

Diseño de una marmita con una capacidad de 80 litros para la producción de yogurt

Daniel Prisciliano Imbett Ortega

Universidad Santo Tomás División De Ingenierías
Facultad De Ingeniería Mecánica Bogotá
2022

Diseño de una marmita con una capacidad de 80 litros para la producción de yogurt

Daniel Prisciliano Imbett Ortega

Johanny Franchesco Niño

**Universidad Santo Tomás División De Ingenierías
Facultad De Ingeniería Mecánica Bogotá
2022**

Dedicatoria

Le dedico este documento a mi familia, tanto a quienes están presentes físicamente, como a quienes ahora sólo viven en mi corazón y recuerdo, a ellos por ser el apoyo incondicional y mi mayor motivación, por ser mi soporte en los momentos más difíciles, porque siempre han estado presentes para alentarme a seguir adelante y conseguir mis metas, este triunfo se lo dedico especialmente a mis abuelos Carlos y Lilia, quienes brindaron su apoyo incondicional.

Agradecimientos

A mis Padres Santiago y Claudia por la permanente colaboración durante mi formación académica.

A Dios y la Virgen María, que iluminaron mi camino.

Agradezco a los docentes de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Santo Tomas de Bogotá, que permitieron mi formación académica.

A la Docente Johanny Franchesco, quien me asesoró con buena voluntad y optimismo para la culminación del presente trabajo.

A todas ellas y todos ellos ¡Muchas Gracias!

Resumen

En el presente trabajo se propone el diseño de un tanque de marmita pasteurizadora con una capacidad de 80 litros para yogurt, como una solución a la necesidad de aumentar la producción de yogurt artesanal para las empresas pequeñas del país. Para el diseño del tanque fue necesario estudiar el funcionamiento de los procesos de mezcla, agitación, las necesidades por parte de los operadores y de materia prima como lo es la leche. Después de determinar los parámetros de diseño, el dimensionamiento, los materiales y el diseño en detalle del tanque, se procedió con una simulación en el software de ingeniería CAD con el objetivo analizar el funcionamiento mecánico del equipo. Es importante resaltar que las simulaciones permiten analizar el comportamiento mecánico estructural de la marmita, basándose en condiciones reales de operatividad y así decretar las posibles deficiencias en el diseño y poder realizar cambios ya sea en materiales o en las dimensiones de los elementos con tal de reducir costos y tiempos para las empresas.

Palabras clave: Pasteurización, Simulaciones, Tanque de Marmita, Mezcla Yogurt.

Abstract

In the present work, the design of a pasteurizing kettle tank with a capacity of 80 liters for yogurt is proposed as a solution to the need to increase the production of artisan yogurt for small companies in the country. For the design of the tank, it was necessary to study the operation of the mixing and stirring processes, the needs of the operators and raw materials such as milk. After determining the design parameters, sizing, materials and detailed design of the tank, a simulation was carried out in SolidWorks engineering software with the objective of analyzing the mechanical operation of the equipment. It is important to highlight that the simulations allow performance tests to find deficiencies in the design and thus be able to make changes either in materials or in the dimensions of the elements in order to reduce costs and time for companies.

Keywords: Pasteurization, Simulations, Pot Tank, Yogurt Mix.

Tabla de Unidades:

bar unidad de presión

$^{\circ}\text{C}$ grados Celsius

d Diámetro

DCL Diagrama de cuerpo libre

Dt Diámetro estanque

Fr Número de Froude

g Aceleración de gravedad

H altura del fluido

HP Caballo de fuerza

J Ancho placa deflectora

kW kilowatt

m^3 metros cúbicos.

mm milímetros

mPa miliPascal

Mpa Mega Pascal

m/s metros sobre segundo

N Velocidad de rotación (rps)

Re Número de Reynolds

Nm Newton metros

Np Número de potencia

P Potencia

Pa s Pascal por segundos

pH medida de acidez o alcalinidad de una disolución.

rpm revoluciones por minuto

Sr Esfuerzo de ruptura

Sy Esfuerzo de fluencia

Tabla de contenido

Tabla de contenido

Dedicatoria.....	3
Agradecimientos.....	4
Resumen	5
Abstract.....	5
Tabla de Unidades:	7
Tabla de contenido.....	9
Tabla de contenido de figuras.....	16
Listado de tablas	18
1 Introducción	20
2 Justificación	22
3 CAPÍTULO I	23
3.1 Estado del arte.....	23
3.2 Objetivos	25
3.3 Objetivo General	25
3.3.1 Objetivos Específico	25

4	CAPÍTULO II	26
4.1	Marco teórico	26
4.1.1	Lácteos	26
4.1.2	Yogurt:	26
4.2	Bases Legales	27
4.2.1	Características dimensionales del producto	27
4.2.2	Norma AISI 304	28
4.2.3	Marmita	29
4.2.4	Características Generales.	29
4.2.5	Partes de una Marmita y su funcionamiento.	29
4.3	Tipos de Marmitas	31
4.3.1	Marmita volcable a vapor de línea	31
4.3.2	Marmita de Vapor con Chaqueta.	33
4.3.3	Marmita a Gas.	33
4.3.4	Marmita Industrial.	34
4.3.5	Marmitas Basculares.	34
4.4	Sistema de agitación	35
4.4.1	Agitador	36
4.4.2	Tipos de agitadores	36
4.5	Acero Inoxidable	37

5	CAPÍTULO III.....	38
5.1	Parámetros necesarios para la realización del diseño:	38
5.2	Especificaciones de ingeniería:.....	40
5.3	Metodología para el diseño experimental.	41
5.3.1	Requerimientos establecidos a analizar:	42
5.3.2	Relaciones entre requerimientos y especificaciones de ingeniería:	43
5.3.3	Determinación de los objetivos para el diseño:.....	44
5.3.4	Nivel de importancia de los objetivos a desarrollar:.....	45
5.4	Selección de alternativas de diseño:.....	45
5.5	Opciones y diseños preliminares.....	49
5.6	Selección de alternativas de diseño:	51
6	CAPÍTULO IV.....	54
6.2	Datos de entrada.....	54
6.2.1	Dimensiones del modelo.....	55
6.2.2	Volumen total del tanque	55
6.2.3	Diámetro de marmita	55
6.2.4	Radio de la marmita	55
6.2.5	Altura de marmita	56
6.2.6	<i>Fuerzas ejercidas sobre el tanque por el yogurt:</i>	<i>56</i>
6.2.7	Cámara de vapor:	57
6.3	Diseño sistema de agitación.....	59

6.4	Agitador	59
6.4.1	Agitador seleccionado.....	59
6.4.2	Longitud del brazo	60
6.4.3	Espesor agitador.....	60
6.4.4	Diámetro del rodete.....	60
6.4.5	Alto de la paleta	60
6.4.6	Distancia entre rejillas.....	60
6.4.7	Potencia del agitador.....	61
6.4.8	Cálculo de diámetro del eje del agitador.....	63
6.4.9	Cálculo potencia consumida	64
6.5	Parámetros de selección del motorreductor:	64
6.6	Cálculo flujo de calor	65
6.6.1	Datos necesarios para cálculos de transferencia de calor:	65
6.6.2	Calculo de energía necesaria para calentar la leche.....	66
6.6.3	Área exterior de transferencia de calor:	67
6.6.4	Cálculo de pérdidas de calor por radiación.....	67
6.6.5	Calculo de pérdidas de energía por tiempo de operación:	67
6.6.6	Energía requerida para el sistema:	67
6.7	Partes de la marmitta diseñada y su función:	68
6.8	Componentes necesarios para la construcción del equipo:	72

6.9	Modelado y simulaciones.	74
6.9.1	Modelado en SolidWorks:	74
6.9.2	Simulación en software CAD y FEM:	77
6.9.3	Cargas aplicadas a estructura con respecto al peso de la olla:	78
6.9.4	Factor de seguridad de la estructura obtenida en los soportes de la olla:	78
6.9.5	Esfuerzos resultantes de la estructura producida por las cargas en los soportes de la olla:	79
6.9.6	Deformaciones de la estructura producida por los soportes de la olla:	80
6.9.7	Esfuerzos resultantes en el agitador debido a la torsión:	81
6.9.8	Deformaciones obtenidas en el agitador debido a la torsión:	82
6.9.9	Factor de seguridad del agitador con respecto a la torsión:	83
6.9.10	Esfuerzos resultantes en la olla a condiciones de trabajo:	83
6.9.11	Esfuerzos resultantes en la estructura debido a la torsión:	86
6.9.12	Deformaciones producidas en la estructura debido a la torsión:	87
6.9.13	Esfuerzos generados en el eje superior y acople debido a la torsión:	88
6.9.14	Esfuerzos encontrados en los pasadores del acople debido a la torsión:	89
6.9.15	Deformación producida en el pasador debido a la torsión:	90
6.9.16	Deformación producida en el eje superior y acople debido a la torsión:	90
6.10	Observaciones de diseño:	91
6.10.1	Punta inferior del eje del agitador	91
	Propiedades del Nylon 66 :	92

6.10.2	Ángulos y esquinas de la olla en contacto con alimentos:.....	93
6.11	Análisis de soldadura	94
6.11.1	Soldadura a usar para el acero inoxidable ASI 304:.....	94
6.11.2	Punto crítico y característica de soldadura en la estructura:	95
6.11.3	Punto crítico y características de soldadura en la olla:	96
6.12	Juntas atornilladas	98
6.12.1	Junta atornillada del motorreductor	98
6.12.2	Características de los tornillos utilizados en la junta del motorreductor:	99
6.12.3	Comprobación y análisis de tornillos escogidos:.....	100
6.13	Comprobación de resistencia a la fatiga en los ejes diseñados:	101
6.13.1	Ejes de soportes de la olla:.....	101
6.13.2	Ejes del agitador	102
8	CAPÍTULO V	104
8.1	Selección de accesorios necesarios para el sistema.	104
8.2	Nivel de agua dentro de la olla enchaquetada:.....	104
8.3	Válvula de bola.	105
8.4	Válvula de descarga de presión.....	106
8.5	Quemadores de gas propano.	107
8.6	Chumaceras.....	108
9	Conclusiones	110
10	Bibliografía	111

Tabla de contenido de figuras

Figura 1. Partes de una Marmita Industrial. Tomado de (Maquinaria Utilizada en Industria	31
Figura 2. Marmitas volcables. Tomado de (Camaño Zamorano Gloria Gabriela, 2008).....	32
Figura 3 Marmita a vapor. Tomado de (StuDocu, 2018)	33
Figura 4 Marmita industrial. Tomado de (Gustavo Rivera Hernández, 2008).....	34
Figura 5 Tipos de agitadores (Linkindustrial, 2011)	36
Figura 6. Requerimientos establecidos, comparados con las especificaciones de ingeniería.	42
Figura 7 Relación e importancia entre las especificaciones de ingeniería. Autoría propia.	43
Figura 8. Relación de especificaciones de ingeniería y target. Autoría propia	44
Figura 9 Target y grado de importancia en los requerimientos. Autoría propia.....	45
Figura 10 Opciones de diseño de una marmita fija. Autoría propia.	49
Figura 11 Marmita eléctrica de volteo... (Grupo Reimse , 2021).....	50
Figura 12 Marmita eléctrica en diferentes vistas. (Grupo Reimse , 2021)	51
Figura 13 Alternativas de diseño seleccionadas. Autoría propia.....	52
Figura 14 Eficiencia de juntas soldadas para cálculos de recipientes a presión. Tomado de (Rodríguez, 2008).....	58
Figura 15. Comportamiento de clases de agitadores con respecto al número de Reynolds y número de potencia. Tomado de (Diseño de Homogeneizadoras,2015).	62
Figura 16 Catálogo de motores eléctricos...obtenido de (Weg, 2021)	65
Figura 17 Partes de la marmita diseñada. Autoría propia.....	68
Figura 18 Partes y accesorios de la marmita diseñada. Autoría propia.....	69
Figura 19 Renderizado de la selección obtenida. Autoría propia.	74
Figura 20 Modelado marmita completa, vista isométrica. Autoría propia.	75

Figura 21 Vista frontal del modelado. Autoría propia.....	76
Figura 22 Propiedades del acero inoxidable a304 para el análisis.	77
Figura 23 Contorno de aplicación de fuerza en la estructura. Autoría propia.	78
Figura 24 Factor de seguridad obtenido en la estructura. Autoría propia	79
Figura 25 Diagrama de esfuerzos máximos ejercidos sobre la estructura. Autoría propia.	80
Figura 26 Diagrama de deformación de la estructura debido al producto y accesorios.	81
Figura 27 Diagrama de esfuerzos sobre el agitador generados por el yogurt. Autoría propia.	82
Figura 28 Diagrama de deformación máxima del agitador producida por el yogurt. Autoría	82
Figura 29 Factor de seguridad del agitador debido a la resistencia del yogurt. Autoría	83
Figura 30 Diagrama de esfuerzos encontrados en la olla externa debido a la presión de la cámara de vapor. Autoría propia.....	84
Figura 31 Diagrama de esfuerzos en los ejes de que soportan la olla. Autoría propia. Autoría.....	85
Figura 32 Factor de seguridad de la olla. Autoría propia	86
Figura 33 Diagrama de esfuerzo generador por torsión en la estructura. Autoría propia.....	87
Figura 34 Diagrama de Deformación por carga de torsión generada por resistencia del.....	88
Figura 35 Diagrama de esfuerzo en eje, buje y pasador debido a la torsión. Autoría propia.....	89
Figura 36 Diagrama de esfuerzo máximo en el pasador debido al esfuerzo de torsión. Autoría	89
Figura 37 Diagrama de deformación del pasador debido al esfuerzo de torsión. Autoría	90
Figura 38 Diagrama de deformación del conjunto de acople del agitador. Autoría propia.....	91
Figura 39 Punta inferior del agitador. Autoría propia. Autoría propia.....	92
Figura 40 Vista de corte de la olla de la marmita, borde inferior de olla interna redondeada. Autoría propia.....	94
Figura 41 Características de la soldadura para el acero a 304. Tomado de (Ingemecanica ,	95
Figura 42 Análisis de cordones de soldadura en puntos críticos. Autoría propia.....	96
Figura 43 Análisis de cordón de soldadura en punto crítico de la olla. Autoría propia.	97
Figura 44 Análisis del cordón de soldadura en puntos críticos de la olla. Autoría propia	98

Figura 45 Junta atornillada entre motorreductor y estructura. Autoría propia.	99
Figura 46 Valores nominales de esfuerzos para tornillos. Tomado de (Ingemecanica, 2021)	99
Figura 47 Dimensiones nominales de tornillos milimétrico M8. Tomado de (S.L).....	100
Figura 48 Factor de seguridad para la unión atornillada. Autoría propia	101
Figura 49 Análisis de fatiga en soportes de la olla. Autoría propia.....	102
Figura 50 Análisis de fatiga por cargas de torsión. Autoría propia	103
Figura 51 Indicador tubular. Tomado de (Industrias FRANKO, 2021)	105
Figura 52 Rango de trabajo válvulas de bola. Tomado de (Parker fluid conector , 2021)	106
Figura 53 Puestas de válvula de alivio. Tomado de (suministros en metrologia , 2021).....	107
Figura 54 Quemador de gas propano. Tomado de (Proyectar comfer, 2021)	108
Figura 55 Selección de chumacera. Tomado de (SKF, 2021)	109

Listado de tablas

Tabla 1. Parámetros iniciales para el diseño. Autoría propia.	42
Tabla 2. Alternativas de diseño de la marmita. Autoría propia	45
Tabla 3. Recursos necesarios para el diseño de la marmita. Autoría propia.	50
Tabla 4. Selección del tipo de rejillas de palas inclinadas. Autoría propia.	53

Tabla 5. Componentes necesarios para la construcción el equipo. Autoría propia.	60
---	----

1 Introducción

En el presente trabajo se propone el diseño y la simulación de un tanque de marmita pasteurizadora, es decir, un recipiente de tamaño industrial para calentar, cocinar, mezclar y almacenar grandes cantidades de fragmentos de yogurt artesanal. Esta marmita se diseña con un tamaño para 80 litros que es la capacidad media que requieren las micro empresas de donde la información fue obtenida mediante consulta directa con las mismas, esto como fin de aumentar la producción de yogurt artesanal para las empresas pequeñas del país. Lo anterior es una consecuencia debido al alto consumo que este tipo de producto tiene en la canasta familiar colombiana de acuerdo con la red de información y comunicación del sector agropecuario de Colombia. Según ellos para el 2018 este mercado había tenido un crecimiento de 35,7% moviendo más de \$918 mil millones (Agronet, 2018).

A partir de lo anterior en el siguiente documento se encontrarán cinco capítulos. Para el primer capítulo se presentará el estado del arte, el planteamiento problema, el objetivo general y los objetivos específicos. En el segundo capítulo podrá encontrar el marco teórico, las bases legales y enfoque teórico que se tuvieron en cuenta para poder llevar a cabo este proyecto, para el tercer capítulo se presentan metodologías de selección de alternativas de diseño tenidas en cuenta para la máquina, obteniendo el mejor diseño posible para las pequeñas empresas a quien va dirigido, en el cuarto capítulo se dan a conocer los resultados obtenidos producto de los cálculos para desarrollar la solución que mejor se adapte a las microempresas dedicadas a la producción de lácteos, en el quinto capítulo se encontrara una selección de accesorios y/o componentes recomendados para el funcionamiento de la marmita.

Esencialmente se realiza el diseño de la marmita con el fin de ayudar a las microempresas colombianas de producción de yogurt que deseen invertir en un diseño y construcción de una marmita que les brinde la posibilidad de crecer y posicionarse en el mercado de lácteos a nivel

nacional y por medio de este proyecto puedan tener una guía para llevar a cabo dicha construcción y puesta en marcha.

2 Justificación

Las microempresas productoras de yogurt, están produciendo alrededor de 80 litros semanales acorde a la información recolectada directamente con los fabricantes de este producto (llamadas telefónicas, etc), siendo esta una producción muy baja y amenazante al bienestar de las empresas debido a la baja rentabilidad que genera con respecto a los costos de producción y sostenibilidad de la empresa. Esta baja en la producción de yogurt está generando que los clientes se sientan insatisfechos por la falta de producto lo cual no está cumpliendo con las expectativas del sector por ende las microempresas, al invertir en una marmita con las características mencionadas generaría un aproximado de 320 litros semanales de yogurt permitiendo conservar su sabor original, sin tener costos elevados por la utilización de esta máquina. Al tener dicha producción, no solo se satisface la totalidad de sus clientes y distribuidores, sino que también, podrá tener mejores utilidades.

La inversión de las microempresas para la obtención de la marmita, tendrá un impacto realmente positivo en la empresa, ya que la máquina está diseñada exclusivamente para la producción de este producto (yogurt), donde reducirá costos, con mayor facilidad de producción del producto dejando mayores ganancias para la empresa.

