

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“DISEÑO DE UN REACTOR NEUTRALIZADOR PARA
INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE ACEITE
NEUTRALIZADO DE 3 A 10 TON EN LA PLANTA DE LA
CORPORACIÓN BELCEN LURIGANCHO-CHOSICA 2022”**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero

Mecánico

AUTORES:

Christian Manuel Martínez Rojas
Sandro Guillermo Matallana Salazar

ASESOR:

Alfonso Caldas Basauri

Línea de investigación: Diseño mecánico

Callao, 2024

Perú

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD:

Ingeniería Mecánica y de Energía

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:

Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía

TÍTULO DE LA TESIS:

“DISEÑO DE UN REACTOR NEUTRALIZADOR PARA INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE ACEITE NEUTRALIZADO DE 3 A 10 TON EN LA PLANTA DE CORPORACIÓN BELCEN LURIGANCHO-CHOSICA 2022”

AUTORES/ CODIGO ORCID / DNI

Christian Martínez Rojas / 0000-0002-2631-4767 / DNI 41368529

Sandro Matallana Salazar / 0000-0002-8066-7168 / DNI 09464687

ASESOR:

Alfonso Caldas Basauri DNI 08581686

LUGAR DE EJECUCIÓN:

Lurigancho-Chosica

UNIDADES DE ANÁLISIS:

Corporación Belcen

TIPO / METODOLOGÍA / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:

Aplicada / Sistémico / No Experimental

TEMA OCDE:

2.03.01 Ingeniería mecánica

(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)

ACTA N°100 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO E INGENIERO EN ENERGÍA

LIBRO 001 FOLIO N° 126, ACTA N° 100 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS DEL I CICLO TALLER DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECANICO

A los 21 días del mes de agosto, del año 2022, siendo las 12:32 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/civ-nwjd-nfn>, el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO** profesional de **INGENIERO MECÁNICO** de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

Dr.	Nelson Alberto Diaz Leiva	: Presidente
Msc.	Gustavo Ordoñez Cárdenas	: Secretario
Mag.	Juan Adolfo Bravo Félix	: Miembro
Mg.	Alfonso Santiago Caldas Basauri	: Asesor

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis del Bachiller **MARTINEZ ROJAS CHRISTIAN MANUEL** quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de **INGENIERO MECÁNICO**, sustenta la tesis titulada **“DISEÑO DE UN REACTOR NEUTRALIZADOR PARA INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE ACEITE NEUTRALIZADO DE 3 A 10 TON EN LA PLANTA DE CORPORACIÓN BELCEN LURIGANCHO CHOSICA 2022”** cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid- 19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario";

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADO** con la escala de calificación cualitativa de **BUENO** y calificación cuantitativa de **DIECISEIS (16)**, la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de junio del 2021.

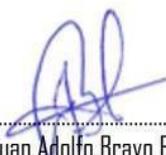
Se dio por cerrada la Sesión a las 12:53 horas del día 21 del mes y año en curso.



Dr. Nelson Alberto Diaz Leiva
Presidente de Jurado



Msc. Gustavo Ordoñez Cárdenas
Secretario de Jurado



Mg. Juan Adolfo Bravo Félix
Miembro de Jurado



Mg. Alfonso Santiago Caldas Basauri
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA

INFORME N° 14

Visto el ejemplar de la Tesis de los Bachilleres:

MARTINEZ ROJAS CHRISTIAN MANUEL
MATALLANA SALAZAR SANDRO

Que lleva por título:

"DISEÑO DE UN REACTOR NEUTRALIZADOR PARA INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE ACEITE NEUTRALIZADO DE 3 A 10 TON EN LA PLANTA DE CORPORACIÓN BELCEN LURIGANCHO CHOSICA 2022"

A QUIEN CORRESPONDA

El jurado Revisor y evaluador de sustentación de Tesis del I Ciclo Taller de Tesis 2022, designados por Resolución de Consejo de Facultad N° 250-2022-CF-FIME, manifestamos que la sustentación de tesis se llevo a cabo los días Sábado 20 y Domingo 21 de agosto de 2022, en el horario de 09.00 a 15.00 horas, vía Google Meet : <https://meet.google.com/civ-nwjd-nfn> y habiéndose levantado las observaciones realizadas al trabajo de tesis, la misma que en su oportunidad fue revisada cuidadosamente por los miembros del jurado en pleno a través de la sala de Google Meet: <https://meet.google.com/civ-nwjd-nfn> **damos la respectiva conformidad** a la tesis presentada para que continúe con su trámite correspondiente.

Se emite el presente informe favorable para los fines que el interesado considere pertinentes.

Bellavista 22 de setiembre del 2022

Dr. Nelson Alberto Diaz Leiva
Presidente

Msc. Gustavo Ordóñez Cárdenas
Secretario

Mg. Juan Adolfo Bravo Félix
Miembro

Tesis final MATALLANA- MARTINEZ_F

7%
Textos
sospechosos



7% Similitudes
< 1% similitudes entre
comillas
0% entre las fuentes
mencionadas
0% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: Tesis final MATALLANA- MARTINEZ_F.pdf
ID del documento: 008a59a6e676b845a5a2d0b7f98cdc2a8eeef0d1
Tamaño del documento original: 4,36 MB

Depositante: FIME PREGRADO UNIDAD DE
INVESTIGACION
Fecha de depósito: 10/6/2024
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 10/6/2024

Número de palabras: 17.954
Número de caracteres: 115.132

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes de similitudes

Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.unac.edu.pe http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/20.500.12952/5583/4/CERVANTES_FIME_2018.pdf 14 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (416 palabras)
2	docplayer.es | DISEÑO Y CÁLCULO DE UN AGITADOR DE FLUIDOS – PDF Descargar li... https://docplayer.es/68794279-Diseño-y-cálculo-de-un-agitador-de-fluidos.html 3 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (217 palabras)
3	repobib.ubiobio.cl http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo_Uribe_Vladimir.pdf 3 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (150 palabras)
4	dspace.esPOCH.edu.ec http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/20344/1/96T00947.pdf 3 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (93 palabras)
5	tesis.pucp.edu.pe | Diseño de un sistema de fermentación para la elaboración de ... https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5329	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (71 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	skemman.is https://skemman.is/bitstream/1946/43223/1/VI-LOK1006_HFS.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
2	Documento de otro usuario #1bc58f El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
3	repositorio.unac.edu.pe | Diseño de un tanque agitador de 160 m3 de capacidad ... https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/5583	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
4	repositorio.uide.edu.ec https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/4122/1/T-UIDE-2326.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)
5	1library.co | Estudio de alternativas de solución para la máquina https://1library.co/article/estudio-de-alternativas-de-solucion-para-la-maquina.y4wxnn5q	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	http://www.radiadoresgallardo.cl/topintercambiaodres.pdf
2	https://es.scribd.com/doc/92524493/C-ilculo-y-Dise-o-de-Tanques-para
3	https://es.slideshare.net/dfcarbonell/clasificacion-de-proyectos-deproductos
4	https://es.slideshare.net/MaryCollahuazo/fenomenos-agitacion
5	http://www.metso.com/globalassets/saleshub/documents

DEDICATORIA

En primer lugar, agradecer a Dios nuestro creador, luego a la familia, en especial, a mi hija y mi madre que son la mayor motivación para seguir adelante.

Christian Martínez Rojas

Mi agradecimiento irá dirigido a todas aquellas personas que colaboraron en forjar mi camino académico y a mis compañeros de trabajo quienes me ayudaron a aprender de mis errores y mejorar día a día.

Sandro Matallana Salazar

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento a la Universidad Nacional del Callao, y a todos los profesores que nos ayudaron en nuestra formación académica y en el desarrollo de la presente tesis.

Agradecimiento a dios, nuestro creador, a nuestra familia quienes son nuestro principal motivo de superación

ÍNDICE

RESUMEN	6
RESUMO	7
INTRODUCCIÓN	8
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1. Descripción de la realidad problemática	9
1.2. Formulación del problema	10
1.2.1. Problema general	10
1.2.2. Problemas específicos	10
1.3. Objetivos	11
1.3.1. Objetivo general	11
1.3.2. Objetivos específicos	11
1.4. Justificación	11
1.4.1. Justificación teórica	11
1.4.2. Justificación práctica	11
1.4.3. Justificación metodológica	12
15. Delimitantes de la investigación	12
1.5.1. Teórica	12
1.5.2. Temporal	12
1.5.3. Espacial	12
II. MARCO TEÓRICO	13
21. Antecedentes internacional y nacional	13
2.2. Bases teóricas	17
2.2.1. Principios del diseño mecánico	17
2.3. Marco conceptual	32
2.3.1. Selección de material	32
2.3.2. Diseño de forma y dimensionamiento del tanque	33
2.3.3. Espesor de la pared	34
2.3.4. Fondo del tanque	35
2.3.5. Diseño del agitador	38
2.3.7. Cálculo del aislante térmico	51
2.4. Definición de términos básicos	52
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	55
3.1. Hipótesis	55

3.1.1. Operacionalización de variable	55
IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO	57
4.1. Diseño metodológico	57
4.2. Método de investigación	57
4.3. Población y muestra	57
4.4. Lugar de estudio	58
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	58
4.6. Análisis y procesamiento de datos	58
4.6.1 Selección de material tanque neutralizador	58
4.6.2 Diseño de forma y dimensionamiento del tanque	59
4.6.3 Espesor de pared	60
4.6.4 Fondo del tanque	61
4.6.5. Cálculo del agitador	62
4.6.6. Cálculo del serpentín	65
4.6.7. Cálculo del aislante térmico	70
4.7. Aspectos éticos en la Investigación	72
V. RESULTADOS	73
5.1. Diseño del tanque	73
5.2. Diseño del agitador	73
5.3. Diseño del intercambiador de calor	73
5.4. Diseño del aislante térmico	73
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	74
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	74
6.2 Situación original	75
6.3 Situación con incorporación de un neutralizador	76
VII. CONCLUSIONES	77
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
IX. ANEXOS	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Modelo descriptivo lineal del diseño	17
Figura 2.2 Esquema típico de un reactor	19
Figura 2.3 Esquema general de un agitador	21
Figura 2.4 Rango de viscosidad permitido para cada tipo de agitador	21
Figura 2.5 Impulsores de palas: (a) Planas. (b) Inclinas. (c) Ancla	22
Figura 2.6 Impulsores de hélice: (a) Normal (b) De cuchilla. (c) Protegida	23
Figura 2.7 Tipos de impulsores de turbina	23
Figura 2.8 Agitador central con baffles	24
Figura 2.9 Homogenización de los fluidos	25
Figura 2.10 Dispersión de tres fluidos insolubles	25
Figura 2.11: Homogenización de temperatura	26
Figura 2.12 Adición de hidrógeno a través del eje agitador	26
Figura 2.13: Flujo Axial (A) y Radial (B)	28
Figura 2.14 Diagrama de cuerpo libre del agitador	29
Figura 2.15 Recipiente enchaquetado	30
Figura 2.17 Tabla de composición química	32
Figura 2.18 Volúmenes y niveles de tanques	33
Figura 2.19 Tabla de calidad de material	36
Figura 2.20 Tabla de calidad de material	37
Figura 2.21 Típicas juntas verticales y horizontales para el cuerpo del tanque.	37
Figura 2.22 tipos de juntas	38
Figura 2.23 Variables dimensionales	39
Figura 2.24: Número de bomba vs número de Reynolds	43
Figura 2.24 Configuración estándar de un serpentín helicoidal en un tanque agitado	46
Figura 2.28 Masa y volumen de control	47
Figura 2.29 Correlaciones usadas para flujo bifásico	49
Figura 4.1 Comparando las capacidades mecánicas dadas en tablas	59
Figura 4.2 Diseño geométrico de reactor	60
Figura 4.3 Esfuerzos permisibles	61

Figura 4.4 Tabla de Reynolds	64
Figura 4.5 Tabla de viscosidad μ	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Constantes KL y KT para el cálculo de potencia_____	41
Tabla 2.2 Mezclado de homogeneidad_____	43
Tabla 2.3 Desempeño del mezclador según la velocidad lineal superficial	45

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se enfocó en el diseño de un reactor neutralizador para aceite crudo de soja de 10 toneladas de capacidad para procesos cuya operación se realiza intermitentemente o por lotes (reactor tipo batch) para la corporación BELSEN ubicada en el distrito de Lurigancho Chosica Lima. El diseño se llevó a cabo siguiendo una metodología de trabajo donde se revisaron diseños existentes de reactores para neutralización aplicados a la industria oleaginosa y se tomaron en cuenta sus sugerencias. Se elaboró una lista de requerimientos para el diseño, para luego ordenar una, que sea acorde al proceso y se procedió a dar inicio al diseño propiamente dicho. Los parámetros propios de diseño fueron tomados de procesos de neutralización del crudo de soja documentados, con ello se procedió a realizar el análisis térmico y se dimensiono según la capacidad requerida para el proceso de neutralizado. Posteriormente se realizó el diseño del sistema de agitación y mezcla proceso fundamental en este tipo de reactores.

Se utilizó el método sistémico con diseño comparativo, donde se efectuó una comparación entre el uso de un reactor con fondo toriesferico y chaqueta de calentamiento y otro con fondo cónico y serpentín de tubos en espiral como elemento calefactor. Se concluyó que el reactor propuesto es más eficiente en el intercambio de calor, además permitió una descarga más rápida de los productos saponificados producto de la reacción química de los ácidos grasos presentes en el aceite con la solución base.

Entre los resultados del proyecto se obtuvo una mejora en el tiempo del proceso de neutralizado además de aumentar el uso de la capacidad instalada de la refinería; en consecuencia, un aumento de la producción.

Palabras claves reactor, neutralización, saponificación álcali, ácido graso

RESUMO

O presente trabalho de pesquisa se concentrou no projeto de um reator neutralizante para óleo de soja bruto de 10 toneladas de capacidade para processos cuja operação é realizada de forma intermitente ou em bateladas (reator tipo batelada) para a empresa BELSEN localizada no distrito de Lurigancho Chosica. . O projeto foi realizado seguindo uma metodologia de trabalho onde os projetos existentes de reatores para neutralização aplicados à indústria de oleaginosas foram revisados e suas sugestões serão levadas em consideração. Será preparada uma lista de requisitos para o projeto, para então solicitar um, que seja consistente com o processo e prosseguir para iniciar o projeto propriamente dito. Os parâmetros de projeto serão retirados de processos documentados de neutralização do óleo cru de soja, com isso será realizada a análise térmica e será dimensionada de acordo com a capacidade necessária para o processo de neutralização. Posteriormente, será realizado o projeto do sistema de agitação e mistura, processo fundamental neste tipo de reatores.

Foi utilizado o método sistêmico com desenho comparativo, onde foi feita uma comparação entre a utilização de um reator com fundo torisférico e camisa de aquecimento e outro com fundo cônico e bobina de tubos espirais como elemento de aquecimento. Concluiu-se que o reator proposto é mais eficiente na troca de calor, além de permitir uma descarga mais rápida dos produtos saponificados resultantes da reação química dos ácidos graxos presentes no óleo com a solução base.

Entre os resultados do projeto podemos deduzir uma melhora no tempo do processo de neutralização além de aumentar a utilização da capacidade instalada da refinaria; conseqüentemente, um aumento na produção.

Palavras-chave reator, neutralização, saponificação alcalina, ácido grax

INTRODUCCIÓN

El aceite vegetal utilizado en la cocina peruana es un producto de consumo masivo de primera necesidad. En la actualidad, en el mercado nacional, el consumo per cápita de aceite refinado ha aumentado considerablemente, pues, al ser un producto de alta demanda, muchos empresarios buscaron invertir, renovar e implementar plantas pequeñas y de mediana producción de aceite refinado, especialmente, el derivado de la soja. En este marco, la soja es elegida como materia prima, puesto que su volumen de siembra y producción a nivel del continente (américa) ha ido en aumento.

Como se mencionó, a nivel mundial, el precio de la soja se incrementó, lo cual supone una desventaja para compañías pequeñas o medianas que no disponen de una infraestructura eficiente para la producción y masificación de este producto. Tal es el caso de países como el Perú, el cual es uno de los primeros importadores de aceite crudo de soja proveniente de Argentina. En tal sentido, al producirse esta alza en el costo de la soja, muchos de los empresarios peruanos se vieron en la necesidad de mejorar sus procesos de producción, con la finalidad de que no se desborde el precio del producto en el mercado.

Por estas razones, la presente tesis titulada: “DISEÑO DE UN REACTOR NEUTRALIZADOR PARA INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE ACEITE NEUTRALIZADO DE 3 A 10 TON EN LA PLANTA DE CORPORACIÓN BELSEN LURIGANCHO-CHOSICA 2022”, cuyo tipo de investigación es tecnológica aplicada, posee como propósito realizar el diseño de un reactor neutralizador que busque incrementar la producción de aceite neutralizado de soja para el beneficio de la Corporación Belsen. Asimismo, en este trabajo se trataron los parámetros del diseño, selección de los materiales y diseño de los equipos de instalación.

Finalmente, cumpliendo con las expectativas que se plantearon en esta tesis, se logró diseñar un reactor neutralizador del aceite de soja, cuyo fin busco beneficiar económicamente a la Corporación Belsen, debido esto, a un considerable incremento de la producción y distribución de aceite.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

El precio de los aceites vegetales, según un informe de la Oficina para la Agricultura y la Alimentación (FAO), ha demostrado un incremento considerable en los últimos años, debido al uso desmedido de los biocombustibles en la población mundial. En este contexto, el aceite de soja se ha mostrado entre los de mayor demanda, pues el sector de la soja ha experimentado un cambio trascendental como producto del auge y producción del cultivo de soja en varias hectáreas del terreno estadounidense. A su vez, países como China, Brasil y Argentina han impulsado el desarrollo de este cultivo (Murcia, 2010).

La república popular china es el primer productor y consumidor con una producción de más de 15 millones de toneladas de aceite de soja. Estados Unidos, en segundo lugar, con 11 millones de toneladas. En tercer lugar, Brasil con 8.83 millones de toneladas y, finalmente, Argentina con una producción de 8.1 millones de toneladas (datos según Oil World). Este último, es el primer exportador oleaginoso del mundo dado que los demás países productores tienen un alto consumo interno debido a que sus poblaciones e industrias son exponencialmente mayores por tanto disponen de un menor margen exportable.

En el Perú el consumo per cápita de aceite refinado de soja creció significativamente importando básicamente desde la república Argentina 0.52 millones de toneladas ubicándonos en el cuarto lugar de las exportaciones de aceite crudo de soja de dicho país. La industria oleaginosa peruana depende en un 67% de la importación de la materia prima cuyo costo fluctúa dependiendo de la demanda mundial y del rendimiento de las cosechas es por la siguiente razón que últimamente la tendencia va en el alza del precio lo que origina como consecuencia el incremento en el costo del proceso de producción, el cual representa entre el 75% y el 85% de los gastos totales de refinar aceite crudo de soja en el país.

Por estas razones la corporación BELSA, a fin de satisfacer la demanda creciente y mantener su posicionamiento en el mercado nacional, decidió utilizar eficientemente

sus instalaciones e incrementó el empleo de la capacidad instalada de la refinería. Actualmente, la planta de refinado presenta deficiencias en el área de neutralizado, lo cual genera demoras y reprocesos que afectan negativamente la cadena de producción. En consecuencia, se planteó una alternativa para solucionar las deficiencias de la planta de refinado.

Razón de nuestro proyecto de tesis fue el de diseñar un nuevo reactor neutralizador de 10 toneladas de capacidad de neutralización, con el fin de reemplazar el reactor neutralizador existente dado que presenta problemas de intercambio de calor, agitación deficiente de los productos, una mala sedimentación por gravedad y una lenta evacuación de los ácidos grasos en forma de jabón causados por el deficiente proceso de neutralizado.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cómo diseñar un reactor neutralizador para incrementar la capacidad de producción de aceite neutralizado de 3 a 10 toneladas?

1.2.2 Problemas específicos

- **PE1:** ¿Cómo determinar los parámetros de diseño del reactor neutralizador para el incremento de la capacidad de producción de aceite neutralizado a 10 toneladas?
- **PE2:** ¿Cómo seleccionar los materiales para el diseño del reactor neutralizador para el incremento de la capacidad de producción de aceite neutralizado a 10 toneladas?
- **PE3:** ¿Cómo diseñar los equipos para el diseño del reactor neutralizador para el incremento de la capacidad de producción de aceite neutralizado a 10 toneladas?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Diseñar un reactor neutralizador para incrementar la capacidad de producción de aceite neutralizado de 3 a 10 toneladas

1.3.2. Objetivos específicos

- OE1: Determinar los parámetros de diseño del reactor neutralizador para el incremento de aceite neutralizado a 10 toneladas
- OE2: Seleccionar los materiales para el diseño del reactor neutralizador para el incremento de aceite neutralizado a 10 toneladas
- OE3: Seleccionar los equipos para el diseño del reactor neutralizador para el incremento de la producción de aceite neutralizado a 10 toneladas

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación teórica

En el aspecto teórico, se justificó porque se realizó un análisis de los conceptos y teorías adquiridas durante el tiempo de estudios universitarios, además se implementaron las tendencias actuales sobre diseños más eficientes de los reactores químicos. Finalmente, se aportó conocimiento y antecedentes para futuras investigaciones que sirvan en mejorar los procesos productivos

1.4.2. Justificación práctica

El presente trabajo tuvo como objetivo el diseño de un reactor neutralizador, con el fin de incrementar la producción de aceite neutralizado, logrando además la utilización de un mayor porcentaje de la capacidad instalada de la planta de refinación.

1.4.3. Justificación metodológica

En el aspecto metodológico, se sugirió y se aportó mejoras para la forma de experimentar con más variables y datos a fin de someterlos a un proceso de validez y confiabilidad, pues se diseñó siguiendo una metodología de trabajo que servirá de guía a otros diseñadores, debido a que se brindó información y sugerencias al problema detectado.

1.5. Delimitantes de la investigación

1.5.1. Teórica

Con la falta de data e información específica sobre el diseño del reactor de neutralización cáustica de aceite crudo de origen vegetal, se recurrió a catálogos y revistas con fines de investigar y comprender mejor el proceso de refinado tanto físico como químico del aceite crudo de soja. De este modo, se encontró y seleccionó los parámetros de diseño más adecuados para la realización de este proyecto para luego compararlos y contrastarlos con la teoría.

1.5.2. Temporal

La presente investigación se realizó durante el periodo de noviembre del 2021 hasta julio del presente mes 2022.

1.5.3. Espacial

La presente investigación se realizó en la industria corporación BELSEN, ubicada en el departamento de Lima, provincia Lima, distrito Lurigancho-Chosica; la cual es dueña de una planta de producción de aceite refinado de soja, donde se acondicionó toda la planificación y variación de equipos.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes internacional y nacional

- **Antecedentes Internacionales:**

Ricaurte (2016), en Ecuador, realizó la tesis de licenciatura “Diseño y simulación de un tanque mezclador de 10,000 gal para la elaboración de aceites lubricantes”

El mencionado trabajo de tesis se enfocó en diseñar un tanque mezclador para aceite lubricante cumpliendo con el estándar del código API 650 y un modelo computacional en la estructura a la hora del diseño del tanque de 10,000 galones para la elaboración de aceite lubricante en la ciudad de Guayaquil-Ecuador. Asimismo, se encontró que el tanque mezclador permitió aumentar la producción de aceite lubricante, al ser capaz de mezclar 10.000 galones de producto en tan solo una hora. Esto resulta en una producción real de 20.000 galones en un mes, duplicando el rendimiento presenciado al inicio. Finalmente, el presente trabajo permitió optimizar el desarrollo de la elaboración del diseño de un tanque agitador con base en la norma API 650; producto de ello, se realizó una mejora en el desarrollo de la parte constructiva del tanque reactor neutralizador y de los componentes internos.

Oviedo (2020), en Ecuador, realizó la tesis de Licenciatura,” Diseño de una planta piloto para la producción de etil palmitato y etil oleato a partir de biodiesel producido de aceite de palma refinado”

La mencionada tesis tuvo como objetivo realizar una planta piloto para el Laboratorio de Combustibles, Biocombustibles y Aceites Lubricantes de la Escuela Politécnica Nacional ubicada en Quito-Ecuador, que permitió la producción de biodiésel fabricado a partir de aceite de palma refinado, con el fin de destilarlo y obtener los ésteres etílicos: etil palmitato y etil oleato. Por ello, se realizó el diseño de un tanque agitador basado en el código API 650, el cual produjo una reacción de transesterificación con un rendimiento del 92%, con respecto al aceite refinado utilizado anteriormente. Por lo tanto, este trabajo resulta de utilidad, pues permite conocer los criterios del diseño mecánico de un tanque reactor de transesterificación, los sistemas de agitación y los sistemas de transferencia de calor.

Roque (2019), en Ecuador, realizó la tesis de licenciatura “Diseño y construcción de un reactor discontinuo de saponificación para el laboratorio de procesos industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH”.

En el presente trabajo se buscó diseñar y construir un reactor discontinuo de saponificación para el laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, el cual se ha desarrollado e implementado en la ciudad de Riobamba en las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Asimismo, como parte de las conclusiones del estudio, se encontró que el rendimiento del equipo fue del 97%, obteniéndose un jabón líquido que cumple con las exigencias establecidas por la NTE INEN 842. Finalmente, la utilidad de esta tesis se centra en conocer mejor el diseño de un reactor discontinuo de saponificación: los parámetros del diseño y cálculos de agitación

Vladimir (2013), en Chile, Desarrolla la tesis, “Diseño y cálculo de un agitador de fluidos. Facultad de Ingeniería”

La presente tesis se enfoca en el diseño y cálculo de un agitador de fluidos que permite mezclar el interior de un estanque, el cual contiene una solución de agua y soda cáustica (hidróxido de sodio), siendo la empresa Prosein Ambiental la beneficiada por el diseño de este producto que se presenta como una respuesta en el tratamiento de aguas residuales. En conclusión, se encontró que pese a la cantidad de variables que dificultan el desarrollo óptimo del diseño propuesto, fue posible su elaboración, tomando en cuenta que el agitador no debe de girar en una zona de 300 a 450 rpm para evitar una posible falla de resonancia debido a la configuración del agitador. Finalmente, este proyecto servirá de utilidad para conocer los parámetros de diseño del agitador.

Hernández (2005), realizó la tesis, “PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO-REACTOR PARA REALIZAR LA PIRÓLISIS DE LA CÁSCARA DE ARROZ”

El objetivo de este trabajo fue obtener carbón vegetal de la cáscara de arroz, a través del diseño de un horno-reactor de pirolisis. Para ello, se buscó conocer acerca de los procesos de obtención de biocombustibles a partir de la biomasa y sus características. En tal sentido, entre las conclusiones de la investigación, se encontró que la propuesta del equipo es de bajo costo y complejidad, a su vez que sigue la tendencia mundial de este tipo de diseños. Finalmente, el aporte de esta fuente al presente

trabajo de tesis fue que permitió conocer los parámetros de diseño del reactor de pirólisis, el análisis para el aislamiento térmico y el cálculo del fondo cónico.

- **Antecedentes nacionales**

Garcés (2018), realizó la tesis “Diseño de un tanque agitador de 160 m³ de capacidad para lixiviación de oro. Consorcio Minero Horizonte SA”

La tesis presentada tuvo como objetivo diseñar un tanque agitador de minerales de 160 m³ de capacidad, que permitirá el incremento de la cantidad de procesamiento de lixiviación del oro. A su vez, este diseño se hizo por requerimiento del departamento de Producción de la empresa Consorcio Minero Horizonte S.A., la cual opera en Batolito de Pataz en la región de La Libertad. Asimismo, como parte de las conclusiones del estudio, se logró diseñar un tanque con los lineamientos de la norma API 650, además de un diseño satisfactorio del sistema de transmisión de agitación. Finalmente, la utilidad de este trabajo se muestra en que permite conocer los parámetros básicos y la metodología adecuada para el diseño del tanque agitador.

Vega (2017), realizó la tesis, “Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de aceite de soya (Glycine max) refinado”

La presente tesis tuvo como objetivo establecer la viabilidad técnica, económica, financiera, social y de mercado para la instalación de una planta de producción de aceite de soya refinado para consumo interno. Este proyecto será en la ciudad de Lima, debido a su alta demanda de aceite vegetal; especialmente, el distrito elegido es el de Ventanilla. Asimismo, los resultados de este trabajo muestran que la elaboración de una planta productora de soja es viable por su rentabilidad a mediano plazo, además de la existencia de una alta demanda de este tipo de aceite. En cuanto a la utilidad del estudio, este permitirá conocer la viabilidad de diseñar un reactor neutralizador para seguir estimulando el desarrollo de productos como el aceite vegetal de soja.

Zegarra (2018), realizó la tesis, “Diseño mecánico y simulación de control de temperatura de un fermentador de cerveza artesanal”

Este trabajo se enfocó en diseñar un recipiente sometido a presión de tipo cilíndrico-cónico para su uso en la fermentación de cerveza artesanal, al mismo tiempo que se desarrolla un sistema de control de temperatura en el proceso de fermentación, a fin

de mejorar el rendimiento y calidad en la elaboración de la cerveza artesanal. En tal sentido, se obtuvo como resultado que el análisis de estabilidad del sistema desarrollado era favorable, mientras la temperatura del fermentador se mantuviera en respuesta a los valores de 14 y 16 grados Celsius. Finalmente, la utilidad de esta tesis radica en conocer mejor el diseño de un reactor cilíndrico cónico.

Hernández (2018), realizó la tesis, “Diseño de un biodigestor con estiércol de ganado vacuno para el caserío la zanja-Cajamarca”

El presente trabajo buscó Diseñar un biodigestor de estiércol de ganado vacuno para abastecer de biogás necesario en la producción de energía eléctrica a la población del caserío La Zanja - Cajamarca. La utilidad del estudio escogido es que permite conocer el diseño de un tanque digestor vertical con fondo tronco cónico.

Cáceres (2018), realizo la tesis, “Diseño de un sistema de fermentación para la elaboración de 100 litros de chicha de jora”

La presente tesis tuvo por objetivo diseñar un sistema de fermentación para elaborar 100 litros de chicha de jora, en el que hay dos recipientes de acero inoxidable AISI 316. Cada recipiente tiene en el interior un serpentín helicoidal, uno para calentamiento, donde fluye vapor, y el otro para enfriamiento, donde circula mezcla de agua y propilenglicol para alcanzar los niveles de temperatura recomendados para cada proceso. Como parte de los resultados, se obtuvo que el diseño facilito la optimización del sistema de control y automatización con el uso de un controlador PID para regular los flujos de fluidos térmicos. Además, podría incluirse un variador de frecuencia en el motor de los agitadores y regular la velocidad axial del fluido dentro de los recipientes, los caudales de las bombas y mejorar sus eficiencias. En cuanto a la utilidad del estudio, este brinda los conocimientos para el cálculo del espesor del aislamiento térmico, así como la metodología de cálculo del serpentín de vapor.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Principios del diseño mecánico

El diseño en la ingeniería se entiende como el proceso de concepción de un conjunto de principios e ideas para satisfacer las necesidades. Este es un proceso de toma de decisiones muy iterativo que se sirve de las ciencias las matemáticas y los conocimientos de ingeniería en su afán de modificar los recursos para satisfacer los objetivos según la ABET (consejo de la acreditación para la ingeniería y tecnología)

Tipos de diseño:

(Carbonell 2015) definió tres tipos de diseño:

- Diseño original o innovación: se creó nuevas soluciones a cada problema encontrado, reestructurando el entorno y un cambio de paradigma
- Diseño adaptativo o de síntesis: Es la adaptación de un sistema o tecnología válida a una tarea cambiante no se requiere una reestructuración del entorno Para el caso del presente estudio este diseño es adaptativo, pues adoptamos un sistema conocido a un nuevo subsistema básicamente de forma.
- Diseño de variantes: Este diseño involucra el cambio de parámetros y modificar el desempeño; sin embargo, no cambia la configuración.

Fases del diseño:

Figura 2.1 Modelo descriptivo lineal del diseño



Fuente: Diseño conceptual de productos asistidos por ordenador, Bern,2014.

Metodología del diseño

Es la integración de los conjuntos de referencias y prescripciones para la solución de las incertidumbres derivadas del diseño, además de adecuarlos a una secuencia conveniente de las acciones y procedimientos específicos.

(Iserte, Espinosa, & Domínguez, 2012), el diseñador es quien debe decidir y planificar para cada proyecto, las metodologías que vio como las de mayor utilidad y cómo las empleará para conseguir el fin buscado. No es ilógico pensar que para un determinado diseño se necesite usar uno o varios métodos que presenten mayores fortalezas en un determinado campo.

