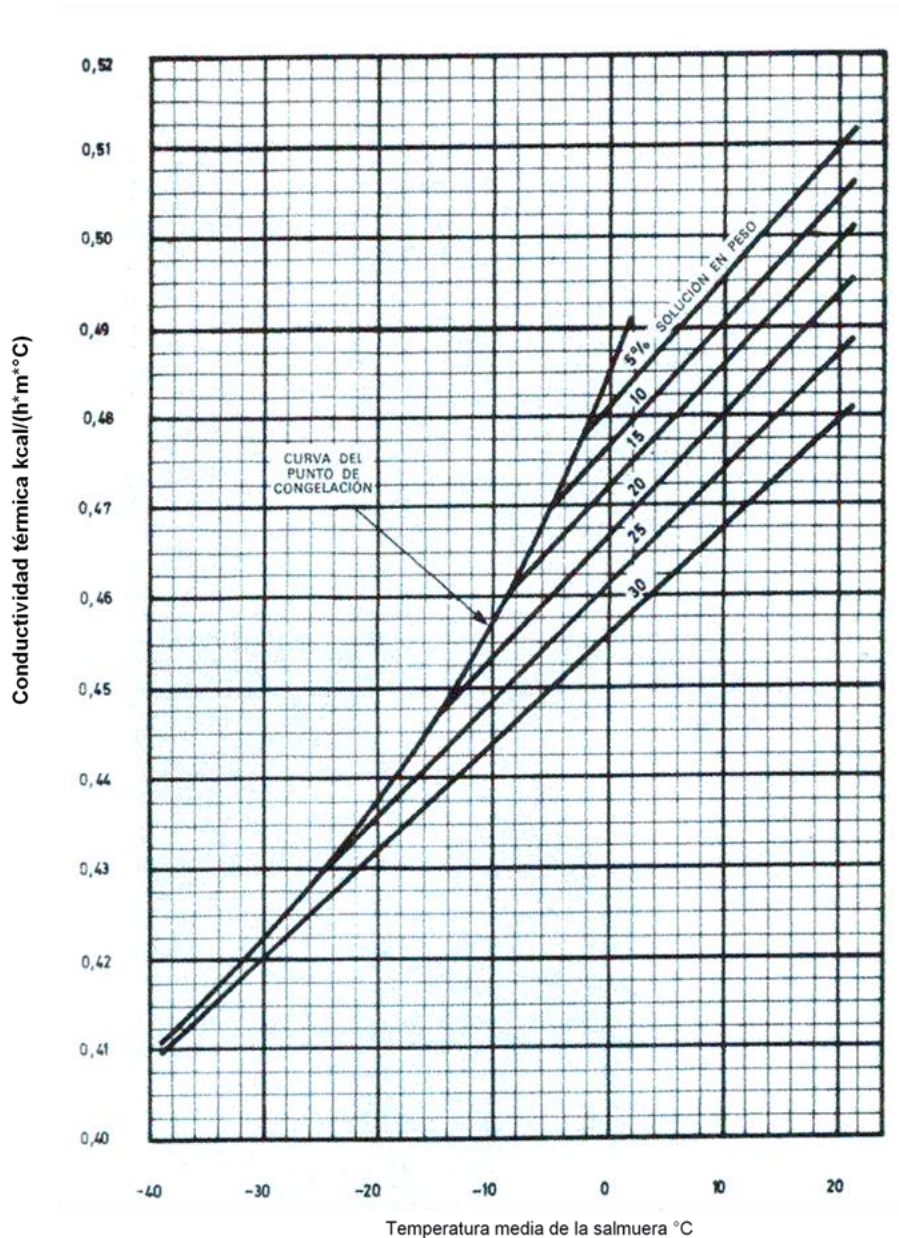


Figura 2.21 Calor específico de la salmuera vs Temperatura (Unión Caribe Chemicals CO, 1958)

-Calor sensible.

Es la energía total que necesitamos suministrarle a la salmuera congelada para llegar a la temperatura del medio exterior. Es decir, la temperatura ambiente  $T_{\infty} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Tabla 2.6 Masa de salmuera almacenada y tiempo de llenado.**

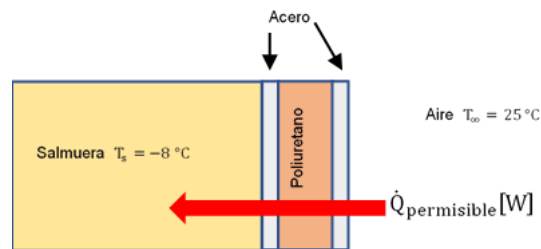
# de recargas por hora	Volumen almacenado por hora $\forall$ [m <sup>3</sup> ]	Volumen total considerando el 10% adicional de la regeneración. $\forall$ [m <sup>3</sup> ]	Masa de la salmuera $m_s$ [kg] = $\rho_s * \forall$
1	0,9	1	1247,4
2	1,8	2	2494,8
3	2,7	3	3742,2
4	3,6	4	4989,6
5	4,5	5	6237
6	5,4	6	7484,4
7	6,3	7	8731,8
8	7,2	8	9979,2
9	8,1	9	11226,6
10	9	10	12474

$$\dot{Q}[W] = \frac{m_s \times C_{p_s} \times \Delta T}{t} \quad (2.49)$$

Pérdida de calor en el tanque por conductividad del aislante

- Calor por conducción.

$$\dot{Q}_{\text{permisible}}[W] = \frac{A(T_{\infty} - T_s)}{\frac{1}{h_{\text{tanque}}} + \frac{e_{\text{acero}}}{k_{\text{acero}}} + \frac{e_{\text{poliuretano}}}{k_{\text{poliuterano}}} + \frac{e_{\text{acero}}}{k_{\text{acero}}} + \frac{1}{h_{\text{aire}}}} \quad (2.50)$$



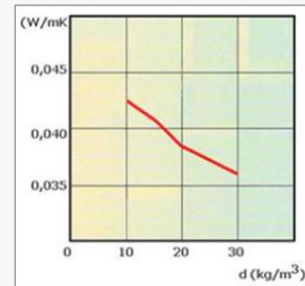
**Figura 2.5 Esquema para el cálculo de aislamiento**



**a. Conductividad Térmica: transporte del calor**

La Conductividad Térmica es la Función de la Densidad (\*)

$\lambda$ (W/(mK))	$d$ (kg/m <sup>3</sup> )
0,0425	10
0,0413	15
0,0384	20
0,0373	25
0,0361	30



(\*) De acuerdo a la NCh 853, d = densidad aparente

\* Nota: La densidad mínima de fabricación del Poliestireno Expandido es 10 kg/m<sup>3</sup>.

**Figura 2.22 conductividad térmica vs densidad del poliuretano expandido**

- Coeficiente convectivo de calor en el interior del tanque de almacenamiento.

$$\frac{h_{\text{Tanque}} * D_t}{k_s} = C * \left( \frac{\rho_s * N_a * (D_a)^2}{\mu_s} \right)^{\frac{2}{3}} * \left( \frac{C_{p_s} * \mu_s}{k_s} \right)^{\frac{1}{3}} * \left( \frac{\mu_s}{\mu_{w_s}} \right)^{0.14} \quad (2.51)$$

Dónde: se asume que la temperatura es uniforme en el interior del tanque y no existen variaciones de viscosidad  $\therefore \frac{\mu_s}{\mu_{w_s}} = 1$

C es un coeficiente adimensional que depende del tipo de agitador usado. Para turbina de palas inclinadas el valor es 1.5

- Coeficiente convectivo de calor en el exterior del tanque.

$$T_{f_1} \text{ (K)} = \frac{T_s + T_{\infty}}{2} \quad (2.52)$$

Propiedades del aire @  $T_f$   $\left\{ \begin{array}{l} k_{\text{aire}_1} \\ Pr_{\text{aire}_1} \\ \nu_{\text{aire}_1} \end{array} \right.$

$$\beta_1 = \frac{1}{T_{f_1}}$$

Si  $D \geq \frac{35L}{Gr^{1/4}}$  entonces se considera a un cilindro como placa plana.

$$Ra_1 = \frac{g * \beta_1 * (T_s + T_\infty) * H_t}{\nu_{\text{aire}_1}^2} * Pr_{\text{aire}_1} \quad (2.53)$$

$$Nu_{\text{placas planas}} = 0.59 * Ra_1^{\frac{1}{4}}$$

$$h_{\text{aire}_1} = \frac{k_{\text{aire}_1}}{H_t} * Nu_{\text{placas planas}}$$

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

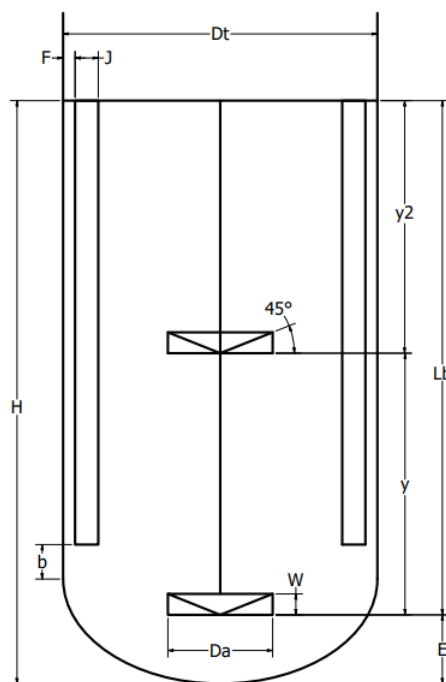
### 3.1 Diseño de Equipos

#### 3.1.1 Tanque de Preparación

El sistema de mezclado requiere un tanque de capacidad 20 m<sup>3</sup>, por factibilidad de diseño se optó por el diseño de 4 tanques de mezclado, cada uno con capacidad de 5 m<sup>3</sup>.

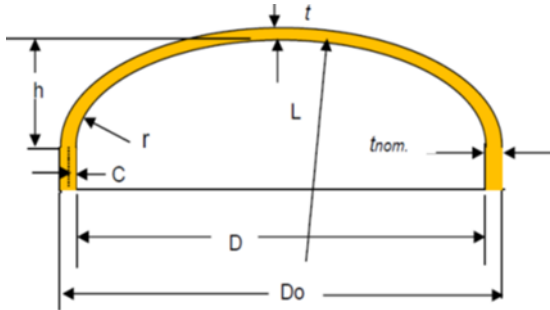
En el APÉNDICE A - DISEÑO TANQUE DE MEZCLADO se encuentran los cálculos desglosados del dimensionamiento del tanque de mezclado y en los APÉNDICES B – DISEÑO ESPESOR CUERPO DEL TANQUE MEZCLADOR y APÉNDICE C – DISEÑO TAPA ELÍPTICA TANQUE MEZCLADOR se calculó las dimensiones de la tapa del tanque y del espesor del cuerpo basado en normativa ASME VIII DIV1

Tabla 3.1 Dimensiones geométricas tanque mezclador



Dimensiones tanque mezclador [m]	
<b>Dt</b>	1.6
<b>H</b>	2.5
<b>Da</b>	0.5
<b>W</b>	0.08
<b>Lb</b>	2.15
<b>y</b>	1.2
<b>y2</b>	0.8
<b>E</b>	0.8
<b>J</b>	0.16
<b>F</b>	0.032
<b>b</b>	0.25
<b>Espesor cuerpo</b>	0.003

Tabla 3.2 Dimensiones geométricas tapa elíptica



Dimensiones tapa elíptica [m]	
h	0.4
r	0.05
L	1.44
Do	1.60
D	1.60
t	0.003

### 3.1.2 Eje de mezclado y hélices

En el APÉNDICE D – DISEÑO EJE DE MEZCLADO Y HÉLICES se encuentran desglosados los cálculos realizados para llegar a estos resultados.

#### Análisis de cargas y fuerzas externas en eje agitador y hélices

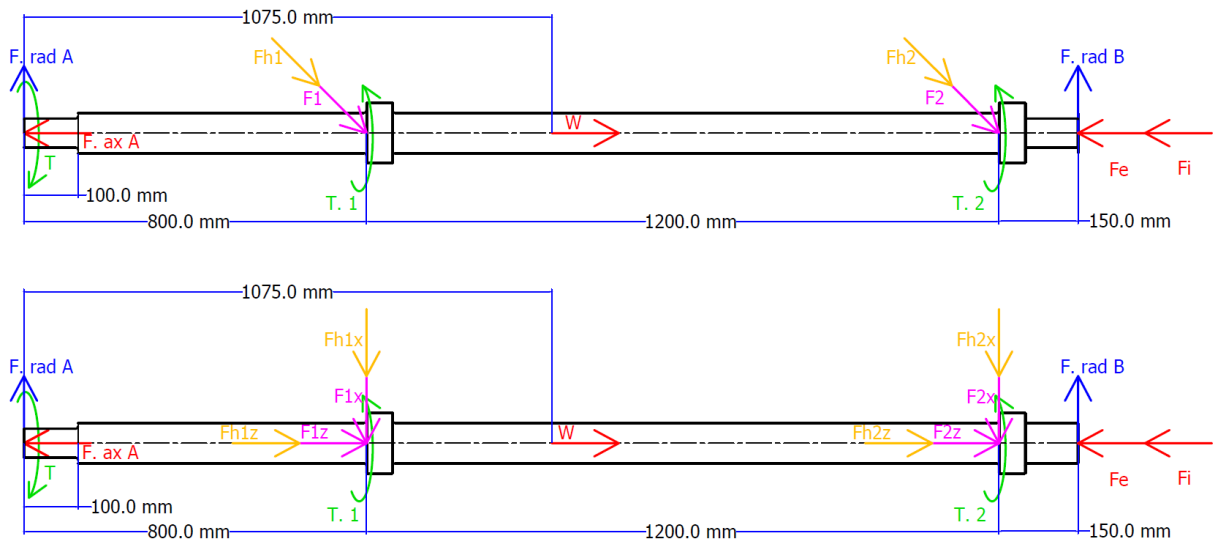


Figura 3.1 Diagrama de cuerpo libre DCL eje agitador

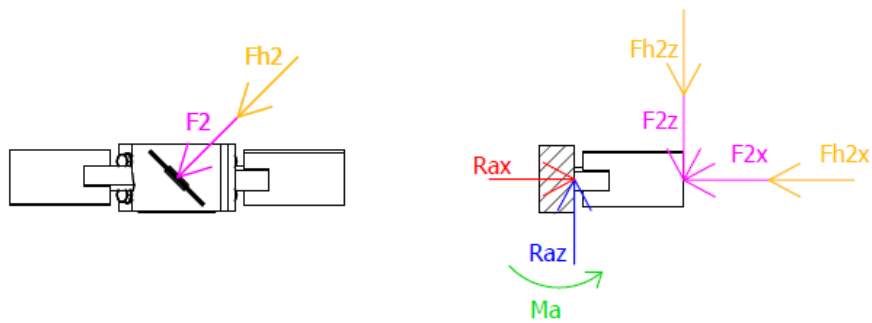


Figura 3.2 Diagrama de cuerpo libre DCL hélice 45° inclinación

Tabla 3.3 Cargas y fuerzas externas aplicadas en hélice y eje

Fuerzas y cargas externas en hélice y eje agitador	
$F_1 = 8,9 \text{ kN}$	$F_{1X} = 6.29 \text{ kN}$
	$F_{1Z} = 6.29 \text{ kN}$
$F_2 = 10.1 \text{ kN}$	$F_{2X} = 7.14 \text{ kN}$
	$F_{2Z} = 7.14 \text{ kN}$
$F_{H1} = 1.6 \text{ kN}$	$F_{H1X} = 1.11 \text{ kN}$
	$F_{H1Z} = 1.11 \text{ kN}$
$F_{H2} = 1.6 \text{ kN}$	$F_{H2X} = 1.11 \text{ kN}$
	$F_{H2Z} = 1.11 \text{ k}$
$Fe = 0.085 \text{ kN}$	
$W_{eje} = 2 \text{ kN}$	
$F_i = 3 \text{ kN}$	
$F_{ax-A} = 14.5 \text{ [kN]}$	
$F_{rad-A} = 5.23 \text{ [kN]}$	
$F_{rad-B} = 10.42 \text{ [kN]}$	

### Dimensionamiento de eje agitador y hélices

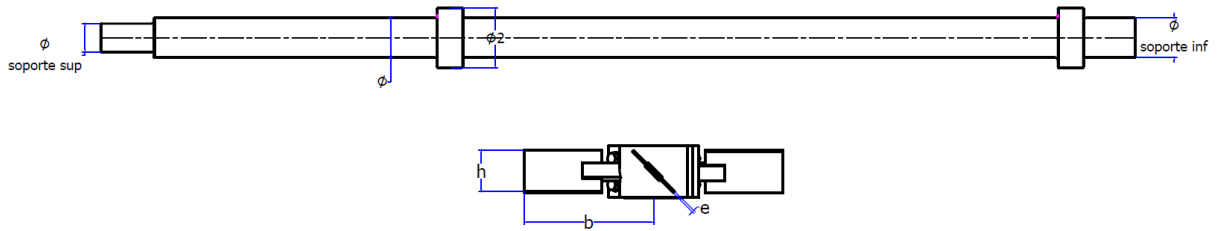


Figura 3.3 Plano de dimensiones del eje y hélices del tanque agitador

Tabla 3.4 Dimensiones del eje y hélice del tanque agitador

Dimensiones eje [in]		Dimensiones hélice [m]	
$d$	4	$b$	0.08
$d_2$	5	$h$	0.25
$d_{soporte\ inf}$	3	$e$	0.01
$d_{soporte\ sup}$	2.5	<b>Perno</b>	M16 X 55 mm (4 unidades)

### Dimensionamiento de suple y pin axial

En el extremo superior del eje se colocó un suple el cual está asegurado por un pin con la finalidad de que en el diámetro mayor del suple asiente el rodamiento axial del soporte superior.

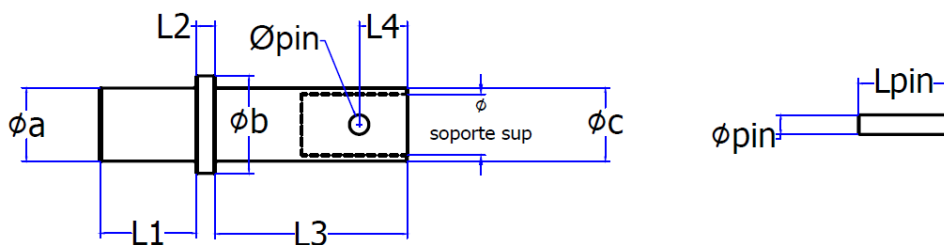


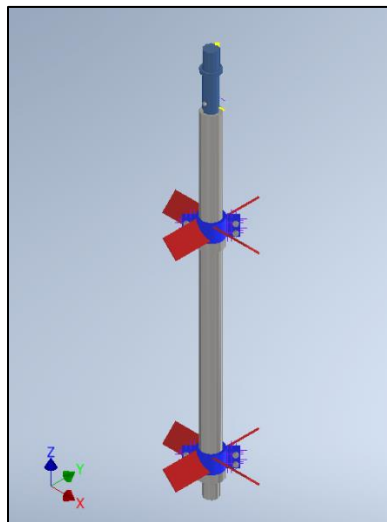
Figura 3.4 Plano de dimensiones del suple y pin axial

**Tabla 3.5 Dimensiones del suple y pin axial**

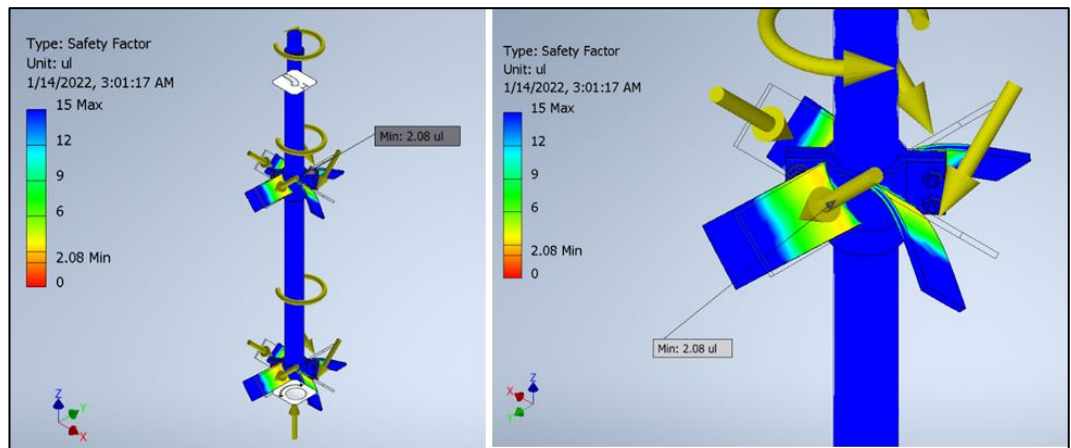
Dimensiones suple [in]		Dimensiones suple [m]	
$d_a$	3	<b>L1</b>	0.10
$d_b$	4	<b>L2</b>	0.02
$d_c$	3	<b>L3</b>	0.30
$d_{soporte\ sup}$	2.5	<b>L4</b>	0.05
		<b>Lpin</b>	0.095
		$d_{pin}$	0.02

Simulación Análisis Estático Conjunto Eje agitador + Hélices + Suple

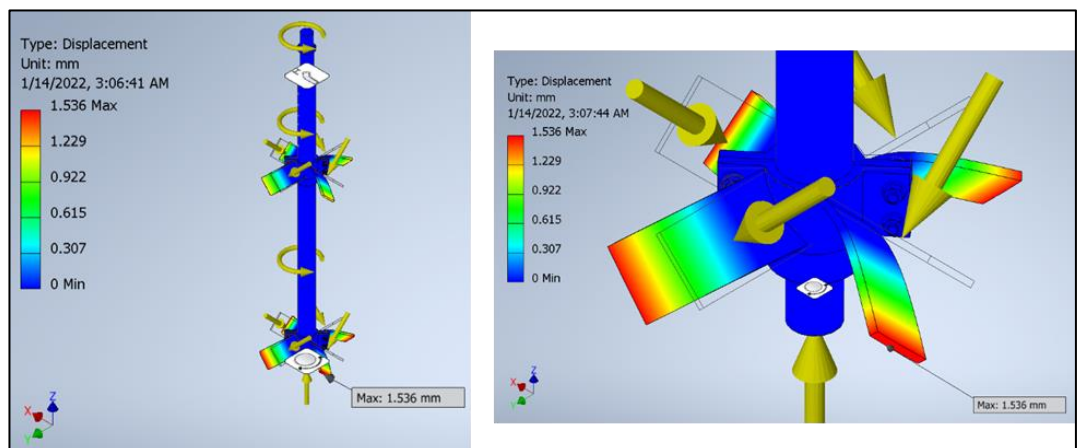
Empleando el software Autodesk Inventor se analizó el comportamiento del eje agitador en condiciones normales de trabajo, se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 2.08 y una deformación máxima de 1.5 mm en la punta de las hélices.



**Figura 3.5 Conjunto eje agitador + hélice + suple**



**Figura 3.6 Factor de seguridad en fatiga del conjunto eje agitador + hélice + supe**



**Figura 3.7 Deformación total en conjunto agitador + hélices + supe**

### 3.1.3 Sistema Motriz

La potencia requerida para el correcto funcionamiento es de 46 HP, por ende, se seleccionó un motor de 50 HP. La selección detallada de los elementos del sistema motriz se encuentre en el APÉNDICE E – SISTEMA MOTRIZ.



### Motor IE2 – 50 HP – 1800 rpm

Tabla 3.6 Datos eléctricos Motor IE2 – 60 Hz



Datos eléctricos Motor IE2 – 60 Hz	
Potencia [HP]	50
Carcasa	225S
RPM	1800

### Reductor Planetario NRG 40-L

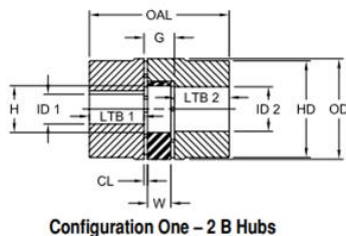
Tabla 3.7 Datos eléctricos Reductor NRG 40-L



Datos eléctricos Reductor NRG 40-L – 60 Hz	
Potencia [kW]	37
N1 [rpm]	1680
N2 [rpm]	487
i	3.5
Brida	PAM 225
$d_{\text{eje salida}}$ [mm]	65

### Acople Flexible Reductor-Eje

Tabla 3.8 Datos Acople Flexible



Datos Acople Flexible 100/110	
Torque nominal [Nm]	6184
Torque máximo [Nm]	12368
ID1 [mm]	65
ID2 [in]	3

### 3.1.4 Soportes axiales y radiales

#### Soporte Superior

El extremo superior soporta tanto cargas axiales como radiales, siendo de mayor magnitud las cargas axiales. En el APENDICE E – SISTEMA MOTRIZ se encuentra detallado la selección de rodamiento.

Tabla 3.9 Soporte Superior Axial

<b>Rodamiento de rodillo</b> <b><u>29415 E</u></b>	<b>Sello mecánico</b> <b><u>Sello mecánico 75 VA R</u></b>
	

#### Soporte Inferior

El soporte inferior se colocó el cojinete de fricción PTFE debido a que absorbe cargas radiales, no requiere de lubricación por medio de grasa o aceites y no se oxida, propiedades claves debido a que el elemento se encuentra en contacto directo con la salmuera.

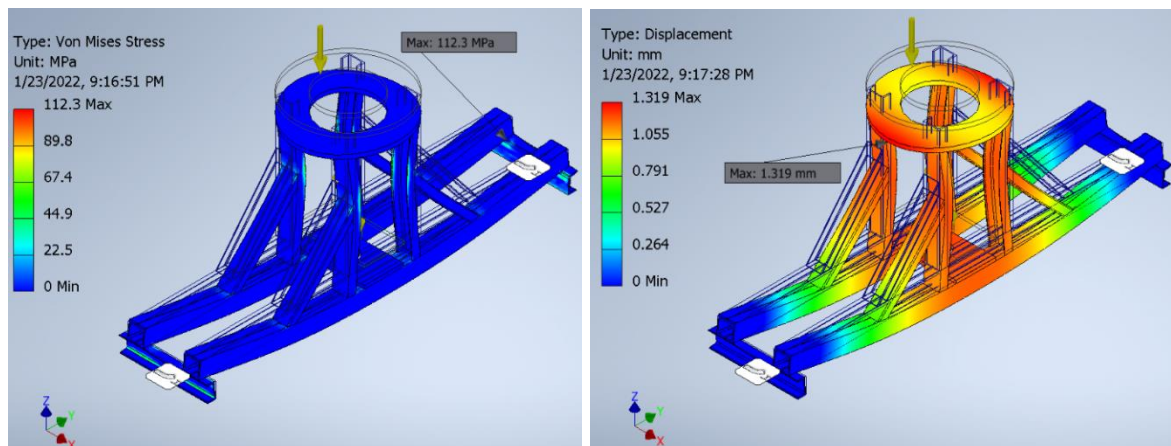
Tabla 3.10 Soporte Inferior Auto lubricante

<b>Cojinete de fricción PTFE</b> <b><u>PCZ 4848 E</u></b>	
--	---

### 3.1.5 Estructura soporte Eje agitador

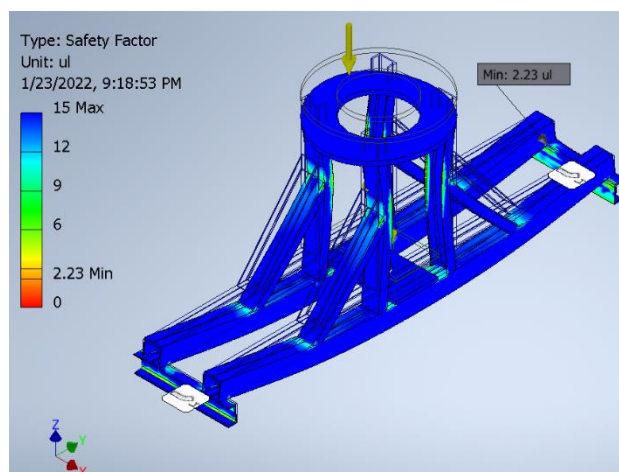
El sistema motriz se ancla en una estructura independiente del tanque agitador, esta estructura soporta en total 20.5 [kN] equivalente al peso de los elementos motrices y del eje agitador, adicional de la fuerza axial generada por las hélices y el fluido. Para el diseño del armado se empleó el método CFD de Autodesk Inventor en donde se obtuvo deformaciones totales DE 1.3 mm y un Factor de Seguridad mínimo de 2.23, por ende, la estructura resiste a las cargas externas del sistema agitador.