3 CAPÍTULO I

3.1 Estado del arte

Las marmitas son **recipientes de tamaño** industrial para calentar, cocinar, mezclar y almacenar grandes cantidades de fragmentos como sopas, salsas y conservas. El calor de los alimentos procesados se puede generar desde el exterior mediante vapor, utilizando propano, gas natural o una resistencia eléctrica. La mayoría de estos recipientes, vienen con accesorios y funciones opcionales, que mejoran el desempeño de aplicaciones específicas, como agitadores, cálculos de descarga, soportes para bandejas e incluso grifos mezcladores (Exhibir Equipos, 2019). Al nivel mundial, en España se tienen algunos ejemplos, como el caldero de Cabárceno hacia el año 900 a.C. Este es una de las obras más simbólicas de la historia primitiva de Cantabria. Debido a la patente implementada por el zaragozano José Alix Martínez en 1919, no fue hasta el siglo XX cuando los hervidores domésticos comenzaron a popularizarse en las cocinas de todo el mundo. Seis años después, en el año 1925, Martínez cedió la patente al valenciano Camilo Bellvis Calatayud y continúan fabricando enormes ollas de expreso para militares y grandes colectividades. (Expomaquinaria, 2018).

En América Latina, existen diferentes empresas que utilizan las marmitas la producción de mermeladas, jaleas, zumos, salsas, aderezos, etc. Por ejemplo, la empresa Ecopacific S.A se dedica en la elaboración y comercialización de jugos naturales, manejando entre sus técnicas de fabricación la marmita para procesos de pasteurización, calentamiento y cocción de estos productos (Barrionuevo, 2016).

Por otra parte, las empresas Cleveland Range y Unified Brands (Groen) son los principales líderes en innovación y producción de marmitas auto generadoras de vapor en Estados Unidos. Cada asociación brinda modelos de marmitas de vapor directo y marmitas auto generadoras tanto en versión eléctrica, como a gas (Moreno, 2015).

Ahora bien, en Colombia, existen varias empresas metalmecánicas y fabricantes de equipos para cocina que producen y comercializan principalmente marmitas de vapor directo y algunos modelos a gas, entre las que se pueden destacar las siguientes: Industrial Taylor, Gitalsa, Joserrago, MGC & Cia, Pallomaro, Gas y Gas. Algunas de estas empresas son distribuidoras de marmitas y otros equipos de cocción de grandes fabricantes norteamericanos como Groen y Cleveland Range, o de fabricantes europeos como Fagor (Moreno, 2015).

Por el contrario, otras organizaciones han desarrollado sus propias versiones de marmitas auto generadoras de vapor, que comercializan a partir de USD 5 000 (Moreno 2015) dependiendo del tamaño y propiedades especiales. Sin embargo, generalmente no se ha encontrado que dentro de su documentación se incluyan parámetros de manejo energético (como, por ejemplo: eficiencia energética, o tiempo de calentamiento) que hayan sido medidas bajo procedimientos normalizados. Dichos límites son necesarios para brindar fiabilidad en el proceso de selección garantizando un manejo energético que optimice los precios de operación (Moreno, 2015).

Actualmente las microempresas están generando el aproximado de 80 litros de yogurt semanales, siendo una baja producción con respecto a la demanda del producto y sería causada por el déficit de equipos especializados para la fabricación del yogurt artesanal en cantidad. Además de la baja producción, representaría la dificultad para las empresas en el momento de posicionarse en el mercado. Esta dificultad, en generar una mayor producción y rentabilidad, produciría a su vez

sobrecostos y pérdidas económicas para las partes interesadas, así mismo, desarrollaría clientes insatisfechos provocando pérdidas en las ganancias netas y la posibilidad de llegar a la quiebra.

Ante esta problemática una solución planteada está en adquirir equipos especializados y que se ajusten a las necesidades en la producción del yogurt como lo sería una marmita. Esta máquina es parte fundamental de una fábrica productora de lácteos ya que abarca en su totalidad el proceso de producción de yogurt y ayudaría a satisfacer las necesidades tanto de los clientes como de las empresas, generando así un aproximado de 320 litros semanales de producto que a su vez proyectaría mayor rentabilidad, permitiendo conservar su sabor original y sin tener sobrecostos por el uso del equipo.

3.2 Objetivos

3.3 Objetivo General

Diseñar una marmita con la capacidad de 80 litros para la producción de yogurt.

3.3.1 Objetivos Específico

- Determinar los parámetros necesarios para el diseño de una marmita con capacidad de 80 litros.
- Realizar el diseño en detalle de la marmita teniendo en cuenta los parámetros establecidos.
- Validar el funcionamiento mecánico de la marmita mediante simulaciones obtenidas por software de elementos finitos.

4 CAPÍTULO II

4.1 Marco teórico

4.1.1 Lácteos

La leche es una de las primordiales fuentes de calcio, que junto con la vitamina D y la lactosa, beneficia una absorción mucho mejor. A su vez, el Código Alimentario Español (CAE), define la leche como un “producto completo, no alterado, ni adulterado y sin calostros, obtenido del ordeño higiénico de las hembras domésticas sanas y bien alimentadas”. Sus derivados son perecederos y tienen que conservarse refrigerados. Por esa razón, es fundamental que se mantenga la cadena de frío hasta que el producto llega al consumidor final. (Merino, 2014)

4.1.2 Yogurt:

A partir de un criterio normativo, el yogurt es un producto lácteo que se recibe de la fermentación de microorganismos específicos de la leche, que tienen la posibilidad de ser *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* viables, activos y numerosos en el producto. El yogurt es una fuente importante de proteínas de alta calidad, fáciles de digerir y con numerosos aminoácidos fundamentales. Además, las proteínas contenidas en el yogurt se digieren con más facilidad que las de la leche común. Esto se podría deber al proceso de fermentación, que las descompone en fracciones más pequeñas. Las proteínas de alta calidad del yogurt generan una saciedad duradera. (Yogurt Nutrition, 2011)

4.2 Bases Legales

4.2.1 Características dimensionales del producto

La verificación de las dimensiones debe efectuarse con los instrumentos (reglas, micrómetros, nonios, pie de rey y demás instrumentos de medición) que posean la precisión y exactitud requeridas para las dimensiones a determinar. Los instrumentos de medición deben estar debidamente calibrados por laboratorios acreditados y/o certificados por la Superintendencia. (República de Colombia Ministerio de Defensa Nacional, 2007, pág. 11)

4.2.2 Norma AISI 304

Acero inoxidable auténtico al cromo-níquel con bajo contenido de carbono, resistente a la corrosión intercrystalina hasta 300°C. Resiste al efecto corrosivo del medio ambiente, vapor, agua y ácidos, así como de soluciones alcalinas si se emplea con la superficie pulida espejo. (DIPAC , 2018).

4.2.3 Marmita

Una marmita es una olla de metal cubierta con una tapa que queda plenamente ajustada. Se usa principalmente a grado industrial para procesar alimentos nutritivos, mermeladas, jaleas, chocolate, dulces, confites, carnes, bocadillos, salsas, etcétera. Además, sirven en la industria química farmacéutica (banrepcultural, 2017)

Por lo tanto, las cocinas de los restaurantes y de las colectividades usan unas marmitas de tal capacidad, inclusive de 100 y 500 litros, que llevan en una la base un grifo de vaciado. Las marmitas son usualmente de barro, de hierro colado, de acero inoxidable, de aluminio o de cobre estañado. Aun cuando además se las conoce por otros nombres, a las altas además se les llaman pucheros y las bajas cazuelas. (Trujillo, 2009)

4.2.4 Características Generales.

- Capacidad depende de la cantidad a industrializar.
- Fabricadas de acero inoxidable calidad 304 a 316.
- Diseño de fácil mantenimiento.
- Ajustable a temperatura.
- Puede ser fija o de volteo.

4.2.5 Partes de una Marmita y su funcionamiento.

En la figura 2 se encuentran ubicadas algunas de las partes principales de la marmita u olla de presión, para su correcto funcionamiento:

- | | |
|--------------------------|------------------------------|
| ➤ Cámara de Cocción. (1) | ➤ Cámara de Combustión. (4) |
| ➤ Cámara de Vapor. (2) | ➤ Cámara de Aislamiento. (5) |
| ➤ Agua. (3) | |

- Chimenea de Gases Quemados. (6)
- Visor de la Cámara de Combustión. (7)
- Quemador. (8)
- Bisagra. (9)
- Manija. (10)
- Tubo y Válvula de Drenaje. (11)
- Tapa. (12)
- Caja de Controles. (13)
- Control de Nivel (Visor). (14)
- Base Niveladora. (15)

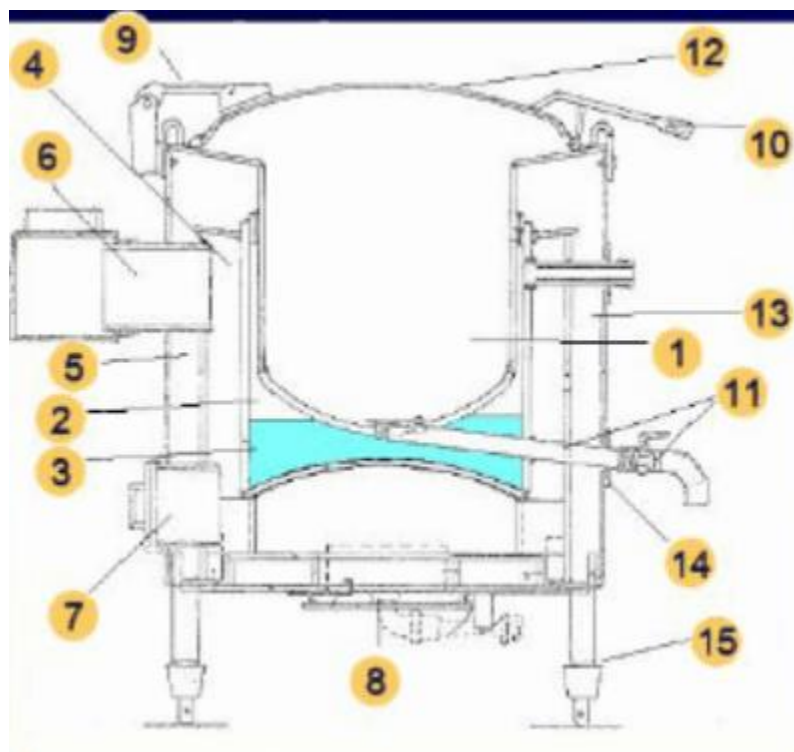


Figura 1. Partes de una Marmita Industrial. Tomado de (Maquinaria Utilizada en Industria Láctea, 2019)

4.3 Tipos de Marmitas.

Dependiendo de sus componentes existen diferentes tipos de marmitas que se utiliza dentro de la industria, los cuales se describen a continuación.

4.3.1 *Marmita volcable a vapor de línea*

Hoy en día la aplicación de la manufactura en el área de la industria alimenticia es una de las necesidades primordiales teniendo varias aplicaciones. Como por ejemplo la marmita volcable de vapor en línea, que es un equipo imprescindible para la cocción de alimentos en grandes cantidades. (Camaño Zamorano Gloria Gabriela, 2008)



Figura 2. Marmitas volcables. Tomado de (Camaño Zamorano Gloria Gabriela, 2008)

4.3.2 Marmita de Vapor con Chaqueta.

Radica fundamentalmente en una cámara de calentamiento famosa como camisa o chaqueta de vapor, que circunda el recipiente donde se sitúa el material que se quiere calentar. El calentamiento se puede hacer de 2 maneras diferentes, una que se apoya en hacer circular el vapor a cierta presión por la cámara de calefacción, en cuyo caso el vapor es suministrado por una caldera. (StuDocu, 2018)



Figura 3 Marmita a vapor. Tomado de (StuDocu, 2018)

4.3.3 Marmita a Gas.

Las Marmitas a gas llevan quemador tipo atmosférico, automático, con sistema de estabilidad de llama, encendido electrónico y ducto para la retirada de gases. Integran controles de presión y como complementos extras consta de un sistema de agitación: a partir de 20 hasta 180 rpm, un sistema de volcamiento para descarga de material y controles como son: Manómetros, válvula de estabilidad y registros para drenaje. Está construida en acero inoxidable tiene menor pérdida de temperatura por un mejor aislamiento corporal de la marmita (Gustavo Rivera Hernández, 2008).

4.3.4 Marmita Industrial.

Marmita redonda para fundir que tiene un crisol de acero inoxidable (calibre 18) y casco (calibre 20) que permite el aseo del mismo. Se puede escoger el modelo de 6 o el de 12 cuartos de galón. Incluye un soporte para montaje de banco ajustable y para trabajo pesado que se acomoda a cualquier persona de ambos tamaños. El control de la temperatura dual posibilita una temperatura sin dependencia para la olla (0-350°) y para la válvula (1-10°). (Gustavo Rivera Hernández, 2008)



Figura 4 Marmita industrial. Tomado de (Gustavo Rivera Hernández, 2008)

4.3.5 Marmitas Basculares.

Esta marmita está suspendida entre 2 columnas y puede bloquearse en la postura deseada de manera hidráulica. La cuba bascula de forma bastante uniforme, sin golpes. Debido a la boca de vertido de gran tamaño, puede vaciarse el contenido de manera cómoda y sin derrames y tiene una capacidad de 300 a 2.000 litros. (Gustavo Rivera Hernández, 2008)

- **Ventajas.**

- Mayor y más rápido tiempo de cocción.
- Presentan mayor efectividad en bajas alturas ya que ahorran tiempo y combustible.
- El uso de grandes presiones y temperaturas hacen de la marmita un instrumento esterilizador de alimentos.
- Brinda homogeneidad en la distribución de la temperatura al producto, pues están previstas de un agitador.

- **Desventajas.**

- El uso de marmita requiere de gran precaución y de personal capacitado.
- Deben revisarse las instrucciones de la marmita a utilizar.
- Requiere de atención a factores como; asegurar antes de su uso, que las válvulas y el regulado no estén obstruidos.
- Una pieza dañada o mal puesta puede causar accidentes fatales en el lugar de trabajo.

4.4 Sistema de agitación

Según un estudio sobre las marmitas realizada por la UNAD (Universidad nacional abierta y a distancia) (2010), La agitación es la operación unitaria que pretende un movimiento rápido con gran turbulencia para lograr un numero de Reynolds alto con el fin de aumentar la transferencia de calor.

4.4.1 Agitador

El agitador es una parte esencial en las marmitas para producción de yogurt ya que son dispositivos rotativos que son usados en mayor parte para homogenizarmezclas que se encuentran en un recipiente. El tipo de agitador se selecciona de acuerdo a la viscosidad del fluido a homogenizar. (Linkindustrial,2011)

4.4.2 Tipos de agitadores

Los agitadores se clasifican según el tipo de corriente, flujo axial son los que generan corrientes paralelas al eje del agitador y los de flujo radial son los que dan origen a corrientestangenciales al eje del agitador, en la siguiente figura se dan a conocer los diferentes tipos de agitadores que se pueden encontrar en la industria. (Linkindustrial, 2011)

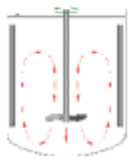
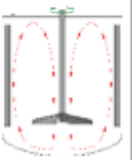
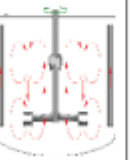
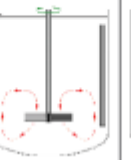
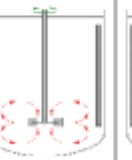
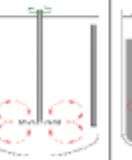
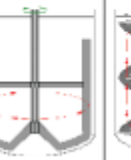
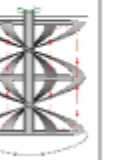
Denominación Denomination	Hélice Propeller	Hidrofoil Hydrofoil	Versafoil Versafoil	Turbina axial Pitched blade turbine	Turbina radial Radial turbine	Cowles Disperser disc	Ancora Anchor	Cinta helicoidal Helical ribbon
Proporciones geométricas standard Standard Geometries								

Figura 5 Tipos de agitadores (Linkindustrial, 2011)

4.5 Acero Inoxidable

El acero inoxidable es en esencia un acero de bajo carbono, el cual tiene un mínimo de alrededor de 10 % de cromo en peso. Este es, puesto que, uno de los más grandes avances tecnológicos en la narración de la metalurgia: el hallazgo del realmente limpio acero inoxidable. El proceso de construcción inicia con la fusión de hierro, chatarra y ferroaleaciones de consenso al nivel de acero inoxidable a elaborar; continúa con la refinación del acero para remover impurezas y minimizar el contenido de carbono; después el acero líquido se cuela en constante, se corta en 20 planchones y están formados los rollos rolados en caliente. El proceso termina con el molino de laminación en gélido, recocido y limpieza (Grasso Flores, S.L., 2017).

5 CAPÍTULO III

5.1 Parámetros necesarios para la realización del diseño:

La marmita se diseñará para las empresas que estén dedicadas únicamente a la fabricación de yogurt, lo cual está basado el diseño de este proyecto, directamente dirigido a empresas de baja a mediana productividad.

Dichas alternativas estarán basadas en los requerimientos adquiridos por los estudios realizados a las microempresas, determinando un estándar de productividad y necesidades para empresas productorasde yogurt.

Por ende, la marmita a diseñar deberá cumplir con los siguientes parámetros.

Parámetro	Justificación
Capacidad de producto	Se requiere una marmita con una capacidad de 80 litros, basados en micro empresas de producción de yogurt.
Bajo costo	Debe ser de bajo costo debido a que las posibles empresas que requieran este diseño, son de baja producción, y posiblemente de bajos recursos.
Para producción de yogurt	La marmita debe tener todas las cualidades, que garanticen en sus funciones la producción de yogurt.
Obtención de calor por medio de gas	Se determina este fluido como el principal para el funcionamiento, debidoa que es el más común.
Transferencia de calor interno por vapor de agua	Para la producción de yogur, la transferencia de calor por vapor de agua es suficiente y de bajo costo, siendo así la mejor opción para este diseño.
Fácil operatividad	De esta forma, operadores con poca capacitación podrán utilizar la máquina.

Durabilidad de mecanismos	Garantiza buen rendimiento al pasar del tiempo de operatividad.
Fácil desarme	Hace fácil la movilización de la máquina y futuros cambios de repuestos y mantenimiento.
Estructura resistente	Debe ser resistente debido al motor del agitador requerido para la producción de yogur, dándole firmeza y confiabilidad a la máquina

Tabla 1 Parámetros iniciales para el diseño. Autoría propia.

- **Volumen de la marmita:** 80 litros + una tolerancia para evitar rebosamiento
- **Materiales:** Acero inoxidable 304 -316 ya que es el material estándar en la maquinaria para la industria de alimentos además de ser comercial.
- Sera de volteo para facilitar el empaque del producto
- Tendrá un agitador que homogenizará la mezcla mientras se realiza el proceso de cocción, el tipo de agitador se seleccionará en los próximos capítulos de acuerdo a la viscosidad del fluido.
- **Fácil mantenimiento:** Se debe garantizar la inocuidad del producto es decir debe de ser desarmable para su correcta limpieza.
- **Modo de calentamiento:** Vapor de agua ya que es de bajo costo en comparación a otros modos.
- **Cocción:** La temperatura a la cual se calentará la mezcla debe de ser la misma en toda la superficie ya que de esto dependerá la calidad del producto.
- **Costo:** La marmita debe de adaptarse al presupuesto de las microempresas.

5.2 Especificaciones de ingeniería:

Se tiene en cuenta una serie de parámetros necesarios para el diseño de la marmita, desde el punto de vista ingenieril, estos parámetros ayudaran a tener en cuenta puntos de vista que van más allá de los requerimientos establecidos por las microempresas, por ende se tuvo en cuenta lo siguiente:

- **Ergonomía:** se debe realzar una marmita, la cual sea de fácil y cómoda operatividad para

los operadores de esta máquina, incrementando la comodidad operador-máquina.