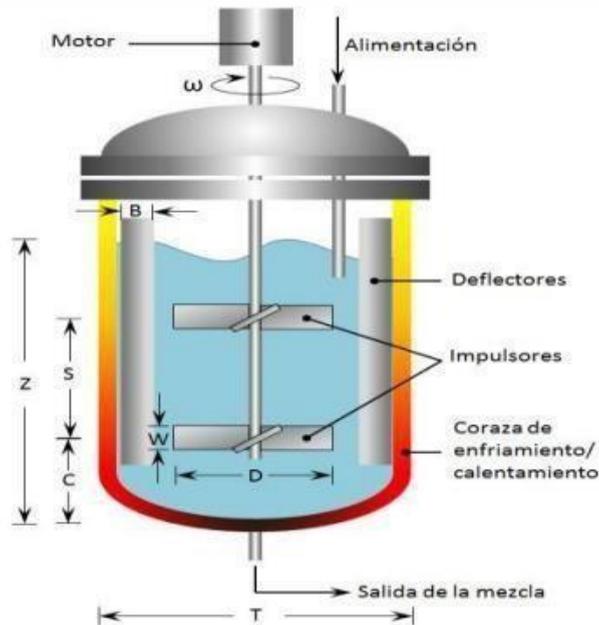
2.2.1 El reactor

El reactor es un tanque que posee un agitador y un sistema integral de calefacción o refrigeración con tamaños diversos, los cuales dependen de la necesidad del proceso que se requiera. Estos se fabrican en acero, o acero inoxidable, dependiendo del tipo de reacción química que se produjo. Asimismo, se cargaron con líquidos o sólidos, a través de conexiones en la parte superior del reactor. En cuanto a los componentes del reactor, se tiene el agitador, el cual es un motor al que se acopla un eje que lleva integrados los álabes o paletas. En relación con las paletas, existe una amplia gama de diseños de paletas que, usualmente, se encuentran a una altura de un tercio desde la base. Así también, su longitud es dos tercios del diámetro del reactor. En tal sentido, cuando el proceso requiere de un producto viscoso, se utiliza un tipo de paleta poco distante del contorno del recipiente.

La mayoría de los reactores discontinuos utilizan placas deflectoras, cuya finalidad es eliminar la formación de vórtices. Estas placas son fijadas en las paredes laterales del tanque. Los vórtices se forman por la fuerza centrífuga originada por el impulsor en un tanque con forma cilíndrica. Un vórtice, además de no permitir un óptimo mezclado, introduce aire no deseado en el proceso. Sin embargo, a veces un vórtice tiene ventajas en algunos casos concretos; por ejemplo, si se desea que el aire se mezcle, adicionalmente, sirve para disminuir la potencia del motor al no llevar el reactor placas deflectoras. Finalmente, si se requiere utilizar el tanque para transferencia de calor. La magnitud de un vórtice que se presenta depende de las relaciones geométricas del cilindro altura/diámetro, del tipo de impulsor (número de aspas, tipo, dimensiones,

forma y ángulo) y de la cantidad de impulsores. El calor generado o el calor absorbido en la reacción se elimina o añade a través de una chaqueta o de un serpentín de tubos.

Figura 2.2 Esquema típico de un reactor



Fuente: CUNILL GARCÍA, Fidel; IBORRA URIOS, Montserrat; TEJERO SALVADOR, Xavier. Apuntes de reactores químicos. 2010.

a) Reactores según su diseño:

- **Reactor tanque**

Es el reactor utilizado en la industria. En la mayoría de los diseños incorpora un sistema de agitación y otros elementos necesarios para la transferencia de calor (intercambiador de calor). Un ejemplo representativo del reactor tipo tanque es el reactor neutralizador. Este es un recipiente con sistema de agitación y serpentín de calentamiento donde se realizan los procesos de transformación, vía una o varias reacciones químicas. Se diseñó y construyó de manera que no se involucre en la reacción química; además de maximizar la reacción de saponificación en el menor tiempo, y con la mayor eficiencia posible. Cabe mencionar que la saponificación es la obtención de un jabón anhidrido producto de la reacción de una grasa animal o vegetal con un álcali en este caso en particular el hidróxido de sodio.

- **Reactor tubular**

Se elaboro con un solo tubo continuo o varios tubos paralelos. Los reactivos entran por un extremo del reactor y el producto se descarga por el otro extremo, con una continua variación en la composición de la mezcla de reacción entre estos dos puntos. La transferencia de calor se realiza a través de la camisa o de los tubos de la carcasa. Estos reactores tienen la principal ventaja de evitar el retro mezclado. Una aplicación común para este dispositivo es la conversión de aire en óxido nítrico.

b) Componentes del reactor:

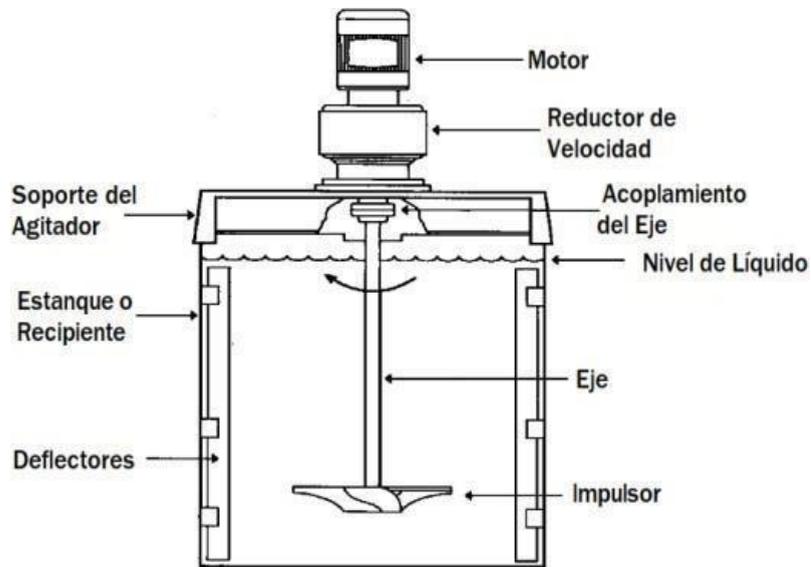
- **Agitadores**

“Un agitador es un componente del reactor para generar un movimiento circulatorio de los fluidos dentro del estanque” (Castillo, 2013).

La flexibilidad de diseño del agitador, junto con las infinitas posibilidades de configuraciones geométricas, hacen necesario establecer relaciones generales de diseño para asegurar las constantes necesarias que dan como resultado el diseño final de un sistema de agitación. La relación de diseño y la constante de diseño están respaldadas por trabajos empíricos que muestran curvas de comportamiento de fluidos cuando se agitan y predicen el comportamiento del sistema; por lo tanto, es fundamental ceñirse a modelos probados y cuantificables para utilizar parámetros generalizados y no entrar en un mundo de incertidumbre como el del comportamiento de los fluidos.

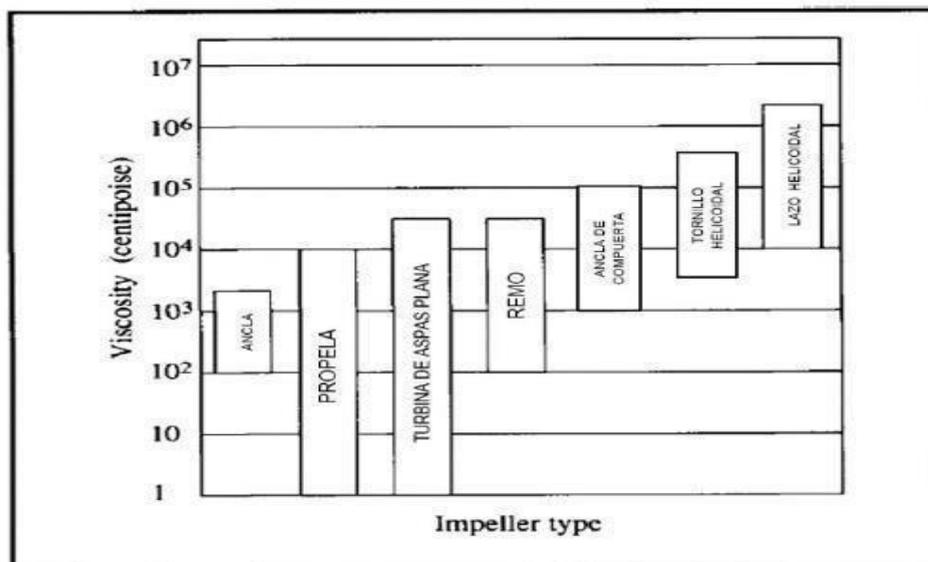
Los experimentos realizados por Bates y Corpstein dieron una guía general de la geometría de los agitadores, ya que a partir de estas configuraciones se obtuvieron curvas de comportamiento experimental en torno a números de potencia, constante fundamental para el diseño de agitadores.

Figura 2.3 Esquema general de un agitador



Fuente: Basics in Minerals Processing, Metso Minerals, 2011

Figura 2.4 Rango de viscosidad permitido para cada tipo de agitador



Fuente: Basics in Minerals Processing, Metso Minerals, 2011

El diseño del agitador se basa en su elección según la viscosidad del líquido a agitar. Se sabe que el fluido de trabajo para este proyecto tiene una viscosidad

de 30 [cP], un valor dentro del rango de los agitadores de propela y turbina de aspas plana. Cada uno de ellos presenta relaciones geométricas basadas en las medidas del tanque, que determinaron la geometría del agitador, así como su posición con respecto al fondo del tanque agitador.

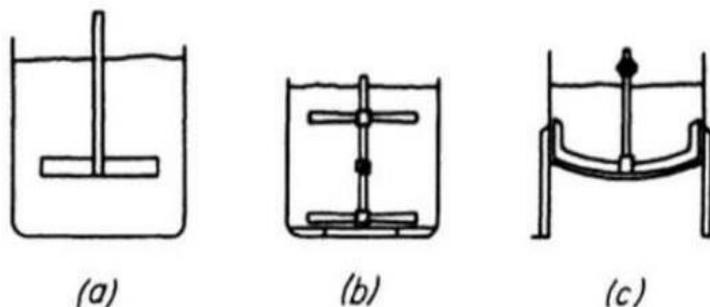
- **Impulsores**

El impulsor es el encargado de generar el movimiento circular del fluido. Está constituido por láminas o álabes cuya geometría es fundamental para el desplazamiento del fluido. Los materiales son diseñados acorde a los esfuerzos que deberán de soportar y se distinguen principalmente tres tipos: de palas, de hélice y de turbina.

- ✓ **Impulsores de pala**

Los agitadores industriales de palas giran a una velocidad comprendida entre 20 y 150 rpm. A velocidades muy bajas, un agitador de palas produce una agitación suave, la cual impulsa el líquido radial y tangencialmente sin que exista movimiento vertical con respecto al eje del agitador. Las corrientes de fluido se dirigen a la pared del reactor sin placas y después hacia arriba o hacia abajo. (McCabe & Smith, 2011, p. 254)

Figura 2.5 Impulsores de palas: (a) Planas. (b) Inclínadas. (c) Ancla.



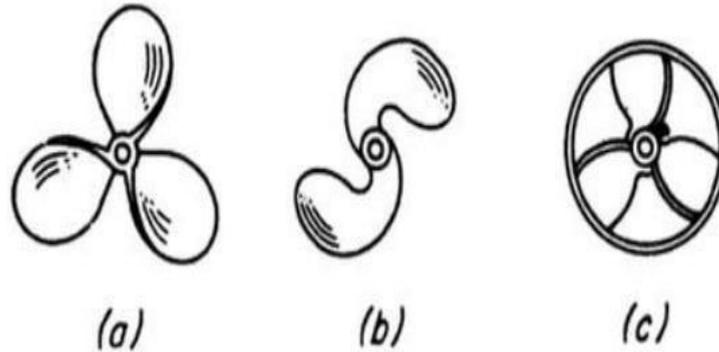
Fuente: Operaciones básicas de ingeniería química. Volumen 1, Mc Cabe y Smith, 2011

- ✓ **Impulsores de hélice**

El flujo generado por un impulsor de hélice es de comportamiento axial, trabajan a altas velocidades y se utilizan para líquidos de baja viscosidad. Las corrientes de flujo se trasladan hasta que chocan con el fondo o las paredes del reactor siendo este flujo axial altamente turbulento, a su vez son capaces de succionar el líquido que pueda quedar estancado. Además, son muy usadas

en reactores de gran tamaño, debido a su notable eficacia (McCabe & Smith, 2011).

Figura 2.6 Impulsores de hélice: (a) Normal (b) De cuchilla. (c) Protegida

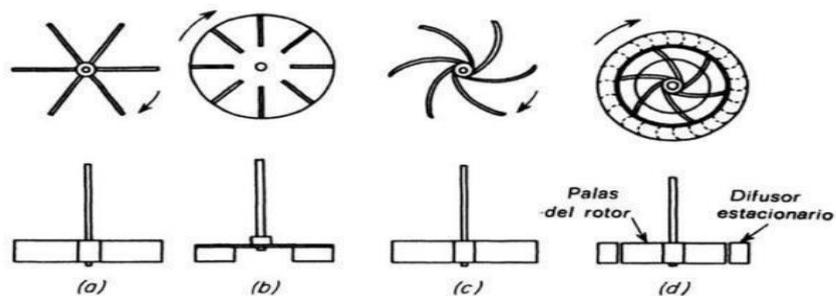


Fuente: Operaciones básicas de ingeniería química. Volumen 1, Mc Cabe y Smith, 2011

✓ Impulsores de turbina

La mayor parte de ellos se asemejan a agitadores de múltiples y cortas palas, que giran a velocidades elevadas sobre un eje que va montado centralmente dentro del reactor. Las aspas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales. El rodete puede ser abierto, semicerrado o cerrado. (McCabe & Smith, 2011, p. 255)

Figura 2.7 Tipos de impulsores de turbina

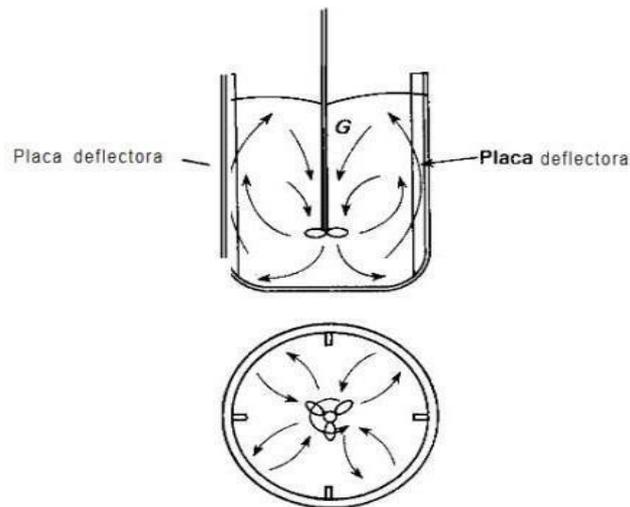


Fuente: Operaciones básicas de ingeniería química. Volumen 1, Mc Cabe y Smith, 2011

- **Deflectores**

Son partes esenciales de todo reactor de gran tamaño llamados comúnmente como baffles. Su función es reducir los vórtices en el fluido. La geometría de los deflectores depende del diseño del rodete y la viscosidad del fluido. Se usan cuando existe un agitador mecánico (Carmi, 2009).

Figura 2.8 Agitador central con baffles



Fuente: Operaciones básicas de ingeniería química. Volumen 1, Mc Cabe y Smith, 2011

c) Funciones del reactor

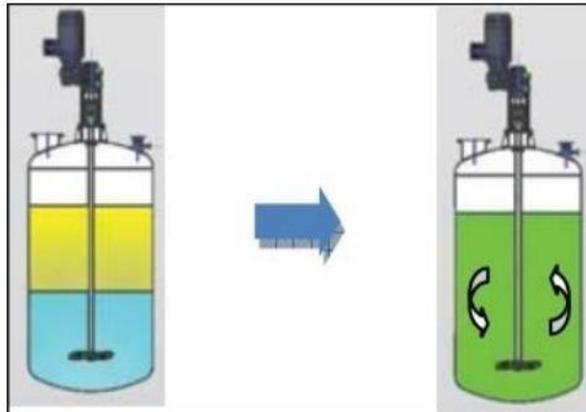
- **La neutralización**

Es un proceso industrial cuya finalidad es disminuir el porcentaje de ácidos grasos libres presentes en el aceite crudo de soya, agregando una sustancia de carácter básico. En este caso, hidróxido de sodio, con la finalidad de aminorar su acidez a valores menores a 0.05% sin una pérdida sustancial de aceite.

- **Homogenización de un fluido**

Se define como la mezcla de fluidos solubles, cuyo objetivo principal es lograr el equilibrio de gradiente de temperatura y de gradiente de concentración. Además, se utiliza para la neutralización de ácidos.

Figura 2.9 Homogenización de los fluidos

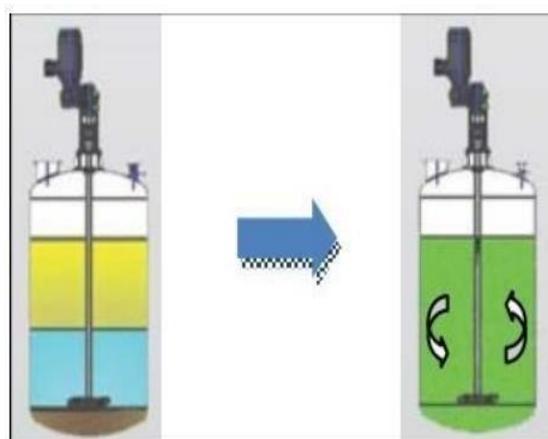


Fuente: Diseño y Cálculo de un Agitador de Fluidos, Castillo Uribe,2013

- **Emulsión de dos fluidos insolubles**

Consiste en la dispersión de un fluido en otro fluido, los cuales son insolubles o inmiscibles entre sí. Su objetivo es aumentar la superficie específica de uno de los fluidos.

Figura 2.10 Dispersión de tres fluidos insolubles

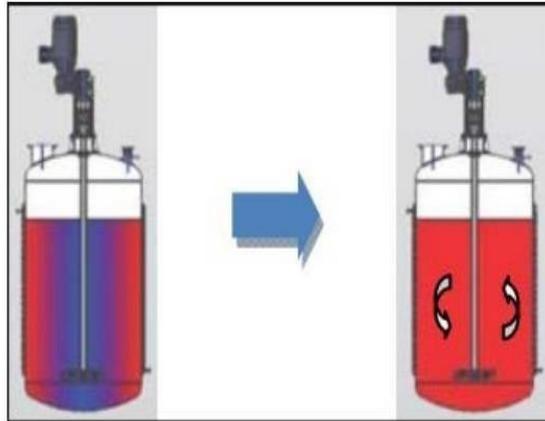


Fuente: Diseño y Cálculo de un Agitador de Fluidos, Castillo Uribe,2013

- **Intercambio térmico entre un fluido y superficie de enfriamiento**

Consiste en el intercambio de calor entre fluido y superficie de fluidos a distinta temperatura.

Figura 2.11: Homogenización de temperatura

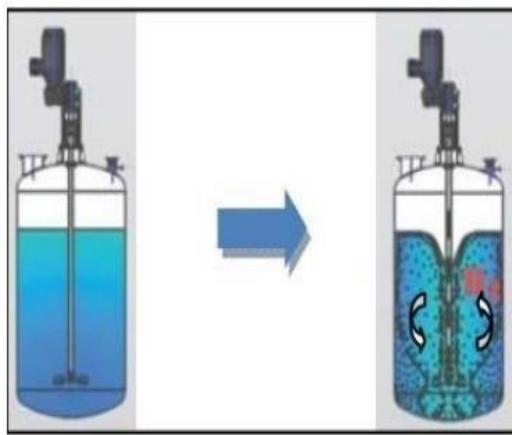


Fuente: Diseño y Cálculo de un Agitador de Fluidos, Castillo Uribe,2013

- **Hidrogenación**

Se define como la conversión de ácidos grasos insaturados a saturados, a través de la incorporación de hidrógeno. La hidrogenación tiene aplicaciones en la industria farmacéutica, química y alimentaria.

Figura 2.12 Adición de hidrógeno a través del eje agitador



Fuente: Diseño y Cálculo de un Agitador de Fluidos, Castillo Uribe,2013

- **Agitación y mezcla**

Agitación: Es la generación de movimientos forzados de una materia fluida para conseguir una disolución de los reactivos y lograr una homogeneidad deseada en el mínimo de tiempo y con un mínimo de energía. En el caso de

que no sea una única sustancia la que reciba este movimiento, sino dos o más sustancias, miscibles se llamará mezcla.

Mezcla: El término mezclado se refiere, en el contexto de la agitación, a conseguir la máxima interposición entre materiales, que pueden ser miscibles o no, para obtener un grado determinado de uniformidad entre los mismos (Dickey y Fenic, 1976).

d) Tipos de flujo en un reactor:

- **Flujo axial**

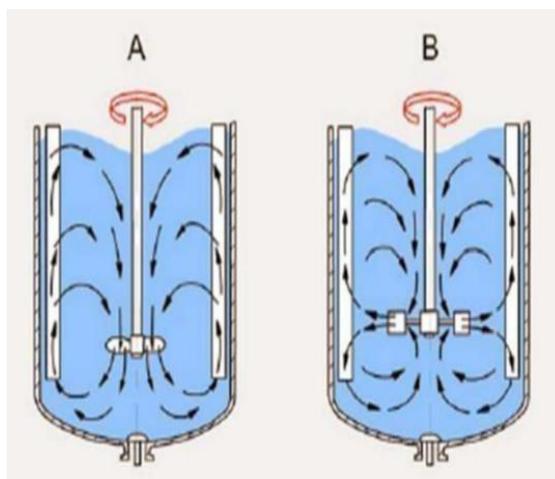
Es el flujo que se originó desde las palas del impulsor creando una corriente de flujo de ida y vuelta paralelo al eje de giro. Se hizo presente con un número de Reynolds en el rango de 200 a 600, si el número de Reynolds disminuye este flujo pasaría a ser uno del tipo radial. Algunos agitadores de flujo axial más representativos son las de hélices y turbinas de palas o aspas inclinadas.

- **Flujo radial**

Este flujo se caracteriza por ser perpendicular al eje del impulsor en dirección radial tangencial” (Optimización de Procesos y Tecnología S.A.S, 2017)

Los impulsores responsables de generar este tipo de flujo son los de palas planas. El flujo generado se puede usar para cualquier Reynolds caracterizados por proporcionar alta velocidad tangencial, y baja capacidad de impulsión. En la mayoría de los procesos industriales de mezclado se busca que la capacidad de impulsión sea lo mayor posible, mientras que la velocidad tangencial no constituye un factor de importancia y, por lo tanto, se prefiere evitar. (Castillo, 2013, p. 12)

Figura 2.13: Flujo Axial (A) y Radial (B)



Fuente: Agitación en Fluidos Newtonianos, Collahuazo y Maldonado, 2012

e) Sistema de transmisión

El sistema de accionamiento está compuesto por la caja reductora de velocidad, el eje de transmisión y el acoplamiento eje-caja reductora. Estos factores, juntos con el motor, forman el agitador mecánico.

- **Reductor de velocidad**

Es un mecanismo formado por engranajes, ejes, juntas, etc. Su función es una reducción de la velocidad, proporcionada por un agente motor. Al hacerlo otorga un torque mayor.

- **Eje de transmisión**

Es el elemento de la máquina que soporta otros elementos (engranajes, acoplamientos, poleas, etc.) y gira siempre con ellos. Están fijados a ellos por agentes de sujeción tales como chavetas, pasadores, pines, etc.

- **Acoplamiento eje - reductor**

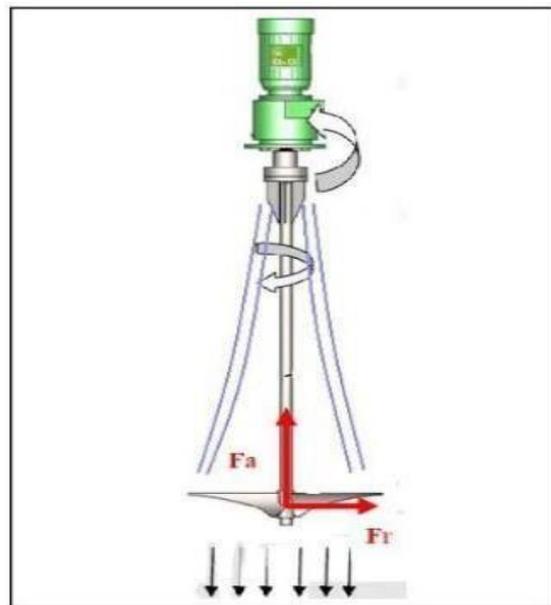
Son elementos mecánicos que unen o prolongan líneas del eje de transmisión, ya sea que estas líneas sean paralelas o no, Llevan el par torsor y la energía mecánica. Hay varios tipos, pero en general se clasifican en tres categorías: articulados flexibles y rígidos

f) Esfuerzos en el agitador

El proceso de agitación hace que el agitador y sus partes resistan las acciones de fuerzas y cargas externas. Estas determinarán el tamaño y las dimensiones de los elementos que la componen.

- **Compresión:** Al encender el agitador, este empujará el fluido, creando una fuerza axial en la dirección opuesta al flujo del fluido y en la dirección del eje de rotación.
- **Tracción:** Esfuerzo que tiene el eje del agitador para soportar el peso propio del impulsor. El esfuerzo axial es absorbido en tensión o compresión por el eje, donde los espárragos y sus pernos deben ser capaces de soportar las fuerzas antes mencionadas.
- **Torsión:** Durante la rotación del agitador, se generan fuerzas perpendiculares a las palas, las cuales producen un momento par sobre el eje.
- **Pandeo:** El eje se fija al cubo de la caja de cambios por un extremo del eje lo que provoca una fuerza de alabeo en su extremo libre durante el giro (Castillo,2013, p. 33).

Figura 2.14 Diagrama de cuerpo libre del agitador.



Fuente: Diseño y Cálculo de un Agitador de Fluidos, Castillo Uribe, 2013

g) Transferencia de calor en reactores agitados

Consistió en el intercambio de calor entre fluido y la superficie de calefacción, permitiendo aumentar la velocidad de la reacción, además de lograr la disminución de la viscosidad. Asimismo, facilita la homogeneización de todo el producto que, junto con la agitación, consiguen coeficientes de transmisión más elevados que solo con la

convección natural. De esta manera se logró disminuir la superficie de calentamiento.

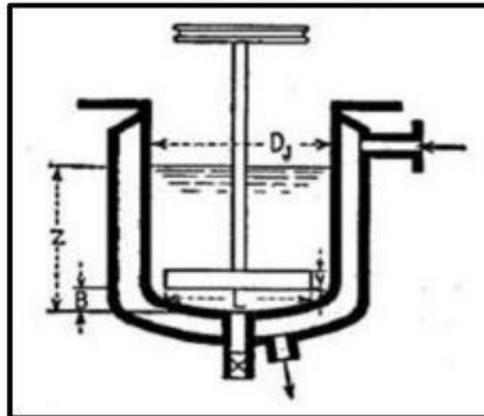
Los sistemas más usados en la actualidad son los siguientes:

- Chaquetas de enfriamiento o calentamiento.
- Serpentes de tubería.
- Calentadores eléctricos de inmersión.

Chaqueta de enfriamiento o calentamiento

El propósito de este diseño generalmente es calentar el contenido del recipiente al formar un doble fondo en el reactor. Son menos eficientes si los comparamos con los serpentines, además tienen mayor costo y su limpieza mecánica es complicada. (Rodríguez, 2009).

Figura 2.15 Recipiente enchaquetado

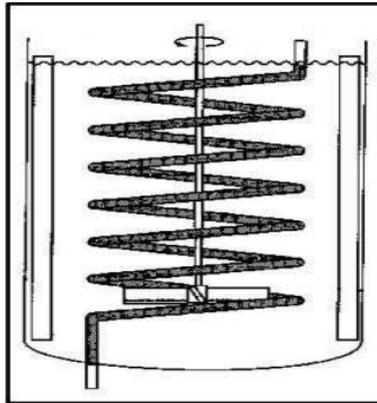


Fuente: (Kern, 1999)

Serpentes de tubería

Un intercambiador de este tipo es un tubo que se rola formando espiras helicoidales y que va sumergido en el líquido debido a su bajo costo y rápida construcción. Es ideal para ser usado en reactores (Rodríguez, 2009).

Figura 2.16 Serpentín helicoidal



Fuente: Adaptado de (Coker, 2001)

Calentador eléctrico de inmersión

Consiste en un haz de resistencias eléctricas tubulares en forma de U, soldadas a la brida. Los elementos de calentamiento pueden estar hechos de cobre, acero, acero inoxidable o aleaciones de níquel-cromo.

h) Tanques de Almacenamiento usados como reactor

Los depósitos son tanques de acero diseñados para contener o manejar líquidos, generalmente a presión atmosférica o interna relativamente baja. Esto los separa de los de la gama de recipientes a presión.

Por lo general, se construyó sobre una base de componentes como el acero al carbono o acero inoxidable. El material depende de las características del fluido.

- **Tipos de tanques de almacenamiento**

(Carhuancho, Espejo, & Valerio, 2010) sostuvo su división así:

Por su construcción:

- ✓ **Empernados:** Se construyó en plantas de fabricación donde su funcionamiento es temporal y se requiere su desmantelamiento, el cual debe ser un proceso sencillo.
- ✓ **Soldados:** Estos tanques tienen mayor capacidad de almacenamiento. Su principal ventaja es que las uniones de las chapas soldadas son permanentes, las cuales evitarán fugas.

Por su capacidad:

- ✓ **Cilíndricos horizontales:** Suelen tener un volumen relativamente bajo, debido a daños causados por corte y flexión. Se utilizan comúnmente para almacenamiento de pequeños volúmenes.
- ✓ **Cilíndricos verticales:** Estos permiten almacenar grandes volúmenes a un menor costo. Con la limitación de que solo se pueden utilizar a presiones atmosféricas o internas relativamente bajas.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Selección de material

El código API 650, Sección 2.2 establece que las planchas de acero que cumplan las especificaciones de ASTM son aceptables siempre que estén dentro de los límites especificados (American Petroleum Institute, 2013)

- ASTM A 36M/A 36 para planchas con un espesor máximo de 40 mm (1.5 pulg).
- ASTM A 283M/ A283, grado C, para planchas con un espesor máximo de 25 mm (1 pulg.)

Se realizó una comparación entre las normas ASTM 36 M/A 36 y la ASTM A 283M/ A283, grado C.

Figura 2.17 Tabla de composición química

Material	Composición química (%)					
	C	Mn	P	S	Si	Cu
A36	0,25	-	0,04	0,05	0,4	0,2
A283 Gr C	0,24	0,9	0,035	0,04	0,4	0,2

Fuente: ASTM A 36 & ASTM A 283 Gr C Vol. 01.04, Edition. 1998

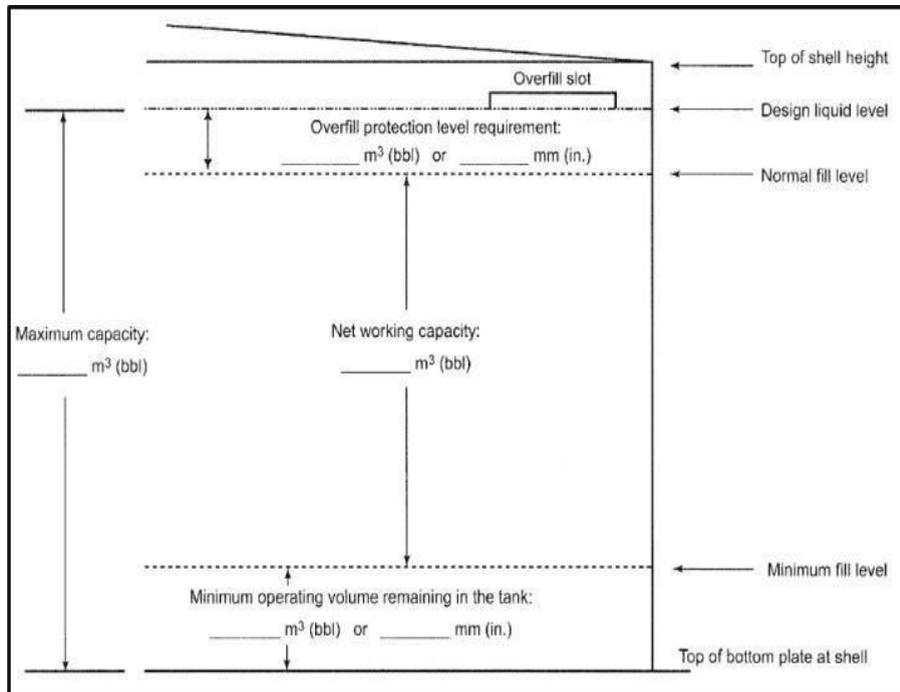
Conociendo el valor del carbono equivalente (CE) en base a las propiedades químicas de las planchas podremos saber la capacidad de la soldabilidad mediante la ecuación (2-1)

$$CE = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/4.....(2-1)$$

2.3.2. Diseño de forma y dimensionamiento del tanque

El estándar API 650 estableció dejar una distancia sobre el nivel normal de llenado (n.n.l) a donde se encuentra el nivel de líquido de diseño (n.l.d.). Esta diferencia se llama sobreprotección por llenado, tal como se muestra en la imagen

Figura 2.18 Volúmenes y niveles de tanques



Fuente: (American Petroleum Institute, 2013)

El estándar API 650 menciona que se debe dimensionar un 25% más de volumen para el sobrellenado y teniendo una medida de 0.5 metros del espejo del líquido hasta la parte superior del tanque. Además, se presentan las siguientes fórmulas necesarias para el dimensionamiento del tanque.

$$V_{co} = \pi \cdot r^2 \cdot h_{co} / 3 \quad (2-2)$$

$$V_{ci} = \pi \cdot r^2 \cdot h_{ci} \quad (2-3)$$

Donde:

V_{co} = Volumen del cono

V_{ci} = Volumen del cilindro

Hco= Altura del cono

Hci= Altura de cilindro

r= Radio del cilindro

2.3.3 Espesor de la pared

El estándar API 650 sección 5.6.1.1 indica que el espesor requerido de la pared será el mayor entre el espesor de diseño (td), incluyendo la tolerancia por corrosión, o el espesor de la prueba hidrostática (tt), pero el espesor de la pared no deberá ser inferior a lo siguiente:

- Para diámetros de menos de 15 m (50 ft), pero superior a 3.2 m (10.5 ft), el espesor nominal de la pared más delgada no deberá ser inferior a 6 mm (1/4 pulg). (American Petroleum Institute, 2013)
- El espesor seleccionado deberá ser el mayor entre el espesor calculado por prueba hidrostática y el espesor de diseño.

