

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIEROS MECÁNICOS**

**TEMA:  
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MARMITA CILÍNDRICA CON AGITADOR  
Y FONDO ESFÉRICO CON RANGO DE TEMPERATURA DE 70°C A 80°C PARA  
PRODUCCIÓN DE 50 LITROS DE ADEREZOS**

**AUTORES:  
EDGAR MAURICIO CHACAGUASAY LOBATO  
CARLOS EMILIO PICHO BARRIONUEVO**

**TUTOR:  
WASHINGTON SALVATORE REINA GUZMÁN**

**Quito, abril del 2016**

## Cesión de derechos de autor

Nosotros Edgar Mauricio Chacaguasay Lobato, con documento de identificación N° 1723731483 y Carlos Emilio Picho Barrionuevo con documento de identificación N° 1714991666, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “Diseño y construcción de una marmita cilíndrica con agitador y fondo esférico con rango de temperatura de 70°C a 80°C para producción de 50 litros de aderezos”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, abril del 2016

Edgar Mauricio Chacaguasay Lobato

C.C. 1723731483

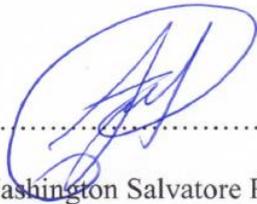
Carlos Emilio Picho Barrionuevo

C.C. 1714991666

## **Declaratoria de coautoría del docente tutor**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación:  
“Diseño y construcción de una marmita cilíndrica con agitador y fondo esférico con  
rango de temperatura de 70°C a 80°C para producción de 50 litros de aderezos”,  
realizado por Edgar Mauricio Chacaguasay Lobato y Carlos Emilio Picho Barrionuevo  
obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la  
Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de  
titulación.

Quito, abril del 2016



Ing. Washington Salvatore Reina Guzmán, MSc.

C.C. 1712766904

## **Dedicatoria**

Dedico con todo mi corazón las letras y páginas de este trabajo de grado a mí amada madre Mercedes, que después de haberme dado la vida luchó contra el mundo entero por que llegáramos a ser hombres de bien mis hermanos y yo, y fue la que soporto conmigo mis tropiezos y estuvo ahí en mis triunfos, depositó toda su confianza en mí con la seguridad de que sería capaz de lograr lo que me propusiera, pero más que nada por su amor incondicional y sincero.

A mis hermanos: Kléver y Guido que me brindaron su gran apoyo y compañía, a todos mis amigos y familiares que los conozco desde la infancia por separar de su tiempo para compartir sus experiencias además de momentos de esparcimiento.

**Edgar Mauricio Chacaguasay Lobato**

Este trabajo se lo dedico a Dios por concederme fortaleza, sabiduría y ser mi guía en momentos difíciles de mi carrera. A mi esposa Narciza quien supo ser mi compañera y apoyo incondicional en cada momento. A mis pequeños hijos Mateo y Matías que son el motivo de mi superación profesional y personal.

A mis padres Ramón y Magdalena, quienes han sido el pilar fundamental de ayuda y motivación para lograr con éxito una meta más en mi vida. A mis hermanas, familiares y amigos que en algún momento me brindaron su ayuda y buenos consejos para lograr culminar mi carrera.

**Carlos Emilio Picho Barrionuevo**

## **Agradecimiento**

A la Universidad Politécnica Salesiana que nos dio la oportunidad de formarnos como profesionales para el desarrollo personal y del país; a nuestro director de tesis el Ing. Salvatore Reina quien fue nuestro guía al impartirnos sus conocimientos y lineamientos en todo el trabajo de grado; a los ingenieros, personal administrativo que estuvieron en toda nuestra vida de estudiantes universitarios que nos brindaron su apoyo y contribución para que cumpliéramos con nuestro gran objetivo.

De manera muy especial al Ing. Eduardo Espín nuestra sincera y más grande gratitud por su total colaboración al ayudarnos en el desarrollo de nuestro trabajo de grado ser el patrocinador de dicho trabajo, que de manera desinteresada puso su confianza en nosotros.

## Índice

Introducción .....	1
Capítulo 1 .....	2
Marco teórico .....	2
1.1 Aderezo.....	2
1.1.1 Tipos de aderezos.....	2
1.1.2 Descripción del proceso para producir aderezos.....	2
1.1.3 Emulsificación.....	3
1.2 Marmita.....	3
1.2.1 Formas de la marmita.....	4
1.2.2 Partes principales de una marmita.....	4
1.2.3 Sistema de calentamiento de la marmita.....	5
1.3 Estudio de alternativas para la marmita.....	5
1.3.1 Factores de comparación.....	6
1.3.2 Marmitas a vapor.....	8
1.3.3 Clasificación de las marmitas de vapor.....	9
1.3.4 Sistema de agitación o emulsificación.....	9
1.3.5 Agitador.....	10
1.3.6 Tipos de agitadores.....	10
1.3.7 Estudio de alternativas para el agitador.....	11
1.3.7.1 Factores de comparación.....	11
1.3.7.1.1 Consumo energético.....	11
1.3.7.1.2 Grado de agitación.....	11
1.3.7.1.3 Velocidad de rotación.....	11
1.3.7.1.4 Costo.....	12
1.3.8 Agitadores de paletas tipo ancla.....	13

1.4	Fundamentos teóricos .....	13
1.4.1	Recipientes enchaquetados.....	14
1.4.2	Recipientes enchaquetados con agitación mecánica .....	14
	Capítulo 2.....	16
2	Diseño del sistema.....	16
2.1	Criterio de diseño.....	16
2.1.1	Alternativas en selección de materiales.....	17
2.1.2	Acero inoxidable .....	17
2.1.2.1	Acero inoxidable AISI 304 .....	18
2.1.3	Materiales poliméricos .....	18
2.1.4	Materiales de aislamiento térmico.....	19
2.1.4.1	Lana de vidrio .....	19
2.2	Diseño de elementos .....	20
2.2.1	Diseño de la estructura para el motorreductor.....	20
2.2.1.1	Cálculo de la fuerza crítica en la columna .....	20
2.2.2	Diseño del tanque .....	22
2.2.2.1	Cálculo del radio del tanque .....	22
2.2.2.2	Cálculo del área de transferencia de calor .....	23
2.2.2.3	Selección del espesor .....	23
2.2.2.4	Análisis térmico .....	24
2.2.2.4.1	Balance de energías con la tapa cerrada.....	24
2.2.2.5	Cálculo de la fuerza ejercida en el tanque.....	36
2.2.3	Dimensionamiento de la estructura de la mesa .....	37
2.2.3.1	Armazón de la estructura .....	38
2.2.3.2	Piso y gradas antideslizante .....	38
2.2.4	Cálculos de esfuerzos en la estructura.....	38
2.2.4.1	Cálculos de los elementos críticos de la mesa .....	39

2.2.4.2	Fuerzas cortantes y momento flector (Método de áreas) .....	42
2.2.4.3	Cálculo del elemento a compresión .....	44
2.2.4.4	Resistencia a la torsión del bastidor .....	49
2.2.5	Dimensionamiento del agitador .....	54
2.2.5.1	Cálculo de la potencia del agitador .....	54
2.2.5.2	Cálculo de las fuerzas horizontales en el agitador .....	56
2.2.5.3	Análisis por fatiga del eje del agitador .....	58
Capítulo 3 .....		64
3	Simulación .....	64
3.1	Simulación de esfuerzos del tanque .....	64
3.1.1	Tensiones .....	64
3.1.2	Desplazamientos .....	65
3.1.3	Factor de seguridad .....	66
3.2	Cálculos de esfuerzos en la estructura .....	66
3.2.1	Tensiones .....	66
3.2.3	Factor seguridad .....	68
3.3	Simulador de esfuerzos del agitador .....	68
3.3.1	Tensiones .....	69
3.3.2	Desplazamiento .....	70
Capítulo 4 .....		71
4	Análisis de costos .....	71
4.1	Análisis de costos directos .....	71
4.1.1	Costos de materiales directos .....	71
4.1.2	Costos de elementos normalizados .....	73
4.1.3	Costos de servicios de terceros .....	74
4.1.4	Costos de montaje e instalación .....	75

4.1.5	Costos directos totales .....	75
4.2	Análisis de costos indirectos .....	76
4.2.1	Costos de materiales indirectos .....	76
4.2.2	Otros .....	76
4.2.3	Costos indirectos totales .....	77
4.3	Costo total de la marmita .....	78
4.4	Análisis financiero .....	78
4.4.1	Proyección de ingresos anuales .....	78
4.4.2	Análisis costo de capital aceptable de rendimiento (TMAR) .....	79
4.4.3	Análisis valor actual neto (VAN). .....	79
4.4.4	Análisis tasa interna de retorno (TIR).....	80
	Conclusiones y recomendaciones .....	82
	Referencias.....	84

## Índice de figuras

Figura 1. Proceso de producción de aderezos .....	2
Figura 2. Formas de la marmita .....	4
Figura 3. Partes de la marmita.....	4
Figura 4. Marmita a vapor.....	9
Figura 5. Tipo de agitadores .....	10
Figura 6. Agitador de paletas tipo ancla.....	13
Figura 7. Recipiente enchaquetado .....	14
Figura 8. Valor del coeficiente de inestabilidad “C” .....	21
Figura 9. Inercia de la correa “C” .....	21
Figura 10. Fuerza horizontal .....	36
Figura 11. Estructura.....	38
Figura 12. Distribución de fuerzas sobre la estructura.....	39
Figura 13. Elemento crítico de la mesa .....	39
Figura 14. Diagrama de cuerpo libre elemento crítico.....	40
Figura 15. Cargas equivalentes elemento crítico .....	41
Figura 16. Diagrama de reacciones .....	42
Figura 17. Diagrama de fuerzas cortantes.....	43
Figura 18. Diagrama de momento flector .....	44
Figura 19. Elemento crítico a compresión .....	45
Figura 20. Inercia del elemento crítico .....	45
Figura 21. Longitud efectiva de columnas .....	47
Figura 22. Resistencia a la torsión .....	49
Figura 23. Diagrama de cuerpo libre bastidor de la mesa.....	50

Figura 24. Tubo rectangular 1.5'' x 3/4'' .....	51
Figura 25. Tubo cuadrado de 1.5'' .....	52
Figura 26. Número de potencia .....	55
Figura 27. Diagrama cuerpo libre fuerza horizontal .....	56
Figura 28. Kt teórico .....	62
Figura 29. Tensiones sobre el tanque .....	65
Figura 30. Desplazamientos sobre el tanque .....	65
Figura 31. Factor de seguridad en el tanque .....	66
Figura 32. Tensiones en la estructura .....	67
Figura 33. Desplazamientos en la estructura .....	67
Figura 34. Factor de seguridad de la estructura .....	68
Figura 35. Esfuerzos del agitador .....	69
Figura 36. Tensiones en el agitador .....	69
Figura 37. Desplazamiento del agitador .....	70
Figura 38. Indicadores económicos del Ecuador .....	79

## Índice de tablas

Tabla 1. Ponderación de alternativas marmita .....	8
Tabla 2. Ponderación de alternativas agitador .....	12
Tabla 3. Parámetros de diseño .....	16
Tabla 4. Selección de materiales .....	17
Tabla 5. Propiedades AISI 304 .....	18
Tabla 6. Características de los aislantes en masa para alta temperatura .....	19
Tabla 7. Características técnicas de la lana de vidrio.....	20
Tabla 8. Datos iniciales del tanque .....	22
Tabla 9. Espesores de la plancha.....	23
Tabla 10. Datos para el diseño térmico.....	27
Tabla 11. Interpolación volumen específico & entalpía .....	29
Tabla 12. Interpolación de la esbeltez.....	48
Tabla 13. Datos para el cálculo de número de Reynolds .....	54
Tabla 14. Datos para el cálculo de las fuerzas horizontales.....	57
Tabla 15. Factor de superficie $K_a$ .....	59
Tabla 16. Propiedades mecánicas a la tensión de algunos aceros.....	59
Tabla 17. Factor de temperatura $K_d$ .....	61
Tabla 18. Costos materiales indirectos materiales indirectos .....	72
Tabla 19. Costos de elementos normalizados .....	73
Tabla 20. Costo de servicios de terceros .....	74
Tabla 21. Costo de montaje e instalación.....	75
Tabla 22. Costo total directo .....	75
Tabla 23. Costo material indirecto .....	76

Tabla 24. Otros costos indirectos .....	77
Tabla 25. Costo total indirecto .....	77
Tabla 26. Costo total de la marmita .....	78
Tabla 27. Proyección de ingresos.....	78
Tabla 28. Criterios aceptación VAN.....	80
Tabla 29. Cálculo del VAN y TIR .....	81

## **Resumen**

El presente trabajo de titulación “Diseño y construcción de una marmita cilíndrica con agitador y fondo esférico con rango de temperatura de 70°C a 80°C para producción de 50 litros de aderezos” nace a partir de la resolución del COMEX (Resolución N° 011-2015 Comité de Comercio Exterior; Anexo 1), a la sobretasa arancelaria para la importación de equipos de uso industrial alimenticio que aumento su costo en un 45%. Este trabajo es patrocinado por la empresa Mechanical & Solutions Escorpmech S.A. quien emite varios parámetros técnicos importantes que se deben respetar al momento del diseño, los cuales se explica en su totalidad en el segundo capítulo del presente trabajo.

El proyecto está constituido por cuatro capítulos: en el primer capítulo se detalla el marco teórico en el cual se describen algunos conceptos tales como que es un aderezo, en que consiste la emulsificación, estudio de alternativas para selección de la marmita y el fundamento teórico de recipientes enchaquetados con agitación mecánica. En el segundo capítulo se realiza el estudio de alternativas para la selección de materiales y con este análisis empieza el criterio de diseño de la marmita con los siguientes cálculos y diseños: diseño de la estructura para el motor reductor, diseño del tanque, diseño del área de transferencia de calor, cálculo término del tanque, cálculo de la fuerza ejercida en el tanque, diseño de la estructura de la mesa y el diseño del agitador. El tercer capítulo se lo dedica en su totalidad para satisfacer uno de los objetivos específicos de este trabajo como es el de la simulación de algunos elementos de la marmita como son el tanque, el agitador y la estructura. En el cuarto capítulo se encuentra al detalle los costos en los que se incurrió para el diseño, construcción y puesta en marcha de la marmita.

## **Abstract**

The present graduation work "Design and construction of a cylindrical marmita with stirrer and spherical background with temperature range 70 °c to 80 °c production 50 l from aderezos" which was created by COMEX resolution (Resolution No. 011 - 2015 Foreign Trade Committee; ANNEX A), the tariff surcharge for imports of industrial food equipment that increase the cost by 45%. This work is funded by the company Mechanical & Solutions Escorpmecc S.A. who emits several major technical parameters to be respected when designing, which are explained in the second chapter.

Four chapters explain the project: first chapter describes basic concepts like what is an aderezo, emulsification and also of alternatives for the selection of the marmita and theoretical foundation of jacketed container with mechanical agitation. Second chapter is about the selection of materials. The choice was made after a deep study of some alternatives. On the other hand the analysis begins with the design criteria of marmita with the following calculations and designs: design of the structure for the geared motor, tank design, design of heat transfer area, term calculation of the tank, calculation of the force exerted on the tank, design table structure and design of the agitator. One the specific objective of the project is entirely explained in chapter three. There is information about the simulation of some elements such as the tank, stirrer and structure. Finally, last chapter detail the cost that were incurred in the design, construction and commissioning of the marmita.

## **Introducción**

En el Ecuador existen varias empresas dedicadas a la producción, comercialización y distribución de mermeladas, jaleas, jugos, salsas, aderezos, etc. pero en este caso la empresa Ecopacific S.A esta centralizada en la fabricación y distribución de jugos naturales, utilizando en sus técnicas de fabricación la marmita para procesos de pasteurización, calentamiento y cocción de estos productos.

Las empresas que utilizan en sus técnicas de producción las marmitas importadas, el valor comercial según las nuevas sobretasas arancelarias que el gobierno nacional decidió establecer con el propósito de regular el nivel general de importaciones y garantizar el lineamiento de la política económica de nuestro país que está enfocada a “incentivar la producción nacional”, aumentarán en su costo el 45% según la resolución de la dirección nacional de mejora continua y normativa. Teniendo presente la sobretasa arancelaria para la importación de equipos industriales y además que en el mercado nacional la fabricación de este tipo de equipos, bajo especificaciones puntuales que satisfagan necesidades propias de una empresa es muy reducida; se ha visto viable el diseño y fabricación de una marmita con capacidad de 50 litros, que es volumen de producción que satisface los niveles de demanda en el mercado para esta empresa.

## Capítulo 1

### Marco teórico

#### 1.1 Aderezo.

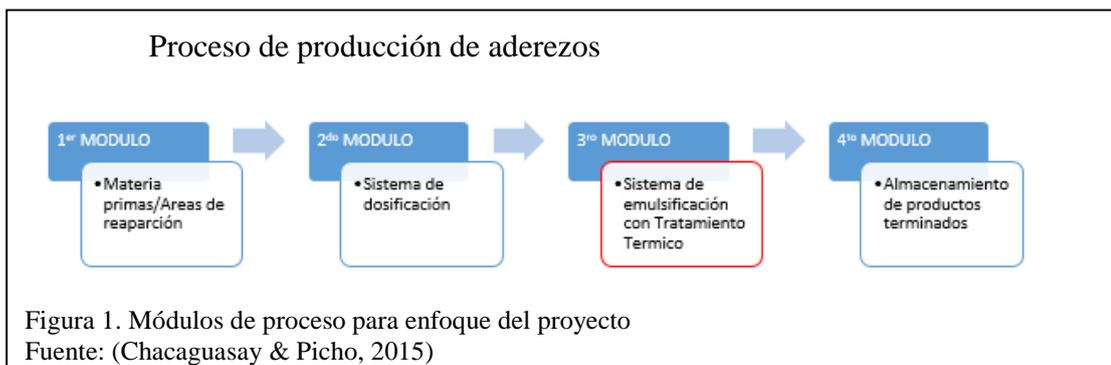
Los aderezos son aquellos productos, ingredientes o mezclas que se utilizan para sazonar la comida y otorgarle un aroma y sabor especial o simplemente complementarla denominados también salsas o aliño. Los aderezos y salsas consisten fundamentalmente en una fase de aceite, una fase acuosa y un emulsionante. Luego de ser mezcladas ambas fases forman una emulsión aceite en agua.

##### 1.1.1 Tipos de aderezos.

Generalmente los aderezos son de sabor fuerte, son condimentos populares como la sal, la pimienta, el ketchup, el aceite de oliva, el vinagre, el azúcar, mayonesas, mostazas. Es por esta razón que existen un sin número de aderezos que se pueden fabricar al mezclar cada uno de los ingredientes mencionados anteriormente.

##### 1.1.2 Descripción del proceso para producir aderezos.

En la figura 1 se puede apreciar el proceso para la producción de aderezos estructurado en 4 módulos, muestran un orden de producción teniendo como 1<sup>er</sup> módulo la materia prima, 2<sup>do</sup> módulo el sistema de dosificación, 3<sup>er</sup> módulo el sistema de emulsificación con tratamiento térmico y 4<sup>to</sup> módulo el almacenamiento de producto terminado.



Este proyecto como lo indica la figura 1 está enfocado en el 3º módulo del proceso de producción del aderezo, en el cual se utilizará una marmita cilíndrica con fondo esférico, este proceso involucra transferencia de calor de forma indirecta y está provisto de un sistema de agitación para la emulsificación (proceso mediante el cual se mezclan dos líquidos que normalmente no lo hacen). Un ejemplo claro es unir la grasa con el agua que son los principales ingredientes para la fabricación de aderezos.

### **1.1.3 Emulsificación.**

La emulsificación (formación de una emulsión) es un sistema constituido por dos fases líquidas inmiscibles, donde una de las cuales se dispersa a través de la otra. Este proceso se lo realiza con sistemas de agitación que pueden ser: agitadores tipo paletas, agitadores tipo turbina y de hélice, que serán descritos más adelante del documento.

## **1.2 Marmita.**

Existen varios textos, investigaciones y tesis, donde se indica el inicio de la fabricación de la marmita y la definición de esta, sin embargo, Erazo (2012) afirma:

La historia nos indica que la mamita fue creada en Francia por el inventor, matemático y físico francés Denis Papin que lo diseñó por primera vez en el año 1679. Denis Papin hizo el primer diseño de la marmita con el objeto de estudiar los efectos de la producción de vapor en recipientes cerrados. (pág. 16)

La marmita se la puede definir como una olla de presión o también como un recipiente metálico hermético, con tapa atornillada y que en algunos casos posee un sistema de agitación por medio de paletas en el que la presión interna del vapor, contribuye eficientemente a la cocción de los alimentos con rapidez o también en la fabricación de mermeladas, jaleas, chocolates, bocadillos, salsas, aderezos, etc. (pág. 31)

### 1.2.1 Formas de la marmita

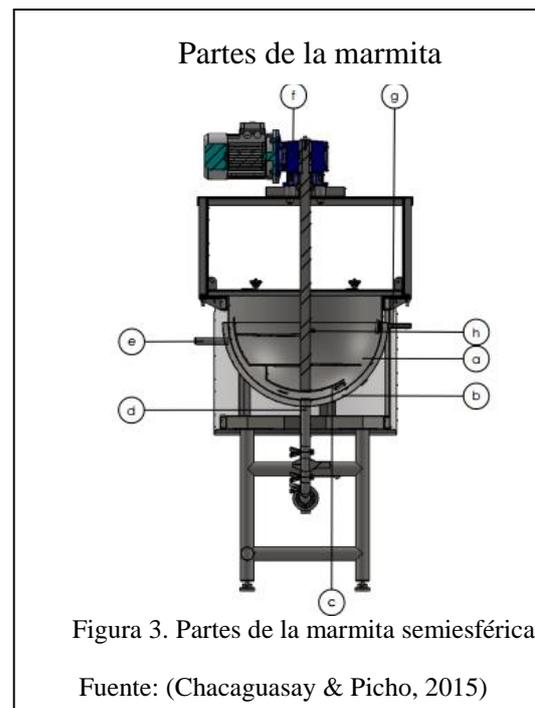
Las formas más comunes con las cuales se puede fabricar las marmitas son: cilíndrica o semiesférica como se puede apreciar en la figura 2. Pero la más utilizada es la de fondo semiesférico ya que ayuda a que todo el producto se descargue, además evita dejar residuos en el tanque facilitando de esta manera la limpieza del mismo.



### 1.2.2 Partes principales de una marmita.

En la figura 3 se encuentran ubicadas algunas de las partes principales de la marmita u olla de presión, para su correcto funcionamiento:

- a. Tanque de la marmita
- b. Chaqueta
- c. Agitador
- d. Tubería de descarga
- e. Entrada de vapor
- f. Motoreductor
- g. Conexión para la válvula de seguridad de vapor.
- h. Termopozo



### **1.2.3 Sistema de calentamiento de la marmita.**

“Dependiendo de sus componentes y sistemas de calentamiento existen diferentes tipos de marmita tales como”: (Erazo, 2012, págs. 31-32-33).