- **Materiales:** se debe tener en cuenta el uso de buenos materiales para aumentar la vida útil de la marmita, dándole mucho tiempo de operatividad a la misma.
- **Método de agitación:** buen método de agitación del yogurt para lograr la homogeneización estimada por las empresas y aumentando su calidad de producto.
- **Peso:** optimizar el buen uso de la cantidad de materiales, reduciendo el peso de la marmita, haciendo así más fácil la transportación de la misma.
- **Resistencia:** buen diseño de las partes utilizadas en la marmita para garantizar la resistencia y durabilidad de la misma.
- **Fácil ensamble:** elaborar diseños los cuales sean de fácil arme y desarme debido a futuros mantenimientos y/o transporte de la marmita, reduciendo el esfuerzo de quien esté realizando el proceso.
- **Seguridad:** se debe tener en cuenta la seguridad de los operadores de la marmita, donde la alternativa de diseño deberá ser segura para el mismo, evitando poner en riesgo el operador de posibles accidentes de operatividad.

5.3 Metodología para el diseño experimental.

Se determina por medio de QFD (Quality Function Deployment), los objetivos necesarios para la realización del óptimo diseño de la marmita de acuerdo a los requerimientos establecidos por las pequeñas empresas, teniendo en cuenta las especificaciones de ingeniería plasmadas a continuación.

5.3.1 Requerimientos establecidos a analizar:

Por medio del QFD se realiza la comparación de los requerimientos de las empresas con respecto a las especificaciones de ingeniería como se muestra a continuación:

Relative Weight	Customer Importance	Maximum Relationship	Customer Requirements (Explicit and Implicit)	Direction of Improvement						
				▲	▲	◇	▼	▲	▲	▲
			Functional Requirements	ergonomía	materiales	agitación de producto	peso	resistencia	facil ensamble	seguridad
16%	10	3	capacidad de 80L	▼		○	○	▼		
8%	5	9	bajo costo	▼	●	○	○	●		▼
16%	10	9	para producción de yogurt		▼	●	○			
11%	7	3	obtención de calor por medio de gas						▼	○
11%	7	3	funcionamiento a través de vapor de agua				▼	▼		○
10%	6	3	facil operatividad	○	▼	▼				○
11%	7	9	durabilidad de mecanismos	○	●	▼	▼	●		○
6%	4	9	facil desarme	▼		▼			●	▼
10%	6	9	estructura resistente	▼	●	○	○	●		●

Figura 6. Requerimientos establecidos, comparados con las especificaciones de ingeniería.
Autoría propia

5.3.2 Relaciones entre requerimientos y especificaciones de ingeniería:

Se determinan las relaciones existentes entre los requerimientos y especificaciones de ingeniería, y se realiza una evaluación de los mismos.

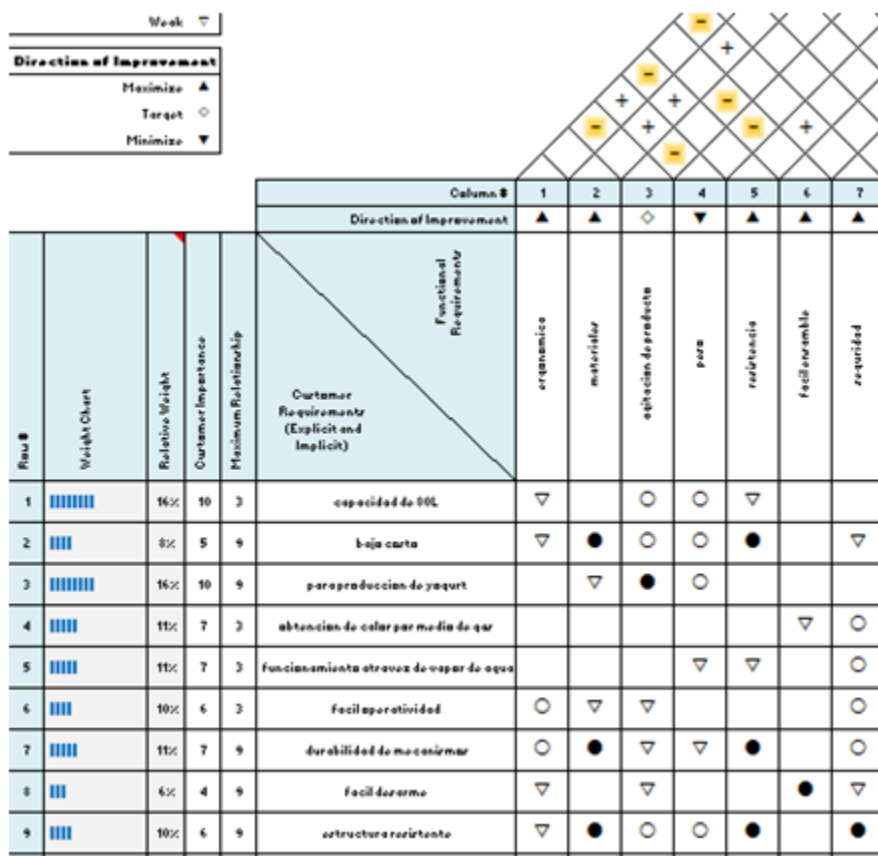


Figura 7 Relación e importancia entre las especificaciones de ingeniería. Autoría propia.

5.3.3 Determinación de los objetivos para el diseño:

Determinación del target con respecto a las especificaciones de ingeniería teniendo en cuenta los valores obtenidos por la evaluación.

Direction of Improvement											
					Column 8						
					1	2	3	4	5	6	7
					Direction of Improvement	▲	▲	○	▼	▲	▲
Row #	Weight Class	Relative Weight	Customer Importance	Must-have Reliability	Functional Requirements Customer Requirements (Explicit and Implicit)	Functional Requirements					
						requirements	subfunctions	subfunctions of products	parts	reliability	ease of assembly
1		100	10	5	capacidad de ERL	○		○	○	○	
2		80	5	5	hago nada	○	●	○	○	●	
3		100	10	5	para produccion de vapor		○	●	○		
4		100	2	5	alturas de agua por medio de gas					○	○
5		100	2	5	manejamiento de agua de vapor de agua				○	○	○
6		100	5	5	facil operabilidad	○	○	○			○
7		100	2	5	durabilidad de mantenimiento		●	○	○	●	○
8		80	4	5	facil de usar	○	○	○		●	○
9		100	5	5	calentamiento controlado	○	●	○	○	●	○
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
Target						facil de operar	subfunciones en subfunciones	subfunciones en subfunciones de	subfunciones de	subfunciones de	subfunciones de
						subfunciones en subfunciones	subfunciones en subfunciones de	subfunciones de	subfunciones de	subfunciones de	subfunciones de
						subfunciones en subfunciones de	subfunciones en subfunciones de	subfunciones de	subfunciones de	subfunciones de	subfunciones de
						subfunciones en subfunciones de	subfunciones en subfunciones de	subfunciones de	subfunciones de	subfunciones de	subfunciones de
						subfunciones en subfunciones de	subfunciones en subfunciones de	subfunciones de	subfunciones de	subfunciones de	subfunciones de
						subfunciones en subfunciones de	subfunciones en subfunciones de	subfunciones de	subfunciones de	subfunciones de	subfunciones de
						subfunciones en subfunciones de	subfunciones en subfunciones de	subfunciones de	subfunciones de	subfunciones de	subfunciones de

Figura 8. Relación de especificaciones de ingeniería y target. Autoría propia

5.3.4 Nivel de importancia de los objetivos a desarrollar:

En la siguiente figura se puede observar como la comprobación de la resistencia de los materiales tiene un grado de importancia muy alto, al igual que la realización de un sistema de agitación para el yogurt.

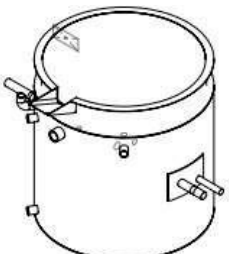
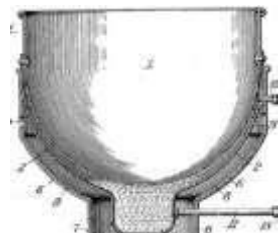
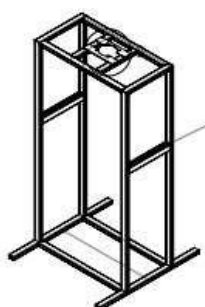
Target	facil de operar	materiales en cntacto con alimentos	motor para agitacion de producto	disminucion de materiales	comprobacion de resistencia de los materiales usados	buen diseño de piezas a usar	buena calidad de materiales
Max Relationship	3	9	9	3	9	9	9
Technical Importance Rating	103,23	287,1	274,19	172,58	288,71	69,355	232,26
Relative Weight	7%	20%	19%	12%	20%	5%	16%
Weight Chart							

Figura 9 Target y grado de importancia en los requerimientos. Autoría propia

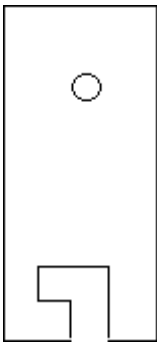
5.4 Selección de alternativas de diseño:

Se determinan algunas alternativas las cuales cumplen con los requerimientos establecidos, entre estas se seleccionan las más destacadas como se presenta en la siguiente tabla, donde se realizara una calificación de cada una basándose en los requerimientos establecidos por las pequeñas empresas y las especificaciones de ingeniería:

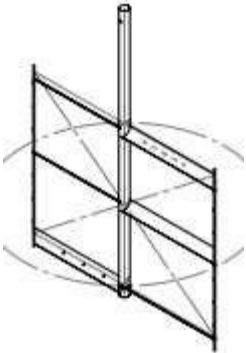
La calificación será de 0-10, donde 0 es la calificación más baja y 10 la calificación más alta.

Geometría de la olla		
		
La geometría cilíndrica, se considera de fácil construcción, con un muy bajo desperdicio de material, por lo cual se elige esta geometría. Calificación 8/10	La opción esférica no es de fácil fabricación y permite gran exposición del producto, no se selecciona este tipo de geometría. Calificación 7/10	
Geometría de la estructura:		
		
Se considera la geometría con más cantidad de material para su realización, pero la más estable debido a las necesidades requeridas inicialmente para el diseño. Calificación 7/10	Es una estructura cumple con los requerimientos establecidos por las micro empresas pero debido a su estructura es inestable. calificación 6/10	Esta alternativa es la menos adecuada debido a que por su estructura la implementación del motorreductor y/o agitador calificación 4/10

Selección de acople de agitador

		
Unión tipo brida: Es de difícil extracción para el ensamble y desensamble. Calificación 5/10	Unión tipo inserción con pin: Este tipo de unión es muy práctica, pero debido a su diseño, se generan esfuerzos que disminuyen drásticamente la durabilidad. Calificación 7/10	Unión por pines en buje corredizo, se considera un fácil acople, necesario para los procesos requeridos, teniendo como resultado alta durabilidad. Calificación 8/10

Selección de alternativas de aspas del agitador:

		
Mezclador sencillo tipo aspas, este agitador genera una turbulencia en el fluido desde la parte superior como inferior, garantizando un buen batido. Calificación 8/10	Mezclador sencillo tipo ancla, este agitador genera una turbulencia en el fluido desde la parte superior como inferior, garantizando un buen batido. Calificación 7/10	Mezclador tipo ancla con rompe grumos, este agitador genera buena turbulencia en el yogurt, pero eleva los gastos de manera considerable. Calificación 6/10

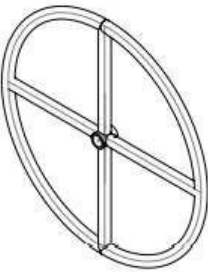
Soportes para la olla		
		
Soporte por buje, utilizar este tipo de soporte genera mucho desgaste por fricción. Calificación 8/10	Soporte por chumacera tipo pedestal. Calificación 9/10	Soporte chumacera tipo pared. Calificación 8/10
Mecanismo de volteo de la olla para la descarga del producto (yogurt)		
		
Las cargas pueden ser ligeramente menores dependiendo la distancia del brazo al pivote, pero es más propenso a accidentes. Calificación 8/10	Este diseño es más duradero y rígido. Calificación 9/10	

Tabla 2 Alternativas de diseño de la marmita. Autoría propia

5.5 Opciones y diseños preliminares.

Marmita fija atornillada, esta marmita muestra una clara inestabilidad de la misma debido a la estructura donde esta soportada la olla y el motorreductor. Cuenta con un sistema de descargue por medio de tuberías y válvulas, lo cual permite el acumulamiento de residuos de yogur que pueden llegar a contaminar el producto y reducir la calidad del mismo. Ver (figura 10).



Figura 10 Opciones de diseño de una marmita fija. Autoría propia.

Marmita eléctrica con volteo, usa mecanismos dentro de la olla donde está depositado el producto, donde puede llegar a contaminarse debido a fricción o residuos de procesos anteriores debido a que esas partes pueden acumular suciedad, se considera un diseño compacto, pero genera dificultades en la limpieza, ver (Figura 11 y 12).

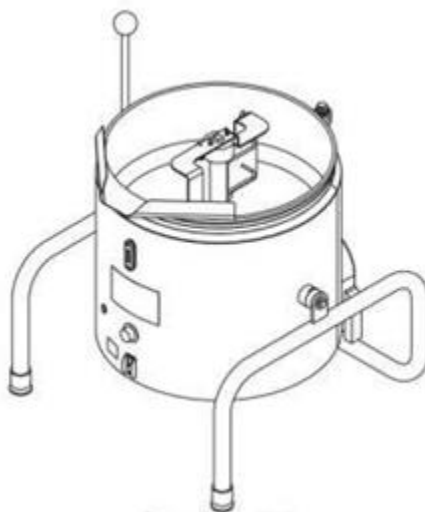


Figura 11 Marmita eléctrica de volteo... (Grupo Reimse , 2021)

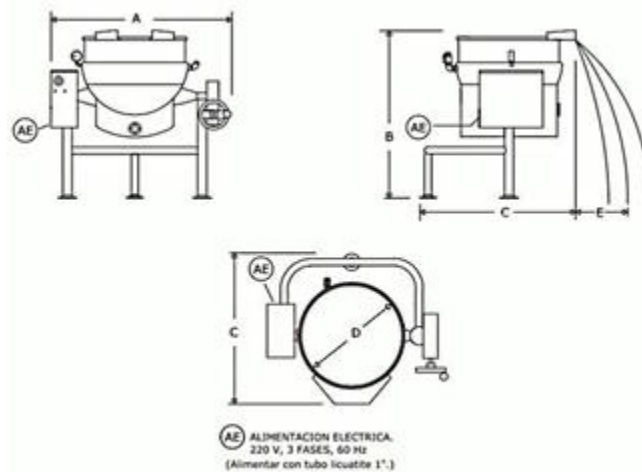


Figura 12 Marmita eléctrica en diferentes vistas. (Grupo Reimse , 2021)

5.6 Selección de alternativas de diseño:

Se determina como mejor opción de diseño una marmita de autogeneración de vapor por medio de gas, donde la cámara de vapor será calentada por medio de un quemador de gas propano.

Para el posicionamiento del motor, reductor y marmita se hace necesario una estructura que soporte en la parte superior el sistema motriz del agitador y que soporte el peso de la olla más el peso de la mezcla.

Esta estructura no puede ser de forma circular ya que se hace difícil la instalación y posicionamiento de rodamientos, soportes y bridas del sistema, por eso se elige un perfil rectangular para facilidad en la construcción. Esta selección de alternativas está basada en la disminución de costos posibles teniendo en cuenta los parámetros establecidos.

Se determina el conjunto de alternativas que cumplan con todos los requerimientos establecidos por las pequeñas empresas productoras de yogurt, las especificaciones de ingeniería y los objetivos de diseño establecidos anteriormente.

De acuerdo con lo anterior, se realiza una selección de alternativas de la tabla 2, las cuales es la siguiente:

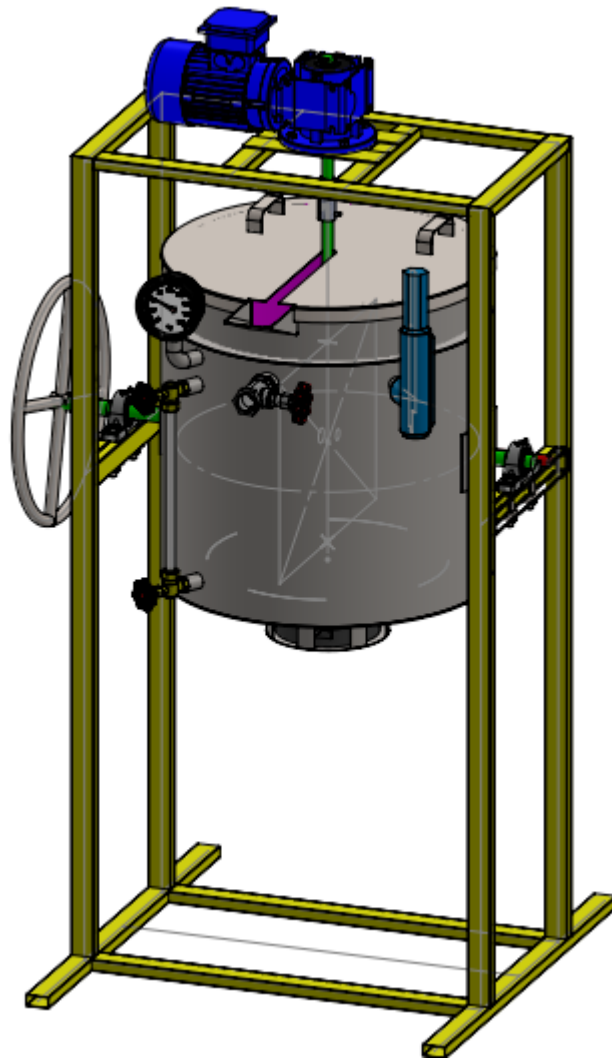


Figura 13 Alternativas de diseño seleccionadas. Autoría propia

6 CAPÍTULO IV

6.1 Diseño en detalle

En el siguiente apartado se expondrán los lineamientos necesarios para el dimensionamiento y el diseño mecánico de la marmita

6.2 Datos de entrada

Para la realización del dimensionamiento de la marmita se tienen los siguientes datos iniciales:

Variable	Valor	Unidades
Viscosidad máxima del fluido	0,85	Kg/m*s
Densidad máxima del fluido	1240	Kg/m ³
Fluido de agitación	Yogurt	Fluido
Presión del entorno	1,1	atm
Temperatura del entorno	30	°C
Esfuerzo de fluencia del acero inox 304	227,5	Mpa
Esfuerzo de ruptura acero inox 304	558,49	Mpa
Volumen requerido	80	L
Presión de cámara de vapor	40	Psi

Tabla 3. Datos iniciales del sistema. Tomado de (agropecuaria, 2015) (steel, 2012)

6.2.1 Dimensiones del modelo

Para evitar el rebose del yogurt se plantea un volumen adicional que no supera el 25% del valor nominal, en este caso será de 20 Litros.

$$X = Vn * 0.25$$

$$X = (80L)(0.25) = 20L$$

$$X = \text{Volumen adicional}, \quad Va = \text{Volumen nominal}, \quad Fs = \text{Factor de control}$$

6.2.2 Volumen total del tanque

$$Vt = Vn + X$$

$$Vt = 80L + 20L = 100L$$

$$Vt = \text{Volumen total}, \quad Va = \text{Volumen nominal}, \quad X = \text{Volumen tanque}$$

6.2.3 Diámetro de marmita

Se propone según el valor total del volumen del tanque, se usará un valor de 500 mm

6.2.4 Radio de la marmita

$$R = \frac{\phi_{in}}{2} = \frac{0.50m}{2} = 0.25m$$

6.2.5 Altura de marmita

$$h = \frac{Vt}{\pi R^2} = \frac{0,1 \text{ m}^3}{(0,25^2 \text{ m}^2)} = 0,509 \text{ m}$$

h = Altura del recipiente, Vt = Volumen total de la marmita, R = Radio de la marmita

6.2.6 Fuerzas ejercidas sobre el tanque por el yogurt:

Se calculara la fuerza ejercida por el yogurt al recipiente interno de la marmita teniendo en cuenta que la cantidad de yogurt son 80 litros. Teniendo en cuenta que la densidad del yogurt es de 1240 kilogramos sobre metro cubico.