Ecuaciones:

$$td = 4,9D(H - 0,3)G/Sd + C.A \quad (2-4)$$

$$tt = 4,9D(H - 0.3)/St \quad (2-5)$$

Dónde

td = espesor de diseño en mm

tt = espesor de la prueba hidrostática en mm

D = diámetro nominal del tanque, en m

H = nivel de líquido de diseño, en m

G = gravedad específica del líquido

CA = tolerancia de corrosión, en mm

Sd = esfuerzo permisible de diseño, en MPa

St = esfuerzo permisible para la prueba hidrostática, en MPa

2.3.4. Fondo del tanque

Dado que el tanque debe tener un orificio de drenaje en la parte inferior, el tanque debe elevarse se diseñó con fondo cónico cuyo espesor deberá coincidir con el espesor del cilindro además de resistir la presión interna a la que será sometido. El código ASME nos indica la fórmula para espesores de pared con forma cónica ecuación (2-6).

$$t = P * D / 2 \cos \alpha (SE - 0,6P) \quad (2-6)$$

Donde

t= espesor en pul

D= diámetro en pul

S= esfuerzo máximo a la temperatura de diseño en psi

E= eficiencia de la soldadura

P= presión que será sometido el tanque psi

Finalmente se presentan las tablas a utilizar para el diseño del fondo del tanque y los tipos de juntas de cuerpos de tanque.

Figura 2.19 Tabla de calidad de material

Table 1A (Cont'd)
Section I; Section III, Classes 2 and 3;* Section VIII, Division 1; and Section XII
Maximum Allowable Stress Values, S, for Ferrous Materials
(*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line No.	Nominal Composition	Product Form	Spec. No.	Type/Grade	Alloy		Size/Thickness, in.	P-No.	Group No.
					Desig./ UNS No.	Class/ Condition/ Temper			
1	Carbon steel	Wld. pipe	SA-134	A283C	K02401	...	...	1	1
2	Carbon steel	Plate	SA-283	C	K02401	...	...	1	1
3	Carbon steel	Plate	SA-285	C	K02801	...	...	1	1
4	Carbon steel	Smls. & wld. pipe	SA-333	1	K03008	...	...	1	1
5	Carbon steel	Smls. & wld. tube	SA-334	1	K03008	...	...	1	1
6	Carbon steel	Wld. tube	SA-334	1	K03008	...	...	1	1
7	Carbon steel	Plate	SA-516	55	K01800	...	...	1	1
8	Carbon steel	Smls. pipe	SA-524	II	K02104	...	...	1	1
9	Carbon steel	Wld. pipe	SA-671	CA55	K02801	...	...	1	1
10	Carbon steel	Wld. pipe	SA-671	CE55	K02202	...	...	1	1
11	Carbon steel	Wld. pipe	SA-672	A55	K02801	...	...	1	1
12	Carbon steel	Wld. pipe	SA-672	B55	K02001	...	...	1	1
13	Carbon steel	Wld. pipe	SA-672	C55	K01800	...	...	1	1
14	Carbon steel	Wld. pipe	SA-672	E55	K02202	...	...	1	1
15	Carbon steel	Sheet	SA-414	C	K02503	...	...	1	1
16	Carbon steel	Plate	SA/EN 10028-3	P275NH	...	...	≤2 ¹ / ₄	1	1
17	Carbon steel	Bar	SA-36	...	K02600	...	...	1	1
18	Carbon steel	Plate, sheet	SA-36	...	K02600	...	...	1	1
19	Carbon steel	Plate, sheet	SA-662	A	K01701	...	...	1	1
20	Carbon steel	Plate, bar, shapes	SA/IS 2062	E250A	...	...	t > 1 ¹ / ₂	1	1
21	Carbon steel	Plate, bar, shapes	SA/IS 2062	E250B	...	...	t > 1 ¹ / ₂	1	1
22	Carbon steel	Plate, bar, shapes	SA/IS 2062	E250C	...	...	t > 1 ¹ / ₂	1	1
23	Carbon steel	Plate, bar, shapes	SA/IS 2062	E250A	...	...	³ / ₄ < t ≤ 1 ¹ / ₂	1	1
24	Carbon steel	Plate, bar, shapes	SA/IS 2062	E250B	...	...	³ / ₄ < t ≤ 1 ¹ / ₂	1	1
25	Carbon steel	Plate, bar, shapes	SA/IS 2062	E250C	...	...	³ / ₄ < t ≤ 1 ¹ / ₂	1	1
26	Carbon steel	Plate	SA/EN 10028-2	P265GH	...	...	≤2 ¹ / ₄	1	1
27	Carbon steel	Smls. tube	SA/EN 10216-2	P265GH	...	...	1 ⁵ / ₁₆ < t ≤ 2 ¹ / ₂	1	1

Fuente: codigo ASME

Figura 2.20 Tabla de calidad de material

Table 1A (Cont'd)
Section I; Section III, Classes 2 and 3;* Section VIII, Division 1; and Section XII
Maximum Allowable Stress Values, S, for Ferrous Materials
 (*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line No.	Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temperature, °F, Not Exceeding													
	100	150	200	250	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900
1	15.7	...	15.7	...	15.7	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2	15.7	15.7	15.7	...	15.7	15.7	15.7	15.3	14.8	...	...	...	...	...
3	15.7	15.7	15.7	...	15.7	15.7	15.7	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9
4	15.7	...	15.7	...	15.7	15.7	15.7	15.3	14.8	14.3	...	...	...	...
5	15.7	...	15.7	...	15.7	15.7	15.7	15.3	14.8	14.3	...	...	...	...
6	13.4	13.4	13.4	...	13.4	13.4	13.4	13.0	12.6	...	...	...	...	...
7	15.7	15.7	15.7	...	15.7	15.7	15.7	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9
8	15.7	15.7	15.7	...	15.7	15.7	15.7	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9
9	15.7	...	15.7	...	15.7	15.7	15.7	15.3	14.8	14.3	...	...	...	...
10	15.7	...	15.7	...	15.7	15.7	15.7	15.3	14.8	14.3	...	...	...	...
11	15.7	...	15.7	...	15.7	15.7	15.7	15.3	14.8	14.3	...	...	...	...
12	15.7	...	15.7	...	15.7	15.7	15.7	15.3	14.8	14.3	...	...	...	...
13	15.7	...	15.7	...	15.7	15.7	15.7	15.3	14.8	14.3	...	...	...	...
14	15.7	...	15.7	...	15.7	15.7	15.7	15.3	14.8	14.3	...	...	...	...
15	15.7	15.7	15.7	...	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.6	13.0	10.8	8.7	5.9
16	16.2	16.2	16.2	...	16.2	16.2	...	...	...	...	...	...	...	...
17	16.6	16.6	16.6	...	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	15.6	13.0	10.8	8.7	5.9
18	16.6	...	16.6	...	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	15.6	...	...	...	...
19	16.6	16.6	16.6	...	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	15.6	...	...	...	...
20	17.0	...	17.0	...	17.0	17.0	17.0	17.0	16.5	...	...	...	...	...
21	17.0	...	17.0	...	17.0	17.0	17.0	17.0	16.5	...	...	...	...	...
22	17.0	...	17.0	...	17.0	17.0	17.0	17.0	16.5	...	...	...	...	...
23	17.0	...	17.0	...	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	...	...	...	...	...
24	17.0	...	17.0	...	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	...	...	...	...	...
25	17.0	...	17.0	...	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	...	...	...	...	...
26	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	15.6	...	...	...	...
27	17.0	...	17.0	...	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	13.0	10.8	8.7	5.9

Fuente: codigo ASME

Figura 2.21 Típicas juntas verticales y horizontales para el cuerpo del tanque.

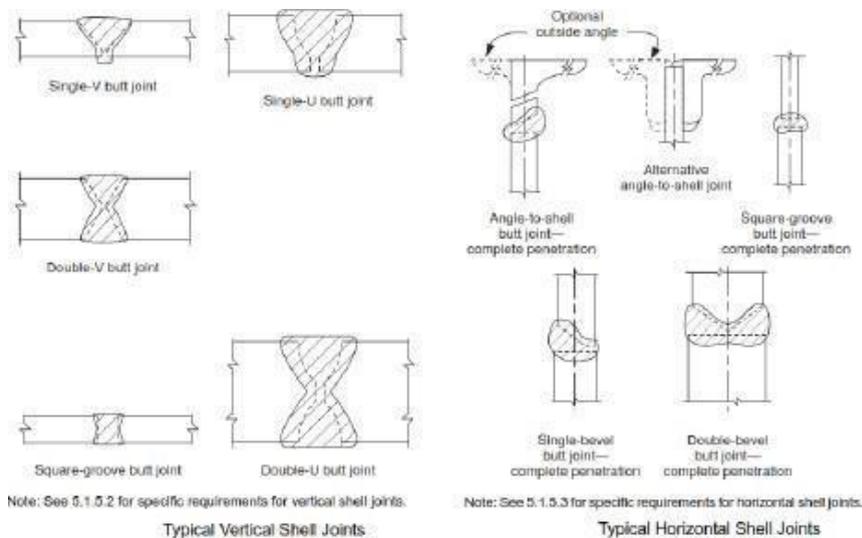
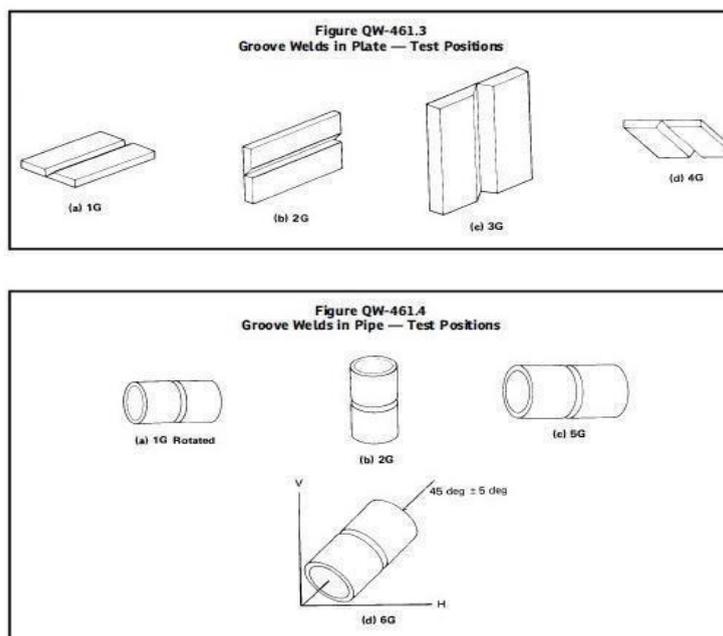


Figura 2.22 tipos de juntas



Fuente: Welding and brazing qualifications

2.3.5. Diseño del agitador

Con el tamaño del tanque determinado, podemos obtener un valor aproximado de los restantes componentes del agitador.

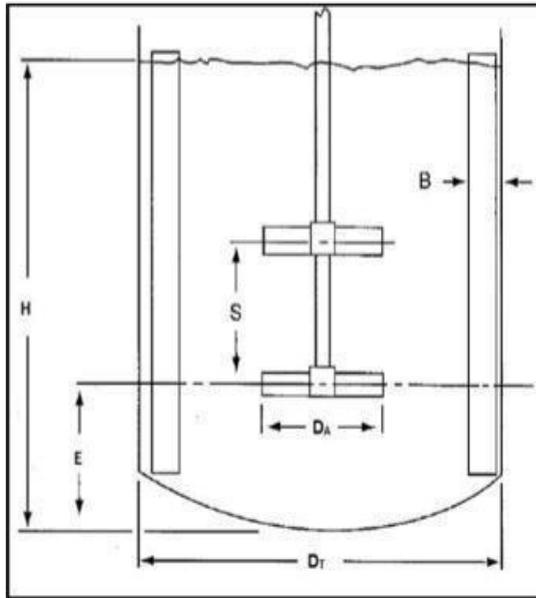
Con la disposición central del eje se debe contar con placas deflectoras para evitar la formación de vórtices en el fluido.

Una vez definido el tamaño del reactor, todavía existen un gran número de variables a considerar:

- Diámetro del reactor (D)
- Diámetro de las palas (D_a)
- Altura del fluido (H)
- Ancho y cantidad de las placas deflectoras (B)
- Distancia desde el fondo del estanque
- Impulsor (E)

Como una guía para el diseño se usará las semejanzas geométricas estandarizadas y obtener un valor aproximado de los restantes componentes del agitador, ver figura 2.23.

Figura 2.23 Variables dimensionales



Fuente: (Coker, 2001)

$$D_a / D_t = 4,5 \quad (2-7)$$

$$E / D_t = 3 \quad (2-8)$$

$$H / D_t = 1 \quad (2-9)$$

$$B / D_t = 1/12 \quad (2-10)$$

$$W / D_a = 1/8 \quad (2-11)$$

Donde

- S= altura del aspa, en [m]
- Dt=diámetro total del tanque, en [m]
- Da= longitud total del aspa, en [m]
- H = altura del fluido en el tanque, en [m]
- E = altura del agitador con respecto al fondo del tanque, en [m]
- B = Ancho del deflector [m]

Cálculo de potencia del agitador: para conocer la potencia que va a demandar el agitador debemos de conocer los números adimensionales que se relacionan por medio de gráficos

- **El número de Reynolds**, un coeficiente adimensional que determina el modo de fluido, capa, transitorio, turbulento. Experimentalmente se han determinado una serie de números de Reynolds para cada tipo de agitador. El número de Reynolds Re se define según (2-12)

$$Re = NiDi^2\rho/\mu \quad (2-12)$$

Donde

- Ni = velocidad del agitador, en [Hz]
- Di = diámetro del agitador, en [m]
- ρ = densidad del fluido agitado, en [kg/m³]
- μ = viscosidad dinámica del fluido, en [Pa.s]

Este valor define si el flujo del fluido es turbulento o de régimen laminar pasando entre ambos por una zona laminar, el cual queda definido así:

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

- **Número de potencia (Np):** el número de potencia es la relación existente del rozamiento que actúa sobre el área del impulsor y las fuerzas de inercia se define según la ecuación (2-13).

$$Np = \frac{P}{Ni^3 \cdot Da^5 \cdot \rho} \quad (2-13)$$

- P = potencia de agitación del impulsor (watts)
- Ni = velocidad de rotación [rps]

- D_a = diámetro del agitador [m]
- ρ = densidad del fluido [kg/m³]
- μ = viscosidad [Pa·s]

Consumo de potencia del agitador: la potencia consumida es el producto de la energía cinética del fluido y del flujo generado por el impulsor. En los casos de números de Reynolds mayores a 10000, el número de potencia N_p se independiza del número de Reynolds y la viscosidad no influye; por lo tanto, la ecuación en este caso queda de la siguiente manera:

$$P = K_T \cdot N_i^3 \cdot D_a^5 \cdot \rho \quad (2-14)$$

- P = potencia de agitación del impulsor (watts)
- N_i = velocidad de rotación [rps]
- D_a = diámetro del agitador [m]
- ρ = densidad del fluido [kg/m³]

Tabla 2.1 Constantes K_L y K_T para el cálculo de potencia

Tipo de impulsor	K_L	K_T
Hélice de paso cuadrado , tres palas	41,0	0,32
Hélice paso de 2 , tres palas	43,5	1,00
Turbina, seis palas planas	71,0	6,30
Turbina, seis palas curvas	70,0	4,80
Turbina de ventilador , seis palas	70,0	1,65
Turbina dos palas planas	36,5	1,70
Turbina cerrada , seis palas curvas	07,2	1,08

Fuente: (Coker, 2001)

Cálculo de la potencia del motor

La potencia requerida del motor eléctrico debe tener en cuenta la eficiencia de sus elementos (η). Su ecuación se define de la siguiente manera.

$$P_m = P/\eta \quad (2-15)$$

Donde

- P_m = potencia del motor
- P = potencia requerida por el agitador
- η = eficiencia

Cálculo del eje de transmisión

La ecuación para el diámetro del eje sujeto a un momento constante y flexión son completamente reversibles (Norton, 2013). Las ecuaciones son las siguientes.

$$d = \left[\frac{16\sqrt{3}N_f}{\pi} \left(\frac{T_m}{S_y} \right) \right]^{\frac{1}{3}} \quad (2-16)$$

$$T_m = P/\omega \quad (2-17)$$

Donde

- N_f : Factor de seguridad
- P : Potencia consumida por el agitador
- ω : Velocidad angular
- T_m : Torque medio
- S_y : Resistencia a la fluencia del material

Se uso un acero para la transmisión mecánica calidad SAE 1018, ya que posee las características deseables como son ser fuerte, resistente, dúctil, maleable y completamente soldable y moldeable con una resistencia a la fluencia de 304 Mpa. Además, se usará un factor de seguridad de tres.

Tasa de circulación interna

La tasa de circulación interna (Q), es la cantidad de flujo perpendicular al área de descarga del impulsor.

$$Q = Nq \cdot Ni \cdot Da^3 \quad (2-18)$$

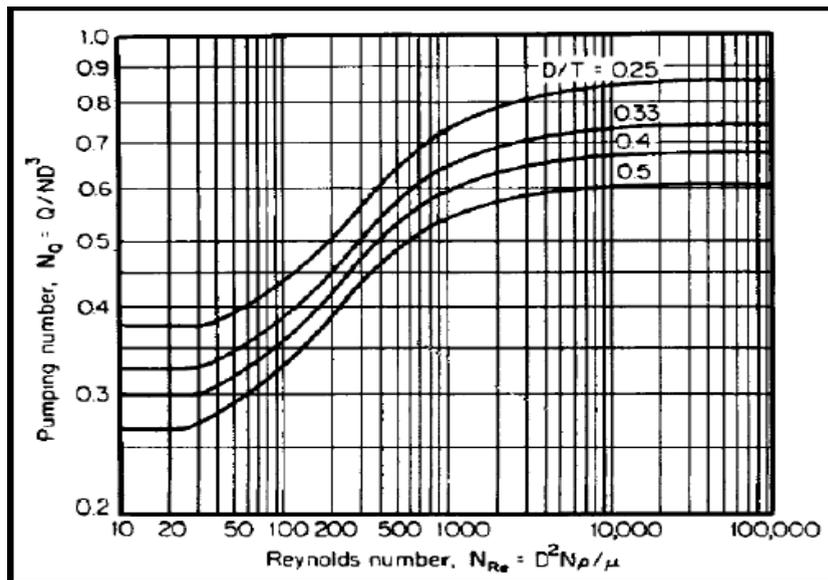
Donde

- Q = tasa de circulación interna

- N_q = número de bomba
- N_i = velocidad de rotación [rps]
- D_a = diámetro del agitador [m]

El valor del número de bomba para agitadores tipo palas planas se ha obtenido experimentalmente. La siguiente figura representa el N_q vs Re para distintas relaciones D_a/D_T .

Figura 2.24: Número de bomba vs número de Reynolds



Fuente: (Walas, 1990)

Cálculo del tiempo de mezclado

La tasa de circulación interna (Q) y el número de revoluciones determinan el tiempo de mezcla. El número de revoluciones para lograr una uniformidad de 95° depende de la viscosidad del líquido, el número de vueltas se indica en la tabla para lograr una uniformidad de 95° .

Tabla 2.2 mezclado de homogeneidad

Viscosidad (cP)	< 100	100 – 1000	1000 – 5000	> 5000
Número de rotaciones para 95% de homogeneidad	3	10	50	> 100

Fuente: Paul, atiamo-Obeng y Kresta, 2004.

La ecuación (2-19) nos indicará el tiempo para alcanzar el 95% de homogeneidad.

$$t_{95} = \frac{n \cdot V}{Q} \quad (2-19)$$

Donde

- N= Número de rotaciones para alcanzar 95% de homogeneidad
- V= Volumen nominal del tanque
- Q= Tasa de circulación interna

Calidad del mezclado

La velocidad lineal superficial-la tasa volumétrica de circulación interna por unidad de sección transversal del tanque-es adoptada como una medida de la calidad del mezclado (Walas, 1990). La Tabla 2.3 relaciona esta velocidad con el rendimiento de la mezcla de líquidos. La ecuación para la velocidad lineal es la siguiente.

$$V_{li} = Q/A_t \quad (2-20)$$

Donde:

- V_{li} = La velocidad lineal superficial
- A= Sección transversal del tanque
- Q= Tasa de circulación interna

Tabla 2.3 Desempeño del mezclador según la velocidad lineal superficial

pie/s	Descripción
0.1 – 0.2	<p>Bajo grado de agitación; una velocidad de 0.2 pie/s:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) mezclará líquidos miscibles a la uniformidad cuando la diferencia de gravedad específica es menor a 0.1 b) mezclará líquidos miscibles a la uniformidad si la relación de viscosidades es menor a 100 c) establecerá movimiento del líquido a través del recipiente d) producirá una superficie plana, pero en movimiento
0.3 – 0.6	<p>Agitación moderada. Característica de la mayoría de la agitación utilizada en el procesamiento químico; una velocidad de 0.6 pie/s:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) mezclará líquidos miscibles a la uniformidad cuando la diferencia de gravedad específica es menor a 0.6 b) mezclará líquidos miscibles a la uniformidad si la relación de viscosidades es menor a 10,000 c) suspenderá s trazas de sólido (menos del 2%) con velocidades de sedimentación de 2 - 4 pies/min. d) Producirá una superficie ondulante a bajas viscosidades.
0.7 – 1.0	<p>Alto grado de agitación; una velocidad de 1.0 pie/s:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) mezclará líquidos miscibles a la uniformidad cuando la diferencia de gravedad específica es menor a 1.0 b) mezclará líquidos miscibles a la uniformidad si la relación de viscosidades es menor a 100,000 c) suspenderá s trazas de sólido (menos del 2%) con velocidades de sedimentación de 4 - 6 pies/min. d) Producirá una superficie ondulada a bajas viscosidades.

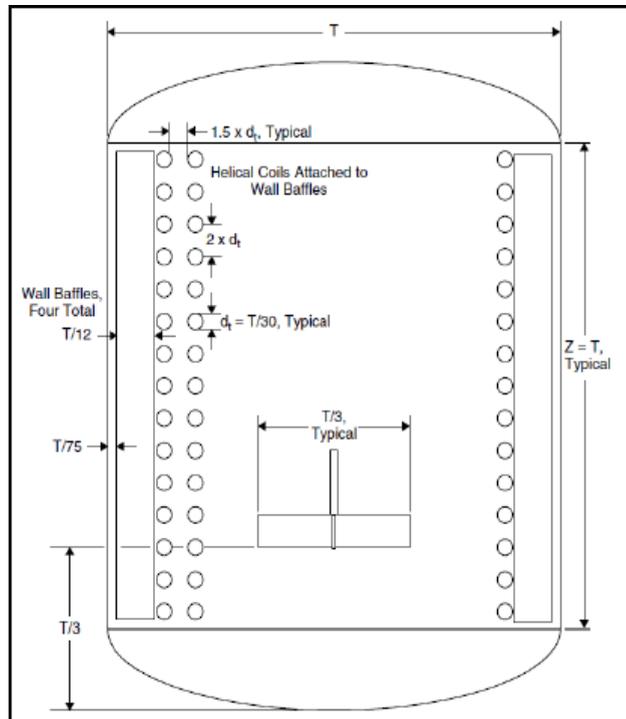
Fuente: (Walas,1990)

2.3.6. Diseño del Sistema de Calentamiento

El aceite crudo de soja y el álcali ingresan al tanque de mezcla a 25 °C y deben calentarse a 80 °C en 30 minutos. Es necesario calcular el caudal de vapor para proporcionar el calor necesario para llevar a cabo este proceso. Se diseñará para un volumen de aceite contenido de 10,87 metros cúbicos. El fluido caloportador (vapor) ingresa al intercambiador a 80 psi, y sale como líquido saturado.

La figura muestra la configuración estandarizada de un reactor con intercambiador de calor sumergido.

Figura 2.24 Configuración estándar de un serpentín helicoidal en un tanque agitado

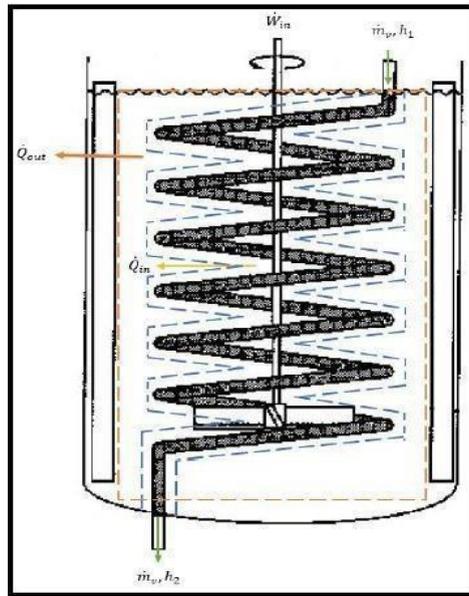


Fuente: (Paul, Atiemo-Obeng y Kresta 2004)

Para los cálculos realizados, con la finalidad de hacerlos más precisos, se tomarán las siguientes suposiciones: en primer lugar, el coeficiente global de transferencia de calor (U) se mantiene constante a lo largo del proceso ; en segundo lugar, los cambios de energía cinética y potencial son despreciables; en tercer lugar, las pérdidas de calor son despreciables, pues se aísla térmicamente al reactor; finalmente, el calor específico de los fluidos permanece constantes a una temperatura promedio.

Por lo tanto, para un análisis termodinámico, se determinó una masa de control que incluía solo el aceite a procesar y un volumen de control que solo incluía el serpentín de vapor, a partir del cual se estableció su balance de energía. En la figura 2.28 se puede ver los volúmenes de control:

Figura 2.28 Masa y volumen de control



Fuente:(Coke, 2001)

Se aplicó la primera ley de la termodinámica con el fin de hacer un balance de energía para el volumen de control del aceite a calentar.

$$\dot{Q}_{in} = \frac{\dot{m} \cdot C_p (T_f - T_i)}{t} - W_{in} \quad (2-21)$$

También se aplicó la primera ley para hacer el balance de energía al serpentín de vapor resultando la ecuación (22)

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_v (h_g - h_f) \quad (2-22)$$

Donde

\dot{Q}_{in}	Calor entregado por el serpentín /recibido por el aceite (Watts)
W_{in}	Trabajo entregado por el agitador (Watts)
m	Masa del aceite en el reactor (Kg)
T_f	Temperatura final del aceite[°C]
T_i	Temperatura inicial del aceite[°C]
t	Tiempo de calentamiento en segundos (seg)
C_p	Calor específico del aceite Kj / Kg.C
h_g	Entalpía específica del vapor saturado Kj/Kg
h_f	Entalpía específica del líquido saturado
\dot{m}_v	Flujo másico del vapor en el serpentín (Kg/seg)

Desarrollando la ecuación (2-21) con los datos de entrada y el trabajo del agitador obtenemos el flujo de calor para calentar la masa de aceite reemplazando este valor en la ecuación (2-22) y despejando $m\dot{v}$ obtenemos una aproximación del flujo másico de vapor. La ecuación resultante es la siguiente.

$$m\dot{v} = \frac{Q_{in}}{h_{fg}} \quad (2-23)$$

Conocido el flujo másico de vapor se dimensionará el tamaño del serpentín que aporta la energía calórica del flujo másico de vapor un paso para el dimensionamiento es conocer la temperatura media logarítmica de los fluidos que intervienen en el proceso de transferencia de calor y el coeficiente de transferencia global del sistema que se calculan con las siguientes ecuaciones.

$$LMTD = \frac{T_f - T_i}{\ln\left(\frac{T_{sat} - T_i}{T_{sat} - T_f}\right)} \quad (2-24)$$

$$Q = U \cdot A \cdot LMTD \quad (2-25)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{ac}} + \frac{1}{h_v}} \quad (2-26)$$

Donde

- U : coeficiente de transferencia de calor global del sistema, en $[W/m^2°C]$
- A : área del intercambiador de calor, en $[m^2]$
- Ln : media logarítmica de temperatura entre el fluido frío y caliente, en $[°C]$
- T_{sat} : temperatura de saturación del vapor a la presión de trabajo, en $[°C]$
- T_f : temperatura final del aceite, en $[°C]$
- T_i : temperatura inicial del aceite, en $[°C]$
- h_{ac} : coeficiente de convección del aceite, en $[W /m^2°C]$
- h_v : coeficiente de convección del vapor, en $[W /m^2°C]$

Para determinar el coeficiente de convección h_v se usará la correlación de Shah por ser una correlación cuya desviación media sólo alcanza los 17% en comparación a las otras correlaciones más conocidas para flujos bifásicos además de los números de Reynolds (Re) y Nusselt (Un) hallaremos la velocidad de vapor en la tubería con la ecuación (2-27), (2-28), (2-29) y (2-30).

Figura 2.29 Correlaciones usadas para flujo bifásico

Correlación	Aplicación	Desviación media
Chen-Cooper	Tubos verticales	22.40%
Kandlikar	Tubos verticales y horizontales	46.00%
Shah	Tubos verticales y horizontales	17.30%

Fuente: (Shah, 2005)

$$V = \frac{m}{P_{vapor} \cdot A_{cir.transversal_{tub}}} \dots\dots\dots (2-27)$$

$$N_{Re} = \frac{V \cdot \phi_{int_{tub}}}{\nu} \dots\dots\dots (2-28)$$

$$Nu = \frac{h \cdot \phi_{int_{tub}}}{k} = 0,023 \cdot N_{Re}^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \dots\dots\dots (2-29)$$

$$H_v = h \left(0.55 + \frac{2.9}{Pr^{0.38}} \right) \dots\dots\dots (2-30)$$

Donde

- velocidad del fluido, en [ms]
- flujo másico, en [kgs]
- área interna transversal de la tubería, en [m²]
- Diámetro interno de la tubería, en [m]

- μ = viscosidad cinemática del fluido, en [m² /s]
- coeficiente de conductividad térmica del fluido, en [W/m K]

Para determinar el coeficiente de convección forzada del aceite hace en tanques agitados con serpentín de calentamiento y deflectores se usará la correlación (2-31).

$$\frac{h_{conv_{agit}} \cdot D_t}{k} = 0,87 \cdot \left(\frac{\rho \cdot N_i \cdot D_i^2}{\mu} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{C_p \cdot \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{\frac{1}{4}} \quad \dots(2-31)$$

Donde

- D_t = diámetro del tanque en metros
- K = Factor de conductividad térmica del aceite [W mc]
- calor específico del aceite, en [J /kg°k]
- densidad del fluido agitado, en [kg/m³]
- velocidad del agitador, en [1/s]
- viscosidad dinámica del fluido, en [Pa.s]
- viscosidad dinámica a temperatura ambiente, en [kg/m .s]
- viscosidad dinámica a la temperatura de trabajo, en [kg/m .s]

Con los datos ya procesados y despejando de la ecuación (2-25) hallamos el área de transferencia:

$$A = Q/U.LMTD \dots\dots\dots (2-32)$$

La longitud de la tubería se obtiene de la siguiente ecuación:

$$L = A / \text{perímetro del tubo} \dots\dots\dots(2-33)$$

Conociendo la longitud de la tubería se determinará los parámetros restantes del serpentín.

2.3.7. Cálculo del aislante térmico

Se realizó con la finalidad de hacer una comparación entre el calor cedido al ambiente cuando el reactor está con y sin aislante. Se procede a calcular la transferencia de calor como vemos en la siguiente ecuación.

Calor transmitido al ambiente en el reactor sin aislar se calcula con la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = \frac{2\pi L(T_1 - T_{amb})}{\frac{2}{h_i D_t} + \frac{\ln(D_{ex}/D_t)}{k_t} + \frac{2}{h_e D_{ext}}} \quad (2-34)$$

El cálculo del coeficiente convectivo del exterior al reactor sigue el siguiente procedimiento.

En primer lugar, se calcula el número de Grashof.

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_{amb})L^3}{\nu^2} \quad (2-35)$$

Luego se determina el incremento de la temperatura de película entre la superficie del reactor y del ambiente.

$$Tp = \frac{T_f - T_{amb}}{2} \quad (2-36)$$

Después se calcula el número de Rayleigh.

