



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TEMPLADORA DE CHOCOLATE”

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

LÓPEZ LARA DIEGO XAVIER
diego.lopez01@epn.edu.ec

OÑA GUALLASAMÍN CÉSAR DANIEL
cesar.ona@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. WILLAN LEOPOLDO MONAR MONAR, MSC.
william.monar@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. MARIO GERMÁN GRANJA RAMÍREZ, MSC.
mario.granja@epn.edu.ec

Quito, noviembre 2021

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Diego Xavier López Lara** y **César Daniel Oña Guallasamín**, bajo mi supervisión.



Ing. Monar Willan, MSc.

DIRECTOR DE PROYECTO



Ing. Mario Granja, MSc.

CODIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros, **Diego Xavier López Lara** y **César Daniel Oña Guallasamín**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Diego Xavier López Lara



César Daniel Oña Guallasamín

DEDICATORIA

Se lo dedico a las personas que siempre han creído en mí, quienes me brindaron un apoyo incondicional, y a pesar de las adversidades en diferentes circunstancias de la vida, que logramos superar juntos, en este trabajo está representado de cierta forma el culmen de este transitar.

Diego Xavier López Lara

DEDICATORIA

Dedico este trabajo al que es digno de toda gloria, de todo honor y de toda alabanza, aquel que fue, es y será por siempre el Rey de Reyes y Señor de Señores, Jesucristo mi amado Señor y Salvador.

También dedico este trabajo para toda mi familia, iglesia, discípulos y todos mis hermanos en Cristo en todo el mundo.

Marcos 12: 30-21. NTV

“Ama al SEÑOR tu Dios con todo tu corazón, con toda tu alma, con toda tu mente y con todas tus fuerzas. El segundo es igualmente importante: Ama a tu prójimo como a ti mismo”

César Daniel Oña Guallasamín

AGRADECIMIENTO

A mi padre Jorge por su apoyo incondicional, demostrando fielmente con su ejemplo de vida que se puede lograr cualquier meta que uno se plantee, a mi madre Clemencia quien me ha criado con todo su amor y me ha enseñado a llevar una vida con alegría, a mí hermano Jorge que siempre ha sido una guía permanente que me ha ayudado a desarrollar habilidades propias que me han servido como base para el desarrollo personal, a mi tía Piedad por su apoyo y aliento para seguir adelante.

A toda mi familia con quienes he podido contar permanentemente, así mismo a mis amigos y amigas quienes han hecho que el camino transitado hasta ahora sea mucho más agradable.

Diego Xavier López Lara

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por estar en cada paso que he dado, su fuerza, su amor y su Santo Espíritu me acompañaron durante todo momento, no hay palabras para expresar todo lo bueno que ha sido El Señor Jesús conmigo.

También agradezco a mi familia, a mi padre por su esfuerzo diario y ejemplo de superación, a mi madre por su consejo y apoyo, a mi hermana por su cariño, a mis abuelitos que siempre estuvieron conmigo desde pequeño y hasta ahora.

No puede faltar el agradecimiento que tengo por mi familia en Dios: gracias a toda Comunidad de Fe, mis amados pastores por su ejemplo de fe, amor y perseverancia, mi líder, mis consiervos, discípulos y amigos, cada uno ha sembrado cosas grandiosas en mi vida.

Jeremías 29: 11. NTV

“Pues yo sé los planes que tengo para ustedes—dice el SEÑOR—. Son planes para lo bueno y no para lo malo, para darles un futuro y una esperanza.”

César Daniel Oña Guallasamín

CONTENIDO

RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN.....	17
Objetivo general.....	19
Objetivos específicos.....	19
1. MARCO TEÓRICO.....	20
1.1. Chocolate y sus propiedades físicas.....	20
1.2. Tipos de chocolate.....	22
1.3. Ingredientes.....	23
1.4. Operaciones para la elaboración del chocolate	25
1.5. Procesos de templado	27
1.6. Defectos del proceso de templado.....	29
1.7. Estudio de mercado de máquinas templadoras existentes.	30
1.8. Fundamentos teóricos utilizados en el diseño.....	38
1.9. Funciones de la máquina templadora de chocolate.	40
1.9.1. Partes de la máquina templadora de chocolate	42
1.9.2. Mecanismos de funcionamiento.....	45
2. METODOLOGÍA.....	47
2.1. Determinación de las especificaciones técnicas	47
2.1.1. Aplicación de la casa de la calidad	48
2.1.2. Diagrama de la Casa de la Calidad	51
2.1.3. Especificaciones técnicas.....	52
2.2. Análisis funcional.....	53
2.2.1. Estructura de la máquina y almacenamiento del chocolate.....	56
2.2.2. Sistema de agitado y homogeneizado de la temperatura del chocolate.	64
2.2.3. Sistema de calentamiento, enfriamiento y templado.	70
2.2.4. Sistema de control de temperatura.	78
2.3. Diseño de materialización de los módulos de la máquina.	86
2.4. Documentación de fabricación.....	115
2.4.1. Construcción y montaje	115
2.4.2. Costos	117
2.4.3. Protocolo de pruebas y calibración de la máquina.....	119
2.4.4. Análisis de resultados.....	121
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	124
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	126
4.1. Conclusiones.....	126