Primero se determinara la masa del yogurt:

$$\rho = m / V$$

$$m = \rho * V$$

Dónde:

m : masa

ρ : densidad

V : volumen

$$m = 1240 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,08 \text{ m}^3 = 99,2 \text{ Kg}$$

Donde se multiplica la masa por la gravedad y resultaría un valor de:

$$\text{peso} = m * g$$

$$\text{peso} = 99,2 \text{ Kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 972,16 \text{ N}$$

6.2.7 Cámara de vapor:

Teniendo en cuenta los procesos de producción de la empresa MEFYM de la ciudad de Bogotá, la cual es fabricante de marmitas se tienen en cuenta las siguientes condiciones de operatividad para la cámara de vapor. (Ltda, 2019)

- Presión de la cámara de vapor de 40 psi.
- Distancia entre chaqueta u olla exterior y olla interior, 2 cm.
- Capacidad del 80 % de agua en la chaqueta.

Se realiza el cálculo del espesor mínimo de pared, para la presión requerida, de acuerdo a las normas ASME para recipientes a presión. (ASME, 2018):

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0.6P}$$

Dónde:

P = presión

S = esfuerzo fluencia en caliente del acero 304 (Steel, 2015)

E = eficiencia de junta

R = radio interior

t = espesor de pared

La eficiencia de la junta se determina con la siguiente imagen, para una junta de soldadura simple, por un solo lado:

EFICIENCIA DE SOLDADURAS VALORES DE "E"		NORMAS		
TIPOS DE UNIONES NORMA UW-12		EFICIENCIA DE LA UNION CUANDO LA JUNTA ESTA RADIOGRAFIADA		
		AL 100 %	POR PUNTOS	SIN
	SOLDADURA A TOPE UNIDA CON SOLDADURA POR AMBOS LADOS, O BIEN POR OTRO METODO CON LO CUAL SE OBTENGA LA MISMA CALIDAD DEL METAL DE APORTE EN AMBOS LADOS DE LA SUPERFICIE SOLDADA. SI SE USA LA SOLERA DE RESPALDO, DEBERA QUITARSE DESPUES DE APLICAR LA SOLDADURA Y ANTES DE RADIOGRAFIAR.	1.00	0.85	0.70
	SOLDADURA SIMPLE A TOPE CON SOLERA DE RESPALDO LA CUAL PERMANECERA EN EL INTERIOR DEL RECIPIENTE.	0.90	0.80	0.65
	UNION SIMPLE POR UN SOLO LADO SIN SOLERA DE RESPALDO	---	---	0.60
	UNION TRASLAPADA CON DOBLE FILETE	---	---	0.55
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO Y TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.50
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO SIN TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.45

Figura 14 Eficiencia de juntas soldadas para cálculos de recipientes a presión. Tomado de (Rodríguez, 2008)

$$t = \frac{40 \text{ psi} * 10,83 \text{ in}}{(21320,5 \text{ psi} * 0,6) - (0,6 * 40 \text{ psi})}$$

$$t = 0,0339 \text{ in}$$

Se obtiene que el espesor necesario para soportar la presión de 40 psi es muy bajo, por tal motivo el espesor de la lámina se determina de acuerdo a los esfuerzos generados por el peso de los materiales y del producto.

6.3 Diseño sistema de agitación

Se define la utilización de un agitador tipo rejilla de palas inclinadas ya que el fluido es de alta viscosidad y tenemos que garantizar que la mezcla sea homogénea para el aumento de la temperatura en el fluido.

Este tipo de agitador es uno de los más económicos para su construcción, esto comparado con los agitadores de tipo turbina, universal o hélice.

Para los cálculos del sistema se define una velocidad de 60rpm esto con el fin de obtener un fluido que no se acerque a la zona turbulenta.

Para la estructura que va a soportar todos los elementos se define el acero inoxidable como material principal ya que es el material que están contruidos los equipos para alimentos.

6.4 Agitador

6.4.1 Agitador seleccionado

De acuerdo con la calificación en las alternativas de diseño, la mejor opción para una marmita cilíndrica sería un agitador tipo rejillas para el proceso de producción de yogurt, teniendo una calificación de 8/10 como mejor opción de diseño.

Descripción	Estructura de malla	Flujo generado= Axial y radial
	6 palas inclinadas	Régimen= Turbulento y transición
	Angulo de inclinación 45°	

Tabla 4. Selección del tipo de rejillas de palas inclinadas. Autoría propia.

$$V_{tang} = 3 - 15 \frac{m}{s}$$

$$\mu_{medio} = \text{Hasta } 20 \text{ Pa} \cdot s$$

$$X_{rodete} = 0.2 - 0.5m \text{ alejado de la pared de la marmita}$$

6.4.2 Longitud del brazo

$$L_b = \frac{5}{8} \phi_{in} = 0.344m$$

6.4.3 Espesor agitador

$$Esp = \frac{1}{10} L_b = 0.0344m$$

6.4.4 Diámetro del rodete

$$\phi_{rod} = \frac{3}{4} \phi_{in} = 0.413m$$

6.4.5 Alto de la paleta

$$A_p = \frac{1}{5} L_b = 0.0688m$$

6.4.6 Distancia entre rejillas

$$x_p = \frac{L_b}{4} = 0.086m$$

6.4.7 Potencia del agitador

NUMERO DE REYNOLDS

$$Nr = \frac{\phi d^2 * N * \rho}{\mu} = \frac{(0.48m)^2 * (60 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{min}}{60 s}) * 1240 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0.85 \frac{\text{Kg}}{\text{m} * \text{s}}} = 336.11$$

(Diseño de Homogeneizadoras, 2015)

$N =$ velocidad de rotación [rpm]

$d =$ diámetro del agitador [m]

$\rho =$ densidad del fluido [kg/m³]

$\mu =$ viscosidad [Pa · s]

Donde

Re < 10 es régimen laminar

10 < Re < 10,000 es régimen de transición

Re > 10,000 es régimen turbulento

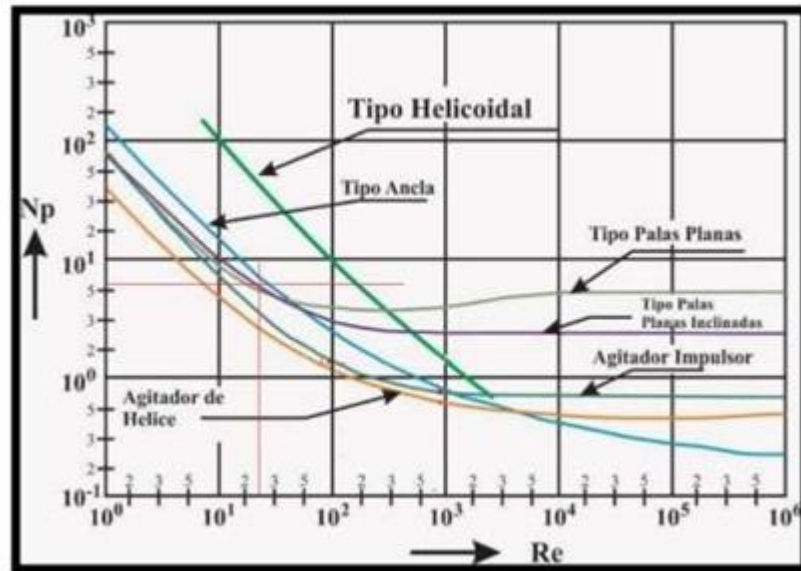


Figura 15. Comportamiento de clases de agitadores con respecto al número de Reynolds y número de potencia. Tomado de (Diseño de Homogeneizadoras,2015).

Donde encontramos que el $N_p=6$ y reemplazamos en la ecuación.

$$P = \left(\frac{N_p \rho}{g_c} \right) (\rho * N^3 * \phi^5)$$

$$P = \left(\frac{6}{1} \right) \left(1240 * \left(60 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{min}}{60 \text{ s}} \right)^3 * 0.48^5 \right)$$

$$\mathbf{P = 189,57W = 0,2542hp}$$

$$F_s = 0.15P = 189,57W + 15\% = 218 \text{ Watts} = 0.2923hp$$

Dónde:

N_p = Numero de potencia obtenida

N = velocidad de rotación [rps]

d = diámetro del agitador [m]

ρ = densidad del fluido [kg/m³]

$$\mu = \text{viscosidad [Pa} \cdot \text{s]}$$

6.4.8 Cálculo de diámetro del eje del agitador

$$D^3 = \frac{16}{\pi t d} \sqrt{(kst)^2 + \left(\frac{1FD}{8}\right)^2}$$

Se utiliza acero inoxidable 304 que presenta las siguientes características

-Esfuerzo a la fluencia (Sy)=227.5 Mpa

-Esfuerzo a la ruptura (Sr)=558.4 Mpa

td=0.3 Sy=68.25 Mpa ; td=0.18Sr=100.51Mpa

Se utiliza el menor valor

68.25*(0.75)=51.19Mpa

Valores del coeficiente del momento flector (Ks) y momento torsor (Km) para la carga ligera,

Ks=1,5-2

Km=1-1,5

$$\text{torque} = \frac{7162000 * (0,20)}{50} = 28648(N - mm)$$

$$D^3 = \frac{16}{\pi 51,19} \sqrt{(2 * 28648)^2 + \left(\frac{1 * 60,7D}{8}\right)^2} = 16,005474mm$$

Teniendo en cuenta el diámetro obtenido, se escoge un eje con el valor siguiente del diámetro de $\frac{3}{4}$ " de acero inoxidable 304.

6.4.9 Cálculo potencia consumida

Considerando una eficiencia del motor cercano al 82% y con valor de pérdidas por fricción del 40%

$$P = \frac{0,2923 * 1,40}{0,82} = 0,499hp$$

6.5 Parámetros de selección del motorreductor:

- Potencia requerida de 0,5 Hp
- Velocidad de 60 rpm
- Apta para ser automatizada
- Cumplir con la norma internacional de uso en maquinaria de uso alimenticio



Figura 16 Catálogo de motores eléctricos...obtenido de (Weg, 2021)

6.6 Cálculo flujo de calor

6.6.1 Datos necesarios para cálculos de transferencia de calor:

Los datos requeridos para la realización de los cálculos, son aportados en su totalidad por las tablas encontradas de propiedades del libro de termodinámica. (Çengel, sexta edición)

- **Producto (yogurt):**

Volumen= 90 litros

Calor específico de la leche = 3,79 KJ/Kg*°K

Masa= 82,4k

- **Lamina de acero inoxidable 304:**

Masa= 14,22 Kg

Calor especifico= 0,477 KJ/Kg°K

- **Cámara de vapor de agua:**

Presión= 40 psi

Temperatura= 130,58 °C

Calor especifico del vapor de agua = 1,872 KJ/Kg°K

Masa= 9,38 Kg siendo la masa de 9,38 litros del agua que se encuentra en la cámara de vapor.

6.6.2 *Calculo de energía necesaria para calentar la leche.*

Energía necesaria para calentar la leche a 90°C

$$\sum E = (mcp\Delta T)_{\text{leche}} + 2(mcp\Delta T)_{\text{acero}} + (mcp\Delta T)_{\text{vap}}$$

Dónde:

$\sum E$ = sumatoria de las energías del sistema.

C_p = calor especifico

M = masa

ΔT = variación de la temperatura

$$\sum E = ((82,4\text{kg} * 3,79 \text{ kJ kg}^\circ\text{K}) + 2(14,22\text{kg} * 0,477 \text{ kJ kg}^\circ\text{K}) + (9,38\text{kg} * 1,872 \text{ kJ kg}^\circ\text{K}))(90 - 20)$$

$$\sum E = 24039,48 \text{ kJ}$$

Para convertir KJ a KW-h se realiza la operación la cual 1kW-h equivale a 3.6×10^3 kJ

$$\sum E = 6,677 \text{ KW} - h$$

6.6.3 Área exterior de transferencia de calor:

$$A = 2\pi rh = 2(0,55)(0,46) = 1,58m^2$$

6.6.4 Cálculo de pérdidas de calor por radiación.

$$Q_{rad} = \varepsilon A \sigma (T_s^4 - T_{\infty}^4)$$

Dónde:

Q_{rad} = transferencia de calor por radiación

ε = emisividad = 0,17

A = área de transferencia de calor

σ = constante de Stefan- boltzmann= $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$

T_s = temperatura del yogurt

T_{∞} = temperatura ambiente.

$$Q_{rad} = ((0.17)(1,58)m^2 (5.67 \times 10^{-8}) \text{ W } m^2 ^\circ K^4)((90 + 273,15)^4 - (30 + 273,15)^4) ^\circ K^4$$

$$Q_{rad} = 136,24W$$

6.6.5 Calculo de pérdidas de energía por tiempo de operación:

$$E_{perdida} = 136,24 \frac{J}{s} * 600 s$$

$$E_{perdida} = 81,74KJ$$

Donde convertimos la energía de KJ a KW-h

$$E_{perdida} = 0,023 \text{ KW} - h$$

6.6.6 Energía requerida para el sistema:

Se realiza la sumatoria de la energía requerida y las pérdidas de energía

$$E_{total} = 6,7 \text{ KW} - h$$

6.7 Partes de la marmita diseñada y su función:

Cada parte de la marmita es esencial para el buen funcionamiento de la misma, el conocimiento de esta máquina es esencial para su buena operatividad, a continuación se presentara cada componente de la marmita diseñada y su función en la misma:

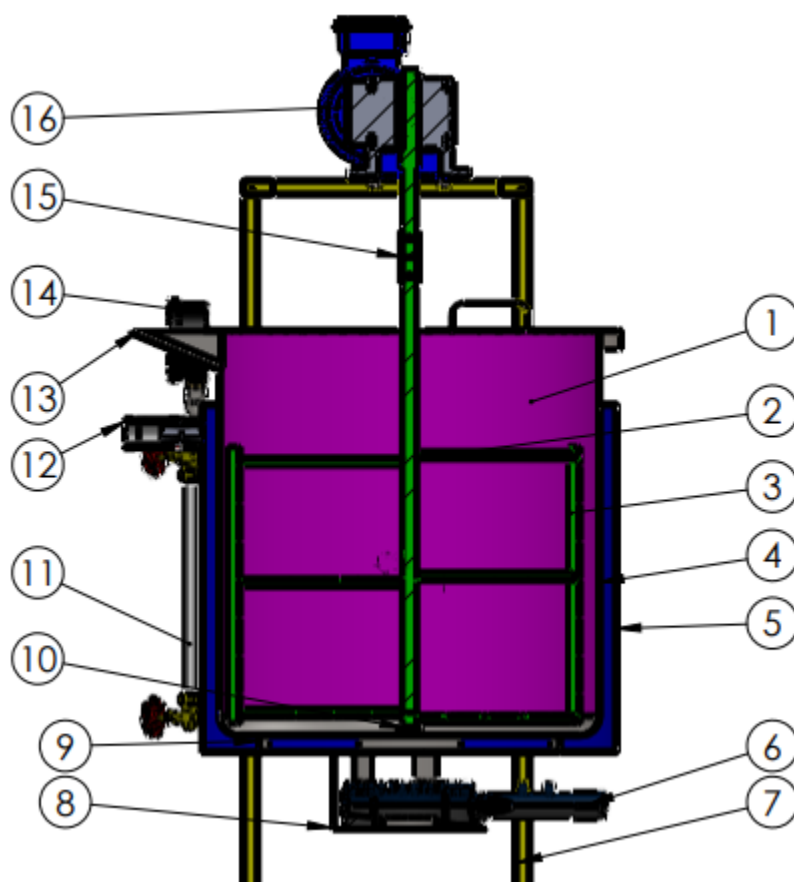


Figura 17 Partes de la marmita diseñada. Autoría propia.

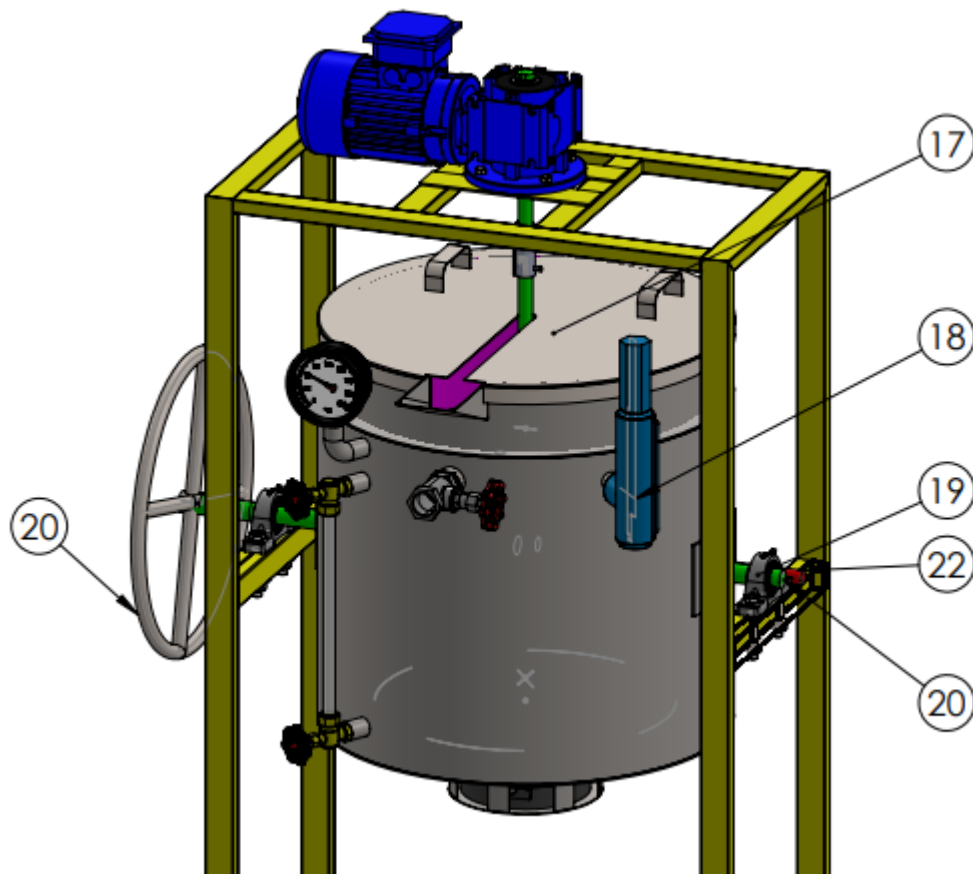


Figura 18 Partes y accesorios de la marmita diseñada. Autoría propia

- (1) **Olla interna de la marmita:** es la encargada de almacenar el producto (en este caso el yogurt) para la cocción del mismo.
- (2) **Eje del sistema de agitación:** conduce el torque generado por el motorreductor hasta las aspas.
- (3) **Agitador:** es el encargado de revolver el producto y hacer que se obtenga una cocción homogénea. Este tipo de agitador se conoce como agitador por aspas en marmitas.
- (4) **Cámara de cocción:** es la encargada de distribuir el calor a lo largo de la cámara, calentando la olla interna de manera homogénea, en esta cámara se añadirá agua, la cual se

convertirá en vapor, el cual es calentado con el quemador de la parte inferior de la marmita, donde se calienta a la temperatura necesaria para la correcta cocción del yogurt.