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (2-37)$$

Una vez determinado el número de Rayleigh, mediante la ecuación (2-31) se obtiene el número de Nusselt. Luego se despeja el coeficiente de convección natural alrededor del reactor con la siguiente ecuación.

$$h_e = \frac{\text{NuKaire}}{L_{cil}} \quad (2-38)$$

Calor Q se transmite al ambiente en el reactor aislado.

$$Q = \frac{2\pi L(T_1 - T_{amb})}{\frac{2}{h_i D_t} + \frac{ex}{k_t} + \frac{a}{K_a} + \frac{c}{K_c} + \frac{2}{h_e D_{ext}}} \quad (2-39)$$

Reemplazando los datos obtenidos en la ecuación desde la ecuación (2-35) hasta la (2-39), se obtiene el calor cedido al ambiente con un reactor aislado térmicamente. Ver la siguiente ecuación.

$$T_{ex} = \frac{\dot{Q}}{h_e D_c \pi L} + T_{amb} \quad (2-40)$$

24 Definición de términos básicos

- **Análisis modal:** Este es un método para encontrar frecuencias y modos de vibración del objeto a analizar. Se puede encontrar usando FEM o experimentando.
- **Ángulo de presión:** Es el ángulo formado entre una tangente a la sección del diente y una línea radial en el engranaje que interseca el diámetro de paso.
- **Calor específico** El calor específico es la cantidad de calor que hay que aplicar a una unidad de masa para aumentar su temperatura en un grado
- **Carburación:** Carburación o también conocido como cementación es el proceso por el cual la capa superficial de la pieza se enriquece en carbono para que el núcleo sea blando y maleable. Se utiliza para endurecer las piezas de acero con bajo contenido de carbono

- CAM (Fabricación Asistida por Computadora): Son los programas que se utilizan para la fabricación, especialmente el mecanizado CNC. Esto usa el patrón de Programas CAD para la creación de líneas de mecanizado.
- CAD (Diseño Asistido por Computadora): Son programas de computadora. Ayudan en el diseño de estructuras o piezas mecánicas. Estas partes se pueden visualizar e incluso utilizar para la simulación de preproducción.
- El coeficiente de película, el coeficiente pelicular generalmente expresado como h , cuantifica la influencia de las propiedades del fluido, la superficie y el flujo cuando sucede la transferencia de calor por convección.
- Densidad relativa: Se entiende por densidad relativa la comparación de la densidad de una sustancia con otra. Por lo general, para los sólidos, su densidad se compara con la del agua. Bajo ciertas condiciones (4°C , 1 atm).
- Diámetro del Paso: El diámetro de paso es el diámetro característico para calcular aspectos geométricos en ruedas dentadas generadas a partir del producto del módulo y el número de dientes.
- Eficiencia: Es la magnitud en la cual un elemento mecánica entrega su máximo rendimiento.
- Entalpía La entalpía es el calor que un sistema termodinámico libera o absorbe de su entorno cuando se encuentra a presión constante
- Fuerzas de contacto (S_c): Son las fuerzas que aparecen cuando dos Los cuerpos están en contacto constante de manera puntual o en línea de acción
- Esfuerzo de flexión (S_t): El esfuerzo de flexión es el que aparece cuando se aplica una fuerza perpendicular al diente del engranaje a lo largo del eje longitudinal
- Factor de seguridad: Este es un valor adimensional utilizado para asegurar el diseño contra condiciones inciertas. Si el valor es mayor que 1, entonces el diseño es correcto. Cuanto mayor sea este valor, mayor será la seguridad, pero lo encarece, por lo que los diseñadores se basan en Su experiencia lo que lo determinará y le dará el equilibrio adecuado
- Factor de Servicio: Es un valor adimensional considerando la posibilidad cambios de carga, vibraciones, choques, cambios de velocidad, picos de

carga, etc Cuantifica las condiciones específicas de trabajo de máquina y aportar valor añadido al objeto analizado

- FEM (método de elementos finitos): Este es un método matemático que descompone un modelo en partes y a cada parte se le aplica ecuación diferencial relacionado con la física. Este método está diseñado para ser utilizado por una computadora y está estrechamente relacionado con los programas CAD
- Módulos (Engranajes): Los módulos se definen como relaciones entre diámetro de paso expresado en milímetros y el número de dientes del engranaje. Este número nos da las características del tamaño de los dientes y parámetros de fabricación
- Perfil de Referencia: Está conformado por cuatro parámetros los cuales son: el addendum, la holgura y el radio del fondo. Estos determinan la altura del diente.
- Precarga: Es la fuerza que existe entre dos piezas acopladas por una conexión atornillada. Esto es importante porque la junta puede estar demasiado floja o apretada.
- Relación de contacto: Es un número adimensional que indica la cantidad promedio de dientes engranados en un momento dado. a más valor, la transmisión será más suave.
- Torque: El par se puede definir como la medida de una fuerza que se debe aplicar al objeto para rotarlo alrededor de un eje la potencia producida por el par es proporcional a la velocidad de rotación del eje de accionamiento. El par se expresa en Newton metros (N.m).
- Torque de apriete: Este es el par necesario para que el montaje atornillado funciona bien. Si se ajusta con valores elevados puede hacer que el tornillo se rompa al exceder su límite elástico.
- Tratamiento térmico: Son procesos donde un elemento de la maquinaria está sujeta a condiciones de temperatura y presión. A veces interfieren otros factores químicos o físicos. El objetivo es dotar al elemento de mejores propiedades mecánicas.
- Vapor Fase gaseosa en la que se transforma una sustancia, normalmente líquida, y se produce a una temperatura cercana al punto de ebullición

- **Potencia mecánica:** es la cantidad de trabajo realizado durante un período de tiempo. La potencia mecánica es transmitida por un elemento generador como un motor con mecanismo de control por contacto.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

Hipótesis general

Si se realiza un buen diseño de un reactor neutralizador, se incrementa la capacidad de producción de aceite neutralizado de 3 a 10 toneladas.

Hipótesis específicas

- **HE1:** Si determinamos de manera correcta los parámetros de diseño del reactor neutralizador, conseguiremos el incremento de la capacidad de la producción de aceite neutralizado a 10 toneladas.
- **HE2:** Si realizamos de manera correcta la selección de los materiales para el diseño del reactor neutralizador, incrementaremos la capacidad de producción a 10 toneladas.
- **HE3:** Si realizamos de manera correcta la selección de los equipos para el diseño del reactor neutralizador, se obtendrá el incremento de la capacidad de producción a 10 toneladas.

3.1.1. Operacionalización de variable

- **Variable independiente (VI):**

Como (VI) tenemos al “DISEÑO DE UN REACTOR NEUTRALIZADOR”

Definición: con el diseño de un reactor neutralizado se busca un sistema integrado, de agitación y de calentamiento indirecto, cuya utilidad en la industria oleaginosa radica en disminuir los ácidos grasos libres con una base fuerte (soda cáustica), y separar el producto saponificado (jabón) por medio de la sedimentación por gravedad.

- **Variable dependiente (VD)**

Como (VD) tenemos el “incremento de la capacidad de la producción de aceite neutralizado de 3 a 10 ton”

Definición: El incremento de producción se debe a la alta demanda por parte de la población, ya que viene a ser un producto de primera necesidad, por lo que la empresa se ve con la urgencia de incrementar su producción.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICA	
INDEPENDIENTE "DISEÑO DE UN REACTOR NEUTRALIZADOR"	Según Bern (2014) El diseño se entiende como el desarrollo de una estructura o un sistema que sea portador de características deseadas y que logra básicamente por la transformación de información sobre condiciones, necesidades, demandas que pueden incluir no solo los deseos del cliente si no también requisitos de vida, esto es de todos los estados intermedios por los que pasa el producto.	El reactor neutralizado es un sistema integrado, de agitación y de calentamiento indirecto. Que se usa en la industria oleaginoso que tiene como finalidad disminuir los ácidos grasos libres en el aceite de crudo de soya	Selección de parámetros exactos de diseño	capacidad de reactor	M3	Técnica documental: Esta técnica permite la recopilación de evidencias para mostrar la hipótesis de investigación, Ciro Espinoza (2014), dicho es podemos recopilar información tales como: -Planos -Fichas técnicas -Cálculos de memoria	
				Volumen de la base cónica	M3		
				Volumen del cuerpo cilíndrico	M3		
				Altura del aceite	m		
				Altura del cilindro	m		
				Altura del cono	m		
			Selección del sistema de calentamiento	Presión del vapor	psi		Técnica empírica: Esta técnica permite la observación en contacto directo con el objetivo de estudio, donde permita confrontar la teoría con la práctica en busca de la verdad Ciro Espinoza (2014), dicho esto podemos recopilar información mediante la observación entrevista.
				Entalpia de vapor saturado	KJ/kg		
				Flujo másico de vapor	Kg/h		
			Implementación del sistema de agitación	Densidad	Kg/m3		
				Densidad del fluido	GR		
				Temperatura	°C		
Presión de operación	bar						
DEPENDIENTE "INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN DE ACEITE NEUTRALIZADO"	El incremento de producción se debe a la alta demanda ya que viene a ser un producto de primera necesidad la empresa se ve con la necesidad de incrementar su producción para generar ganancias a corto plazo	Análisis de incremento de capacidad	Costos generales	soles			
			Costos por fabricación	soles			
			Tiempo de trabajo	Proceso de neutralizado	horas		
				Operarios	soles		

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1. Diseño metodológico

Tipo de investigación:

Espinoza (2014), La investigación tecnológica tiene como propósito aplicar el conocimiento científico para solucionar diferentes problemas que beneficien a la sociedad. Es de tipo “tecnológica”, porque nos guiamos de los conocimientos técnicos adquiridos en la etapa de estudios específicos.

Espinoza (2014), De nivel aplicada, porque tiene como propósito aplicar los resultados de la investigación experimental para diseñar tecnología de aplicación inmediata en la solución de los problemas de la sociedad, buscando eficiencias y productividad. Es de nivel “aplicada”, por haber revisados varios parámetros de diseño con el fin de seleccionar equipos y materiales para el incremento de la producción de aceite refinado de soya.

Diseño de investigación:

En este estudio, se ha tomado el diseño no experimental, pues se van a examinar los efectos que posee una variable independiente sobre otra dependiente. En tal caso, este tipo de diseño se caracteriza por no ser manipulable, pues se busca replicar resultados obtenidos de investigaciones previas.

4.2. Método de investigación

Espinoza (2014), Esta investigación se rige por el método sistémico, el cual consiste en la determinación de los elementos de investigación, sus relaciones y límites, con la finalidad de determinar su estructura y su dinámica de funcionamiento.

4.3. Población y muestra

En el presente trabajo se tiene como nivel de investigación aplicativo, donde podemos diseñar e innovar. Donde podemos decir que la muestra es igual a que población.

Carrasco Díaz S. (2006). “La población es el conjunto de todos los elementos que pertenecen al ámbito espacial donde se desarrolla el trabajo de investigación”

4.4. Lugar de estudio

La zona de estudio es la planta de la corporación Belsen ubicada en el distrito de Lurigancho-Chosica.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

Técnica documental:

Espinoza (2014), Esta técnica permite la recopilación de evidencias para mostrar la hipótesis de investigación, dicho esto podemos recopilar información tales como:

- Planos
- Fichas técnicas
- Memoria de cálculo
- Software de diseño

Técnica empírica:

Espinoza (2014), Esta técnica permite la observación en contacto directo con el objetivo de estudio, donde permita confrontar la teoría con la práctica en busca de la verdad, dicho esto podemos recopilar información mediante la observación entrevista.

4.6. Análisis y procesamiento de datos

4.6.1 Selección de material tanque neutralizador

Utilizando la fórmula y tabla presente en la sección 2.3.1 de la presente tesis, se determina el porcentaje de carbono para los siguientes materiales.

ASTM A283, grado C

$$CE = 0.24 + 0.4/24 + 0.9/6 = 0.406\%$$

ASTM A36:

$$CE = 0.25 + 0.4/24 = 0.266\%$$

Como observamos el carbono equivalente es mayor en la plancha ASTM A283, grado C , lo que produce que la soldabilidad sea más difícil, en comparación con la plancha ASTM A36.

Figura 4.1 Comparando las capacidades mecánicas dadas en tablas.

Material	Yield Strength ksi (Mpa)	Tensile Strength ksi (Mpa)	Elongation 8 inch	Elongation 2 inch
A 36	36 (250)	58-80 (400-550)	20	23
A 283 Gr C	30 (205)	55-75 (380-515)	22	25

Fuente: ASTM A 36, ASTM A 283 Gr. C Vol. 01.04.1998

Ambos materiales son acero al carbono de composición química similar. Del mismo modo, desde el punto de vista de la resistencia a la corrosión, ambos funcionan de la misma manera. La plancha A36 tiene una tensión permitida de 10 a 16%., el cual es un porcentaje mayor que el de la plancha A 283 Gr C, lo cual se produce como un espesor más delgado.

Por lo mencionado previamente, se decidió utilizar acero ASTM A 36 como material para las placas que componen el cuerpo del tanque.

4.6.2 Diseño de forma y dimensionamiento del tanque

Por consideraciones de espacio en la planta de producción se consideró la relación altura/diámetro de 1.1 para niveles de carga de aceite.

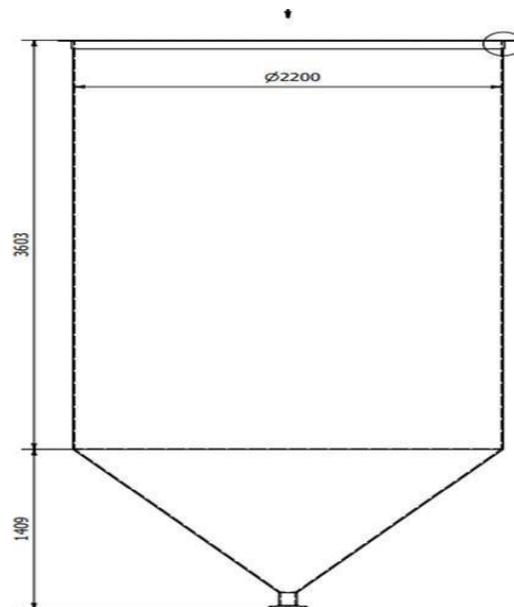
Como dato inicial contamos con una capacidad de aceite a neutralizar que es de 10 toneladas.

Para realizar los cálculos y teniendo como parámetro el volumen final, se diseñará el reactor neutralizador con los datos de entrada como masa de aceite a procesar de 10 toneladas con una densidad de 920 kg / m³, lo que nos da un volumen de 10,86 m³ a

este volumen se le calcula un 25% más por sobrellenado. Se obtiene como resultado $2,715 \text{ m}^3$ y un adicional de 0.5 metros de distancia al techo, lo que equivale a $1,9 \text{ m}^3$, obteniendo un volumen total de $15,44 \text{ m}^3$. El diseño óptimo para proceso de neutralizado obtuvo un tanque con fondo cónico con un ángulo medio de 38 grados y una altura de 1.4 metros con un volumen aproximado de 1.8 m^3 (volumen requerido para decantación de los productos saponificados), además este diseño lo convierte en un reactor autolimpiable

Por lo tanto, aplicando la ecuación (2-2) obtendremos un diámetro del cilindro de 2,2 metros, una altura del cilindro de 3.6 metros y una altura del fondo cónico de 1.4 metros

Figura 4.2 Diseño geométrico de reactor



Fuente: Elaboración propia

4.6.3 Espesor de pared:

Para determinar el espesor de pared se utilizan las dimensiones obtenidas previamente y los esfuerzos de la siguiente tabla:

Figura 4.3 Esfuerzos permisibles

Material	Límite elástico mínimo MPa	Resistencia a la tracción MPa	Esfuerzo de diseño (Sd) MPa	Esfuerzo de la prueba hidrostática (St) MPa
A 36M	250	400	160	171

Fuente: American Petroleum Institute, 2013

Datos de entrada:

- Diámetro: 2.2m
- Altura: 3.6m
- Esfuerzo de diseño: 160 MPa
- Esfuerzo de prueba hidrostática: 171 Mpa

La tolerancia a la corrosión usada será de 1,5 mm. Reemplazando los datos de entrada en las fórmulas (2-4) y (2-5) se obtuvieron como resultados:

- $t_d = 1,7$ mm
- $t_t = 0.2$ mm

Como el estándar API no permite espesores menores a 6mm. Por lo tanto, se utiliza un espesor de 6mm.

4.6.4. Fondo del tanque

Utilizando las gráficas de la sección 2.3.4, se obtienen los siguientes valores para los datos de entrada.

- t = espesor en pul
- D = diámetro en pul (86,6)
- S = esfuerzo máximo a la temperatura de diseño en psi (16600)
- E = eficiencia de la soldadura (0.7)
- P = presión que será sometido el tanque psi (14) (presión ambiente)

Reemplazando valores en la ecuación (2-6) se obtiene:

$t = 0,066$ pul (1,68 mm)

- Este espesor de plancha no puede ser menor al usado en el cuerpo cilíndrico por lo cual se optará por usar la misma medida de 6 mm

- La soldadura del cuerpo como la del cono del tanque deben ser de penetración y fusión completa como se detalla en la figura para este caso se optó por un bisel en V simple por la facilidad en el soldeo que será en posición 5G.

4.6.5. Cálculo del agitador

Datos de entrada:

- $\rho_{acei} = 920 \frac{KG}{m^3}$ densidad del aceite
- $\mu = 0,0292 Pa.s$ viscosidad dinámica del aceite
- $T_i = 25^\circ C$ temperatura inicial del aceite
- $T_f = 80^\circ C$ temperatura final del aceite
- $D = 2200 mm$ diámetro del reactor
- $H_{relleno} = 3800 mm$
- $V_{relleno} = 10,86 m^3$
- $N_i = 1,167 rps$
- $D_a = 0,9 metros$

Se realiza el cálculo del número de Reynolds con la siguiente ecuación (2-12).

- $Re = NiDi^2\rho/\mu$

Reemplazando datos:

- $Re = 1,167 \times 0,9^2 \times 920 / 0,0292$

$Re = 29782$

Lo que el número de Reynolds nos da a conocer es que el régimen es turbulento, por lo que el cálculo del consumo de potencia se calcula con la ecuación (2-14).

- $P = Kt.N_i^3 D_a^5 \rho$

Donde el coeficiente Kt, se obtiene de la tabla para turbina de dos palas planas reemplazando valores

- $P = 1,7 \times 1,167^3 \times 0,9^5 \times 920$

Se obtiene una potencia de 1467.78 watts. Al tener el diseño cuatro turbinas en paralelo la potencia es $P = 5871$ watts. Reemplazando en la formula (2-15).

- $P_m = \frac{P}{n}$

Donde n es la eficiencia del motor:

- $P_m = \frac{5871}{0,8}$

- $P_m = 7338,9 \text{ watts}$

Por lo que se utiliza un motor de 10 HP.

En el cálculo de la transmisión se utilizan las ecuaciones (2-16) y (2-17).

- $T_m = \frac{P}{\omega}$

Donde $\omega = 7,332 \text{ rad /s}$

Reemplazando:

- $T_m = \frac{5871}{7,332}$

- $T_m = 800,68 \text{ N.m}$

Con los datos obtenidos se reemplaza en la siguiente fórmula.

- $\phi = \left[\frac{16\sqrt{3}N_f}{\pi} \left(\frac{T}{S_y} \right)^{1/3} \right] \quad (4-1)$

- $\phi = \left[\frac{16\sqrt{3} \times 3}{\pi} \left(\frac{800,68}{304} \right)^{1/3} \right]$

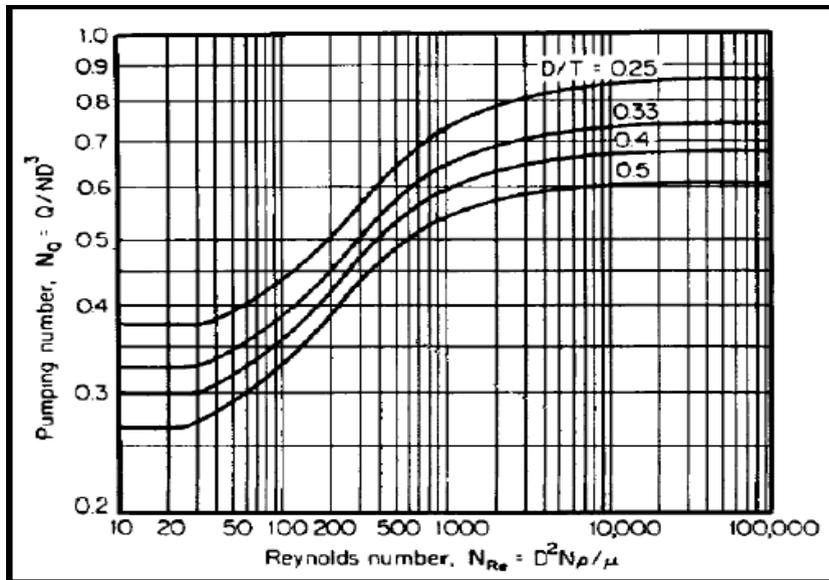
Se obtiene como resultado un $\phi = 41,14 \text{ mm}$, por lo que se selecciona una barra de calidad SAE1018 de 2" de diámetro.

Utilizando la ecuación (2-18) para determinar la tasa de circulación interna del flujo (Q)

$$Q = N_q N_i D a^3 \quad (4-2)$$

donde el valor de N_q se obtiene de la gráfica con la correlación $Da / D = 0,4$, interceptando con el número de Reynolds 29782,47, se obtiene un $N_q = 0,67$

Figura 4.4 Tabla de Reynolds



Reemplazando los datos en la ecuación (2-18).

$$Q = 0,67 \times 1,167 \times 0,9^3$$

Entonces la tasa de circulación interna es $Q = 0,5699 \text{ m}^3/\text{s}$

Para calcular el tiempo de mezclado en función de la tasa de circulación y el número de revoluciones, se extrae de la siguiente tabla un número de rotaciones de 3 porque la viscosidad se encuentra por debajo de los 100 cP.

Figura 4.5 Tabla de viscosidad cp

Viscosidad (cP)	< 100	100 – 1000	1000 – 5000	> 5000
Número de rotaciones para 95% de homogeneidad	3	10	50	> 100

Reemplazando en la ecuación (2-19)

$$T_{95} = \frac{nV}{Q}$$

$$T_{95} = \frac{3 \times 10,86}{0,5699}$$

$$T_{95} = 57,167 \text{ segundos}$$

Para saber la calidad de mezclado se utiliza la ecuación (2-20)

$$V_{li} = \frac{Q}{A_t}$$

Donde A_t es el área transversal del reactor que es igual a $3,8 \text{ m}^2$

Reemplazando datos:

$$V_{li} = \frac{0,5699}{3,8}$$

$V_{li} = 0,1499 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ equivalente a $0,4917$ pies/seg y según la tabla 2.26 muestra una agitación moderada.

4.6.6. Cálculo del serpentín

Datos de entrada:

- $T_i = 25^\circ\text{C}$ temperatura de ingreso del aceite al reactor
- $T_f = 80^\circ\text{C}$ temperatura final del aceite en el reactor
- $t = 30$ minutos tiempo de calentamiento
- $\text{Vol} = 10,87 \text{ m}^3$ volumen del aceite que ingresa al reactor
- $\dot{m} = 10000 \text{ kg}$ masa del aceite
- $C_p = 0,458 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$ calor específico del aceite
- $\rho = 920 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ densidad del aceite
- $\mu_{ac} = 0,0292 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ viscosidad dinámica del aceite
- $K_{ac} = 0,17 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^\circ\text{C}}$ conductividad térmica del aceite
- $T_{sat} = 162,16^\circ\text{C}$ temperatura de saturación del vapor a 80 psi de presión
- $h_g = 2074,79 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ entalpia del vapor
- $\rho_{vapor} = 3,256 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ densidad del vapor
- $K_{agu} = 0,68 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^\circ\text{C}}$ conductividad térmica del agua
- $K_{vapor} = 0,00331 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^\circ\text{C}}$ conductividad térmica del vapor
- $\mu_{vapo} = 1,434 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$ viscosidad dinámica del vapor
- $Pr_{vapor} = 1,05$ número de Prandtl

- $\gamma_{vapo} = 4,404176 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$ viscosidad cinemática del vapor
- $W_{in} = 5871$ watts trabajo entregado por el agitador

Cálculo de calor entregado al aceite reemplazando los datos de entrada en la ecuación (2-21) se obtiene:

- $Q_{ln} = \frac{m \cdot Cp \cdot (T_f - T_i)}{t} - W_{ln}$
- $Q_{ln} = \frac{10000 \times 0,458 \cdot (80 - 25)}{0,5} - 5871$

El calor ingresado al aceite es

- $Q_{ln} = 580048$ watts

Cálculo del flujo másico del vapor reemplazando los datos de entrada en la ecuación (2-23) se obtiene:

- $\dot{m}_v = \frac{Q_{in}}{h_{fg}}$
- $\dot{m}_v = \frac{580048}{2074,79}$

Se obtiene el flujo másico:

$$\dot{m}_v = 0,28 \frac{Kg}{s}$$

Calculando la temperatura media logarítmica de la ecuación (2-24).

$$LMTD = \frac{T_f - T_i}{Ln \left(\frac{T_{sat} - T_i}{T_{sat} - T_f} \right)}$$

Reemplazando las temperaturas inicial y final del aceite y la temperatura de saturación del vapor para 80 psi.

$$LMTD = \frac{80 - 25}{Ln \left(\frac{162,16 - 25}{162,16 - 80} \right)}$$

Se obtiene una temperatura media logarítmica de 107°C

Continuando con el cálculo del área de transferencia de calor con la ecuación (2-25).

- $Q = U \cdot A \cdot LMTD$

Despejando el área:

- $A = \frac{Q}{U \cdot LMTD}$ (4-3)

De la ecuación anterior se debe obtener el coeficiente global de transferencia de calor con la siguiente ecuación, pero antes calculamos los coeficientes convectivos del aceite y vapor

- $U = \frac{1}{\frac{1}{h_{ac}} + \frac{1}{h}}$ (4-4)

Para el cálculo se seleccionó tubería cedula 40 de 2 pulgadas de diámetro cuyo diámetro interior D_{tubo} es igual a 0,0508 metros y un área transversal A_{tub} de $2,03 \times 10^{-3} m^2$.

Se procedió primero calculando la velocidad del vapor en la tubería con la siguiente ecuación (2-26)

- $V = \frac{\dot{m}_v}{\rho_{vapor} \cdot A_{tub}}$

- $V = \frac{0,28}{3,256 \times 2,03 \times 10^{-3}}$

Resultando una velocidad del vapor de $42,4 \frac{m}{s}$

Calculando el número de Reynolds con la ecuación (2-28).

- $N_{Re} = \frac{V \cdot D_{tub}}{\gamma}$

Reemplazando datos:

- $N_{Re} = \frac{42,4 \times 0,0508}{4,4041769 \times 10^{-6}}$

Se obtiene un número de Reynolds de 489293,6.

Con la correlación de Shah más usada para flujos bifásicos ecuación (2-29).

- $Nu = \frac{h \cdot D_{tubo}}{K_{agua}} = 0,023 \cdot \frac{N_{Re}^{0,8} \cdot Pr^{0,4}}{Re}$

Reemplazando en la ecuación.

- $$Nu = \frac{h \cdot D_{tubo}}{K_{agua}} = 0,023 \times 489293,6^{0,81} \cdot 1,05^{0,4}$$

Se obtiene el número de Nusselt $Nu = 835,33$ reemplazando.

- $$Nu = \frac{h \cdot D_{tubo}}{K_{agua}} = 835,33$$
 despejando el coeficiente convectivo para flujo bifásico h
- $$h = \frac{835,33 \times 0,68}{0,0508} = 11181 \frac{W}{m^2K}$$

El factor de corrección para flujos bifásicos según Shah se calcula el coeficiente convectivo del vapor h_v con la ecuación (2-30).

- $$h_v = h \left(0,55 + \frac{2,09}{Pr^{0,32}} \right)$$
- $$h_v = 11181 \left(0,55 + \frac{2,09}{1,05^{0,32}} \right)$$
- $$h_v = 29157 \frac{W}{m^2K}$$

Calculando el coeficiente convectivo del lado del aceite h_{ac} usando las siguientes correlaciones ecuación (2-31).

- $$Nu = \frac{h_{agitacion} \cdot D_{tubo}}{K_{aceite}} = 0,87 \cdot \frac{N^{0,66}}{Re} \cdot Pr^{0,33}$$

Primero se procede a calcular el número de Prandtl. Cabe mencionar que el número de Reynolds ya se calculó para el sistema de agitación cuyo valor es $Re = 29782$.

- $$Pr = \frac{c_p \cdot \mu_{ac}}{K_{ac}}$$
- $$Pr = \frac{1917 \times 0,0292}{0,17}$$

El número de Prandtl $Pr = 329$

Reemplazando:

- $$Nu = \frac{h_{agitacion} \cdot D_{tubo}}{K_{aceite}} = 0,87 \times 29782^{0,66} \cdot 329^{0,33}$$

Nu = 7626 con el valor encontrado se despeja y se reemplaza en la ecuación:

- $h_{agitaci} = \frac{Nu K_{aceite}}{D_{tubo}}$
- $h_{agitaci} = \frac{7626 \times 0,17}{0,0508}$

Entonces el coeficiente de transferencia convectivo del lado del aceite $h_{agitacion}$ se simplifica de la siguiente manera:

- $589 \frac{W}{m^2K}$

Con los valores hallados de los coeficientes $h_{agitacion} = 589 \frac{W}{m^2K}$ y $h_v = 29157 \frac{W}{m^2K}$

Calculamos el coeficiente global de transferencia de calor U en la siguiente fórmula:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{ac}} + \frac{1}{h_v}}$$

Reemplazando:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{589} + \frac{1}{29157}}$$

Operando da como resultado $U = 577 \frac{W}{m^2K}$ y reemplazando en la ecuación (2-32)

calculamos el área de transferencia.

- $A = \frac{Q_{in}}{U.LMTD}$
- $A = \frac{580048}{577 \times 107}$

Calculando resulta $A = 9,38 m^2$, luego se determina la cantidad de tubería a usar por fórmula:

- $L = \frac{A}{\pi D_{tubo}}$

$$L = \frac{9,38}{\pi \cdot 0,0508} = 58 \text{ metros lo que equivale a 10 tubos de 2" de diámetro cedula 40}$$

de longitud estándar de 6 metros.

4.6.7. Cálculo del aislante térmico

Datos de entrada:

- e_t = espesor del reactor 6 mm
- e_a = espesor del aislante 50 mm
- e_c = espesor de la chapa en este caso aluminio 0,5 mm
- $T_{amb} = 20^\circ\text{C}$ temperatura ambiente
- $T_f = 80^\circ\text{C}$ temperatura final del aceite en el reactor
- $K_{acer} = 50,2 \frac{W}{m.K}$ conductividad térmica del acero al carbono
- $K_{alumin} = 205 \frac{W}{m.K}$ conductividad térmica del aluminio
- $K_{aislant} = 0,032 \frac{W}{m.K}$ conductividad térmica del aislante (lana de roca mineral)
- $L_c = 3,8$ metros longitud del cilindro del reactor
- $D_{ex} = 2,2$ metros diámetro exterior del reactor sin aislante
- $D_t = 2,188$ metros diámetro interior del reactor
- h_{ext} = coeficiente convectivo del exterior del reactor
- $h_{agitacion} = 589 \frac{W}{m^2.K}$ coeficiente convectivo del fluido al interior del reactor

Calor que se perdería sin aislante térmico se calcula con la ecuación (2-34)

$$Q = \frac{2\pi L_c (T_1 - T_{amb})}{\frac{2}{h_{agitacion} D_t} + \frac{\ln(D_{ex}/D_t)}{k_t} + \frac{2}{h_{ext} D_{ext}}}$$

Procedemos a calcular el h_{ext} coeficiente convectivo del exterior del reactor utilizando la siguiente correlación del número de Nusselt

$$Nu = \left\{ 0,85 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{1/4}]^{1/4}} \right\}^2$$

$$h_{ext} = \frac{Nu K_{aire}}{L_c}$$

Pero antes se debe obtener el número de Rayleigh (Ra) que es igual a número de Grashof multiplicado por el número de Prandtl, el cual se resume en la siguiente ecuación.