4.2. Recomendaciones	127
Referencias Bibliográficas	129
Anexos	133
Plano de conjunto	
Planos de taller	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Distribución de ingredientes sólidos del chocolate.	21
Figura 1.2. Viscosidad vs temperatura de la manteca de cacao.	22
Figura 1.3. Formas cristalinas de la manteca de cacao.	26
Figura 1.4. Diagrama de operaciones unitarias para la elaboración de chocolate.....	27
Figura 1.5. Diagrama de temperatura-tiempo para el templado del chocolate.....	28
Figura 1.6. Templado óptimo del chocolate.	28
Figura 1.7. Infratemplado del chocolate.	29
Figura 1.8. Sobretemplado del chocolate.....	29
Figura 1.9 Gráficos de las micrografías que muestran los cambios de apariencia en superficie para chocolate negro preparado, y almacenado a 25 °C durante (a) recién enfriado (0 h), (b) 24 h, (c) 48 h, (d) 72 h y (e) 96 h.	30
Figura 1.10. Templadora JU-MM15.	31
Figura 1.11. Templadora AMC SuperNova 50 CTS.	31
Figura 1.12. Templadora RM-CJ15.....	32
Figura 1.13. Diagrama de Kreuter del procedimiento de intervalos de cristalización...	33
Figura 1.14. Templadora tipo Aasted.....	34
Figura 1.15. Templadora tipo Sollich Solltemper MST-V.....	35
Figura 1.16. Templadora tipo Carle and Montanarier.....	36
Figura 1.17. Templadora tipo Baker Perkins 105 TU.....	37
Figura 1.18. Recipiente de almacenamiento.	40
Figura 1.19. (a) Templado manual a baño maría. (b) Templadora automática THERMINATOR II / III.....	41
Figura 1.20. (a) Mezclador de Palas. (b) Mezclador de Disco.	41
Figura 1.21. Agitador de paletas.	42
Figura 1.22. Recipiente de acero inoxidable.	42
Figura 1.23. (a) Termistor. (b) Sensores RTD.....	43
Figura 1.24. Relación entre mV y temperatura de los tipos de termopares.	44
Figura 1.25. (a) Intercambiador tubular. (b) Intercambiador de placas. (c) Intercambiador de carcasa y tubos. (d) Intercambiador de tubo espiral.	45
Figura 1.26. Resistencia eléctrica.	46
Figura 1.27. Motor reductor.....	46
Figura 2.1. Casa de la calidad.	51
Figura 2.2. Diagrama funcional nivel 0.....	54
Figura 2.3. Diagrama funcional nivel 1.....	54
Figura 2.4. Diagrama funcional nivel 2 y estructura modular.....	55
Figura 2.5. Estructura vertical de una columna.	57
Figura 2.6. Estructura tipo hiperboloide.....	58

Figura 2.7. Estructura tipo malla.	59
Figura 2.8. Recipiente cilíndrico.	60
Figura 2.9. Recipiente tipo copa.	60
Figura 2.10. Recipiente tipo bandeja.	61
Figura 2.11. Solución final módulo 1.	62
Figura 2.12. Arreglo motorreductor.	65
Figura 2.13. Agitador de paleta y hélice.	66
Figura 2.14. Agitador de disco.	66
Figura 2.15. Agitador de pala tipo ancla.	67
Figura 2.16. Solución final módulo 2.	68
Figura 2.17. Calentador eléctrico con enfriador de convección forzada.	71
Figura 2.18. Intercambiador de tubos y coraza.	72
Figura 2.19. Bomba centrífuga.	72
Figura 2.20. Bomba de lóbulos.	73
Figura 2.21. Presión de suministro.	74
Figura 2.22. Raspador de chocolate.	75
Figura 2.23. Presión de suministro.	76
Figura 2.24. Sensor de temperatura tipo termopar.	78
Figura 2.25. Sensor de temperatura RTD.	79
Figura 2.26. Sensor de temperatura NTC.	80
Figura 2.27. PLC Logo std,6ED1 052-1MD00-0BA5 10 E/S.	81
Figura 2.28. Arduino UNO Rev.3 (CH340).	81
Figura 2.29. Controlador de temperatura COEL TLK 49.	82
Figura 2.30. Arduino UNO Rev.3 (CH340).	83
Figura 2.31. Solución final.	86
Figura 2.32. Dimensionamiento de la bandeja.	87
Figura 2.33. Coeficiente de arrastre de un disco.	89
Figura 2.34. Diagrama de cuerpo libre del eje en voladizo apoyado en B.	91
Figura 2.35. Diagrama cortante del eje.	92
Figura 2.36. Diagrama de momento en el eje.	92
Figura 2.37. Diagrama de torque en el eje.	92
Figura 2.38. Esquema de los pernos en el disco.	95
Figura 2.39. Fuerzas en los pernos.	96
Figura 2.40. Ángulo formado por las fuerzas en los pernos.	97
Figura 2.41. Inercia en un eje paralelo al centro de gravedad.	101
Figura 2.42. Transferencia de calor en la bandeja.	103
Figura 2.43. Diagrama de resistencias térmicas del proceso.	106