- (5) **Placa externa de la cámara de vapor:** esta capa es la encargada de recibir el calor generado por el quemador conducirlo hasta el agua de la cámara de vapor.
- (6) **Quemador:** es el encargado de convertir el gas en calor haciendo así posible todo el proceso de cocción de la marmita.
- (7) **Estructura de la marmita:** es una estructura metálica de tubo rectangular, el cual soporta todos los componentes de la marmita y haciéndola estable a la hora de la operación de la misma.
- (8) **Soporte del quemador:** manera de fijarlo en la parte inferior de la marmita.
- (9) **Soportes de la cámara de vapor:** hacen que la estructura de la cámara de vapor sea más rígida, debido a las presiones encontradas en la misma y el peso del yogurt.
- (10) **soporte inferior del agitador:** es un buje soldador en la parte inferior el cual contiene un componente del nylon donde se soporta el agitador, haciendo que este opere de una manera estable, evitando algún tipo de traslación del mismo.
- (11) **Visualizador tubular:** es el encargado de hacer que el operador revise el nivel del agua de la cámara de cocción al inicio y durante el proceso de operatividad de la marmita.

- (12) **Válvula de inserción y drenado del agua de la cámara de vapor:** esta válvula es la encargada de permitir tanto el drenado como el llenado de agua en la cámara de vapor, donde el drenado de esta agua se debe realizar con la olla en posición de descargue del producto con la ayuda del volante de descargue.
- (13) **Boquilla de descargue del producto:** esta boquilla es utilizada para el descargue del yogurt, permitiendo un descargue controlado y evitando derrames o desperdicio del mismo.
- (14) **Barómetro:** muestra la cantidad de presión generada en la cámara de vapor.
- (15) **Acople del eje del agitador:** cumple como función la sujeción y transmisión rotativa del motorreductor hacia el agitador.
- (16) **Motorreductor:** es un componente eléctrico y mecánico encargado de generar el torque y las revoluciones necesarias requeridas para el sistema de agitación del yogurt.
- (17) **Tapa superior de la olla interna:** es la encargada de conservar el calor del yogurt en el proceso de elaboración, también permite la protección del mismo ante contaminantes externos y los posibles derrames producidos por el agitador.
- (18) **Válvula reguladora de presión:** cumple como objetivo no dejar permitir que la cámara de vapor exceda las presiones para la cual fue diseñada, regulando así las presiones en dicha cámara y evitando accidentes.

- (19) **Chumacera tipo pedestal:** soporta el peso de la marmita y sus componentes y al mismo tiempo permite la rotación de la misma, haciendo posible la descarga del yogurt y el drenado del agua de la cámara de vapor.
- (20) **Volante de descargue:** es el encargado de inclinar de manera gradual y segura la olla marmita para hacer posible el descargue del yogurt.
- (21) **Eje pivote (verde):** es el encargado de soportar el peso de la olla y sus componentes, también es el punto de giro de la olla de la marmita.
- (22) **Eje tope (rojo):** cumple como función la estabilidad de la marmita en su estado de operación, permitiendo que esta permanezca inmóvil.

6.8 Componentes necesarios para la construcción del equipo:

A continuación, la tabla 6 presenta la descripción de los materiales, la cantidad, el costo y el calor total que tendrían los materiales a emplearse para la construcción de la marmita a partir de los cálculos teóricos obtenidos en la sección previa.

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Tubo rectangular de Acero Inoxidable 304 (20mm × 40mm × 1.2mm) Tramo × 6m	2	\$170.411	\$340.822
Lámina en acero inoxidable 304 Calibre 16 o 1,5mm Lámina 4 × 8 (1220mm × 2440mm)	1	\$760.831	\$760.831
Eje de 19,05mm o 3/4" en acero inoxidable Tramo x 6m	1	\$222.311	\$222.311
Motorreductor monofasico de 1/2 Hp MOD YYGL7134	1	\$2.150.000,00	\$2.150.000
Chumacera de acero Ø1"	2	\$37.500	\$75.000
Proceso de rolado de lámina calibre 16"	2	\$35.000	\$70.000
Proceso de torno para acoples y bujes	2	\$50.000	\$100.000
Proceso de rolado de barra 3/4"	1	\$25.000	\$25.000
Proceso de corte láser	1	\$75.500	\$75.500
Tornillería	8	\$1.500	\$12.000
Acoples de mezclador	1	\$35.000	\$35.000
Acoples y mangueras de red gas	1	\$60.000	\$60.000
Quemador industrial	1	\$50.000	\$50.000
Corte y ensamble con soldadura	1	\$380.000	\$380.000
Válvula de bola	1	\$75.000	\$75.000
Total			\$ 4'430.964

Tabla 5. Componentes necesarios para la construcción el equipo. Autoría propia.

6.9 Modelado y simulaciones.

Se realiza un renderizado de la marmita para un avistamiento previo.



Figura 19 Renderizado de la selección obtenida. Autoría propia.

6.9.1 Modelado en SolidWorks:

Modelado de marmita con los parámetros necesarios para la fabricación de yogurt (figura 20 y 21).

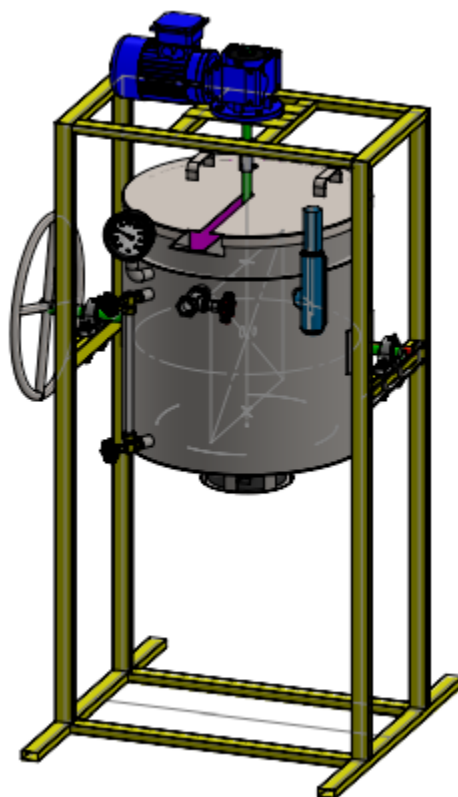


Figura 20 Modelado marmita completa, vista isométrica. Autoría propia.

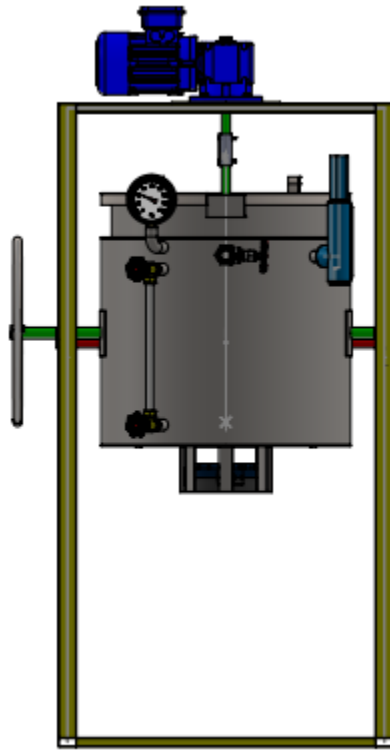


Figura 21 Vista frontal del modelado. Autoría propia.

6.9.2 Simulación en software CAD y FEM:

Se realiza simulaciones obteniendo deformaciones y esfuerzos basados en condiciones reales de trabajo, teniendo en cuenta factores de seguridad para la determinación de las características de los componentes de la marmita, a su vez, realizando un análisis de soldadura y fatiga en dichos componentes que así lo requieran. En los componentes en los que centramos este tipo de estudio, será:

- Olla de la marmita
- Estructura de la marmita
- Agitador del producto
- Acople del agitador
- Pasador del acople del agitador

Se determinan los materiales a usar para el análisis de elementos finitos, en este caso se utilizara el acero inoxidable 304.



Properties of Stainless Steel 304		Value	Unit
1	Material (Full Name)	Stainless Steel 304	
2	Density	7980	kg/m³
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
5	Isotropic Coefficient		
10	Tensile Yield Strength	2.05E+08	Pa
11	Compressive Yield Strength	2.05E+08	Pa
16	Tensile Ultimate Strength	5.05E+08	Pa
17	Compressive Ultimate Strength	5	Pa

Figura 22 Propiedades del acero inoxidable a304 para el análisis.

6.9.3 Cargas aplicadas a estructura con respecto al peso de la olla:

Se aplica 2236N de fuerza que es el peso total de la olla más el producto, en el lugar donde esta ubicadas las chumaceras para simular el efecto que tiene este componente en la estructura.

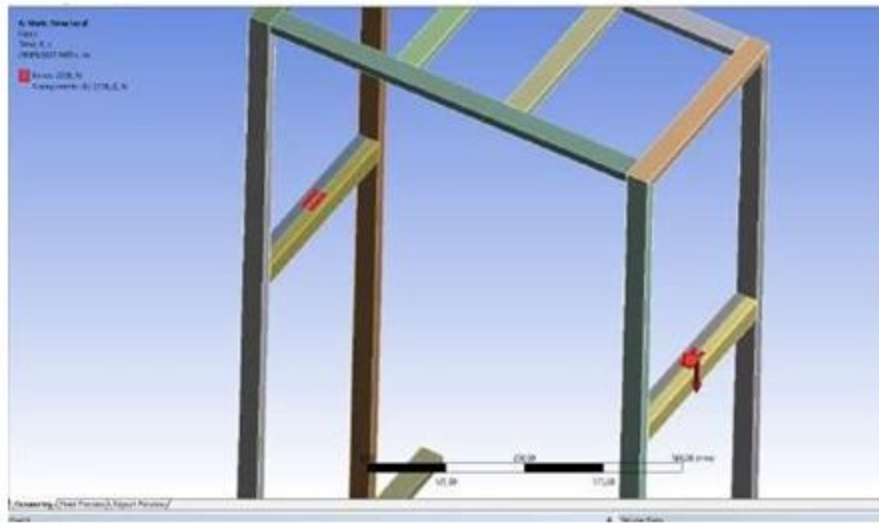


Figura 23 Contorno de aplicación de fuerza en la estructura. Autoría propia.

6.9.4 Factor de seguridad de la estructura obtenida en los soportes de la olla:

Hallando el factor de seguridad de la estructura con respecto a los accesorios de la máquina y el peso del yogurt, se puede observar un factor de seguridad de 3,32, lo cual es un valor alto, debido a esto, cabe la posibilidad de usar una tubería con un espesor menor, para reducir costos.

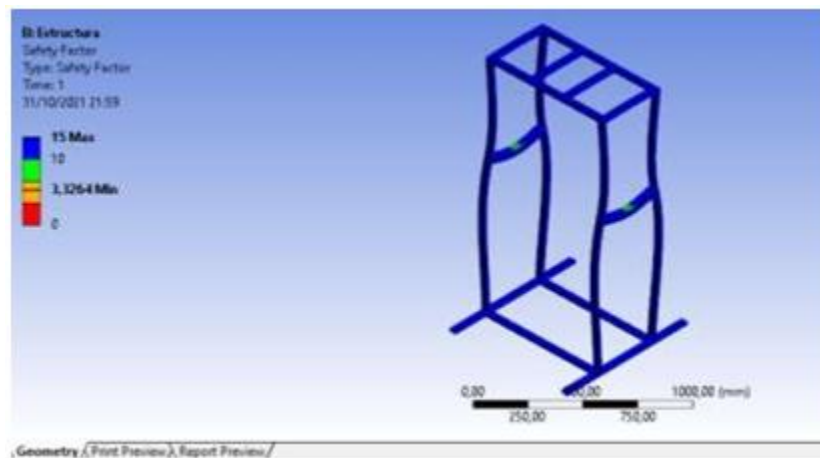


Figura 24 Factor de seguridad obtenido en la estructura. Autoría propia

6.9.5 *Esfuerzos resultantes de la estructura producida por las cargas en los soportes de la olla:*

Los esfuerzos obtenidos de la estructura debida al peso de los accesorios y el producto fue de 60,79Mpa siendo relativamente bajos para la estructura.

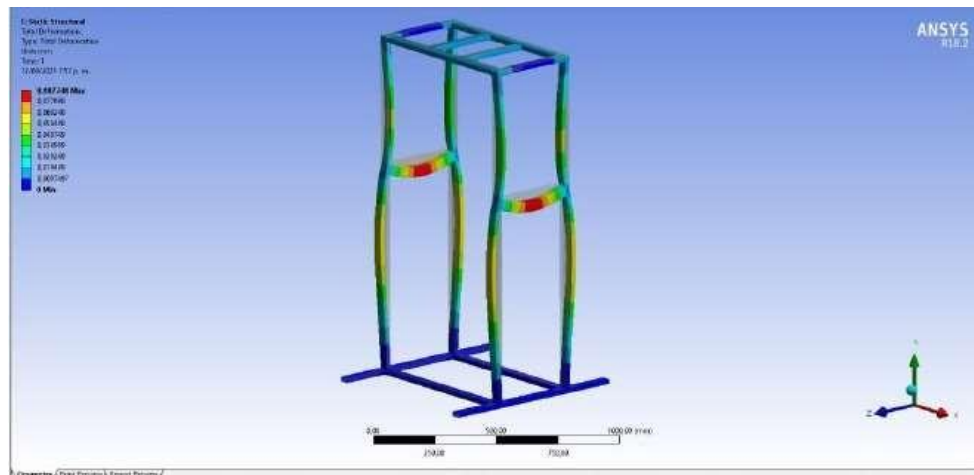


Figura 26 Diagrama de deformación de la estructura debido al producto y accesorios.
Autoría propia.

6.9.7 Esfuerzos resultantes en el agitador debido a la torsión:

Esfuerzos generados en el agitador por el fluido (yogurt) como una fuerza distribuida en las aspas del agitador de 28648 Nmm, fue de 147,6Mpa, lo cual se encuentra dentro del límite de del esfuerzo de fluencia del material escogido (acero Inox a304).

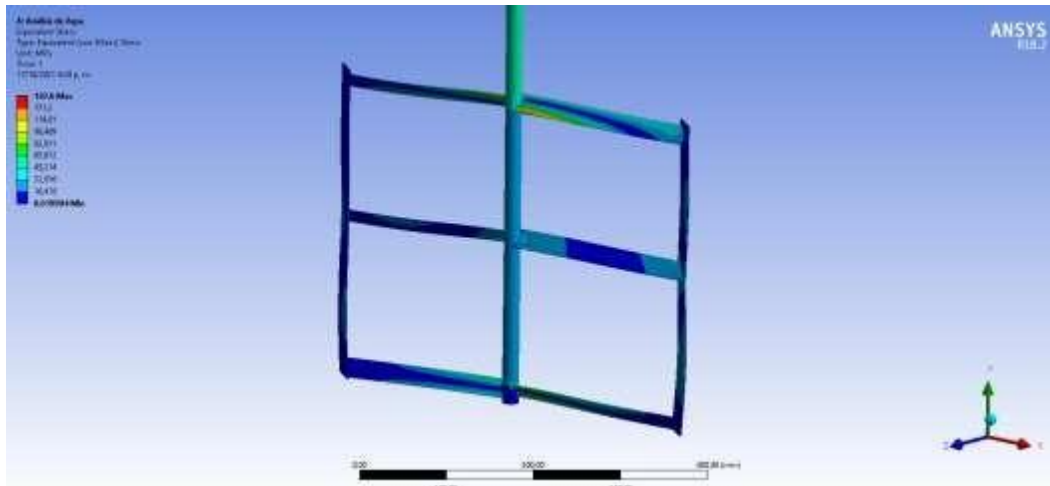


Figura 27 Diagrama de esfuerzos sobre el agitador generados por el yogurt. Autoría propia.

6.9.8 Deformaciones obtenidas en el agitador debido a la torsión:

Las deformaciones encontradas en el agitador por el yogurt son de 6,44mm, dicha deformación no afecta el material debido a que se encuentra en el límite de fluencia.

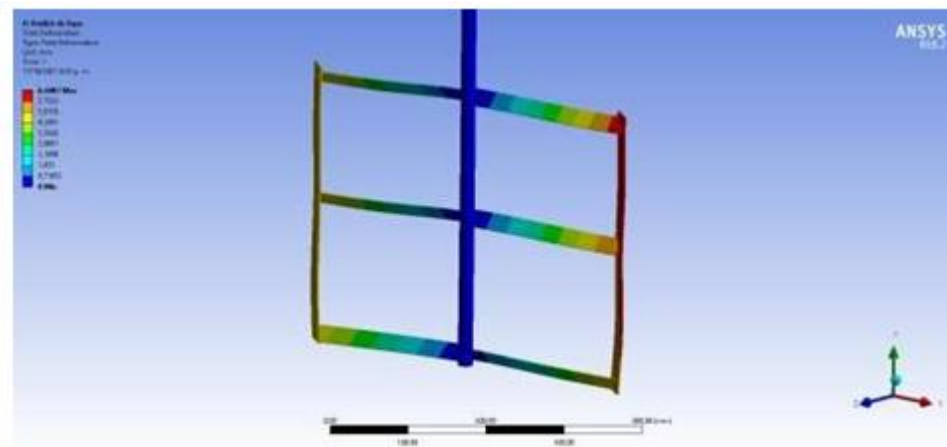


Figura 28 Diagrama de deformación máxima del agitador producida por el yogurt. Autoría propia.

6.9.9 Factor de seguridad del agitador con respecto a la torsión:

Factor de seguridad obtenido en el agitador debido a la resistencia ejercida por el yogurt es de 1.4 siendo un buen factor de seguridad de diseño para esta pieza.

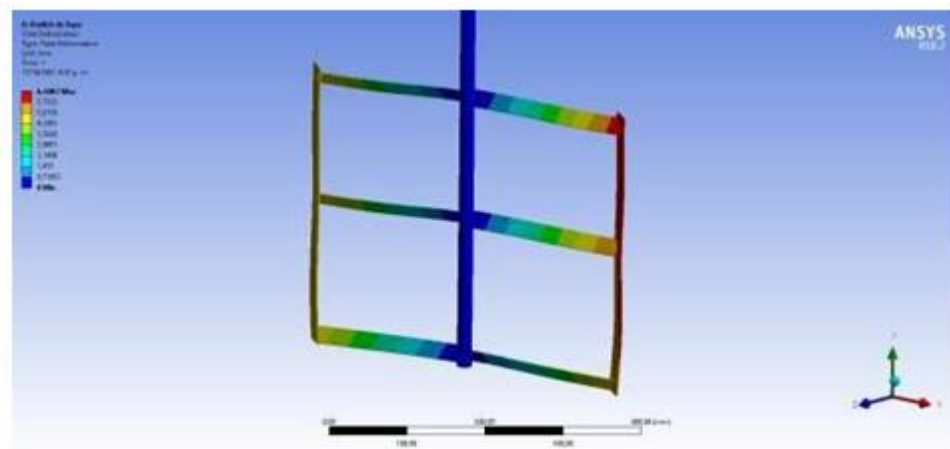


Figura 29 Factor de seguridad del agitador debido a la resistencia del yogurt. Autoría Propia.