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_{amb})L_c^3}{\nu^2}$$

Donde

- $K_{aire} = 0,02588 \frac{W}{m \cdot K}$ conductividad térmica del aire
- $\nu_{air} = 2,16 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$ viscosidad cinemática del aire
- $\beta = 0,0032987 \frac{1}{K}$ coeficiente de expansión volumétrica del aire
- $Pr = 0,72$ número de Prandtl del aire
- $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$ aceleración de la gravedad
- $T_s = 80^\circ C$ temperatura superficial del casco del reactor

Reemplazar datos en la ecuación de Grashof

$$Gr = \frac{9,81 \times 0,0032987 (80 - 20) 3,8^3}{2,16 \times 10^{-5}}$$

Resultando $Gr = 2,2835 \times 10^{11}$

Para calcular el número de Rayleigh se multiplican los números de Gr y Pr.

$$Ra = Gr \times Pr$$

Reemplazando

- $Ra = 2,2835 \times 10^{11} \times 0,72$
- $Ra = 1,644 \times 10^{11}$

Con los datos calculados, se reemplazan los valores en el número de Nusselt.

$$Nu = \left\{ 0,85 + \frac{0,387 \cdot 1,644 \times 10^{11}^{1/6}}{0,492 + \frac{9}{16} \left[\frac{1}{0,72} \right]^{1/4}} \right\}^2$$

Resultando $Nu = 603$ reemplazando en:

- $h_{ext} = \frac{Nu K_{aire}}{L_c}$
- $h_{ext} = \frac{603 \times 0,02588}{3,8}$

Resultando

$$h_{ext} = 4,11 \frac{W}{m^2 K}$$

Remplazando valores en la ecuación (39)

$$\bullet Q' = \frac{2\pi \cdot 3,8(80-20)}{\frac{2}{589 \times 2,188} + \frac{\ln(2,2/2,188)}{50,2} + \frac{2}{4,11 \times 2,2}}$$

Se obtiene el calor cedido al ambiente $Q' = 6425 \text{ watts}$

Ahora se procede a calcular el calor cedido al ambiente, pero con el reactor aislado térmicamente con la ecuación (2-39).

$$\bullet Q' = \frac{2\pi L(T_1 - T_{amb})}{\frac{2}{h_{agi} D_t} + \frac{\ln(D_{ex}/D_t)}{k_t} + \frac{\ln(D_a/D_{ex})}{K_a} + \frac{\ln(D_c/D_a)}{K_c} + \frac{2}{h_{ext} D_c}}$$

Donde

$$\bullet Q' = \frac{2\pi \cdot 3,8(80-20)}{\frac{2}{589 \times 2,2} + \frac{\ln(2,2/2,188)}{50,2} + \frac{\ln(2,3/2,2)}{0,032} + \frac{\ln(2,301/2,3)}{205} + \frac{2}{4,11 \times 2,301}}$$

Resultando un calor cedido al ambiente $Q' = 895 \text{ watts}$, donde se observa un ahorro de energía de 5529 watts.

Calculando la temperatura exterior del reactor con la siguiente ecuación (2-40)

$$\bullet T_c = \frac{Q'}{h_e \cdot \pi \cdot L \cdot D_c} + T_{amb}$$

$$\bullet T_c = \frac{895}{4,11 \pi \cdot 3,8 \times 2,301} + 20$$

Se obtiene la temperatura exterior del reactor de $T_c = 28^\circ C$

4.7. Aspectos éticos en la Investigación

La tesis presentada cumple respetuosamente con el citado de cada una de las teorías y figuras que se presentan, así como las definiciones y metodologías. Cabe resaltar que los resultados obtenidos son totalmente propios, libres de plagio. En tal sentido, lo que se busca con este trabajo es poder generar beneficios, en distintos niveles: ambiental, económico, social, lo cual coincide con la ética profesional del ingeniero.

V. RESULTADOS

Una vez realizado el procesamiento de datos se obtuvieron los siguientes resultados:

5.1. Diseño del tanque

- Material utilizado: Plancha de acero al carbono ASTM A36
- Espesor: 6mm
- Diámetro del reactor: 2.2m
- Altura del cilindro: 3.6m
- Altura del fondo cónico: 1.4m
- Angulo medio del cono: 38 grados
- Capacidad: 15.44 m³

5.2. Diseño del agitador

- Potencia del motor: 10 HP
- Eje de transmisión: Barra de 2" de diámetro calidad SAE 1018
- 4 turbinas de dos palas planas colocadas en paralelo con diámetro de 0.9m
- Instalación de 4 baffles de 12cm de ancho por 2.6m de altura

5.3. Diseño del intercambiador de calor

- El calor cedido por el intercambiador de calor es 580.048 KW
- El consumo de vapor es 1008 kg/h
- El serpentín se realizó de tubo cedula 40 norma A53 de 2" de diámetro con una longitud total de 58m lineales y un área de transferencia de calor de 9.38m²

5.4. Diseño del aislante térmico

- Se optó por el uso de lana de roca mineral como aislante térmico de 50 mm de espesor y un forro exterior de lámina de aluminio de 0.5mm de espesor.
- Se obtiene un ahorro de energía 5530 Watts y una temperatura de superficie de reactor de 28 °C.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.

Hipótesis general:

Si se realiza un buen diseño de un reactor neutralizador, se incrementa la capacidad de producción de aceite neutralizado de 3 a 10 toneladas.

- Para el diseño correcto del reactor neutralizador se analizaron varios aspectos como son: la funcionabilidad, la vida útil, la eficiencia, así como también la interacción con el usuario, así como también la norma API 650 y código ASME sección VIII. En el presente trabajo de investigación se realizó en base los conocimientos de los conceptos, especificaciones, fichas técnicas adecuadas optando como resultado.

Un diseño de tanque cilíndrico vertical con fondo cónico capaz de eliminar los ácidos grasos libres presentes de forma acuosa del proceso de neutralizado como jabón y decantados por gravedad para su acopio.

Hipótesis específica:

HE1: Si determinamos de manera correcta los parámetros de diseño del reactor neutralizador, conseguiremos el incremento de la capacidad de la producción de aceite neutralizado a 10 toneladas.

- Para determinar la manera correcta los criterios de diseño del reactor neutralizador se utilizaron parámetros de diseño probados anteriormente en un sistema similares como son: temperatura de neutralización, tiempo de calentamiento, velocidad de agitación, así como también datos recogidos de la empresa tales como la presión de vapor en las líneas de acometidas, voltaje, potencia eléctrica, espacio disponible y la capacidad de neutralización.
- Con estos parámetros de diseño y realizando los cálculos probamos que el reactor va a tener una capacidad de neutralización de 10 toneladas.

HE2: Si realizamos de manera correcta la selección de los materiales para el diseño del reactor neutralizador, incrementaremos la capacidad de producción a 10 toneladas.

- Para seleccionar de manera correcta los materiales del reactor neutralizador de 10 toneladas se usaron las siguientes especificaciones de material del código ASME sección II y realizando los cálculos seguidos en el código ASME sección VIII división I.
- Seleccionamos la plancha A36 para el cuerpo y fondo del reactor y para el intercambiador de calor se seleccionó acero SA53-sch 40.

HE3: Si realizamos de manera correcta la selección de los equipos para el diseño del reactor neutralizador, se obtendrá el incremento de la capacidad de producción a 10 toneladas.

- Al seleccionar de manera correcta los equipos se obtendrá un mejor performance los equipos seleccionados:
- El motor de potencia 10 Hp y una velocidad requerida de 70 rpm cumpliendo las normas de fabricación industrial I.E.C.
- Turbina de hojas planas cuyo diseño es versátil y simple se utiliza para
- viscosidad hasta de 110 cent poise.
- Se determina el diámetro del eje de 2" el cual asegura la rigidez y resistencia necesaria para cuando este transmiten potencia y se generen cargas combinadas.

6.2 Situación original:

El reactor original de la corporación Belsen poseía una capacidad de producción de 4.3 ton por lote, lo cual en total al día producía 30 ton de aceite neutralizado de soja. Además, el sistema de transferencia de calor era ineficiente porque no calentaba en el tiempo deseado de 30 min, sino en 50 min. Finalmente, el producto de la neutralización como jabón (borra) no era evacuado debido al fondo toriesferico. Estas deficiencias causaban que la refinería no opere al 100% de su capacidad instalada.

6.3 Situación con incorporación de un neutralizador:

Tras haber implementado el neutralizador con fondo cónico de mayor volumen se resolvieron los problemas de la refinería. En primer lugar, la capacidad de producción de la planta se incrementó de 30 ton a 70 ton de aceite neutralizado por día. Además, el tiempo de calentamiento del producto es de 30 min, lo cual cumple con los requerimientos para no formar cuellos de botella en la cadena productiva. Gracias a estas medidas está operando cerca de la máxima capacidad productiva de la refinería.

VII. CONCLUSIONES

- Se redujo el tiempo de calentamiento y se mejoró el proceso de homogenización logrando una mayor y más rápida sedimentación por gravedad de los ácidos grasos libres en forma de jabón soluble en agua, que luego es escurrido fácilmente, gracias al diseño cónico del fondo de reactor neutralizador. Adicionalmente, se mejoró el proceso en la cadena de producción, pues se va a utilizar el 100% de la capacidad instalada en la planta. Por lo tanto, se concluye que la incorporación de un reactor neutralizador bien diseñado, aumenta la producción de la planta de 30 a 70 toneladas.
- El material seleccionado para el diseño del neutralizador es el ASTM A36, el cual, según lo explicado en el acápite 4.3.1, es de mayor facilidad de soldabilidad y cumple con los requisitos que demanda tanto el código ASME sección II como el código API 650. Por lo tanto, se puede concluir que la selección de materiales en el diseño es adecuada.
- Los parámetros utilizados fueron seleccionados en base a una investigación de manuales y códigos de diseño internacionales, asimismo se consideraron los requerimientos del ingeniero de producción de la corporación Belsen con el fin de obtener un diseño seguro y acorde a la productividad deseada de la empresa. Por tal motivo, se concluye que los parámetros empleados en el diseño del neutralizador son los correctos.
- En base a los resultados, se puede observar que el aislante térmico seleccionado, permite un ahorro de energía de 5530 Watts, y brinda una temperatura de superficie del reactor de 28 °C, la cual no es peligrosa. Por otro lado, gracias a la longitud de serpentín calculada y el agitador empleado, permiten el calentamiento y la homogenización del producto en un lapso de 30 min, el cual es un requerimiento imprescindible del ingeniero de planta. En conclusión, los equipos incorporados aumentan la productividad y seguridad de la planta.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Rodríguez, J. A. (2009). Introducción a la Termodinámica con algunas Aplicaciones de Ingeniería. Obtenido de <http://www.radiadoresgallardo.cl/topintercambiaodres.pdf>

Coker, A. K. (2001). Modeling of Chemical Kinetics and Reactor Design. Houston, Texas: Gulf Publishing Company

Kern, D. Q. (1999). Procesos de Transferencia de Calor. México: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V

CARHUANCHO, RONALD, ESPEJO, JONATHAN, & VALERIO, MOISES. Cálculo y diseño de tanques de almacenamiento de petróleo según la norma API 650 [Diapositivas de PowerPoint].

<https://es.scribd.com/doc/92524493/C-ilculo-y-Dise-o-de-Tanques-para-Almacenamiento-de-Petroleo-seg-n-API-650>. 15 de Septiembre de 2010.

GARCÍA, José Isidro. *Fundamentos del diseño mecánico*. Universidad del Valle, 2004.

CARBONELL, DIEGO. Clasificación de proyectos de productos [Diapositivas de PowerPoint]. Colombia. Obtenido de <https://es.slideshare.net/dfcarbonell/clasificacion-de-proyectos-deproductos>. 15 de Marzo de 2015.

BERN, JAIRO. Diseño conceptual de productos asistido por ordenador : Un estudio analítico sobre aplicaciones y definición de la estructura básica de un nuevo programa. Tesis doctoral. Universidad Tecnológica de Cataluña, Barcelona. 2014.

Carmi, J. (2009). Agitación en la Industria. Obtenido de <http://descom.jmc.utfsm.cl/jcarmi/procesos2/documentos/apuntes/procesosII%20%20pdf/04%20agitacion%20y%20disolucion.pdf>

COLLAHUAZO, MARÍA, & MALDONADO, NATY. Agitación en Fluidos Newtonianos [Diapositivas de PowerPoint].

Obtenido de <https://es.slideshare.net/MaryCollahuazo/fenomenos-agitacion>. 22 de Septiembre de 2012

MCCABE, WARREN, & SMITH, JULIAN. Operaciones básicas de ingeniería química. Barcelona: Editorial Reverté S.A. Cuarta edición. 2011

METSO MINERALS. Basics in Minerals Processing [Conocimientos básicos en el procesamiento de minerales]. Obtenido de Metso Minerals Web site:

http://www.metso.com/globalassets/saleshub/documents---episerver/handbook-basics-in-minerals-processing_en.pdf. 2011.

R. Bates, P. Fondy y R. Corpstein, «Examination of some geometric parameters of impeller power,» I&EC PROCESS DESIGN AND DEVELOPMENT, vol. 2, nº 4, pp. 310-314, 1963.

CASTILLO, VLADIMIR. Diseño y Cálculo de un Agitador de Fluidos. Seminario de Titulación. Universidad del Bío Bío, Bío Bío. 2013.

.ASME. (2019). ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII: Rules for Construction of Pressure Vessels. New York, NY.

American Petroleum Institute. (2013). API 650. Welded Tanks for Oil Storage. Washington, D.C., Estados Unidos.

IX. ANEXOS

ANEXO A: DISEÑO DE UN REACTOR NEUTRALIZADOR PARA INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE ACEITE NEUTRALIZADO DE 3 A 10 TON EN LA PLANTA DE CORPORACIÓN BELSA LURIGANCHO-CHOSICA 2022

Planteamiento del Problema			Variables e Hipótesis		Técnicas e Instrumentos de Recopilación de Datos	Diseño Metodológico
Realidad Problemática	Formulación Del Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables		
<p>Motivo por el cual nuestro proyecto de tesis diseñara un nuevo reactor neutralizador de 10 toneladas de capacidad de neutralización esto con el fin de reemplazar el reactor neutralizador existente dado q este reactor presenta problemas de intercambio de calor, deficiente agitación de los productos, y una mala sedimentación por gravedad producto de un diseño ineficiente.</p>	<p>Problema General</p> <p>¿Cómo diseñar un reactor neutralizador para incrementar la capacidad de producción de aceite neutralizado 3 a 10 toneladas?</p> <p>Problemas Específicos</p> <p>PE1: ¿Cómo determinar los parámetros de diseño del reactor neutralizador para el incremento de la capacidad de producción de aceite neutralizado a 10 toneladas?</p> <p>PE2: ¿Cómo seleccionar los materiales para el diseño del reactor neutralizador para el incremento de la capacidad de producción de aceite neutralizado a 10 toneladas?</p> <p>PE3: ¿Cómo diseñar los equipos del reactor neutralizador para el incremento de la capacidad de producción de aceite neutralizado a de 10 toneladas?</p>	<p>Objetivos General</p> <p>Diseñar un reactor neutralizador para incrementar la capacidad de producción de aceite neutralizado 3 a 10 toneladas.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>OE1: Determinar los parámetros de diseño del reactor neutralizador para el incremento de aceite neutralizado a 10 toneladas.</p> <p>OE2: Seleccionar los materiales para el diseño del reactor neutralizador para el incremento de aceite neutralizado a 10 toneladas.</p> <p>OE3: diseñar los equipos para el reactor neutralizador para el incremento de la producción de aceite neutralizado a 10 toneladas.</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>Si se diseñó de manera correcta el reactor neutralizador se incrementará la capacidad de producción de aceite neutralizado de 3 a 10 toneladas.</p> <p>Hipótesis específico</p> <p>HE1: Se determinó de manera correcta los parámetros de diseño del reactor neutralizador y se consiguió el incremento de la capacidad de la producción de aceite neutralizado, a 10 toneladas</p> <p>HE2: Se realizó de manera correcta la selección de los materiales para el diseño del reactor neutralizador y se incrementó la capacidad de producción a 10 toneladas</p> <p>HE3: Se diseñó de manera correcta los equipos para el reactor neutralizador y se obtuvo el incremento de la capacidad de producción a 10 toneladas</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>“DISEÑO DE UN REACTOR NEUTRALIZADOR”</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>“INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE ACEITE NEUTRALIZADO DE 3 A 10 TON”</p>	<p>Técnica documental: Esta técnica permite la recopilación de evidencias para mostrar la hipótesis de investigación. Ciro Espinoza (2014), dicho es podemos recopilar información tales como: -Planos -Fichas técnicas -Cálculos de memoria -Manuales -Normas de diseño</p> <p>Técnica empírica: Espinoza (2014), Esta técnica permite la observación en contacto directo con el objetivo de estudio, donde permita confrontar la teoría con la practica en busca de la verdad, dicho esto podemos recopilar información mediante la observación entrevista.</p>	<p>Tipo de investigación:</p> <p>Aplicada Aplicar los resultados de investigación para dar solución a los problemas.</p> <p>Diseño de investigación:</p> <p>No experimental es difícil manipular las variables o asignar aleatoriamente a los sujetos.</p> <p>Método de investigación:</p> <p>Método sistémico Consiste en la determinación de los elementos de investigación, sus relaciones y límites.</p>

ANEXO B: MODELAMIENTO DE REACTOR NEUTRALIZADOR

REPORTE DE ANÁLISIS DE ESFUERZO

Se analizará los esfuerzos originados por las cargas en servicio en el reactor Neutralizador mediante el Análisis por elementos Finitos, teniendo en cuenta solo las partes principales involucradas.

METRADO DE CARGAS Y PRESIONES

El peso de los componentes que conforman el neutralizador serán asumidos por el programa.

C1: SERPENTIN - 448 KG (4394.88 N)

DENSIDAD DE FLUIDO: 920 KG/M3

VOLUMEN: 10.87 M3

PESO FLUIDO - 10000 KG

C3: MOTOR 10HP (PESO PROPIO) - 60 KG

P1: $P_{h_FONDO} = 0.033420316$ Mpa

P2: $P_{h_LATERAL} = 0.016710158$ Mpa

INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Analyzed File:	REACTOR_NEUTRALIZADOR
Autodesk Inventor Version:	2021
Study Author:	GRUPO M&D

PROPIEDADES FISICAS

Mass	3150 kg
Área	118466088.656 mm ²
Volumen	400575791.348 mm ³
Center of Gravity	x=-1.013 mm y=299.300 mm z=4.008 mm

CONFIGURACIÓN DEL MALLADO

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0.1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0.2
Grading Factor	1.5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	Yes
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

MATERIAL

Name	Steel ASTM A36	
General	Mass Density	7.85 g/cm ³
	Yield Strength	248.225 MPa
	Ultimate Tensile Strength	399.9 MPa
	Young's Modulus	199.959 GPa
Stress	Poisson's Ratio	0.3 ul
	Shear Modulus	76.9073 GPa
Part Name(s)	TANQUE_NEUTRALIZADOR.ipt TAPA DE TANQUE_NEUTRALIZADOR.ipt TAPA_NEUTRALIZADOR.ipt SOPORTE DE TANQUE_NEUTRALIZADOR.ipt SOPORTE DE TANQUE_NEUTRALIZADOR.ipt SOPORTE DE TANQUE_NEUTRALIZADOR.ipt SOPORTE DE TANQUE_NEUTRALIZADOR.ipt CANAL SOPORTE_NEUTRALIZADOR.ipt CANAL SOPORTE_NEUTRALIZADOR.ipt CANAL SOPORTE_NEUTRALIZADOR.ipt CANAL SOPORTE_NEUTRALIZADOR.ipt TANQUE DE SOPORTE DE AJITADOR.ipt ANSI C 4 x 5.4 00000001.ipt ANSI C 4 x 5.4 00000002.ipt ANSI C 4 x 5.4 00000003.ipt ANSI C 4 x 5.4 00000004.ipt ANSI C 4 x 5.4 00000005.ipt ANSI C 4 x 5.4	

CONDICIONES DE OPERACIÓN

GRAVEDAD (ROJO)

Load Type	Gravity
Magnitude	9810.000 mm/s ²
Vector Y	-9810.000 mm/s ²

FUERZA C1 (AMARILLO)

Load Type	Force
Magnitude	4394.880 N
Vector Y	-4394.880 N

FUERZA C2 (ROJO)

Load Type	Force
Magnitude	588.600 N
Vector Y	-588.600 N

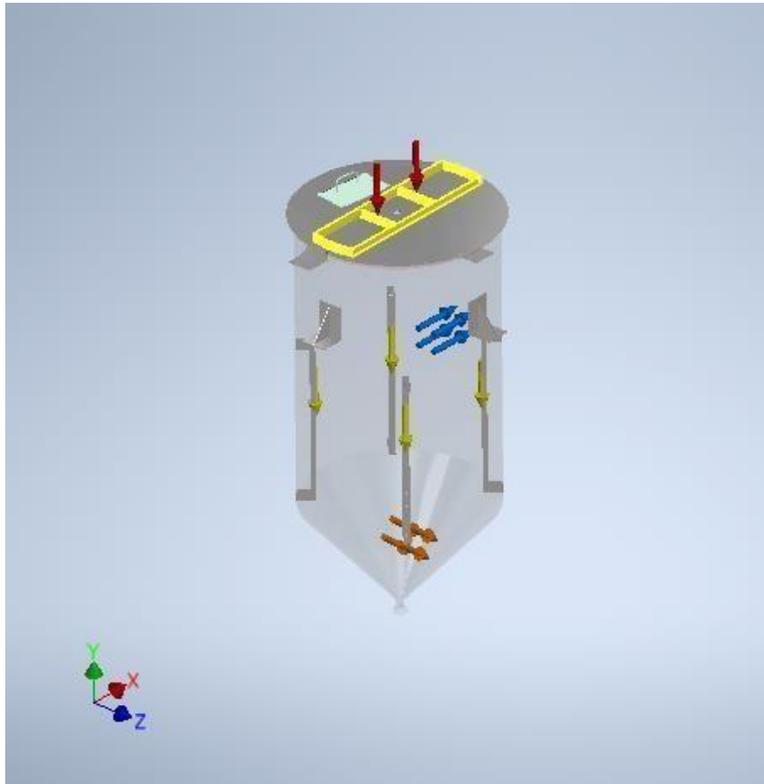
PRESIONES P1 (NARANJA)

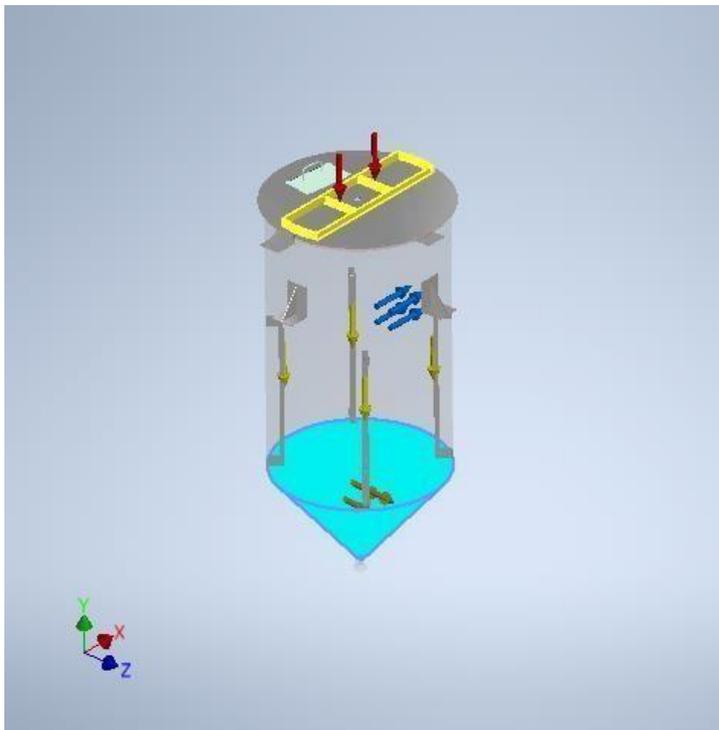
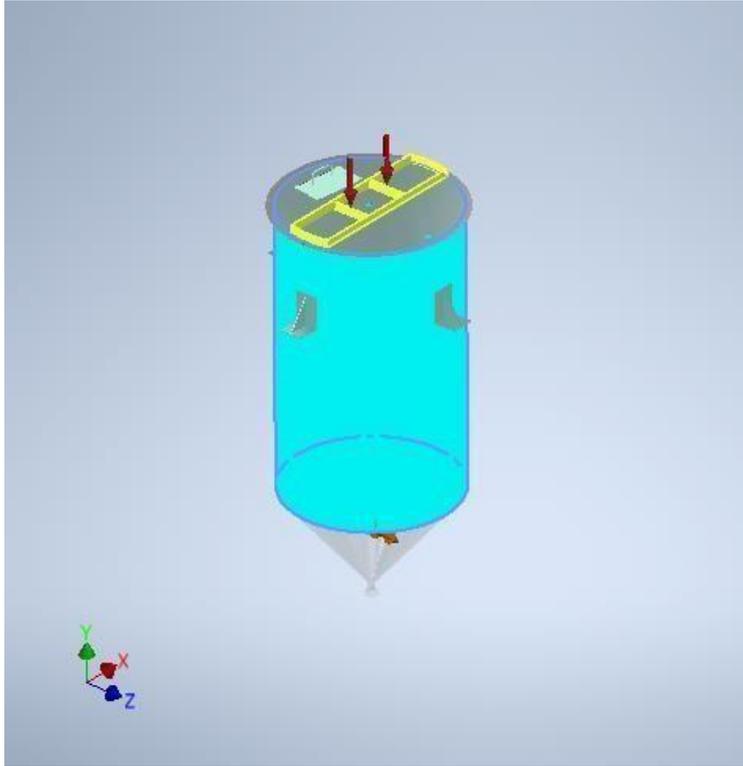
Load Type	Pressure
Magnitude	0.033 MPa

PRESIONES P2 (AZUL)

Load Type	Pressure
Magnitude	0.017 MPa

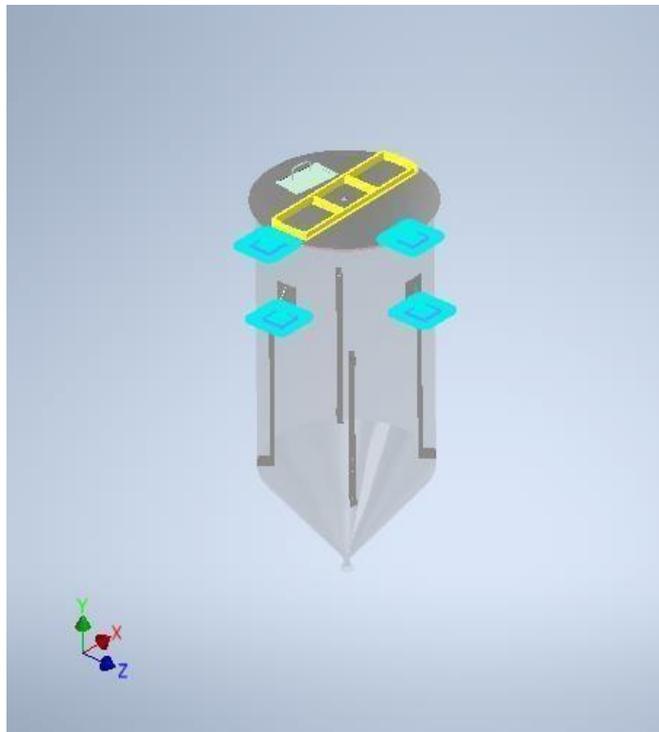
CARAS SELECCIONADAS





RESTRICCIÓN FIJA

CARAS SELECCIONADAS



RESULTADOS

REACCIONES DE FUERZAS Y MOMENTOS EN RESTRICCIONES

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	155061 N	0 N	0 N m	0 N m
		155061 N		0 N m
		0 N		0 N m

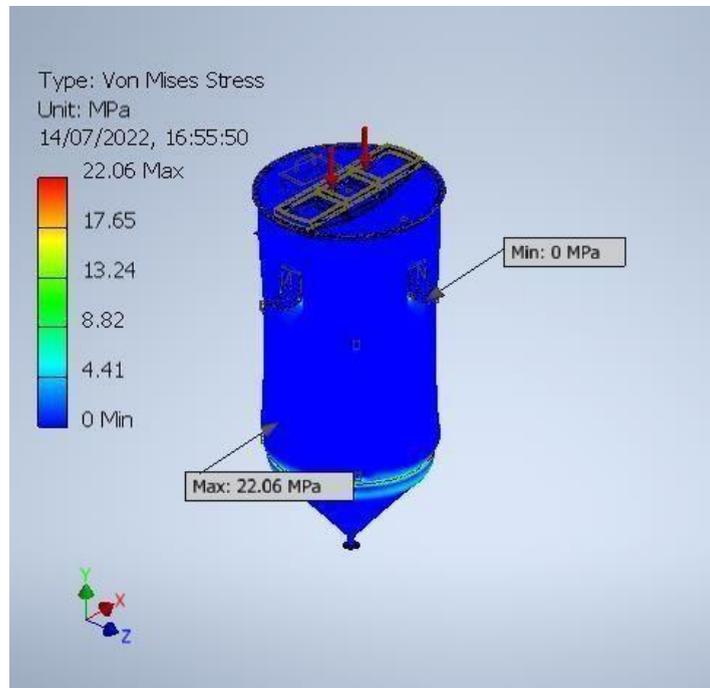
RESUMEN

Name	Minimum	Maximum
Volume	301084000 mm ³	
Mass	2363.51 kg	
Von Mises Stress	0.00000488423 MPa	22.0603 MPa
1st Principal Stress	-4.42814 MPa	21.1813 MPa
3rd Principal Stress	-21.1166 MPa	2.85795 MPa
Displacement	0 mm	0.295942 mm
Safety Factor	11.2521 ul	15 ul
Stress XX	-15.2914 MPa	8.52476 MPa

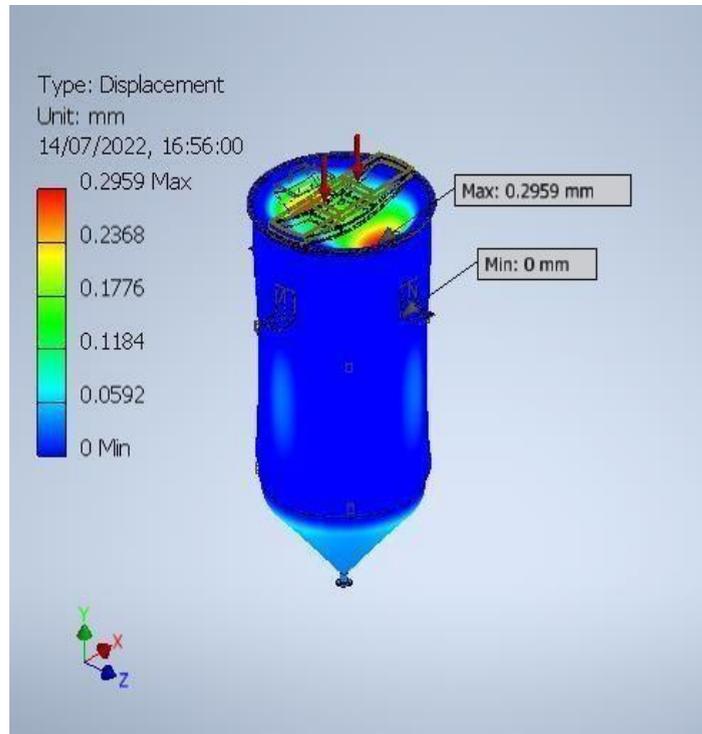
Stress XY	-9.21152 MPa	9.31773 MPa
Stress XZ	-10.1367 MPa	10.3491 MPa
Stress YY	-14.4921 MPa	19.398 MPa
Stress YZ	-9.2181 MPa	9.26671 MPa
Stress ZZ	-15.1805 MPa	8.2413 MPa
X Displacement	-0.0824213 mm	0.0824445 mm
Y Displacement	-0.295941 mm	0.000620678 mm
Z Displacement	-0.0819011 mm	0.106322 mm
Equivalent Strain	0.000000000222167 ul	0.0000975688 ul
1st Principal Strain	-0.000000145736 ul	0.000106793 ul
3rd Principal Strain	-0.000104452 ul	0.0000039021 ul
Strain XX	-0.0000541115 ul	0.0000387316 ul
Strain XY	-0.0000598871 ul	0.0000605777 ul
Strain XZ	-0.0000659019 ul	0.0000672829 ul
Strain YY	-0.0000577028 ul	0.0000979714 ul
Strain YZ	-0.0000599299 ul	0.000060246 ul
Strain ZZ	-0.0000547445 ul	0.0000400598 ul
Contact Pressure	0 MPa	106.259 MPa
Contact Pressure X	-36.4724 MPa	36.1382 MPa
Contact Pressure Y	-28.5489 MPa	100.022 MPa
Contact Pressure Z	-34.4408 MPa	34.682 MPa

GRÁFICOS

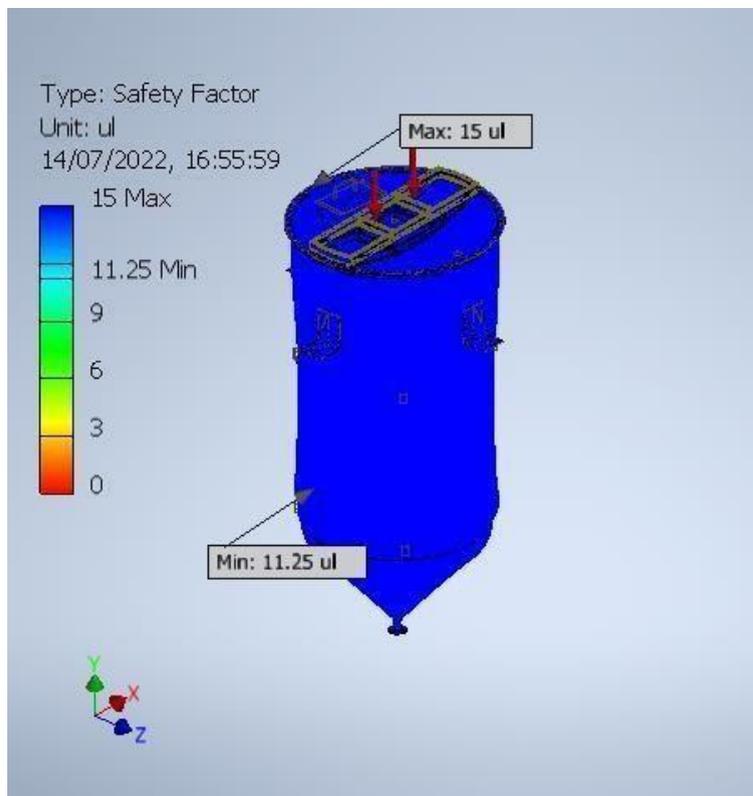
Esfuerzo von mises



Desplazamiento



Factor de seguridad

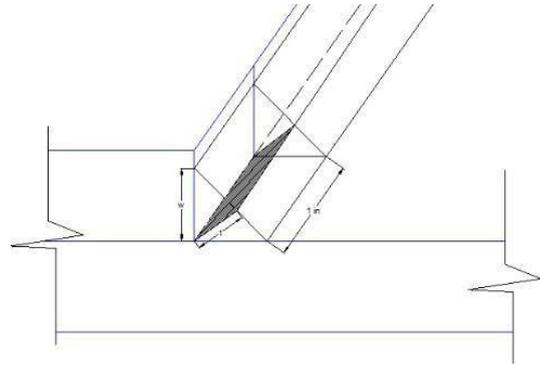
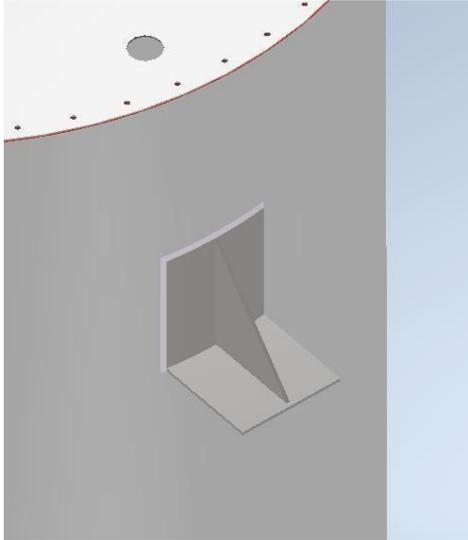


ANEXO C: SOLDADURA DEL REACTOR NEUTRALIZADOR

Verificación de la soldadura del soporte del neutralizador

Resistencia de la soldadura

NORMA: AISC 360-16, CAPITULO J



DIMENSION DE LA SOLDADURA

$w=9\text{mm}$ (cateto)

DIMENSION DE GARGANTA EFECTIVA

$$t = \frac{\sqrt{2}}{2} * w = 6.364 \text{ mm}$$

RESISTENCIA PARA LONGITUD DE 1”:

$\phi=0.75$

$$\phi * R_n = \phi * F_{nw} * t = 3.946 \text{ tonf/in}$$

CALCULO DE LA LONGITUD PARA FUERZA DE DISEÑO

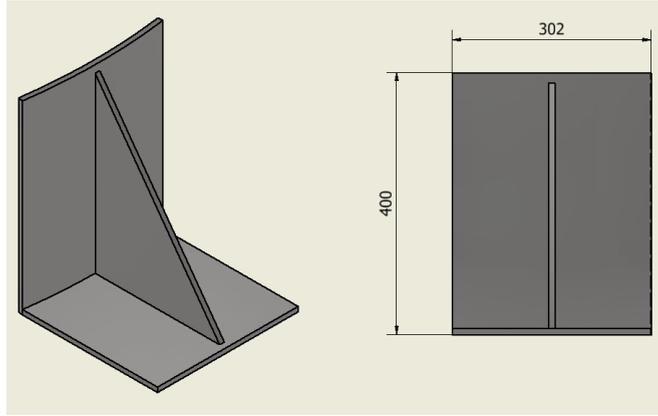
FUERZA DE DISEÑO

$P= 155061 \text{ N}$ (Reacción en los soportes)

$P_u= 155061 \text{ N}/4$ (por cada soporte) = 38765.25 N

LONGITUD NECESARIA DE SOLDADURA

$$L = P_u / (\phi * R_n) = 28.047 \text{ mm}$$



Dado que la longitud requerida es menor a la soldadura en el soporte, cumple.