Figura 2.44. Tanque de agua.....	107
Figura 2.45. Diagrama de temperatura-tiempo deseado.....	110
Figura 2.46. Diagrama de cargas sobre la estructura.....	111
Figura 2.47. Diagrama reacciones de la estructura.....	113
Figura 2.48. Circuito de control de temperatura.....	114
Figura 2.49. Conexiones del circuito de control de temperatura.....	114
Figura 2.50. Corte de tubos cuadrados.....	115
Figura 2.51. Corte de placas soporte.....	115
Figura 2.52. Estructura finalizada.....	116
Figura 2.53. Alineación del eje motor-reductor.....	116
Figura 2.54. Estado inicial del chocolate.....	121
Figura 2.55. Proceso de templado del chocolate.....	122
Figura 2.56. Moldeo del chocolate.....	122
Figura 2.57. Chocolate después de 6 horas.....	124
Figura 2.58. Chocolate después de 24 horas.....	124
Figura 2.59. Chocolate después de 48 horas.....	125
Figura 2.60. Diagrama temperatura-tiempo resultado.....	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Principales Triglicéridos (TAG) de la manteca de cacao.	24
Tabla 1.2. Temperaturas de cristalización para los diferentes tipos de chocolate.	27
Tabla 1.3. Comparación de las características técnicas de las templadoras del mercado.....	32
Tabla 2.1. Especificaciones técnicas.	52
Tabla 2.2. Matriz morfológica: estructura de la máquina y almacenamiento del chocolate.	62
Tabla 2.3. Evaluación de cada criterio del módulo 1.	63
Tabla 2.4. Evaluación de cada solución debido a peso.....	63
Tabla 2.5. Evaluación de cada solución debido a resistencia mecánica.....	63
Tabla 2.6. Evaluación de cada solución debido a costo.	64
Tabla 2.7. Evaluación de cada solución debido a transportabilidad.	64
Tabla 2.8. Evaluación de cada solución debido a baja vibración.....	64
Tabla 2.9. Solución para el módulo 1.....	64
Tabla 2.10. Matriz morfológica: Sistema de agitado y homogeneizado del chocolate. 68	
Tabla 2.11. Evaluación de cada criterio del módulo 2.	69
Tabla 2.12. Evaluación de cada solución debido a eficiencia.....	69
Tabla 2.13. Evaluación de cada solución debido a costo.	69
Tabla 2.14. Evaluación de cada solución debido a mecanismo simple.	69
Tabla 2.15. Evaluación de cada solución debido a tamaño.....	70
Tabla 2.16. Evaluación de cada solución debido a fiabilidad.....	70
Tabla 2.17. Solución para el módulo 2.....	70
Tabla 2.18. Matriz morfológica: sistema de calentamiento, enfriamiento y templado. .	76
Tabla 2.19. Evaluación de cada criterio del módulo 3.	77
Tabla 2.20. Evaluación de cada solución debido a eficiencia.....	77
Tabla 2.21. Evaluación de cada solución debido a costo.	77
Tabla 2.22. Evaluación de cada solución debido a mantenimiento.	77
Tabla 2.23. Evaluación de cada solución debido a consumo energético.....	77
Tabla 2.24. Evaluación de cada solución debido a nivel de ruido.....	78
Tabla 2.25. Solución para el módulo 3.....	78
Tabla 2.26. Matriz morfológica: sistema de control de temperatura.	84
Tabla 2.27. Evaluación de cada criterio del módulo 4.	84
Tabla 2.28. Evaluación de cada solución debido a precisión.	85
Tabla 2.29. Evaluación de cada solución debido a costo.	85
Tabla 2.30. Evaluación de cada solución debido a velocidad de procesamiento.....	85
Tabla 2.31. Evaluación de cada solución debido a confiabilidad.....	85
Tabla 2.32. Evaluación de cada solución debido a tolerancia.	85

Tabla 2.33. Solución para el módulo 4.....	85
Tabla 2.34. Especificaciones del Motor-reductor.....	91
Tabla 2.35. Cargas y momentos presentes en el eje.	93
Tabla 2.36. Detalles de las dimensiones de los pernos M12.....	98
Tabla 2.37. Cargas de la máquina.	110
Tabla 2.38. Cargas globales máximas de la estructura.....	112
Tabla 2.39. Materia prima.	117
Tabla 2.40. Materiales normalizados.	117
Tabla 2.41. Uso de máquinas-mano de obra.	118
Tabla 2.42. Servicio de soldadura TIG y montaje del soporte del motor.....	118
Tabla 2.43. Costo total.....	118
Tabla 2.44. Protocolo de pruebas.	120
Tabla 2.45. Resultados del protocolo de pruebas.	123

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivos, diseñar y construir una máquina templadora de chocolate, siendo el costo/beneficio un factor predominante en el desarrollo, así como la eficiencia y capacidad de producción.

Esto va a generar un cambio en la forma de producción del chocolate, ya que este tipo de maquinaria es de difícil adquisición debido entre otros factores a su capacidad y costo de importación, logrando con el desarrollo de este trabajo abastecer a las empresas locales de chocolate permitiendo el desarrollo de este producto en el mercado actual del Ecuador.

Se empleó la metodología del diseño concurrente, tomando en cuenta las funciones principales que debe cumplir la máquina dentro de una estructura modular, definidos los componentes se construye, seguido de un protocolo de pruebas que validaron el diseño.

El templado del chocolate utilizando la máquina construida, permitió mejorar y asegurar la calidad del producto en comparación de los chocolates templados artesanalmente, de esta forma el nivel de producción del templado de chocolate aumentó satisfactoriamente en un 80%, debido a un nivel de control más preciso en las temperaturas y tiempos del proceso, para las PYMES considerando un nivel de producción de 10 Kg/h.

Palabras clave: Chocolate, sistema, costo, producción, temperatura, templadora.

ABSTRACT

This project has for the main object design and constructs a chocolate tempering machine, the benefit/cost is the factor more predominant but also the efficiency and production capacity.

These machines have a high cost abroad. For this reason, the acquisition is difficult for artisanal companies. Our chocolate tempering machine is going to generate a change in the internal production in the country. We're going to promote development at the small and medium companies with a low cost and easy acquisition for the chocolate tempering. As a result, the market internal and external in Ecuador will increase in the soon years.

Concurrent Desing used to was as the principal methodology, it's identified the main functions machine for developing a modular structure for defining the components and finally to do its construction with test protocols that ensure the machine design.