- Marmita de calentamiento a vapor.
- Marmita de calentamiento a gas.
- Marmita de calentamiento con energía eléctrica.

### **1.3 Estudio de alternativas para la marmita.**

La marmita se realizará para la empresa Ecopacific S.A., dicha empresa está ubicada en Amaguaña del cantón Quito, provincia de Pichincha y se dedica a la producción de jugos naturales, frutas y legumbres, distribuyendo sus productos a grandes centros comerciales del país.

En el presente trabajo no se realizarán propuestas de posibles alternativas para el diseño de la marmita ya que el auspiciante Ecopacific S.A. en el proceso fabricación tiene como energía principal para el funcionamiento de estos equipos vapor con una presión de 40 PSI, lo que limita para realizar un análisis comparativo que involucre a varias propuestas.

Para garantizar que la toma de decisión basados en la energía principal que existe en la empresa donde funcionara la marmita es la correcta, se utilizará el método de ponderación que cubre otros parámetros requeridos para la máquina, en este método se tomará el valor más alto como la opción más apropiada para el diseño y la construcción, el valor más bajo, como la opción menos apropiada.

### **1.3.1 Factores de comparación.**

#### **1.3.1.1 Cocción uniforme.**

Es primordial que la temperatura que circula por la chaqueta sea la misma en toda su superficie, ya que de esta dependerá que el producto no se quemé o adhiera al recipiente. Factor de ponderación 9/10.

#### **1.3.1.2 Funcionalidad**

De acuerdo a los criterios de diseño higiénico de equipos EHEDG (2014) señala que:

La marmita, es un equipo para procesar alimentos por esta razón debe ser fácil de limpiar para garantizar que funcione como se espera para prevenir problemas microbiológicos. Por tanto, el equipo debe ser fácil de limpiar y debe proteger a los productos de la contaminación. (pág. 8)

Factor de ponderación 8/10.

#### **1.3.1.3 Materiales para la construcción**

Este factor es esencial al momento de verificar la existencia de los materiales en el mercado nacional, siempre priorizando todos los elementos incluidos los normalizados, tanto en garantía, como en disponibilidad de repuestos. Factor de ponderación 8/10.

#### **1.3.1.4 Costo**

El costo es un pilar fundamental que va de la mano con el costo de diseño, costo de materiales y costo de proceso de construcción, para la conformación de la máquina. Factor de ponderación 9/10.

#### **1.3.1.5 Instalación en el sitio**

La máquina debe tener diseño y construcción higiénicos (acabado sanitario 3A), esto quiere decir que la marmita debe ser desarmable para una correcta limpieza

después de su funcionamiento y además esto garantizara que al momento de instalar o dar mantenimiento sea lo más cómoda posible. Factor de ponderación 9/10.

### 1.3.1.6 Energía utilizada para el funcionamiento

Este factor es muy importante ya que en la industria alimenticia se debe usar energía limpia. Factor de ponderación 10/10.

### 1.3.1.7 Resistencia

La resistencia es la capacidad que todos los cuerpos tienen para resistir las fuerzas aplicadas sin romperse. La resistencia de un cuerpo depende de su material y de su geometría. En este caso los componentes de la marmita deben resistir el peso del producto, la fuerza de agitación y la presión de diseño 40 PSI. Factor de ponderación 9/10.

En la tabla 1, se realiza la media aritmética con los factores de comparación de cada alternativa.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots + x_n}{N} \quad \text{Ecuación [1]}$$

Donde:

- $\bar{x}$ : Media aritmética
- $x_1, x_2, x_n$ : Factores de comparación
- $N$ : Número de factores de comparación

$$\bar{x}_{\text{alternativa ideal}} = \frac{9 + 8 + 8 + 9 + 9 + 10 + 9}{7} = 8,86$$

$$\bar{x}_{\text{marmita a gas}} = \frac{9 + 8 + 8 + 8 + 9 + 7 + 9}{7} = 8,23$$

$$\bar{x}_{\text{marmita a vapor}} = \frac{9 + 8 + 8 + 9 + 9 + 10 + 9}{7} = \mathbf{8,71}$$

$$\bar{x}_{\text{marmita a electricidad}} = \frac{8 + 7 + 8 + 7 + 9 + 9 + 9}{7} = 8,14$$

En la tabla 1 se puede apreciar la ponderación de alternativas de las marmitas, con sus respectivos factores de comparación.

Tabla 1.

Ponderación de alternativas marmita

Factores de comparación	Ideal	Alternativas marmita a:		
		gas	vapor	electricidad
Cocción uniforme	9	9	9	8
Funcionalidad	8	8	8	7
Materiales para la construcción	8	8	8	8
Costo	9	8	9	7
Instalación en el sitio	9	9	9	9
Energía utilizada para el funcionamiento	10	7	10	9
Resistencia	9	9	9	9
<b>Promedio</b>	<b>8.86</b>	<b>8.23</b>	<b>8.71</b>	<b>8.14</b>

Nota: En esta tabla se evalúa el promedio de las 3 principales alternativas, evaluando cual se acerca a la ponderación ideal.

Elaborado por: (Chacaguasay & Picho, 2015)

Con este análisis concluimos que la mejor alternativa es la marmita a vapor cuyo valor de la media aritmética es la más próxima al valor ideal con un total de 8.71 puntos.

### 1.3.2 Marmitas a vapor

Este tipo de equipos a vapor utiliza un sistema de calentamiento muy frecuente en la industria alimenticia, consiste fundamentalmente en una cámara de calentamiento conocida como camisa o chaqueta de vapor, que abraza el recipiente donde se coloca el producto que se desea calentar.

Como se puede apreciar en la figura 4, una marmita a vapor de forma semiesférica con un mecanismo de volteo del tanque de forma manual para lograr una descarga de producto más rápida que por tuberías.



“Usualmente las marmitas tienen forma semiesférica y puede estar provistas de un sistema de agitación mecánico y de volteo para facilitar la salida del producto”. (UNAD , 2010).

### 1.3.3 Clasificación de las marmitas de vapor

La marmita se puede clasificar de dos formas con agitador y sin agitador. Las marmitas sin agitador son utilizadas generalmente para procesos de cocción o calentamiento donde el producto no necesita ser mezclado. Mientras que las marmitas que además de cocción o calentamiento del producto necesitan realizar una mezcla o emulsificación están dotadas de un sistema de agitación que pueden ser:

- Agitadores tipo paletas.
- Agitadores tipo turbina.
- Agitadores de hélice.

### 1.3.4 Sistema de agitación o emulsificación

De acuerdo a la investigación sobre las marmitas, realizada por Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD (2010) indica que:

La agitación es la operación unitaria que pretende un movimiento muy rápido, con gran turbulencia para lograr números de Reynolds altos. La aplicación de la agitación es en la transferencia de calor por convección, que como bien es sabido ocurre para líquidos y gases. (pág. 1)

### 1.3.5 Agitador

Los agitadores son dispositivos impulsados por un rodete que se utilizan para homogenizar, emulsionar una solución que se encuentra en un recipiente. Es importante indicar que el tipo de agitador se debe elegir de acuerdo a la viscosidad del fluido a homogenizar.

### 1.3.6 Tipos de agitadores

Los agitadores se dividen en dos clases. Los que generan corrientes paralelas al eje del agitador, son llamados agitadores de flujo axial. Los que dan origen a corrientes en dirección tangencial o radial, son llamados agitadores de flujo radial.

En la figura 5 se indican los tipos de agitadores que se puede encontrar en el mercado y su utilización de acuerdo a su necesidad.

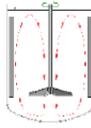
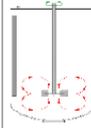
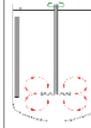
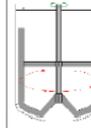
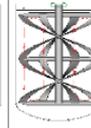
Tipo de agitadores									
Denominación Denomination	Hélice Propeller	Hidrofoil Hydrofoil	Verzafoil Versafoil	Turbina axial Pitched blade turbine	Turbina radial Radial turbine	Cowles Disperser disc	Ancora Anchor	Cinta helicoidal Helical ribbon	
Proporciones geométricas standard Standard Geometries									
Situación Situation	centrada / centrada descentrada sin baffles / off-centre without baffles lateral side-entry	centrada / centrada descentrada sin baffles / off-centre without baffles lateral side-entry	centrada con baffles centred with baffles	centrada con baffles centred with baffles	centrada con baffles centred with baffles	centrada / centrada descentrada sin baffles off-centre without baffles	centrada sin baffles centred without baffles	centrada sin baffles centred without baffles	
Flujo primario Primary flow	axial / axial	axial / axial	axial / axial	axial y radial axial and radial	radial / radial	radial / radial	tangencial / tangential	axial / axial	
Rango de utilización Range of use	d/D d/D	0'1 - 0'5	0'2 - 0'7	0'5 - 0'98	0'2 - 0'6	0'2 - 0'4	0'1 - 0'5	0'9 - 0'98	0'9 - 0'98
	Vel Tang (m/s) Tang Vel (m/s)	3 - 15	2 - 10	1 - 12	2 - 6	4 - 10	5 - 20	1 - 5	$u < 2$
	Re Re	$Re > 10^3$	$Re > 10^2$	$Re > 20$	$Re > 10^2$	$Re > 10^3$	$Re > 10^3$ turbulento / turbulent	$Re > 10^2$	$Re < 10^2$ laminar / laminated
Viscosidad (Pa.s) Viscosity (Pa.s)	$\eta < 20$	$\eta < 50$	$\eta < 100$	$\eta < 20$	$\eta < 20$	$\eta < 20$	$\eta < 20$	$\eta > 50$	
Comentarios Comments	Tanques pequeños Baja agitación en tanques grandes Baja viscosidad Small tank Low agitation in large tanks Low viscosity	Buen rendimiento Permite bajos consumos y accionamientos más económicos Good performance Makes low consumption and allows use of more economic drives	Muy versátil Apta para altas y bajas viscosidades Agitación uniforme en todo el tanque Very versatile Suitable for high and low viscosities Uniform agitation throughout the tank	Construcción económica Facilmente adaptable a tanques muy grandes Economic construction Easily adaptable to very large tanks	Indicada casi exclusivamente para dispersión de gases y transferencia térmica Recommended almost exclusively for the dispersion of gases and heat transfer	Alta cizalladura Potencia muy sensible a la viscosidad Especial para emulsiones, pinturas, etc. High shearing Power very sensitive to viscosity Especially for emulsions, paints, etc.	Para agitación cerca de paredes A menudo con rascadores Para transferencia térmica For agitation near walls Often with scrapers For heat transfer	Ideal para viscosidades muy altas Poco apta para baja viscosidad Ideal for very high viscosities Not very suitable for low viscosities	

Figura 5. Cada agitador con sus características técnicas que pueden trabajar a altas revoluciones y torques bajos o viceversa.

Fuente: [https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos\\_y\\_documentos/7932/agitadores\\_2.pdf](https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/7932/agitadores_2.pdf)

### **1.3.7 Estudio de alternativas para el agitador**

El mercado ofrece una gama muy amplia de alternativas cuando se trata de diseñar un sistema de agitación. Para esta selección se debe enfocar principalmente en las propiedades reológicas (como se mueve el fluido). Los parámetros principales para evaluar la mejor alternativa son: (Linkindustrial, 2011, pág. 4).

- Consumo energético.
- Grado de agitación.
- Velocidad de rotación.
- Costo.

#### **1.3.7.1 Factores de comparación**

##### **1.3.7.1.1 Consumo energético**

“El consumo energético se relaciona con la energía del motor que se emplea en el movimiento de toda la masa del fluido y turbulencias locales”. (Linkindustrial, 2011, pág. 4). Factor de ponderación 9/10.

##### **1.3.7.1.2 Grado de agitación**

“En los casos en que la agitación es el parámetro significativo, es útil definir como grado de agitación un número comprendido entre 0 y 10 proporcional a la relación entre el caudal del impulsor y la sección de tanque”. (Linkindustrial, 2011, pág. 4). Factor de ponderación 10/10.

##### **1.3.7.1.3 Velocidad de rotación**

“La velocidad de rotación del agitador influye significativamente sobre la mezcla, ya que es la velocidad de agitación que imparte a una partícula para recorrer todo el diámetro de la misma.” (Euromix, 2015, pág. 7). Factor de ponderación 8/10.

### 1.3.7.1.4 Costo

Es un factor muy importante para la consideración del diseño, ya que vincula varios costos como: materiales y costo de proceso de construcción. Factor de ponderación 9/10.

En la tabla 2 se puede apreciar la ponderación de alternativas del agitador con sus respectivos factores de comparación con un promedio máximo de ponderación el valor de 10.

$$\bar{x}_{\text{alternativa ideal}} = \frac{9 + 10 + 8 + 9}{4} = 9$$

$$\bar{x}_{\text{Helice}} = \frac{7 + 9 + 8 + 5}{4} = 7,25$$

$$\bar{x}_{\text{paletas tipo ancla}} = \frac{9 + 10 + 8 + 7}{7} = \mathbf{8,5}$$

$$\bar{x}_{\text{turbina}} = \frac{9 + 9 + 8 + 6}{7} = 8$$

Tabla 2.

Ponderación de alternativas agitador

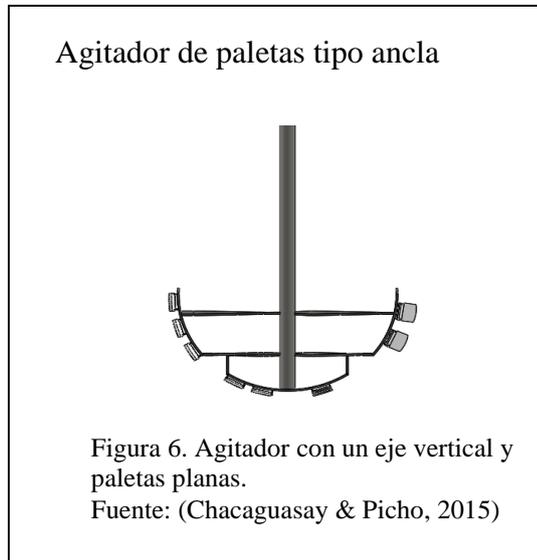
Factores de comparación	de Ponderación ideal	Alternativas		
		Hélice	Paletas tipo ancla	Turbinas
Consumo energético	9	7	9	9
Grado de agitación	10	9	10	9
Velocidad	8	8	8	8
Costo	9	5	7	6
<b>Promedio</b>	9	7,25	<b>8.5</b>	8

Nota: En la tabla indica el valor más próximo al valor ideal para seleccionar el agitador.  
Elaborado por: (Chacaguasay & Picho, 2015)

Se concluye que, el resultado de la alternativa más idónea es el agitador de paletas tipo ancla.

### 1.3.8 Agitadores de paletas tipo ancla

Se observa en la figura 6 un agitador de paletas tipo ancla con raspadores para ser utilizado en una marmita semiesférica para trabajar a bajas revoluciones, pero torques altos.



Los agitadores de paletas tipo ancla están formados por una paleta plana, que gira sobre un eje vertical. “Las paletas giran a velocidades bajas o moderadas en el centro del tanque, impulsando al líquido radial y tangencialmente, sin que exista movimiento vertical respecto del agitador, a menos que las paletas estén inclinadas.” (Flow Control and Handling S.A., 2015, pág. 4)

### 1.4 Fundamentos teóricos

Esta investigación se centraliza en la dispersión de calor que existe entre dos cuerpos, en este caso la chaqueta de acero inoxidable y el vapor, por este motivo se analizará el tipo de transferencia de calor que existe en este sistema.

La transferencia de calor está relacionada con la razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos llamados fuente y receptor. Cuando se vaporiza una libra de agua o se condensa una libra de vapor, el cambio de energía en los dos procesos es idéntico. (Donald Q., 1999, pág. 13)

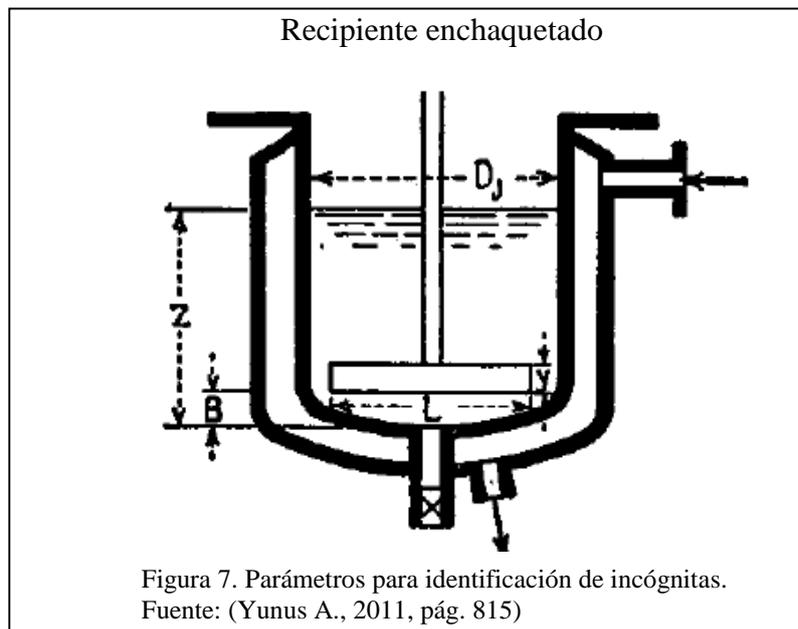
### 1.4.1 Recipientes enchaquetados

Existen varios métodos para la fabricación de marmitas sin embargo Donald (1999). A firma:

Un recipiente enchaquetado puede adaptarse para operaciones de régimen constante cuando la entrada y salida de materiales sea constante. Ya que los recipientes enchaquetados son fundamentalmente aparatos para procesar lotes, la diferencia de temperatura durante el proceso de calentamiento o enfriamiento no es constante. (pág. 814)

### 1.4.2 Recipientes enchaquetados con agitación mecánica

En la figura 7 se muestra un recipiente enchaquetado estándar. Consiste de un recipiente y su chaqueta y los medios apropiados para circular el líquido dentro de la chaqueta y un agitador de aspas planas.



“Las dimensiones esenciales para el cálculo son, altura de la porción húmeda del recipiente  $Z$ , diámetro del recipiente  $D_j$ , longitud de la paleta del agitador  $L$ , y la altura desde el fondo de la paleta hasta el fondo del recipiente  $B$ ”. (Donald Q., 1999, pág. 815).

$$R_{ej} = \frac{L^2 N p}{\mu}$$

**Ecuación [2]**

Fuente: (Donald Q., 1999, pág. 815).

Donde:

*L*: longitud en pies de la paleta,

*N*: número de revoluciones por hora,

*p*: densidad promedio,

*u*: viscosidad del líquido.

“Los estudios hechos por White y colaboradores indican que los requerimientos de potencia pueden determinarse como una función del número de Reynolds modificado”. (Donald Q., 1999, pág. 815).

## Capítulo 2

### Diseño del sistema

Las especificaciones técnicas de la marmita a diseñar detalladas por Mechanical & Solutions Escorpmech S.A. quien es la empresa patrocinadora de este proyecto, se detallan en la tabla 3.

Tabla 3.

Parámetros de diseño

Item	Especificación
Capacidad (Volumen)	50 litros
Presión de diseño	40 PSI
Potencia del motor reductor	1 HP
Aislamiento	Lana de vidrio de 2" de espesor
Entradas chaqueta	1 neplo macho ¾" NPT
Salida para válvula de seguridad	1 neplo macho ¾" NPT
Descarga del vapor	1 neplo macho ¾" NPT
Soldadura	GTAW (TIG)
Descarga del producto	4 cuello ferrule de 1 ½" sanitaria + 1000 mm de tubería sanitaria 1 ½" + 2 codos sanitarios clamp. 2 válvulas mariposa sanitarias clamp,
Agitador	Vertical de aspas laterales con raspadores
Plataforma	1400 mm x 700 mm x 900 mm Tubo cuadrado de 1 ½" Tubo rectangular de 1 ½" x ¾"
Escalera	Canal C + tubo cuadrado de 1 ½"
Acabado	Mate 2B

Nota: La tabla indica las especificaciones técnicas solicitadas por el patrocinador del proyecto.  
Fuente: (Chacaguasay & Picho, 2015)

#### 2.1 Criterio de diseño

La marmita que se va a diseñar y posteriormente a construir, debe cumplir primero con las especificaciones entregadas por Mechanical & Solutions Escorpmech S.A. que se indican en la tabla 3, garantizando que todos sus componentes, cumplan

con las funciones para las que fueron diseñadas y también no interfieran con el correcto funcionamiento de sus compones adyacentes.

### 2.1.1 Alternativas en selección de materiales

“Los materiales seleccionados deben ser resistentes a la corrosión, no tóxicos, estables mecánicamente y su acabado superficial no debe verse afectado por las condiciones del uso al que se destinan”. (EHEDG, 2014, pág. 4). Para la compra materiales y accesorios se considera los existentes en el mercado nacional.

En la tabla 4 se muestra un resumen de las partes principales que conforman la marmita con su respectivo material con el cual trabajará para el buen funcionamiento de la misma.

Tabla 4.

Selección de materiales

Elemento	Material				
	Plancha Lisa	Duralón	Tubo cuadrado mecánico	Tubo sanitario redondo	Plancha corrugada
Agitador	x				
Paletas		x			
Estructura			x		x
Tubería descarga				x	

Nota: La correcta selección de materiales garantizará la funcionabilidad del equipo además que la buena selección permitirá un mejor costo del equipo.

Fuente: (Chacaguasay & Picho, 2015)

### 2.1.2 Acero inoxidable

En general, los aceros inoxidables ofrecen excelente protección contra la corrosión y por ello, se usan mucho en la industria alimenticia.

### 2.1.2.1 Acero inoxidable AISI 304

El acero AISI 304 es el más versátil y uno de los aceros inoxidables más usados de la serie 300, gracias a sus excelentes propiedades para el conformado y el soldado, tiene buenas características para la soldadura, no requiere recocido tras la soldadura para que se desempeñe bien en una amplia gama de condiciones corrosivas.

La resistencia a la corrosión es excelente. Tiene excelente resistencia a la corrosión en servicio intermitente hasta 870 °C y en servicio continuo hasta 925°C. (Suministros Técnicos S.A., 2015, pág. 2).

En la tabla 5 se puede apreciar las propiedades del acero inoxidable AISI 304.

Tabla 5.

#### Propiedades AISI 304

Resistencia a la fluencia	310 MPa (45 KSI)
Resistencia	máxima 620 MPa (90 KSI)
Elongación	30 % (en 50mm)
Reducción de área	40 %
Módulo de elasticidad	200 GPa (29000 KSI)
Densidad	7.8 g/cm <sup>3</sup> (0.28 lb/in <sup>3</sup> )

Nota: Las propiedades del acero inoxidable AISI 304 serán utilizados para los diferentes cálculos.  
Fuente: (Suministros Técnicos S.A., 2015)

Sus aplicaciones son muy variadas, se destacan los equipos para procesamiento de alimentos, enfriadores de leche, intercambiadores de calor, contenedores de productos químicos, tanques para almacenamiento de vinos y cervezas, partes para extintores de fuego.