ANEXO D: DISEÑO DEL AGITADOR

DISEÑO DEL EJE AGITADOR

Para desarrollar el eje necesitamos hacer un D.C.L de este, en el actúan: las fuerzas tangenciales que actúan en las aspas del impulsor por acción del movimiento del fluido, la deflexión originada por el movimiento del eje y fuerza axial por el empuje. El empuje se puede menospreciar, ya que será contrarrestado por el peso del eje y el impulsor y el resto de fuerza de tracción resultante será asimilado por los pernos con el acople de eje - reductor. La potencia de bombeo se puede expresar en función del torque y la velocidad angular:

$PM=10$ HP (Potencia del motor)

$w=70$ RPM (velocidad angular)

$d= 1.5$ m (diámetro del impulsor)

$$PM = T\omega \rightarrow T = 1017 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m} \cong 1017 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

El momento torsor se puede expresar en función de fuerza por la distancia del brazo torsor al centro del impulsor:

$$T= F(d/2)$$

$$F= 1356 \cdot 10^3 \text{ N}$$

A continuación, se tomará como momento torsor $1017 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$, para analizar el eje mediante el método de elementos finitos.

DATOS

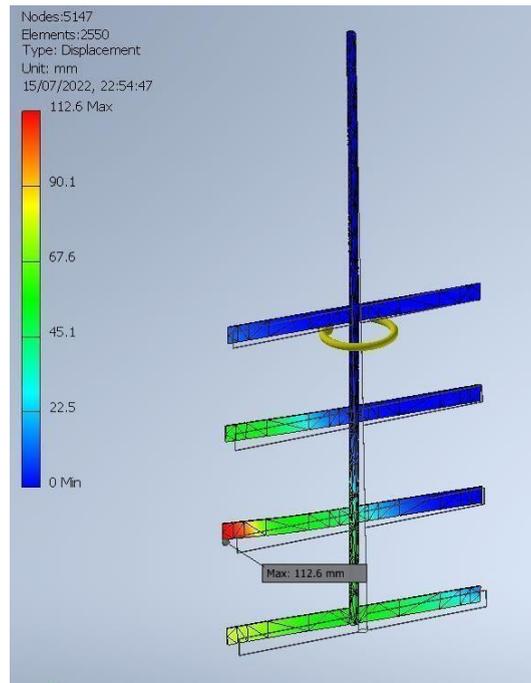
Diámetro del eje: 2in

Elemento: Barra redonda lisa

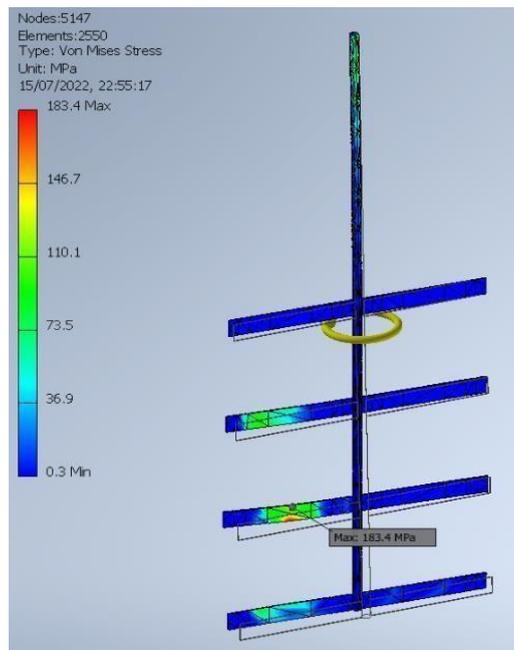
Material: ASTM-A36

RESULTADOS

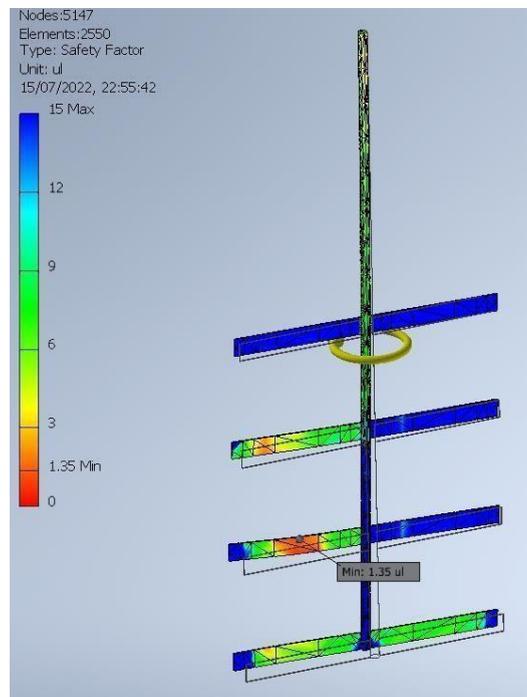
Desplazamiento



Esfuerzo Von Mises

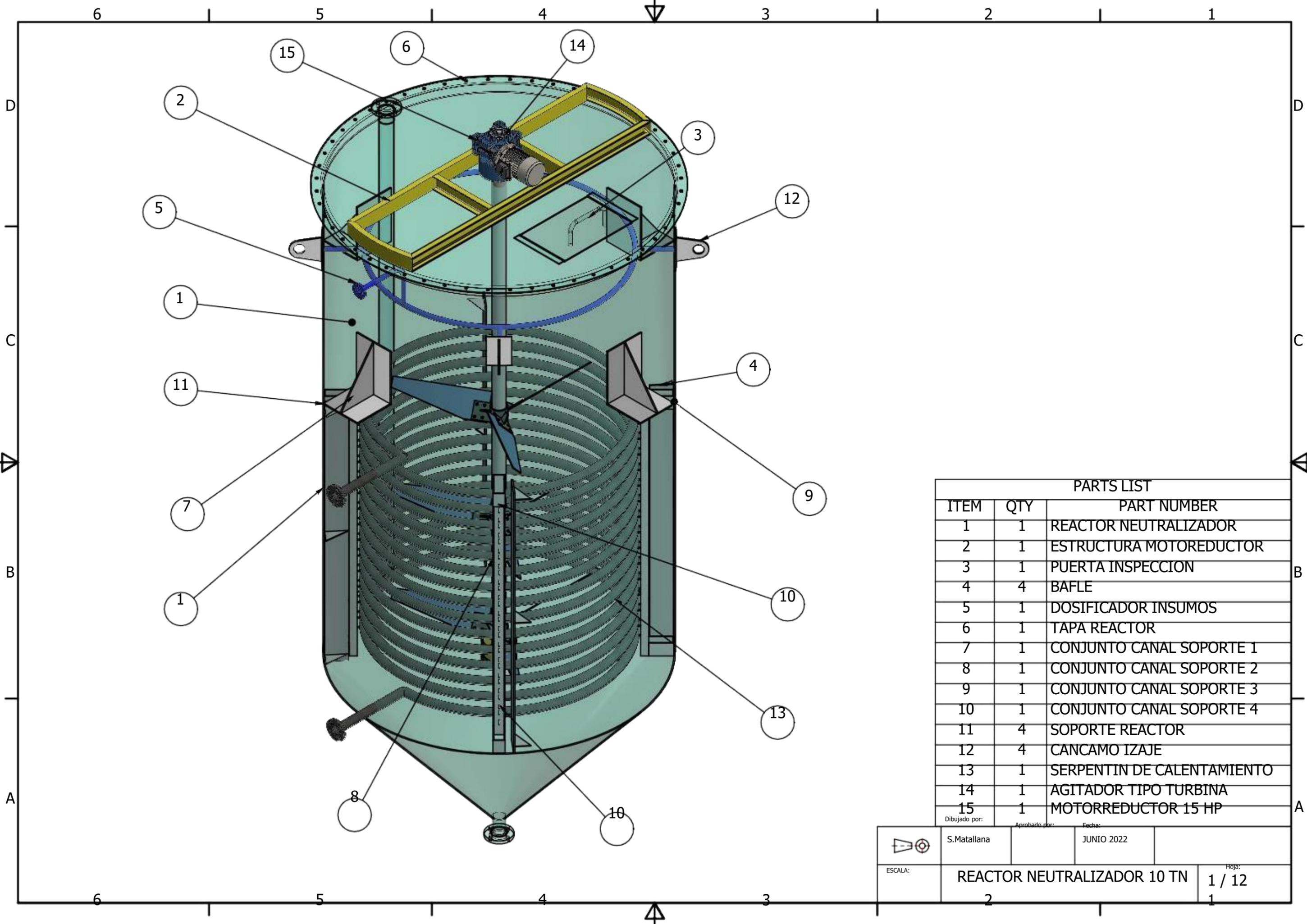


Factor de seguridad



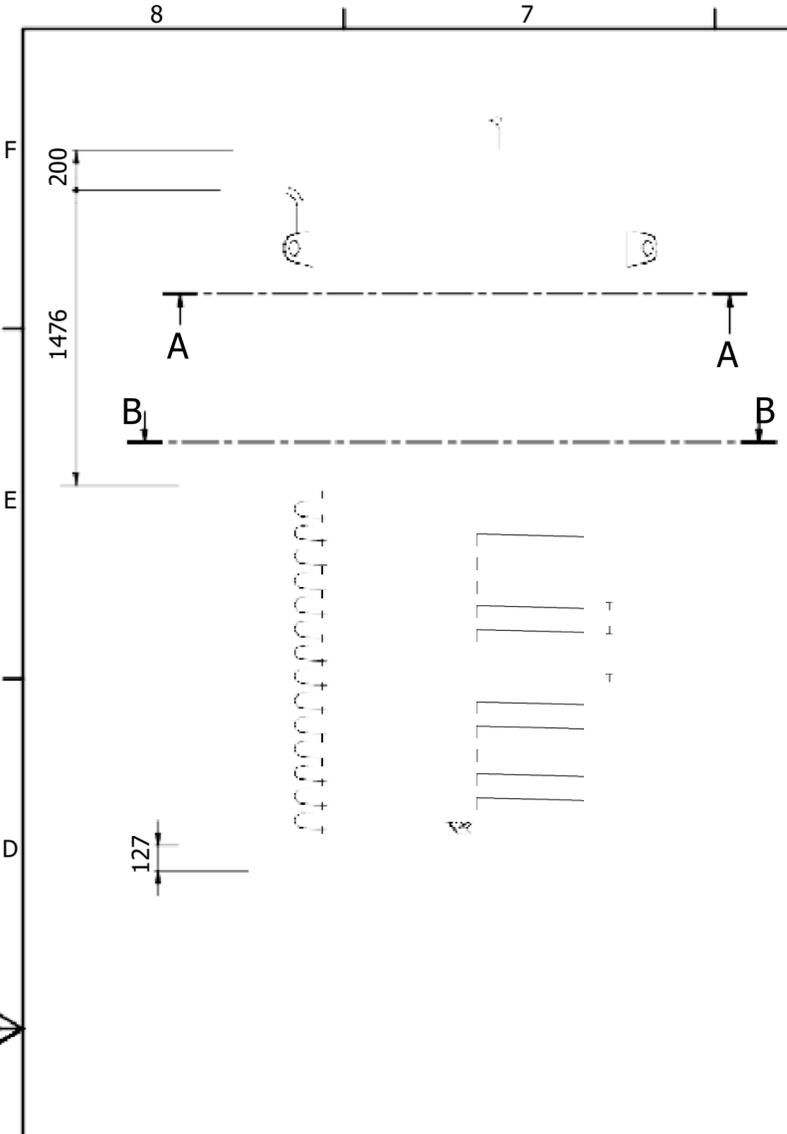
Los valores son aceptables, puesto que demuestran que la resistencia es mayor al momento torsor actuante por lo tanto cumple el diseño propuesto.

ANEXO E: PLANOS DEL REACTOR NEUTRALIZADOR

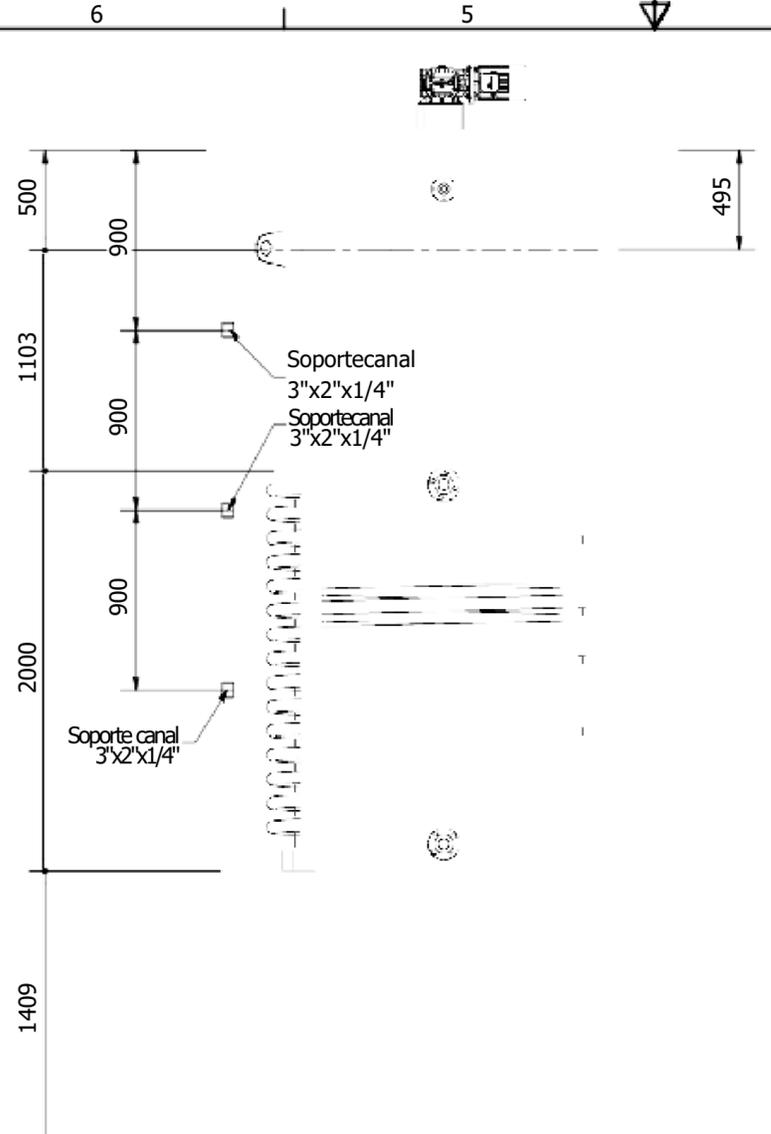


PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	REACTOR NEUTRALIZADOR
2	1	ESTRUCTURA MOTOREDUCTOR
3	1	PUERTA INSPECCION
4	4	BAFLE
5	1	DOSIFICADOR INSUMOS
6	1	TAPA REACTOR
7	1	CONJUNTO CANAL SOPORTE 1
8	1	CONJUNTO CANAL SOPORTE 2
9	1	CONJUNTO CANAL SOPORTE 3
10	1	CONJUNTO CANAL SOPORTE 4
11	4	SOPORTE REACTOR
12	4	CANCAMO IZAJE
13	1	SERPENTIN DE CALENTAMIENTO
14	1	AGITADOR TIPO TURBINA
15	1	MOTOREDUCTOR 15 HP

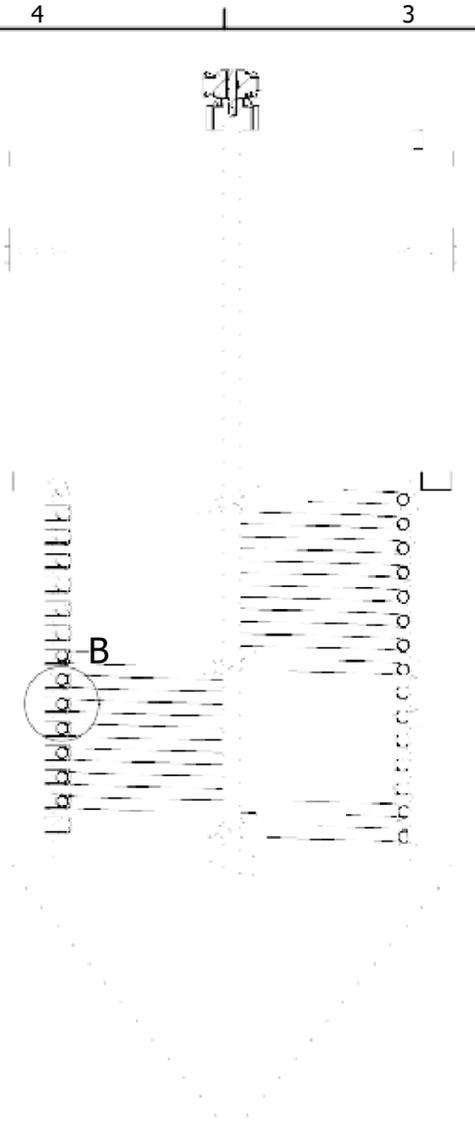
	Dibujado por: S.Matallana	Aprobado por:	Fecha: JUNIO 2022
	ESCALA:	REACTOR NEUTRALIZADOR 10 TN	
			Hoja: 1 / 12



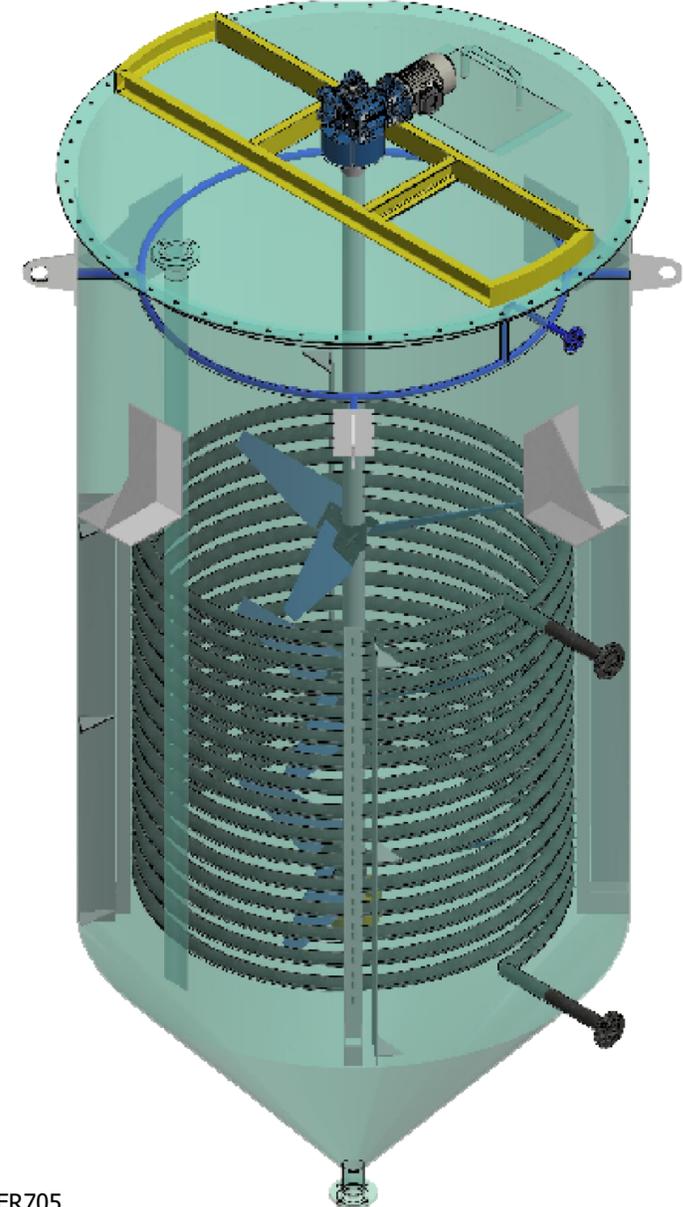
VISTA LATERAL (1 : 25)



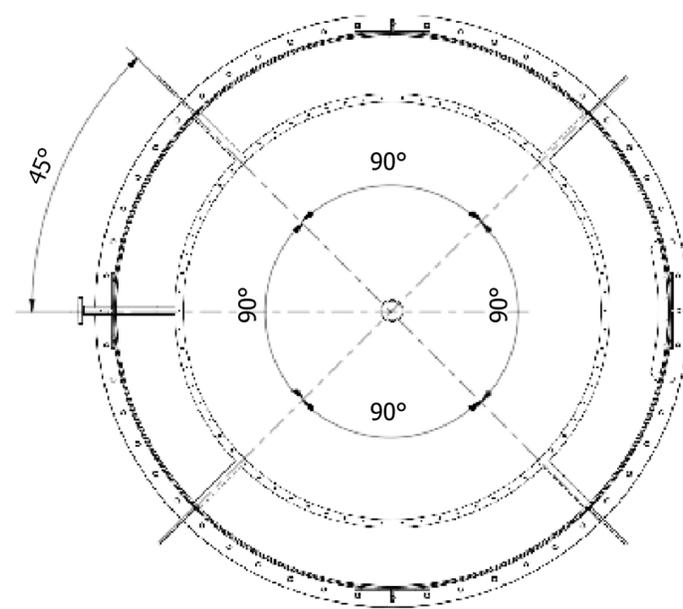
VISTA FRONTAL (1 : 25)



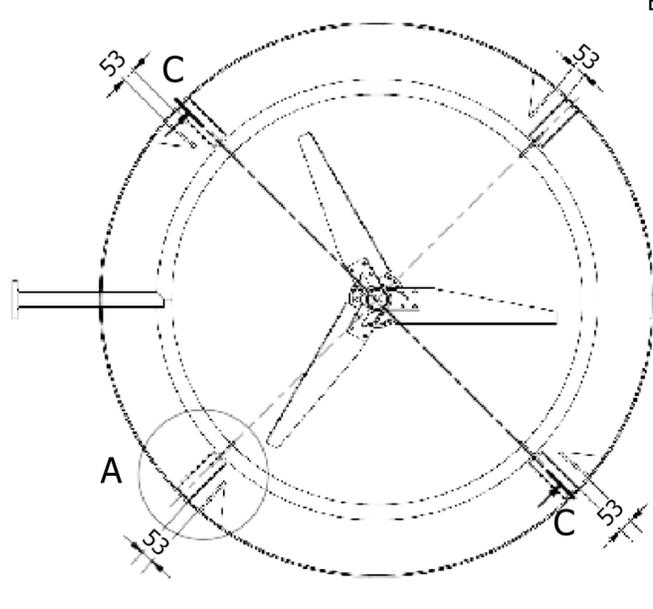
CORTE C-C (1 : 25)



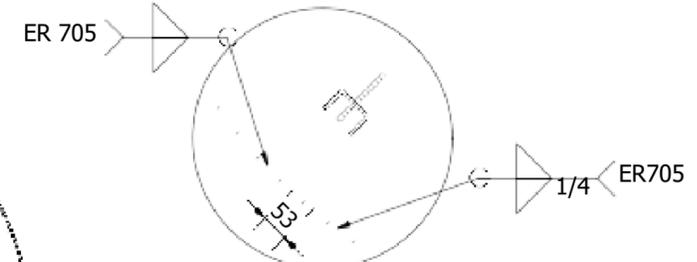
ISOMETRICO (1 : 20)



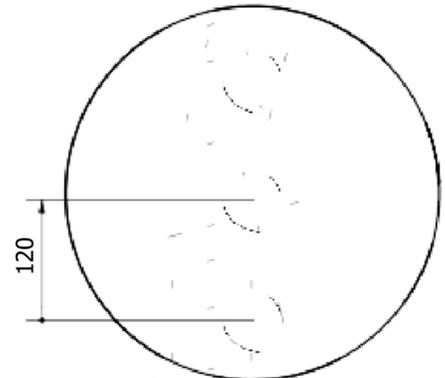
CORTE A-A (1 : 20)



CORTE B-B (1 : 20)



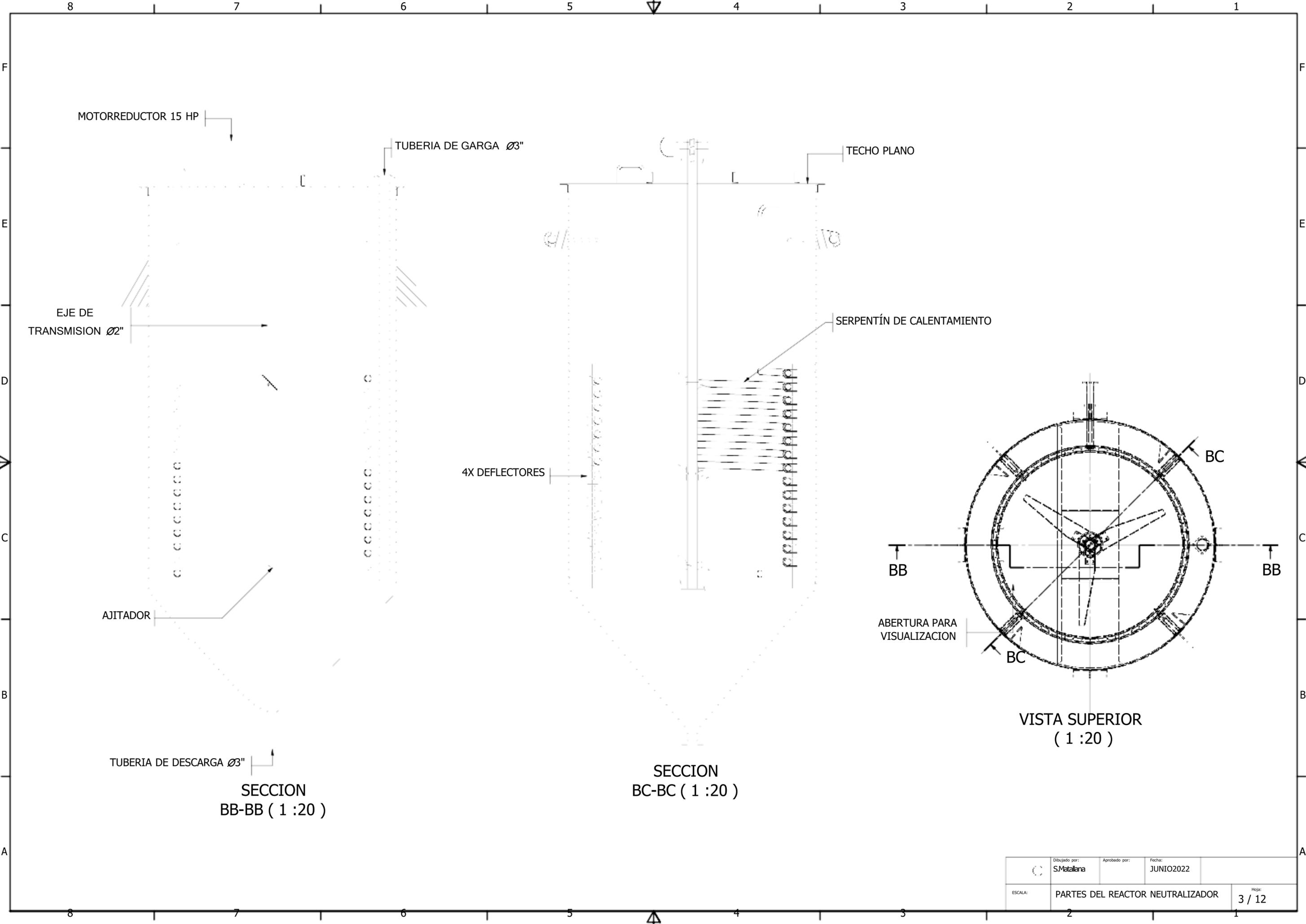
DET.A (1 : 10)



DET. B (1 : 5)

NOTA:
 -Soldar las bridas una vez que se ha insertado el serpentín dentro del desodorizador.
 -Una vez posicionado el serpentín, soldar los soportes al casco del desodorizador.
 -El serpentín se fija en su posición mediante abrazaderas roscadas.