#### Simulación CFD Estructura soporte eje agitador



a) Esfuerzo Von Mises

b) Deformación total



c) Factor de seguridad

**Figura 3.8 Resultados análisis CFD Estructura soporte eje agitador**

### 3.1.6 Sistema de Regeneración

#### 3.1.6.1 Aislante térmico

En el APÉNDICE H – AISLANTE TÉRMICO se encuentra a detalle los cálculos realizados.

#### **Aislante térmico de las tuberías que transportan la salmuera desde el congelador hasta el tanque de agitación.**

La salmuera se transporta por 230 m en tuberías de 2 in cédula 40, desde el congelador hasta el tanque de agitación. Para conservar la temperatura de salida de la solución se aisló la tubería con 2 in de espesor de poliuretano expandido, donde la variación de temperatura fue menor a 0.1 °C.

#### **Aislante térmico del tanque de agitación.**

La salmuera permanecerá en el tanque de agitación durante las 20h laborales, por ende, se implementó un aislamiento térmico en el cuerpo, tapa inferior y superior del tanque. Para conservar una variación de temperatura menor a 1%, se aisló el cuerpo del tanque agitador con 4 in de espesor de poliuretano expandido.

#### 3.1.6.2 Serpentin de enfriamiento para tanque de agitación

El proceso de regeneración de salmuera consiste en añadir salmuera concentrada a la mezcla original, en este procedimiento la temperatura de la solución aumenta a -1.4°C

**Tabla 3.11 Temperatura de equilibrio térmico entre la salmuera filtrada y la de renovación**

Temperatura de equilibrio térmico	
Temperatura mínima de conservación	-8 °C
Temperatura de la salmuera de regeneración	25 °C
Temperatura de equilibrio	-1,4 °C

La salmuera se conserva sin proliferación de bacterias hasta  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , al llegar a  $-1.4^{\circ}\text{C}$  se implementa un serpentín de amoniaco para igualar la salmuera a  $-10^{\circ}\text{C}$ . En el APÉNDICE I – SERPENTÍN DE ENFRIAMIENTO se detallan los cálculos de calor empleados para el diseño del serpentín.

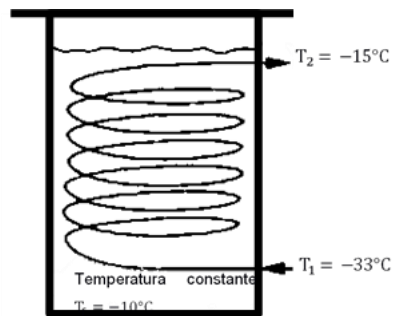
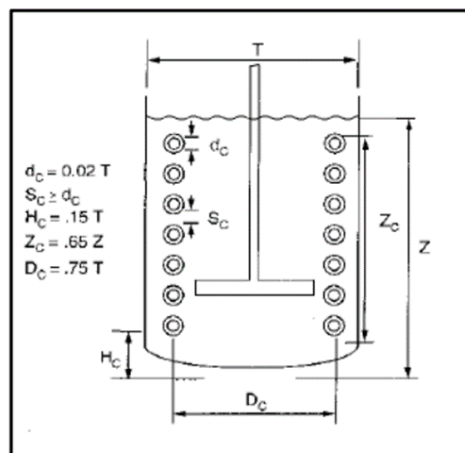


Figura 3.9 Parámetros de temperatura del serpentín

Tabla 3.12 Dimensionamiento serpentín de enfriamiento



PARÁMETRO	VALOR
dc	1 ¼ in
e <sub>tuberia</sub>	3 mm
Hc	0,24 m
Dc	1.2 m
Zc	1.9 m
Sc	2 in

## 3.2 Selección de Equipos

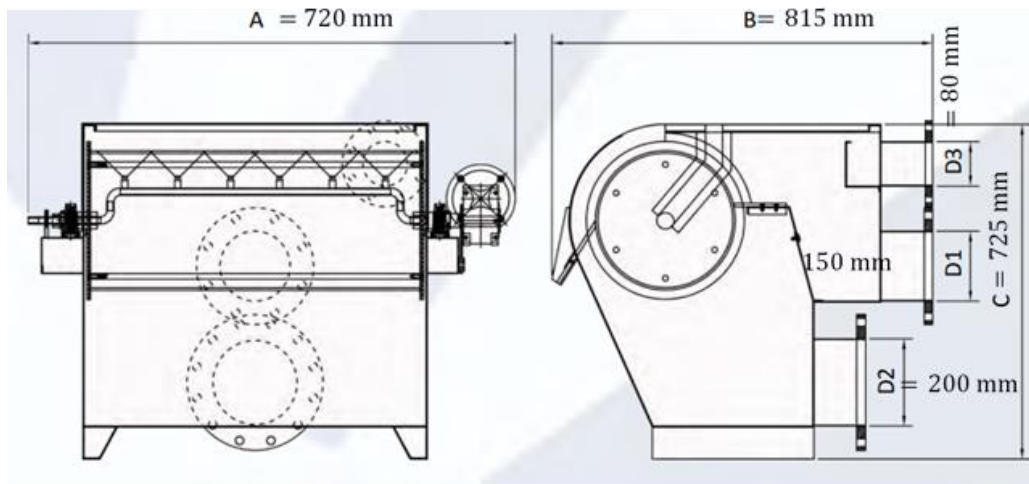
### 3.2.1 Sistema de Filtrado

Se utilizarán 1 tamiz en la descarga de cada congelador de esta manera aseguramos independencia absoluta del sistema de filtrado.

Debido a que la mayoría de los elementos que se filtraron son bigotes de camarón con aproximadamente 2 mm de espesor, se escoge de la Figura 2. la opción descrita como fibras largas (cabellos y cerdas), donde se

recomienda una malla perforada con un diámetro menor a 2 mm. En el APÉNDICE J – SISTEMA DE FILTRADO se encuentran los cálculos realizados para la selección del filtro

El modelo seleccionado es TRF-40/50, con caudal de operación de  $94 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$  y velocidad angular de 20 rpm.



**Figura 3.10 Dimensiones filtro TRF 40/50 (Toro Wastewater Equipment Industries)**

### 3.2.2 Instrumentación

El proceso de regeneración consiste en determinar la cantidad de solutos perdidos con la finalidad de equiparar las propiedades de la solución a su estado original, para ello se debe de medir con instrumentación el porcentaje de soluto presente en la salmuera por regenerar.

#### 3.2.2.1 Refractómetro de azúcar

El refractómetro de azúcar permite leer en Grados Brix la concentración de sacarosa en una solución. El refractómetro que se escogió fue el modelo HI9801 con un rango de lectura de 0 a 85° Brix



**Figura 3.11 Refractario de azúcar HI96801 (Hanna Instruments)**

### **3.2.2.2 Refractario de salinidad**

El refractario de salinidad que se seleccionó fue el modelo HI96821 el cual mide en gramos la concentración de cloruro de sodio en una muestra, adicional hace lecturas de densidad en grados Baume.



**Figura 3.12 Refractario de salinidad y densidad HI96821 (Hanna Instruments)**

### 3.3 Diseño detallado del Sistema de Mezclado, Filtrado y Regeneración

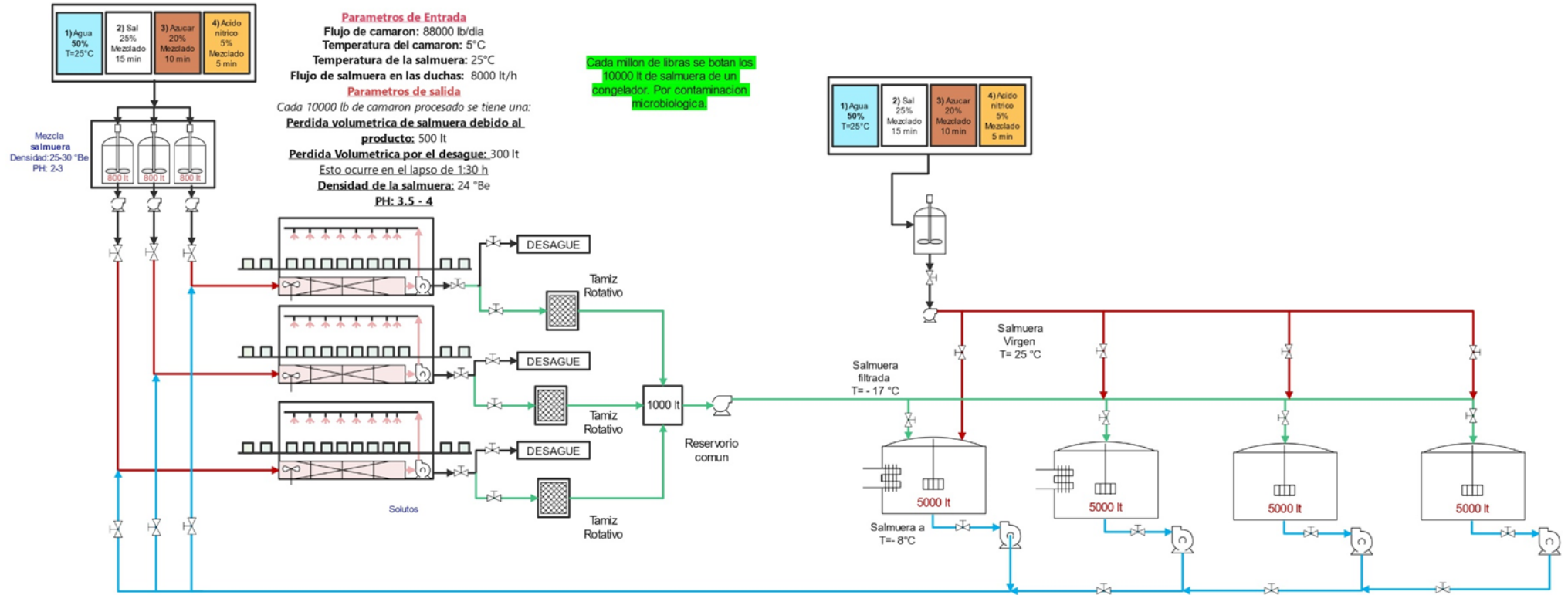


Figura 3.13 Esquema del sistema propuesto



### 3.4 Análisis económico

#### 3.4.1 Análisis de Efectividad

En esta sección, se analizó el ahorro de materia prima que nuestro proyecto generaría. Para ello se estimó el costo actual de producción de la salmuera y se lo comparó con el nuevo costo de producción correspondiente a la situación propuesta. Para este análisis se contrastó el ahorro proveniente de los insumos usado en la preparación de la mezcla con respecto al aumento del consumo energético proveniente de las nuevas maquinarias implementadas en la propuesta. De las imágenes presentadas a continuación se puede observar que el costo de producción de la salmuera disminuyo en un 25% con la implementación de la propuesta.

**Tabla 3.13 Costo de producción salmuera por lb de camarón situación actual**

Situación actual				
Insumos de la salmuera para 0,8 m3				
Insumos	Unidad	unidades	Valor unitario por sacos	Valor total por reposicion
Agua	m3	0.6	0.5	\$ 0.30
Sal	sacos	10	8.5	\$ 85.00
Azucar	sacos	8	30	\$ 240.00
Acido citrico	sacos	1	1.2	\$ 1.20
Costo diario por reposicion en m3				\$ 326.50
Costo del volumen base por día (30 m3)				\$ 1,632.50
Costo total por reposicion por día (60 reposiciones)				\$ 19,590.00
Costo total diario				\$ 21,222.50
Consumo energetico				
Tiempo de operación				20
Elementos que consumen potencia	Potencia x 10 h ( kWh)	Costo \$/kwh		Valor por una jornada
3 Motores de los tanques mezcladores de 7 HP	156	0.05		\$ 7.80
Motor y Bomba de 3 refrigerador 75 HP	3355.2			\$ 167.76
Carga de refrigeracion de los 3 congeladores	20220			\$ 1,011.00
3 Bombas de transporte	22.5			\$ 1.13
Costo total diario del consumo energetico				\$ 1,187.69
SUELDOS A OPERARIOS				
# Trabajadores	Costo mano de obra por dia		Costo por dia	
10	13.3		\$ 133.00	
Transporte	\$		200.00	
Total por día de trabajo				\$ 22,743.19
Total de libras por día				\$ 500,000.00
Costo de produccion de la salmuera por cada libra de camarón				\$ 0.0455

**Tabla 3.14 Costo de producción salmuera por lb de camarón situación propuesta**

<b>Situación propuesta</b>				
<b>Insumos de la salmuera</b>				
Insumos	Unidad	unidades	Valor unitario	valor total por reposición
Agua	m3	0.6	0.5	\$ 0.30
Sal	sacos	10	8.5	\$ 85.00
Azucar	sacos	8	30	\$ 240.00
Acido citrico	sacos	1	1.2	\$ 1.20
Costo diario por reposición por m3				\$ 326.50
Costo del volumen base por día (30 m3)				\$ 1,632.50
Costo total por reposición por día (38 reposiciones)				\$ 12,407.00
<b>Costo total diario</b>				<b>\$ 14,039.50</b>
<b>Consumo energetico</b>				
<b>Tiempo de operación</b>				<b>20</b>
Elementos que consumen potencia	Potencia x 10 h ( kWh)		Costo \$/kwh	Valor por una jornada
4 Motores del tanque agitador 50 HP+3 Motores de 7 HP	3116		0.05	\$ 155.80
Carga de refrigeración del serpentín	31.6			\$ 1.58
Motor y Bomba de 3 refrigerador 75 HP	3355.2			\$ 167.76
Carga de refrigeración del congelador	20220			\$ 1,011.00
6 Bombas de transporte	45			\$ 2.25
3 Tamiz rotatorio	5			\$ 0.25
Costo total diario del consumo energetico				\$ 1,338.64
<b>SUELDOS A OPERARIOS</b>				
# Trabajadores	Costo mano de obra por hora		Costo por día	
10	13.3		\$ 1,330.00	
Transporte	\$		200.00	
Total por día de trabajo				\$ 16,908.14
Total de libras por día				\$ 500,000.00
Costo de producción de la salmuera				\$ 0.0338

### 3.4.2 Análisis de Costos

A continuación, se detalla el desglose económico de la inversión correspondiente a la propuesta. Cabe recalcar que el material usado en cada una de las piezas es de acero inoxidable 304, debido a que por sus propiedades es ideal para el manejo de alimento. Este es un material que es 5 veces más caro que el acero negro. Los valores presentados además del material representan la mano de obra, el transporta y la instalación de los 4 tanques.

**Tabla 3.15 Análisis de Inversión inicial sistema propuesto**

<b>Maquinaria o compuesto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario [\\$]</b>	<b>Precio total [\\$]</b>
Tanque mezclador	4	\$ 15.094,95	\$ 60.379,81
Eje agitador	4	\$ 4.200,00	\$ 16.800,00
Hélice Bipartida	16	\$ 600,00	\$ 9.600,00
Suple	4	\$ 680,00	\$ 2.720,00
Soporte Superior (Conjunto armado)	4	\$ 3.220,00	\$ 12.880,00
Soporte Inferior (Conjunto armado)	4	\$ 2.100,00	\$ 8.400,00
Alerones	16	\$ 125,00	\$ 2.000,00
Serpentín	4	\$ 1.450,00	\$ 5.800,00
Tubería 2" cedula 40	920 m	\$ 8.091,57	\$ 32.366,29
Aislante tanque mezclador	31.94 m2	\$ 335,37	\$ 3.818,31
Aislante tubería 2"	146.9 m2	\$ 1.541,93	\$ 860,86
Tamiz Filtrante	12	\$ 500,00	\$ 6.000,00
Refractómetro de azúcar	4	\$ 205,00	\$ 820,00
Refractario de salinidad	4	\$ 205,00	\$ 820,00
Motor 50 HP – 1800 rpm	4	\$ 4.300,00	\$ 17.200,00
Reductor Planetario NGR 40-L	4	\$ 2.199,00	\$ 8.796,00
Bomba 2 HP	6	\$ 500,00	\$ 3.000,00
Estructura motor	887.6 kg	\$ 1.694,19	\$ 6.776,76
Estructura externa	6087 kg	\$ 11.618,48	\$ 46.473,94
Instalación componentes mecánicos	4	\$ 17.038,35	\$ 68.153,39
Instalación componentes eléctricos	4	\$ 4.445,40	\$ 17.781,60
Instalación estructuras	4	\$ 13.767,70	\$ 55.070,82
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 386.517,78</b>
<b>TOTAL + IVA</b>			<b>\$ 432.899,92</b>

### 3.4.3 Análisis de Producción e Inversión

De las imágenes mostradas se puede visualizar que el ahorro diario generado por los insumos es de \$7183 y el valor de la inversión es de \$ 432899,92. Se concluye que el proyecto se solventa en un periodo de 61 días laborales.

### 3.4.4 Factibilidad

La propuesta planteada demuestra ser factible debido a que su implementación representa un gasto accesible para la empresa, cubriéndose el total del costo de inversión inicial en los primeros 61 días

laborales. Aunque los valores de costos ahorrados no representan un gran porcentaje en comparación al margen de ganancias de la empresa, se evidencia un ahorro del 25% en costos de producción de salmuera.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Se evidenció la importancia de conocer el impacto que tiene esta mezcla en el proceso de congelación.
- Se verificó el comportamiento del proceso de congelación de salmuera, determinando los parámetros de operación y se establecieron los parámetros de conservación de la solución para su almacenamiento y posterior regeneración.
- Se concluye que la formulación de la salmuera puede variar dependiendo de la empresa donde se la prepare, por lo tanto, el volumen necesario para su regeneración por volumen de salmuera usada también será una variable. La variación de volumen y concentración de solutos se determinará por medio de refractómetros de sal y azúcar.
- Se realizó de forma eficiente el diseño mecánico de un sistema completo de mezclado de salmuera para el proceso de congelamiento del camarón de exportación, con la finalidad de garantizar una solución homogénea para el correcto proceso de enfriamiento del producto.
- Se diseñó un sistema completo que permita la recolección, regeneración y reutilización de salmuera usada, con la finalidad de optimizar los recursos empleados, en donde se obtuvo un ahorro del 25% de costo de producción unitario de la salmuera.
- Se estableció la fabricación de 4 tanques mezcladores de 5 m<sup>3</sup> cada uno con la finalidad de abarcar 16m<sup>3</sup> de salmuera desechada en una jornada de 20h laborales y 4 m<sup>3</sup> de salmuera regenerada, dicho volumen permitirá cubrir las recargas de 2.5 congeladores en un periodo de 10h laborales.
- Para el proceso de regeneración se diseñó 4 tanques mezcladores de Acero Inoxidable 304 con una capacidad de 5 m<sup>3</sup> y un peso total de 3.4 toneladas incluyendo el eje mezclador y 2 hélices bipartidas.

Empleando la normativa ASME VIII DIV 1 se realizó el diseño del fondo elíptico y cuerpo del tanque mezclador, cuyas dimensiones son de 1.6 m diámetro y 3 m de altura, donde 2.5 m corresponden al nivel del fluido.

- Para obtener un sistema de refrigeración eficiente que garantice la conservación de la salmuera sin el incremento de carga bacteriana, se diseñó un serpentín que permite enfriar la salmuera una vez que esta elevada su temperatura después del proceso de regeneración, adicional se implementó aislante térmico en tuberías y el tanque mezclador para garantizar la temperatura de conservación de la salmuera y evitar accidentes por quemaduras en frío.
- Se seleccionó un sistema de filtración por tamiz rotatorio que permite la separación sólidos-líquidos de la solución, este sistema requiere bajo mantenimiento.
- Empleando el software AUTODESK INVENTOR se pudo realizar un análisis estático completo del eje agitador y la estructura del motor, donde se obtuvieron deformaciones totales menores 1.3 mm y factores de seguridad mayores a 2.2, concluyendo que los diseños son óptimos y seguros.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Para reducir errores operacionales en la regeneración de la salmuera se recomienda automatizar el proceso de lectura de propiedades de salmuera realizada por los refractómetros de azúcar y sal.
- Se recomienda tener en consideración los análisis microbianos de la salmuera para tener presente la caducidad de esta debido a su carga bacteriana.
- Tener en consideración de qué si se desea implementar el sistema de regeneración de salmuera en diferentes procesos, sus resultados dependerán de la composición inicial de la salmuera. Por ende, se recomienda el análisis en laboratorio de la solución para conocer

propiedades físicas como densidad, viscosidad y conductividad térmica.

- Los ahorros generados por implementar este proyecto dependerán de la eficiencia en el subproceso de mezclado. Actualmente se utiliza sal #1 en grano en la elaboración de esta sustancia, la misma que no es diluida fácilmente en agua y por ende necesita ser agitada por grandes periodos de tiempo caso contrario estas partículas de tamaño relativamente grande obstruiría el sistema de bombeo, lo que incide en el desperdicio de dichos residuos por ende se recomienda utilizar mezcladores que generen alto grado de cizallamiento para asegurar la trituración y fácil dilución de los ingredientes de la mezcla.
- Programar mantenimientos preventivos del equipamiento para asegurar su correcto funcionamiento.

# BIBLIOGRAFÍA

- Angeles, I. A. (2018). *Unidad 2. Agitación y Mezclado*. Ciudad de Mexico: Tecnológico Nacional de Mexico Insituto Tecnológico de Atitalaquia.
- Couper, J., Penney, W., Fair, J., & Walas, S. (2005). *Chemical Process Equipment (Second Edition)*. Gulf Professional Publishing.
- Hervé, L.-B. (2017). Uso de Salmuera para Congelar Camarón en Plantas Procesadoras: Técnicas de Congelación, Función y Componentes de la Salmuera. *Industria Acuícola*, 14-19.
- Inungaray, M. L., & Munguía, A. R. (2014). Vida útil de los alimentos / Lifetime food. *Revista Iberoamericana De Las Ciencias Biológicas Y Agropecuarias*, 32-56.
- Lovejoy Inc. (s.f.). *Lovejoy Couplig Solutions - Curved Jaw*. Lovejoy Inc.
- Lozano Salas, A. A. (2016). *Análisis de la fluctuación de las cargas sobre el conjunto eje-impulsor de un agitador de eje vertical mediante simulación numérica*. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- LUCIEN-BRUN, H. (2017). The proper use of brine to freeze shrimp,. *Global Aquaculture advocate.*, 18.
- McCabe, W. L., Smith, J., & Harriot, P. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 7. ed. México: McGraw Hill.
- Norton, R. L. (2011). *Diseño de máquinas. Un enfoque integrado*. México: Pearson Educación.
- Orozco, R. B. (2010). *Estudio de Velocidades y arrastre de sólidos en presas de mezclado de lodos de perforación*. Ciudad de Mexico: Universidad Nacional Autónoma de Mexico.
- SEW Eurodrive. (2018). *Diseño mecánico de agitadores*.
- SKF. (s.f.). *SKF Bearing Select*. Obtenido de <https://skfbearingselect.com/#/bearing-selection-start>
- SKF. (s.f.). *SKF Seal Select*. Obtenido de Herramienta SKF para la selección de sellos: <https://www.skf.com/co/support/engineering-tools/seal-select>
- Temes, T. G.-A. (2010). *Termodinámica, cuaderno de tablas y diagramas*. Navarra: Tecnun Universidad de Navarra.
- Towler, G., & Sinnott, R. (2014). *Chemical Engineering Design (Vol. 6)*. Elsevier.



Universidad Abierta y a distancia de Mexico UnADM. (s.f.). *Operaciones unitarias II*.  
Ciudad de Mexico.

Uribe, V. C. (2013). *DISEÑO Y CÁLCULO DE UN AGITADOR DE FLUIDOS* .

# APÉNDICES

# APÉNDICE A

## Diseño tanque de mezclado

### Volumen de tanque de mezclado

Tabla 0.1 Volumen salmuera regenerado total

Horas de operación	Volumen total de salmuera desechada por 3 congeladores. [m <sup>3</sup> ]	Volumen salmuera usado para regeneración. [m <sup>3</sup> ]
20	18	16.8
Volumen salmuera regenerada [m <sup>3</sup> ]		3.2
Volumen salmuera total [m <sup>3</sup> ]		<b>20.0</b>

Se determinó que por factibilidad de diseño se iba a fabricar 4 tanques medianos que contengan el volumen total calculado en vez de diseñar 1 solo tanque de grandes dimensiones. **Cada tanque tendrá una capacidad total de 5 m<sup>3</sup>** donde 4.2 m<sup>3</sup> son de salmuera desechada y 0.8 m<sup>3</sup> salmuera concentrada para regenerar la desechada.

### Selección de número de impulsores

Basándose en Tabla 2. y debido que la salmuera es un fluido con una viscosidad menor a 25x10<sup>3</sup> cP se establece que el sistema requiere **2 impulsores**.

### Dimensiones tanque de mezclado

El dimensionamiento del tanque de mezclado se lo realizó de acuerdo con referencias geométricas detalladas en la

#### Figura 2.2

$$\frac{H}{Dt} = 1.6$$

Reemplazando:

$$V = \frac{1.6\pi * Dt^3}{4}$$

- **Diámetro del tanque (Dt)**

$$Dt = 1.58 [m] \cong 1.6 [m]$$

- **Nivel del líquido (H)**

$$H = 2.55 [m] \cong 2.5 [m]$$

- **Altura del tanque (H1)**

Se considera un volumen adicional del 25%. Por lo tanto, la capacidad del tanque debe de ser de 6.25 m<sup>3</sup>

$$H_1 = 3.1 \text{ [m]} \cong 3 \text{ [m]}$$

- **Diámetro del Impulsor (Da)**

$$D_a = 0.53 \text{ [m]} \cong 0.5 \text{ [m]}$$

- **Ancho de las paletas del Impulsor (W)**

$$W = 0.08 \text{ [m]}$$

- **Longitud del eje agitador (L<sub>B</sub>)**

$$L_B = 2,08 \text{ [m]} \cong 2 \text{ [m]}$$

- **Distancia entre impulsores (y)**

$$y = 1.2 \text{ [m]}$$

- **Distancia entre la superficie del líquido y el impulsor superior (y<sub>2</sub>)**

$$y_2 = 0.8 \text{ [m]}$$

- **Distancia entre el fondo del tanque y el impulsor inferior (E)**

$$E = 0.8 \text{ [m]}$$

- **Ancho de la placa deflectoras (J)**

$$J = 0.16 \text{ [m]}$$

- **Espacio entre placa y estanque (f)**

$$f = 0.032 \text{ [m]}$$

- **Espacio entre la base de la placa deflectora y la base recta del tanque.**

$$b = 0.25 \text{ m}$$

### **Espesor cuerpo tanque mezclador**

En base a los valores de la hoja de cálculo APENDICE B, el espesor del cuerpo debe de ser de 2 mm, se colocará un espesor de 3 mm para unificar los espesores con la tapa elíptica.