6.9.10 Esfuerzos resultantes en la olla a condiciones de trabajo:

Esfuerzos encontrados en la olla y ejes de soportes debidos a 100 litros de yogurt y la presión de 40 psi dentro de la cámara de vapor. El máximo esfuerzo encontrado por la presión de la cámara de vapor fue de 49,5Mpa, y en los ejes no superó los 35,4Mpa debido al peso del producto, lo cual se encuentra dentro del rango de fluencia del material (acero inox a304), dándonos como resultado un factor de seguridad mínimo de 4,2. (Ver figura 30, 31 y 32)

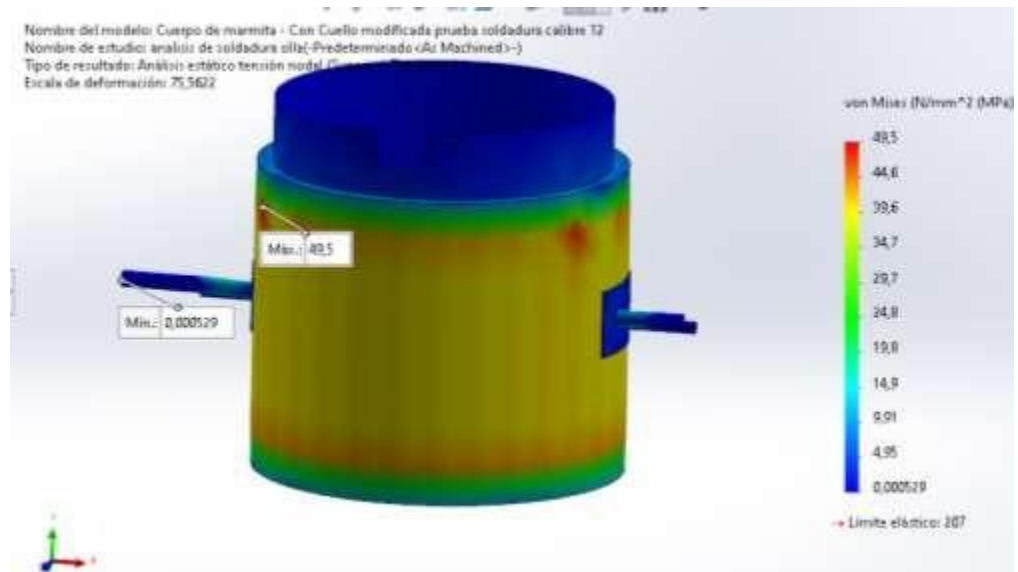


Figura 30 Diagrama de esfuerzos encontrados en la olla externa debido a la presión de la cámara de vapor. Autoría propia.

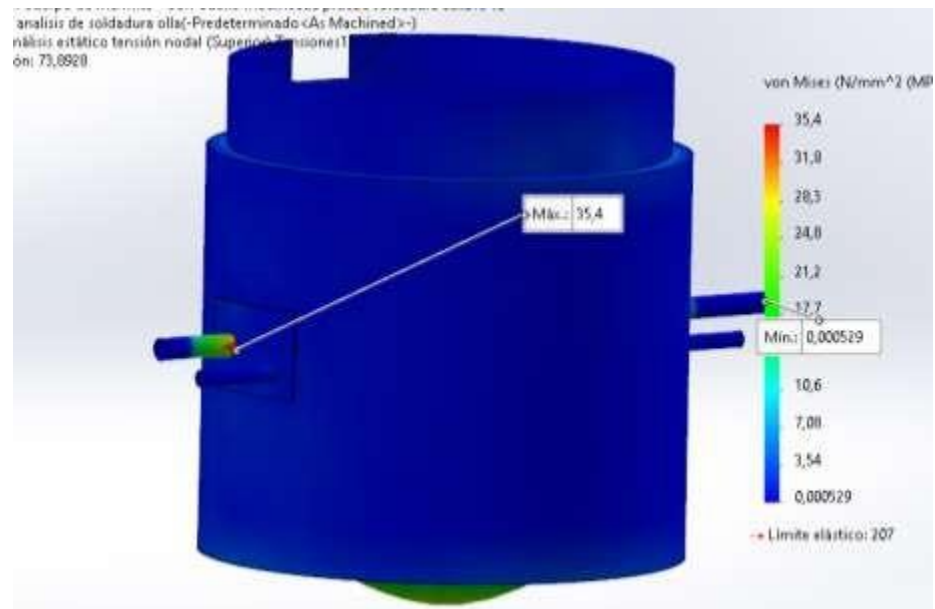


Figura 31 Diagrama de esfuerzos en los ejes de que soportan la olla. Autoría propia. Autoría propia.

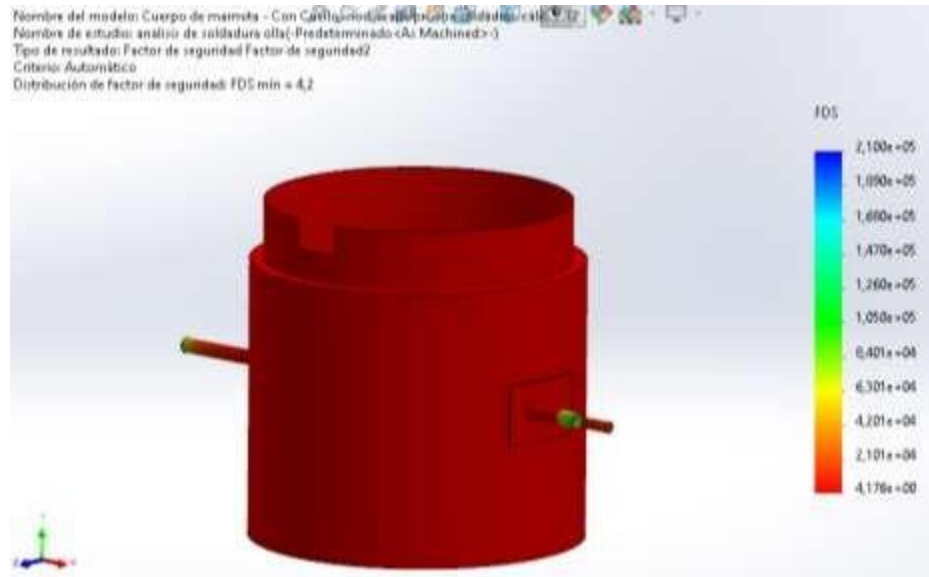


Figura 32 Factor de seguridad de la olla. Autoría propia

6.9.11 Esfuerzos resultantes en la estructura debido a la torsión:

El esfuerzo generado por la carga de torsión (28648 Nmm) en la estructura es de 111,49 Mpa encontrándose en un valor cercano al límite de fluencia pero aun así manteniéndose menor, se obtuvo un factor de seguridad en este caso del 1,12.

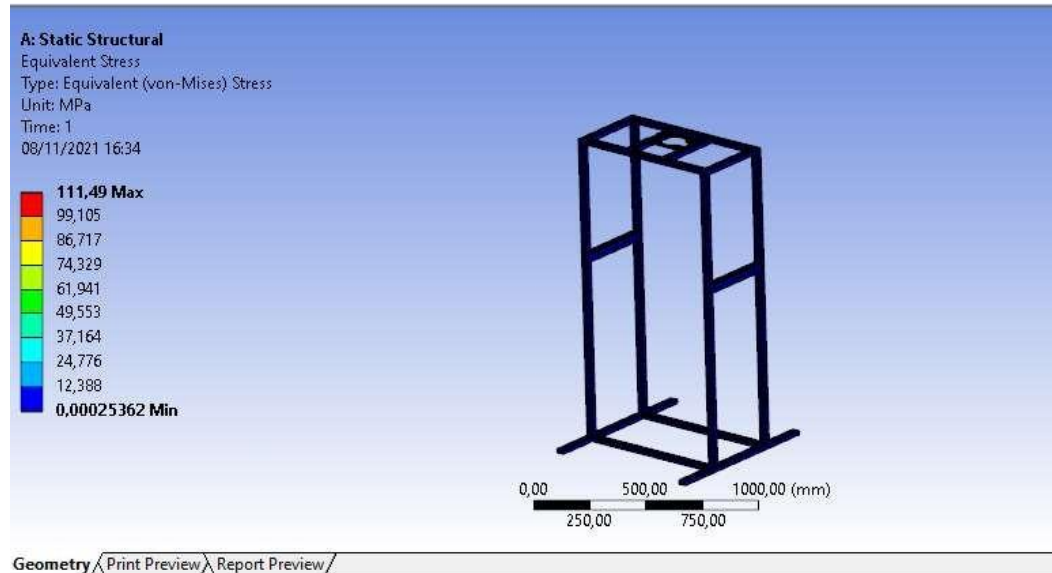


Figura 33 Diagrama de esfuerzo generador por torsión en la estructura. Autoría propia.

6.9.12 Deformaciones producidas en la estructura debido a la torsión:

La deformación obtenida por carga de torsión en la estructura debido al agitador fue de 0,297mm, una deformación baja con respecto a los esfuerzos obtenidos anteriormente.

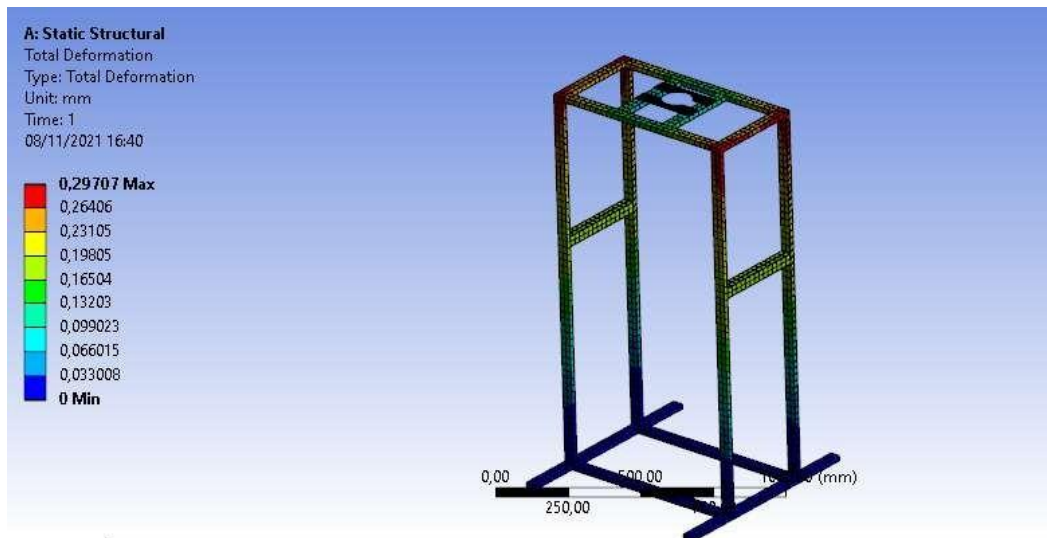


Figura 34 Diagrama de Deformación por carga de torsión generada por resistencia del Yogurt. Autoría propia.

6.9.13 Esfuerzos generados en el eje superior y acople debido a la torsión:

Esfuerzo generado por carga de torsión en el eje, buje y pines es de 217,26 Mpa encontrándose dentro del rango de esfuerzo de fluencia para el material acero inox a304. (Ver figura 35)

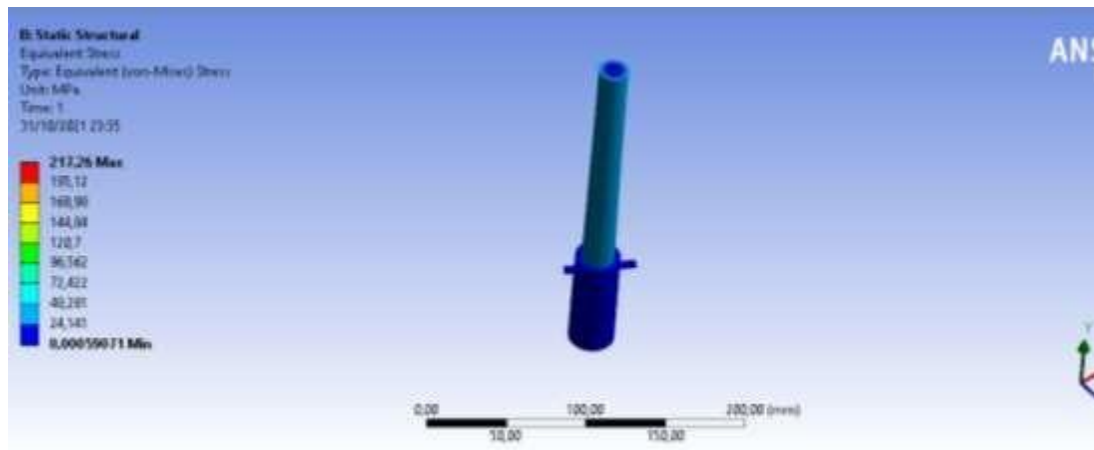


Figura 35 Diagrama de esfuerzo en eje, buje y pasador debido a la torsión. Autoría propia

6.9.14 Esfuerzos encontrados en los pasadores del acople debido a la torsión:

El esfuerzo máximo encontrado en el pasador debido al esfuerzo de torsión, sería de 217,26 Mpa, de lo cual se puede deducir que el pasador es la pieza del conjunto simulado que más esfuerzo sufre. (Ver figura 36)

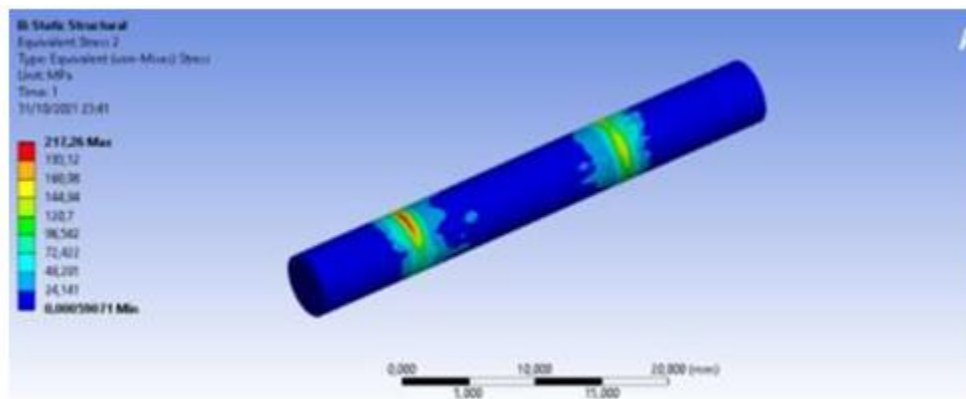


Figura 36 Diagrama de esfuerzo máximo en el pasado debido al esfuerzo de torsión. Autoría Propia.

6.9.15 Deformación producida en el pasador debido a la torsión:

La deformación máxima encontrada en el pasador, siendo la pieza más afectada por la torsión, es de 0,12 mm. (ver figura 37)

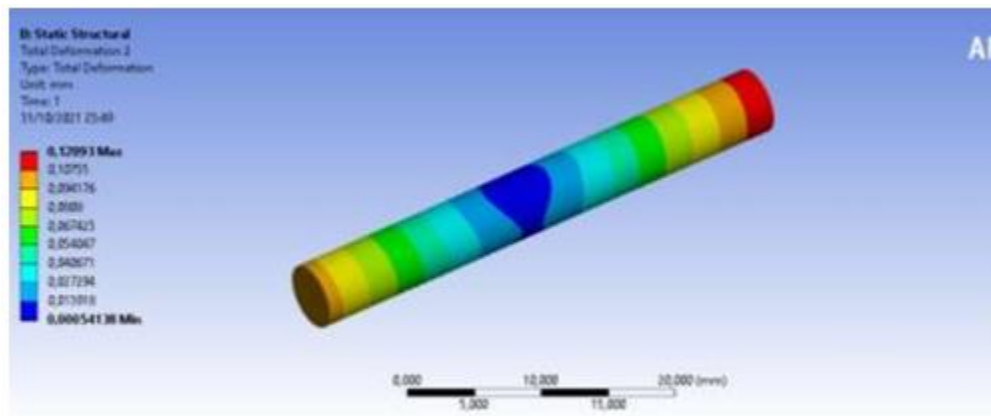


Figura 37 Diagrama de deformación del pasador debido al esfuerzo de torsión. Autoría propia.

6.9.16 Deformación producida en el eje superior y acople debido a la torsión:

La deformación máxima encontrada en el conjunto, fue de 0,12 mm, la cual se localiza en el pasador. (Ver figura 38)

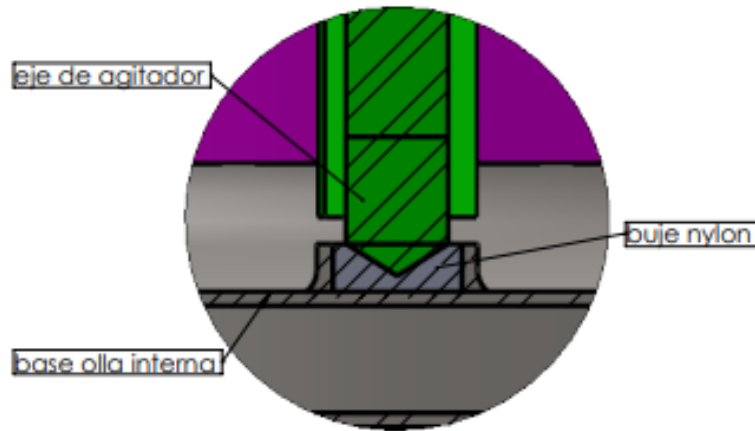


Figura 39 Punta inferior del agitador. Autoría propia. Autoría propia

Se determina como mejor opción de material el Nylon 66 ya que este polímero tiene como cualidades la alta rigidez, resistencia térmica y mecánica, lo cual es esencial para esta pieza ya que se evitara contaminar el producto, también es un material el cual puede ser mecanizado y resulta siendo un material común. (cientificos, 2005)

.