### 2.1.3 Materiales poliméricos

Para la elaboración de los raspadores se ha seleccionado materiales poliméricos teniendo en cuenta los siguientes criterios: compatibilidad con los alimentos y los ingredientes (resistencias químicas a aceites, grasas y conservantes), resistencia al

vapor, facilidad para la limpieza, y su dureza. Es por esta razón que se utiliza el duralón para la fabricación de los raspadores.

#### 2.1.4 Materiales de aislamiento térmico

El aislamiento térmico del equipo se debe realizar de tal forma que el material aislante no pueda ser mojado por entrada de agua desde el exterior (por ejemplo, limpieza con manguera, condensación en superficies frías), la entrada de agua puede dar lugar a una pérdida de rendimiento del aislante.

##### 2.1.4.1 Lana de vidrio

En la tabla 6 se detallan las propiedades de la lana de vidrio.

Tabla 6.

Características de los aislantes en masa para alta temperatura

MAXIMA TEMPERATURA ACEPTABLE (°C)	MATERIAL	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	CONDUCTIVIDADES TERMICAS (kcal/h · m <sup>2</sup> · °C/m)
540	Fibra de vidrio	70	150 °C: 0,044 425 °C: 0,090
425	Vidrio celular	125-150	150 °C: 0,070 425 °C: 0,132
240	Glisonita procesada	650-715	0,076-0,100
200	Lana de vidrio	8-50	150 °C: 0,044
1.000	Fibra de cemento	400-500	90 °C: 0,070 315 °C: 0,100

Nota: La lana de vidrio es uno de los aislantes térmicos mayor mente utilizados en la industria.

Fuente: (JHG Ingeniería, 2007, pág. 18).

De la tabla 6 se escoge como aislante térmico la lana de vidrio que soporta una máxima temperatura de 200 °C y esta sobre el rango de temperatura de 70 °C a 80 °C que estará trabajando la marmita. La lana de vidrio será colocada en el contorno del tanque, abrazando a la chaqueta, además se colocará lana de vidrio en la parte inferior de la marmita, en la tabla 7 se puede apreciar las características técnicas.

Tabla 7.

Características técnicas de la lana de vidrio

Propiedades		Unidades	Valores
Conductividad térmica ( $\lambda_D$ )	50° C	W/(m · K)	0,038
	150° C		0,055
	200° C		0,066
	300° C		0,101
Reacción al fuego		Euroclase	A2 <sub>1</sub> -s1, d0
Resistencia al vapor de agua		m <sup>2</sup> · h · Pa/mg	100

Nota: La conductividad térmica de la lana de vidrio será utilizada para los cálculos térmicos.  
Fuente: (Rivas, 2013, pág. 3)

## 2.2 Diseño de elementos

### 2.2.1 Diseño de la estructura para el motorreductor

La estructura debe soportar al conjunto motorreductor - agitador y adicional se tomará como referencia que un operador esté realizando mantenimiento sobre la marmita, lo cual indica que esta estructura debe soportar aproximadamente 300 Kg.

#### 2.2.1.1 Cálculo de la fuerza crítica en la columna

Para el cálculo de la fuerza crítica ( $P_{cr}$ ) se utilizará la siguiente fórmula:

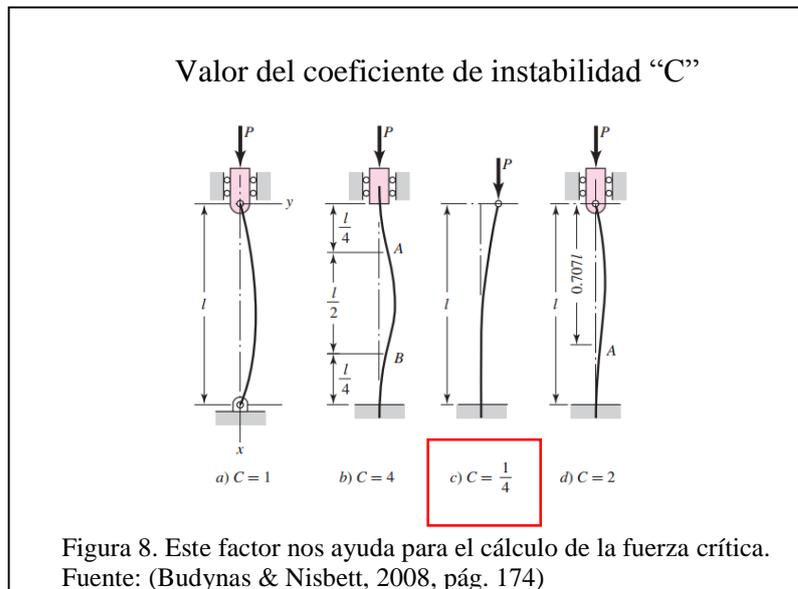
$$P_{cr} = \frac{C \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2} \quad \text{Ecuación [3]}$$

Fuente: (Budynas & Keith Nisbett, 2008, pág. 174).

Donde:

$$C: \text{Coeficiente de inestabilidad} = \frac{1}{4}$$

En la figura 8 se puede ver 4 tipos de columna que están trabajando a compresión y del cual para cada caso se tiene un valor de coeficiente de inestabilidad, se escoge el tercer caso.



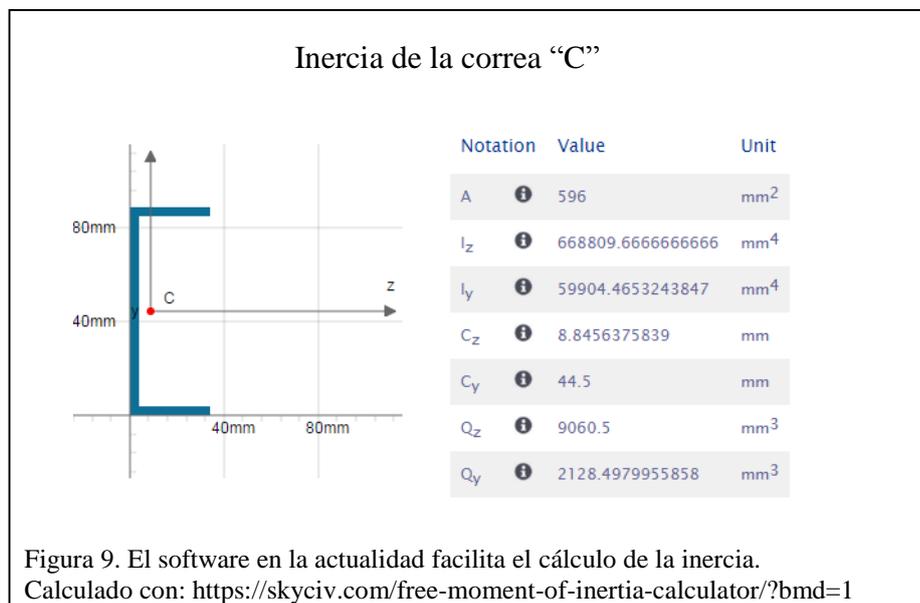
**E:** Módulo de elasticidad AISI 304

$$E = 193 \frac{KN}{mm^2} \text{ (INCO Aceros Inoxidables, 2016, pág. 1)}$$

**I:** Inercia

Para el cálculo de la inercia se utilizará el software libre Online Engineering Software SkyCiv.

En la figura 9, se muestra los valores arrojados por el software SkyCiv, después de ingresar las cargas con los cuales va a trabajar dicho elemento como columna a compresión.



$$P_{cr} = \frac{\frac{1}{4} * \pi^2 * 193 \frac{KN}{mm^2} * 59904,465mm^4}{(375mm)^2}$$

$$P_{cr} = 202.859 KN \cong 20685,86 Kgf$$

Este resultado indica que las dimensiones tomadas para la fabricación de esta estructura si satisfacen al diseño y soporta sin ningún problema la carga de 300Kg.

### 2.2.2 Diseño del tanque

El tanque debe ser diseñado para soportar varias fuerzas creadas por el movimiento de las paletas y por el peso mismo de la mezcla que crea una presión en todas las direcciones, además al ser utilizado en la industria alimenticia se fabricará con acero inoxidable AISI 304.

En la tabla 8 se puede ver los datos iniciales del tanque con los cuales se va a realizar los distintos cálculos de ingeniería.

Tabla 8.

Datos iniciales del tanque

Item	Valores
Volumen de diseño	53 litros
Forma	Semiesférica
Temperatura de diseño	80° C
Fluido	Aderezo (agua+aceite)

Nota: Estos parámetros deben ser respetados para el diseño

Fuente: (Chacaguasay & Picho, 2015)

#### 2.2.2.1 Cálculo del radio del tanque

Para el cálculo del radio interior se utilizará el volumen de diseño de 53 litros que es uno de los principales datos iniciales que debe cumplir el tanque.

$$Vol = \frac{4}{3} * \pi * r^3 \quad \text{Ecuación [4]}$$

$$r_{int.} = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} * Vol (esfera)}$$

$$r_{int.} = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} * (2 * 0.053 m^3)}$$

$$r_{Interior} = 0.295 m$$

### 2.2.2.2 Cálculo del área de transferencia de calor

Para el cálculo del área de transferencia de calor se utiliza el radio ya calculado.

$$A_{esfera} = 4 * \pi * r^2 \quad \text{Ecuación [5]}$$

$$A_{Transf. Calor} = \frac{4 * \pi * r^2}{2}$$

$$A_{transf. Calor} = \frac{4 * \pi * (0.295m)^2}{2}$$

$$A_{transf. Calor} = 0.5468 m^2$$

### 2.2.2.3 Selección del espesor

En la tabla 9 se muestra los parámetros para la selección del espesor de la plancha que servirá para la fabricación del tanque interno de la marmita.

Tabla 9.

Espesores de la plancha

<b>Diámetro nominal (m)</b>	<b>Espesor mínimo (mm)</b>
< 15.24	3
15.24 - 36.576	6.35
35.576 – 60.96	7.93
> 60.96	9.52

Nota: Los espesores utilizados son de acuerdo al diámetro del tanque  
Fuente: (Aro, 2011, pág. 60)

El espesor de la plancha seleccionado es de 3 mm según la tabla 9. Para verificar la correcta selección se va a realizar una simulación al diseño aplicando una presión 40 PSI como presión de diseño. La presión a la que trabajará la marmita es de 30 PSI.

#### 2.2.2.4 Análisis térmico

Para el análisis térmico se iniciará de un sistema cerrado conocido también como una masa de control que consta de una cantidad fija de masa y ninguna otra puede cruzar su frontera. Es decir, ninguna masa puede entrar o salir de un sistema cerrado. Pero la energía, en forma de calor o trabajo puede cruzar la frontera; y el volumen de un sistema cerrado no tiene que ser fijo. Si, como caso especial, incluso se impide que la energía cruce la frontera, entonces se trata de un sistema aislado. (Yunus A., 2011, pág. 10).

##### 2.2.2.4.1 Balance de energías con la tapa cerrada

El principio básico de balance de energías nos indica que es igual a la energía que entra al sistema menos la energía que sale.

$$E_{entra} - E_{sale} = \Delta E_{sistema} \quad \text{Ecuación [6]}$$

Fuente: (Yunus A., 2011, pág. 525)

Para este análisis, se va a calcular la energía que entra, que en este caso es la energía que se necesita, para hervir 50 litros de agua en el tanque interno que es el inicio del proceso antes de colocar los ingredientes para el aderezo.

$$E_{entra} = \Delta E_{sistema} + E_{sale}$$

Los dos parámetros que se van a calcular, son la variación de la energía interna del sistema y la energía que sale.

##### 2.2.2.4.2 Variación de la energía interna del sistema.

En el interior de un sistema cualquiera conviven distintos tipos de energía, relacionadas a las partículas microscópicas por las que están compuestas y que forman su energía interna.

La energía interna de un sistema es la suma de todas las energías del interior del sistema, por lo que no se incluye ni la energía cinética global ya que no se encuentra a una determinada velocidad, ni la energía potencial gravitatoria global ya

que no está en determinadas posiciones unas respecto a otras, ni la energía potencial elástica global ya que no existe vibraciones dentro del mismo.

$$\Delta E_{sistema} = \Delta \mu_{sistema} \quad \text{Ecuación [7]}$$

$$\Delta \mu_{sistema} = \Delta \mu_{agua} + \Delta \mu_{TQint} + \Delta \mu_{vap} + \Delta \mu_{chaq} + \Delta \mu_{lana\ vid} + \Delta \mu_{forro} \\ + \Delta \mu_{tapa}$$

$$\Delta \mu_{sistema} = (mc_p \Delta T)_{agua} + (mc_p \Delta T)_{TQint} + (mc_p \Delta T)_{vap} + (mc_p \Delta T)_{chaq} \\ + (mc_p \Delta T)_{lana\ vid} + (mc_p \Delta T)_{forro} + (mc_p \Delta T)_{tapa}$$

$$\Delta E_{sistema} = (mc_p \Delta T)_{agua} + (mc_p \Delta T)_{TQint} + (mc_p \Delta T)_{vap} + (mc_p \Delta T)_{chaq} \\ + (mc_p \Delta T)_{lana\ vid} + (mc_p \Delta T)_{forro} + (mc_p \Delta T)_{tapa}$$

Donde:

m: masa

c<sub>p</sub>: calor específico

ΔT: diferencia de temperaturas

#### 2.2.2.4.3 Energía que sale (pérdidas de calor)

En el proceso de calentamiento de agua en un sistema cerrado, las pérdidas de calor que se dan son: pérdidas de calor por convección natural y pérdidas de calor por radiación.

$$E_{sale} = E_{convección} + E_{radiación} \quad \text{Ecuación [8]}$$

Fuente: (Yunus A., 2011, pág. 525)

$$Q_{sale} = Q_{convección} + Q_{radiación}$$

$$Q_{sale} = hA_s(T_s - T_\infty) + \varepsilon\sigma A_s(T_s^4 - T_\infty^4)$$

#### 2.2.2.4.3.1 Cálculo del rendimiento

Para realizar los cálculos de rendimiento, se presentan los datos.

**Datos:**

- **Fluido interno (agua)**

$Vol_{agua} = 50$  litros      Volumen requerido por la empresa

$C_p = 4.18$  kJ/kg °K      Calor específico del agua (Yunus A., 2011, pág. 867)

- **Tanque interno (plancha AISI 304 de 3mm de espesor)**

$m_{TQint} = 12.99$  kg      Masa de la semi-esfera interior, que en este caso está trabajando como tanque interno de la marmita.

$C_p = 0.477$  kJ/kg °K      Calor específico del acero inoxidable AISI 304. (Yunus A., 2011, pág. 869)

- **Cámara de vapor**

$T = 150^\circ\text{C}$       Temperatura que marca el termómetro a la entrada a la cámara de vapor

$P = 40$  PSI      Presión de diseño de la cámara de vapor de la marmita.

$C_p = 1.8723$  kJ/kg °K      Calor específico del agua (Cengel & Boles, 2009, pág. 905).

- **Lana de vidrio**

$Vol_{lana} = 0.09$  m<sup>3</sup>      Volumen de lana de vidrio utilizada para abrazar a la chaqueta, lana de vidrio de 2" de espesor.

$C_p = 0.67$  kJ/kg °K      Calor específico de la lana de vidrio (Ingenierías, 2013, pág. 1).

- **Forro (plancha AISI 304 de 1.5 mm de espesor)**

$m_{forro} = 13.51$  kg      Masa del forro exterior de la marmita.

$C_p = 0.477$  kJ/kg °K      Calor específico del acero inoxidable AISI 304 (Yunus A., 2011, pág. 869).

- **Tapa (plancha AISI 304 de 2mm de espesor)**

$m_{\text{tapa}} = 5.42 \text{ kg}$                       Masa de las tapas de la marmita

$C_p = 0.477 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}$               Calor específico del acero inoxidable AISI 304  
(Yunus A., 2011, pág. 869)

A continuación, en la tabla 10 se tiene los datos que se obtienen como parámetros base para los cálculos térmicos de la marmita

Tabla 10.

Datos para el diseño térmico

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>
$T_\infty$ : temperatura ambiente ( $^\circ\text{C}$ )	20 $^\circ\text{C}$
$T_0$ : temperatura inicial del agua ( $^\circ\text{C}$ )	15 $^\circ\text{C}$
$T_s$ : temperatura a la que llega el agua por requerimiento del cliente ( $^\circ\text{C}$ )	80 $^\circ\text{C}$
$T$ : temperatura de la entrada del vapor a la cámara	150 $^\circ\text{C}$
$t$ : tiempo en que el agua llega a su temperatura de ebullición (s)	600 s
$L$ : altura del tanque	0.4 m
$D$ : diámetro del tanque interno	0.584 m

Nota: Las temperaturas son el factor y parámetro importante para la transferencia de calor.  
Fuente: (Chacaguasay & Picho, 2015)

#### 2.2.2.4.3.2 Cálculo de valor de masa.

Para resolver la ecuación de la variación de la energía interna del sistema se necesita calcular la masa de todos los elementos que intervienen en la transferencia de calor.

- **Fluido interno (agua)**

$V_{\text{agua}} = 50 \text{ litros}$                       Volumen requerido por el cliente.

$C_p = 4.18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}$                       Calor específico del agua (Yunus A., 2011, pág. 867)

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Densidad del agua

$$\rho = \frac{m}{V}; \quad m = \rho V; \quad m = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0.05 \text{ m}^3;$$

$$m = 50 \text{ kg}$$

Se determina que el valor de la masa de agua dentro del tanque interno es de 50 kg.

- **Cámara de vapor**

$$T = 150^\circ\text{C}$$

Temperatura que marca el termómetro a la entrada del vapor a la cámara de vapor.

$$P = 40 \text{ PSI}$$

Presión de diseño de la cámara de vapor.

$$C_p = 1.8723 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K} \quad (\text{Cengel \& Boles, 2009, pág. 905})$$

Como la temperatura dentro de la cámara de vapor es  $150^\circ\text{C}$  y con una presión de diseño de 40 PSI mediante interpolación se obtiene los valores de volumen específico en  $\text{kg/m}^3$  y de entalpía en  $\text{kJ/kg}$  de la Tabla A-6 libro de Termodinámica de Cengel para lograr el cálculo de la densidad del vapor a esa temperatura. (Cengel & Boles, 2009, pág. 914).

$$T = 150^\circ\text{C} \quad \text{y} \quad P = 40 \text{ PSI} \cong 0.275 \text{ Mpa}$$

En la tabla 11 se puede apreciar la interpolación del volumen específico y de la entalpía del vapor sobrecalentado con los valores de  $T = 150^\circ\text{C}$  y  $P = 40 \text{ PSI} \cong 0.275 \text{ Mpa}$  utilizando las tablas termodinámicas de Cengel.

Tabla 11.

Interpolación volumen específico & entalpía

Presión [ MPa ]	v [ m <sup>3</sup> /kg ]	h [ kJ/kg ]
0.20	0.95986	2769.1
0.275	0.71548	2763.2
0.3	0.63402	2761.2

Nota: Para determinar el volumen específico y la entalpía a una presión de 0.275 Mpa se procede con el método de interpolación.

Fuente: (Chacaguasay & Picho, 2015)

Se obtiene los siguientes valores:

Volumen específico:  $v = 0.71548 \text{ kg/m}^3$

Entalpía:  $h = 2763.2 \text{ [kJ/kg]}$

$\rho = \frac{1}{v} \Rightarrow$  Fórmula de la densidad en función del volumen específico.

$$\rho = \frac{1}{0.71548 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}$$

$$\rho = 1.397 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Se obtuvo el cálculo de la densidad con la que está trabajando el vapor a 150 °C con una presión de 40 psi.

$V = 0.016 \text{ m}^3 \Rightarrow$  Volumen de la cámara de vapor, donde va a circular el vapor dentro de la marmita.

$$\rho = \frac{m}{V}; \quad m = \rho V; \quad m = 1.397 \text{ kg/m}^3 \times 0.016 \text{ m}^3;$$

$$m = 0.022 \text{ kg}$$

- **Lana de vidrio**

$$V_{ollana} = 0.09 \text{ m}^3$$

Volumen de lana de vidrio utilizada para abrazar a la chaqueta, lana de vidrio de 2 plg de espesor.

$$C_p = 0.67 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}$$

Calor específico de la lana de vidrio. (Ingenierías, 2013, pág. 1)

$$\rho = 200 \text{ kg/m}^3$$

Densidad de la lana de vidrio. (Ingenierías, 2013, pág. 1)

$$\rho = \frac{m}{V}; \quad m = \rho V; \quad m = 200 \text{ kg/m}^3 \times 0.09 \text{ m}^3;$$

$$m = 18 \text{ kg}$$

Estos 18 kg indica la masa de la lana de vidrio que está recubriendo a la chaqueta para ejercer un aislamiento térmico.

### 2.2.2.4.3.3 Variación de energía del sistema

Una vez ya determinadas las todas las variables se proceden a reemplazar en la ecuación 7.

$$\Delta E_{sistema} = (mc_p \Delta T)_{agua} + (mc_p \Delta T)_{TQint} + (mc_p \Delta T)_{vap} + (mc_p \Delta T)_{chaq} \\ + (mc_p \Delta T)_{lana \text{ vid}} + (mc_p \Delta T)_{forro} + (mc_p \Delta T)_{tapa}$$

$$\Delta E_{sistema} = \left[ \left( 50 \text{ kg} \times 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{K}} \right) + \left( 12.99 \text{ kg} \times 0.477 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{K}} \right) \right. \\ \left. + \left( 0.022 \text{ kg} \times 1.8723 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{K}} \right) + \left( 7.52 \text{ kg} \times 0.477 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{K}} \right) \right. \\ \left. + \left( 18 \text{ kg} \times 0.67 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{K}} \right) + \left( 13.51 \text{ kg} \times 0.477 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{K}} \right) + (5.42 \text{ kg} \right. \\ \left. \times 0.477 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{K}} \right] [(80 + 273) - (15 + 273)]^\circ\text{K}$$

$$\Delta E_{sistema} = [(209) + (6.1962) + (0.04119) + (3.587) + (12.06) + (6.444) \\ + (2.5853)] \frac{\text{kJ}}{^\circ\text{K}} [(353) - (288)]^\circ\text{K}$$

$$\Delta E_{sistema} = (239.91) \frac{kJ}{^{\circ}K} (65)^{\circ}K$$

$$\Delta E_{sistema} = 15594.41 \text{ kJ}$$

Para obtener el  $\Delta E_{sistema}$  en kW-h multiplicar por un factor de conversión en el cual 1kW-h equivale a  $3.6 \times 10^3$  kJ

$$\Delta E_{sistema} = 15594.41 \text{ kJ} \times \left| \frac{1\text{kW} - \text{h}}{3.6 \times 10^3 \text{ kJ}} \right|$$

$$\Delta E_{sistema} = 4.33 \text{ kW} - \text{h}$$

Con el valor de la variación de la energía interna del sistema, se procede a realizar los cálculos de las pérdidas de calor por convección natural, donde primero se calcula la temperatura de la película  $T_f$  con el uso de la siguiente ecuación.

$$T_f = \frac{1}{2} (T_s + T_{\infty}) \quad \text{Ecuación [9]}$$

**Fuente:** (Yunus A., 2011, pág. 377)

$$T_f = \frac{1}{2} (80 + 20)^{\circ}C$$

$$T_f = \frac{1}{2} (60)^{\circ}C$$

$$T_f = 30^{\circ}C$$

Todas las propiedades del fluido deben evaluarse a la temperatura de película. Una vez obtenida esta temperatura se debe buscar en la tabla de propiedades del aire los valores de conductividad térmica  $\left(\frac{W}{m^{\circ}C}\right)$ , viscosidad cinemática  $\left(\frac{m^2}{s}\right)$  y número de Prandtl.