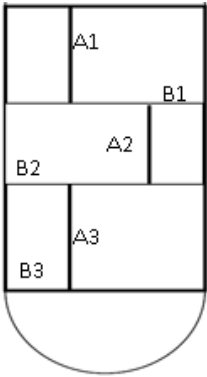
### **Diseño y espesor tapa elíptica inferior**

En base a los valores de la hoja de cálculo APENDICE C, las dimensiones son las siguientes.

$$h = 400 \text{ [mm]}, L = 1440 \text{ [mm]}, t = 3 \text{ [mm]}$$

## APÉNDICE B

### Diseño Espesor Cuerpo del Tanque Mezclador

<b>Eficiencia de la soldadura.</b>					
En aquel punto que une al cuerpo con la cabeza del tanque se verifico UW11 a)5. b)	<b>CORDONES DE SOLDADURA.</b>	<b>TIPO</b>	<b>¿SE REALIZA EXAMEN DE RADIOGRAFÍA?</b>	<b>EFICIENCIA Tabla UW 12 ASME VIII</b>	<b>NOTA</b>
	A1, A2, A3	Todos los cordones son tipo 1: Juntas a tope con soldadura doble.	No  Se decido especificar la ausencia de este examen no destructivo con la finalidad de ser más conservadores en el diseño. Ya que presenta la eficiencia más baja.	0,7	Junta longitudinal. Esfuerzo circunferencial
	B1, B2, B3				Junta circunferencia. Esfuerzo longitudinal
	A1, B1				Los puntos de mayor riesgo a fisurarse son las intersecciones entre 2 cordones de soldadura.
	A2, B1				
	A2, B2				
	B2, A3				
	B3, A3				
<b>Material de construcción:</b> Acero Inoxidable 304 laminado en frio			<b>Esfuerzo de fluencia:</b> 240 MPa o 34954,10 psi		
<b>Radio interno del tanque:</b> 0.8 m o 31.5 in			<b>Altura:</b> 3 m		
<p><b>Presión interna de operación</b></p> $P_i = P_o + \rho_s * g * H_t = 1.01 * 10^5 \frac{N}{m^2} + 1260 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * 3 m = 147044 Pa = 21,32 psi$ <p><b>Presión interna de diseño</b></p> $P = 1.1 * P_i = 161748 Pa = 23.5 psi$ $P = 30 psi + P_i = 51,32 psi$ <p style="text-align: center;"><u>Se escoge el mayor.</u></p>					
<b>Espesor del tanque:</b> Análisis longitudinal				1,83 mm $\cong$ 2 mm	
$t = \frac{P * R_t}{2 * S * E1 + 0,4 * P}$ <p style="text-align: center;">CA = 1 mm</p>					
<b>Espesor del tanque:</b> Analisis circunferencia				2,68 mm $\cong$ 3 mm	
$t = \frac{P * R_o}{S * E1 - 0.6 * P}$ <p style="text-align: center;">CA = 1 mm</p>				<u>Se escoge el mayor</u>	

## APÉNDICE C

### Diseño Tapa Elíptica Tanque Mezclador

<b>DISEÑO TAPA ELÍPTICA – PRESIÓN INTERNA</b>		
<b>Parámetros iniciales</b>		
Presión interna de diseño P [psig]	20	
Temperatura de diseño T [°F]	5	
Diámetro interior D [in]	62.99	
Material base	Acero Inoxidable 304	
Esfuerzo permisible @ Dis.Temp. Sb [psi]	34954.10	
Esfuerzo Permisible a T ambiente Sa [psi]	34954.10	
Eficiencia de la cabeza	0.7	
Espesor min a presión externa E1 [in]	0.08	
<b>CORROSIÓN</b>		
Corrosión permitida [in]	Grado 5	0.04
<b>DIMENSIONES TAPA ELÍPTICA</b>		
Diámetro Corroído. (D+2C) [in]	63.07	Espesor [in]
Altura de cabeza h [in]	15.75	$t = \frac{P * Do * K}{2 * S * E + 2 * P * (K - 0.1)}$ $t = 0.026 [in]$
Radio de cabeza r [in]	2.0	Espesor mínimo req. [in]
Radio de bombeo L=0,9*D [in]	56.59	$t = t_{nominal}$ $t = 0.118 [in]$
Diámetro exterior Do [in]	63.23	SE ESCOGE EL ESPESOR MAYOR $t = 0.118 [in] = 3 [mm]$

## Corrosión permitida

Corrosion Class	Steel	
	ST	LT
1	<0.5	<0.1
2	0.5–2	0.1–1.5
3	2–10	1.5–6
4	10–35	6–20
5	>35	>20

ST: Velocidad de corrosión promedio durante los primeros 10 años de exposición

LT: velocidad de corrosión de estado estable para exposiciones a largo plazo

**Figura 0.1 Velocidad de corrosión atmosférica según la clase de corrosión**

Fuente: NACE, 2002

La Figura 0.1 indica que durante los primeros 10 años de vida del tanque, la velocidad de corrosión es mayor a 35  $\mu\text{m}/\text{año}$ , ya que el mismo tendrá un recubrimiento anticorrosivo, se asumió una velocidad de 40  $\mu\text{m}/\text{año}$ . Se multiplicó esta velocidad de corrosión por los 10 años en los que se da esa velocidad y se obtuvo como resultado 400  $\mu\text{m}$ . A partir del décimo año de vida del tanque, se asume una velocidad de corrosión de 25  $\mu\text{m}/\text{año}$ . Se multiplicó esta velocidad por los 15 años de vida restantes del tanque y se obtuvo 375  $\mu\text{m}$ . La suma de estos valores es la tolerancia a la corrosión, por lo tanto:  $CA = 775 \mu\text{m}$ .

## APÉNDICE D

### Diseño Eje de Mezclado y Hélices

#### Numero de Reynolds

$$Re = \frac{N_a D_a^2 \rho_s}{\mu_s}$$

$$Re = \frac{6.99 \text{ rps} * 0,5 \text{ m}^2 * 1260 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0.30 \text{ Pa s}} = 7339.5 = 7.3 \times 10^3$$

#### Flujo transitorio aproximado a turbulento

Al tener un volumen total de 20 m<sup>3</sup> y una viscosidad de 0.37 Ns/m<sup>2</sup> la curva indica que se debe emplear una turbina a 420 rpm. (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.)

$$N_a = 420 [\text{rpm}] = 7 [\text{rps}]$$

#### Número de Potencia

El Número de Potencia determinado por la curva de la Figura 2. es de 1.27. Este se obtuvo de la curva de turbina de pala inclinada y el valor de Re-7300.

$$N_p = 1.27$$

#### Potencia Total Impulsores

$$P_{\text{impulsor}} = N_p N_a^3 D_a^5 \rho_s$$

$$P_{\text{impulsor}} = 1,27 * (7 [\text{rps}])^3 * (0,5 [\text{m}])^5 * 1260 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = 17152 \text{ W} = 23 \text{ HP}$$

$$P_T = 1.9 P_{\text{impulsor}}$$

$$P_T = 1.9 * 23 [\text{HP}]$$

$$P_T = 43.7 \text{ HP} \cong 44 \text{ HP}$$

#### Velocidad lineal punta de la hélice

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{0.5 \text{ m}}{1.6 \text{ m}} = 0.31 \cong 0.3$$



La Figura 2. indica que al tener una relación 0.3 entre el diámetro de las aspas y el tanque, con un Reynolds de  $7 \times 10^3$ , el número de flujo es igual a 0.79.

$$N_Q = 0,79$$

$$Q_a = N_Q N_a D_a^3$$

$$Q_a = 0.79 * 6.99 \text{ [rps]} * (0.5 \text{ [m]})^3 = 0.69 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

$$V_a = \frac{Q_a}{\frac{\pi}{4} * D_a^2} = \frac{0.69 \left[ \frac{m^3}{s} \right]}{\frac{\pi}{4} * (0.5 \text{ [m]})^2}$$

$$V_a = 3.51 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

### Análisis de cargas y fuerzas exteriores en hélices y eje agitador

En base al DCL del eje agitador (Figura 3.1) y de la hélice (Figura 3.2) se hizo análisis estático en cada elemento.

- Fuerza ejercida por la Presión

Hélice superior 1

$$P_1 = P_{atm} + \rho_s * g * y_2$$

$$P_1 = 101\,325 \text{ [Pa]} + 1260 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 9,8 \left[ \frac{m}{s^2} \right] * 0,8 \text{ [m]} = 0.11 \text{ [MPa]}$$

$$F_1 = P_1 * A_T$$

$$F_1 = P_1 * \left( \# \text{ Paletas} * A_{\text{superficie}_{\text{aspa}}} \right) = P_1 * \left( \# \text{ Paletas} * \frac{Da}{2} * h \right)$$

$$F_1 = 111203.4 \text{ [Pa]} * 4 * 0.25 \text{ [m]} * 0.08 \text{ [m]} = 8,9 \text{ kN}$$

$$\mathbf{F_1 = 8,9 \text{ kN}}$$

$$F_{1x} = F_1 * \cos 45^\circ = 6.29 \text{ kN}$$

$$F_{1z} = F_1 * \sen 45^\circ = 6.29 \text{ kN}$$

Hélice inferior 2

$$P_2 = P_{atm} + \rho_s * g * (y + y_2)$$

$$P_2 = 101\,325 \text{ [Pa]} + 1260 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 9,8 \left[ \frac{m}{s^2} \right] * (1.2 \text{ [m]} + 0,8 \text{ [m]}) = 0.12 \text{ [MPa]}$$

$$F_2 = P_2 * \left( \# \text{ Paletas} * A_{\text{superficie}_{\text{aspa}}} \right) = P_2 * \left( \# \text{ Paletas} * \frac{Da}{2} * h \right)$$

$$F_2 = 126021 \text{ [Pa]} * 4 * 0.25 \text{ [m]} * 0.08 \text{ [m]} = 10.1 \text{ kN}$$

$$\mathbf{F_2 = 10.1 \text{ kN}}$$

$$F_{2X} = F_2 * \cos 45^\circ = 7.14 \text{ kN}$$

$$F_{2z} = F_2 * \sen 45^\circ = 7.14 \text{ kN}$$

- Fuerza Hidrodinámica

$$C_H = N_p = 1.27$$

$$F_H = C_H * A_T * \rho_s * v_a^2 = 1.27 * 4 * 0.25 \text{ [m]} * 0.08 \text{ [m]} * 1260 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * \left( 3.51 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \right)^2$$

$$\mathbf{F_H = 1.6 \text{ kN}}$$

$$F_{HX} = F_H * \cos 45^\circ = 1.11 \text{ kN}$$

$$F_{Hz} = F_H * \sen 45^\circ = 1.11 \text{ kN}$$

$$\mathbf{F_H = F_{H1} = F_{H2}}$$

$$\mathbf{F_{HX} = F_{H1X} = F_{H2X}}$$

$$\mathbf{F_{Hz} = F_{H1z} = F_{H2z}}$$

- Fuerza de empuje

$$V_{Helice} = \#_{paletas} * W * L * e_{impul}$$

$$V_{Helice} = 8 * (0,08 \text{ m} * 0,25 \text{ m} * 0,004 \text{ m}) = 6,4 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$V_{eje} = \frac{\pi}{4} * D_e^2 * L_b$$

Se asume un diámetro de eje, en este caso se asumirá de 2.5 in (0.0635 m)

$$V_{eje} = \frac{\pi * (0,0635 \text{ m})^2}{4} * 2 \text{ m} = 0,0063 \text{ m}^3$$

$$F_e = \rho_s * g * (V_{helice} + V_{eje})_{sumergido}$$

$$F_e = 1260 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * (0,0063 \text{ m}^3 + 6,4 \times 10^{-4} \text{ m}^3) = 85 \text{ N}$$

$$\mathbf{F_e = 0.085 \text{ kN}}$$

- Peso

$$m_{eje} = \rho_{acero} * (V_{eje} + V_{Helice})$$

$$m_{eje} = 7930 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (0,025 \text{ m}^3 + 6,4 \times 10^{-4} \text{ m}^3) = 203,32 \text{ kg}$$

$$W_{eje} = m_{eje} * g = 203.32 \text{ kg} * 9.8$$

$$\mathbf{W_{eje} = 2 \text{ kN}}$$

- Fuerza de impulsión

De acuerdo a la Figura 2. el patrón de velocidad del fluido al inicio de la hélice debe de ser 0.25.

$$v_{\text{entrada}} = 0.25 * v_a$$

$$F_i = \#_{\text{helices}} * \frac{\rho_{\text{salmuera}} * \pi * \left(\frac{D_a}{2}\right)^2}{2} * (v_{\text{salida}}^2 - v_{\text{entrada}}^2)$$

$$F_i = 2 * \frac{1260 * \pi * 0,25^2}{2} * (3,57^2 - (3,57 * 0,25)^2) = 3 \text{ kN}$$

$$\mathbf{F_i = 3 \text{ kN}}$$

- Momento Torsor

$$T = \frac{P_T}{\omega}$$

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{34.302 \text{ kW}}{44 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 780 \text{ Nm}$$

$$\mathbf{T = 780 \text{ Nm}}$$

### Análisis estático hélices

$$\leftarrow \sum F_x = 0$$

$$F_{2x} + F_{H2x} - R_{ax} = 0$$

$$R_{ax} = F_{2x} + F_{H2x} = 7.14 + 1.11 = 8.25 \text{ [kN]}$$

$$R_{ax\_helice} = 2.06 \text{ [kN]}$$

$$\uparrow \sum F_z = 0$$

$$-F_{2z} - F_{H2z} + R_{az} = 0$$

$$R_{az} = F_{2z} + F_{H2z} = 7.14 + 1.11 = 8.25 \text{ [kN]}$$

$$R_{az\_helice} = 2.06 \text{ [kN]}$$

$$\curvearrowright \sum M_C = 0$$

$$-M_a + (F_{2z\_helice} + F_{H2z\_helice}) * \frac{D_a}{4} = 0$$

$$M_a = (F_{2z\_helice} + F_{H2z\_helice}) * \frac{D_a}{4} = (4.125) * \frac{0.5}{4} = 515 \text{ [N m]}$$

## Análisis estático eje agitador

$$\leftarrow \sum F_x = 0$$

$$-F_{\text{rad-A}} + F_{1X} + F_{H1X} + F_{2X} + F_{H2X} - F_{\text{rad-B}} = 0$$

$$F_{\text{rad-A}} + F_{\text{rad-B}} = F_{1X} + F_{H1X} + F_{2X} + F_{H2X} = 15.65 \text{ kN}$$

$$F_{\text{rad-A}} = 15.65 \text{ kN} - F_{\text{rad-B}}$$

$$\uparrow \sum F_z = 0$$

$$F_{\text{ax-A}} - F_{1Z} - F_{H1Z} - W - F_{2Z} - F_{H2Z} + F_E + F_I = 0$$

$$F_{\text{ax-A}} = F_{1Z} + F_{H1Z} + W + F_{2Z} + F_{H2Z} - F_E - F_I$$

$$F_{\text{ax-A}} = 14.5 \text{ [kN]}$$

$$\curvearrow \sum M_A = 0$$

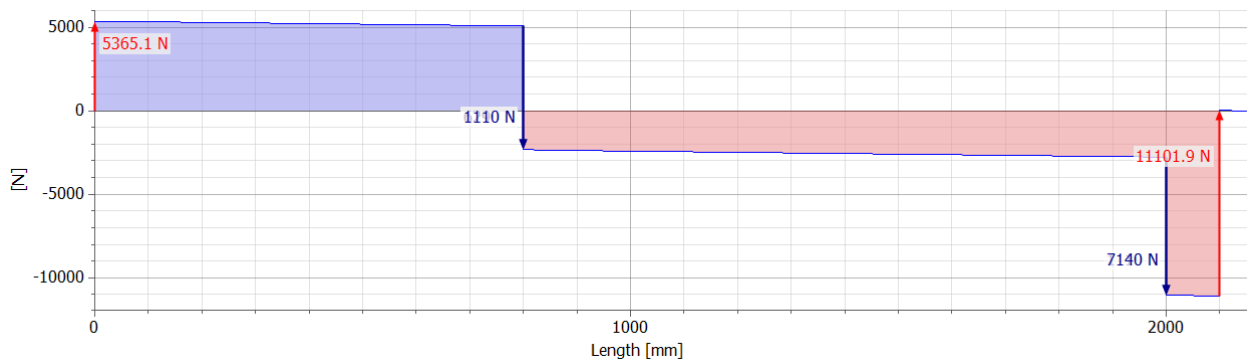
$$(F_{H1X} + F_{1X}) * 0.8 + (F_{H2X} + F_{2X}) * 2 - F_{\text{rad-B}} * 2.15 = 0$$

$$F_{\text{rad-B}} = \frac{(F_{H1X} + F_{1X}) * 0.8 + (F_{H2X} + F_{2X}) * 2}{2.15}$$

$$F_{\text{rad-B}} = 10.42 \text{ [kN]}$$

$$F_{\text{rad-A}} = 5.23 \text{ [kN]}$$

## Diagrama Fuerza Cortante



## Diagrama Momento flector

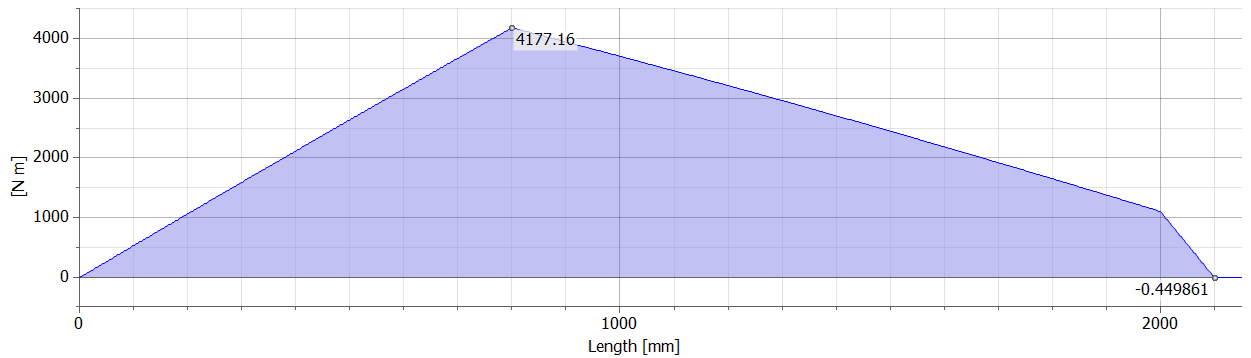


Figura 0.2 a) Diagrama Fuerza cortante del eje agitador b) Diagrama Momento Flector del eje agitador

$$M_{\text{HELICE 1}} = 4177 \text{ [N m]}$$

$$M_{\text{PUNTO B}} = 1146 \text{ [N m]}$$

$$M_{\text{PUNTO A}} = 614.9 \text{ [N m]}$$

## Diseño de hélices inclinadas 45°

### Espesor hélice inclinada

$$\sigma_{\text{perm}} = \frac{\sigma_{\text{falla}}}{F.S}$$

$$\sigma_{\text{perm}} = \frac{241 \text{ MPa}}{2.5} = 96.4 \text{ MPa}$$

$$S_{\text{req}} = \frac{M_{\text{max}}}{\sigma_{\text{perm}}}$$

$$S_{\text{req}} = \frac{515 \text{ Nm}}{96.4 \text{ MPa}} = 5.34 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

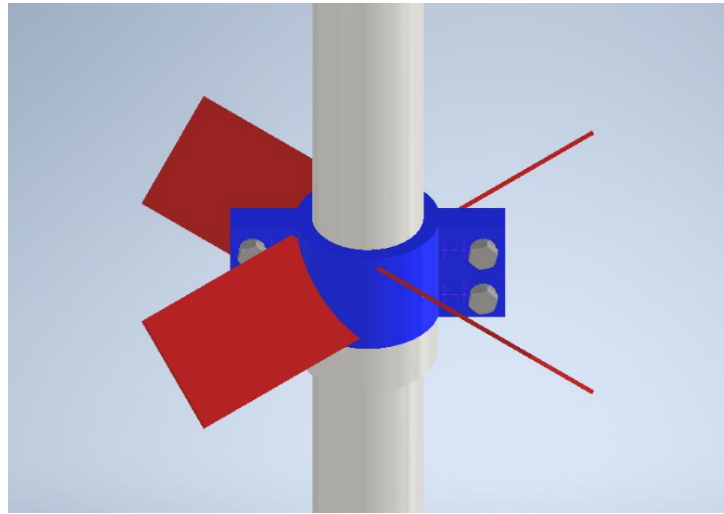
$$S_{\text{aspa}} = \frac{W * e^2}{6} = S_{\text{req}}$$

$$e = \sqrt{\frac{6 * S_{\text{req}}}{\frac{Da}{2}}} = \sqrt{\frac{6 * 5.34 \times 10^{-6} \text{ m}^3}{0.250}} = 10 \text{ mm}$$

$$e = 4 \text{ [mm]}$$

### Perno sujeción hélice inclinada bipartida

Para facilitar el montaje y próximos mantenimientos del sistema agitador se decidió el diseño de hélice bipartida, sujeta por pernos que permitan un fácil desmontaje.

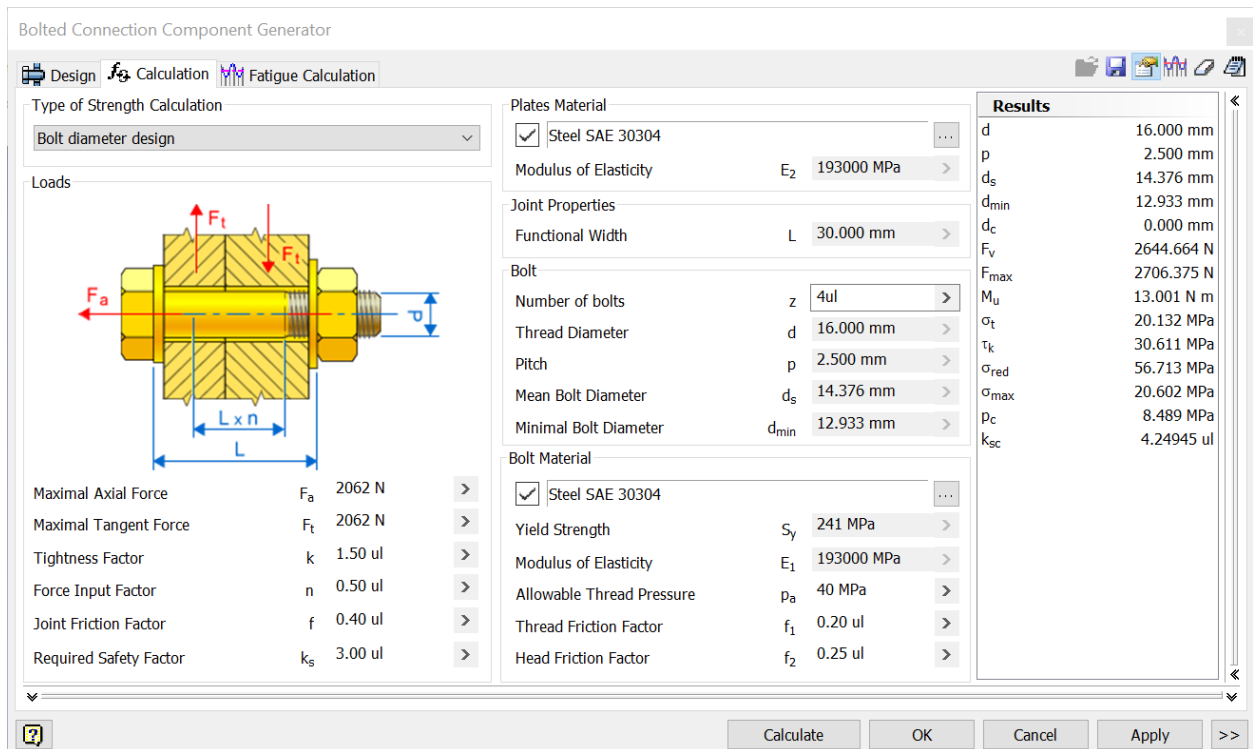


**Figura 0.3 Diseño de forma hélice bipartida**

Para el cálculo del perno se usó como guía el simulador de Autodesk Inventor, como parámetros iniciales se ingresó la fuerza axial y tangencial que soportará cada perno, estas corresponden a las fuerzas aplicadas en las hélices  $F_h$  y  $F_2$

$$F_a = \frac{F_{H2Z} + F_{2Z}}{4 \text{ pernos}} = 2.06 \text{ [kN]}$$

$$F_T = \frac{F_{H2X} + F_{2X}}{4 \text{ pernos}} = 2.06 \text{ [kN]}$$



**Figura 0.4 Simulador de Pernos Hélices Bipartidas (Autodesk, 2020)**

*Perno M16 X 55 mm – 4 pernos por hélice*

## Diseño de eje agitador

### Criterio de falla según Von Mises/Goodman

Para poder analizar el eje por falla por fatiga se identificó el punto crítico a lo largo del eje, este será la sección donde mayor carga concentrada se encuentre y por ende tiende a ser el punto más frágil.