Propiedades del Nylon 66 :

Punto de fusión: 255 °C

Densidad: 1,14 g/cm³

Calor específico: 1,67 J/(mol*K)

Conductividad térmica: 0,43 W/(m*K)

Resistividad eléctrica: 6*10¹⁴ W*cm

Tensión de tracción en el punto de fluencia: 11500 lbf/pul²

Módulo de tracción: 4.3*10⁵ lbf/pul²

Dureza Rockwell: R118

Coeficiente cinético de fricción: 0,45

6.10.2 Ángulos y esquinas de la olla en contacto con alimentos:

Se determina la necesidad del borde de la parte inferior de la marmita debido a que en este lugar la junta entre la parte inferior de la olla interna y la pared de la olla interna, generan un ángulo de 90°, haciendo que en ese lugar queden residuos del producto (yogurt), por tal motivo se genera un redondeo en esa área de 25 mm. (Ver figura 40)

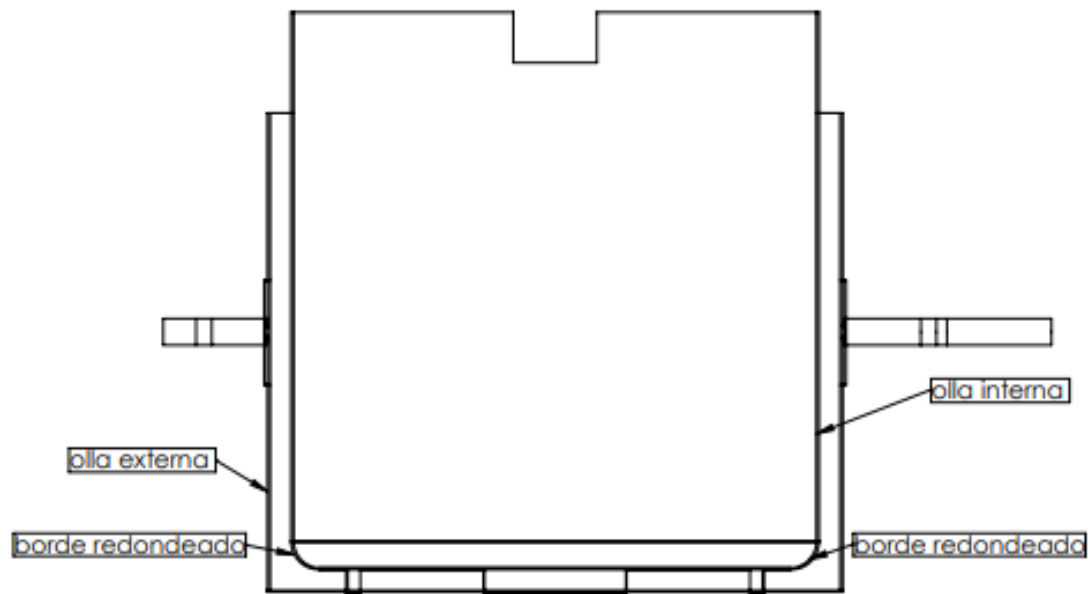


Figura 40 Vista de corte de la olla de la marmita, borde inferior de olla interna redondeada. Autoría propia

6.11 Análisis de soldadura

6.11.1 Soldadura a usar para el acero inoxidable ASI 304:

Se determinan los puntos críticos hallados en el análisis de esfuerzos, donde se concentraran los respectivos análisis de soldadura, comprobando su resistencia de la misma y el tamaño de garganta del cordón de soldadura. Para el siguiente análisis se toma las características de la soldadura a usar.

Electrodo, AWS: E 308LT1-1/ E308LT1-4	
	Procedimiento: Soldadura Tubular.
	Descripción: Alambre tubular con protección gaseosa externa. Gas de protección Indurming 20 ó 100% CO ₂ . Presenta una excelente soldabilidad y mejorada resistencia al creep a alta temperatura. El metal depositado contiene un óptimo contenido de ferrita en su estructura austenítica, ofreciendo así una soldabilidad excelente con baja susceptibilidad al agrietamiento.
	Usos: Diseñado para soldadura MIG de aceros inoxidable tipo 18%Cr-8%Ni de bajo contenido de carbono.
	Aplicaciones típicas: Para la soldadura de aceros inoxidables AISI 304, 304L, 304LN, ASTM A 157 Gr. C9, A320 Gr. B8C ó D.
	Posiciones de soldadura: Plana, Horizontal, Vertical, Sobrecabeza.
	Tipo de corriente: Corriente Continua Polaridad Inversa (CCPI).
	Composición química:
	C: 0,03% Mn: 1,90% Si: 0,79% Cr: 19,8% Ni: 10,2% Fe: balance
	Propiedades mecánicas: Resistencia a la tracción: 610 MPa Elongación (L=4d): 35%

Figura 41 Características de la soldadura para el acero a 304. Tomado de (Ingemecanica , 2021)

6.11.2 Punto crítico y característica de soldadura en la estructura:

Se hace un análisis a las juntas soldadas cercanas a los esfuerzos máximos obtenidos en la estructura, donde se generan los mayores esfuerzos para la soldadura, se encuentra que el tamaño de garganta mínimo de la soldadura en estos puntos es de 0,9855 mm, para obtener un factor de 2, teniendo en cuenta que el mínimo espesor de los materiales soldados es de 1,2 mm.

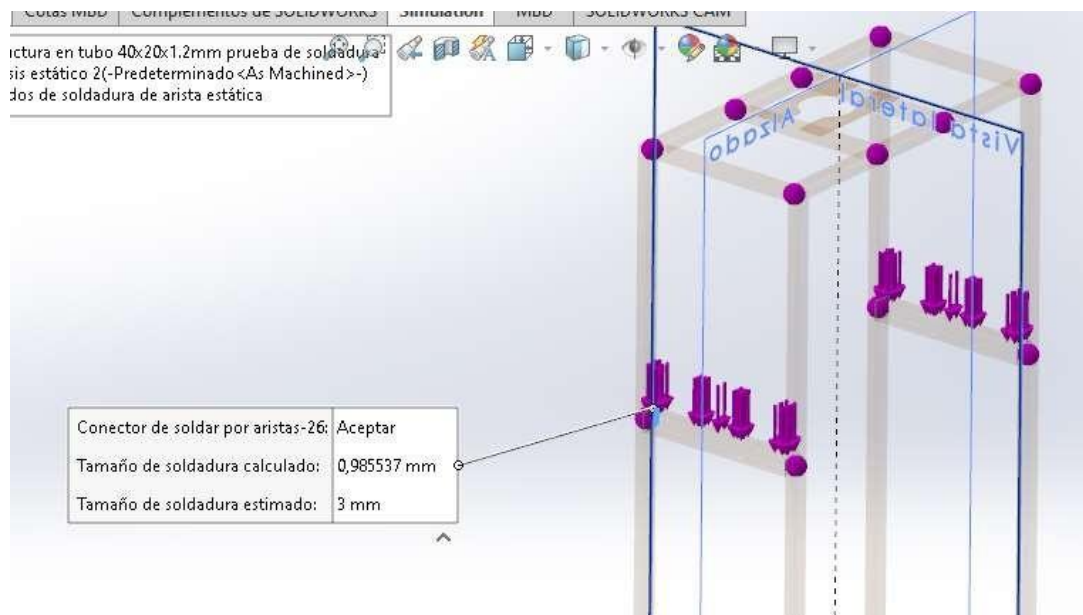


Figura 42 Análisis de cordones de soldadura en puntos críticos. Autoría propia

6.11.3 Punto crítico y características de soldadura en la olla:

De igual manera en la olla se evalúan los cordones de soldadura teniendo en cuenta los esfuerzos máximo obtenidos y, se determina el tamaño del cordón de soldadura para la olla, en los puntos de máximo esfuerzo. El mínimo tamaño de garganta de la soldadura fue de 0,48 mm teniendo en cuenta que el mínimo espesor de las láminas soldada, es de 1,59 mm, lo cual es aceptable, teniendo un factor de seguridad de 2. (Ver figura 43)

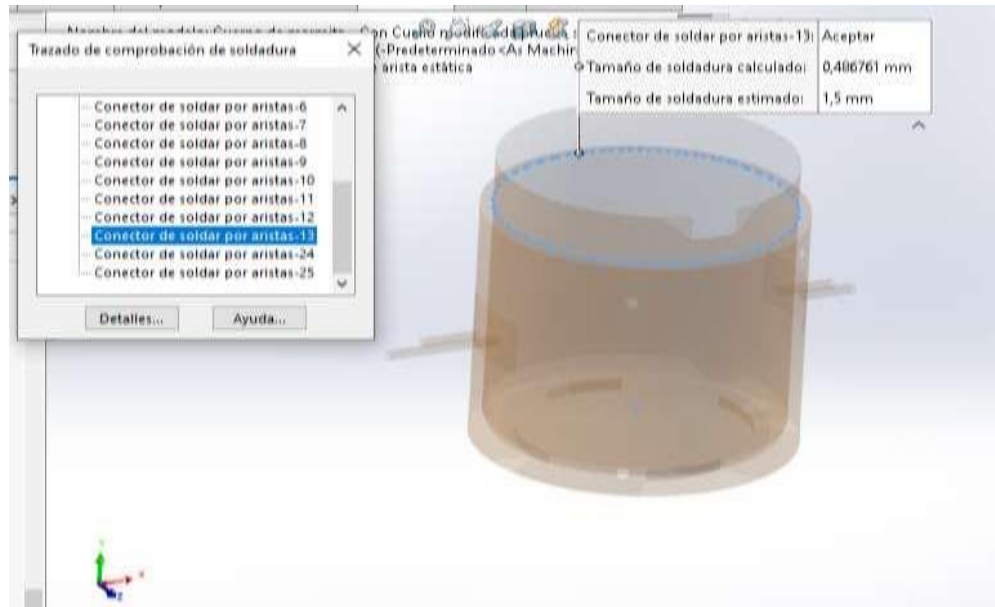


Figura 43 Análisis de cordón de soldadura en punto crítico de la olla. Autoría propia.

Otro punto crítico de la olla donde más se concentran los esfuerzos fue la base de los ejes laterales, los cuales van soldados a una platina, allí se calcula el tamaño mínimo de garganta de soldadura de 0,668 mm para soportar los esfuerzos generados por las condiciones de trabajo con un factor de seguridad de 2. (ver figura 44)

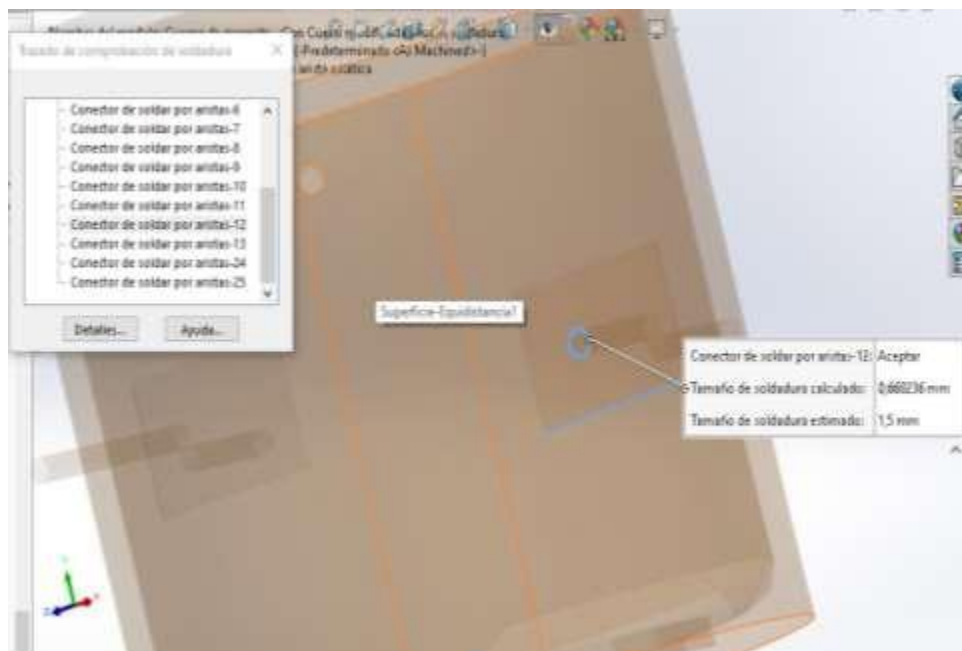


Figura 44 Análisis del cordón de soldadura en puntos críticos de la olla. Autoría propia

6.12 Juntas atornilladas

6.12.1 Junta atornillada del motorreductor

Se realiza un análisis de uniones atornilladas de la base del motorreductor y la estructura de tubería cuadrada, la cual está sometida a torsión, (se analiza la base del motorreductor como una platina circular debido a problemas de recursos técnicos), estos análisis están basados de acuerdo a la torsión generada por el torque del motor (59 Nm o 0,5 Hp).

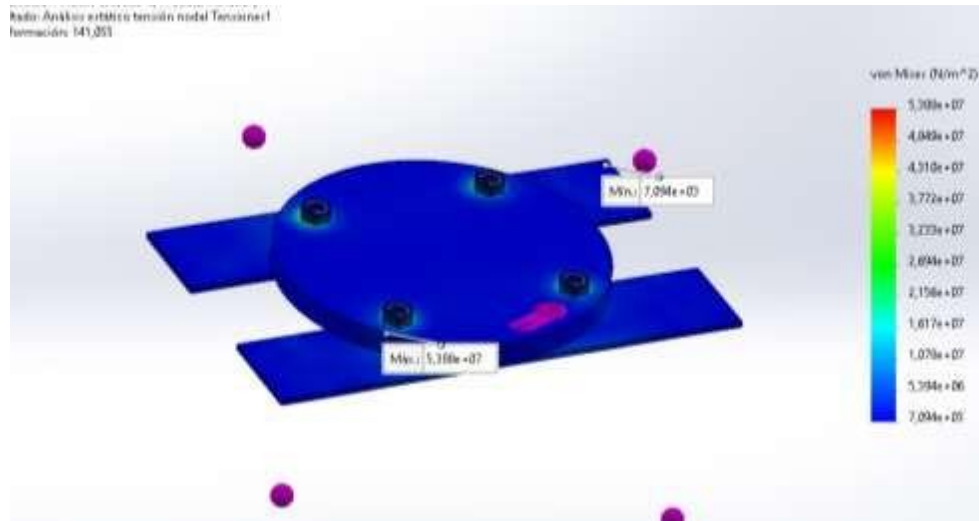


Figura 45 Junta atornillada entre motorreductor y estructura. Autoría propia.

6.12.2 Características de los tornillos utilizados en la junta del motorreductor:

Se determinó, que los tornillos M8 grado 5 con paso de 1,25 mm usados en el análisis generan un factor de seguridad de mínimo de 3,84, debido a que si se usa un tornillo más delgado, es posible que la cabeza del tornillo se incruste en los agujeros de la base del motorreductor.

Tomando como límite elástico del tornillo 300 Mpa siendo los tornillos más comunes en el mercado.

Valores nominales del límite elástico f_{yb} y de la resistencia a tracción última f_{ub} de tornillos							
Grado del tornillo	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} N/mm ²	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} N/mm ²	400	400	500	500	600	800	1000

Figura 46 Valores nominales de esfuerzos para tornillos. Tomado de (Ingemecanica, 2021)

Se determinan las dimensiones y características nominales obtenidas para el tornillo de M8, requeridas para los análisis respectivos, en este caso, en la junta atornillada entre motorreductor y la estructura.

Tabla para la rosca métrica, paso normal (M) y paso fino (MF).

Medida nominal y paso normal		Diámetro broca agujero*
Denominación	Paso**	
M2	0,4	2
M3	0,5	2,5
M4	0,7	3,3
M5	0,8	4,2
M6	1	5
M7	1	6
M8	1,25	6,8

Figura 47 Dimensiones nominales de tornillos milimétrico M8. Tomado de (S.L)

6.12.3 Comprobación y análisis de tornillos escogidos:

Se encuentra un factor de seguridad en los tornillos mínimo de 3,94 este factor de seguridad es alto con respecto al factor de seguridad de 2 esperado mínimo en los tornillos, teniendo en cuenta que se analizó con un torque de 59 Nm generado por el motorreductor de 0,5 Hp.

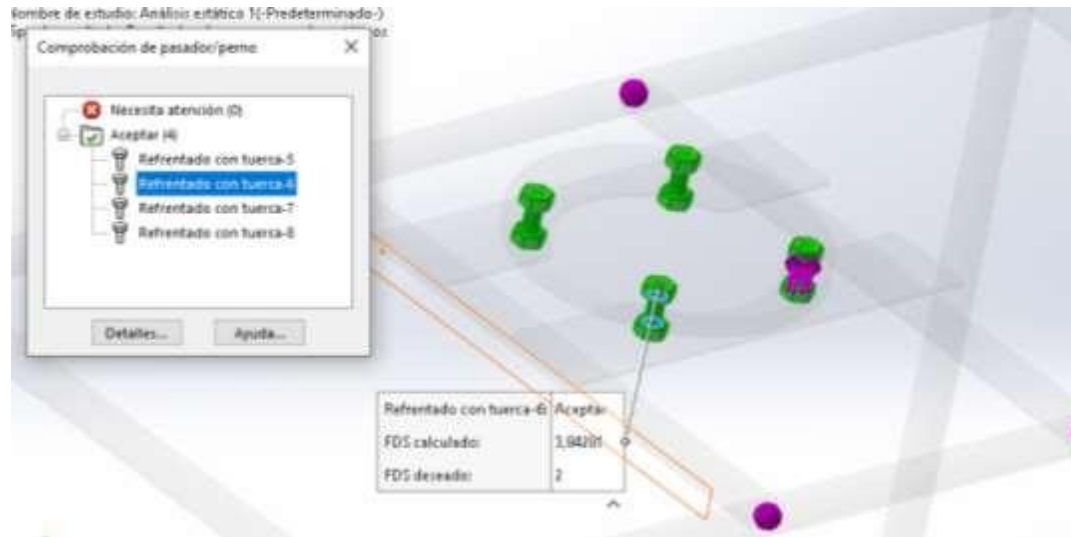


Figura 48 Factor de seguridad para la unión atornillada. Autoría propia

6.13 Comprobación de resistencia a la fatiga en los ejes diseñados:

6.13.1 Ejes de soportes de la olla:

Se analizan los ejes laterales de la olla por fatiga debido a la flexión, donde se encontró que los ejes diseñados soportan exitosamente con las cargas aplicadas en los puntos de apoyo debido al peso de la olla y del producto. Se muestran en color azul.

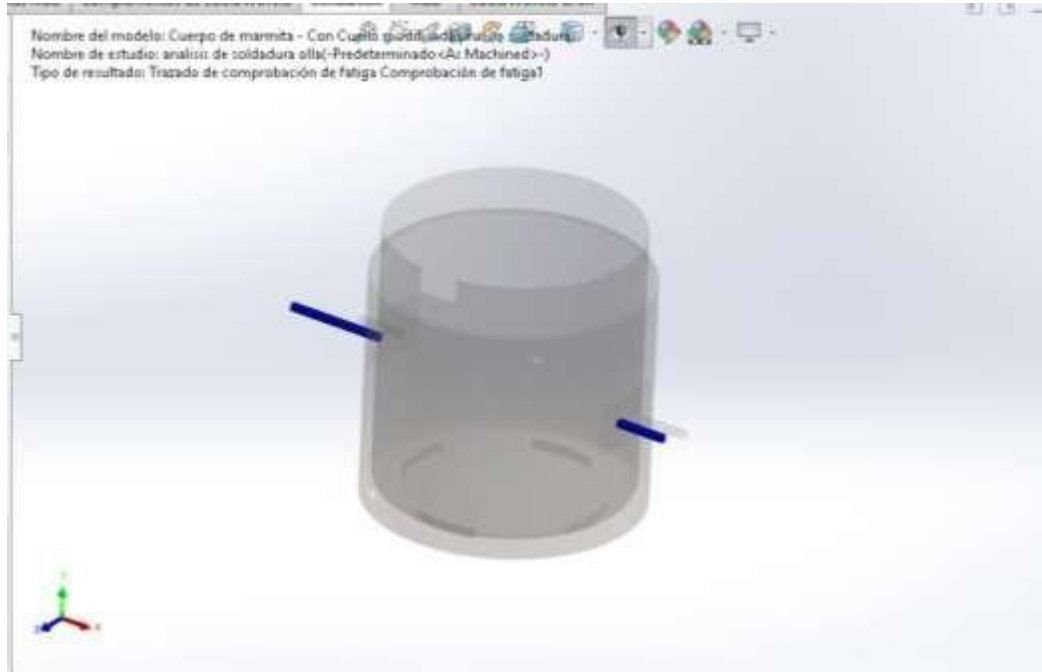


Figura 49 Análisis de fatiga en soportes de la olla. Autoría propia.