Propiedades del aire a  $T_f = 30^{\circ}C$

Los siguientes valores se obtienen a  $30^{\circ}C$  de la tabla A-15 del libro de Transferencia de Calor y masa de Cengel. (Yunus A., 2011, pág. 884).

$$k = 0.02588 \frac{W}{m^{\circ}C}$$

$$\nu = 1.608 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr = 0.7282$$

Obtenidos los datos de tablas necesarios se procede a calcular el coeficiente de expansión volumétrica  $\beta$  mediante la siguiente ecuación.

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad \text{Ecuación [10]}$$

**Fuente:** (Yunus A., 2011, pág. 522)

$$\beta = \frac{1}{(30 + 273)^\circ K}$$

$$\beta = \frac{1}{(303)^\circ K}$$

$$\beta = 0.0033 \text{ }^\circ K^{-1}$$

Al conocer el valor de  $\beta$ , ya se tienen todos los datos suficientes para realizar el cálculo del número de Rayleigh el cual resulta de multiplicar el número de Grashof y el número de Prandtl, según la fórmula.

$$Ra = Gr Pr \quad \text{Ecuación [11]}$$

**Fuente:** (Yunus A., 2011, pág. 527)

$$Gr = \frac{Ra}{Pr}$$

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} Pr$$

$$Ra = \left[ \frac{9.81 \frac{m}{s^2} (0.0033 K^{-1}) [(80 + 273) - (20 + 273)]^\circ K (0.4m)^3}{\left(1.608 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}\right)^2} \right] 0.7282$$

$$Ra = \left[ \frac{0.1241 \frac{m^4}{s^2}}{2.5856 \times 10^{-10} \frac{m^4}{s^2}} \right] 0.7282$$

$$Ra = (479.9 \times 10^6) 0.7282$$

$$Ra = 350.1 \times 10^6$$

La superficie exterior de un cilindro vertical se puede tratar como una placa vertical cuando el diámetro del cilindro es suficientemente grande, de modo que los efectos de la curvatura sean despreciables. Esta condición se satisface si se cumple la siguiente relación:

$$D \geq \frac{35L}{G_r^{1/4}} \quad \text{Ecuación [12]}$$

**Fuente:** (Yunus A., 2011, pág. 529)

Lo siguiente al cálculo del número de Rayleigh es verificar que se cumpla la relación propuesta en la ecuación 12.

$$\frac{35L}{G_r^{1/4}} = \frac{35(0.4m)}{(350.1 \times 10^6 / 0.7282)^{1/4}} = 0.0945 \text{ m}$$

$$0.584 \text{ m} > 0.0945 \text{ m}$$

Al verificar que se cumple la relación propuesta, se calcula el número de Nusselt utilizando las correlaciones empíricas del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre una placa vertical utilizando la siguiente ecuación:

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387Ra^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad \text{Ecuación [13]}$$

**Fuente:** (Yunus A., 2011, pág. 528)

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387(350.1 \times 10^6)^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{0.7282} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu = \{0.825 + 8.44\}^2$$

$$Nu = \{9.2652\}^2$$

$$Nu = 89.38$$

El paso siguiente al número de Nusselt es calcular  $h$  (coeficiente promedio de transferencia de calor sobre la superficie) cuya fórmula se describe en la siguiente ecuación:

$$h = \frac{k}{L} Nu \quad \text{Ecuación [14]}$$

Fuente: (Yunus A., 2011, pág. 531)

$$h = \frac{0.02588 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}}}{0.4m} \quad (89.38)$$

$$h = 5.78 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

El último paso antes de calcular el calor de convección, es calcular el área de la superficie exterior del tanque interno, este cálculo ya se realizó anteriormente con la ecuación 5. ( $A_{\text{transf. Calor}} = 0.5468 \text{ m}^2$ )

Al reemplazar los valores obtenidos de  $h$  y de  $A_s$  se calcula el calor de convección, en este caso es la pérdida de calor por convección natural.

$$Q_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad \text{Ecuación [15]}$$

Fuente: (Kahan, 2002, pág. 3)

$$Q_{conv} = (5.78) \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}} (0.5468)m^2 (80 - 20)^\circ\text{C}$$

$$Q_{conv} = 189.6 \text{ W}$$

Para realizar el cálculo de las pérdidas de calor por radiación se aplica la siguiente ecuación.

$$Q_{rad} = \varepsilon A_s \sigma (T_s^4 - T_\infty^4) \quad \text{Ecuación [16]}$$

Fuente: (Yunus A., 2011, pág. 542)

Donde:

$\varepsilon = 0.17$  Valor de la emisividad para el acero inoxidable 304, (Yunus A., 2011, pág. 888).

$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4$  Constante de Stefan-Boltzmann.

$$Q_{rad} = \left[ (0.17)(0.5468)m^2(5.67 \times 10^{-8}) \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right] [(80 + 273)^4 - (20 + 273)^4] \cdot K^4$$

$$Q_{rad} = (5.27 \times 10^{-9})W(7.10 \times 10^9)$$

$$Q_{rad} = 42.99 W$$

Una vez obtenidas las pérdidas de calor por convección natural y por radiación, se suman estos dos valores y se obtiene la pérdida de calor total.

$$Q_{total} = Q_{conv} + Q_{rad} \quad \text{Ecuación [17]}$$

Fuente: (Yunus A., 2011, pág. 14)

$$Q_{total} = 189.6 W + 42.99 W$$

$$Q_{total} = 232.59 W = Q_{sale}$$

Para obtener el valor de la energía que sale de la marmita en Joules, multiplicamos este valor por el tiempo que es 10 minutos de funcionamiento de la marmita, en los cuales produjeron estas pérdidas.

$$E_{sale} = 232.59 \frac{J}{s} \times 600 s$$

$$E_{sale} = 139.5 kJ$$

Multiplicar  $E_{sale}$  por el factor de conversión para obtener el resultado en  $kW \cdot h$ .

$$E_{sale} = 139.5 kJ \times \frac{1kW \cdot h}{3.6 \times 10^6 J}$$

$$E_{sale} = 0.0387 kW \cdot h$$

Una vez obtenidos los valores de la variación de energía del sistema y la energía que sale, se suman estos resultados para obtener el valor de la energía total que ingresa al sistema con la ecuación 6.

$$E_{entra} = \Delta E_{sistema} + E_{sale}$$

$$E_{entra} = (4.332 + 0.0387) kW \cdot h$$

$$E_{entra} = 4.370 kW \cdot h = E_{requerida}$$

Esta es la energía que se requiere para hervir 50 kg de agua.

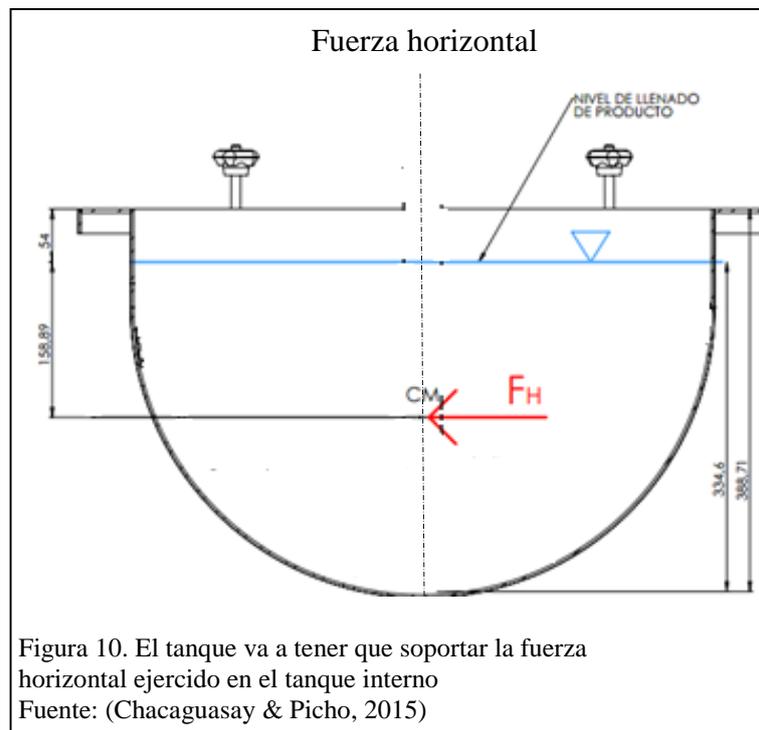
### 2.2.2.5 Cálculo de la fuerza ejercida en el tanque

Lo primero que se calculará será la distribución de fuerzas sobre una superficie curva sumergida, que está compuesta de una componente horizontal y una componente vertical, para el cálculo de estos parámetros se partirá del valor del volumen que es 53 litros.

Para la densidad del aderezo  $930 \text{ kg/m}^3$  tomado de un estudio realizado. (Ramírez Campos, 2008, pág. 16).

Las fórmulas utilizadas para el cálculo de la distribución de fuerzas sobre una superficie curva sumergida son tomadas de (Robert L., 1996, pág. 90).

A continuación, en la figura 10, se puede apreciar la fuerza ejercida en el tanque interno de la marmita en su componente horizontal, además de la altura del llenado de producto en el mismo.



$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ecuación [18]}$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 930 \frac{kg}{m^3} * 0.053m^3$$

$$m = 49.29kg$$

$$\text{Peso aderezo} = \gamma * V \quad \text{Ecuación [19]}$$

$$\gamma = \frac{m * g}{V}$$

$$\gamma = \frac{49.29 kg * 9.81 \frac{m}{s^2}}{0.053m^3}$$

$$\gamma = 9123.3 \frac{N}{m^3}$$

$$\text{Peso del aderezo} = 9123.3 \frac{N}{m^3} * 0.053m^3$$

$$\text{Peso del aderezo} = 483.53 N \approx F_V$$

$$F_V = 483.53 N$$

$$F_H = \gamma * s * w * (d + \frac{s}{2}) \quad \text{Ecuación [20]}$$

Fuente: (Robert L., 1996, pág. 98).

$$F_H = 9123.3 \frac{N}{m^3} * 0,3346 m * 0,3346m * (0,02286m + \frac{0,3346m}{2})$$

$$F_H = 9123.3 \frac{N}{m^3} * 0,3346 m * 0,3346m * 0.19016m$$

$$F_H = 194.23 N.$$

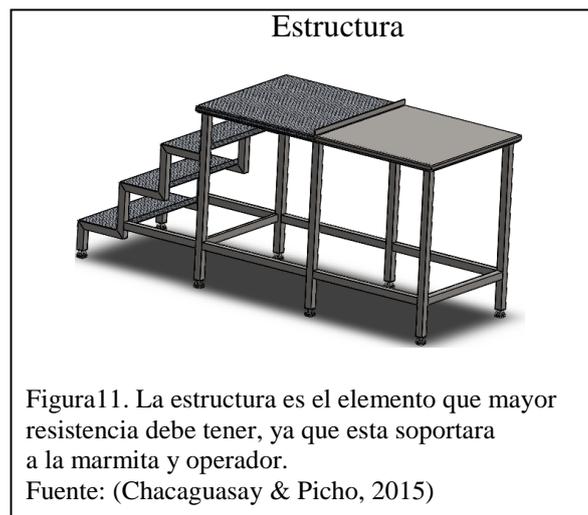
### 2.2.3 Dimensionamiento de la estructura de la mesa

La estructura tiene como principal propósito soportar el peso del producto (aderezo), y a un operador, el mismo que debe tener espacio suficiente para poder colocar los ingredientes para la fabricación del aderezo. Tomado en cuenta estos antecedentes, la estructura debe ser robusta como para soportar el peso del operador más los ingredientes y las fuerzas causadas por la agitación del tanque. Para la

construcción de la estructura se utilizará tubo cuadrado inoxidable, además la estructura dispondrá de un piso antideslizante, una placa base que soportará la marmita. Dispondrá de acceso para la carga, acceso al tanque, la estructura debe soportar las vibraciones, y debe tener el espacio necesario para la carga de producto y el operador.

### 2.2.3.1 Armazón de la estructura

Para la construcción del esqueleto metálico de la marmita se utilizará tubo acero inoxidable cuadrado de 1 ½'' y tubo de acero inoxidable rectangular de 1 ½'' x ¾''. Como se muestra en la figura 11 la mesa de la marmita con sus respectivos elementos que la conforman.



### 2.2.3.2 Piso y gradas antideslizante

Para el piso y las gradas se utiliza planchas según la norma ASTM A-36 con diseño antideslizante de 3mm de espesor, por su elevada resistencia, sumada a la estructura se convierten en un excelente soporte para la carga otorgando seguridad a los operadores.

### 2.2.4 Cálculos de esfuerzos en la estructura

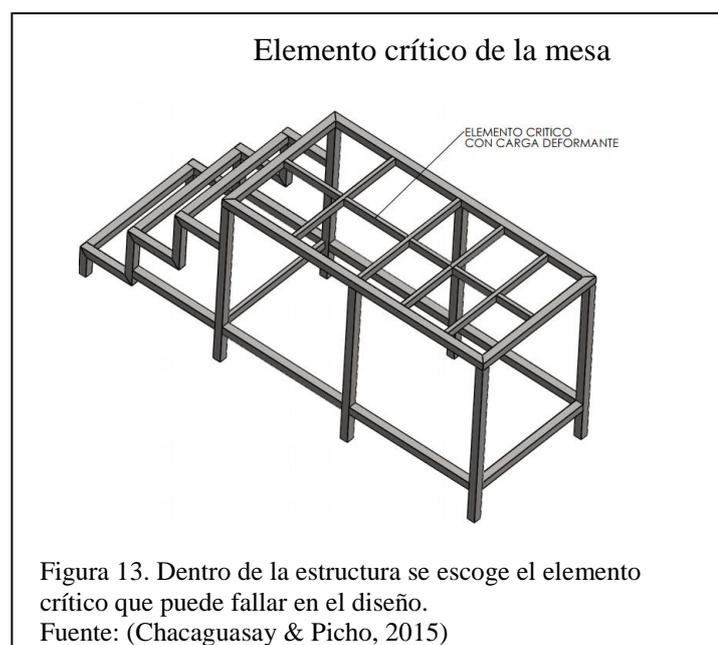
En la figura 12 se puede apreciar la colocación de las cargas, la de color azul con una masa de 100 kg correspondiente al peso de una persona robusta ejerciendo

una fuerza vertical sobre ella y la de color rojo con una masa de 160 kg correspondiente al peso de la marmita interpretando, que se tiene el peso propio de la misma además del producto que ésta contendrá.



#### 2.2.4.1 Cálculos de los elementos críticos de la mesa

Como se puede observar en la figura 13, se selecciona como elemento crítico de la estructura que soportará el peso de la marmita y la persona, al tubo central de la armadura que simulará cargas verticales aplicadas en una viga.



Se escoge el elemento crítico a deflexión que está ubicado en el centro de la mesa, y a este elemento se le aplica las cargas como se muestran en la figura 14, para lo cual a estos valores se los convierte en cargas distribuidas para facilitar el cálculo. Para conseguir estos valores se divide la carga ejercida sobre el elemento para la distancia en la cual está siendo aplicada.

$$P_1 = \frac{m}{d} \quad \text{Ecuación [21]}$$

Donde:

m: masa

d: distancia

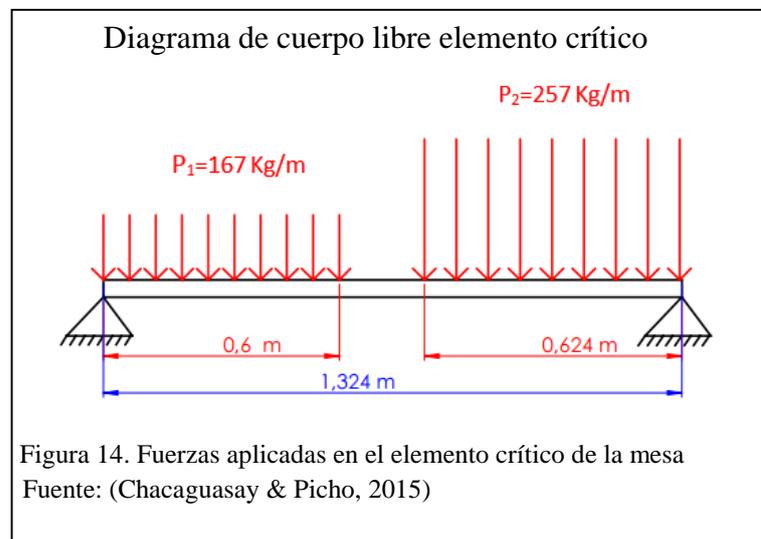
$$P_1 = \frac{100 \text{ Kg}}{0.6 \text{ m}}$$

$$P_1 = 167 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$$

$$P_2 = \frac{160 \text{ Kg}}{0.624 \text{ m}}$$

$$P_2 = 257 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$$

En la figura 14 se puede apreciar cómo el elemento crítico a flexión de la mesa de la marmita está trabajando con dos cargas distribuidas  $P_1$  y  $P_2$  ejerciendo su carga en sentido vertical sobre el tubo.



Se realiza el cálculo de las cargas puntuales de cada carga distribuida, esto se lo hace para facilitar los cálculos de las reacciones del elemento que estaría trabajando como viga.

$$P_{1eq} = P_1 * l_1 * g \quad ;$$

$$P_{1eq} = 167 \frac{Kg}{m} * 0.6 m * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

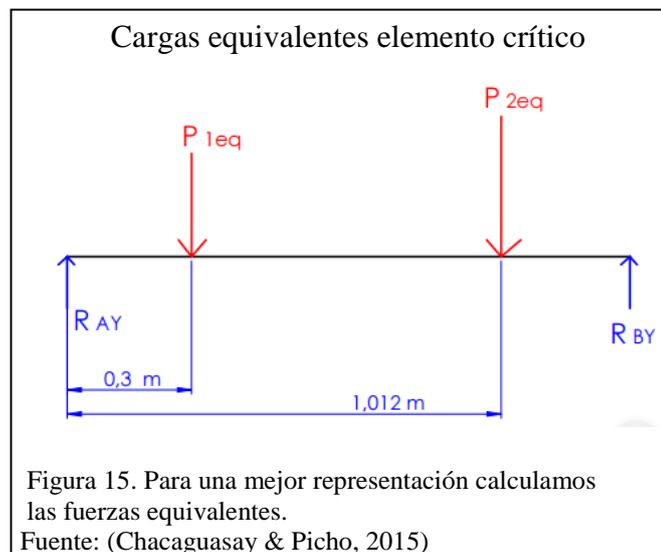
$P_{1eq} = 982.9 [N] \Rightarrow$  Primera carga equivalente del elemento. Ver figura 15

$$P_{2eq} = P_2 * l_2 * g$$

$$P_{2eq} = 257 \frac{Kg}{m} * 0.624 m * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$P_{2eq} = 1573.2 [N] \Rightarrow$  Segunda carga equivalente del elemento. Ver figura 15

Como muestra la figura 15, las cargas distribuidas se las puede convertir a cargas puntuales, que facilitará los cálculos de ingeniería.



Con base en la figura 15, que es el diagrama de cuerpo libre del elemento que esta trabajando como viga, se realiza la sumatoria de fuerzas en el eje “y” (vertical), para determinar las ecuaciones con las que se podrá calcular las reacciones.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Ay} - P_{1eq} - P_{2eq} + R_{By} = 0$$

$$R_{Ay} - 982.9 [N] - 1573.2 [N] + R_{By} = 0$$

$$R_{Ay} = 2556.1 [N] - R_{By}$$

El centro pibote está ubicado en el punto A del sistema, para realizar la sumatoria de momentos con las cargas ejercidas sobre el elemento y las reacciones con sus respectivas distancias. Para este caso se toma como giro positivo el sentido antihorario.

$$\sum M_A = 0$$

$$-(P_{1eq} * 0.3m) - (P_{2eq} * 1012m) + (R_{By} * 1324m) = 0$$

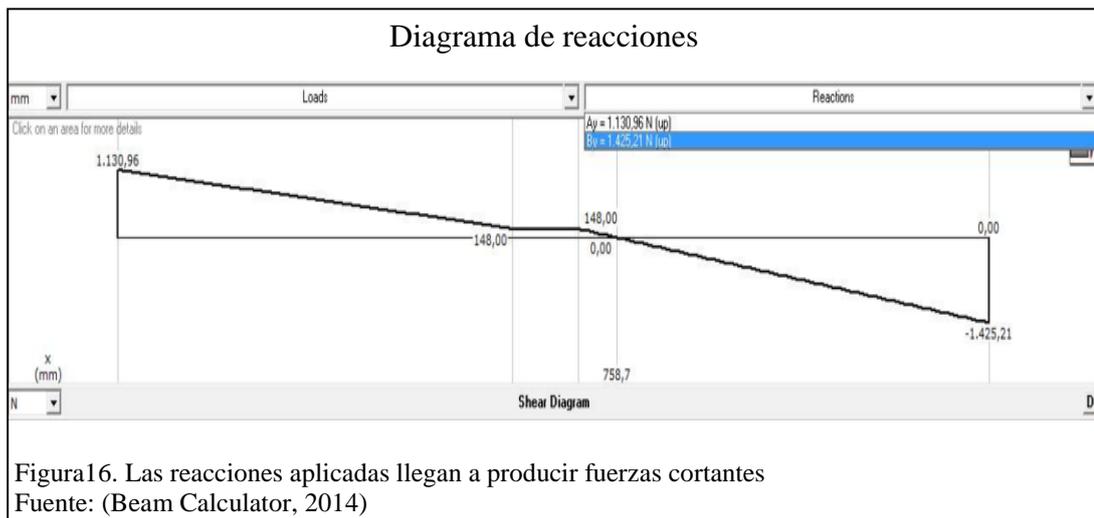
$$R_{By} = 1425.2 [N]$$

$$R_{Ay} = 1130.96 [N]$$

#### 2.2.4.2 Fuerzas cortantes y momento flector (Método de áreas)

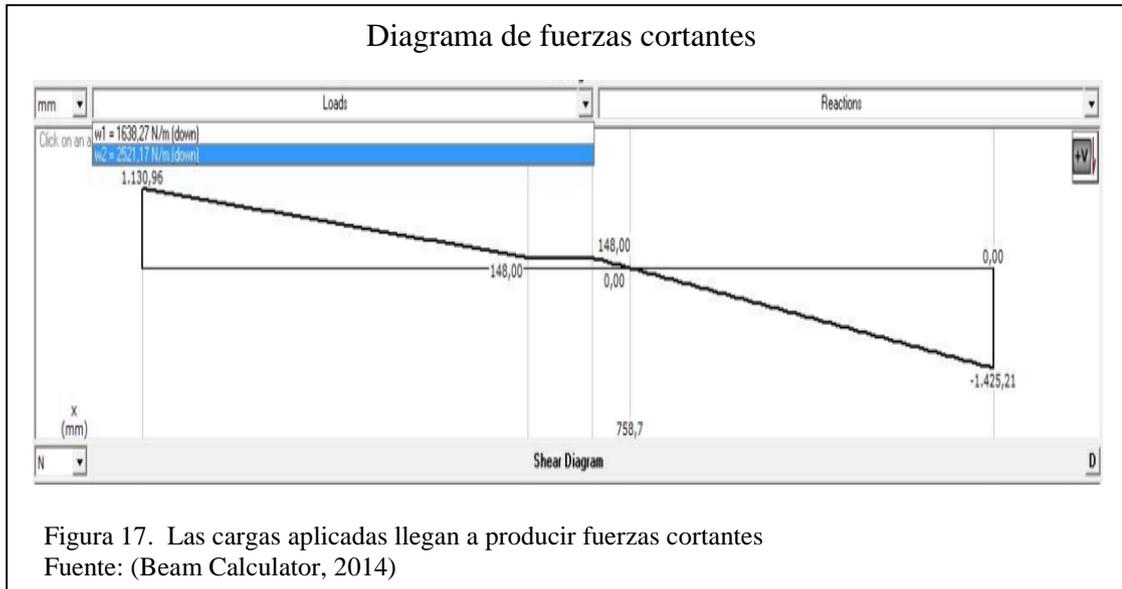
##### Reacciones (R)

Como muestra la figura 16, que las reacciones calculadas manualmente coinciden con las generadas por el software Beam Calculator del año 2014.