El punto Crítico se encuentra a 800 mm del inicio del eje, en la ubicación donde se localiza la Turbina 1.

$$T = 0,780 \text{ [kN m]}$$

$$M_a = M_{\text{HELICE 1}} = 4.177 \text{ [kN]}$$

$$F_{\text{axial}} = 14.5 \text{ [kN]}$$

## Concentradores de esfuerzos

Se asume, basado en la Figura 2.:

- Radio de muesca  $r = 0.1 \text{ in} = 2.5 \text{ mm}$

$$q_{flexion} = 0.8$$

$$q_{torsion} = 0.82$$

- Concentrador estático a flexión  $K_t = 2.3$
- Concentrador estático a torsión  $K_{ts} = 1.9$

$$K_f = 1 + q_{flexion} (k_t - 1)$$

$$k_f = 1 + 0.8 (2.3 - 1) = 2.04$$

$$k_{fs} = 1 + q_{torsion} (k_{ts} - 1)$$

$$k_{fs} = 1 + 0.82(1.9 - 1) = 1.73$$

si $K_f  \sigma_{m\acute{a}x_{nom}}  < S_y$ entonces:	$K_{fm} = K_f$
si $K_f  \sigma_{m\acute{a}x_{nom}}  > S_y$ entonces:	$K_{fm} = \frac{S_y - K_f \sigma_{a_{nom}}}{ \sigma_{m_{nom}} }$
si $K_f  \sigma_{m\acute{a}x_{nom}} - \sigma_{m\acute{i}n_{nom}}  > 2S_y$ entonces:	$K_{fm} = 0$

$$k_{fm} = k_f = 2.04$$

$$k_{fsm} = k_{fs} = 1.73$$

Límite de resistencia corregido  $S_e$

$$S_e = C_{CA} * C_{TA} * C_{TE} * C_{SU} * C_R * S_e'$$

- Factor de Carga  $C_{CA}$

Debido a que se diseña el eje por flexión se determinó el  $C_{ca} = 1$

- Factor de Tamaño  $C_{TA}$

Por factores de diseño se estima un  $C_{ta} = 1$

- Factor de Temperatura  $C_{TE}$

Al trabajar con temperaturas menores a 450C, se determinó un  $C_{te} = 1$

- Factor de Superficie  $C_{SU}$

El eje al ser mecanizado y ser de Acero Inoxidable,  $C_{su} = 0.84$

- Factor de Confiabilidad  $C_R$

Con un 90% de confiabilidad,  $C_r = 0.897$



$$S_e = 1 * 1 * 1 * 0.84 * 0.897 * 0.5 * 586 \text{ [MPa]}$$

$$S_e = 220.76 \text{ [MPa]}$$

Esfuerzos Von Mises

$$\tau_a = 0; \quad \sigma_m = 0$$

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_a^2}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{(\sigma_{m \text{ axial}})^2 + 3\tau_m^2}$$

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_y} = \frac{1}{FS}$$

$$\frac{\sqrt{\sigma_a^2}}{S_e} + \frac{\sqrt{(\sigma_{m \text{ axial}})^2 + 3\tau_m^2}}{S_y} = \frac{1}{FS}$$

$$\frac{\sqrt{\left(k_f \frac{32 M_a}{\pi d^3}\right)^2}}{S_e} + \frac{\sqrt{\left(k_{fm} \frac{4 F_{axial}}{\pi d^3}\right)^2 + 3 \left(k_{fsm} \frac{16 * T_m}{\pi * d^3}\right)^2}}{S_y} = \frac{1}{FS}$$

$$\frac{\sqrt{\left(2.04 * \frac{32 * 4177}{\pi d^3}\right)^2}}{220.7 * 10^6} + \frac{\sqrt{\left(2.04 * \frac{4 * 14500}{\pi d^3}\right)^2 + 3 \left(1.73 * \frac{16 * 780}{\pi * d^3}\right)^2}}{586 * 10^6} = \frac{1}{2.5}$$

$$d = 0.101 \text{ [m]} = 4 \text{ [in]}$$

Diámetro en sección de rodamiento de soporte inferior

El rodamiento radial ubicado en el inferior del eje se encuentra a 2m de distancia.

El momento calculado en ese punto es de 1146.2 [N m]. Los concentradores de flexión y torsión se recalcularon en este punto.  $k_f = k_{fm} = 2.12$ ,  $k_{fs} = 1.82$

$$\frac{\sqrt{\left(k_f \frac{32 M_a}{\pi d^3}\right)^2}}{S_e} + \frac{\sqrt{\left(k_{fm} \frac{4 F_{axial}}{\pi d^3}\right)^2 + 3 \left(k_{fsm} \frac{16 * T_m}{\pi * d^3}\right)^2}}{S_y} = \frac{1}{FS}$$

$$\frac{\sqrt{\left(2.12 * \frac{32 * 1146.2}{\pi d^3}\right)^2}}{220.7 * 10^6} + \frac{\sqrt{\left(2.12 * \frac{4 * 14500}{\pi d^3}\right)^2 + 3 \left(1.82 * \frac{16 * 780}{\pi * d^3}\right)^2}}{586 * 10^6} = \frac{1}{2.5}$$

$$d_{\text{soporte inf}} = 0.069 \text{ [m]} = 3 \text{ [in]}$$

### Diámetro en sección de rodamiento de soporte superior

El rodamiento radial ubicado en el inicio del soporta cargas axiales y radiales. El momento calculado en ese punto es de 614.9 [N m]. Los concentradores de flexión y torsión se recalcularon en este punto.  $k_f = k_{fm} = 2.12$ ,  $k_{fs} = 1.82$

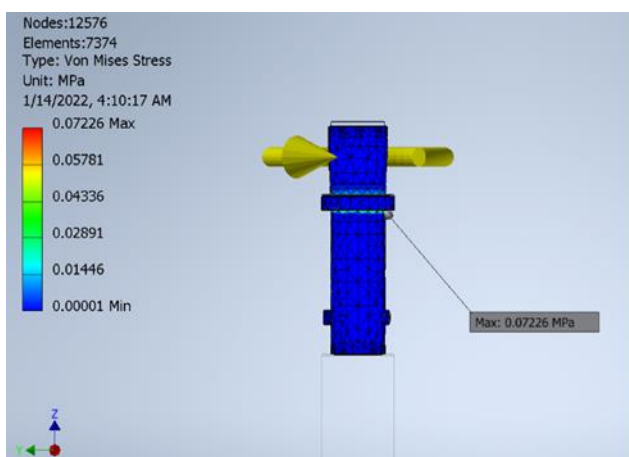
$$\frac{\sqrt{\left(k_f \frac{32 M_a}{\pi d^3}\right)^2}}{S_e} + \frac{\sqrt{\left(k_{fm} \frac{4 F_{axial}}{\pi d^3}\right)^2 + 3 \left(k_{fsm} \frac{16 * T_m}{\pi * d^3}\right)^2}}{S_y} = \frac{1}{FS}$$
$$\frac{\sqrt{\left(2.12 * \frac{32 * 614.9}{\pi d^3}\right)^2}}{220.7 * 10^6} + \frac{\sqrt{\left(2.12 * \frac{4 * 14500}{\pi d^3}\right)^2 + 3 \left(1.82 * \frac{16 * 780}{\pi * d^3}\right)^2}}{586 * 10^6} = \frac{1}{2.5}$$

$$d_{soporte\ sup} = 0.058 [m] = 2.5 [in]$$

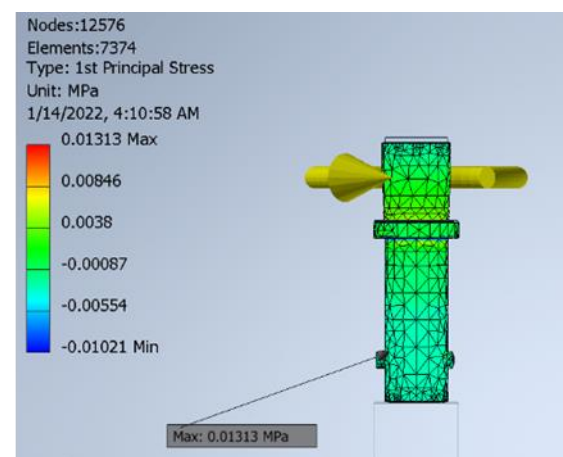
### Diseño suple soporte superior

Para facilitar el desmontaje del eje agitador con el sistema motriz ubicado en la parte superior del tanque se diseñó un suple en donde va a ir alojado el acople flexible que conecta caja reductora y una chumacera de soporte. El suple estará ensamblado con el eje por medio de un pin axial de seguridad, el cual permitirá transmitir la potencia del motor al eje agitador.

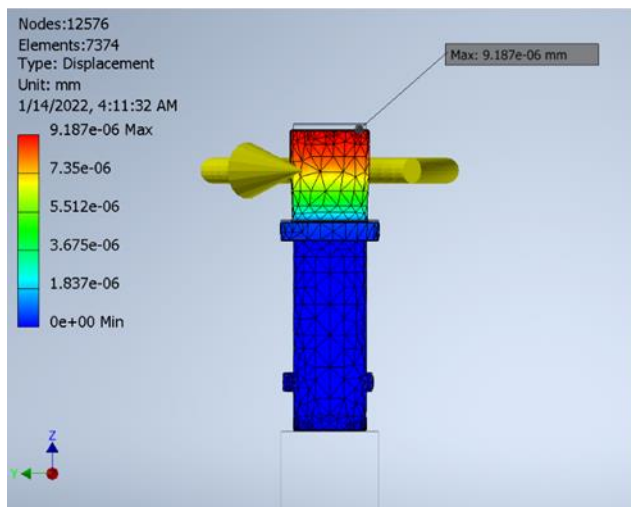
El suple se diseñó de Acero Inoxidable 304 y la simulación de cargas fue realizada en Autodesk Inventor, la pieza fue diseñada por falla por fatiga, criterio de falla según Von Mises/Goodman.



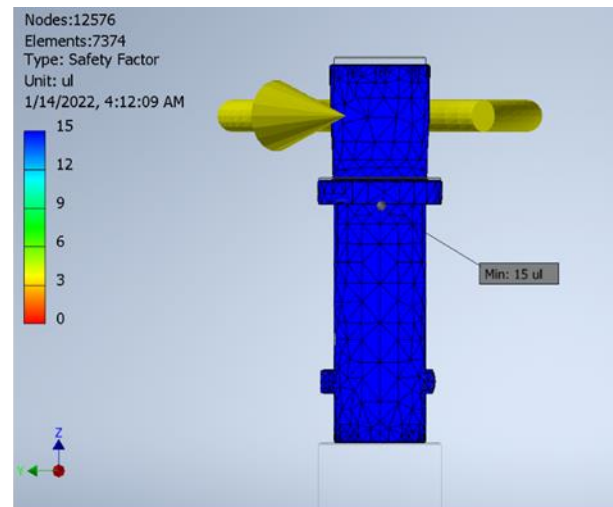
a) Esfuerzos Von Mises



b) Esfuerzos Principales



c) Deformaciones totales



d) Factor de seguridad

**Figura 0.5 Simulación CFD supe eje agitador (Autodesk, 2020)**

$$d_a = 3 [in]$$

$$d_b = 4 [in]$$

$$d_c = 3 [in]$$

$$d_{soporte\ sup} = 2.5 [in]$$

$$d_{pin} = 0.02 [m]$$

$$L_1 = 0.1 [m]$$

$$L_2 = 0.02 [m]$$

$$L_3 = 0.3 [m]$$

$$L_4 = 0.05 [m]$$

$$L_{pin} = 0.095 [m]$$

$$FS = 15$$

El pin axial se diseñó de Acero Inoxidable 304 y la simulación de cargas fue realizada en Autodesk Inventor, la pieza fue analizada bajo esfuerzo torsión, donde se diseñó la pieza con los siguientes parámetros de entrada.

$$Potencia\ motor = 37 [kW]$$

$$Na = 516 [rpm]$$

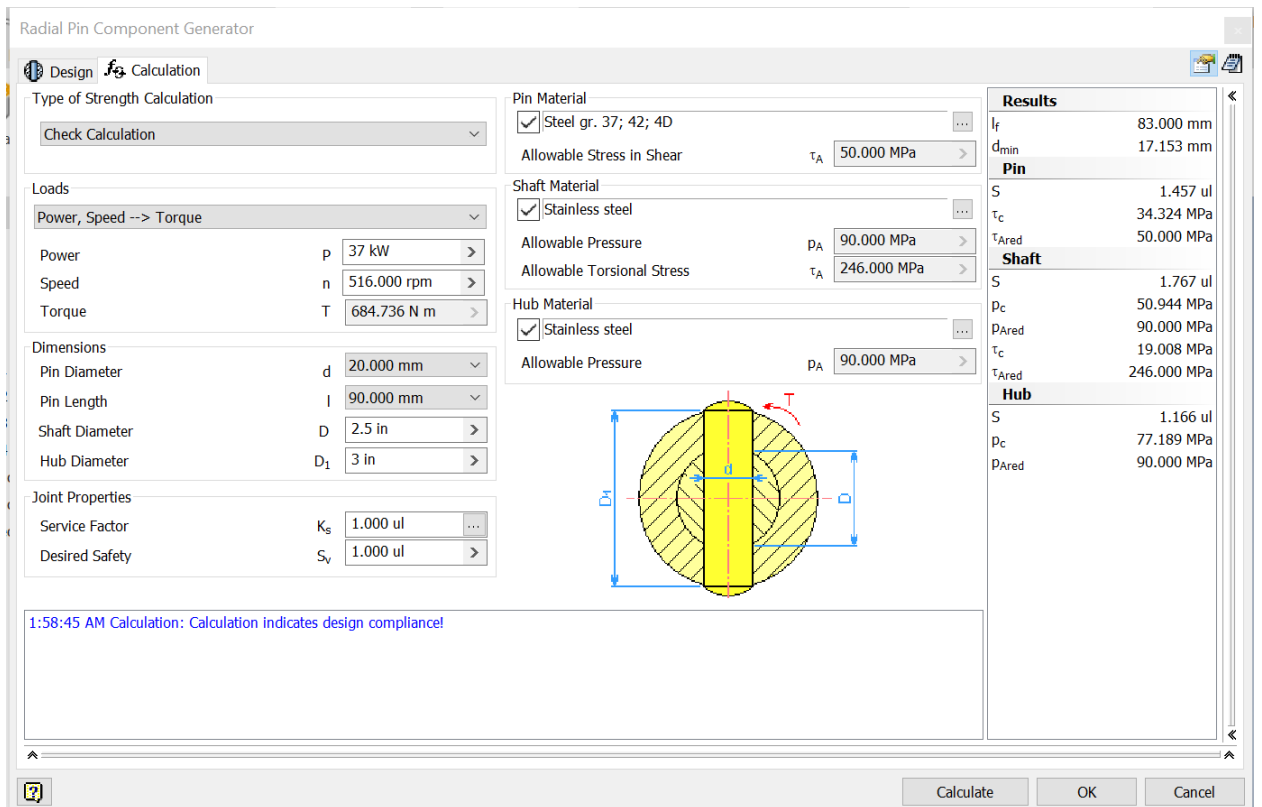


Figura 0.6 Simulador de Pin de seguridad (Autodesk, 2020)

Se obtuvo que el pin debe de tener las siguientes características

$$d_{pin} = 20 [mm]$$

$$L_{pin} = 95 [mm]$$

# APÉNDICE E

## Sistema Motriz

### Selección de Motor Trifásico

Para la selección del motor trifásico se debe de calcular la Potencia Real, la cual dependerá de la Potencia consumida por el conjunto agitador multiplicado por un factor de servicio

$$P_{\text{real}} = P_T * C_s$$

Para los motores WEG IE3 el proveedor establece un  $C_s$  de 1.15

$$P_{\text{real}} = P_T * C_s = 44 [HP] * 1.15 = 50.6 [HP]$$

MOTORES DE 60 HZ

### MOTORES ELECTRICOS TRIFÁSICOS IEC DE HIERRO FUNDIDO

SERIES TE / EFICIENCIA IE2

EFICIENCIA IE2

#### Aplicaciones

Para ambientes de uso severo encontrados en la industria papelera, de agregados, minería, química y otras industrias.

#### Características.

- Motores a 60 Hz.
- Tipo de construcción TEFC.
- Rodamientos de bolas.
- Aislamiento clase F.
- Ventilación IC411.
- IP55.
- Estándar IEC60034.
- Temperatura 40 °C
- Altitud 1000 m.
- Factor de servicio 1.15.
- Montajes disponibles B3.
- Pintura Blue Marathon.

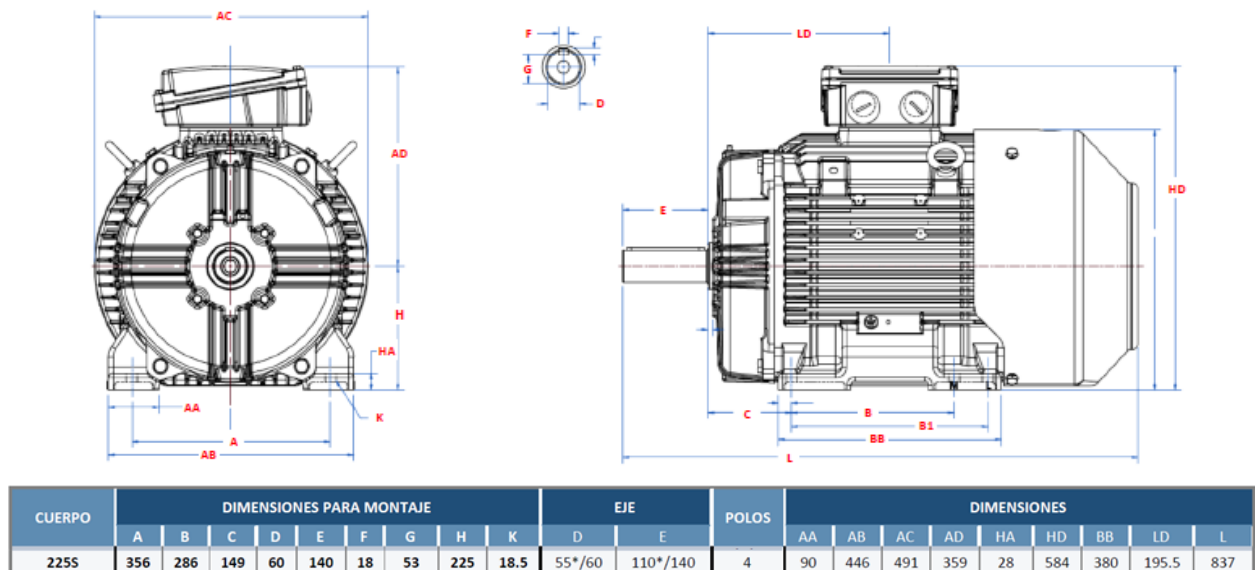


### Velocidad 1800 rpm (4 Polos).

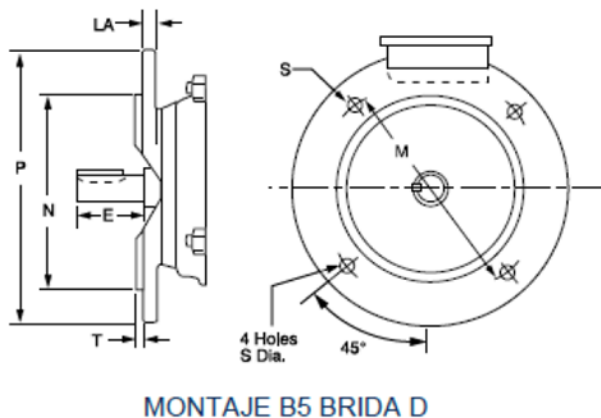
Cuerpo Estándar.

CODIGO MHCA	POTENCIA		CUERPO	F.S.	CORRIENTE (AMP)			FACT. DE POTENCIA	EFICIENCIA %	TORQUE (Nm)
	KW	HP			220V	380V	440V			
MEMTU343	0.75	1	80M	1.15	3.36	1.95	1.68	0.75	78.0	4.2
MEMTU344	1.1	1.5	90S	1.15	4.46	2.58	2.23	0.77	84.0	6.1
MEMTU345	1.5	2	90L	1.15	5.93	3.43	2.97	0.79	84.0	8.4
MEMTU346	2.2	3	100L	1.15	8.15	4.72	4.07	0.81	87.5	12.0
MEMTU347	3	4	100L	1.15	10.97	6.35	5.49	0.82	87.5	16.4
MEMTU348	4	5	112M	1.15	14.63	8.47	7.32	0.82	87.5	22.0
MEMTU349	5.5	7.5	132S	1.15	19.67	11.39	9.83	0.82	89.5	30.2
MEMTU350	7.5	10	132M	1.15	26.50	15.34	13.25	0.83	89.5	41.2
MEMTU351	11	15	160M	1.15	37.77	21.86	18.88	0.84	91.0	59.9
MEMTU352	15	20	160L	1.15	50.89	29.46	25.50	0.85	91.0	81.6
MEMTU353	18.5	25	180M	1.15	61.10	35.37	30.55	0.86	92.4	99.8
MEMTU354	22	30	180L	1.15	72.66	42.06	36.33	0.86	92.4	118.7
MEMTU355	30	40	200L	1.15	98.44	56.80	49.22	0.86	93.0	162.3
MEMTU356	37	50	225S	1.15	121.41	70.29	60.70	0.86	93.0	198.5
MEMTU357	45	60	225M	1.15	146.71	84.94	73.36	0.86	93.6	242.1
MEMTU083	55	75	250M	1.15	176.31	102.08	88.16	0.87	94.1	295.1
MEMTU085	75	100	280S	1.15	239.00	139.00	120.00	0.87	94.5	403.5

Figura 0.7 Motor seleccionado para eje agitador (Marathon Motors)



**Figura 0.8 Dimensiones motor seleccionado para eje agitador  
(Marathon Motors)**



BRIDA B5 (BRIDA D)						
CUERPO	PCD M	SPIGOT N	DIAM P	HOLE DIAM S	T	LA
225	405	350	450	18.5	5.0	21

**Figura 0.9 Dimensiones brida motor para eje agitador  
(Marathon Motors)**

Se seleccionó **motor IE2 - 60 Hz**

### Selección de Caja Reductora

Se seleccionó un reductor planetario debido a su alta eficiente, la cual permite una reducción alta de velocidades. El reductor opera durante 20 horas diarias con 2 arranques-hora. La velocidad de rotación del eje es de 460 rpm con un torque de 780 N m.

Para seleccionar la caja reductora se determinó la Potencia de Entrada y Relación de transmisión

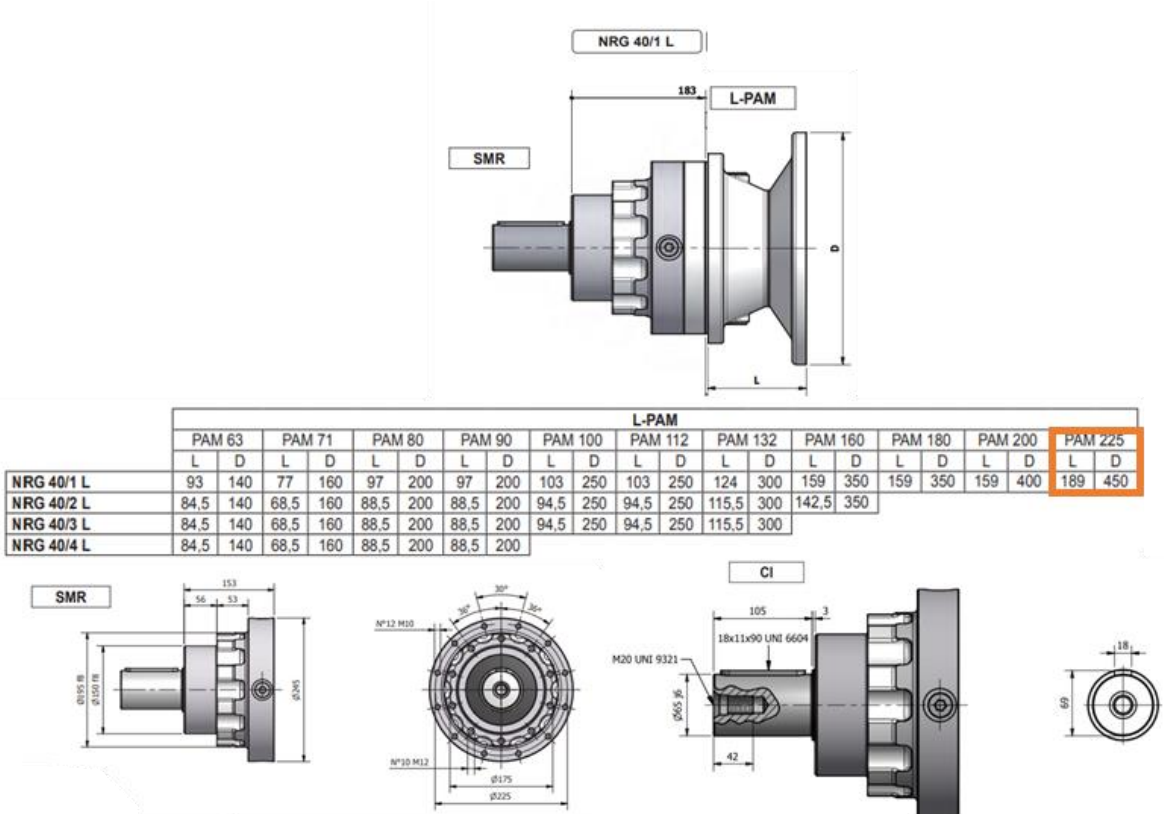
$$P_E = \frac{P}{\eta_{\text{motor}} * \eta_{\text{reductor}}} = \frac{46 \text{ HP}}{0,93 * 0,97} = 50 \text{ HP}$$

$$i = \frac{1800 \text{ rpm}}{460 \text{ rpm}} = 3,91 = 4$$



TIPO-TYPE TYP	i	50 Hz					MOTORE - MOTOR MOTEUR	60 Hz			
		n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	sf	n <sub>1</sub>		n <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	sf	
<b>37 kW</b>											
NRG 40/2-R	7,5	2800	372	907	1,75	PAM200	3360	447	756	2	
NRG 40/1-L	7,3	2800	382	911	1,81	PAM200	3360	458	759	2,12	
NRG 40/1-L	3,5	1400	406	858	2,42	PAM225	1680	487	715	2,8	
NRG 40/1-L	5,8	2800	487	715	2,55	PAM200	3360	584	596	2,81	

**Figura 0.10 Selección reductor planetario para eje agitador (SITI SPA, NRG)**



**Figura 0.11 Dimensiones reductor planetario para eje agitador (SITI SPA, NRG)**

Se seleccionó **Reductor Planetario NGR 40-L**

### Selección de Acople flexible

El acople flexible va a ser colocado entre el reductor y el suple, con la finalidad de transmitir la potencia. Entre los parámetros iniciales de diseño se tiene:

- Potencia de salida: 50 Hp
- Torque de salida: 780 Nm
- Arranques por hora: 10
- Aplicación: Eje agitador o mezclador
- Temperatura de operación: Ambiente
- Diámetro del eje de salida (reductor): 2 in
- Diámetro del eje agitador: 3 in

Se calculó el torque nominal

$$T_N [\text{lbs in}] = \frac{P_{\text{motor}} [\text{HP}]}{n [\text{rpm}]} * 63025$$

$$T_N [\text{lbs in}] = \frac{50 \text{ HP}}{487 \text{ rpm}} * 63025 = 6470.7 \text{ lbs in}$$

Y determinar los Factores de servicio

Application Service Factor (K1)

Application Service Factor	Service Factor (K1)
Uniform operation with small masses to be accelerated. Hydraulic and centrifugal pumps, light generators, blowers, fans, ventilators, belt/screw conveyors.	1.0
Uniform operation with medium masses to be accelerated. Sheet metal bending machines, wood working machines, mills, textile machines, mixers.	1.2
Irregular operation, with medium masses to be accelerated. Rotating ovens, printing presses, generators, shredders, winders, spinning machines, pumps for viscous fluids.	1.3
Irregular operation and shocks, with medium masses to be accelerated concrete mixers, drop hammers, cable cars, paper mills, compression pumps, propeller pumps, rope winders, centrifuges.	1.4
Irregular operation and very heavy shocks, with large masses to be accelerated. Excavators, hammer mills, piston pumps, presses, rotary boring machines, shears, forge presses, stone crushers.	1.6
Irregular operation and very heavy shocks, with very large masses to be accelerated. Piston type compressors and pumps without speed variations, heavy roll sets, welding machines, brick presses, stone crushers.	1.8

Note: ■ If people are transported, Lovejoy does not recommend and will not warranty the use of the coupling.