The first tests showed that tempered chocolate with the machine improved the quality in taste and appearance compared with the artesanal way. The automatic control increased production by 80% consequence of the precise measurement of temperature and time process. The benefit that offers the chocolate tempering machine is improving the development of the PYMES taking into consideration a capacity production of 10 Kg/h.

Keywords: Chocolate, system, cost, production, temperature, tempering machine.

INTRODUCCIÓN

Ecuador es reconocido mundialmente como un país productor y exportador de las mejores variedades de cacao en grano (Alulema y Granda, 2012), esta materia prima requiere de procesos para transformar el cacao en chocolate (Rosero,2016). Una de las operaciones más importantes dentro de la elaboración del chocolate es el templado porque produce las mejores propiedades organolépticas y una alta calidad en el producto final (Yi Chang,2017). El templado consiste en el calentamiento y enfriamiento del chocolate, sin embargo, no es un proceso ambiguo ya que debe ser realizado en un rango de temperaturas que garanticen la formación de estructuras deseadas en el chocolate (Jácome,2015).

Generalmente el templado se realiza en cuatro etapas que son: fusión, enfriamiento, cristalización y recristalización, definidas por su temperatura (Afoakwa,2010). El principal objetivo del templado es producir en el chocolate el mejor brillo, textura y sabor (Martínez, 2006).

En el mercado internacional existe bastante desarrollo tecnológico de máquinas templadoras, donde el principio de funcionamiento principal es trasferir calor desde una fuente externa hacia el chocolate, siempre procurando que el calor transferido se realice uniformemente en toda la masa de chocolate (Windhab, 2017), la complejidad de las templadoras varían según las necesidades que se requieran, sin embargo la mayoría cuentan diferentes componentes como: recipiente de masa del chocolate, fuente de calor externa, mezclador y un sistema de control automático (Pardo,2013), sin embargo las empresas terminan eligiendo la mejor alternativa en base a: capacidad, productividad, consumo energético, dimensiones, peso y costo que tiene la máquina templadora (Woodhead Publishing, 2009).

La industria chocolatera en el país tiene poco desarrollo en el procesamiento de este producto, pues se lo hace de manera manual y artesanal (Windhab,2017), razón por la cual se concibe la idea del diseño de una máquina templadora que tenga un control de la temperatura en el tiempo de calentamiento y enfriamiento del chocolate, ya que el templado forma una parte vital en el proceso de elaboración del chocolate (Vilgis,2015).

En el presente trabajo se plantea el diseño y construcción de una máquina templadora de chocolate de 8 kg/h, con esto se busca mejorar la competitividad de las PYMES productoras de chocolate al desarrollar innovación y tecnología propia, logrando ventajas competitivas sostenibles (Carvache, Gutiérrez y Frías, 2018). Países en desarrollo como Ecuador enfrentan problemas de competitividad productiva por la falta de desarrollo tecnológico y barreras financieras, y solamente empresas grandes que cuentan con los recursos necesarios logran enfrentar estos problemas (Zanello, Fu, Mohnen, & Ventresca, 2016), al desarrollar tecnología de una máquina templadora a un bajo costo en el país se puede beneficiar a las PYMES, logrando competitividad y reduciendo las barreras tecnológicas y financieras de equipos importados costosos (Gaviria, 2015).

Objetivo general

Diseñar y Construir una máquina templadora de chocolate.

Objetivos específicos

- Recopilar información sobre equipos para el templado del chocolate.
- Establecer las especificaciones técnicas para el equipo de templado de chocolate, así como su estructura funcional y modular.
- Dimensionar y seleccionar los elementos del equipo de templado del chocolate.
- Construir los elementos constituyentes de la máquina.
- Ensamblar y calibrar el funcionamiento de la máquina de templado de chocolate.

1. MARCO TEÓRICO

En el primer capítulo se va a estudiar al chocolate desde su inicio que son las materias primas y sus componentes que conforman los diferentes tipos de chocolate, así mismo los procesos que conforman la elaboración del chocolate finalizando con el templado ya que es el proceso en que se enfoca el desarrollo de este trabajo.

Para obtener un templado óptimo es necesario entender las propiedades físicas del chocolate, tales como: densidad, viscosidad, calor específico. Así también como las diferentes temperaturas según el tipo de chocolate que permiten obtener un chocolate con brillo, textura y dureza.

1.1. Chocolate y sus propiedades físicas

El chocolate es el resultado de la transformación física de varios elementos que conforman una mezcla homogénea de varios ingredientes que se encuentran en estado sólido, se conforma básicamente de: licor de cacao, lecitina, manteca de cacao y azúcar. Estos ingredientes se distribuyen en una fase continua conformada por las grasas de la manteca del cacao, tal como se indica en la figura 1.1 (Seyfried & Granvogl, 2019).

El chocolate posee una característica polimórfica como resultado de las proporciones de los ingredientes que lo componen, formando variedades como: chocolate negro, blanco y con leche (Bayés, Cuevas y Calvet, 2018). Cada variedad tiene propiedades únicas, pero de forma general se tiene una temperatura de fusión promedio en el rango de 27-32°C, motivo por el cual se funde con gran facilidad al entrar en contacto con el paladar humano sin generar grumos con una textura cremosa y sabor agradable (Valenzuela B, 2007).

El olor del chocolate puede ser: frutal, floral, maderal, cítrico, etc; esto depende de las plantaciones circundantes con la del cacao, ya que este absorbe los aromas obteniendo un sabor característico, se conoce que el Ecuador posee un cacao de altura conocido como de fino de aroma o cacao arriba (Solórzano et al, 2015).