### **Fuerzas cortantes (V)**

En la figura 17 se puede observar las pendientes correspondientes a las fuerzas cortantes que están ejerciendo sobre el elemento crítico.



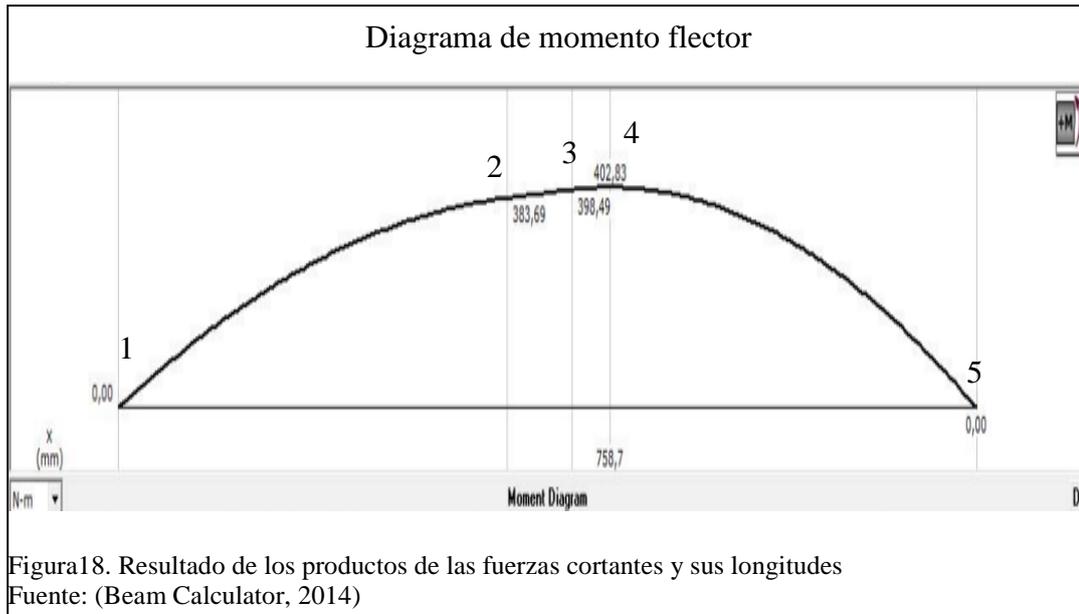
La interpretación de la gráfica podemos decir que las fuerzas cortantes están trabajando con valor máximo en positivo de 1130.96 N y  $-1425.21$  N como valor bajo cero.

$$V_1 = 1130.96 [N]$$

$$V_2 = -1425.21 [N]$$

### **Momento flector (M)**

En la figura 18 se puede ver la curva del momento de fuerza resultante de la distribución de tensiones sobre la sección transversal del elemento crítico .



$$M_1 = 0$$

$$M_2 = 383.69 [Nm]$$

$$M_3 = 398.49 [Nm]$$

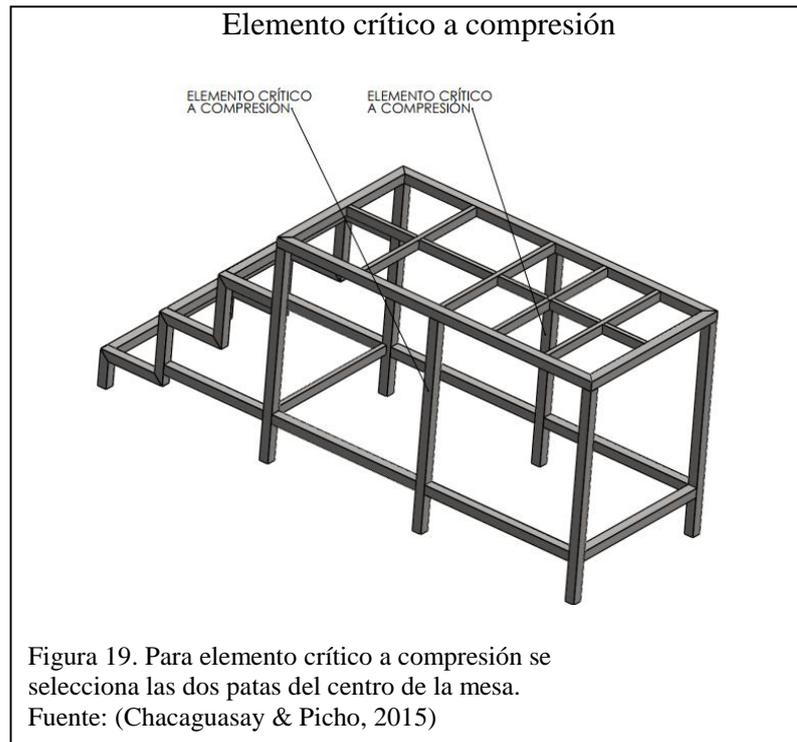
$$M_4 = 402.83 [Nm]$$

$$M_5 = 0$$

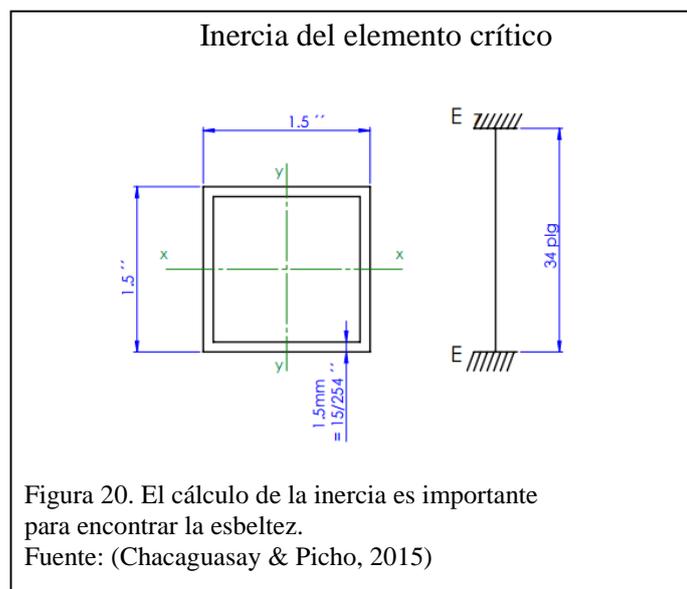
Se tiene como punto 1 al lado izquierdo y como valor máximo de el punto 5 al lado derecho de la figura 18, en los puntos 1 y 5 no tenemos momento flector ya que se encuentra con sujeción fija, que inhabilita cualquier tipo de movimiento ya sea radial o axial; y para los puntos 2,3 y 4 que se los puede identificar mediante unos segmento verticales ubicados en la gráfica, encontramos que en el punto 4 del sistema se encuentra ubicado el valor maximo del momento flector, ya que en este punto no hay ningún tipo de sujecion, por lo que está expuesto a cualquier tipo de movimiento axial o radial por pequeño que sea.

### 2.2.4.3 Cálculo del elemento a compresión

En la figura 19 se puede observar al elemento crítico que se selecciona para los respectivos cálculos de un elemento sometido a cargas de compresión.



A continuación, en la figura 20 se tiene representada la sección del tubo cuadrado de acero inoxidable en vista superior al cual se le realizará los cálculos para un elemento trabajando a compresión, además de la longitud del mismo sabiendo que en sus extremos esta empotrado.



Se puede ver en la figura 20 el tipo de elemento al que se va a realizar el análisis a compresión. Este elemento está ubicado en el centro de la armadura principal de la mesa, que está trabajando en forma vertical y ejerciendo cargas a compresión.

Se analizará a un tubo cuadrado de acero inoxidable AISI 304 de 1.5" x 1.5" y 1.5mm de pared de espesor. La longitud de este elemento es de 34 pulgadas. Para encontrar la inercia en el eje "x" de un cuadrado se utiliza la siguiente fórmula.

$$I_{x'} = \frac{1}{12} b * h^3 \quad \text{Ecuación [22]}$$

Fuente: (Robert L., 1996, pág. 611)

Se calculará la inercia del tubo, como es de geometría hueca, se procede con la resta del valor calculado de la inercia de las medidas exteriores, menos el valor calculado de la inercia de las medidas internas.

$$I_{x'} = I_1 - I_2$$

$$I_{x'} = \frac{1}{12} b_1 * h_1^3 - \frac{1}{12} b_2 * h_2^3$$

$$I_{x'} = \frac{1}{12} (1.5plg) * (1.5plg)^3 - \frac{1}{12} \left[ 1.5plg - 2 \left( \frac{15}{254} plg \right) \right] - \left[ 1.5plg - 2 \left( \frac{15}{254} plg \right) \right]^3$$

$$I_{x'} = 0.118plg^4 = I_{y'}$$

Se obtiene el valor de la inercia en el eje "x", y se realiza el mismo procedimiento para el cálculo de la inercia con respecto al eje "y"; como se trata de un cuadrado se obtiene el mismo valor de la inercia.

*Pero  $I_{x'} = I_{y'}$  ↔ es un cuadrado*

Por lo tanto, se puede trabajar con cualquiera de las dos inercias ya que tienen el mismo valor.

### **Cálculo de la esbeltez**

$$\lambda_x = \frac{k * I_x}{r_x} \quad \text{Ecuación [23]}$$

Fuente: (Brockenbrough & Merritt, 1999, pág. 3.96)

En la figura 21 se puede apreciar las longitudes efectivas de las columnas y teniendo seis casos diferentes, se escoge la opción (a) que tiene como valor de k igual a 0.65, ya que la columna en estudio esta a compresión y tiene empotramiento en sus dos extremos.

## Longitud efectiva de columnas

Longitudes efectivas de columnas						
Las líneas interrumpidas muestran la forma pandeada de la columna	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
<b>Valor K teórico</b>	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones son parecidas a las ideales.	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0

Figura 21. La columna en estudio está a compresión  
Fuente: (Akran, 2013, pág. 4)

$$r_x = \sqrt{\frac{I_{x'}}{A_T}}$$

Fuente: (Brockenbrough & Merritt, 1999, pág. 3.96)

$$r_x = \sqrt{\frac{0.118 plg^2}{0.829 plg^2}} = 0.377 plg$$

$$\lambda_x = \frac{0.65 * 34 plg}{0.377 plg}$$

$$\lambda_x = 58.62$$

Con el valor calculado de la esbeltez de 58.62, se procede a buscar en el Manual American Institute of Steel Construction, pero como no se tiene valores decimales entonces para encontrar dicho valor se usará la interpolación. De la tabla 4-319 del manual de AISC.

En la tabla 12 se puede ver los valores con los que se realiza la interpolación respectiva para encontrar la fuerza  $F_y$  teniendo como dato el valor de la esbeltez.

Tabla 12.

Interpolación de la esbeltez

$\frac{KL}{r}$	$F_y = 36 \text{ ksi}$
58	18.1
58.62	17.976
59	17.9

Nota: Para encontrar el valor de  $F_y$  se procede a interpolar.

Fuente: (American Institute of Steel Construction, 2005, págs. 4-319)

Una vez calculado el valor de la fuerza para una esbeltez de 58.62 que en este caso es: 17.976 ksi.

$$fa = \frac{P}{A} = FA \quad \text{Ecuación [24]}$$

Donde:

$fa$  : Esfuerzo real a compresión

$FA$  : Esfuerzo admisible a compresión.

P: fuerza

A: área de aplicación de la fuerza

$$P = Fa * A = 17.976 * 0.829$$

$$P = 14.9 \text{ klb} \cong 6.7 \times 10^3 \text{ kg}$$

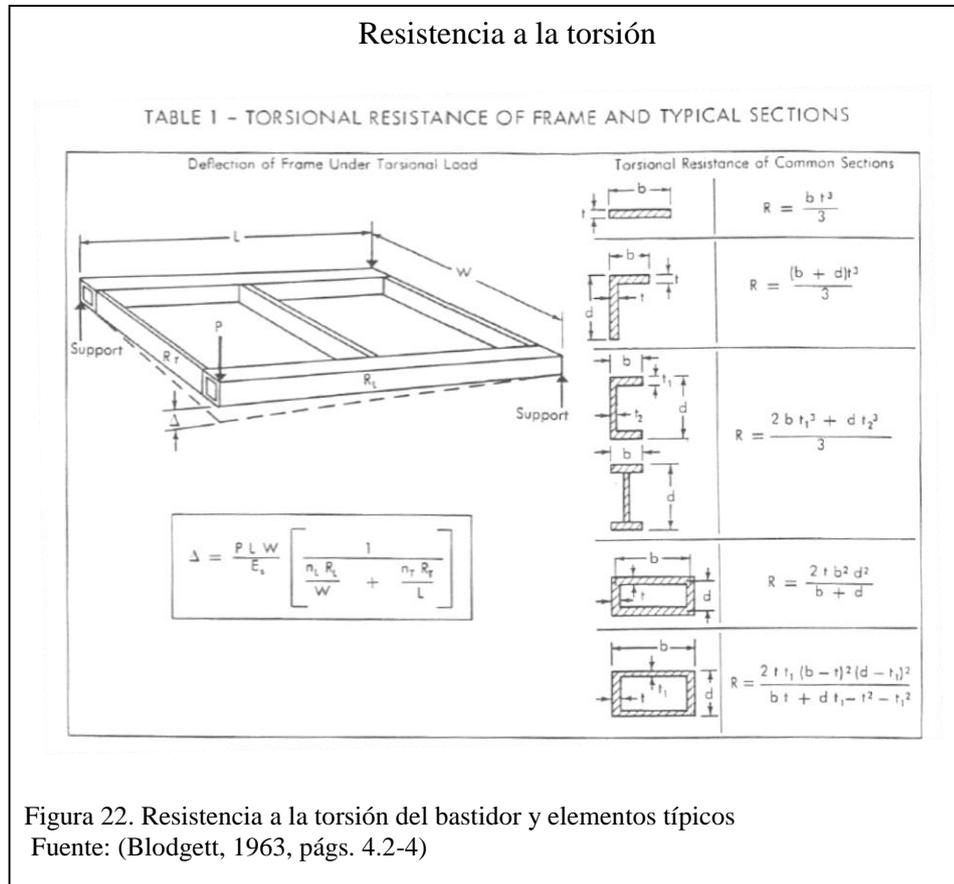
Carga que soporta la mesa  $P= 260 \text{ kg}$

$$\therefore 6.7 \times 10^3 \text{ kg} > 260 \text{ kg} \Rightarrow \text{Si satisface.}$$

Se concluye que el elemento seleccionado para que trabaje como columna si satisface para la carga que va a ser trabajada.

#### 2.2.4.4 Resistencia a la torsión del bastidor

Para el cálculo de la resistencia a la torsión del bastidor se va a calcular la deflexión vertical teniendo como puntos de sujeción 2 vértices de la armadura que son diagonales entre sí como muestra la figura 22.



Donde:

L: longitud a lo largo del marco, in.

W: longitud a lo ancho del marco. In.

$R_L$ : resistencia a la torsión del elemento longitudinal, in<sup>4</sup>.

$R_T$ : resistencia a la torsión del elemento transversal, in<sup>4</sup>.

$n_L$ : número de miembros longitudinales.

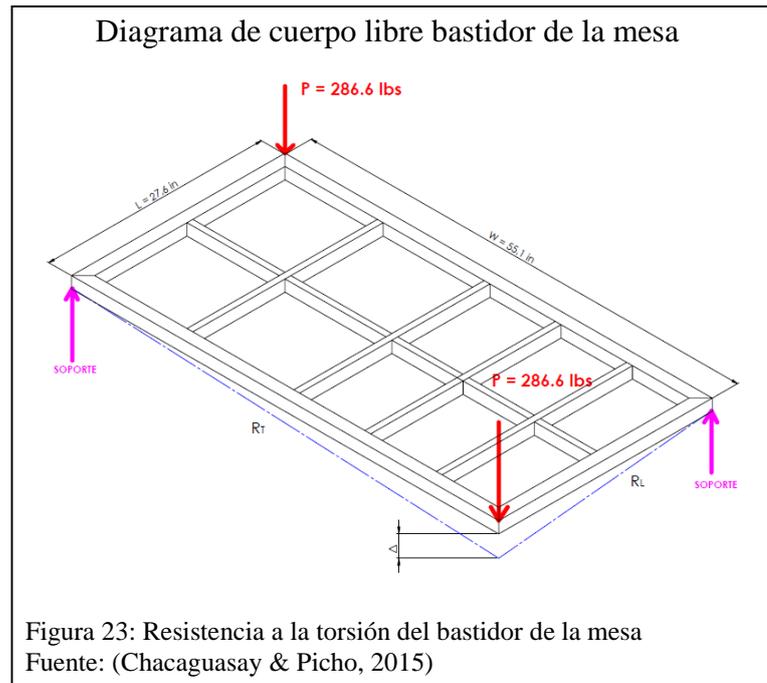
$n_T$ : número de miembros transversales.

P: fuerza aplicada en la esquina, lbs.

E: módulo de elasticidad en cortante.

$\Delta$ : deflexión vertical, in.

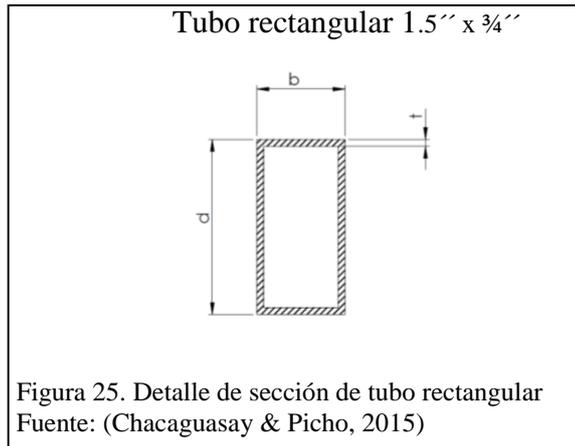
Se observa en la figura 23 un diagrama del bastidor de la mesa con sus respectivos soportes y cargas que están ubicados diagonalmente entre sí las cargas y los soportes.



Para realizar el cálculo de la resistencia a la torsión del bastidor de la mesa de la marmita, se toma en consideración que solo se va a apoyar dicho bastidor en dos puntos diagonales de la armadura y las cargas van a ser sometidas en los otros dos vértices salientes del bastidor. Para los cálculos se considera la carga total que va a soportar la mesa, que es de 260 kg pero dividido para los dos vértices que van a trabajar.

Para el siguiente cálculo se considera los datos de la figura 22, la cual indica la fórmula para la construcción de la toda la armadura solo con tubo rectangular de acero inoxidable de 1.5'' x 3/4'' x 1.5mm de espesor.

A continuación, en la figura 24 se puede apreciar la sección del tubo rectangular de acero inoxidable de 1 1/2'' x 3/4''.



$$R_t = \frac{2t b^2 d^2}{b+d} \quad \text{Ecuación [25]}$$

Fuente: (Blodgett, 1963, págs. 4.2-4)

$$R_t = \frac{2(0.079in)(0.75in)^2(1.5in)^2}{0.75in + 1.5in}$$

$$R_t = 0.089 in^4$$

Con el valor calculado de la resistencia a la torsión del elemento transversal, con  $R_t = 0.089 in^4$  se procede al cálculo de la deflexión vertical.

$$\Delta = \left( \frac{PLW}{E_s} \right) \left( \frac{1}{\frac{n_L R_L}{W} + \frac{n_T R_T}{L}} \right) \quad \text{Ecuación [26]}$$

Fuente: (Blodgett, 1963, págs. 4.2-4)

Datos de la armadura:

$$P = 286.6 \text{ lbs.}$$

$$L = 27.6 \text{ in}$$

$$W = 55.1 \text{ in}$$

$$E_s = 27,557. 10^6 \text{ psi}$$

$$n_L = 5$$

$$n_T = 4$$

$$R_t = 0.089 in^4$$

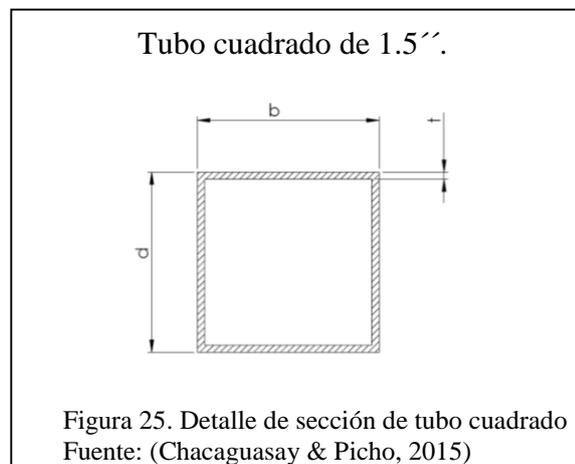
Estos valores se reemplazan en la ecuación 26.

$$\Delta_1 = \left( \frac{(286.6in)(27.6in)(55.1in)}{27,557 \cdot 10^6 \text{ psi}} \right) \left( \frac{1}{\frac{5 (0.089 \text{ in}^4)}{55.1 \text{ in}} + \frac{4 (0.089 \text{ in}^4)}{27.6 \text{ in}}} \right)$$

$$\Delta_1 = 1.51 \text{ in}$$

Se calcula que el desplazamiento es 1.51 in para un diseño de la armadura utilizando para su construcción solo tubo rectangular de 1.5'' x 3/4''.