Application Service Factor for Starts per Hour (K2)

Starts Per Hour	100	200	400	800
Service Factor (K2)	1.0	1.2	1.4	1.6

Application Service Factor for Ambient Temperature (K3)

Ambient Temperature	-30° to 30° C	40° C	60° C	80° C
Service Factor (K3)	1.0	1.2	1.4	1.6

#### Definition of Terms

Tkn	Rated coupling torque
Tkmax	Maximum torque of the coupling
P[kW]	Power in kilowatts
RPM[1/min]	Revolutions per minute
Nm	Newton meters
DTkmax	Maximum torque of the application
Tkw	Varying load of an application in kilowatts
Pkw	Allowable power loss
BX Hub	Extended length hub

**Figura 0.12 Coeficiente de corrección de servicio dependiendo de la aplicación – Lovejoy (Lovejoy Coupling Solutions Curved Jaw)**



$$K = K_1 * K_2 * K_3$$

$$K = 1.2 * 1 * 1 = 1.2$$

Se calculó el torque de diseño

$$T_D = T_N[\text{lbs in}] * K$$

$$T_D = 6470.7 \text{ lbs in} * 1.2 = 7764.8 [\text{lbs in}]$$

Se seleccionó de elastómero apropiado de acuerdo a la aplicación, torque y diámetros a acoplar.

#### CJ Series Elastomer Recommendation Chart

Spider Type	Application types requiring:
80 shore A (Blue)	Good dampening properties
92 shore A (Yellow)	General & hydraulic applications
95/98 shore A (Red)	High torque requirements
64 shore (Green)	High humidity environments

#### CJ Series Special Elastomer Data

Spider Type	Color	Material	Temperature Range		Stock Sizes	Misalignment (inches)			Typical Applications
			Normal	Maximum		Angular	Parallel	Axial	
64 Shore D	Green	Polyurethane	-30° to 230° F	-30° to 266° F	14-180	.9 - 1.3 deg	.008 - .027	.039 - .252	High humidity environments

#### CJ Series Elastomer Torque Ratings

Continued

Size	Maximum Speed RPM	Wind-Up Angle @		Torque		Torque		Rated HP @	
		Nominal Torque	Maximum Torque	Nominal in-lbs	Maximum in-lbs	Nominal Nm	Maximum Nm	1200 RPM	1800 RPM
<b>Urethane Spider 64 Shore D (Green)</b>									
19/24	14,000	2, 5°	3, 6°	185	370	21	42	3.5	5.0
24/32	10,600			660	1,320	75	149	12.5	18.0
28/38	8,500			1,770	3,540	200	400	30.0	50.0
38/45	7,100			3,585	7,170	405	810	65.0	100.0
42/55	6,000			4,955	9,910	560	1 120	90.0	140.0
48/60	5,600			5,795	11,590	655	1 309	110.0	165.0
55/70	4,750			7,300	14,600	825	1 650	125.0	200.0
65/75	4,250			10,395	20,790	1 174	2 349	190.0	290.0
75/90	3,550			21,240	42,480	2 400	4 799	400.0	600.0
90/100	2,800			39,825	79,650	4 499	8 999	750.0	1 125.0
100/110	2,500			54,735	109,470	6 184	12 368	1 040.0	1 550.0
110/125	2,240			79,650	159,300	8 999	17 998	1 515.0	2 275.0
125/145	2,000			110,630	221,260	12 499	24 998	2 100.0	3 160.0
140	1,800			141,600	283,200	15 998	31 996	2 690.0	4 045.0
160	1,500			212,400	424,800	23 997	47 994	4 045.0	6 060.0
180	1,400	309,750	619,500	34 996	69 991	5 900.0	8 850.0		

Figura 0.13 Torque máximo por acople flexible – Lovejoy  
(Lovejoy Coupling Solutions Curved Jaw)

Selección de modelo de araña a usar

### Curved Jaw Coupling Spiders Dimensional Data

Size	A		H		W	
	in	mm	in	mm	in	mm
14	1.18	30	0.39	10	0.39	10
19/24	1.57	40	0.71	18	0.47	12
24/32	2.16	55	1.06	27	0.55	14
28/38	2.56	65	1.15	29	0.59	15
38/45	3.15	80	1.50	38	0.71	18
42/55	3.74	95	1.81	46	0.79	20
48/60	4.13	105	2.01	51	0.83	21
55/70	4.72	120	2.36	60	0.87	22
65/75	5.31	135	2.68	68	1.02	26
75/90	6.30	160	3.15	80	1.18	30
90/100	7.87	200	3.94	100	1.34	34
100/110	8.86	225	4.45	113	1.50	38
110/125	10.04	255	5.00	127	1.65	42
125/145	11.42	290	5.79	147	1.81	46
140	12.60	320	6.50	165	1.97	50
160	14.57	370	7.48	190	2.24	57
180	16.54	420	8.66	220	2.52	64

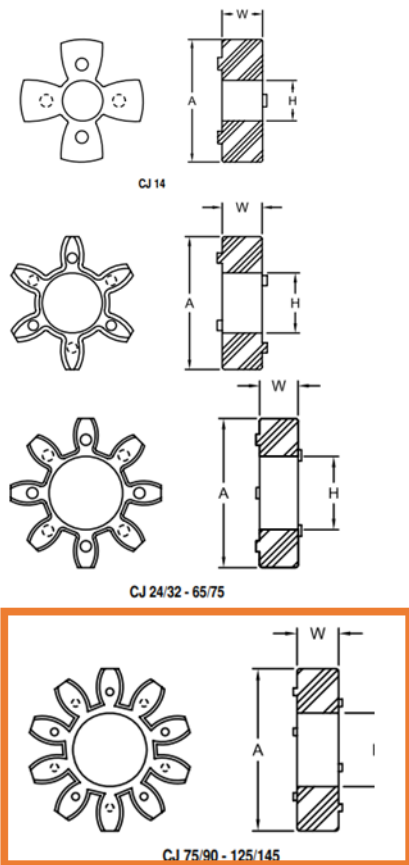
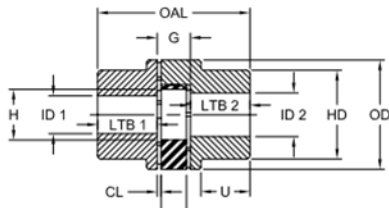


Figura 0.14 Dimensiones araña acople flexible, Lovejoy  
(Lovejoy Coupling Solutions Curved Jaw)

Se seleccionó un **acople flexible 100/110**

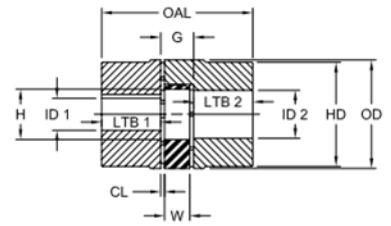
Dimensionamiento de la porta-Araña



Configuration One - 2 A Hubs



Curved Jaw Coupling



Configuration One - 2 B Hubs

CJ Series Cast Iron / Nodular Iron Dimensional Data

Size	Hub Style	OAL in	G in	ID1 - ID2				LTB1 - LTB2 in	H in	CL in	U in	W in	OD in	HD in
				Min Bore in mm		Max Bore* in mm								
42/55	A Style**	4.96	1.02	0.47	12	1.65	42	1.97	1.81	0.12	1.57	0.79	3.74	2.95
	B Style	4.96	1.02	1.44	36	2.13	55	1.97	1.81	0.12	—	0.79	3.74	—
48/60	A Style	5.51	1.10	0.47	12	1.89	48	2.20	2.01	0.14	1.77	0.83	4.13	3.35
	B Style	5.51	1.10	1.02	26	2.36	60	2.20	2.01	0.14	—	0.83	4.13	—
55/70	A Style	6.30	1.18	0.47	12	2.17	55	2.56	2.36	0.16	2.05	0.87	4.72	3.86
	B Style	6.30	1.18	1.89	48	2.76	70	2.56	2.36	0.16	—	0.87	4.72	—
65/75	A Style	7.28	1.38	0.47	12	2.56	65	2.95	2.68	0.18	1.85	1.02	5.31	4.53
	B Style	7.28	1.38	2.28	58	2.95	75	2.95	2.68	0.18	—	1.02	5.31	—
75/90	A Style	8.27	1.57	0.47	12	2.95	75	3.35	3.15	0.20	2.09	1.18	6.30	5.31
	B Style	8.27	1.57	1.97	50	3.54	90	3.35	3.15	0.20	—	1.18	6.30	—
90/100	A Style	9.65	1.77	0.47	12	3.54	90	3.94	3.94	0.22	2.44	1.34	7.87	6.30
	B Style	9.65	1.77	3.11	79	3.94	100	3.94	3.94	0.22	—	1.34	7.87	—
100	B Style	10.63	1.97	1.57	40	4.33	110	4.33	4.45	0.24	—	1.50	8.86	7.87
110	B Style	11.61	2.17	2.36	60	4.92	125	4.72	5.00	0.26	—	1.65	10.04	9.06
125	B Style	13.39	2.36	2.36	60	5.71	145	5.51	5.79	0.28	—	1.81	11.42	10.43

Figura 0.15 Dimensiones cuerpo flexible acople flexible, Lovejoy  
(Lovejoy Coupling Solutions Curved Jaw)

# APÉNDICE F

## Soportes axiales y radiales

### Soporte Superior

El diseño de forma del eje agitador contempla dos soportes ubicados en cada extremo de este, con la finalidad de brindar estabilidad al conjunto agitador. En el extremo superior se colocó un rodamiento axial de rodillo y se fabricó una cajera con tapas selladas con v-ring para garantizar la lubricación del rodamiento interno. Las cargas que soporta los elementos son:

$$F_{rad A} = 5.23 \text{ [kN]}$$

$$F_{axial A} = 14.5 \text{ [kN]}$$

### Tipo de Rodamiento

$$\frac{F_r}{F_a} \leq 0.55$$

$$0.36 \leq 0.55$$

Como la condición se cumple, se debe seleccionar un **rodamiento axial**.

### Carga dinámica equivalente

$$P_a = F_a + 1.2 * F_r$$

$$P_a = 14.5 + 1.2 * 5.23 = 20.7 \text{ [kN]}$$

### Capacidad básica de carga dinámica

Tabla 3.4 Aplicaciones en maquinarias y vida requerida (Referencia)

Clasificación del servicio	Aplicaciones en maquinarias y vida requerida (referencia) $L_{10h}$ $\times 10^3$ h				
	~4	4~12	12~30	30~60	60~
Máquinas usadas por periodos cortos q utilizadas sólo ocasionalmente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicaciones domésticas</li> <li>• Herramientas de mano eléctricas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maquinaria agrícola</li> <li>• Equipos de oficina</li> </ul>			
Utilización durante periodos cortos e intermitentemente, pero con requerimientos de alta confiabilidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipos médicos</li> <li>• Instrumentos de medición</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motores de acondicionadores de aire residenciales</li> <li>• Equipos de construcc.</li> <li>• Elevadores</li> <li>• Grúas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grúas (Poleas)</li> </ul>		
Máquinas que no se usan constantemente, pero se utilizan por periodos largos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automóviles</li> <li>• Vehículos de dos ruedas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motores pequeños</li> <li>• Buses/camiones</li> <li>• Transmisiones de engranes en general</li> <li>• Máquinas madereras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Husillos de máquinas</li> <li>• Motores industriales</li> <li>• Trituradores</li> <li>• Cribas vibratorias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transmisiones de engranes principales</li> <li>• Máquinas de caucho/plástico</li> <li>• Rodillos de calandrias</li> <li>• Máquinas de impresión</li> </ul>	
Máquinas en constante uso durante las 8 horas del día.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laminadores</li> <li>• Escaleras eléctricas</li> <li>• Transportadores</li> <li>• Centrífugas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejes de vehículos ferroviarios</li> <li>• Acondicionadores de aire</li> <li>• Motores grandes</li> <li>• Centrífugas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejes de locomotoras</li> <li>• Motores de tracción</li> <li>• Elevadores mineros</li> <li>• Volantes a presión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máquinas de fabricación de papel</li> <li>• Equipos de propulsión para barcos</li> </ul>
24 horas de operación continua, no interrumpible.					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipos de abastecimiento de agua</li> <li>• Bombas de drenaje/ventiladores para minería</li> <li>• Equipos para generación de potencia</li> </ul>

Figura 0.16 Vida nominal de acuerdo con las aplicaciones en máquinas y vida requerida (NTN Rodamiento de Bolas y Rodillos, NTN)

Debido a que el tanque mezclador se encuentra operativo 24 horas continua se obtiene un **L<sub>10h</sub> de 60x10<sup>3</sup> h**

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * n[\text{rpm}]} \left( \frac{C_a}{P_a} \right)^p$$

Donde p=10/3 en rodamientos de rodillo.

$$60 \times 10^3 = \frac{10^6}{60 * 487 [\text{rpm}]} * \left( \frac{C_a}{20.7 \times 10^3} \right)^{\frac{10}{3}}$$

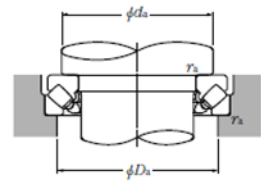
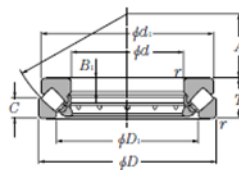
$$C_a = 194.5 [\text{kN}]$$

### Selección de Rodamiento axial y soporte

Debido a que se manejan altas cargas axiales se optó por emplear un rodamiento axial de rodillo a rótula, debido a que soporta capacidad de carga dinámicas básicas mayores. El rodamiento seleccionado fue 29415E.

#### ● Rodamientos Axiales de Rodillos Esféricos

NTN



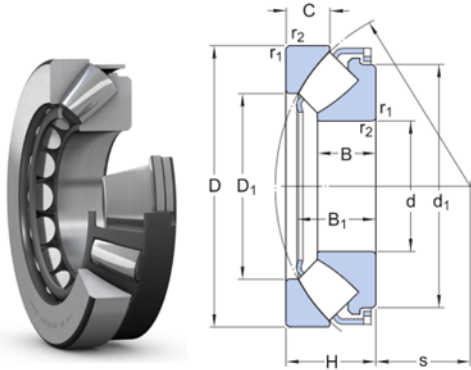
d 60 ~ 160mm

Dimensiones principales mm	Capacidad básica de carga				Velocidades límites r.p.m.	Números de rodamientos	Dimensiones mm					Dimensiones de hombros y filetes			Masa kg (aprox.)			
	dinámica	estática	dinámica	estática			D <sub>i</sub>	d <sub>s</sub>	B <sub>i</sub>	C	A	d <sub>s</sub> min	D <sub>s</sub> max	r <sub>sw</sub> max				
d	D	T	r <sub>min</sub> <sup>(1)</sup>	C <sub>s</sub>	C <sub>sa</sub>	C <sub>s</sub>	C <sub>sa</sub>	aceite										
60	130	42	1.5	283	805	28 900	82 000	2 600	29412	89	123	15	20	38	90	108	1.5	2.78
65	140	45	2	330	945	33 500	96 500	2 400	29413	96	133	16	21	42	100	115	2	3.44
70	150	48	2	365	1 040	37 000	106 000	2 200	29414	103	142	17	23	44	105	125	2	4.19
75	160	51	2	415	1 190	42 500	122 000	2 100	29415	109	152	18	24	47	115	132	2	5.07
80	170	54	2.1	460	1 380	47 000	141 000	1 900	29416	117	162	19	26	50	120	140	2	6.09
85	150	39	1.5	265	820	27 000	84 000	2 300	29317	114	143.5	13	19	50	115	135	1.5	2.94
	180	58	2.1	490	1 480	50 000	151 000	1 800	29417	125	170	21	28	54	130	150	2	7.2

Figura 0.17 Selección Rodamiento Axial (SKF Rodamiento de Bolas y Rodillos)

## 29415 E

Rodamientos axiales de rodillos a rótula  
 - Producto popular  
 - SKF Explorer



### DIMENSIONES

d	2.953 in	Diámetro del agujero
D	6.299 in	Diámetro exterior
H	2.008 in	Altura nominal
d <sub>1</sub>	≈ 5.433 in	Diámetro exterior de cara lateral del extremo de la arandela del eje
D <sub>1</sub>	≈ 4.173 in	Diámetro del resalte del aro exterior
B	1.319 in	Ancho de la arandela del eje o diámetro del agujero de la arandela del eje que se ajusta al eje (rodamiento con jaula de acero estampado)
B <sub>1</sub>	1.799 in	Altura de la arandela del eje + jaula
C	0.965 in	Altura de la arandela del soporte

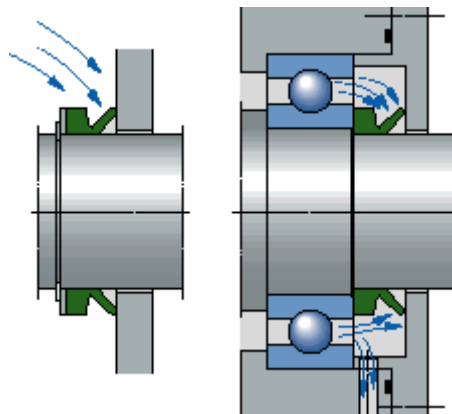
**Figura 0.18 Ficha técnica rodamiento axial 29415 E**

Fuente: Catálogo SKF Rodamiento de Bolas y Rodillos

### Selección Cuerpo de Rodamiento

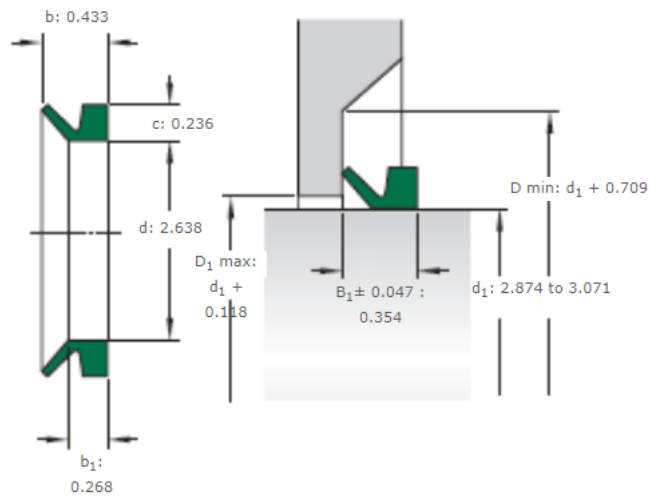
Debido a que en el mercado no se encuentran cajas o chumaceras para rodamientos axiales de tanta carga se optó el emplear una carcasa de acero inoxidable con tapa inferior y superior donde se aloja un retenedor para evitar la entrada de suciedad al rodamiento y preservar la lubricación interna del rodamiento.

El retenedor a emplear se lo seleccionó con el software de SKF Seal Select (SKF, s.f.), el tipo de sello mecánico es V-ring seals debido a que son sellos axiales del eje.



**Figura 0.19 Montaje retenedor V-ring**

Fuente: SKF Seal Select



**75 VA R (400750)**

Designation	: 75 VA R
Designation USA	: 400750
Material	: NBR
Lip code	: R
Design	: VA
Design USA	: VR1

<b>Data</b>	
Minimum shaft diameter ( $d_1 \text{ min}$ )	: 2.874 <i>inch</i>
Maximum shaft diameter ( $d_1 \text{ max}$ )	: 3.071 <i>inch</i>
Seal seat width ( $b_1$ )	: 0.268 <i>inch</i>
Nominal seal width ( $b$ )	: 0.433 <i>inch</i>
Nominal seal height ( $c$ )	: 0.236 <i>inch</i>
Clearance ( $D_1 \text{ max}$ )	: $d_1 + 0.118$ <i>inch</i>
Counterface ( $D \text{ min}$ )	: $d_1 + 0.709$ <i>inch</i>
Seal fitted width ( $B_1 \pm 0.047$ )	: 0.354 <i>inch</i>
Seal inside diameter ( $d$ )	: 2.638 <i>inch</i>

**Figura 0.20 Selección V-ring Tapa Inferior**

Fuente: SKF Seal Select

**Cojinete de fricción Soporte Inferior**

El soporte inferior se encuentra sumergido en la solución de salmuera, por ende, se determinó un cojinete auto lubricante sumergible. Los cojinetes de fricción PTFE no requieren de grasa o aceite para su lubricación y debido a su material no se corroen con el medio salino.

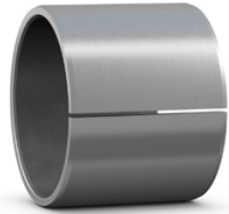
Para su selección se empleó el software de SKF Bearing Select (SKF, s.f.) donde se ingresó como parámetros de diseño los siguientes valores

- Fuerza radial = 10.42 [kN]
- Frecuencia oscilación = 10 min<sup>-1</sup>
- Ángulo de oscilación = 90°
- Temperatura = -18°C

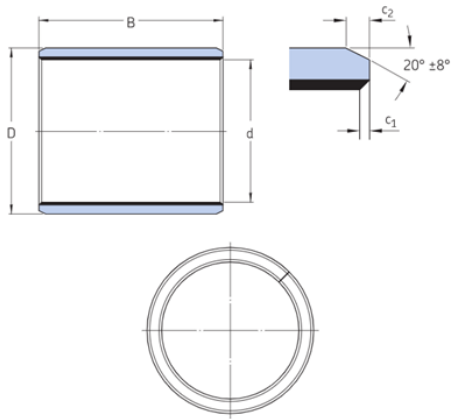
- Rugosidad = 0.4 [um]

PCZ 4848 E

Cojinetes de fricción



Material	Material compuesto de PTFE
Temperatura de funcionamiento	min. -328 °F
Temperatura de funcionamiento	max. 482 °F



DIMENSIONES

d	3 in	Diámetro del agujero
D	3.188 in	Diámetro exterior
B	3 in	Ancho
c <sub>1</sub>	min. 0.008 in	Longitud del agujero del chafán, sentido axial
c <sub>1</sub>	max. 0.039 in	Longitud del agujero del chafán, sentido axial
c <sub>2</sub>	min. 0.047 in	Longitud diámetro exterior del chafán, sentido axial
c <sub>2</sub>	max. 0.095 in	Longitud diámetro exterior del chafán, sentido axial

**Figura 0.21 Ficha técnica Cojinete Fricción PCZ 4848 E SKF**

Fuente: Catálogo General de Industria SNR, SNR



## APÉNDICE G

### Estructura soporte sistema motriz

El sistema motriz compuesto por el motor y el reductor planetario está anclado a una superficie independiente del tanque agitador. La estructura debe de soportar el peso de los componentes motrices y del eje agitador con sus respectivas hélices.

$F_{\text{estructura soporte}}$

$$= [(m_{\text{motor}} + m_{\text{reductor}} + m_{\text{soporte superior}} + m_{\text{conjunto agitador}}) * g] + F_{\text{axial A}}$$

$$F_{\text{estructura soporte}} = [(245 + 190 + 9.7 + 171.9) * 9.8] + 14500$$

$$F_{\text{estructura soporte}} = [(245 + 190 + 9.7 + 171.9) * 9.8] + 14500$$

$$F_{\text{estructura soporte}} = 20.5 \text{ [kN]}$$

## APÉNDICE H

### Aislante térmico del sistema de regeneración.

**Aislante térmico de las tuberías que transportan la salmuera desde el congelador hasta el tanque de agitación.**

Se desea bombear  $1 \text{ m}^3$  de salmuera filtrada hacia los tanques de agitación en un tiempo no mayor a 5 minutos.

$$\dot{V}_{\text{bombeo}} = \frac{1 \text{ m}^3}{5 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 3,33 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Para este caudal se recomienda una tubería de acero inoxidable de 2 in cedula 40, con una velocidad de flujo fijado en  $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . La longitud a recorrer es de 230 m. Con estos datos calculamos el área superficial de la tubería.

$$A_{s_2} = 2\pi r_2 * L = 2\pi * \left( 2 \text{ in} * \frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} * \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right) * 230 \text{ m} = 27,52 \text{ m}^2$$

Se asume el coeficiente de convección interna en  $900 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$  según la referencia (Hervé, 2017).

- Cálculo del coeficiente convectivo exterior del aire.

Temperatura de película:

$$T_f = \frac{25 + (-18)}{2} = 3,2 \text{ °C} = 276,5 \text{ °F}$$

Propiedades del aire a la temperatura de película:

$$\text{Propiedades del aire @ } T_f \left\{ \begin{array}{l} k_{\text{aire}} = 0,02401 \frac{\text{W}}{\text{mk}} \\ Pr_{\text{aire}} = 0,7350 \\ \nu_{\text{aire}} = 1,382 * 10^{-5} \end{array} \right.$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = 3,61 * 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Cálculo del coeficiente de convección del aire:

$$\begin{aligned} Ra &= Gr * Pr = \frac{g\beta(T_s + T_\infty)D}{\nu_{\text{aire}}^2} * Pr \\ &= \frac{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 3,61 * 10^{-3} \text{ K}^{-1} * (-18 + 25) \text{ °C}}{(1,382 * 10^{-5})^2} * 0,7350 \\ &= 48279368 \end{aligned}$$

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 = 38,38$$

$$h_{\text{aire}} = \frac{k_{\text{aire}}}{D} * Nu = 18,14$$

- Cálculo del calor sensible:

$$q_{\text{sensible}} = \rho_s * \dot{V}_{\text{bombeo}} * C_{p_s} * (T_{\infty} - T_i)^{\circ}C$$

$$= 1260 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 3,33 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 13,5 * 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}C} * (25 - (-18))^{\circ}C$$

$$= 2445305 \text{ W}$$

- Cálculo del calor permisible:

$$(q)_{\text{permisible}} = 1\% * q_{\text{sensible}} = 24453 \text{ W}$$

- Cálculo del calor entrante a la tubería con aislante

$$(q)_{e=2''} = \frac{(T_{\infty} - T_i)}{\frac{1}{2\pi r_1 h_t} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_a} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_{\text{aislante}}} + \frac{1}{2\pi r_3 h_{\text{aire}}}}$$

$$= \frac{(25 - (-18))^{\circ}C}{\frac{1}{2\pi (0,01605 \text{ m}) \left(900 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}\right)} + \frac{\ln\left(\frac{0,01905 \text{ m}}{0,01605 \text{ m}}\right)}{2\pi \left(16,3 \frac{\text{W}}{\text{m K}}\right)} + \frac{\ln\left(\frac{0,06985 \text{ m}}{0,01905 \text{ m}}\right)}{2\pi \left(0,0425 \frac{\text{W}}{\text{m K}}\right)} + \frac{1}{2\pi * 0,06985 \text{ m} \left(18,14 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}\right)}}$$

$$= 2333,44 \text{ W}$$

Debido a que el calor que entra a la tubería aislada es ligeramente menor que el calor permisible, se concluye que el espesor utilizado es adecuado

- Temperatura en la superficie exterior de la tubería aislada.

$$T_s = T_\infty - \frac{(q)_{e=2''}}{\frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_{\text{aislante}}} + \frac{1}{2\pi r_3 h_{\text{aire}}}} = -17,9^\circ\text{C}$$

- Temperatura a la salida de la tubería aislada.

$$T_2 = T_s - (T_s - T_i) * e^{\frac{-h_i * A_{s_2}}{\rho_s * \dot{V}_{\text{bombeo}} * C_{p_s}}} = -17,9^\circ\text{C}$$

$$T_2 = -17,9^\circ\text{C} - (-17,9 - (-18))^\circ\text{C} * e^{\frac{-900 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} * 27,52 \text{ m}^2}{1260 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 3,33 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 13,5 * 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}}}$$

La temperatura no disminuye significativamente puesto que solo sufrió un cambio de 0,1 °C.