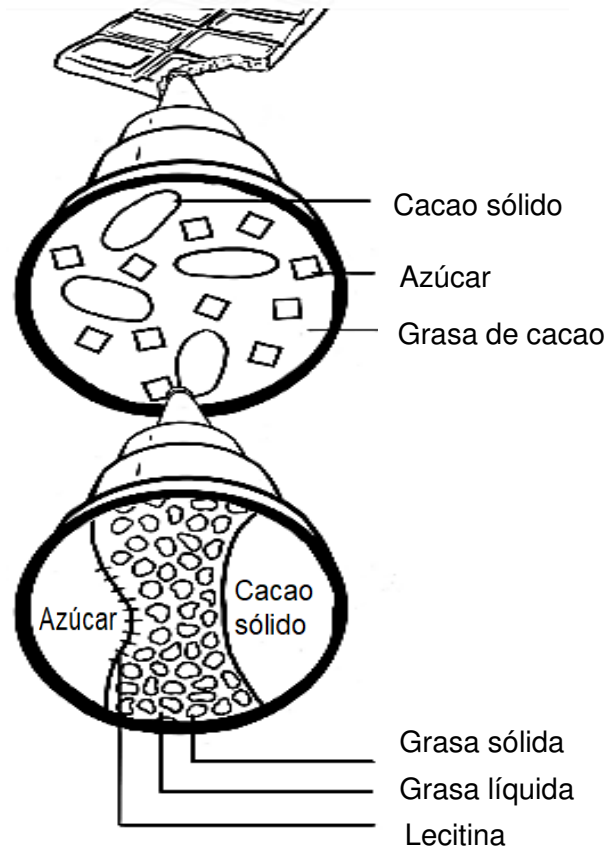


Figura 1.1. Distribución de ingredientes sólidos del chocolate.
(Fuente: Investigación y ciencia, 2015)

La densidad es una propiedad que permite identificar las diferentes sustancias y se define como: una unidad de masa ocupando una unidad de volumen dado (Cengel & Boles, 2012). El chocolate posee una densidad de 1300kg/m^3 , con una variación de $\pm 4\text{kg/m}^3$ (Pardo, 2013), en su estado líquido o fundido representa una mezcla de sacarosa y cacao líquido en grasa, lo que provoca que posea un comportamiento de un fluido no newtoniano (no se comporta siguiendo la ley de Newton de viscosidad) (Achilleos y Friligkos, 2016), y la relación entre tensión y velocidad de deformación no es proporcional a ciertas temperaturas y presiones (Cengel & Cimbala, 2006). Para los fabricantes de chocolate es un aspecto importante durante varias etapas del procesamiento del chocolate (Achilleos y Friligkos, 2016), la figura 1.2 muestra el comportamiento de la viscosidad del chocolate a diferentes temperaturas, observándose una menor viscosidad a mayores temperaturas en comparación a temperaturas bajas cercanas a la ambiental.

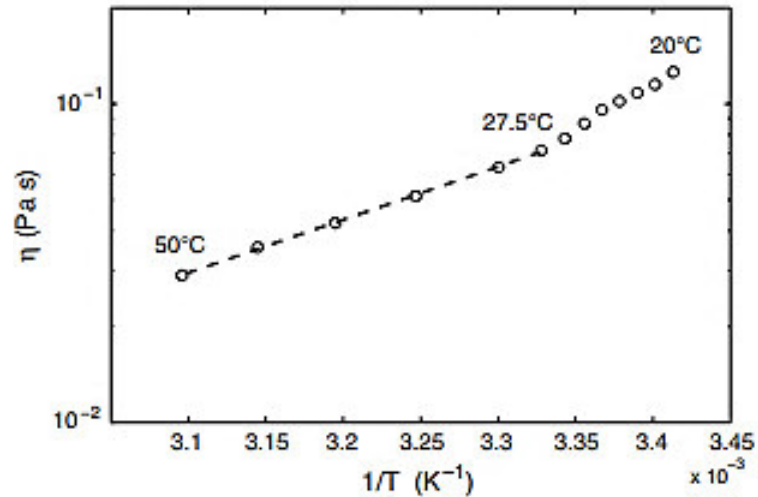


Figura 1.2. Viscosidad vs temperatura de la manteca de cacao.
(Fuente: Padar, Jeelani y Windhab,2008)

La capacidad calorífica es una propiedad extensiva de la materia y es el resultado de la cantidad de calor que se suministra a un sistema debido al cambio de temperatura que experimenta, se expresa por $C = J/°C$. Por otro lado, el calor específico es una propiedad intensiva de la materia definido como la cantidad de energía que se necesita suministrar a una unidad de masa de un sistema para elevar en $1°C$ o K su temperatura, según Cengel & Boles se expresa como:

$$c = \frac{C}{m} \quad ; \quad \frac{BTU}{lb.°F} \text{ o } , \quad \frac{J}{Kg. K} \quad \text{Ec. 1.1}$$

Además, según Peña Ramos & Parra Sosa 2007 el calor específico del chocolate posee un valor medio de $C_{p\text{chocolate}} = 0,56 \text{ kcal}/m^3°C$.

1.2. Tipos de chocolate

Se mencionaron anteriormente las principales variedades de chocolate: amargo, blanco y con leche. El chocolate amargo también conocido como chocolate negro, se caracteriza por contener cacao puro alrededor de 34% en su composición, la calidad del chocolate se ve beneficiada al incrementar la cantidad de cacao que contiene por lo que este no debe tener menos de un 60%. Posee poco contenido de azúcar y solamente se usa para mejorar el sabor. La lecitina que contiene es mínima y los chocolates que poseen 98% de cacao sin azúcar son difíciles de conseguir y están dentro de los más costosos (Pardo,2013).