6.13.2 Ejes del agitador

Se analiza los conjuntos de ejes del agitador (eje superior, y eje inferior) donde se observa que los ejes se encuentran en color azul, indicando que no se generara ninguna falla por fatiga, bajo análisis de torsión provocado por el motorreductor de 59 Nm.

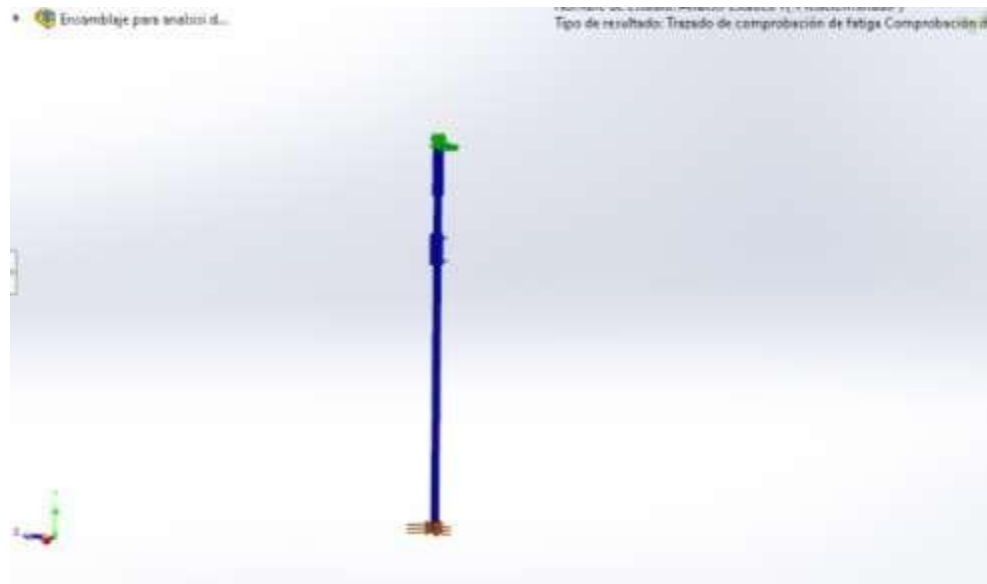


Figura 50 Análisis de fatiga por cargas de torsión. Autoría propia

8 CAPÍTULO V

8.1 Selección de accesorios necesarios para el sistema.

Se hacen las respectivas elecciones de los accesorios necesarios para el funcionamiento de la marmita, teniendo en cuenta las especificaciones de diseño de cada accesorio, siendo funcionales en la marmita debido al estado de operación.

8.2 Nivel de agua dentro de la olla enchaquetada:

Se tiene en cuenta el nivel de agua dentro de la cámara de vapor antes de su funcionamiento, para eso se utiliza un nivel de agua o indicador tubular, y así se obtiene la medida exacta de la cantidad de agua dentro de la cámara de vapor. Debido a la altura de la cámara de vapor, se determina la mejor longitud del indicador tubular. (Industrias FRANKO, 2021)

- Diámetro nominal de rosca de acople 1/2"
- Temperatura máxima 200°C
- Presión máxima 325psi



Figura 51 Indicador tubular. Tomado de (Industrias FRANKO, 2021)

8.3 Válvula de bola.

Se requiere una válvula de paso de flujo, para la introducción y expulsión de agua en la cámara de vapor, sus características son;

- Presión máxima 375psi
- Temperatura máxima 120°C
- Tamaño o referencia de válvula 1"

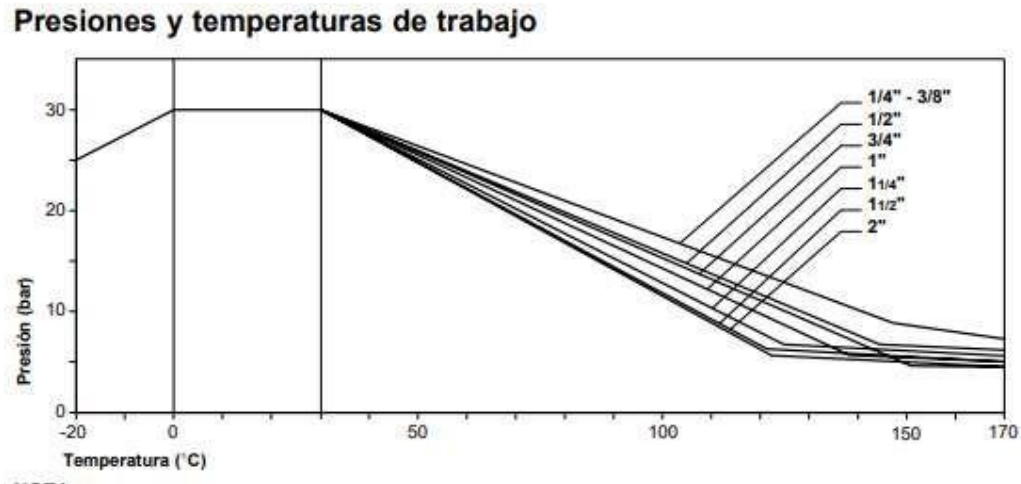


Figura 52 Rango de trabajo válvulas de bola. Tomado de (Parker fluid conector , 2021)

8.4 Válvula de descarga de presión.

Se requiere el uso de esta válvula por seguridad tanto del usuario como por el cuidado de la marmita, esta válvula no dejara exceder los límites de presión a los que está diseñada, sus características son:

- Medida de acople 1/2"
- Presión máxima de activación 40Psi
- Temperatura máxima 208°C

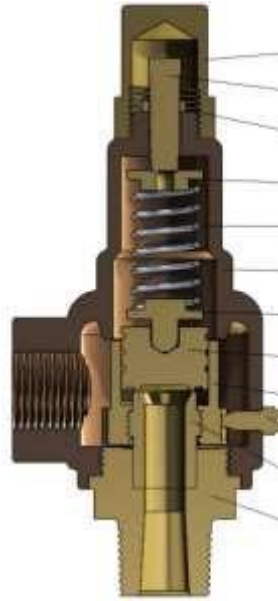


Figura 53 Priesas de válvula de alivio. Tomado de (suministros en metrologia , 2021)

8.5 Quemadores de gas propano.

El quemador es la pieza esencial de la marmita, sin esta, la producción del yogurt no se llevaría a cabo, las características del quemador son:

- Transferencia de calor de 19,5 KW.
- Referencia Q30
- Diámetro exterior: 165mm
- Longitud total 290 mm
- Longitud de conexión 125 mm
- Altura 45 mm



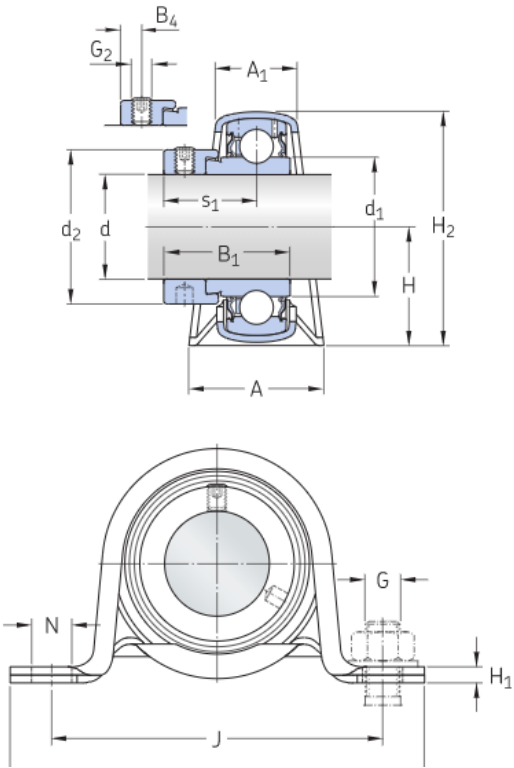
Figura 54 Quemador de gas propano. Tomado de (Proyectar comfer, 2021)

8.6 Chumaceras.

Se seleccionaron las chumaceras tipo pedestal ya que era la mejor alternativa de diseño, teniendo una calificación de 9/10 según la tabla de alternativas, debido al posicionamiento de la misma.

Se determinaron como el soporte de la olla conjunta, mediante los ejes, las chumaceras deben tener la siguiente característica debido a los ejes que soporta la marmita:

- Distancia entre agujeros $J = 86 \text{ mm}$
- Diámetro interno de rodamiento $25,4 \text{ mm}$



DIMENSIONES

d	25.4 mm	Diámetro del agujero
d ₁	≈ 33.74 mm	Diámetro del resalte del aro interior
d ₂	37.4 mm	Diámetro exterior del anillo de fijación
A	32 mm	Ancho de la base
A ₁	23 mm	Ancho superior
B ₁	31 mm	Ancho total del rodamiento
B ₄	4.75 mm	Distancia de la cara lateral del dispositivo de fijación al centro de la rosca
H	28.4 mm	Altura del centro del asiento esférico
H ₁	3.2 mm	Altura del pie

Figura 55 Selección de chumacera. Tomado de (SKF, 2021)

9 Conclusiones

- Para una pequeña empresa productora de yogurt, se obtuvo que lo ideal es adquirir o disponer de una marmita cilíndrica, dado que este diseño tiene un costo menor al de la marmita esférica y por lo planteado en el presente trabajo el diseño cilíndrico cumple cabalmente las necesidades que presentan las pequeñas empresas productoras de yogurt.
- Se observó que el agitador en funcionamiento durante condiciones reales, presenta un desplazamiento en la punta inferior, haciendo que este se flecte y llegue a dañar la pared de la olla, afectando de esta manera la durabilidad de la marmita y dejando micro partículas en el yogurt, que reduce su calidad para la venta, puesto que lo contamina. Por tal motivo, se adiciona un soporte en la parte inferior de la olla, haciendo que el agitador se mantenga totalmente alineado sin importar las cargas externas y garantizando de esta manera la total calidad del yogurt durante todo el proceso de fabricación.
- Para el pequeño productor de yogurt el diseño propuesto en este trabajo es de gran interés, puesto que cumple con la capacidad de producción requerida por la pequeña empresa, tiene un costo de fabricación económico, si se compara con otros tipos de marmitas.

10 Bibliografía

Agronet. (19 de 06 de 2018). *Industria del yogur sigue creciendo en Colombia*. Obtenido de <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Industria-del-yogur-sigue-creciendo-en-Colombia.aspx>

ASTM B117. (2019). Práctica estándar para el funcionamiento de Aparato de Niebla (Sal en aerosol). *Cypma*, 8.

ASTM D1654. (2016). Método de prueba estándar para la evaluación de muestras pintadas o revestidas sometidas a entornos corrosivos. *ASTM Internacional*, 4.

ASTM E60-11 . (2016). Práctica estándar para el análisis de metales, minerales y materiales relacionados por espectrofotometría. *Data Sheets GLobalSpec*, 8.

banrepcultural. (2017). *banrepcultural*. Obtenido de <https://enciclopedia.banrepcultural.org/index.php/Marmita>

Barrionuevo, E. M. (Abril de 2016). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MARMITA CILÍNDRICA CON AGITADOR*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12227/1/UPS-KT01245.pdf>

Camaño Zamorano Gloria Gabriela, E. C. (9 de Febrero de 2008). Marmita Volcable a Vapor de Línea. *Marmita Volcable a Vapor de Línea*, pág. 3.

chirinos, m. (20 de 09 de 2015). *maquina de marmita diseño*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/maximorobertochirinosquiroz/diapositivas-de-maquina-de-marmita>

DIPAC . (5 de Julio de 2018). *DIPAC Manta*. Obtenido de <http://www.dipacmanta.com/acero-inoxidable-aisi>

Electrifor. (12 de Junio de 2018). *Electrifor*. Obtenido de <https://www.electricfor.es/es/17643/diccionario/Acero-inoxidable.htm>

Exhibir Equipos. (14 de Octubre de 2019). *Exhibir*. Obtenido de <https://exhibirequipos.com/categoria-producto/equipos-para-restaurante/marmitas/>

Expomaquinaria. (28 de Noviembre de 2018). *Expomaquinaria Comercio y Hosteleria*. Obtenido de <https://www.expomaquinaria.es/wpblog/2018/11/28/marmita-cocina-industrial/>

Grasso Flores, S.L. (5 de Abril de 2017). *Grasso Flores*. Obtenido de <https://www.grassoflores.com/productos/acero-inoxidable/manual-de-acero-inoxidable/>

Grupo Reimse . (2021). *Marmita de volteo electrica MEV*. Obtenido de Grupo Reimse : <https://reimse.mx/producto/marmita-de-volteo-electrica-mev>

Gustavo Rivera Hernandez, B. E. (28 de Febrero de 2008). *Soul Rebel*. Obtenido de <https://soulrebel01.blogspot.com/2008/02/trabajo-n-1-la-marmita.html>

industrial, m. (15 de abril de 2011). *marmita industrial*. Obtenido de

<https://marmitaindustrial.blogspot.com/2011/04/marmita.html>

industrias FRANKO. (2021). *FRANKO*. Obtenido de [https://franko.com.mx/productos/control-y-](https://franko.com.mx/productos/control-y-medicion/indicador-tubular/informacion-general)

[medicion/indicador-tubular/informacion-general](https://franko.com.mx/productos/control-y-medicion/indicador-tubular/informacion-general)

Ingemecanica . (2021). *Soldaduras de aceros inoxidables* . Obtenido de

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn48.html>

Ingemecanica. (2021). *Estudio y tipología de las uniones atornilladas*. Obtenido de

Ingemecanica: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn31.html>

Ingemecanica. (2021). *medidas nominales para tornillos y tuercas*. Obtenido de Ingemecanica:

<https://ingemecanica.com/tutoriales/tornillos.html>

manrique moreno, v. j. (s.f.). *DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN EN*

MARMITAS. Obtenido de

https://www.cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra_revista/MetFlu11/5Marmita.pdf

Maquinaria Utilizada en Industria Láctea. (4 de Junio de 2019). *Wordpress*. Obtenido de

<https://industriadelacteosblog.wordpress.com/maquinas/marmitas/>

MAUTING. (15 de Abril de 2018). *Direct Industry*. Obtenido de

<https://www.directindustry.es/prod/mauting-sro/product-175622-1781600.html>

Merino, J. P. (2014). *Definición.de*. Obtenido de <https://definicion.de/lacteo/>

MIPSA. (16 de Julio de 2016). *MIPSA Espertos Procesando Metales*. Obtenido de

<https://www.mipsa.com.mx/sabias-que/clasificacion-del-acero-inoxidable/>

Montero, A. S. (2005). Comparación técnica-económica de las marmitas de gas propano, vapor y eléctricas. *Sistema de Estudios de Posgrado*, 2.

Moreno, V. J. (2015). *Met&Flu*. Obtenido de https://www.cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra_revista/MetFlu11/5Marmita.pdf

NTC 1156. (2019). Procedimiento para el Ensayo en Cámara Salina. *Norma Técnica Colombiana*, 17.

NTC 3353. (2019). Definiciones y métodos para los ensayos mecánicos de productos de acero. *Norma Técnica Colombiana*, 103.

parker fluid conector . (2021). *Catálogo 3529-ES*. Obtenido de parker fluid conector : https://www.parker.com/literature/Literature%20Files/euro_bpd/NewwebFY03/English/catalog0093/0093ES/M-ES.pdf

Picho, C. E. (2016). Diseño y Construcción de una Marmita Cilíndrica con Agitador. *Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingenieros Mecánicos*, 21.

proyector comfer . (2021). *mercado libre* . Obtenido de quemador Q30: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-482893699-quemador-q30-corto-para-estufa-industrial-a-gas-_JM#reco_item_pos=1&reco_backend=machinalis-seller-items&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-seller_items-above&reco_id=5b9ee5ea-cb8b-4254-9765-e177

Republica de Colombia Ministerio de Defensa Nacional. (2007). Norma Técnica. *Marmita Individual en Acero Inoxidable*, 10.

skf. (2021). *skf*. Obtenido de <https://www.skf.com/co/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/pillow-block-ball-bearing-units/productid-SY%203%2F4%20TF>

SKF. (2021). *SKF*. Obtenido de <https://www.skf.com/co/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/pillow-block-ball-bearing-units/productid-SY%203%2F4%20TF>

StuDocu. (2018). StuDocu. *Proceso de Industrialización*, 10.

suministros en metrologia . (2021). *suministros en metrologia* . Obtenido de <https://suministrosenmetrologia.com/wp-content/uploads/2019/07/vayremex-632.pdf>

suministros en metrologia . (221). *suministros en metrologia* . Obtenido de <https://suministrosenmetrologia.com/wp-content/uploads/2019/07/vayremex-632.pdf>

trujillo, j. (2009). *directo al paladar*. Obtenido de <https://www.directoalpaladar.com/cultura-gastronomica/que-es-una-marmita>

Vaca, S. T. (2010). Diseño, Construcción e Instalación de un Tanque Marmita. *Tesis*, 183.

weg. (2021). *seleccion de motores electricos* . Obtenido de weg: https://ecatalog.weg.net/TEC_CAT/tech_motor_dat_web.asp

Yogurt Nutrition. (15 de Abril de 2011). *Yogurt Nutrition*. Obtenido de <https://www.yogurtinnutrition.com/es/que-es-el-yogur-preguntas-frecuentes/>

Marmitas volcables (2021) *ingeniería gastronómica* obtenido de:

<https://www.ig.com.ar/producto/marmitas-volcables-bano-maria-de-agua/>

link industrial Agitadores (2021) Obtenido de

https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/7932/agitadores_2.pdf

agropecuaria, S. (2015). *Scielo Perú* . Obtenido de

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-

99172015000300004#:~:text=(2012)%20se%C3%B1alan%20que%20las%20principales,definir%20la%20calidad%20del%20producto.

ASME. (1 de 10 de 2018). *ASME* . Obtenido de <https://cie.gov.ar/web/images/ASME-Intro.pdf>

Çengel, Y. A. (sexta edición). *Termodinámica* . En Y. A. Çengel.

científicos, t. (29 de 08 de 2005). *textos científicos* . Obtenido de

<https://www.textoscientificos.com/polimeros/nylon/nylon66>

Ltda, M. d. (27 de 11 de 2019). *Marmitas* .

Rodríguez, A. G. (2008). *memoria calculo seleccion y analisis numerico de un recipiente a presion* . Mexico D.F.

S.L, t. (s.f.). *Tosuga S.L.* . Obtenido de <http://www.tosuga.com/index.php?page=docu/metricas>

SKF. (2021). *SKF*. Obtenido de <https://www.skf.com/co/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/pillow-block-ball-bearing-units/productid-P%201.%20FM>

steel, C. s. (2012). *Carbone stainless steel*. Obtenido de <https://www.empresascarbhone.com/pdf/ficha-tecnica-del-acero-inoxidable.pdf>

Steel, C. S. (2015). *Carbone Staninless Steel* . Obtenido de <https://www.empresascarbhone.com/pdf/ficha-tecnica-del-acero-inoxidable.pdf>