Parámetros de operación	
$\dot{V}_{\text{bombeo}}$	1 m <sup>3</sup>
$t_{\text{Bombeo}}$	1,5 minutos = 90 s
$\dot{V}_{\text{bombeo}}$	$1,1 * 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
Recomendaciones de la Figura 2. y Figura 2.	
$V_{\text{bombeo}}$	$3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
$D_2$	2 in = 0,0508 m
$e_{\text{tuberia}}$	0,003 mm
Datos de entrada- Ver Figura 2.24	
$r_2$	0,0224 m
$k_a$	$16,3 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$
$h_i$	$900 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$
$e_{\text{aislante}} = r_3 - r_2$	2 in
$k_{\text{aislante}}$	$0,0425 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$
$h_{\text{aire}2}$	$18,14 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$
$T_i$	-18 °C
$T_{\text{inf}}$	25 °C
Cálculos de calores	
Calor sensible $q_2$	2445305 W
Porcentaje de reducción	1%
Calor permisible $q_{2\text{permisible}}$	24453 W
Flujo de calor con aislamiento $q_{\text{conduccion}}$	2333 W
Cálculo de temperaturas en r2	
Temperatura superficial de la tubería aislada $T_{s_1}$	-17,9 °C

Temperatura superficial de la tubería sin aislar $T_{s2}$	-14,1 °C
Cálculo de la temperatura en la salida de la tubería	
Temperatura a la salida de la tubería con aislante $T_2$	-17,9 °C
Temperatura a la salida de la tubería sin aislante	-13,7 °C

### Aislante térmico del tanque de agitación.

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor del fluido almacenado en el tanque.

Se asume:

$$\left(\frac{\mu_{\text{salmuera}}}{\mu_w}\right)^{0.14} = 1$$

Por lo tanto:

$$\frac{h_T * D_t}{k_s} = C * \left(\frac{\rho_s * N_a * (D_a)^2}{\mu_s}\right)^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{C_{ps} * \mu_s}{k_s}\right)^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{\mu_s}{\mu_w}\right)^{0.14}$$

$$h_T = 1.5 * (7350)^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{4103 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} * 0,3 \text{ Pa} * \text{s}}{0.523 \frac{\text{W}}{\text{m K}}}\right)^{\frac{1}{3}} * (1) * \left(\frac{0.523 \frac{\text{W}}{\text{m K}}}{1,6 \text{ m}}\right) = 2466 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

El valor es congruente ya que es superior al valor mínimo establecido por la referencia.

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor del medio exterior (aire).

$$T_f (\text{K}) = \frac{T_s + T_\infty}{2} = \frac{(-8 + 25)^\circ\text{C}}{2} = 8.5^\circ\text{C} = 281.5 \text{ K}$$

$$\text{Propiedades del aire @ } T_f \left\{ \begin{array}{l} k_{\text{aire}} = 0.02434 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \\ Pr_{\text{aire}} = 0.7336 \\ \nu_{\text{aire}} = 1.426 * 10^{-5} \end{array} \right.$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = 3.55 * 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Si  $D \geq \frac{35L}{Gr^{1/4}}$  entonces se lo estudia como a un cilindro de placa plana.

$$Gr = \frac{g\beta(T_s + T_\infty)H_t}{\nu_{\text{aire}}^2} = 8725 * 10^6$$

$$Ra = Gr * Pr = 6400 * 10^6$$

$$D \geq \frac{35H_T}{Gr^{\frac{1}{4}}}$$

$$1.6 \geq 0.34$$

Por lo tanto.

$$Nu_{\text{aire}} = 0.59 Ra^{\frac{1}{4}} = 155.8$$

$$h_{\text{aire}} = \frac{k_{\text{aire}}}{H_t} Nu_{\text{aire}} = 1.4 \frac{W}{m^2 K}$$

Cálculo del calor sensible.

$$\dot{Q}_{\text{sensible}} [W] = \frac{m_s * cp_s * (T_{\infty} - T_i)}{t} = \frac{6237 \text{ kg} * 4103 \frac{J}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} * (25 - (-8))^{\circ}\text{C}}{36000 \text{ s}} = 11729 \text{ W}$$

Cálculo del calor permisible.

$$\dot{Q}_{\text{permisible}} [W] = 0.01 * (23458 \text{ W}) = 117 \text{ W}$$

Cálculo del espesor ideal de aislante.

$$A_T = 2 * \pi * R_T * H_T + 2(\pi * R_T^2) = 19 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{\text{permisible}} [W] = \frac{A(T_{\infty} - T_s)}{\frac{1}{h_{\text{tanque}}} + \frac{e_{\text{acero}}}{k_{\text{acero}}} + \frac{e_{\text{poliuretano}}}{k_{\text{poliuterano}}} + \frac{e_{\text{acero}}}{k_{\text{acero}}} + \frac{1}{h_{\text{aire}}}}$$

Despejando el espesor del poliuretano.

$$e_{\text{poliuretano}} = k_{\text{poliuterano}} \left( \frac{A(T_{\infty} - T_s)}{\dot{Q}_{\text{permisible}} [W]} - \left( \frac{e_{\text{acero}}}{k_{\text{acero}}} + \frac{1}{h_{\text{aire}}} + \frac{1}{h_{\text{tanque}}} + \frac{e_{\text{acero}}}{k_{\text{acero}}} \right) \right)$$

$$e_{\text{poliuretano}} = 0,0425 \frac{W}{m \cdot k} \left( \frac{19 \text{ m}^2 (25 - (-8))^{\circ}\text{C}}{117 \text{ W}} - \left( 2 \frac{0,004 \text{ m}}{16,3 \frac{W}{m \cdot k}} + \frac{1}{1,4 \frac{W}{m^2 K}} + \frac{1}{2466 \frac{W}{m^2 K}} \right) \right)$$

$$= 0,196 \text{ m} = 7,74 \text{ in} \cong 8 \text{ in}$$

<b>Datos de entrada- Ver Figura 2.24</b>	
$D_t$	0,0224 m
$k_a$	$16,3 \frac{W}{m \cdot k}$
$h_{\text{Tanque}}$	$2466 \frac{W}{m^2 K}$
$e_{\text{aislante}} = r_2 - r_1$	3 mm
$k_{\text{aislante}}$	$0,0425 \frac{W}{m \cdot k}$
$h_{\text{aire}_1}$	$1,4 \frac{W}{m^2 K}$
$T_i$	$-8^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{inf}}$	$25^{\circ}\text{C}$
<b>Cálculos de calores</b>	
Calor sensible $q_1$	11729 W

Porcentaje de reducción	1%
Calor permisible $q_{\text{permisible}_1}$	117 W
<b>Cálculo del espesor</b>	
8 in	

**Temperatura de equilibrio después del mezclado de salmuera filtrada con la de renovación.**

$$q_{s_{\text{filtrada}}} = -q_{s_{\text{renovación}}}$$

$$m_{s_{\text{filtrada}}} * C_{p_{s@-17,9^{\circ}\text{C}}} (T_e - T_i) = -m_{s_{\text{nueva}}} * C_{p_{s@25^{\circ}\text{C}}} * (T_e - T_{\infty})$$

$$m_{s_{\text{filtrada}}} = 1260 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4 \text{ m}^3 = 5040 \text{ kg}$$

$$m_{s_{\text{nueva}}} = 1260 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1 \text{ m}^3 = 1260 \text{ kg}$$

$$C_{p_{s@25^{\circ}\text{C}}} = 0,95 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^{\circ}\text{C}} = 3877,5 \frac{\text{J}}{\text{kg } ^{\circ}\text{C}}$$

$$C_{p_{s@-17,9^{\circ}\text{C}}} = 0,88 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^{\circ}\text{C}} = 3684,4 \frac{\text{J}}{\text{kg } ^{\circ}\text{C}}$$

$$18569376 \frac{\text{J}}{^{\circ}\text{C}} (T_e - (-17,9))^{\circ}\text{C} = -4885650 \frac{\text{J}}{^{\circ}\text{C}} (T_e - 25)^{\circ}\text{C}$$

$$3,8 \frac{\text{J}}{^{\circ}\text{C}} (T_e - (-17,9))^{\circ}\text{C} = -(T_e - 25)^{\circ}\text{C}$$

$$3,8 (T_e + 17,9)^{\circ}\text{C} = -(T_e - 25)^{\circ}$$

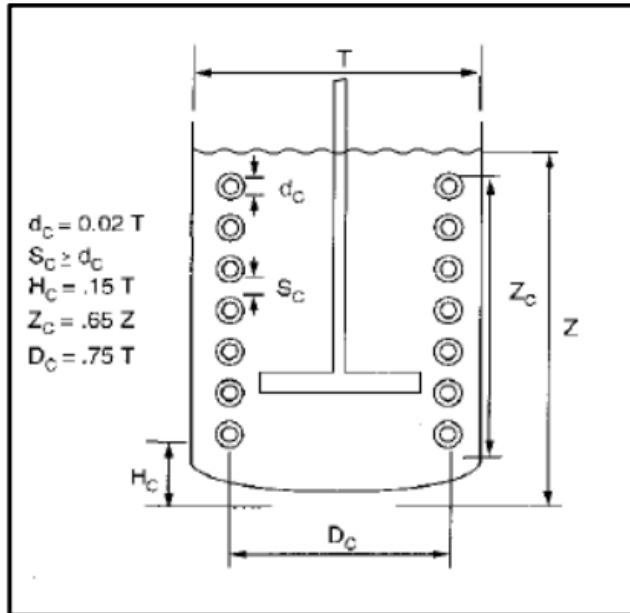
$$4,8 T_e = -43,02$$

$$T_e = -8,9^{\circ}\text{C}$$

# APÉNDICE I

## Serpentín de enfriamiento para tanque de agitación

Dimensionamiento general del serpentín.



Parámetro	Valor
dc	1 ¼ in
e <sub>tubería</sub>	3 mm
Hc	0,24 m
Dc	1.2 m
Zc	1.9 m
Sc	2 in

Coefficiente de convección exterior al serpentín.

- Numero de Reynolds.

$$Re = \frac{\rho_{\text{salmuera}} * N[\text{RPS}] * (D_a)^2}{\mu_{\text{salmuera}}} = \frac{1260 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left(460 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}\right) * (0,5 \text{ m})^2}{0,3 \text{ Pa} * \text{ s}} = 7350$$

- Numero de Prandtl.

$$N_{Pr} = \frac{C_{p_s (-8)^\circ\text{C}} * \mu_s}{k_{s(-8)^\circ\text{C}}} = \frac{3935,5 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * 0,3 \text{ Pa} * \text{ s}}{0,52 \frac{\text{W}}{\text{m K}}} = 2270$$

Se asume:

$$\left(\frac{\mu_{\text{salmuera}}}{\mu_w}\right)^{0,14} = 1$$

- Numero de Nusselt

$$NU_{\text{Tanque}} = \frac{h_{\text{Tanque}} * D_t}{k_{s(-8)^\circ\text{C}}} = C * \left(\frac{\rho_s * N_a * (D_a)^2}{\mu_s}\right)^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{C_{p_s (-8)^\circ\text{C}} * \mu_s}{k_{s(-8)^\circ\text{C}}}\right)^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{\mu_s}{\mu_w}\right)^{0,14}$$



$$h_{\text{Tanque}} = 1.5 * (7350)^{\frac{2}{3}} * (2270)^{\frac{1}{3}} * \left( \frac{0.52 \frac{\text{W}}{\text{m K}}}{1,6 \text{ m}} \right) = 2422 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

Agitador	Superficie	a
Turbina	Chaqueta	0.62
Turbina	Serpentín	1.5
Paletas	Chaqueta	0.36
Paletas	Serpentín	0.87
Ancla	Chaqueta	0.54
Propela	Chaqueta	0.54
Propela	Serpentín	0.83

Coeficiente de convección interno al serpentín.

$$\rho_{\text{NH}_3} = 682 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_{p_{\text{NH}_3}} = 4.43 \frac{\text{KJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

$$k_{\text{NH}_3} = 0,55 \frac{\text{W}}{\text{mk}}$$

$$\dot{V}_{\text{NH}_3} = 120 \text{ gpm} = 7,5 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Nu}_{\text{serpentín}} = \frac{h_{\text{serpentín}} * D_e}{k_{\text{NH}_3}}$$

$$\text{Nu}_{\text{serpentín}} = 0,027 * \left( \frac{\rho_{\text{NH}_3} * v_{\text{NH}_3} * D_e}{\mu_{\text{NH}_3}} \right)^{0.8} * \left( \frac{C_{p_{\text{NH}_3}} * \mu_{\text{NH}_3}}{k_{\text{NH}_3}} \right)^{\frac{1}{3}} * \left( 1 + 3,5 * \left( \frac{D_e}{D_c} \right) \right)$$

$$\text{Nu}_{\text{serpentín}} = 0,027 * \left( \frac{682 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.4 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,032 \text{ m}}{0,2 \text{ mPas}} \right)^{0.8} * \left( \frac{4.43 \frac{\text{KJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * 0,2 \text{ mPas}}{0,55 \frac{\text{W}}{\text{m } ^\circ\text{C}}} \right)^{\frac{1}{3}} * \left( 1 + 3,5 * \left( \frac{0,032 \text{ m}}{1,2 \text{ m}} \right) \right)$$

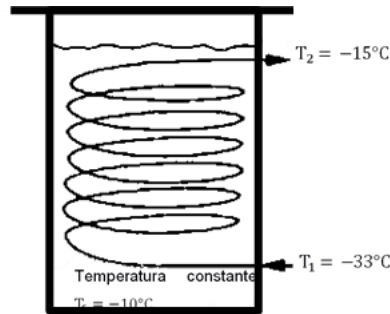
$$\text{Nu}_{\text{serpentín}} = \frac{h_{\text{Interior}} * 0,032 \text{ m}}{0,55 \frac{\text{W}}{\text{mk}}}$$

$$h_{\text{interior}} = 2228.2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

Coeficiente global de calor.

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_2 - T_f) - (T_1 - T_f)}{\ln\left(\frac{T_f - T_1}{T_f - T_2}\right)}$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{(-15 - (-10)) - (-33 - (-10))}{\ln\left(\frac{-10 - (-33)}{-10 - (-15)}\right)} = 11.8^\circ\text{C}$$



$$U_0 = \frac{1}{\frac{1}{h_{\text{exterior}}} + \frac{e_{\text{serpentín}}}{K_{\text{serpentín}}} + \frac{1}{h_{\text{Interior}}}}$$

$$U_0 = \frac{1}{\frac{1}{2422 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}} + \frac{0.003 \text{ m}}{15 \frac{\text{W}}{\text{m K}}} + \frac{1}{2228.2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}}} = 942$$

### Cálculo del calor a extraer del fluido.

Se asume:

- El tiempo de enfriamiento en 30 minutos.
- El fluido es agitado por la flecha mecánica, es decir efectúa trabajo sobre la salmuera.
- Sale calor debido a que se enfría.
- No existe un punto inicial o final por lo tanto se asume que cada punto del fluido se mueve a una velocidad promedio sobre el mismo nivel de referencia.

$$\dot{E}_1 - \dot{E}_0 = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

$$\dot{Q}_i + \dot{W}_i + \dot{m}_i \left( h_i + \frac{v_i^2}{2} + g z_i \right) - \left( \dot{Q}_o + \dot{W}_o + \dot{m}_o \left( h_o + \frac{v_o^2}{2} + g z_o \right) \right) = \frac{\Delta U}{\Delta t}$$

$$\dot{W}_i - \dot{Q}_o = \frac{\Delta U}{\Delta t}$$

$$\dot{W}_i - \frac{m_s * C_{p_s} (-8)^\circ\text{C} * \Delta T}{\Delta t} = \dot{Q}_o$$

$$35 \text{ kW} - \frac{6300 \text{ kg} * 3935.5 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (-10 - (-8))^\circ\text{C}}{1800 \text{ s}} = 62.5 \text{ kW}$$

Cálculo del calor que absorbe el refrigerante dentro del serpentín.

- Calor entra al cuerpo del serpentín debido a que la energía térmica de la salmuera es absorbida por el refrigerante.
- Las propiedades a la entra del serpentín son distintas a su salida.
- El caudal y por ende el flujo másico es constante y la tubería no presenta cambios de sección por lo tanto no existen cambios de velocidad.
- La altura del tanque no representa un cambio significativo en la energía potencial.
- El flujo de refrigerante no efectúa una acción mecánica al pasar por el serpentín. Por lo tanto, no realiza trabajo.
- Puesto que el calor entrante al refrigerante es expulsado en la salida del serpentín, se concluye que la energía que entra al volumen de control es igual a la que sale. Por lo tanto, no existe variación de energía neta.
- El amoniaco ebulle a temperaturas mayores a  $-33^\circ\text{C}$ . Por lo tanto, entra en estado líquido y sale en estado gaseoso.

$$\dot{E}_o - \dot{E}_i = \frac{\Delta E}{\Delta t} = 0$$

$$\left( \dot{Q}_o + \dot{W}_o + \dot{m}_o * \left( h_o + \frac{v_o^2}{2} + g z_o \right) \right) - \left( \dot{Q}_i + \dot{W}_i + \dot{m}_i * \left( h_i + \frac{v_i^2}{2} + g z_i \right) \right) = 0$$

$$(\dot{m}_o * (h_o)) - (\dot{Q}_i + \dot{m}_i * (h_i)) = 0$$

$$\dot{m}_i = \dot{m}_o$$

$$-\dot{Q}_i + \dot{m}_i * (h_o - h_i) = 0$$

$$h_o = h_{\text{vapo saturado}} = 1401 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_i = h_{\text{liquido saturado}} = 35,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{m}_i = 45,8 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_i = \dot{V}_{\text{HN}_3} * \rho_{\text{HN}_3}$$

$$\dot{V}_{\text{HN}_3} = 6,7 * 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Los valores teóricos se los obtuvo de tablas de termodinámica (Temes, 2010)

$$A_0 = 2 * \pi * r_{\text{tubo del serpentín}} * L_{\text{serpentín}} = 0,2 L_{\text{serpentín}}$$

$$\dot{Q}_i = U_0 * A_0 * \Delta T_{\text{ml}}$$

$$L = 28 \text{ m}$$

$$L = \#_{\text{vueltas}} * P_{\text{serpentín}}$$

$$\#_{\text{vueltas}} = 8$$

## APÉNDICE J

### Sistema de Filtrado

Velocidad de descarga del fluido dentro del tanque hacia el desagüe.

$$V_{\text{descarga}} = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 * \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) * 0.6 \text{ m}} = 3.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Conociendo las dimensiones de la tubería de descarga (4 in) procedemos a calcular el caudal de descarga y el tiempo de descarga.

$$Q_{\text{descarga}} = V_{\text{descarga}} * A_{\text{descarga}} = 94 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$
$$t_{\text{Total de descarga}} = \frac{V_{\text{total}}}{Q_{\text{descarga}}} = \frac{10 \text{ m}^3}{2.6 * 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 374 \text{ s} \cong 7 \text{ min}$$

El tanque completo se vacía en aproximadamente 7 minutos. Sin embargo, el volumen a regenerar no es la capacidad total del contenedor si no una fracción correspondiente a  $0.3 \text{ m}^3$  por hora del proceso por cada uno de los congeladores tal y como se establece el en diagrama de flujo.

$$t_{\text{descarga para filtrado}} = \frac{V_{\text{filtrado}}}{Q_{\text{descarga}}} = \frac{0.3 \text{ m}^3}{2.6 * 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 12 \text{ s}$$

Flujo másico de filtrado.

$$\dot{m}_{\text{filtrado}} = \rho_s * Q_{\text{descarga}} = 2.6 * 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1260 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 32.8 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_{\text{filtrado}} = \frac{m_{\text{filtrado}}}{t_{\text{filtrado}}}$$

$$m_{\text{filtrado}} = 393.6 \text{ kg}$$

Masa de residuos orgánicos.

Se estima que, a la masa de filtrado, se le debe de adicionar un 30% debido a la basura orgánica, misma que será filtrado.

$$m_{\text{basura}} = 0.3 * m_{\text{filtrado}} = 118 \text{ kg}$$

Cálculo de las revoluciones del tambor.

El cuarto de sección del tambor es de 0.5 m por 0.3 m y las perforaciones de 1.5 mm de diámetro separadas 5 mm de centro a centro; por lo tanto, se pueden albergar 6000 agujeros en dicha región.

$$A_{\text{placa total de filtrado}} = 0.3\text{m} * 0.5\text{m} = 0.15 \text{ m}^2$$

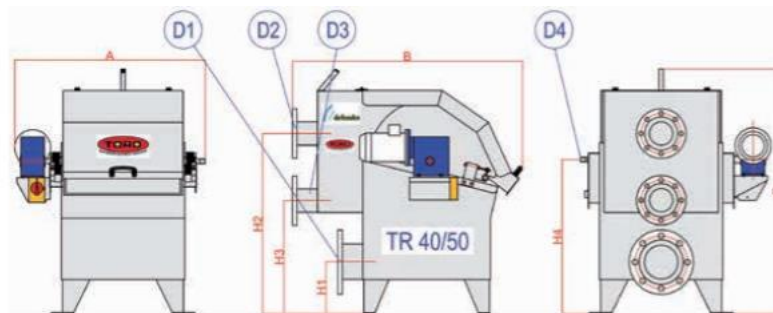
$$A_{\text{Total de agujero}} = \#_{\text{agujeros}} * \frac{\pi}{4} * \left(\frac{1.5 \text{ mm}}{1000}\right)^2 = 1.06 * 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$f_{\text{area}} = \frac{A_{\text{placade filtrado}}}{A_{\text{agujero}}} = \frac{0.15 \text{ m}^2}{1.06 * 10^{-2} \text{ m}^2} = 14$$

$$\#_{\text{vueltas}} = \frac{f_{\text{area}}}{4} = 3.5 = 4$$

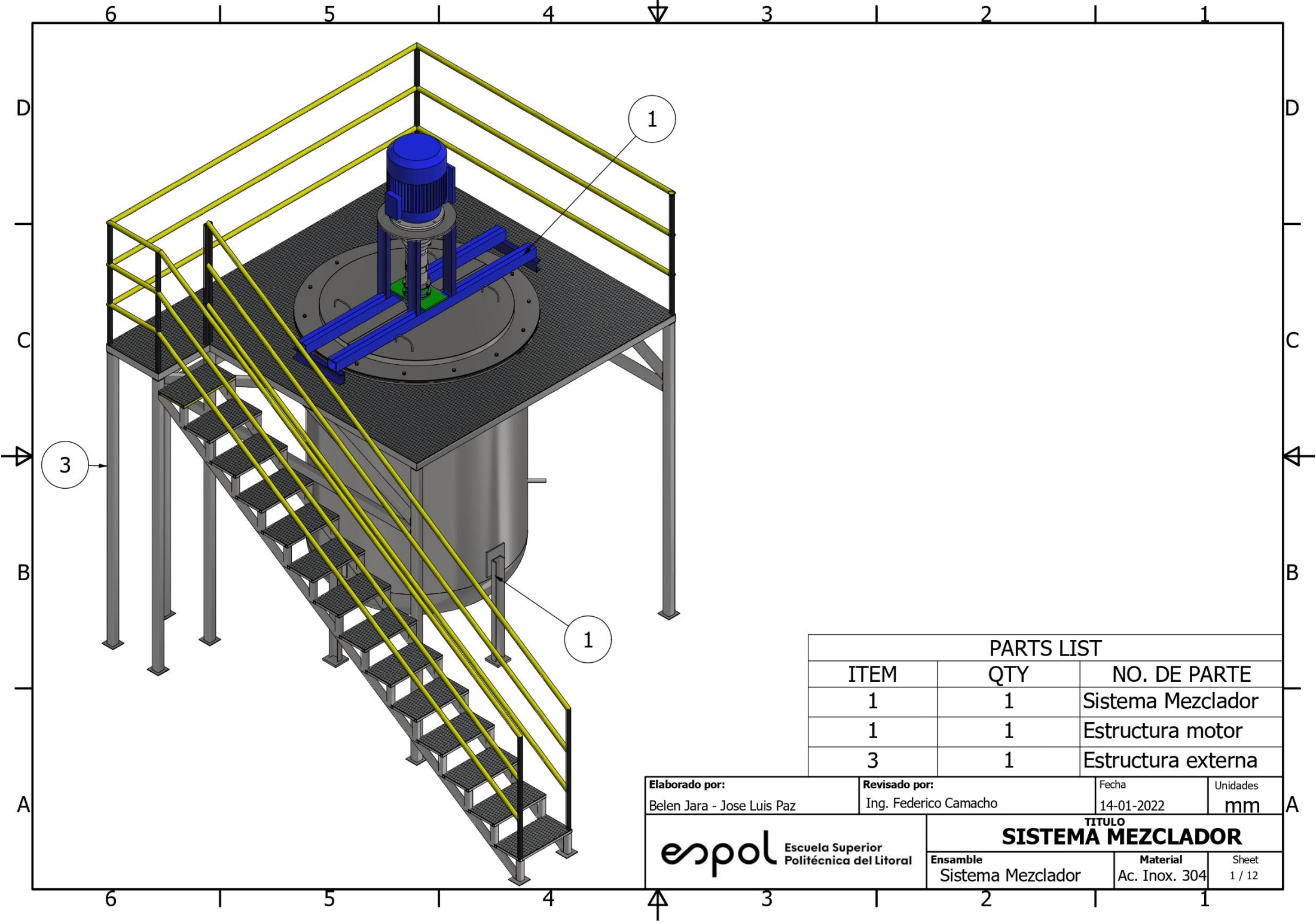
Para utilizar el  $A_{\text{placa total de filtrado}}$  el tambor deberá de girar 4 veces en un lapso igual al tiempo de filtrado es decir en 12 segundos para abastecer los 0.3 m<sup>3</sup>. Por lo tanto, la velocidad angular del tambor es de:

$$\omega_{\text{tambor}} = \frac{4 \text{ rev}}{12 \text{ s}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 20 \text{ rpm}$$