Se realizará otro diseño, pero esta vez para los laterales con tubo cuadrado de 1.5'' con una pared de 1.5mm de espesor y en la parte de adentro de la armadura se conservará tubo rectangular de 1.5'' x 3/4'' como indica la figura 25.



$$R_L = \frac{2t b^2 d^2}{b + d}$$

Fuente: (Blodgett, 1963, págs. 4.2-4)

$$R_L = \frac{2(0.079in) (1.5in)^2 (1.5in)^2}{1.5in + 1.5in}$$

$$R_L = 0.356 \text{ in}^4$$

Con el valor calculado de la resistencia a la torsión del elemento longitudinal, con  $R_t = 0.356 \text{ in}^4$  se procede al cálculo de la deflexión vertical, y para este cálculo se agrega los valores de las resistencias a la torsión del elemento transversal y longitudinal.

$$\Delta = \left( \frac{PLW}{E_s} \right) \left( \frac{1}{\frac{n_L R_L}{W} + \frac{n_t R_t}{L}} \right) \quad \text{Fuente: (Blodgett, 1963, págs. 4.2-4)}$$

Datos de nuestra armadura:

$$P= 286.6 \text{ lbs.}$$

$$L= 27.6 \text{ in}$$

$$W= 55.1 \text{ in}$$

$$E_s=27,557. 10^6 \text{ psi}$$

$$nL= 5$$

$$nT= 4$$

$$R_t= 0.089 \text{ in}^4$$

$$R_L= 0.356 \text{ in}^4$$

Reemplazar en la ecuación:

$$\Delta_2 = \left( \frac{(286.6 \text{ in})(27.6 \text{ in})(55.1 \text{ in})}{27,557 \cdot 10^6 \text{ psi}} \right) \left( \frac{1}{\frac{4 (0.356 \text{ in}^4)}{55.1 \text{ in}} + \frac{5 (0.089 \text{ in}^4)}{27.6 \text{ in}}} \right)$$

$$\Delta_2 = 0.37 \text{ in}$$

El cálculo indica que existe un desplazamiento de 0.37 in para un diseño de la armadura utilizando para su construcción solo tubo rectangular de 1.5'' x 3/4''. Se compara los dos valores de los desplazamientos calculados.

$$\Delta_1 = 1.51 \text{ in}$$

$$\Delta_2 = 0.37 \text{ in}$$

La deflexión en el segundo cálculo indica que es de  $\Delta_2 = 0.37 \text{ in}$ , haciéndolo a la estructura 4 veces más rígida que en el primer cálculo de la deflexión. Por lo que se concluye que el bastidor debe ser construido de tubo cuadrado de 1.5'' el marco de la armadura y todos los transversales de tubo rectangular de 1.5'' x 3/4''.

## 2.2.5 Dimensionamiento del agitador

El agitador debe ser capaz de homogeneizar el agua más aceite que crea el aderezo, evitando acumulaciones indeseadas de material sólido en el tanque, además debe mantenerse intacto con las fuerzas de arrastre que crea el aderezo y la forma de las paletas.

### 2.2.5.1 Cálculo de la potencia del agitador

Para el cálculo de la potencia del agitador es necesario primero calcular el número de Reynolds modificado con la ecuación 2. En la tabla 13 se encuentran los parámetros con sus respectivos valores con los cuales se podrá proceder con el cálculo del número de Reynolds.

Tabla 13.

Datos para el cálculo de número de Reynolds

Item	Valores
RPM (N)	44 rev/min
Viscosidad ( $\mu$ )	0.081 kg/m.s
Longitud (L)	0.590 m
Densidad ( $\rho$ )	930 kg/m <sup>3</sup>

Nota: Los parámetros de viscosidad y densidad son muy importantes para el cálculo de potencia para mezclar el aderezo.

Fuente: (Chacaguasay & Picho, 2015)

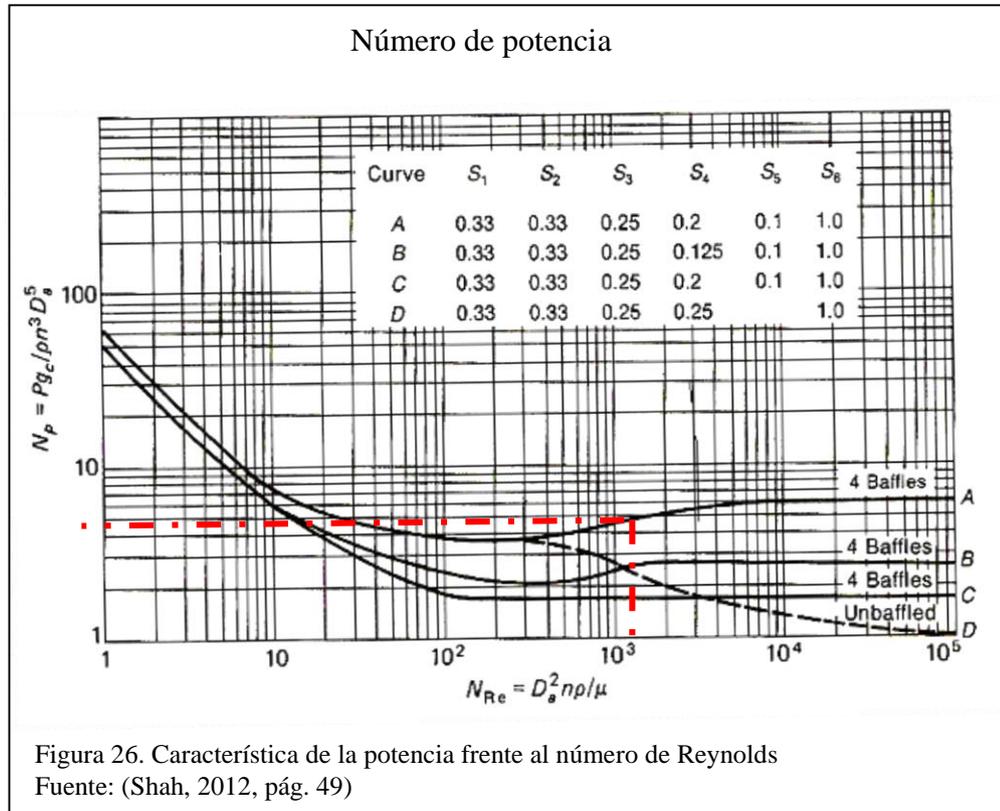
El dato de la viscosidad es tomado el del aceite de oliva que utilizan en la producción de aderezos  $\mu = 0.081$  kg/m. s. (Mrclab, 2012, pág. 1).

Al reemplazar los valores se tiene:

$$N_{re} = \frac{(0.590 \text{ m})^2 \left(0.733 \frac{\text{rev}}{\text{s}}\right) \left(930 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}{0.081 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$

$$N_{re} = 4965.39 \approx 4.9 \times 10^3$$

En la figura 26 se puede apreciar las curvas con las cuales se podrá seleccionar el valor  $N_p$  (número de potencia) teniendo como referencia el valor del número de Reynolds.



Por lo tanto, para calcular la potencia se utiliza la fórmula del número de potencia  $N_p$  :

$$N_p = \frac{Pot * g_c}{N^3 * D^5 * \delta} \quad \text{Ecuación [27]}$$

Fuente: (Erazo Soria & Vizuet Benitez, 2011, pág. 75)

Donde:

$N_p$ : Número de potencia.

Pot: Potencia del requerida

$g_c$ : aceleración gravitacional

$\delta$ : densidad del fluido

D: diámetro interno

Donde P es la potencia requerida para mover el agitador de paletas tipo ancla.

Con el valor de  $N_{re}$ , se obtiene el  $N_{po}$  mediante el diagrama de la figura 26.

$$N_{po} = 8.5$$

$$Pot = \left( \frac{N_{PO}}{\gamma_C} \right) (\delta * N^3 * D^5)$$

$$Pot = \left( \frac{8.5}{1 \frac{kgm * m}{N * s^2}} \right) \left[ 930 \frac{kg}{m^3} * \left( 0.733 \frac{rev}{s} \right)^3 * (0.590 m)^5 \right]$$

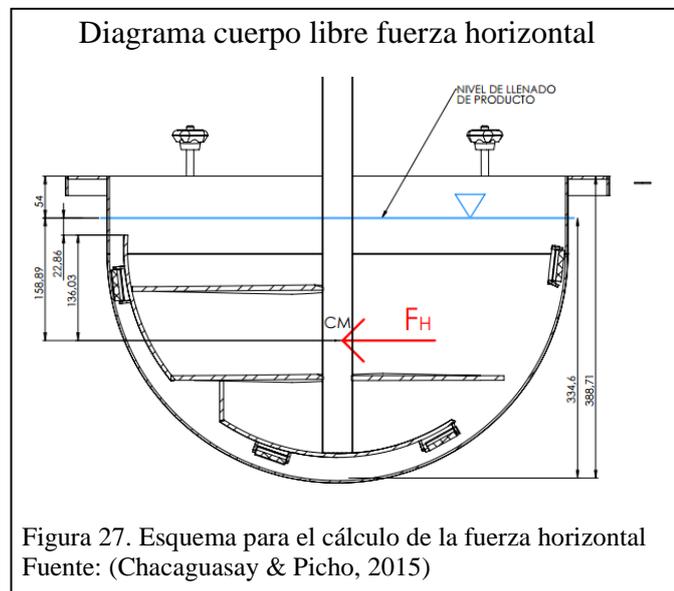
$$Pot = 414 W : \frac{1 HP}{746 W}$$

$$Pot = 0.56 HP$$

Por lo tanto, el motorreductor que se utilizará es de 1 HP.

### 2.2.5.2 Cálculo de las fuerzas horizontales en el agitador

Cuando el agitador de paletas tipo ancla esté en funcionamiento existirá una fuerza horizontal que actuará directamente en el eje del agitador como se muestra en la figura 27.



En la tabla 14 se puede ver los parámetros con sus respectivos valores que se utilizarán para el cálculo de la fuerza horizontal aplicada sobre el agitador.

Tabla 14.

Datos para el cálculo de las fuerzas horizontales

Item	Valores
Área proyectada en la vista lateral ( $A_{PROY}$ )	$9.27 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
Densidad ( $\partial$ )	$930 \text{ kg/m}^3$
Altura desde la superficie (h)	$0.15889 \text{ m}$
Aceleración de la gravedad. (g)	$9.81 \text{ m/s}^2$

Nota: La fuerza horizontal va a depender del valor de la densidad del aderezo.  
Fuente: (Chacaguasay & Picho, 2015)

$$F_H = P * A_{PROY} \quad \text{Ecuación [28]}$$

Fuente: (Robert L., 1996, pág. 3)

Pero la magnitud de la presión a cualquier profundidad  $h$  en un líquido de peso específico  $\gamma$  es:

$$P = \gamma * h \quad \text{Ecuación [29]}$$

Fuente: (Robert L., 1996, pág. 94)

$$\gamma = \partial * g \quad \text{Ecuación [30]}$$

Fuente: (Robert L., 1996, pág. 16)

Donde:

P: Presión

h: Altura del fluido

$\gamma$  : Peso específico del aderezo

$\partial$  : Densidad del aderezo

g: Aceleración de la gravedad.

Primero se calcula el peso específico del aderezo utilizando la ecuación 30 de la cual se conoce el valor de la densidad y la aceleración de la gravedad.

$$\gamma = \left(930 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$\gamma = 9123.3 \frac{N}{m^3}$$

Una vez calculado el peso específico se procede con la ecuación 29 a calcular la presión:

$$P = \left( 9123.3 \frac{N}{m^3} \right) (0.15889m)$$

$$P = 1449.601 \text{ Pa}$$

Ya con las dos variables encontradas se procede a remplazar en la ecuación 28.

$$F_H = \left( 1449.601 \frac{N}{m^2} \right) (9.27 \times 10^{-3} m^2)$$

$$F_H = 13.438 \text{ N.}$$

### 2.2.5.3 Análisis por fatiga del eje del agitador

Para comprobar el límite de resistencia a la fatiga se utilizará la siguiente ecuación:

$$Se = Se' * Ka * Kb * Kc * Kd * Ke * kf \quad \text{Ecuación [31]}$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 279).

Donde:

*Ka*: Factor de superficie

*Kb*: Factor de tamaño

*Kc*: Factor de carga

*Kd*: Factor de temperatura

*Ke*: factor de confiabilidad

*Kf*: Factor de modificación de efectos varios

*Se*: Límite de resistencia a la fatiga (MPa)

*Se'*: Límite de resistencia a la fatiga de una probeta (MPa)

### 2.2.5.3.1 Factor de superficie Ka

$$K_a = a \times S_{ut}^b$$

Ecuación [32]

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 279)

En la tabla 15 se puede extraer los valores del factor “a” y del exponente “b” los cuales se encuentran expuestos en dicha tabla como acabado superficial para un maquinado o laminado en frío.

Tabla 15.

Factor de superficie Ka

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S <sub>ut</sub> kpsi	S <sub>ut</sub> MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Nota: El eje del agitador debe ser maquinado en frío.

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 280)

$$a = 4,51 \text{ MPa} \wedge b = -0,265$$

Como se puede apreciar en la tabla 16 las propiedades mecánicas a la tensión del acero inoxidable tipo 304.

Tabla 16.

Propiedades mecánicas a la tensión de algunos aceros

Número	Material	Condición	Resistencia (a la tensión)					Resistencia a la deformación, exponente m	Resistencia a la fractura $\epsilon_f$
			Fluencia S <sub>y</sub> MPa (kpsi)	Última S <sub>u</sub> MPa (kpsi)	A la fractura, $\sigma_b$ MPa (kpsi)	Coefficiente $\sigma_b$ MPa (kpsi)			
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1) <sup>†</sup>	620 (90.0)	0.25	1.05	
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130) <sup>†</sup>	992 (144)	0.14	0.49	
1212	Acero	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106) <sup>†</sup>	758 (110)	0.24	0.85	
1045	Acero	TyR 600°F	1 520 (220)	1 580 (230)	2 380 (345)	1 880 (273) <sup>†</sup>	0.041	0.81	
4142	Acero	TyR 600°F	1 720 (250)	1 930 (210)	2 340 (340)	1 760 (255) <sup>†</sup>	0.048	0.43	
303	Acero inoxidable	Recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1 520 (221) <sup>†</sup>	1 410 (205)	0.51	1.16	
304	Acero inoxidable	Recocido	276 (40.0)	568 (82.4)	1 600 (233) <sup>†</sup>	1 270 (185)	0.45	1.67	
2011	Aleación de aluminio	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2) <sup>†</sup>	620 (90)	0.28	0.10	

Nota: El límite de fluencia y la última tensión son valores que se utilizarán.

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 1023)

**Acero Inoxidable AISI 304**

$$S_{ut} = 568 \text{ Mpa}$$

$$S_y = 276 \text{ MPa}$$

$$K_a = 4,51 \text{ Mpa} \times 568 \text{ Mpa}^{-0,265}$$

$$K_a = \mathbf{0.839.}$$

### 2.2.5.3.2 Factor de tamaño $K_b$

Para diámetros  $2,79\text{mm} \leq d \leq 51\text{mm}$

$$K_b = \left(\frac{d}{7,62}\right)^{-0,1133} \quad \text{Ecuación [33]}$$

**Fuente:** (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 280)

Considerando un diámetro de eje = 38.10 mm

$$K_b = \left(\frac{38.10 \text{ mm}}{7,62}\right)^{-0,1133}$$

$$K_b = \mathbf{0.833}$$

### 2.2.5.3.3 Factor de temperatura $K_c$

Cuando se realizan los ensayos de fatiga con carga de flexión rotatoria, axial y de torsión, los límites de resistencia a la fatiga difieren con  $S_{ut}$ . (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 282)

$$K_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0,85 & \text{axial} \\ 0,59 & \text{torsión} \end{cases}$$

$$K_c = \mathbf{0.59}$$

### 2.2.5.3.4 Factor de temperatura $K_d$

Para determinar este factor se considera que trabajará a más de 100 °C de temperatura.

$$K_d = \mathbf{1.020}$$

En la tabla 17 se puede apreciar el valor del factor de temperatura  $K_d$  para una temperatura de 100 °C.

Tabla 17.

Factor de temperatura  $K_d$

Temperatura, °C	$S_T/S_{RT}$	Temperatura, °F	$S_T/S_{RT}$
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995

Nota: El factor de temperatura se considera de 100 grados centígrados.

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 1023)

### 2.2.5.3.5 Factor de confiabilidad $K_e$

$$K_e = \frac{1}{k_f} \quad \text{Ecuación [34]}$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 284)

### 2.2.5.3.6 Factor de modificación de efectos varios $K_f$

Para calcular el factor de concentración del esfuerzo por fatiga se utiliza la siguiente ecuación.

$$K_f = 1 + q * (k_t - 1) \quad \text{Ecuación [35]}$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 285)

Donde:

$K_f$ : Concentración de esfuerzos

$q$ : Sensibilidad de la muesca

$K_t$ : Factor de concentración

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}} \quad \text{Ecuación [36]}$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 288)

Donde:

$\sqrt{a}$ : Constante de Neuber para el material

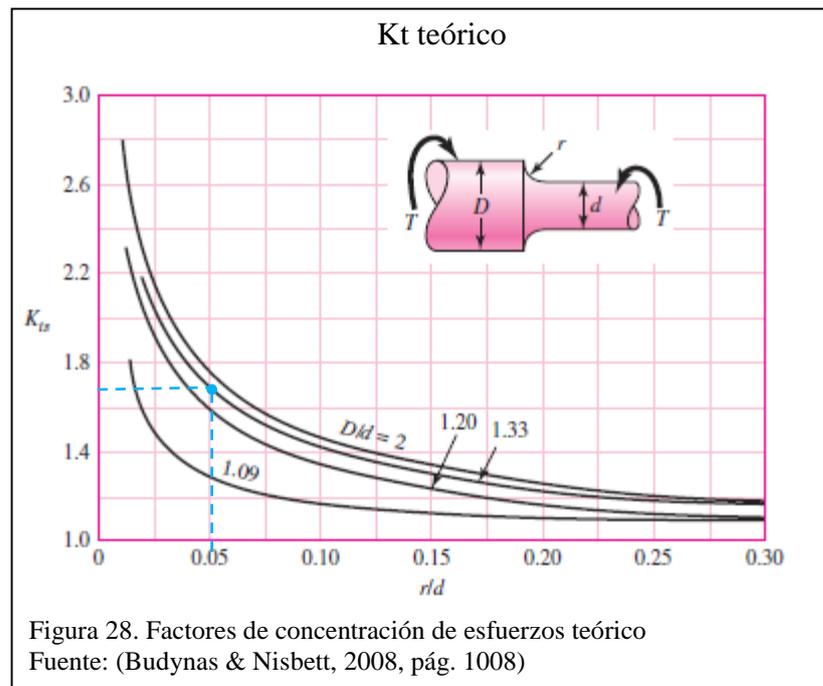
$\sqrt{r}$ : Radio de la muesca (mm)

Todos los parámetros se calculan a partir de  $D/d$  y  $r/d$ , dichos valores son datos del diseño.  $D_{mayor\ del\ eje} = 38.10mm$ ,  $d_{menor\ del\ eje} = 27.97\ mm$  y  $r =$

1,5 mm. En la figura 28 se puede determinar de manera gráfica el valor aproximado del factor de concentración de esfuerzos teniendo como dato el valor de  $r/d$ .

$$D/d = 1.362$$

$$r/d = 0.0536$$



En la figura 28 se presenta el valor aproximado del factor de concentración de esfuerzos, que con las relaciones conocidas se obtiene un  $kt\ te\acute{o}rico = 1,78$  y en el anexo 4, se muestra la constante de Neuber correspondiente al material.

$$q = \frac{1}{1 + \frac{0,070}{\sqrt{1,5}}}$$

$$q = 0.946$$

Reemplazar los valores en la ecuación de para calcular el factor de concentración del esfuerzo por fatiga

$$Kf = 1 + 0,946 * (1,78 - 1)$$

$$Kf = \mathbf{1.738}$$

$$\therefore Ke = \mathbf{0,575}$$

Una vez analizados todos los factores, se calcula el límite de resistencia a la fatiga.

$$Se' = 0.5 S_{ut} \quad \text{Ecuación [37]}$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 274)

$$Se' = \frac{568 \text{ Mpa}}{2}$$

$$Se' = 284 \text{ Mpa}$$

$$\Rightarrow Se = 284 \text{ Mpa} \times 0,839 \times 0,833 \times 0,59 \times 1,020 \times 0,575 \times 1,738$$

$$Se = 104.239 \text{ MPa}$$

$$Se < Sy$$

$$104.24 \text{ MPa} < 276 \text{ MPa}$$

$\therefore$  el eje resiste a la fatiga ya que cumple la condición, que el límite de resistencia del elemento de máquina sujeto a cualquier tipo de carga (Se) es menor a la resistencia a la fluencia (Sy).

$$Se < Sy .$$

## Capítulo 3

### Simulación

En este capítulo se realizará la simulación de algunos de los elementos que intervienen en el diseño de la marmita de 50 litros, se puede visualizar de manera más dinámica el comportamiento que tendrán dichos elementos cuando son sometidos a distintos esfuerzos de cargas.

Los elementos que a continuación se van a simular con la utilización del software SolidWorks que ya fueron calculados mediante distintos métodos de ingeniería, los valores que se ingresaran en el software para la simulación irán de acuerdo al tipo de esfuerzos que sufra cada elemento dependiendo el trabajo que estén haciendo dentro de la marmita, esto se lo hace para que los valores de respuesta coincidan con los cálculos realizados de manera manual para tener un documento de respaldo y verificar que los cálculos sean semejantes.

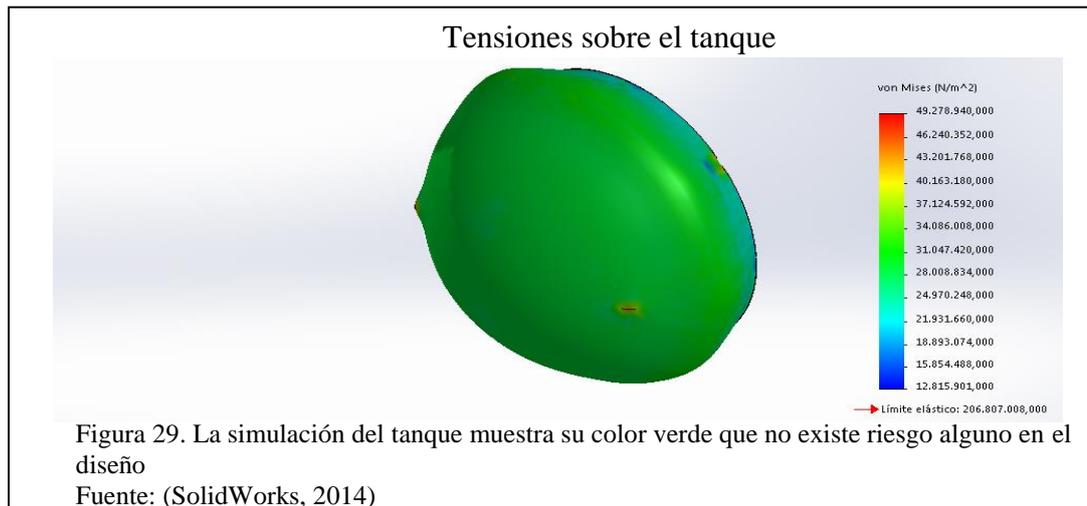
#### 3.1 Simulación de esfuerzos del tanque

Para la simulación de esfuerzos se realizó un análisis estático, donde tomará una presión de diseño de 40 PSI, aplicados sobre la pared interna de la chaqueta, el espesor de la chaqueta es de 2 mm y de acero AISI 304.