El chocolate blanco posee una intensidad similar al chocolate negro, se caracteriza por contener bajas proporciones de cacao sólido. Este tipo de chocolate se compone principalmente de: leche, azúcar, manteca de cacao y edulcorantes. Ciertos fabricantes reemplazan la manteca de cacao con aceites vegetales y edulcorantes sintéticos (Pardo,2013).

La mayoría de chocolates con leche poseen un 20% de cacao, pero se han logrado encontrar variedades que contienen 50% de cacao. Debido a su fabricación que se requiere de la combinación de cacao con leche, muchos expertos no consideran que sea un chocolate propiamente. En algunos casos los fabricantes reemplazan la manteca de cacao con grasas vegetales y edulcorantes artificiales (Pardo,2013).

1.3. Ingredientes

El chocolate está compuesto principalmente por: licor de cacao, endulzante, manteca de cacao, lecitina y leche en polvo. El licor de cacao también denominado pasta de cacao tiene su origen al procesar la pepa de cacao del cual se deriva los siguientes parámetros: sabor, pH, contenido de grasa (aproximadamente 30%), contenido de agua (18 a 20 pm) y una humedad residual menor al 2% (Pérez, 2006). El color de la pasta de cacao puede variar entre marrón y oscuro-claro, su sabor puede ser: aromático, amargo, frutal, cítrico, etc (Seyfried y Granvogl, 2019).

El endulzante que se utiliza es sacarosa o azúcar, porque al utilizar glucosa y fructosa (monómeros poco usados en la fabricación de chocolates) dificultan el secado, afectando así la viscosidad del chocolate debido al aumento de interacciones entre estos azúcares (Jácome, 2006). El azúcar debe ser pulverizada hasta tener el mismo nivel de refinamiento de las partículas de cacao que forman la pasta, teniendo en cuenta que no se tenga un sabor metalizado debido a la operación de refinamiento (Pérez, 2006), así mismo, se puede endulzar con edulcorantes naturales como: eritritol, stevia, taumatina, polidextrosa, inulina, los cuales tiene ciertas ventajas tales como: bajo aporte calórico y altos niveles de dulzor, a diferencia de los endulzantes típicos como la sacarosa (Palacio, Hurtado y Arroyave, 2017).

La manteca de cacao es una materia orgánica extraída de los granos de cacao mediante procesos de prensado y adicción de calor, este ingrediente es muy empleado en la elaboración de chocolate, debido a su elevado aporte aromático. Se encuentra formado fundamentalmente por los triglicéridos: ésteres del glicerol y los ácidos grasos: esteárico (S), palmítico (P) y oleico (O) (Rincón y Herrera, 2013). La manteca de cacao tiene una diferente composición química según su procedencia, los triglicéridos son solubles entre sí y determinan las siguientes propiedades: contenido de sólidos, punto de fusión, temperatura de cristalización, y estabilidad (Woodhead Publishing, 2009). En la tabla 1.1 se puede observar cuales son los principales triglicéridos de la manteca de cacao que componen el chocolate de Ecuador.

Tabla 1.1. Principales Triglicéridos (TAG) de la manteca de cacao.

País	Principales Triglicéridos (TAG) de la manteca de cacao								
	POS	SOS	POP	SOO	PLiS	POO	SOA	PLiP	SLiS
Ecuador	36,3	26,9	15,3	4,8	2,8	3,5	2,1	1,9	1,5

(Fuente: Rincón y Herrera, 2013)

La lecitina es un emulsificante que mejora las propiedades reológicas del chocolate, ayuda a desarrollar una baja viscosidad, normalmente se agrega un porcentaje menor al 0.5%. Generalmente se utiliza lecitina de soya o de girasol que brindan al chocolate sabores y olores neutros que retardan el blanqueamiento de la manteca de cacao y además representa un ahorro de manteca de cacao debido al mejoramiento de propiedades reológicas del chocolate (Woodhead Publishing, 2009).

Debido a que el chocolate presenta un comportamiento negativo frente al agua, generalmente contiene un 5% lactosa, 3,5% proteína y 0,7% mineral (Jácome, 2015). La leche en polvo utilizada en la elaboración de chocolate puede ser leche entera o leche descremada y siempre debe estar presente en forma sólida a manera de polvo, ya que posee grasa láctea que genera cambios en las propiedades del chocolate para el templado (Woodhead Publishing, 2009).

1.4. Operaciones para la elaboración del chocolate

Antes de terminar en las manos de los consumidores el chocolate pasa por una serie de operaciones para su elaboración: tostado, descascarillado, refinado, conchado, templado, moldeado y empaquetado. El tostado del cacao es el proceso de someter las pepas de cacao a una temperatura entre 110°C y 140°C, en diferentes tipos de máquinas que transfieren el calor uniformemente hacia las pepas de cacao, este proceso puede tomar diferentes tiempos que van desde los 45 minutos en adelante, estas variables son específicas de cada fabricante (Woodhead Publishing, 2009). El tostado del cacao tiene por objetivo reducir la humedad de las pepas del cacao hasta un 2 %, en el cual se genera un desarrollo aromático debido a la pérdida de ácidos volátiles y otras sustancias que producen acidez y amargura como los aldehídos, esteroides y otros más. Al final de este proceso se produce un aflojamiento de la cáscara del cacao del cotiledón el cual se torna en un color marrón oscuro, produciendo la reducción de microorganismos presentes en las pepas de cacao (Afoakwa, 2010).