Gama 40 - Especificaciones Técnicas, mm (in)														
Modelo	Diámetro Tambor	Longitud Tambor	Potencia Kw / HP	A	B	C	Salida		Rebose		Entrada		Limpieza	
							D1	H1	D2	H2	D3	H3	D4	H4
TR 40/25	400 (15 3/4)	250 (9 7/8)	0.25 (0.33)	600 (23 5/8)	1,025 (40 3/8)	1,087 (42 3/4)	DN 100 ANSI 4"	209 (8 1/8)	DN 100 ANSI 4"	801 (31 1/2)	DN 100 ANSI 4"	507 (20)	1/2"	678 (26 3/4)
TR 40/50	400 (15 3/4)	500 (19 5/8)	0.25 (0.33)	850 (33 1/2)	1,025 (40 3/8)	1,087 (42 3/4)	DN 150 ANSI 6"	234 (9 1/8)	DN 100 ANSI 4"	801 (31 1/2)	DN 100 ANSI 4"	507 (20)	1/2"	678 (26 3/4)
TR 40/75	400 (15 3/4)	750 (29 1/2)	0.25 (0.33)	1,100 (43 1/4)	1,025 (40 3/8)	1,087 (42 3/4)	DN 200 ANSI 8"	Inferior	DN 100 ANSI 4"	801 (31 1/2)	DN 150 ANSI 6"	532 (21)	1/2"	678 (26 3/4)

**PLANOS  
TÉCNICOS DEL  
PROYECTO**



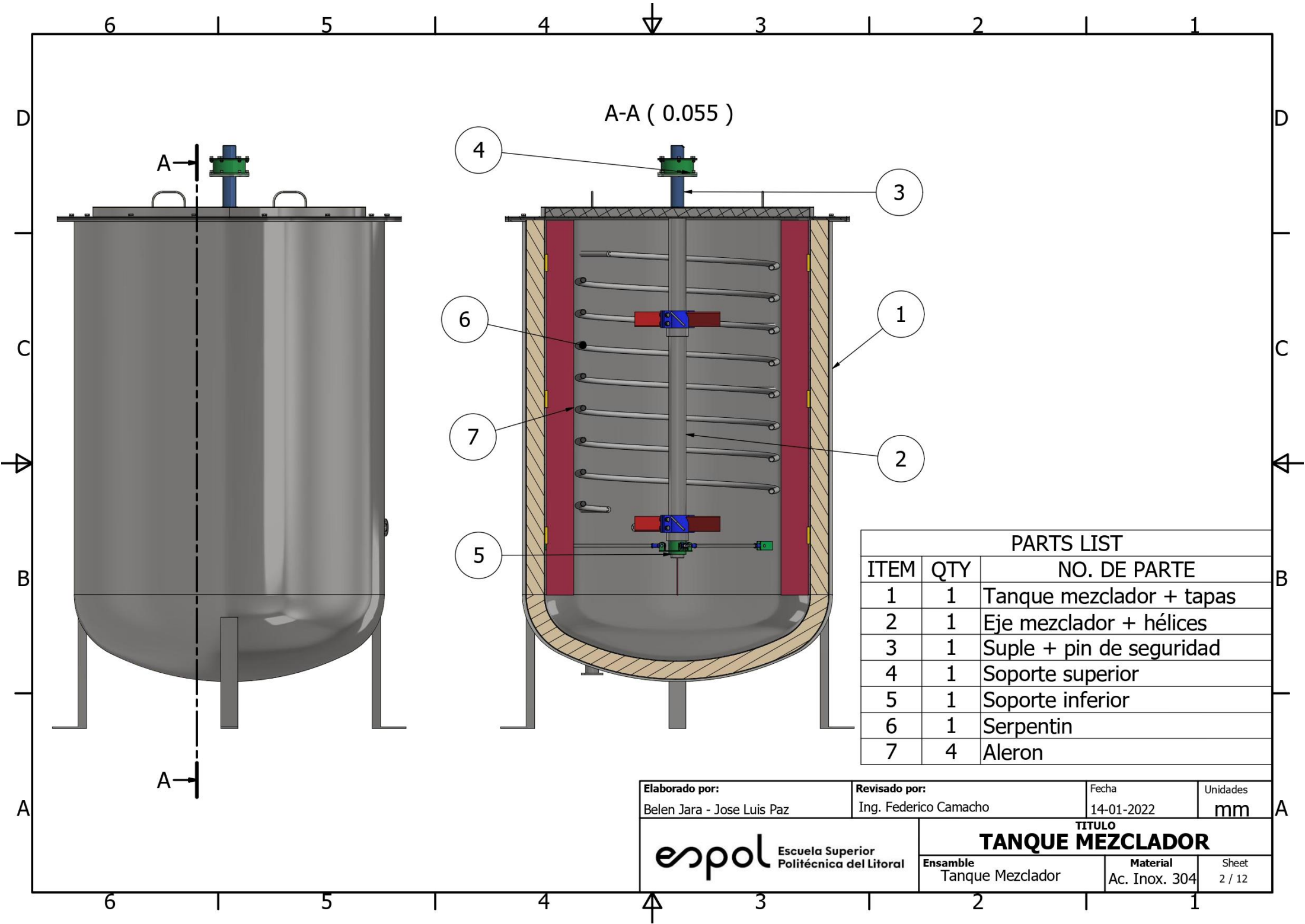
PARTS LIST		
ITEM	QTY	NO. DE PARTE
1	1	Sistema Mezclador
1	1	Estructura motor
3	1	Estructura externa

Elaborado por: Belen Jara - Jose Luis Paz	Revisado por: Ing. Federico Camacho	Fecha 14-01-2022	Unidades mm
--	--	---------------------	----------------

 Escuela Superior Politécnica del Litoral	<b>TITULO</b> <b>SISTEMA MEZCLADOR</b>		
	Ensamble Sistema Mezclador	Material Ac. Inox. 304	Sheet 1 / 12

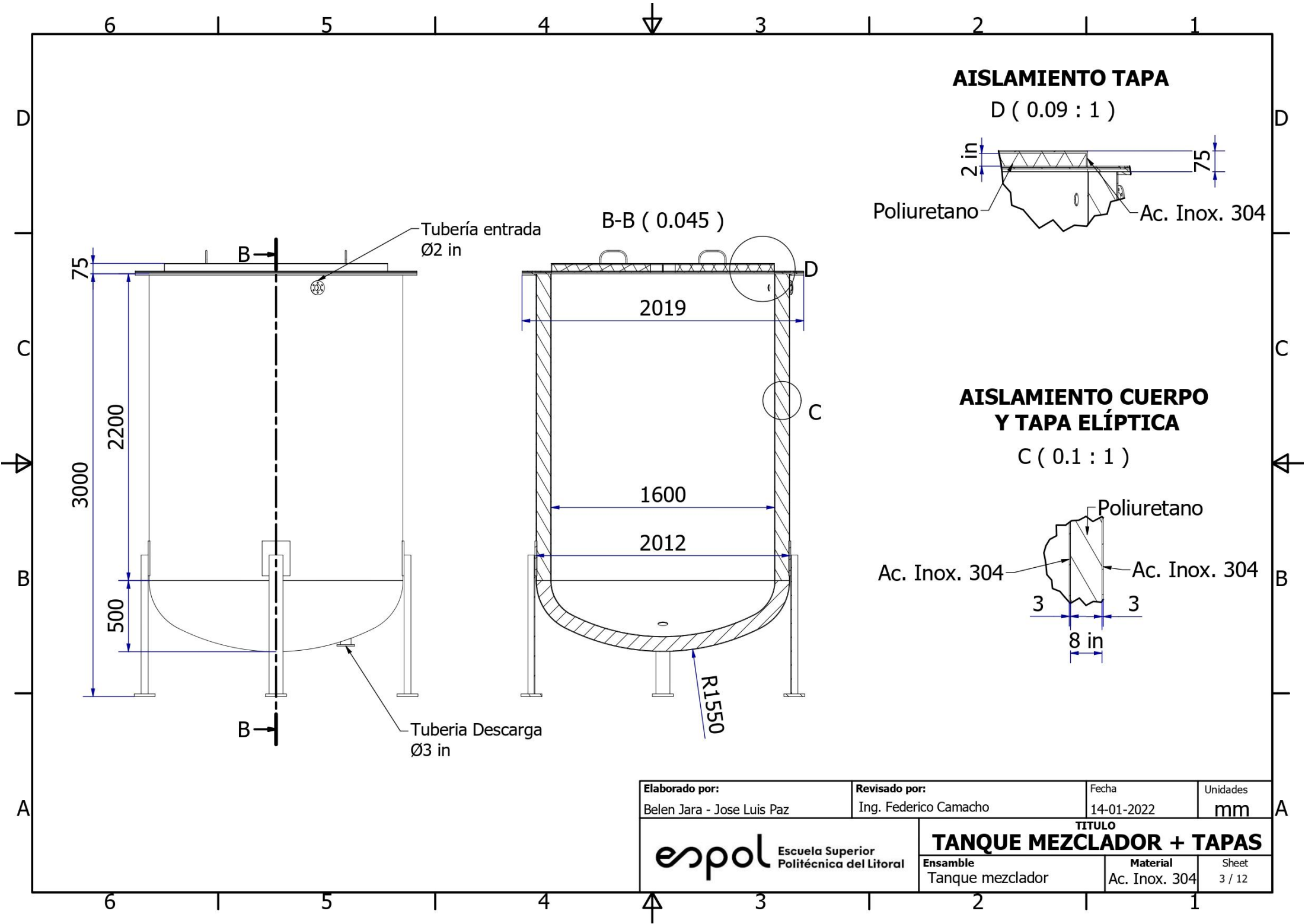


**PLANOS DE  
TANQUE  
MEZCLADOR**



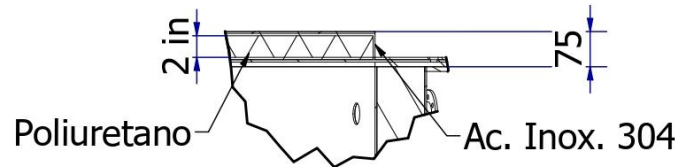
PARTS LIST		
ITEM	QTY	NO. DE PARTE
1	1	Tanque mezclador + tapas
2	1	Eje mezclador + hélices
3	1	Suple + pin de seguridad
4	1	Soporte superior
5	1	Soporte inferior
6	1	Serpentin
7	4	Aleron

Elaborado por: Belen Jara - Jose Luis Paz	Revisado por: Ing. Federico Camacho	Fecha 14-01-2022	Unidades mm
		<b>TITULO</b> <b>TANQUE MEZCLADOR</b>	
		Ensamble Tanque Mezclador	Material Ac. Inox. 304



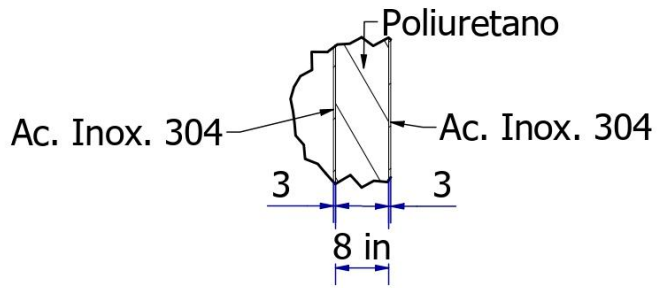
**AISLAMIENTO TAPA**

D ( 0.09 : 1 )

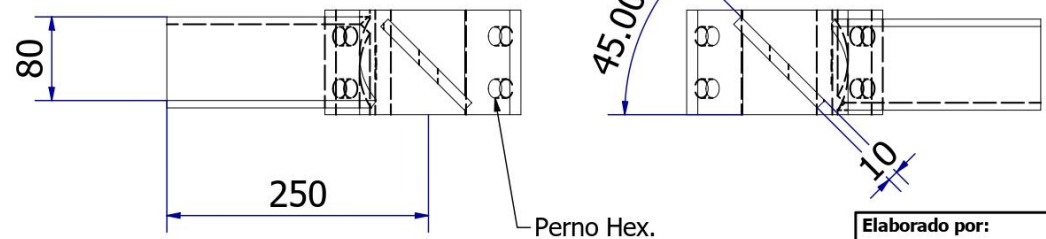
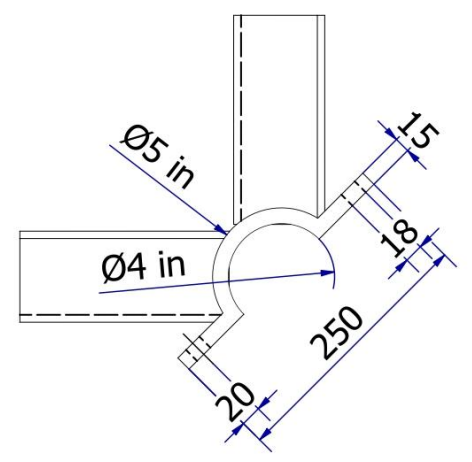
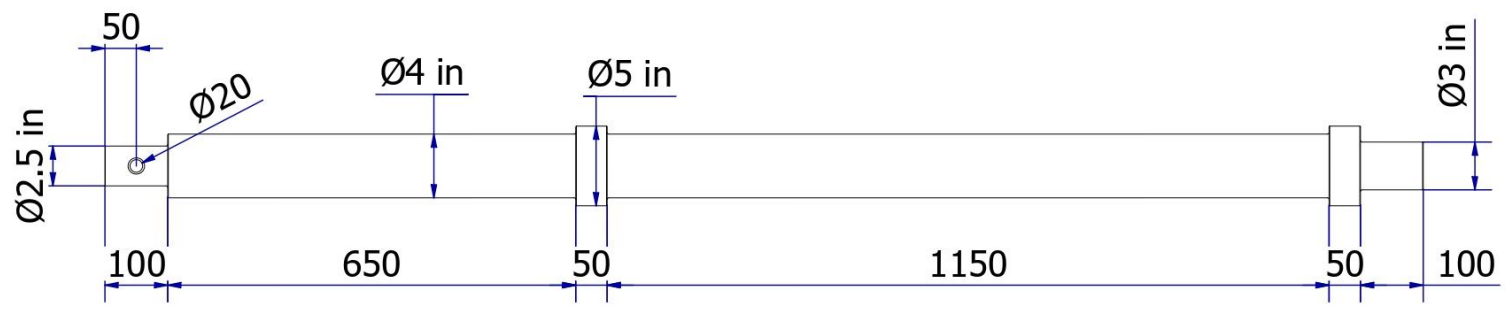


**AISLAMIENTO CUERPO Y TAPA ELÍPTICA**

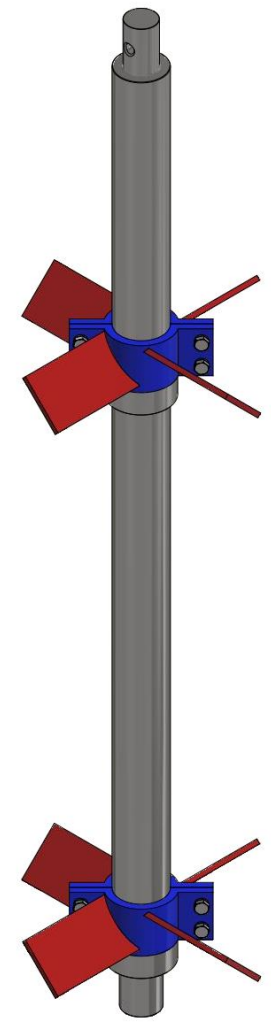
C ( 0.1 : 1 )



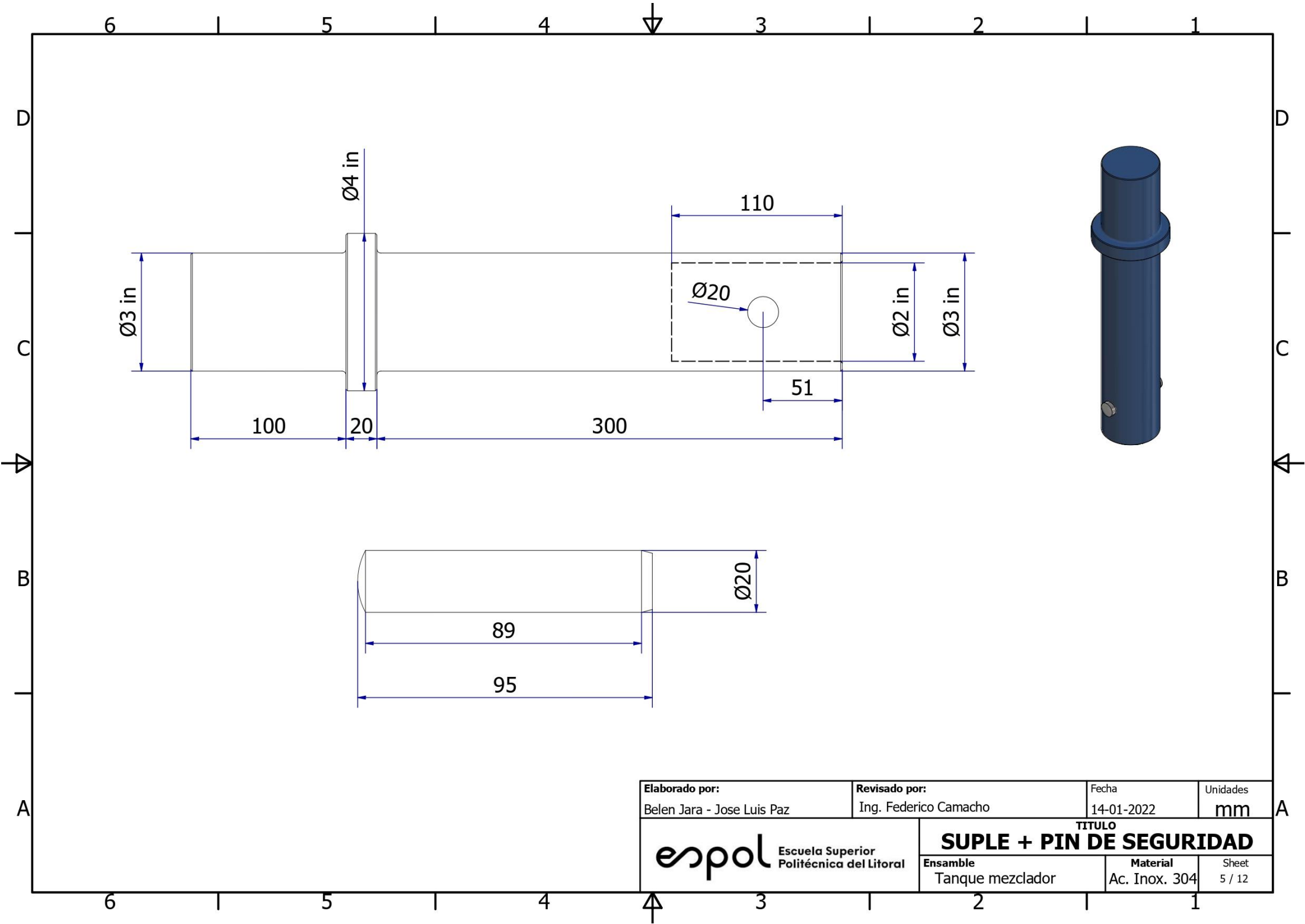
Elaborado por: Belen Jara - Jose Luis Paz	Revisado por: Ing. Federico Camacho	Fecha 14-01-2022	Unidades mm
		<b>TITULO</b>	
		<b>TANQUE MEZCLADOR + TAPAS</b>	
Ensamble Tanque mezclador	Material Ac. Inox. 304	Sheet 3 / 12	



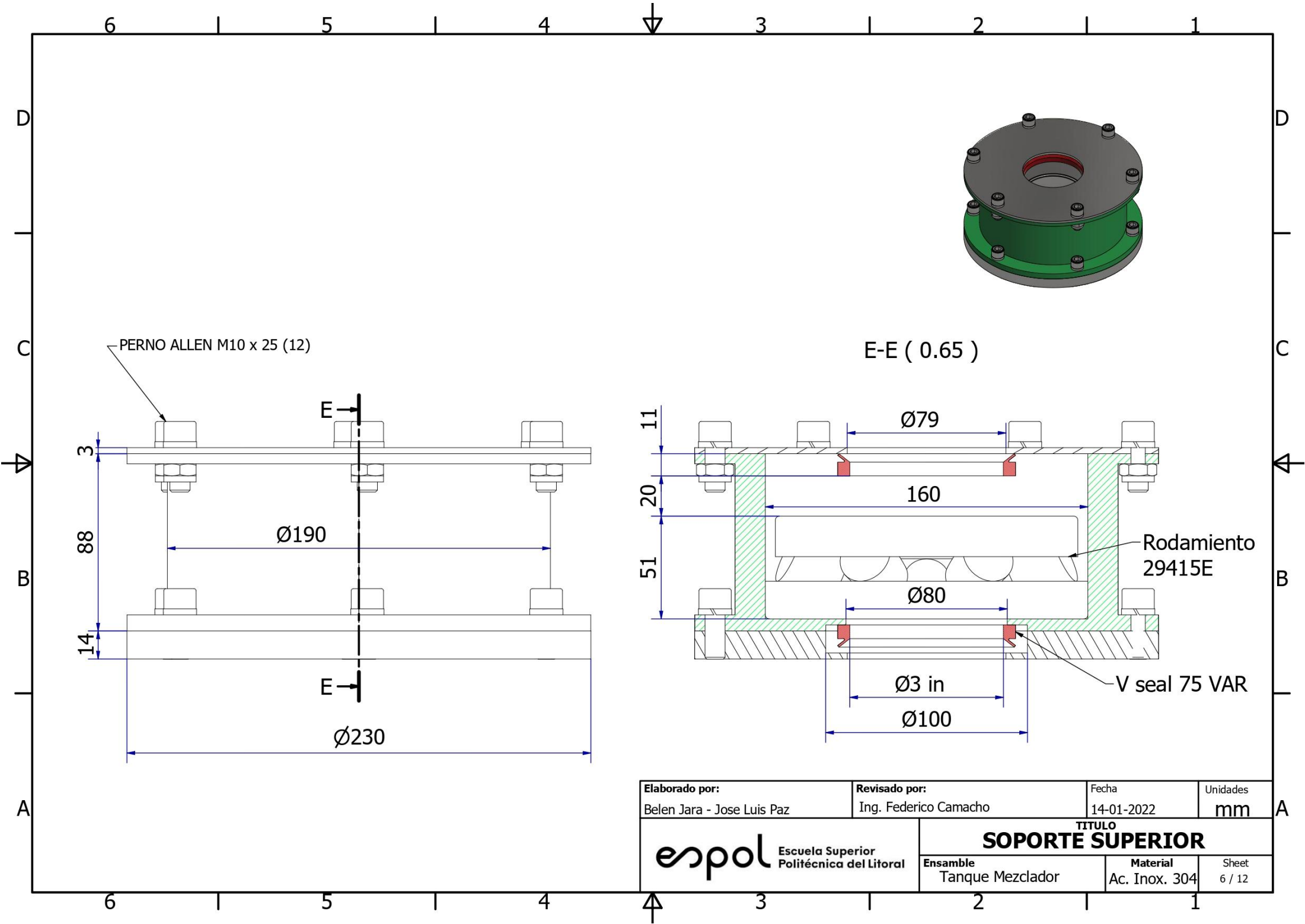
Perno Hex.  
M16 x 55 (4)



Elaborado por: Belen Jara - Jose Luis Paz	Revisado por: Ing. Federico Camacho	Fecha 14-01-2022	Unidades mm
		<b>TITULO</b>	
		<b>EJE AGITADOR + HÉLICES</b>	
Ensamble Tanque mezclador		Material Ac. Inox. 304	Sheet 4 / 12



Elaborado por: Belen Jara - Jose Luis Paz	Revisado por: Ing. Federico Camacho	Fecha 14-01-2022	Unidades mm
		<b>TITULO</b>	
		<b>SUPLE + PIN DE SEGURIDAD</b>	
Ensamble Tanque mezclador		Material Ac. Inox. 304	Sheet 5 / 12



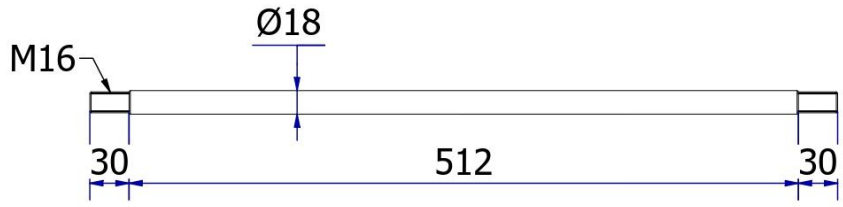
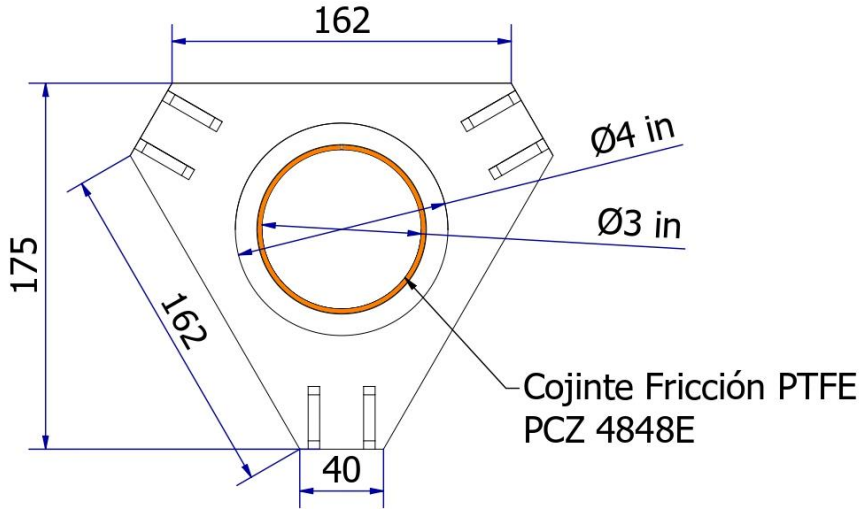
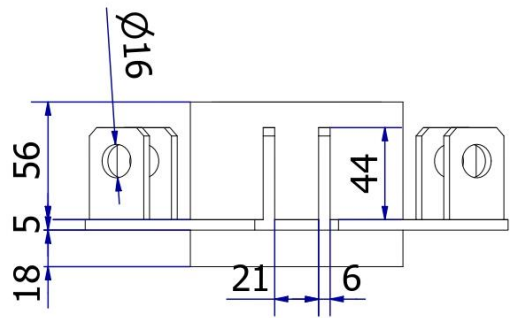
PERNO ALLEN M10 x 25 (12)

E-E ( 0.65 )