Dibujador: S.Matalana	Aprobador:	Fecha: JUNIO2022	Hoja: 2 / 12
ESCALA: DIMENSIONES GENERALES			



MOTORREDUCTOR 15 HP

TUBERIA DE GARGA Ø3"

TECHO PLANO

EJE DE TRANSMISION Ø2"

SERPENTÍN DE CALENTAMIENTO

4X DEFLECTORES

AJITADOR

ABERTURA PARA VISUALIZACION

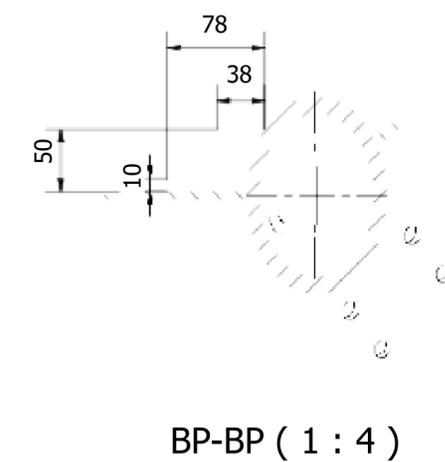
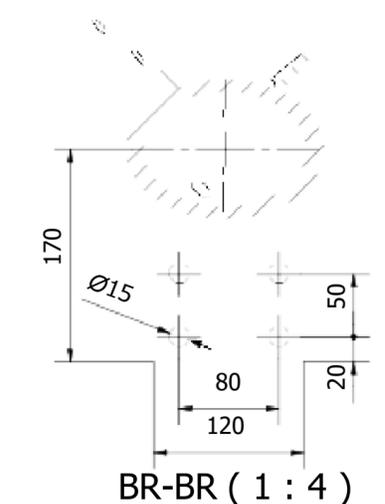
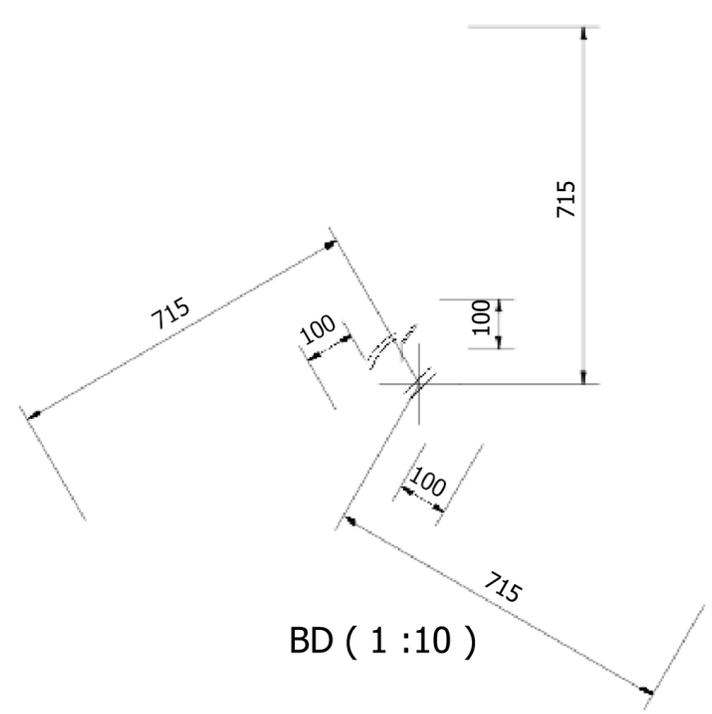
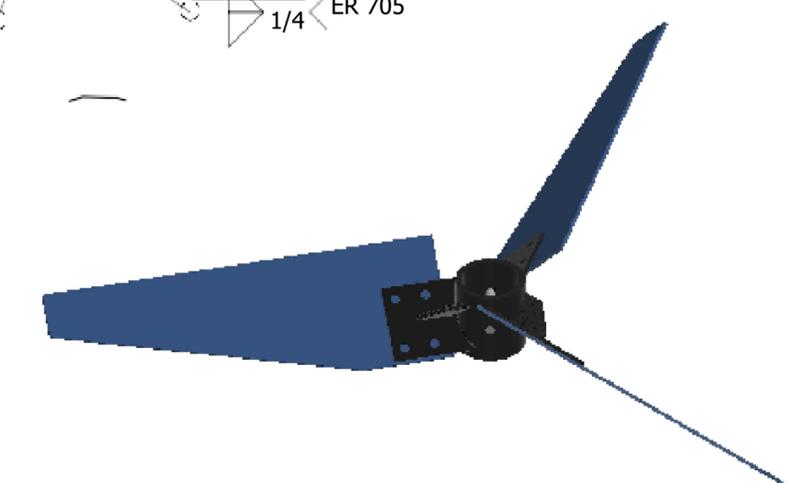
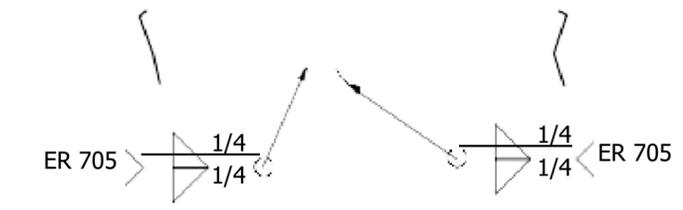
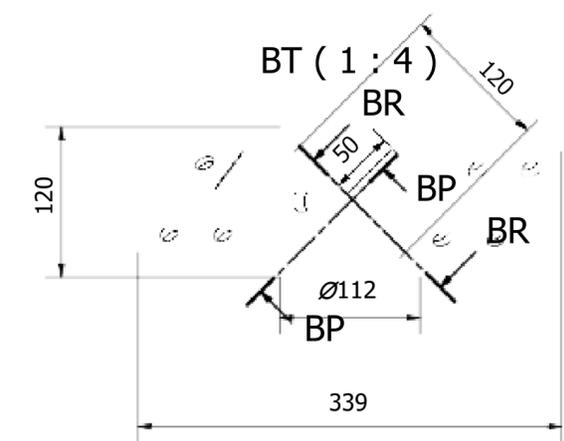
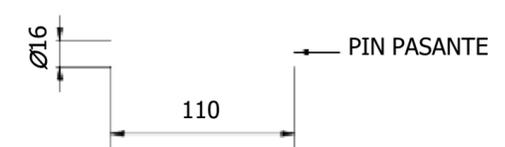
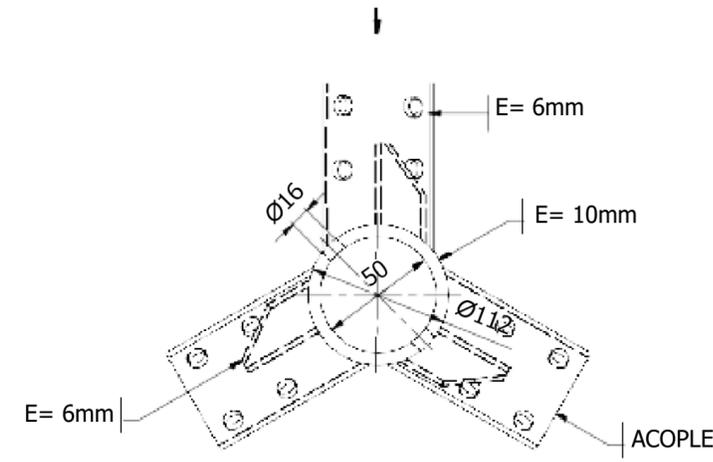
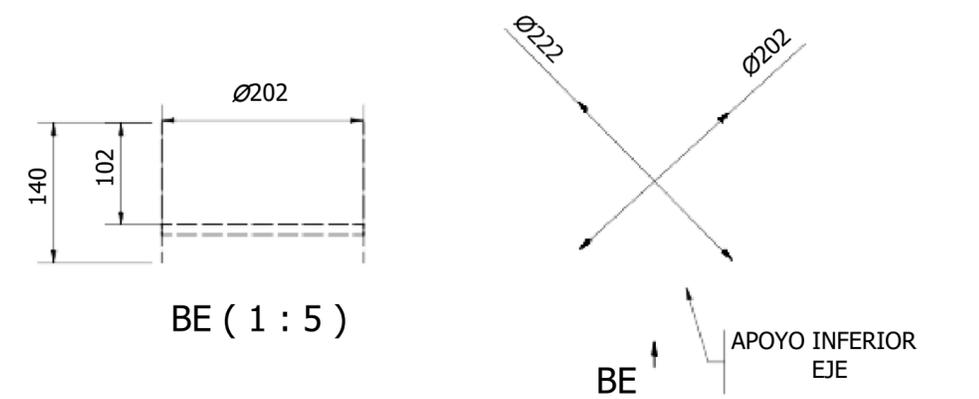
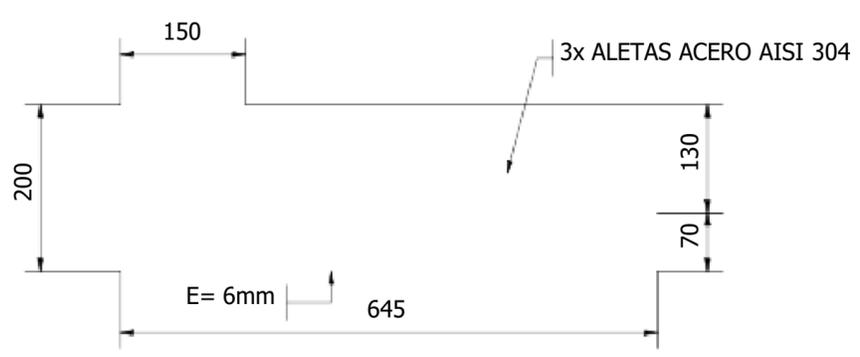
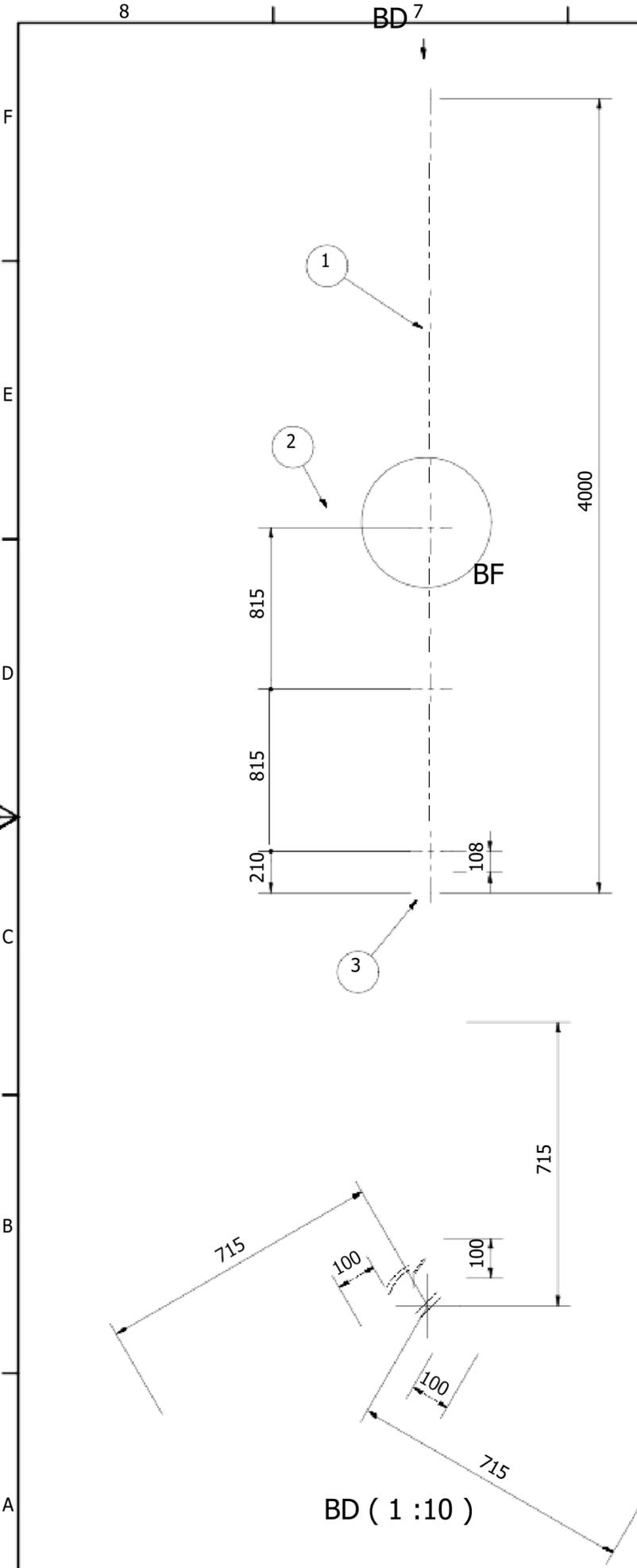
TUBERIA DE DESCARGA Ø3"

SECCION BB-BB (1 : 20)

SECCION BC-BC (1 : 20)

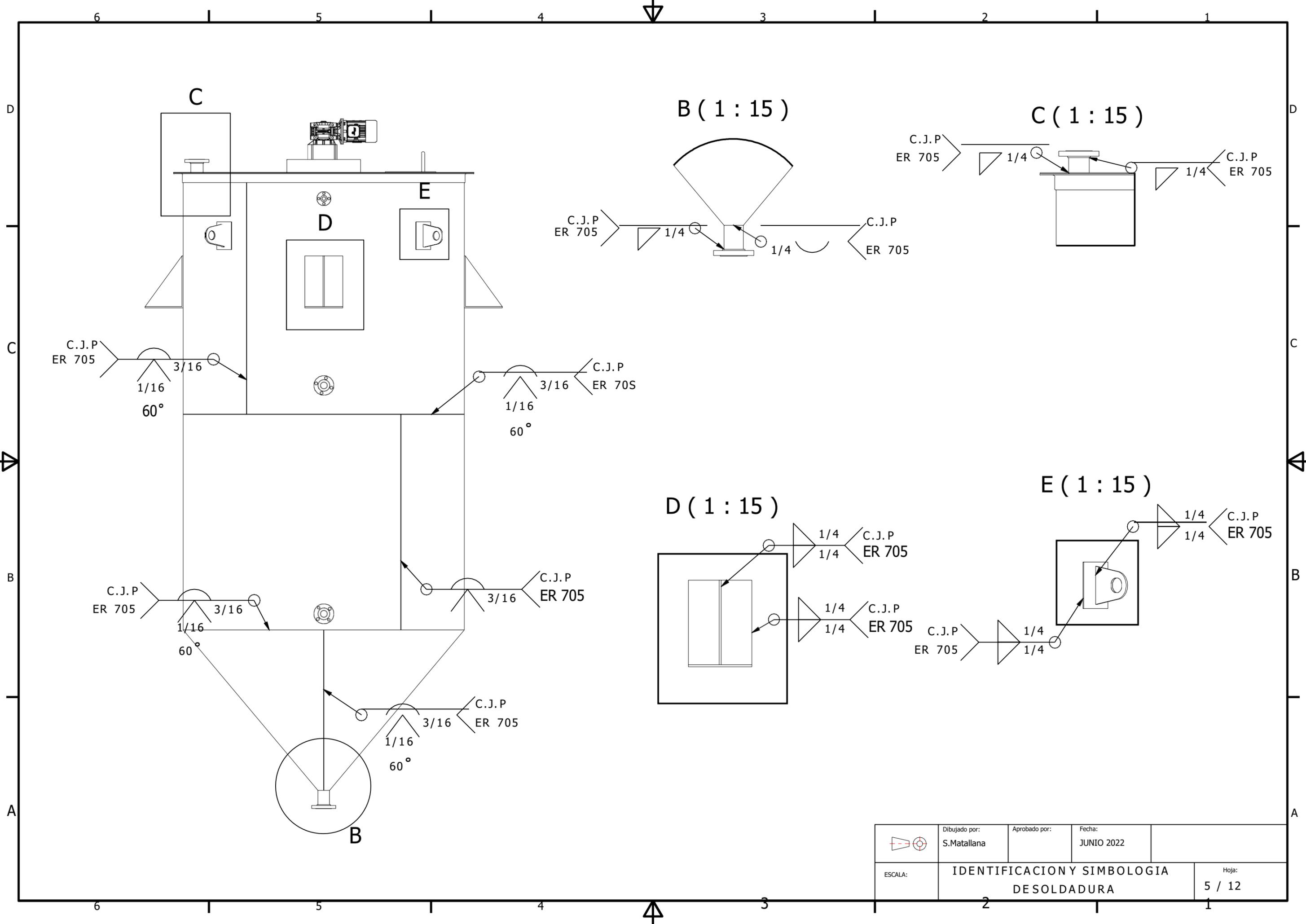
VISTA SUPERIOR (1 : 20)

	Dibujado por: S. Matallana	Aprobado por:	Fecha: JUNIO 2022
	ESCALA:	PARTES DEL REACTOR NEUTRALIZADOR	
			Hoja: 3 / 12

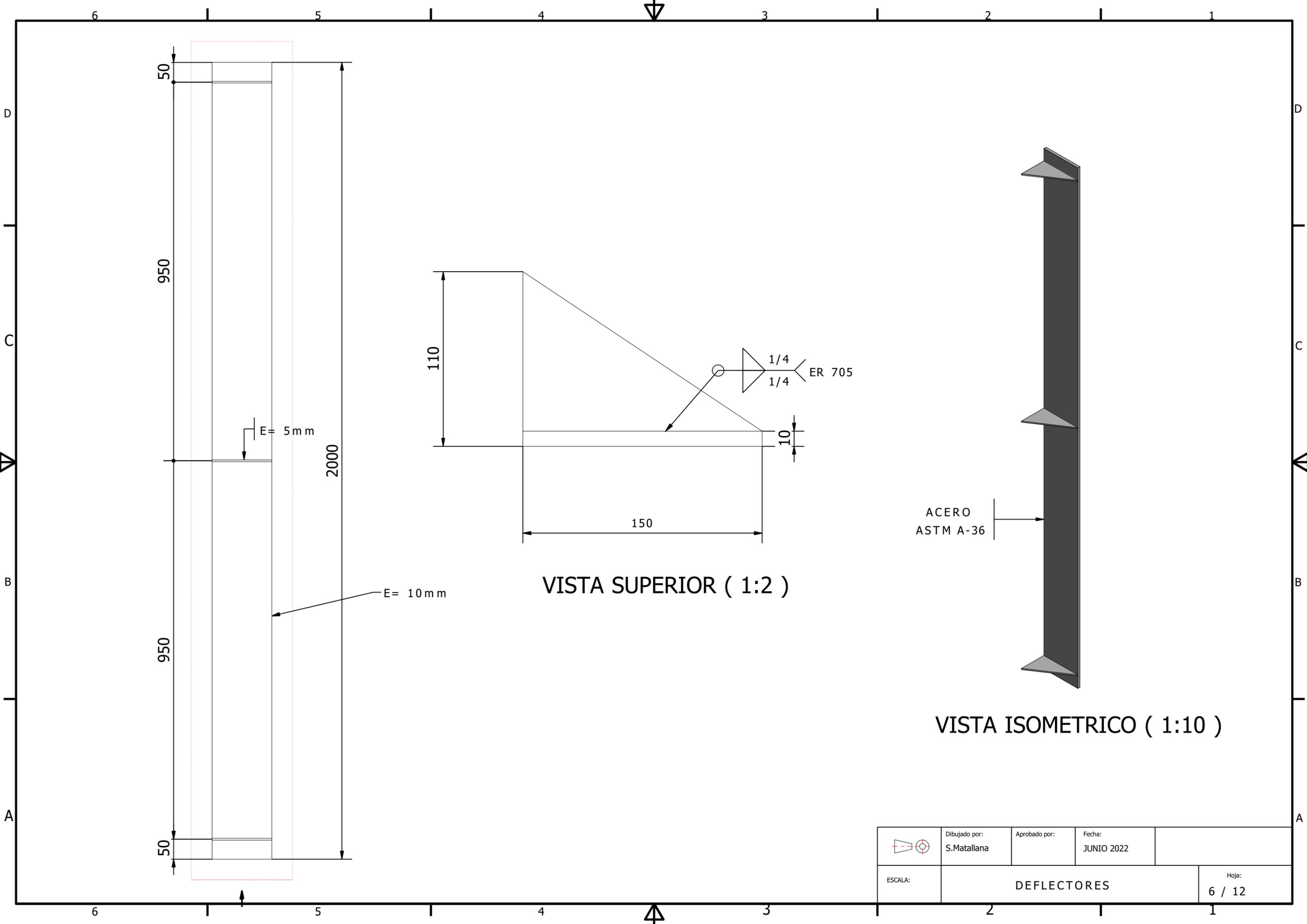


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	EJE	
2	3	CONJUNTO HELICE	
3	1	APOYO INFERIOR EJE	

dibujado por: S.Matallana	Aprobado por:	Fecha: JUNIO 2022	Hojas:
ESCALA: AGITADOR TIPO TURBINA			4 / 12



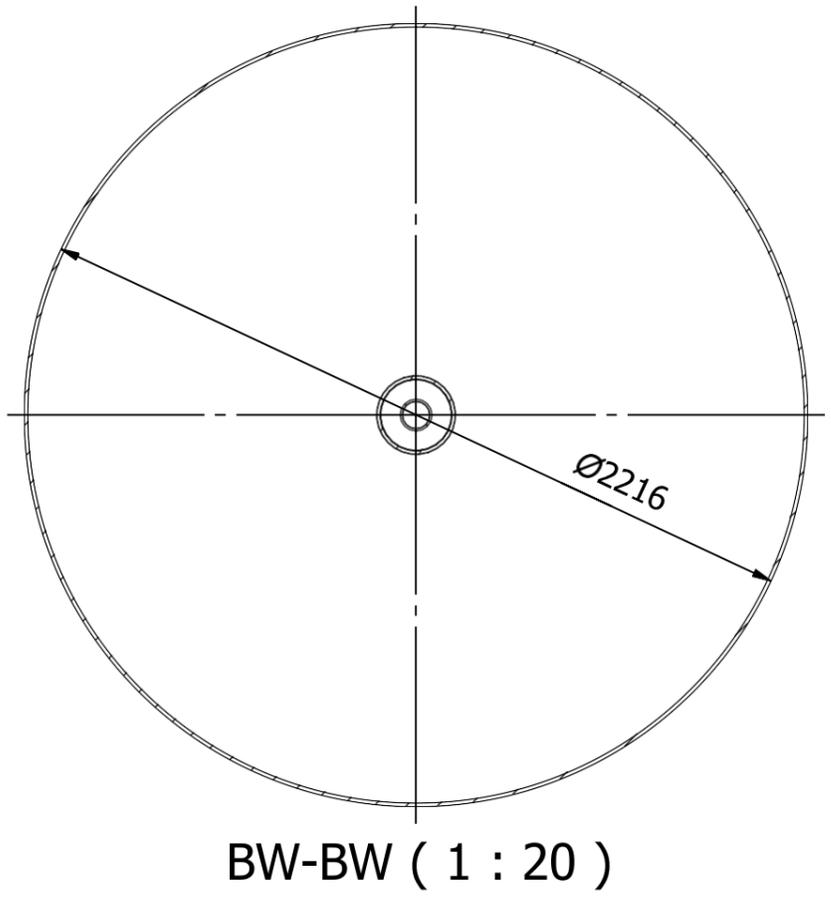
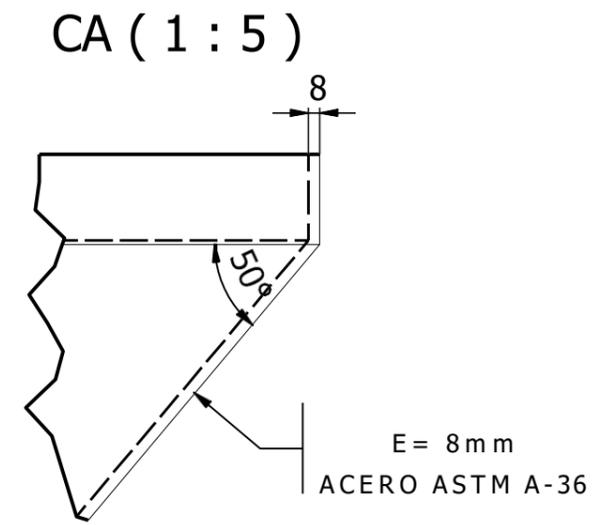
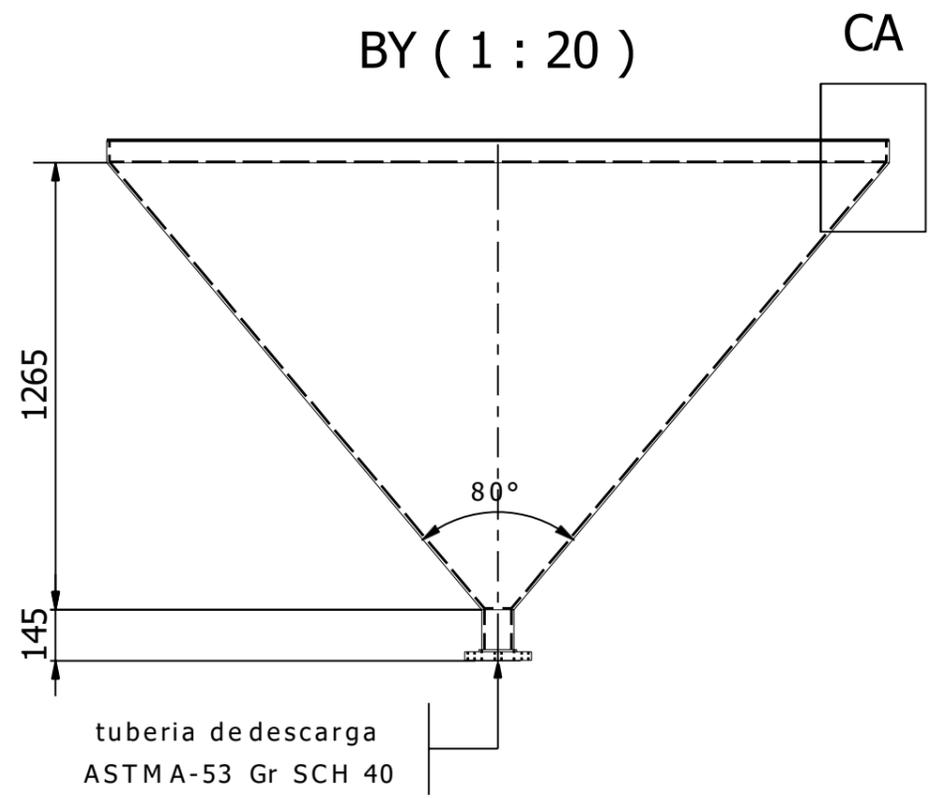
 ESCALA:	Dibujado por: S.Matallana	Aprobado por:	Fecha: JUNIO 2022
	IDENTIFICACION Y SIMBOLOGIA DE SOLDADURA		Hoja: 5 / 12



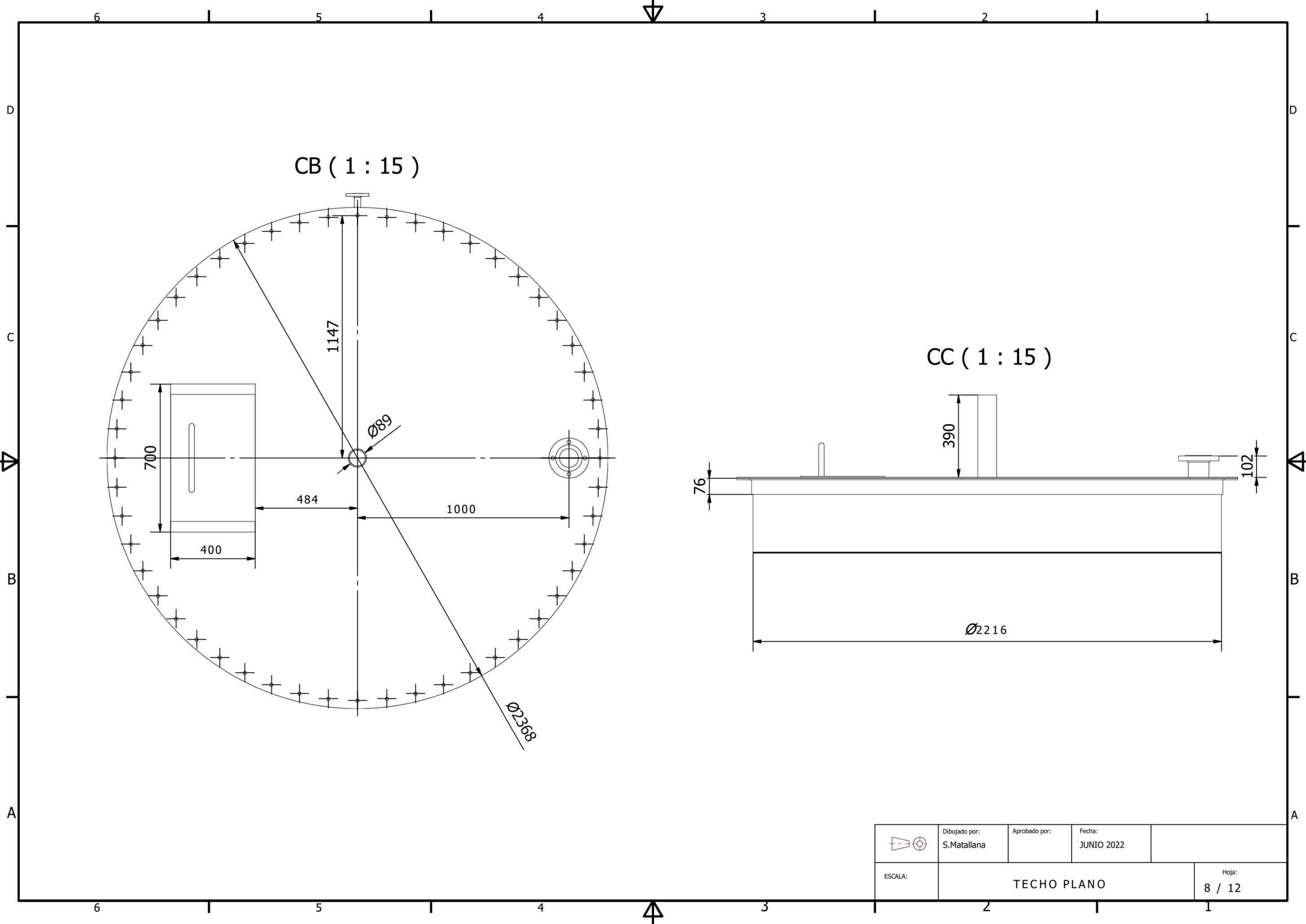
VISTA SUPERIOR (1:2)

VISTA ISOMETRICO (1:10)

	Dibujado por: S.Matallana	Aprobado por:	Fecha: JUNIO 2022	
	ESCALA:	DEFLECTORES		Hoja: 6 / 12



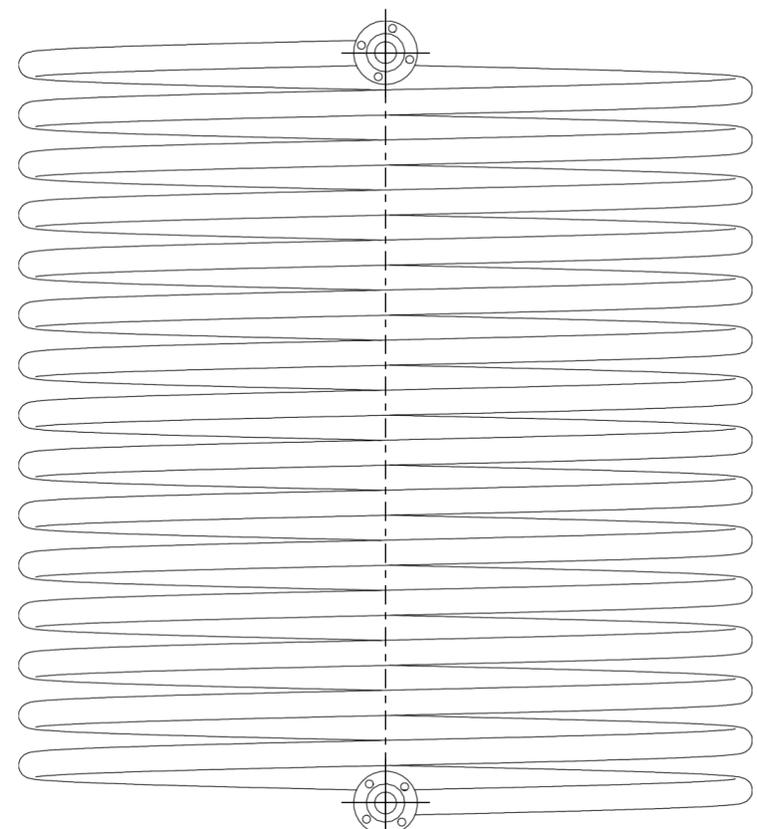
	Dibujado por: S.Matallana	Aprobado por:	Fecha: JUNIO 2022	
	ESCALA:	FONDO CONICO		Hoja: 7 / 12



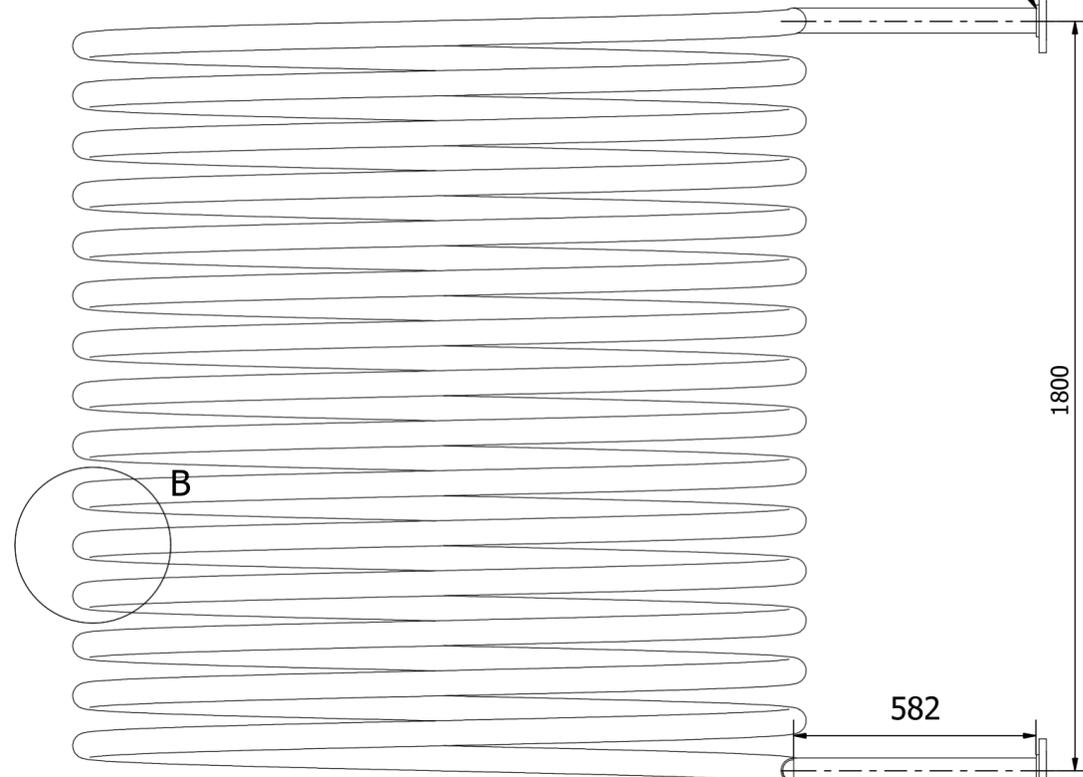
CB (1 : 15)