El descascarillado es el proceso que elimina la cáscara del cotiledón del cacao, la cáscara no aporta un buen sabor, además que contiene suciedad que puede llegar a contaminar la pasta de cacao, con el uso de ciertas máquinas se realiza un triturado grueso de la pepa del cacao y posteriormente mediante corrientes de viento se desprende la cáscara del cotiledón debido a su diferencia de peso (Woodhead Publishing, 2009).

En el refinado el cacao, azúcar y leche en polvo se encuentran en diferentes tamaños de partículas, los cuales deben ser reducidos hasta un tamaño menor a 20 μm , para esto se suele realizar operaciones de pre-refinado mediante el uso de molinos, que pueden ser: de disco, de bolas y de impacto. Posteriormente se utiliza una máquina refinadora de rodillos para el refinado final, finalmente se eleva la temperatura de esta mezcla para obtener un estado líquido, que se depositará en tanques que se encuentren a una temperatura entre 90°C y 100°C (Afoakwa, 2010).

El proceso para el desarrollo del sabor y textura es el conchado, donde los ácidos residuales y humedad son removidos, además se modifica la viscosidad y color de la masa, en este proceso se agrega la lecitina y manteca. Mediante una transferencia de calor, y un agitador se eliminan sabores astringentes y ácidos del chocolate, la duración de este proceso difiere entre fabricantes (Afoakwa, 2010). Para realizar esta operación se somete a la masa de chocolate a fuerzas cortantes o de cizallamiento, que se generan entre el

agitador y el recipiente, generalmente a una temperatura de 50°C para asegurar el estado líquido del chocolate, que permite recubrir con manteca de cacao las partículas de azúcar y cacao (Woodhead Publishing, 2009).

El templado del chocolate consiste en un proceso de elevación y reducción de temperatura de la masa del chocolate, para desarrollar el crecimiento de las formas cristalinas β'_1 y β_2 en temperaturas específicas que se observan en la figura 1.3, estas estructuras son propias de la manteca del cacao las que garantizan que el chocolate posea dureza, brillo y textura de calidad (Martínez, 2006). Para lograr el crecimiento de los cristales, es necesario llegar al punto de fusión de las grasas propias del cacao en 50°C, posteriormente se reduce la temperatura hasta los 27 °C, y luego se produce la cristalización de las formas inestables del chocolate entre los 29 °C y 31 °C, finalmente se eleva la temperatura a 32 °C, donde se llega al punto de estabilización de los cristales (Vilgis, 2015).

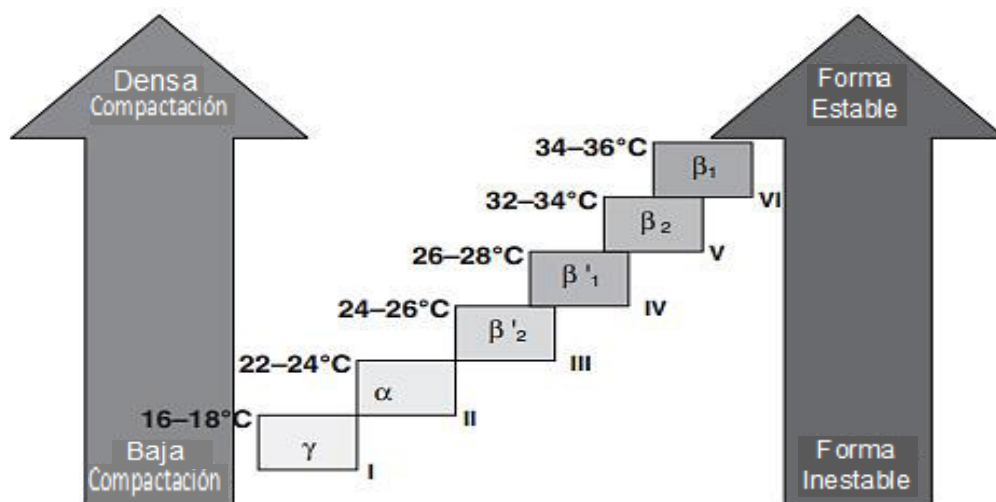


Figura 1.3. Formas cristalinas de la manteca de cacao.
(Fuente:Afoakwa, 2010)

El moldeado y empaquetado es el último proceso para obtener un chocolate, el moldeado consiste en utilizar la masa previamente templada, para ser vertida en moldes o directamente vertido en productos de recubrimientos. Posteriormente a esta operación se debe enfriar el chocolate, para lo que se utiliza túneles de frío o cuartos de refrigeración que solidifican el producto. El chocolate debe ser desprendido del molde, y finalmente ser envuelto en su empaque para su posterior comercialización. De manera esquemática se observa en la figura 1.4 todas las operaciones que se tienen hasta obtener el producto final (chocolate) para su posterior comercialización.