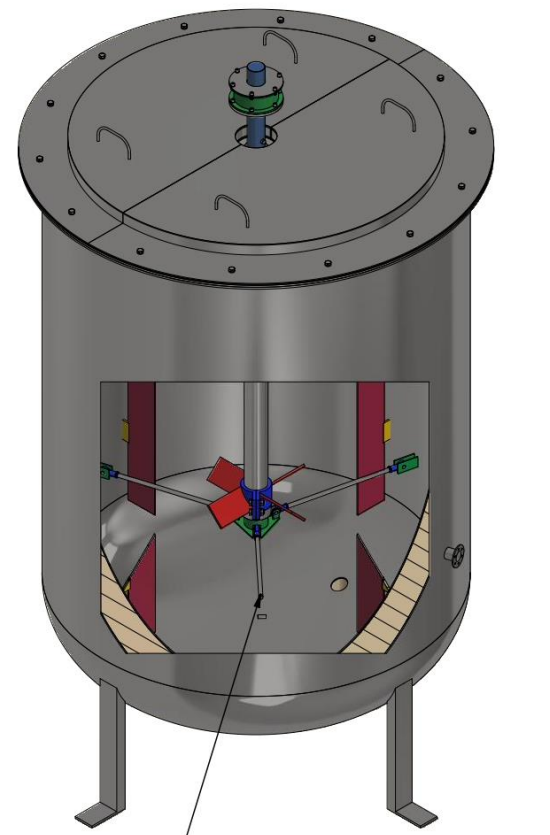
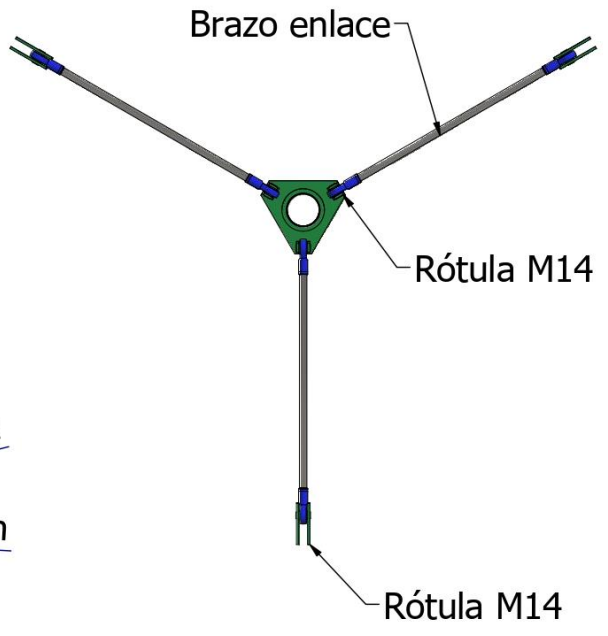
Rodamiento 29415E

V seal 75 VAR

Elaborado por: Belen Jara - Jose Luis Paz	Revisado por: Ing. Federico Camacho	Fecha 14-01-2022	Unidades mm
		<b>TITULO</b> <b>SOPORTE SUPERIOR</b>	
		Ensamble Tanque Mezclador	Material Ac. Inox. 304



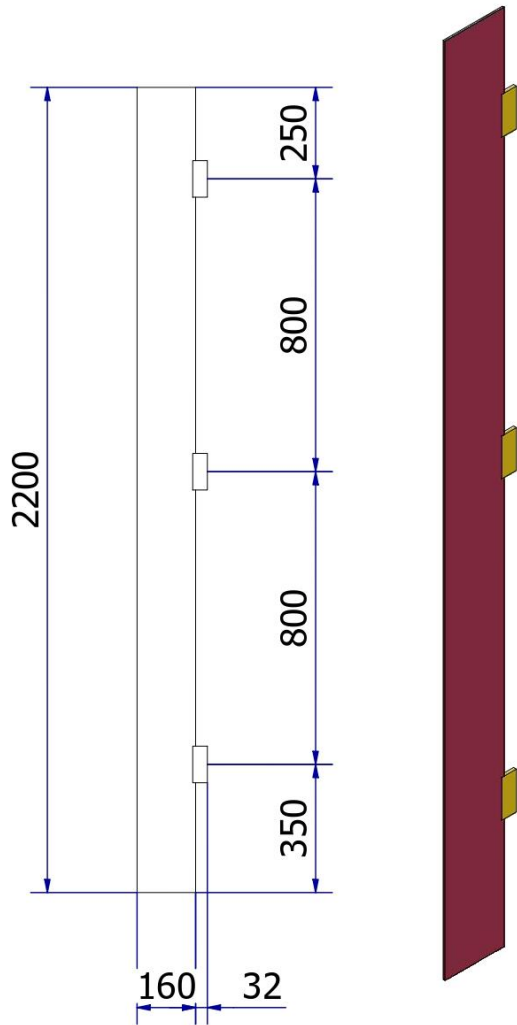
**SOPORTE INFERIOR**



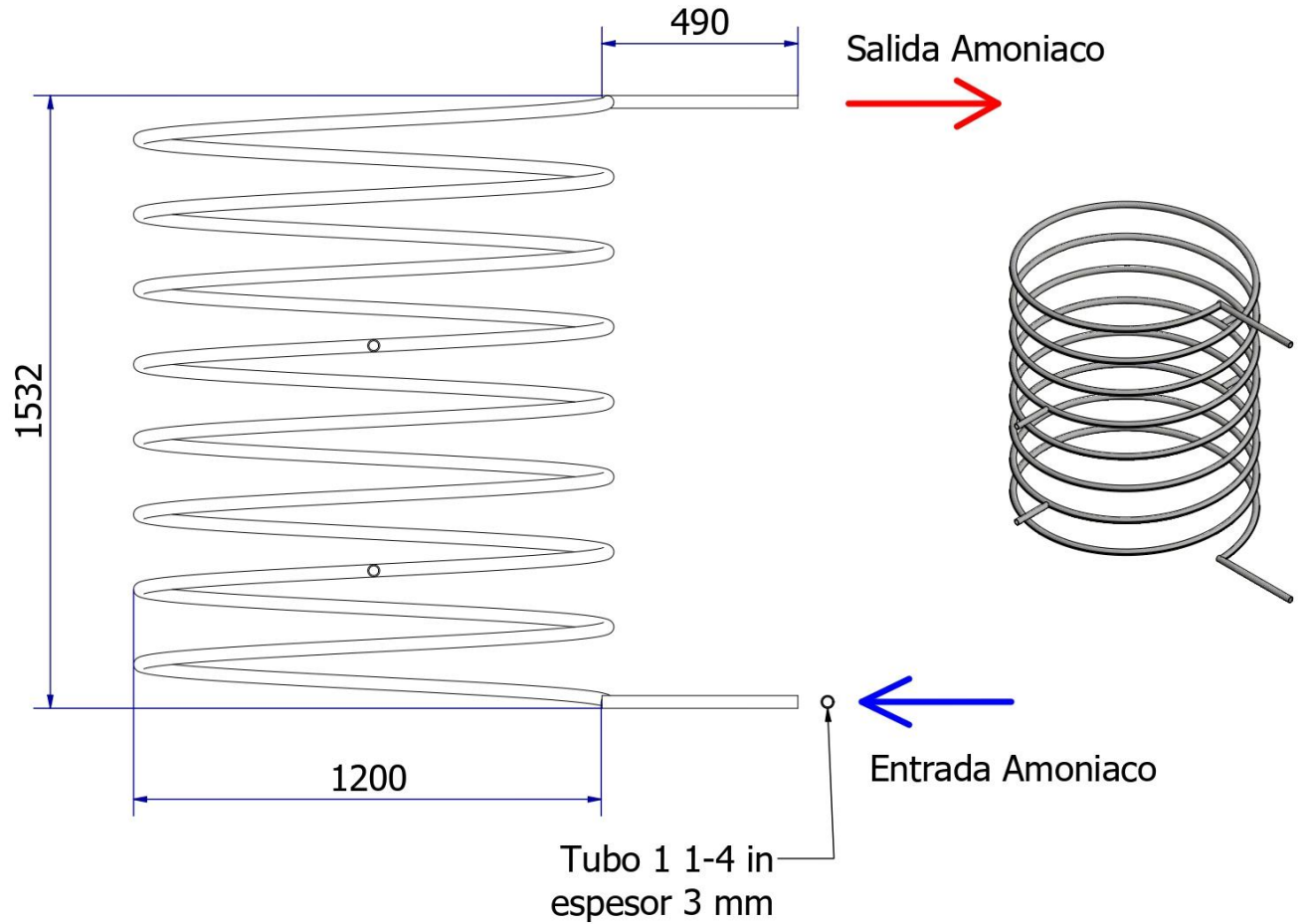
SOPORTE INFERIOR

Elaborado por: Belen Jara - Jose Luis Paz	Revisado por: Ing. Federico Camacho	Fecha 14-01-2022	Unidades mm
		<b>TITULO</b>	
		<b>SOPORTE INFERIOR</b>	
Ensamble Tanque Mezclador		Material Ac. Inox. 304	Sheet 7 / 12

**ALERON**  
4 unidades



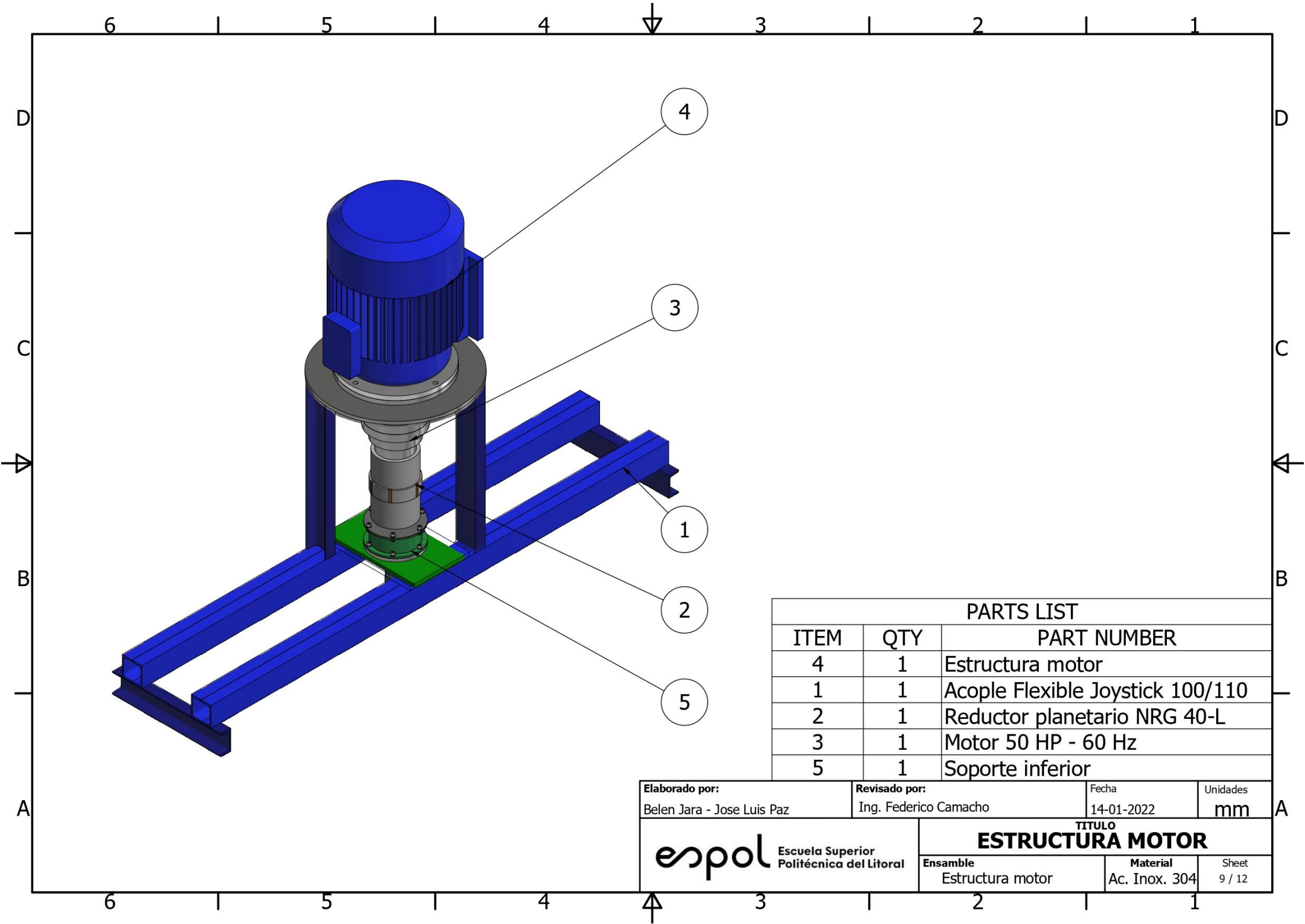
**SERPENTIN**  
Amoniaco  
8 vueltas




Elaborado por: Belen Jara - Jose Luis Paz	Revisado por: Ing. Federico Camacho	Fecha 14-01-2022	Unidades mm
		<b>TITULO</b>	
		<b>ALERONES Y SERPERTIN</b>	
Ensamble Tanque Mezclador		Material Ac. Inox. 304	Sheet 8 / 12

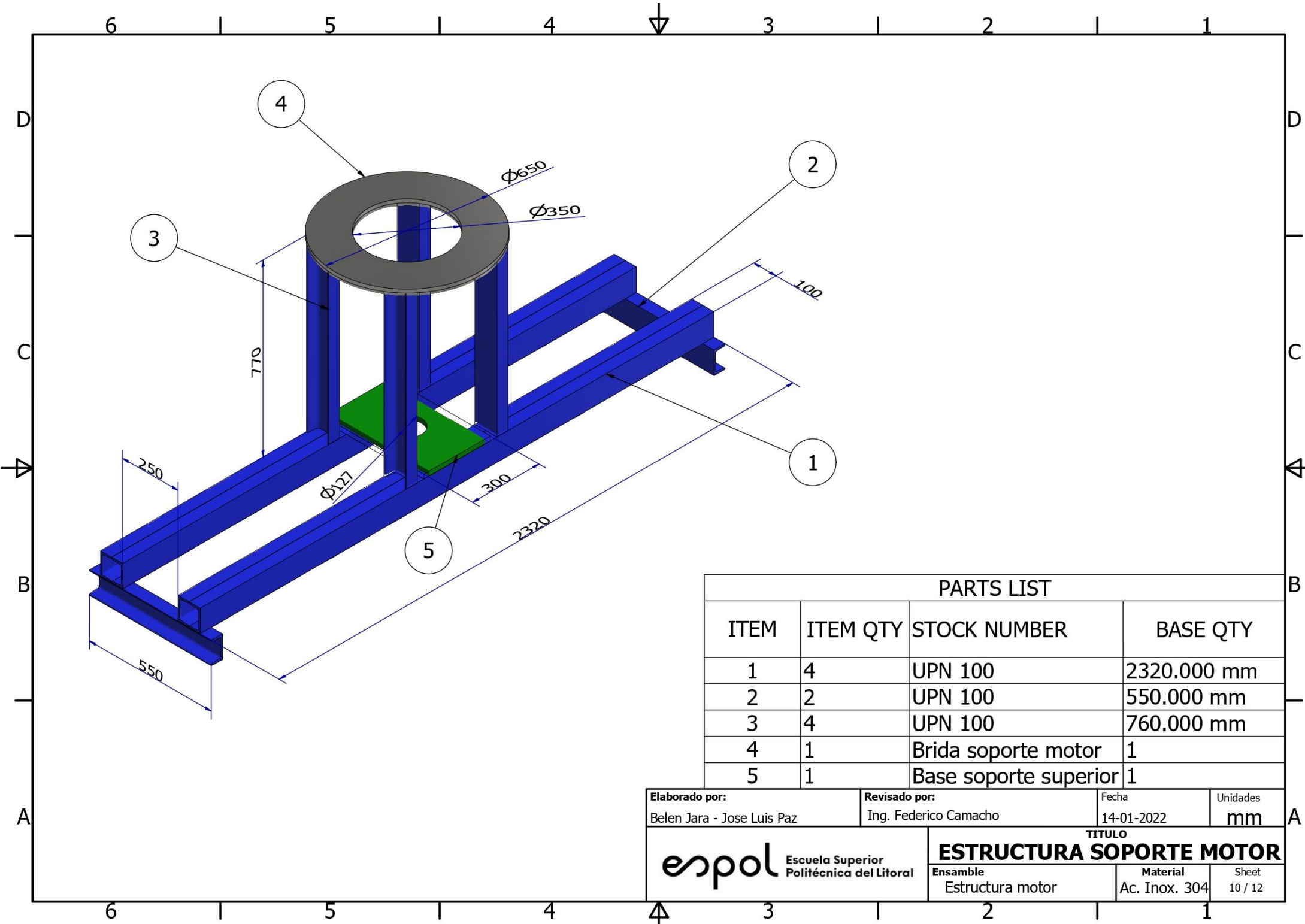


**PLANOS DE  
ESTRUCTURA  
MOTOR**



PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
4	1	Estructura motor
1	1	Acople Flexible Joystick 100/110
2	1	Reductor planetario NRG 40-L
3	1	Motor 50 HP - 60 Hz
5	1	Soporte inferior

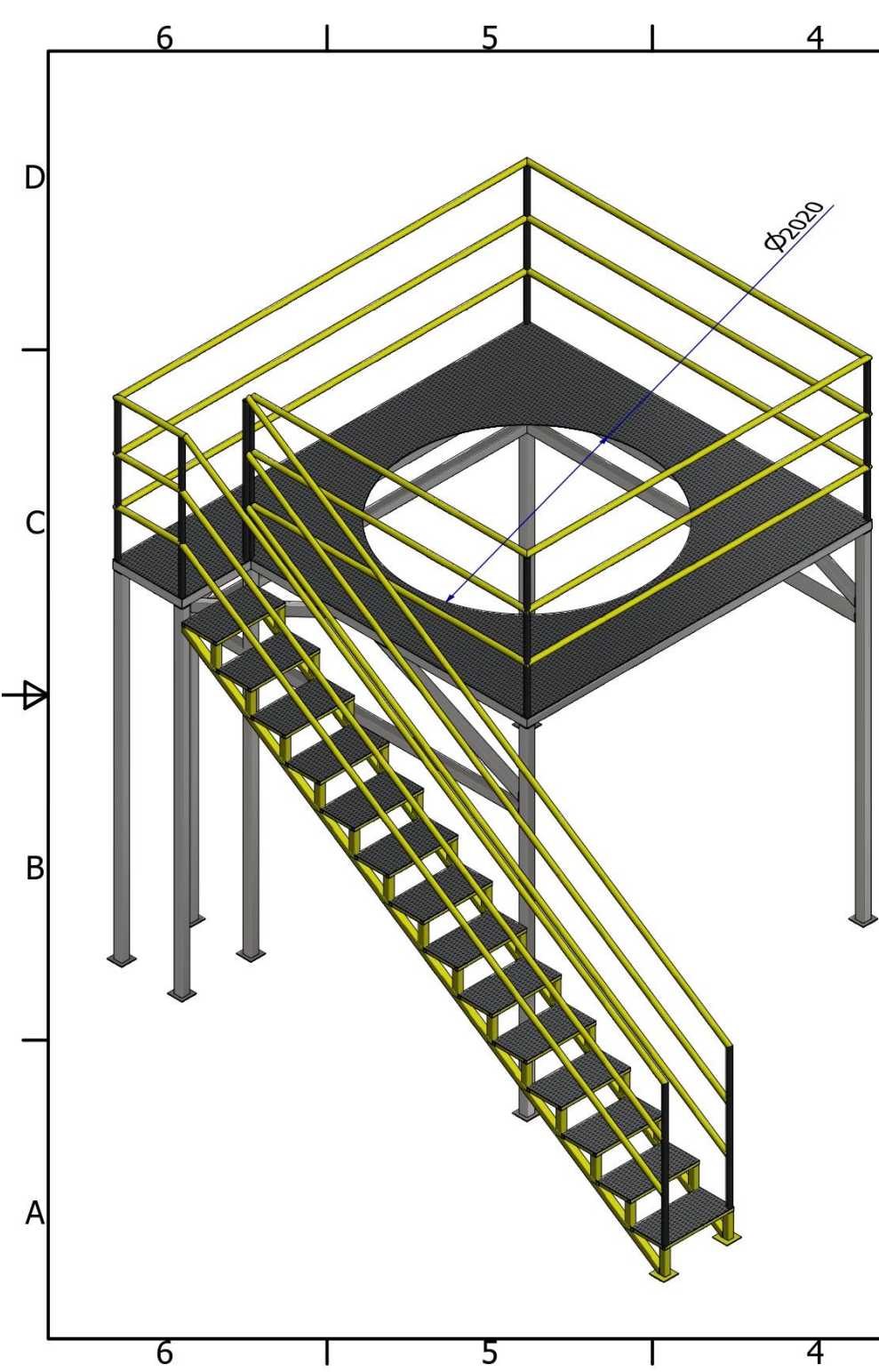
Elaborado por: Belen Jara - Jose Luis Paz	Revisado por: Ing. Federico Camacho	Fecha 14-01-2022	Unidades mm
 <b>Escola Superior Politécnica del Litoral</b>	<b>TITULO</b> <b>ESTRUCTURA MOTOR</b>		
	Ensamble Estructura motor	Material Ac. Inox. 304	Sheet 9 / 12



PARTS LIST			
ITEM	ITEM QTY	STOCK NUMBER	BASE QTY
1	4	UPN 100	2320.000 mm
2	2	UPN 100	550.000 mm
3	4	UPN 100	760.000 mm
4	1	Brida soporte motor	1
5	1	Base soporte superior	1

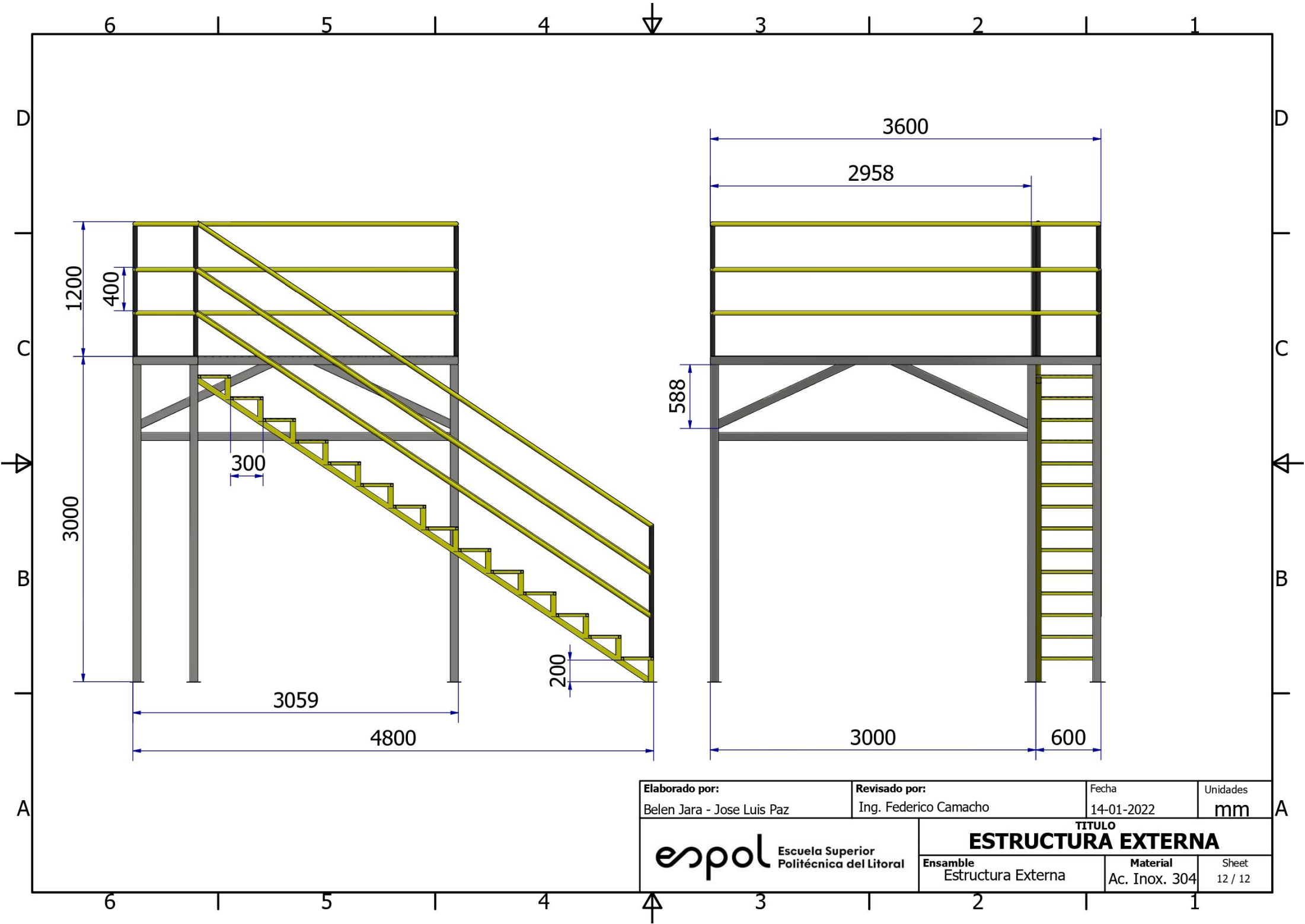
Elaborado por: Belen Jara - Jose Luis Paz		Revisado por: Ing. Federico Camacho		Fecha 14-01-2022	Unidades mm
			<b>TITULO</b>		
			<b>ESTRUCTURA SOPORTE MOTOR</b>		
Ensamble Estructura motor		Material Ac. Inox. 304		Sheet 10 / 12	

**PLANOS DE  
ESTRUCTURA  
EXTERNA**



ITEM	ITEM QTY	UNIT QTY	PART NUMBER
1	7	2924 mm	REC. 3 x 3 x 1/4
2	2	3000 mm	REC. 3 x 3 x 1/4
3	1	2476 mm	REC. 3 x 3 x 1/4
4	1	3600 mm	REC. 3 x 3 x 1/4
5	5	2848 mm	REC. 3 x 3 x 1/4
6	2	2020 mm	REC. 3 x 3 x 1/4
7	1	600 mm	REC. 3 x 3 x 1/4
8	1	676 mm	REC. 3 x 3 x 1/4
9	28	5600 mm	REC. 2 x 2 x 1/8 - 7 7/8
10	2	5012 mm	REC. 2 x 2 x 1/8
11	7	1200 mm	TUBO 1 1/4 x 0.140
12	1	3000 mm	TUBO 1 1/4 x 0.140
13	5	3000 mm	TUBO 1 1/4 x 0.140
14	3	3600 mm	TUBO 1 1/4 x 0.140
15	3	2400 mm	TUBO 1 1/4 x 0.140
16	1	613 mm	TUBO 1 1/4 x 0.140
17	2	587 mm	TUBO 1 1/4 x 0.140
18	2	5063 mm	TUBO 1 1/4 x 0.140
19	1	1251 mm	TUBO 1 1/4 x 0.140
20	2	5040 mm	TUBO 1 1/4 x 0.140
21	1	5048 mm	TUBO 1 1/4 x 0.140
22	1	5033 mm	TUBO 1 1/4 x 0.140
23	1	1251 mm	TUBO 1 1/4 x 0.140
25	14	1 mm	Escalon 600 X 300 mm
26	9	5 mm	PLATINA 5x5 - 0.1875

Elaborado por: Belen Jara - Jose Luis Paz	Revisado por: Ing. Federico Camacho	Fecha: 14-01-2022	Unidades: mm
		<b>TITULO</b> <b>ESTRUCTURA EXTERNA</b>	
		Ensamble: Estructura externa	Material: Ac. Inox. 304



Elaborado por: Belen Jara - Jose Luis Paz	Revisado por: Ing. Federico Camacho	Fecha 14-01-2022	Unidades mm
		<b>TITULO</b> <b>ESTRUCTURA EXTERNA</b>	
		Ensamble Estructura Externa	Material Ac. Inox. 304