CC (1 : 15)

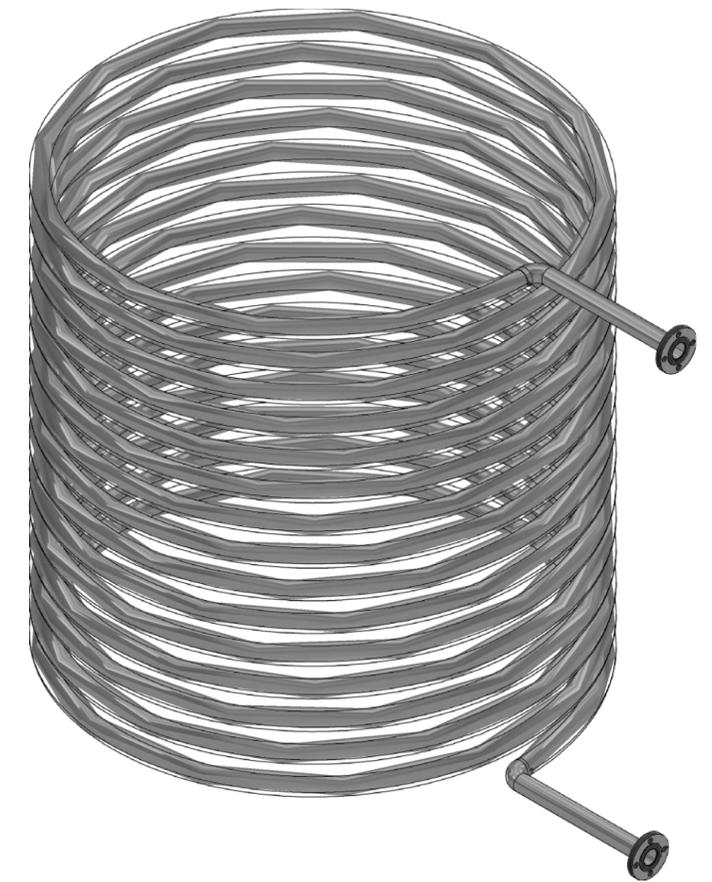
	Dibujado por: S.Matallana	Aprobado por:	Fecha: JUNIO 2022	
	ESCALA:	TECHO PLANO		Hoja: 8 / 12



VISTA FRONTAL (1 : 12)



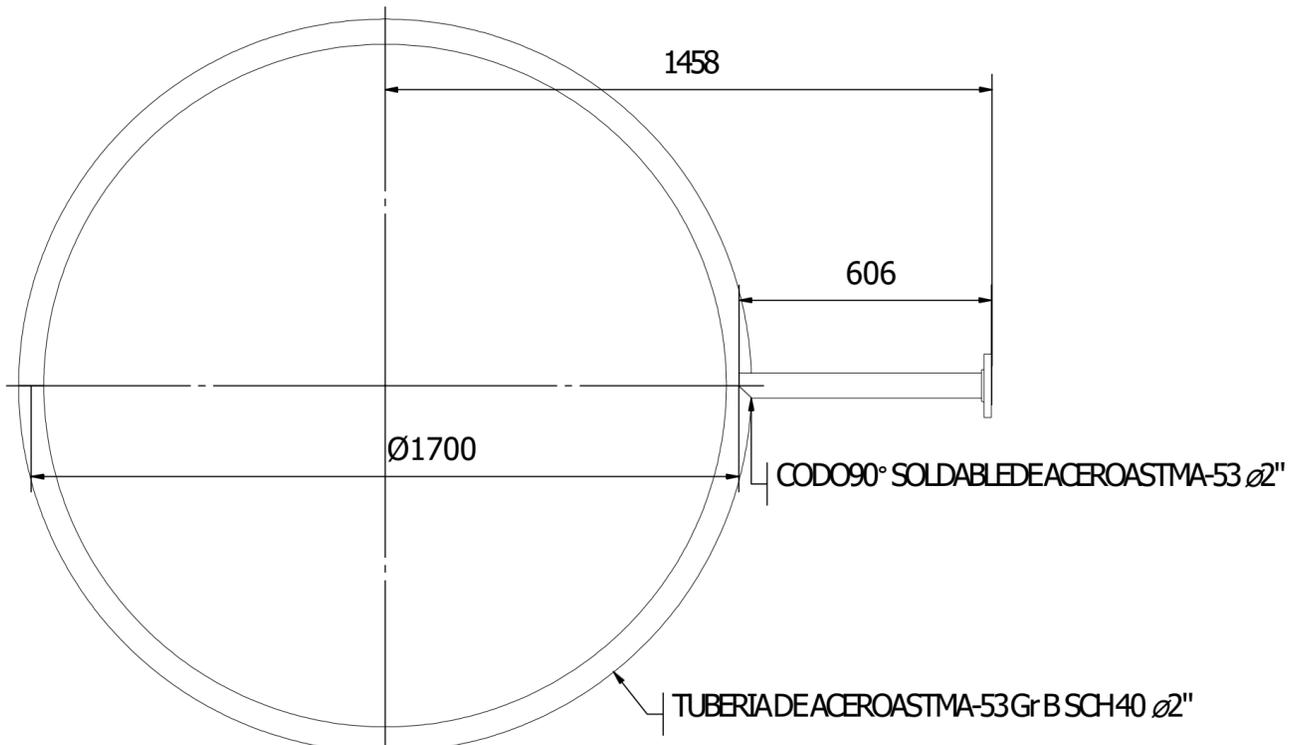
VISTA LATERAL (1 : 12) ER 70S 1/4



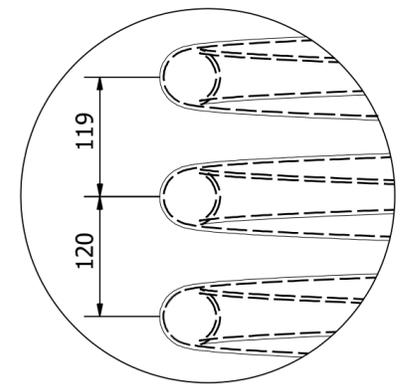
ISOMETRICO (1 : 15)

15Espiras@120mm(paso)

BRIDAASMEB16.5 ø2" CLASE 150

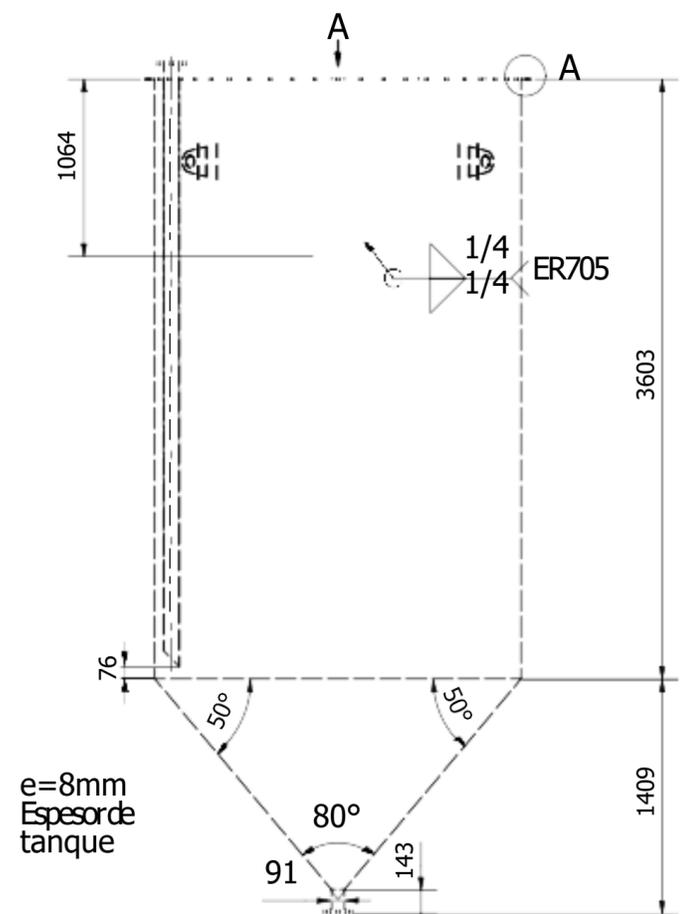


VISTA PLANTA (1 : 12)

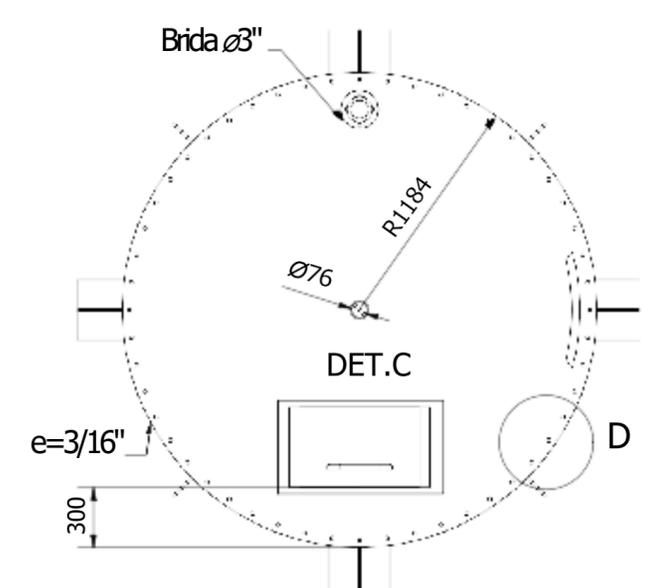


DET. B (1 : 5)

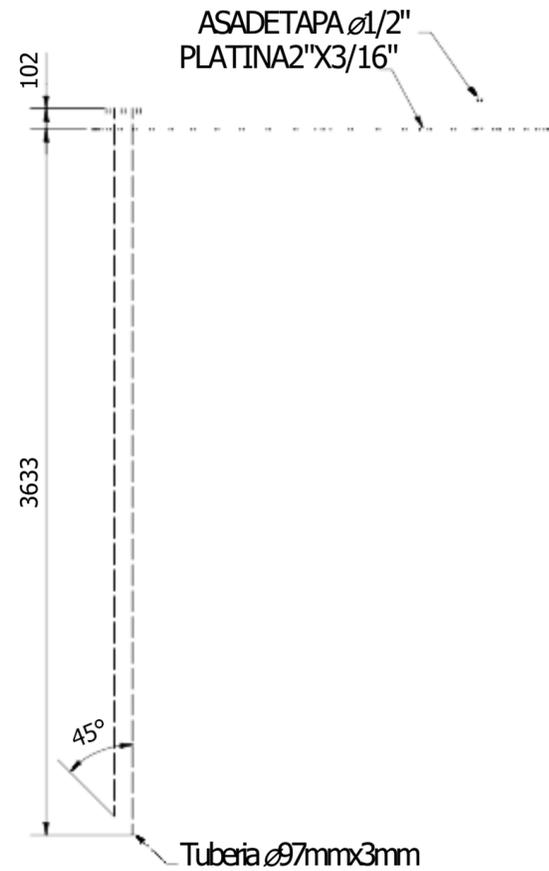
ESCALA:	Dibujado por: S.Matalana	Aprobado por:	Fecha: JUNIO 2022
	SERPENTIN DE CALENTAMIENTO		Hoja: 9/12



TANQUE NEUTRALIZADOR

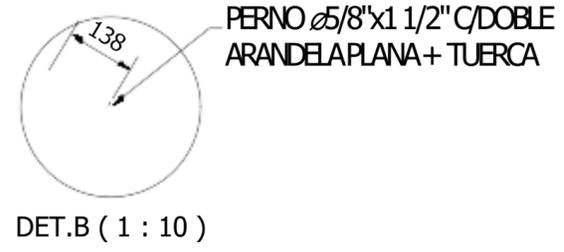


TAPA DE TANQUE NEUTRALIZADOR

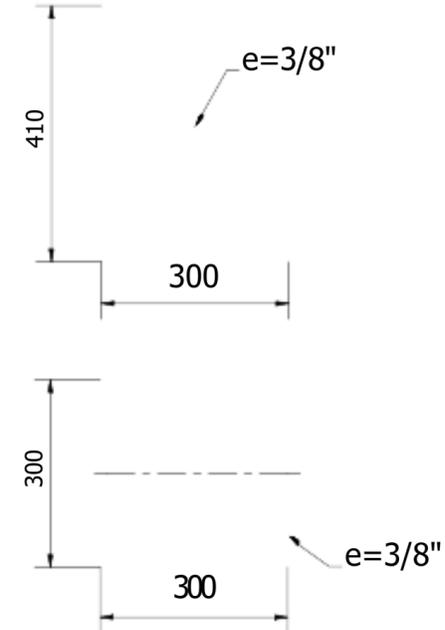


SECCION A (1 : 30)

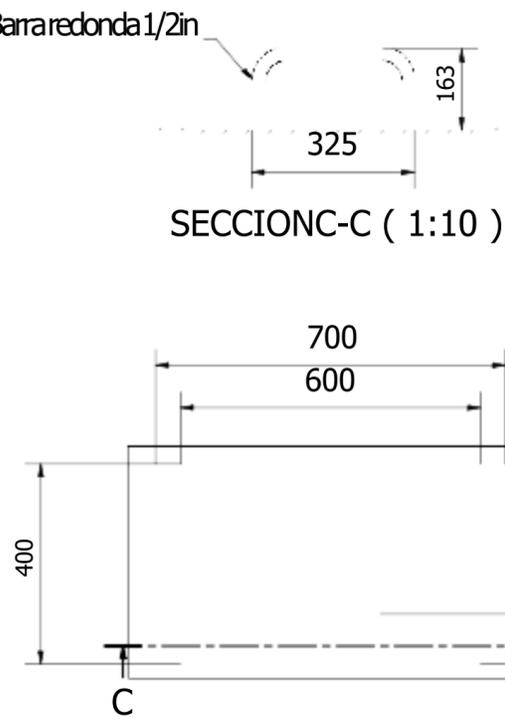
DET.A (1 : 5)



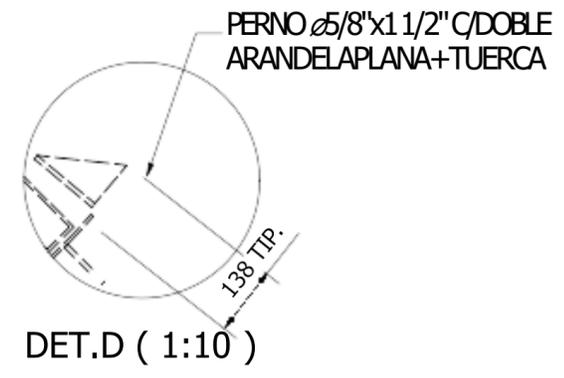
DET.B (1 : 10)



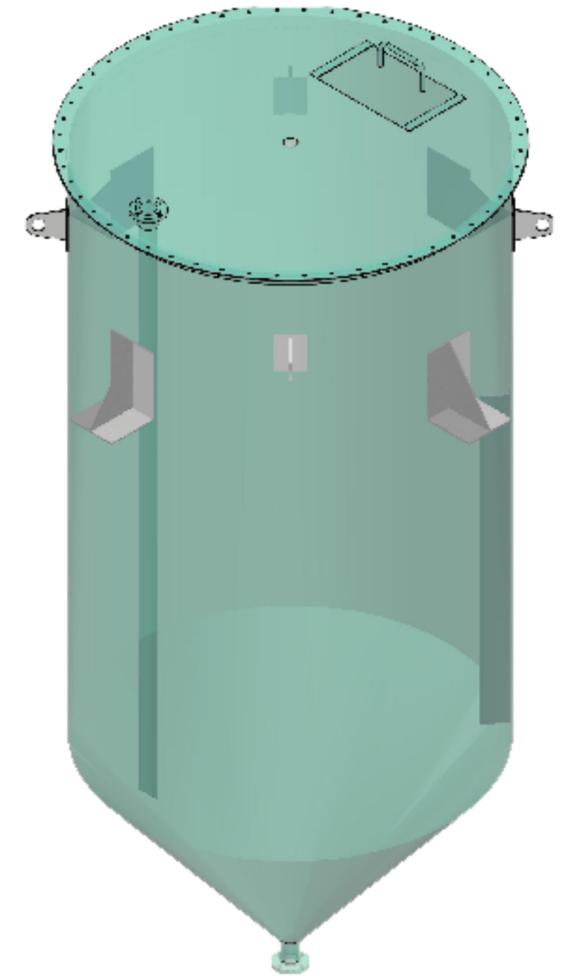
SECCION C-C (1 : 10)



DET.C (1 : 10)

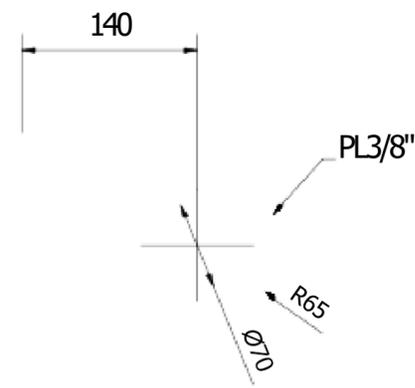
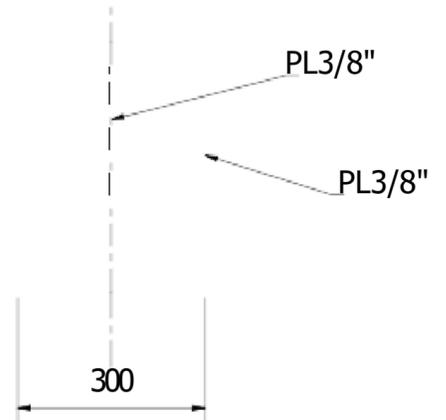
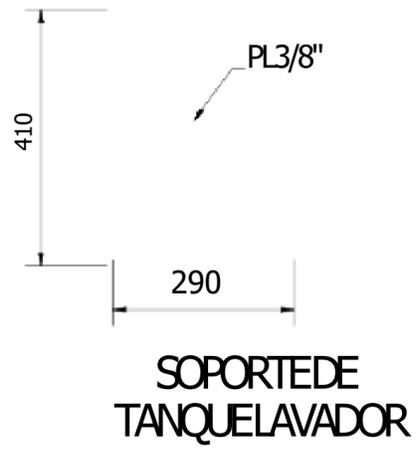
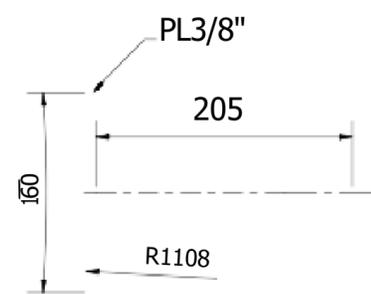
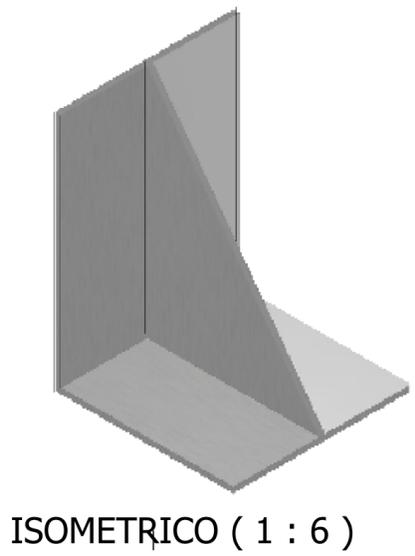
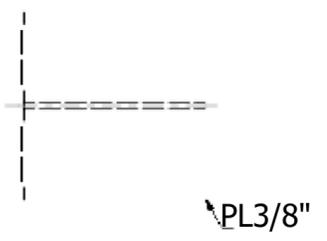
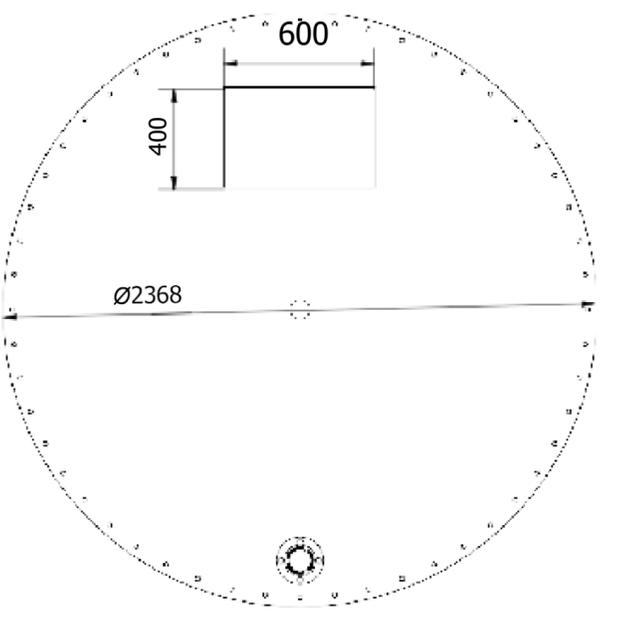
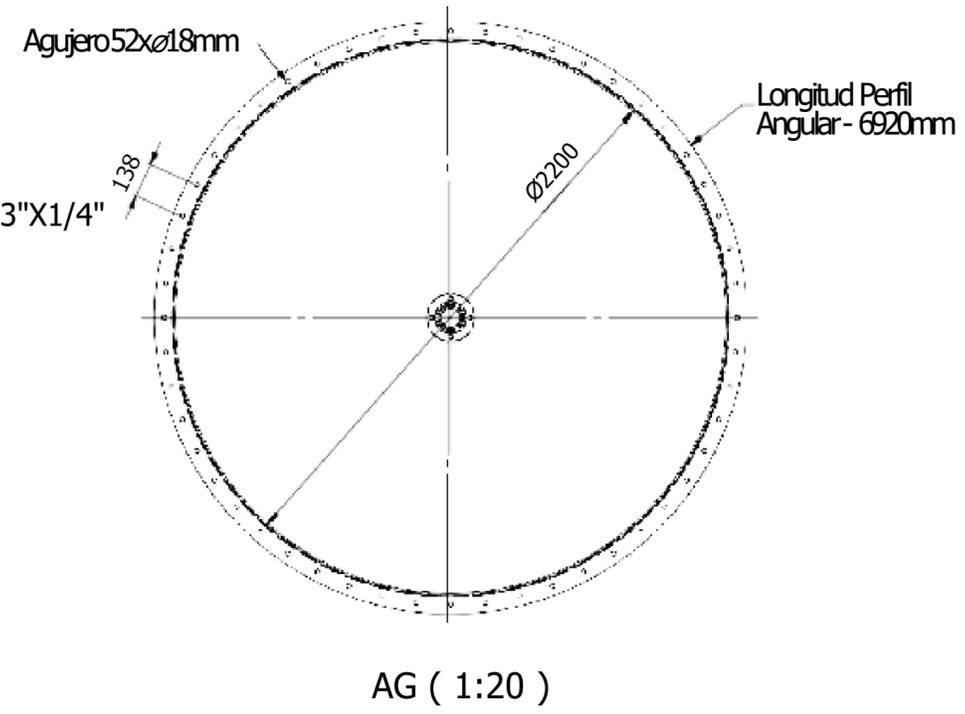
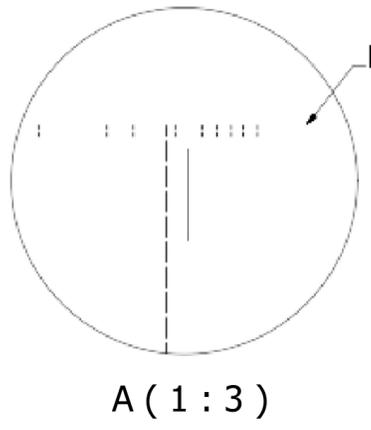
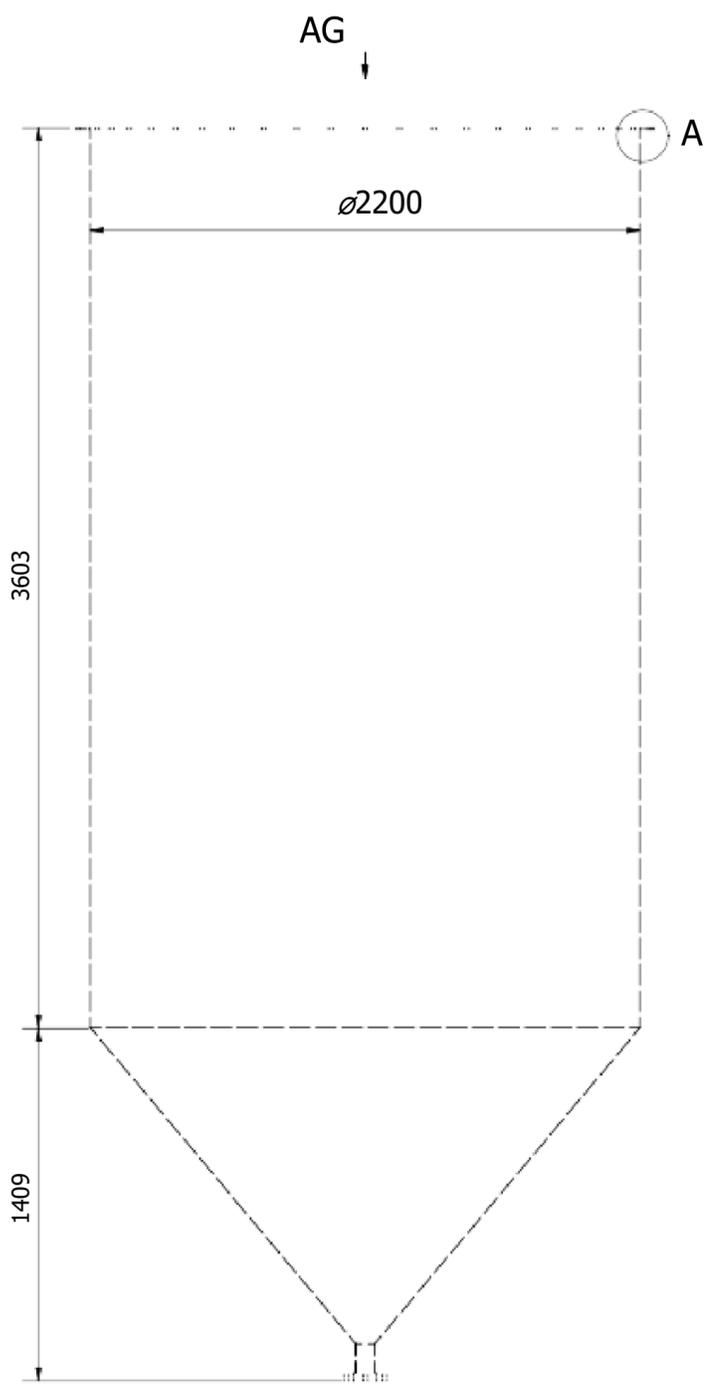


DET.D (1 : 10)



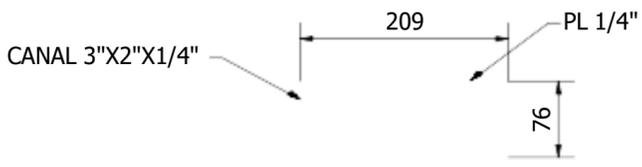
ISOMETRICO (1 : 25)

Dibujado por: S.Matalana	Aprobado por:	Fecha: JUNIO 2022
ESCALA:		Hoja: 10 / 2

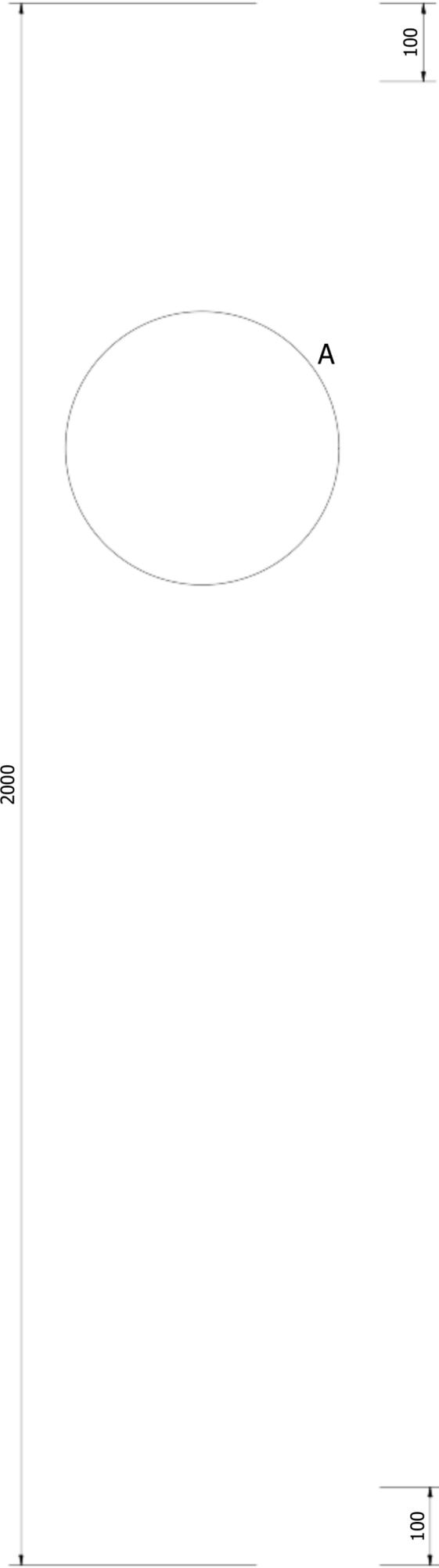


SOPORTE DE IZAJE

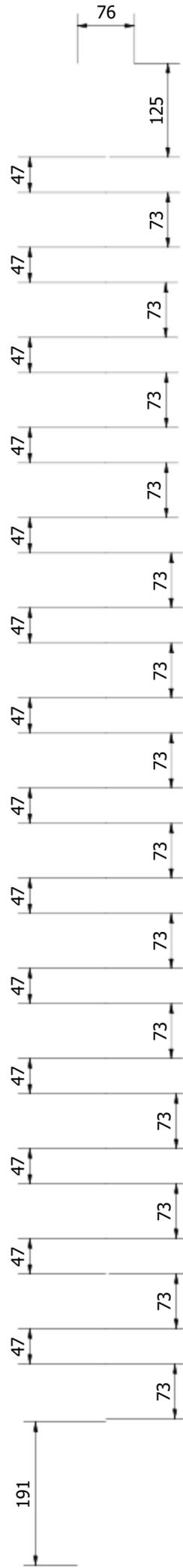
Dibujado por: S.Matalana	Aprobado por:	Fecha: JUNIO 2022	
ESCALA:	SOPORTERIA DE REACTOR 02		Hoja: 11 / 2



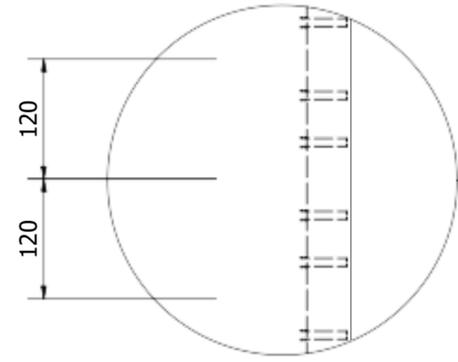
VISTA SUPERIOR (1:5)



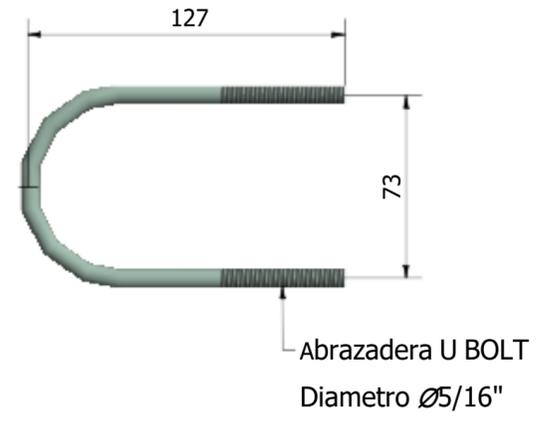
VISTA LATERAL (1:5)



VISTA FRONTAL (1:5)



DET.A (1:5)



TIPICO PARA SOPORTERIA

ESCALA:	Dibujado por: S.Matallana	Aprobado por:	Fecha: JUNIO 2022
ANCLAJE DE SERPENTIN 01			Hoja: 12 / 12