En la simulación, en el filo del tanque se colocará restricción de movimiento, ya que en el filo es donde se soldará un anillo de cierre superior para colocar la chaqueta y en la pared del tanque interno estará ejerciendo cargas de presión con un valor de 40 PSI.

##### 3.1.1 Tensiones

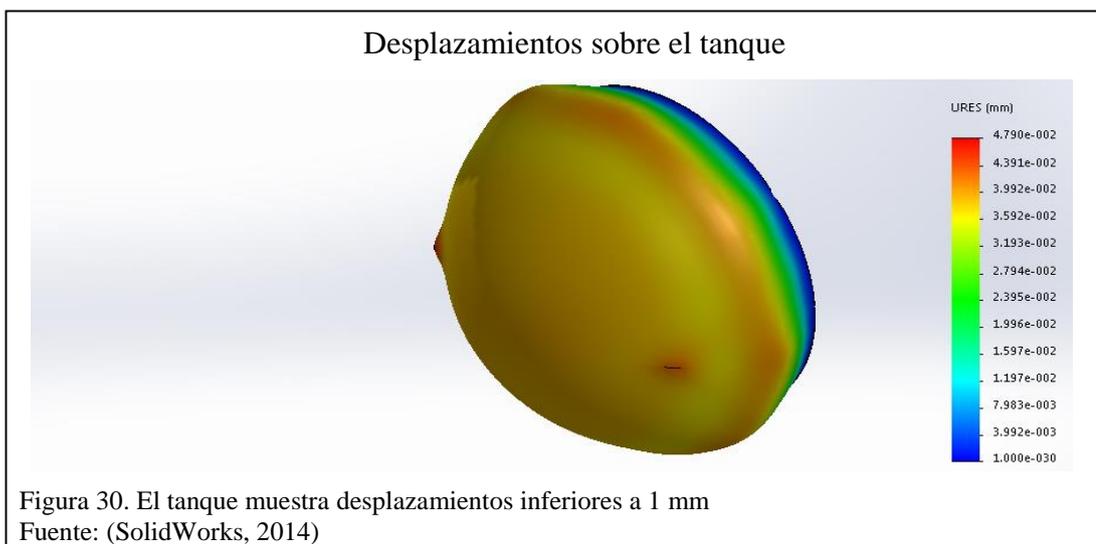
En la figura 29 se puede observar las tensiones a las cuales se encuentra sometido el tanque, debido a la presión de 40 PSI, aplicados sobre la pared del tanque interno, además de restricción de movimiento en el filo del tanque.



El límite elástico  $S_y$  que soporta el acero inoxidable es de  $2.06807e+008 \text{ N/m}^2$ , y el valor máximo de tensión que se ejerce sobre el tanque es de  $4.92789e+007 \text{ N/m}^2$ . Es decir que el valor máximo de tensión al cual estará sometido el tanque no sobrepasa el límite elástico, por lo tanto, no existirán complicaciones en el correcto funcionamiento del tanque en cuanto se refiere a fuerzas de tensión.

### 3.1.2 Desplazamientos

La figura 30 indica los desplazamientos sobre el tanque, la zona en la cual existe mayor desplazamiento y la zona en la cual existe un mínimo desplazamiento.

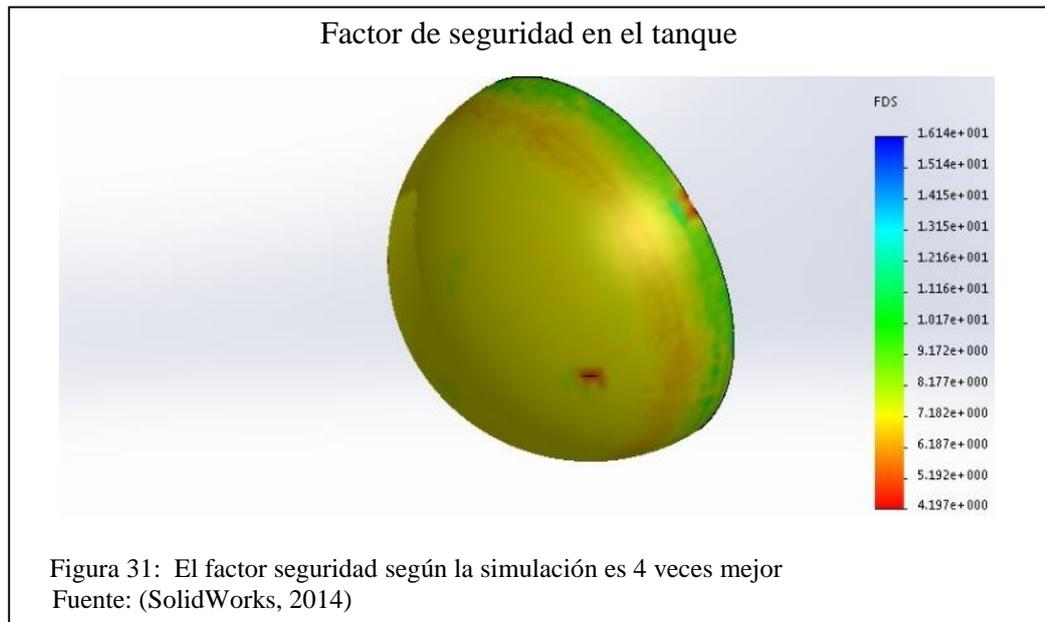


El valor máximo de desplazamiento indicado en la zona naranja del tanque es de  $0.0479 \text{ mm}$ , siendo este un valor que no influirá en el correcto funcionamiento del

tanque. Por lo tanto, el diseño del tanque es correcto y no tendrá problemas en cuanto se refiere a las fuerzas de desplazamiento.

### 3.1.3 Factor de seguridad

En la figura 31 indica si el diseño soportará las fuerzas a las cuales va a ser sometido; en caso de fallar el factor de seguridad sería inferior a 1,5.



La simulación muestra que el valor mínimo de factor de seguridad del tanque se establece en 4.2.

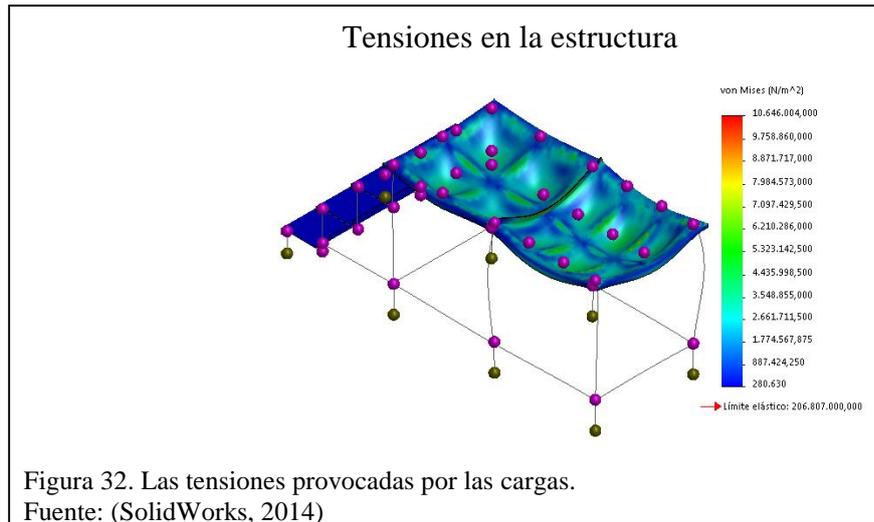
Como conclusión se puede decir que el tanque que se diseñó para soportar una presión ejercida de 40 PSI si satisface la carga simulada.

## 3.2 Cálculos de esfuerzos en la estructura

Para realizar el cálculo y simulación en la mesa de la marmita se colocará dos cargas, una de 160 kg (peso de marmita) y 100 kg (peso de una persona) que se indica su distribución en la figura 12.

### 3.2.1 Tensiones

En la figura 32 se puede observar las tensiones provocadas por las fuerzas tanto de la carga como del operador más el propio peso de la estructura.

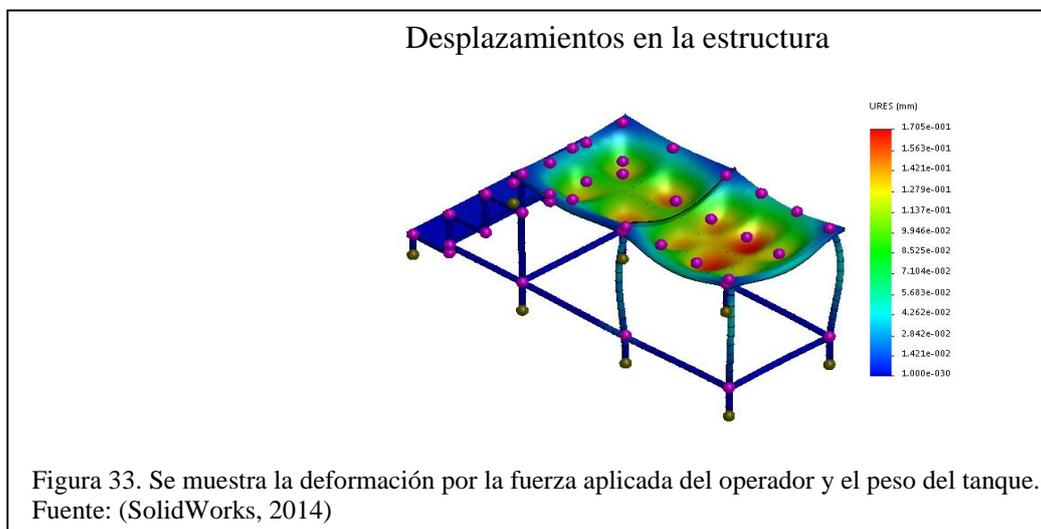


Se puede concluir que la estructura es lo suficientemente robusta y está diseñada adecuadamente para soportar el peso conjunto del operador, de la marmita y del producto en fabricación, ya que el valor máximo de tensión producido en esta es de  $1.0646 \times 10^{007} \text{ N/m}^2$  como lo indica el estudio. El límite elástico  $S_y$  que soporta el acero inoxidable es de  $2.06807 \times 10^{008} \text{ N/m}^2$ . Este valor no sobrepasa el máximo de tensión que puede soportar el material con el cual se encuentra construida la estructura.

Por lo tanto, las deformaciones que pueden producirse en la estructura debido a las tensiones son admisibles, ya que no sobrepasan el punto crítico.

### 3.2.2 Desplazamientos

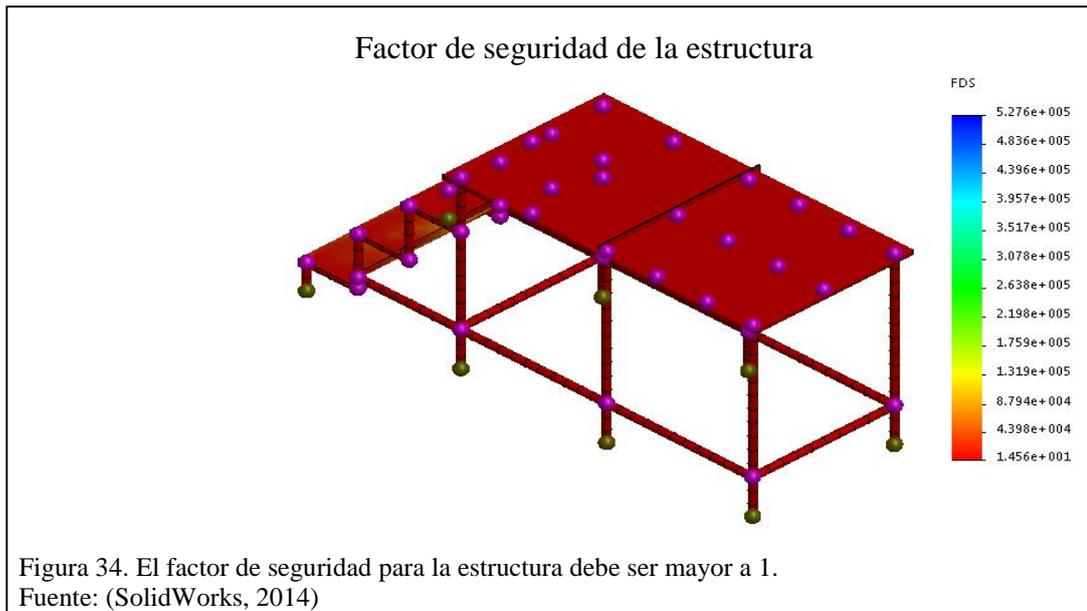
En la figura 33 se puede observar los desplazamientos provocados por las fuerzas, de los operadores más el propio peso de la estructura.



Se obtiene un desplazamiento máximo de 0.17 mm en el área sombreada con color rojo. Este desplazamiento es muy pequeño, por lo que no afecta la estabilidad de la estructura.

### 3.2.3 Factor seguridad

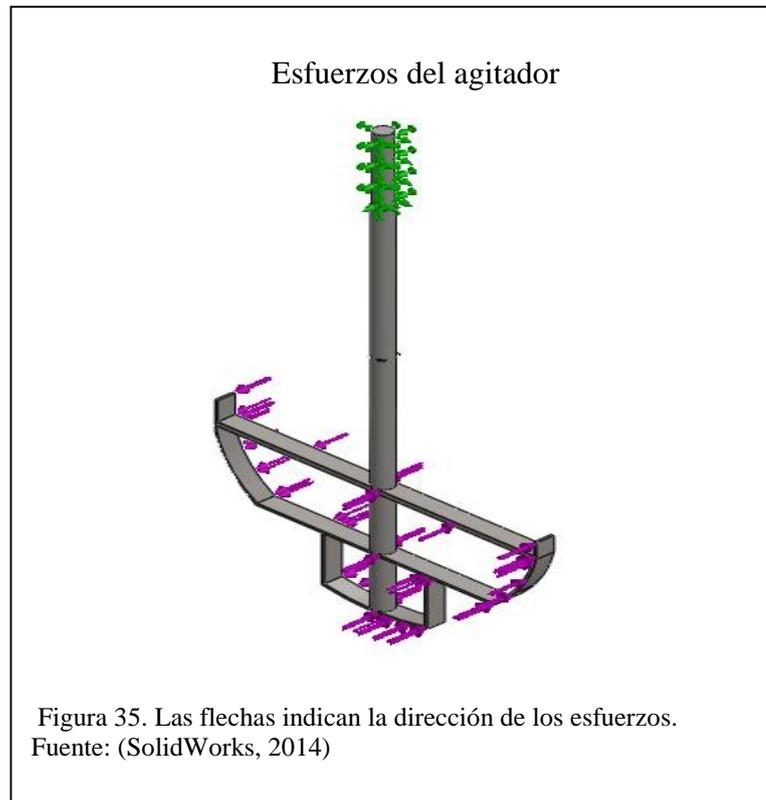
En la figura 34 se puede apreciar si el diseño soportará las fuerzas a las cuales va a ser sometido; en caso de fallar el factor de seguridad sería inferior a 15.



Como se puede observar en la figura 34, el valor mínimo de factor de seguridad de la estructura se establece en 14.55. En conclusión, el diseño de la estructura es estable y puede soportar las fuerzas causadas por el peso del material de mezcla y los operadores con un mínimo desplazamiento, lo cual lo hace adecuado para proceder a la construcción del mismo.

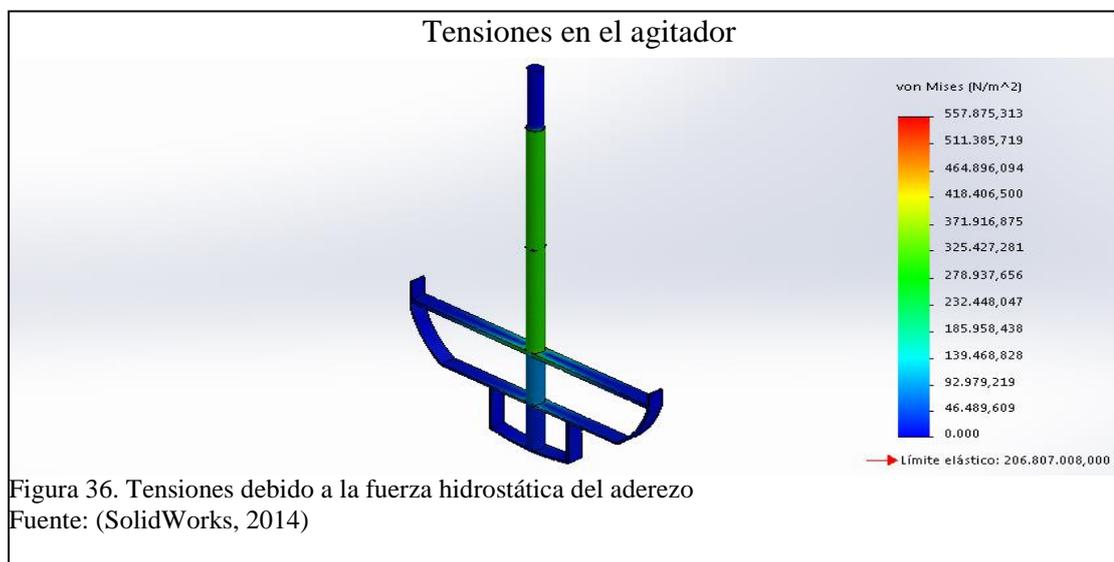
### 3.3 Simulador de esfuerzos del agitador.

Para la simulación de esfuerzos se tomará la fuerza horizontal 15.183 N que estarán trabajado sobre las paredes de cada una de las hélices del agitador como se puede apreciar en la figura 35, se tiene un apoyo fijo, parte del eje que entra en el motorreductor.



### 3.3.1 Tensiones

En la figura 36 se puede observar las tensiones a las cuales se encuentra sometido el agitador, debido a la fuerza hidrostática del aderezo.

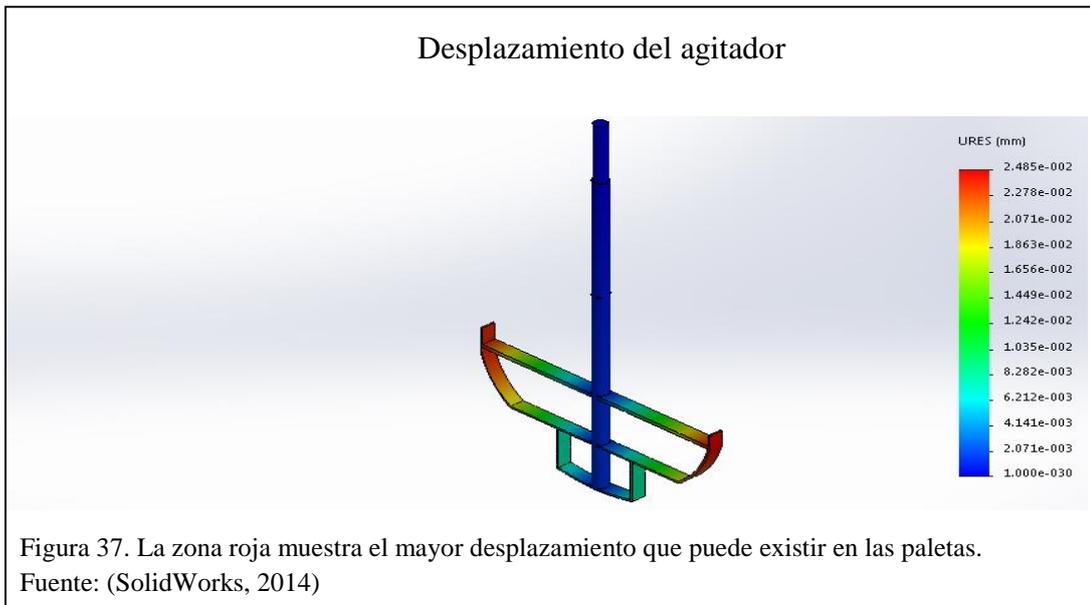


El límite elástico  $S_y$  que soporta el acero inoxidable es de  $2.06807e+008$  N/m<sup>2</sup>, y el valor máximo de tensión que se ejerce sobre el agitador es de  $557875$  N/m<sup>2</sup>. Es decir que el valor máximo de tensión al cual estará sometido el tanque no sobrepasa el

límite elástico, por lo tanto, no existirá complicaciones en el correcto funcionamiento del agitador en cuanto se refiere a fuerzas de tensión.

### 3.3.2 Desplazamiento

La figura 37 indica los desplazamientos sobre el agitador, la zona en la cual existe mayor desplazamiento y la zona en la cual existe un mínimo desplazamiento.



La simulación indica que el valor máximo de desplazamiento indicado en la zona roja del agitador es de 0.0248 mm, siendo este un valor que no influirá en el correcto funcionamiento del agitador. Por lo tanto, el diseño del agitador es correcto y no tendrá problemas en cuanto se refiere a las fuerzas de desplazamiento.

Se concluye que, si satisface el diseño del agitador, ya que después de haber realizado la simulación estática del agitador tenemos valor promedio de 0.0248mm lo que lo hace despreciable.

## Capítulo 4

### **Análisis de costos**

Este capítulo presenta el análisis de costos que ayudará a determinar la cantidad de recursos económicos necesarios para la ejecución del proyecto. Se toma en cuenta tanto los costos directos como los indirectos.

- Costos Directos
  - Costos de materiales directos
  - Costos de materiales normalizados
  - Costos de maquinado
  - Costo de montaje-instalación
- Costos Indirectos
  - Costos de materiales indirectos
  - Costos de ingeniería
  - Otros

#### **4.1 Análisis de costos directos**

##### **4.1.1 Costos de materiales directos**

Estos materiales son la materia prima necesaria para construir los elementos que constituyen la marmita.

En la tabla 18 se muestran los costos de materiales directos que se utilizan en la construcción de la marmita.

Tabla 18.

Costos materiales indirectos.

<b>Material</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cant.</b>	<b>Precio uni.</b>	<b>Costo total</b>
Plancha inoxidable 304-2B	MATE 1,5 mm x4'x 8'	1	\$ 160,00	\$ 104,00
	MATE 2,0 mm x4'x 8'	1	\$ 2.010,00	\$ 136,50
	MATE	1	\$ 309,00	\$ 200,85
Plancha inoxidable 304-N <sup>o</sup> 1	OPACA 4,0 mm x4'x 8'	1	\$ 467,54	\$ 303,90
	OPACA 5,0 mm x4'x 8'	1	\$ 592,64	\$ 385,22
Barra redonda inoxidable 304	Ø 1/2" AISI 304	6,20 kg	\$ 6,15	\$ 24,78
	Ø 2 1/2" AISI 304	152 kg	\$ 6,15	\$ 607,62
	Ø 3/8" AISI 304	4,20 kg	\$ 6,15	\$ 16,79
Tubo rectangular inoxidable 304	25,0 x 50,0 x 1,20	1	\$ 72,54	\$ 47,15
	20,0 x 40,0 x 1,20	1	\$ 68,75	\$ 44,69
Tubo pulido exterior inoxidable 304	50,8 x 1,50mm	6	\$ 15,47	\$ 60,33
	38,1 x1,5 mm	6	\$ 12,03	\$ 46,92
Tubo cuadrado inoxidable 304	38,1 x 38,1 x 1,50	1	\$ 88,19	\$ 57,32
	50,8 x 50,8 x 2,00	1	\$ 152,00	\$ 98,80
Plancha inoxidable 304 corrugada	1,22 x 2,44 x 3 mm	1	\$ 345,37	\$ 345,37
				<b>\$ 2.480,24</b>

Nota: En la tabla se detalla los materiales principales utilizados para la construcción de la marmita  
Elaborado por: (Chacaguasay & Picho, 2015)

#### 4.1.2 Costos de elementos normalizados

Los elementos normalizados son los que encontramos en el mercado y no necesitan ser modificados para utilizarse. Los costos de estos elementos normalizados se detallan a continuación en la tabla 19.

Tabla 19.

Costos de elementos normalizados

Material	Descripción	Cant.	Costo total
Perno hexagonal inoxidable 304	1/4" x 1" -1 H, Grueso	48	\$ 2,40
	3/8"x1,1/2" -1	17	\$ 2,62
	3/8"x 5" -1 Grueso	2	\$ 0,86
Tuerca hexagonal inoxidable 304	1/4" -1	48	\$ 1,09
	3/8" -1	37	\$ 1,66
Anillo plano inoxidable 304	PL 1/4" -1	48	\$ 0,80
	PL 3/8" -1	17	\$ 0,41
Anillo de presión inoxidable 304	PL 1/4" -1	48	\$ 0,21
	P 3/8" -1	17	\$ 0,29
Tuerca de seguridad con nylon	3/8" -1-N	2	\$ 0,17
Perno hexagonal AC inoxidable 304	M14 x 2.00 x75 mm	4	\$ 6,68
Tuerca AC inoxidable 304	M14 x 2.00 mm	4	\$ 1,40
Arandela plana AC inoxidable 304	5/8"	4	\$ 1,00
Arandela de presión AC inoxidable 304	5/8"	4	\$ 1,00
Neplo SCH 40 NPT inoxidable 304	3/4" X 260 mm	1	\$ 10,86
	3/4" 250 mm	1	\$ 9,53

Neplo SCH 40 NPT inoxidable 316	1/2" X 220 mm	1	\$ 6,21
Válvulas de mariposa clamp inoxidable 304	1 1/2" 3P	2	\$ 123,36
Ferrule corto inoxidable 304	1 1/2"	4	\$ 16,72
Empaque EPDM para ferrule	1 1/2"	4	\$ 3,96
Codo clamp	1 1/2" x 90°	2	\$ 14,16
	3/4" x 90°	1	\$ 3,36
Abrazadera para tubo de 1 1/2"	1 1/2"	1	\$ 7,32
Motorreductor ortogonal	1 HP-1730 RPM	1	\$ 839,00
			<b>\$ 1.055,07</b>

Nota. Los elementos normalizados son aquellos que ya los compramos con dimensiones estandarizadas.

Elaborado por: (Chacaguasay & Picho, 2015)

#### 4.1.3 Costos de servicios de terceros

Estos costos se refieren al costo de mano de obra de un servicio de terceros más el costo de hora-máquina, los tiempos son estimados para cada pieza, como se muestra en la tabla 20.

Tabla 20.

Costo de servicios de terceros

Proceso	Cantidad	Valor hora	Costo total
Soldadura	40	\$ 6,25	\$ 250,00
Mecanizados	20	\$ 10,00	\$ 200,00
Doblado y barolado	25	\$ 8,00	\$ 200,00
			<b>\$ 650,00</b>

Nota. El alquiler de la maquina es un punto esencial ya que de este depende si aumenta o no el costo de la marmita.

Elaborado por: (Chacaguasay & Picho, 2015)

#### 4.1.4 Costos de montaje e instalación

Los costos de montaje están explicados en la tabla 21, estos costos están directamente relacionados con la mano de obra para el montaje de la marmita en las instalaciones de Ecopacific S.A .

Tabla 21.

Costo de montaje e instalación

<b>Descripción</b>	<b>Tiempo (horas)</b>	<b>Valor hora</b>	<b>Costo total</b>
Técnico soldador	8	\$ 12,50	\$ 100,00
Ayudante	8	\$ 6,25	\$ 50,00
Asesoramiento ingeniería	8	\$ 25,00	\$ 200,00
			<b>\$ 350,00</b>

Nota: Para el montaje se necesita un técnico y ayudante soldador, además de asesoramiento de un ingeniero.

Elaborado por: (Chacaguasay & Picho, 2015)

#### 4.1.5 Costos directos totales

En la tabla 22 se muestra la sumatoria de los diferentes valores de los costos que están involucrados en la construcción de la marmita.

Tabla 22.

Costo total directo

<b>Costo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo total</b>
Material directo	1	\$ 2.480,24
Material normalizado	1	\$ 1.055,07
Maquinados	1	\$ 650,00
Montaje e instalación	1	\$ 350,00
		<b>\$ 4.535,31</b>

Nota: Los valores del costo directo total es la suma del material directo, normalizado, maquinados, montaje e instalación.

Elaborado por: (Chacaguasay & Picho, 2015)

## 4.2 Análisis de costos indirectos

### 4.2.1 Costos de materiales indirectos

En la tabla 23 se muestran los materiales indirectos utilizados con sus cantidades y respectivos valores de precio de cada uno de ellos, además del sumatorio total de los valores de precio.

Tabla 23.

Costo material indirecto

Descripción	Cant.	Precio uni.	Costo total
Grata circular lisa	1	\$ 6,25	\$ 6,25
Lijas # 80	2	\$ 5,00	\$ 10,00
Rueda flap	5	\$ 2,50	\$ 12,50
Gas argón	2	\$ 200,00	\$ 400,00
Electrodos de tungsteno	5	\$ 8,00	\$ 40,00
Acido de soldadura	1	\$ 10,00	\$ 10,00
Disco de corte 1 mm	8	\$ 3,00	\$ 24,00
Disco de desbaste	5	\$ 5,00	\$ 25,00
			<b>\$ 527,75</b>

Nota: Se considera material indirecto a todos los materiales que se utilizan para la fabricación del equipo, pero no se diferencian en el producto final.

Elaborado por: (Chacaguasay & Picho, 2015)

### 4.2.2 Otros

En la tabla 24 se enumeran los gastos técnicos administrativos, ejecutables para el proyecto tales como: logística, insumos de limpieza, comunicaciones, gastos de oficina.

Tabla 24.

Otros costos indirectos

<b>Descripción</b>	<b>Cant.</b>	<b>Precio uni.</b>	<b>Costo total</b>
Traslado de materiales	1	\$ 10,00	\$ 10,00
Uso de internet	25	\$ 0,50	\$ 12,50
Impresiones del documento	120	\$ 0,25	\$ 30,00
Energía eléctrica	1	\$ 20,00	\$ 20,00
Recarga móvil	2	\$ 25,00	\$ 50,00
Gasolina	15	\$ 2,10	\$ 31,50
Traslado de la marmita a Ecopafic S.A.	1	\$ 15,00	\$ 15,00
			<b>\$ 169,00</b>

Nota: Los gastos representados en la tabla son gastos e insumos utilizados en el proyecto.  
Elaborado por: (Chacaguasay & Picho, 2015)

#### 4.2.3 Costos indirectos totales

En la tabla 25 se muestra el total de costos indirectos que es la suma de los costos de material indirectos y otros gastos.

Tabla 25.

Costo total indirecto

<b>Costo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo total</b>
Material indirecto	1	\$ 527,75
Otros gastos	1	\$ 169,00
		<b>\$ 696,75</b>

Nota: El total del material indirecto es la suma de los insumos y otros gastos  
Elaborado por: (Chacaguasay & Picho, 2015)

### 4.3 Costo total de la marmita

En la tabla 26, se muestra el valor total de la inversión, para la construcción de la marmita, el mismo que está conformado por el total de costos directos e indirectos.

Tabla 26.

Costo total de la marmita

<b>Costo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo total</b>
Costos directos	1	\$ 4.535,31
Costos indirectos	1	\$ 696,75
		<b>\$ 5.232,06</b>

Nota: El valor de la inversión es la suma de los costos directos e indirectos.  
Elaborado por: (Chacaguasay & Picho, 2015)

### 4.4 Análisis financiero

#### 4.4.1 Proyección de ingresos anuales

En la tabla 27 se estima flujos mensuales para cada uno de los 5 años.

Tabla 27.

Proyección de ingresos

<b>Año</b>	<b>Ingreso mensual</b>	<b>Ingreso anual</b>
1	\$ 300,00	\$ 3.600,00
2	\$ 350,00	\$ 4.200,00
3	\$ 200,00	\$ 2.400,00
4	\$ 100,00	\$ 1.200,00
5	\$ 120,00	\$ 1.440,00

Nota: El valor de ingresos mensual y anual de la empresa  
Fuente: (Chacaguasay & Picho, 2015)

#### 4.4.2 Análisis costo de capital aceptable de rendimiento (TMAR)

$$TMAR = i + f + i * f$$

Donde:

$i$ : Premio al riesgo

$f$ : Inflación

Se toma un valor del 20.40 % para el premio al riesgo. Tomando en cuenta la deuda externa pública como % del PIB y la inflación anual 3.09%. (Banco Central del Ecuador, 2016).

A continuación, se muestra en la figura 38 los indicadores económicos del Ecuador con sus respectivos valores teniendo como fuente el Banco Central del Ecuador.

Indicadores económicos del Ecuador	
Deuda Externa Pública como % del PIB (Diciembre 2015):	20.40%
Inflación Anual (Enero-2016/DEnero-2015):	3.09%
Inflación Mensual (Enero-2016):	0.31%
Tasa de Desempleo Urbano a Diciembre-31-2015:	5.65%
Tasa de interés activa (Marzo-16):	8.86%
Tasa de interés pasiva (Marzo-16):	5.95%

Figura 38. Los indicadores son tomados del banco central del Ecuador.  
Fuente: (Banco Central del Ecuador, 2016)

$$TMAR = 0,204 + 0,0309 + 0,204 * 0,0309$$

$$TMAR = 0,24 \approx 24,1\%$$

#### 4.4.3 Análisis valor actual neto (VAN).

El valor anual uniforme (VA) significa que todo los ingresos y desembolsos (irregulares y uniformes) son convertidos en una cantidad anual uniforme equivalente, que es la misma en cada periodo.

Se debe tener presente para el valor del VAN los criterios descritos en la tabla 28.

Tabla 28.

Criterios aceptación VAN

VAN > 0: Inversión interesante	No es importante cuánto mayor a cero sea el valor, esto es una ganancia extra después de aplicar una TMAR conveniente.
VAN = 0: Inversión indiferente	Se gana solamente lo considerado en TMAR. Se puede aceptar la inversión, pero con la ganancia mínima.
VAN < 0: Inversión con pérdidas	En caso de contabilizar pérdidas, se debe rechazar el proyecto.

Nota: La tabla muestra los criterios a tener en cuenta para interpretar el resultado del cálculo  
Fuente: (Ibujés, 2015, pág. 9)

El VAN se obtiene de la siguiente ecuación:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

$I_0$  : Inversión inicial del proyecto

$F_t$ : Flujos futuros

$r$  : Tasa de retorno

$t$ : Número de años

#### 4.4.4 Análisis tasa interna de retorno (TIR)

El presente proyecto resulta interesante económicamente, cuanto mayor sea el valor del TIR.

Se define como TIR:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+TIR)^t} - I_0 = 0$$

En la tabla 29, se muestra el cálculo del VAN, TIR y una relación de beneficio y costo con  $TMAT=24.1\%$  que es la tasa de interés activa. (Banco Central del Ecuador, 2016).

Tabla 29.

Cálculo del VAN y TIR

<b>Años</b>	<b>Inversión</b>	<b>Egresos</b>	<b>Ingresos</b>	<b>Flujo efectivo</b>	<b>Valor presente</b>
0	-\$ 5.232,06			(\$ 5.232,06)	(\$ 5.232,06)
1		-\$ 500	\$ 3.600	\$ 3.100	\$ 2.497,99
2		-\$ 500	\$ 4.200	\$ 3.700	\$ 2.402,47
3		-\$ 500	\$ 2.400	\$ 1.900	\$ 994,12
4		-\$ 500	\$ 1.200	\$ 700	\$ 295,13
5		-\$ 500	\$ 1.440	\$ 940	\$ 319,35
				<b>VAN</b>	<b>\$ 1.277,00</b>
				<b>TIR</b>	<b>39%</b>

Nota: Para garantizar la ganancia del proyecto es indispensable realizar un análisis financiero.  
Elaborado por: (Chacaguasay & Picho, 2015)

Una vez detallados todos los costos para el análisis del presente proyecto, se indica una inversión inicial de USD 5.232,06 financiada por Escorpmecc S.A.

El VAN indica un valor de USD 1.277,00 este valor al ser mayor que cero, indica que la inversión genera ganancias.

El TIR da un valor de 39 %, el cual es mayor a la tasa mínima de interés de ganancia ( $TMAR= 24,1\%$ ).

Por tanto, el proyecto es viable y satisface las expectativas de los interesados.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- Se logró el dimensionamiento del área de transferencia de calor de un tanque de forma esférica ( $A_{TC} = 0.5468 \text{ m}^2$ ) mediante cálculos matemáticos, además de la utilización del software SolidWorks para su diseño respectivo.
- El valor de la Tasa de Interés de Retorno (TIR) después de realizar los cálculos respectivos se obtuvo un valor de 39 %, lo cual este valor es mayor a la tasa mínima de interés de ganancia (TMAR= 24,1%), por lo que se concluye que este proyecto generará ganancias y además logrará satisfacer con las expectativas de los interesados.
- Se realizó varios cálculos de ingeniería tales como: cálculo térmico, de elementos a compresión, a flexión, a torsión entre otros para poder dimensionar y verificar si el elemento seleccionado satisfacía con el requerimiento propuesto.
- La utilización de lana de vidrio como material de aislamiento térmico fue aceptable, ya que por tener un valor de conductividad térmica muy bajo ( $k = 0.040 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$ ), evita la transferencia de calor no deseada desde un cuerpo al ambiente o viceversa; lo que ayuda a tener menos pérdidas térmicas en el sistema.
- Para la selección del motorreductor ortogonal se tomó en consideración la jornada doble de trabajo de la empresa, sabiendo que el aderezo tiene una densidad ( $\rho=930 \text{ kg/m}^3$ ), además trabajará con un agitador de paletas tipo ancla y se debe utilizar bajas revoluciones pero torques altos; el motorreductor seleccionado tiene un torque de servicio de 93 Nm y 44 rpm pero con un factor de servicio igual a 2.37 lo que indica que este reductor soportará hasta 200 Nm, con 24 horas de trabajo continuo a sobrecarga fuerte y un promedio de 100 arranques/hora.

## **Recomendaciones**

- Para tener un valor alto de aprovechamiento de la energía térmica, hay que tener muy en cuenta que las pérdidas de calor en el tanque interno deben tener valores muy bajos, lo cual se consigue ubicando las tapas de la marmita en la posición cerrada durante su funcionamiento.
- Al efectuar la simulación estática, térmica o cualquiera que fuera de algún elemento en el software SolidWorks, tener muy en cuenta que los valores introducidos como parámetros sean exactos con los que se vaya a trabajar, con el objetivo de conseguir valores que están muy cercanos a la realidad, para que este estudio sea un documento de respaldo del proceso real.
- Se recomienda para futuras investigaciones enfocarse en el aprovechamiento térmico del equipo, mejorando el diseño para eliminar pérdidas de calor.
- Para mejorar la eficiencia térmica de este tipo de equipos, se recomienda la utilización de un aislante térmico como es la lana de vidrio.
- En cuanto a la construcción del equipo a pesar de ser patrocinado se debe tener un presupuesto extra que cubra todos los costos imprevistos.

## Referencias

- Akran, H. (01 de Abril de 2013). *Diseño de Estructuras metálicas*. Obtenido de Akramhomsih.files.wordpress.com:  
<https://akramhomsih.files.wordpress.com/2013/04/presentacic3b3n-7.pdf>
- American Institute of Steel Construction. (2005). *Steel Construction Manual*. Chicago.
- Aro, A. (08 de 02 de 2011). *Diseño y cálculo de tanques de almacenamiento (Inglesa)*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/48421091/Diseno-y-calculo-de-tanques-de-almacenamiento-Inglesa>
- Banco Central del Ecuador. (02 de Marzo de 2016). *Indicadores Económicos* . Obtenido de <http://www.bce.fin.ec/index.php/indicadores-economicos>
- Beam Calculator. (01 de Enero de 2014). *The free bending moment and shear force*. Obtenido de Bending moment diagram: <http://bendingmomentdiagram.com/free-calculator/>
- Blodgett, O. W. (1963). *Design of Weldments*. Cleveland, Ohio: Quebecor World.
- Brockenbrough, R. L., & Merritt, F. S. (1999). *STRUCTURAL STEEL DESIGNER'S DESIGNER'S*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Budynas, R. G., & Keith Nisbett, J. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México: Mc Graw-Hill.
- Budynas, R., & Nisbett, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2009). *Termodinámica*. México D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES. S.A. DE C.V.
- Chacaguasay , E., & Picho, C. (10 de 2015). Autoría Propia. Quito, Pichincha.

Dirección Nacional de Mejora Continua y Normativa. (2015). Resolución No. 011-2015 del Pleno del Comex. *Resolución No. 011-2015 Comité del Comercio Exterior*, (pág. 84). Quito.

Donald Q., K. (1999). *Procesos de Transferencia de Calor*. México DF: Continental S.A.

EHEDG. (2014). *European Hygienic Engineering and Design Group*. Obtenido de Criterios de Diseño Higiénico de Equipos: [www.ehedg.org/uploads/DOC\\_08\\_SP\\_2004.pdf](http://www.ehedg.org/uploads/DOC_08_SP_2004.pdf)

Erazo Soria, P., & Vizuet Benitez, R. J. (2011). *Tesis ingeniería mecánica: Diseño y construcción de una mezcladora industrial para la elaboración de vino de frutas con capacidad de 2000 litros*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Erazo, S. A. (2012). Tesis Ingeniero Químico. *Diseño y Construcción de una marmita automatizada para la elaboración de queso*. Riobamba, Ecuador.

Euromix. (13 de Febrero de 2015). *Conceptos básicos de agitación* . Obtenido de [http://euromix.com.mx/pdf/files/conceptos\\_basicos.pdf](http://euromix.com.mx/pdf/files/conceptos_basicos.pdf)

Flow Control and Handling S.A. (21 de Enero de 2015). *Agitadores Mecánicos*. Obtenido de [http://indostra.com/docs/Catalogo\\_Flow\\_Control\\_Agitadores\\_Industriales.pdf](http://indostra.com/docs/Catalogo_Flow_Control_Agitadores_Industriales.pdf)

Ibujés, J. (08 de Noviembre de 2015). Criterios de evaluación financiera. Quito, Pichincha, Ecuador.

IHMSA. (2008). *IHMSA.net*. Obtenido de <http://www.ihmsa.net/ads/index.php?a=5&b=520>

INCO Aceros Inoxidables. (2016). *INCO Aceros Inoxidables- Propiedades*. Obtenido de <http://inco.com.uy/institucional/propiedades/>

Incropera, F. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. México: PRENTICEHALL.

Ingenierías, F. d. (2013). Propiedades térmicas de algunos materiales de construcción. *Tablas térmicas*. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.

JHG Ingeniería. (01 de 06 de 2007). <http://w3.jhg.cl/>. Obtenido de <http://www.jhg.cl/Documentos/Diplomado/Clase%207%20aislacion.pdf>

- Kahan, S. (2002). *Facultad de Ingeniería Universidad de la Republica de Uruguay*. Obtenido de Transferencia de Calor: <http://www.fing.edu.uy/~skahan/tranferenciacalor.pdf>
- Linkindustrial. (01 de Enero de 2011). *Linkindustrial Mixing Technology*. Obtenido de [https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos\\_y\\_documentos/7932/agitadores\\_2.pdf](https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/7932/agitadores_2.pdf)
- McCormac, J. C., & Csernak, S. (2012). *Structural Steel Design*. Whashintog: British Library Cataloguing-in-Publication Data.
- Mrclab. (12 de Enero de 2012). <http://www.mrclab.com/Category.aspx>. Obtenido de <http://mrc.magicnet.co.il/data/images/viscos-liq-table.png>
- Ramírez Campos, M. A. (13 de Mayo de 2008). *Colección de tesis digitales UDLAP*. Obtenido de Desarrollo de un aderezo elaborado con base en aceite de aguacate y estudio de sus propiedades fisicoquímicas y reológicas: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lia/ramirez\\_c\\_ma/capitulo7.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lia/ramirez_c_ma/capitulo7.pdf)
- Rivas, P. (01 de Octubre de 2013). *Instalaciones y eficiencia energética*. Obtenido de Aislante térmicos: <http://www.construction21.org/espana/community/pg/pages/view/6013/>
- Robert L., M. (1996). *Mécanica de fluidos aplicada*. México: Prentice Hall Hispanoamericano S.A.
- Shah, M. (Octubre de 2012). *Process Engineering: Agitation & Mixing*. *Department of Chemical Engineering Faculty of Technology Dharmsinh Desai University*, 164.
- SolidWorks. (2014). Software.
- Suministros Técnicos S.A. (01 de Enero de 2015). *Acero Inoxidable AISI 304*. Obtenido de <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%20304.pdf>
- The International Nickel Company, INC. (31 de Enero de 2011). *Types 304 and 304L Stainless Steelsfor Low Temperature Service*. Obtenido de [Nickelinstitute.org](http://Nickelinstitute.org):

[https://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/Types304and304LStainlessSteelsforLowTemperatureService\\_328\\_.pdf](https://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/Types304and304LStainlessSteelsforLowTemperatureService_328_.pdf)

TLV. (2015). *Compañía Especialista de Vapor*. Obtenido de <http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/heating-with-steam.html>

UNAD . (2010). *Universidad Nacional y a Distancia*. Obtenido de [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301219/exe\\_calor/calor\\_3\\_2010/leccin\\_38\\_marmitas.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301219/exe_calor/calor_3_2010/leccin_38_marmitas.html)

Universidad Central del Ecuador. (2015). *Simulación de Procesos*. Obtenido de <https://simulacionprocesos.wikispaces.com/Agitadores>

Yunus A., C. (2011). *Transferencia de Calor y Masa*. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.