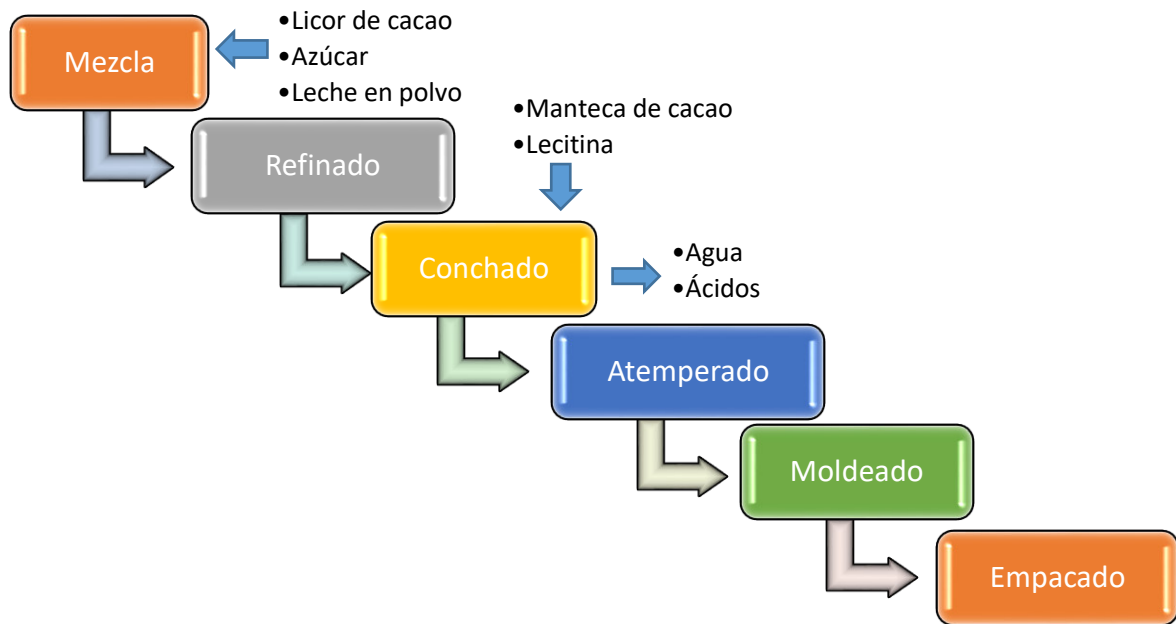


Figura 1.4. Diagrama de operaciones unitarias para la elaboración de chocolate.

1.5. Procesos de templado

Para realizar templado es necesario estudiar las propiedades de la manteca de cacao ya que posee atributos fundamentales para este proceso como: formas de cristalización, temperatura de fusión, y estabilidad (Afoakwa, 2010). Estas propiedades pueden diferir de acuerdo al tipo de chocolate, y a los contenidos de la manteca de cada uno de estos, como consecuencia se observa en la tabla 1.2 que las temperaturas de fusión, cristalización de cada variedad de chocolate son diferentes y únicas.

Tabla 1.2. Temperaturas de cristalización para los diferentes tipos de chocolate.

	Amargo	Con leche	Blanco
Fusión	45-50°C	42°-44°C	38 – 40°C
Cristalización	28°-29°C	26°-27°C	24 – 25°C
Conversión de cristales	31-33°C	28°-30°C	28 – 29°C

(Fuente: Lozada, 2014)

La figura 1.5 muestra un diagrama de temperatura-tiempo en el cual se puede apreciar las diferentes fases que necesita los cristales de la manteca de cacao para tener un sabor

aceptable, de manera análoga a la tabla 1.2 cada variedad de chocolate tendrá su propio diagrama de temperatura vs tiempo para el proceso de templado.

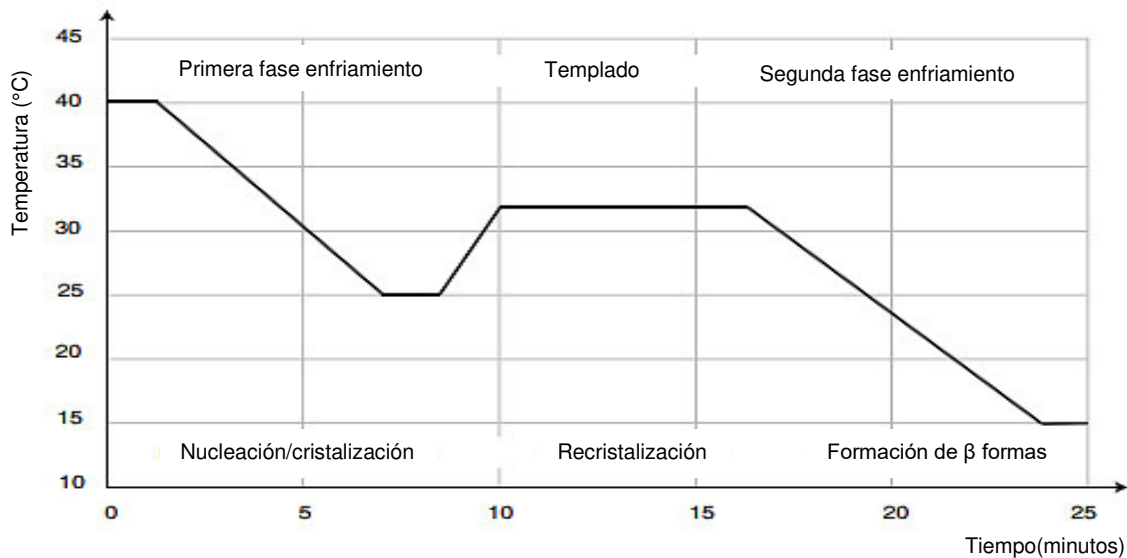


Figura 1.5. Diagrama de temperatura-tiempo para el templado del chocolate.
(Fuente: Vilgis, 2015)

La figura 1.6 muestra el tiempo y temperatura para realizar un correcto templado durante la fase de solidificación, la pendiente debe ser igual a cero para que las estructuras cristalinas formadas se conserven y no exista un incorrecto templado. En las figuras 1.7 y 1.8 se observan que existen pendiente positivas y negativas respectivamente, quiere decir que hay variaciones de incremento y decremento en las temperaturas durante el tiempo de solidificación, lo que conlleva a un incorrecto templado al formarse estructuras no deseadas en el chocolate. Así una pendiente positiva forma un infratemplado, y una pendiente negativa resulta en un sobretemplado.

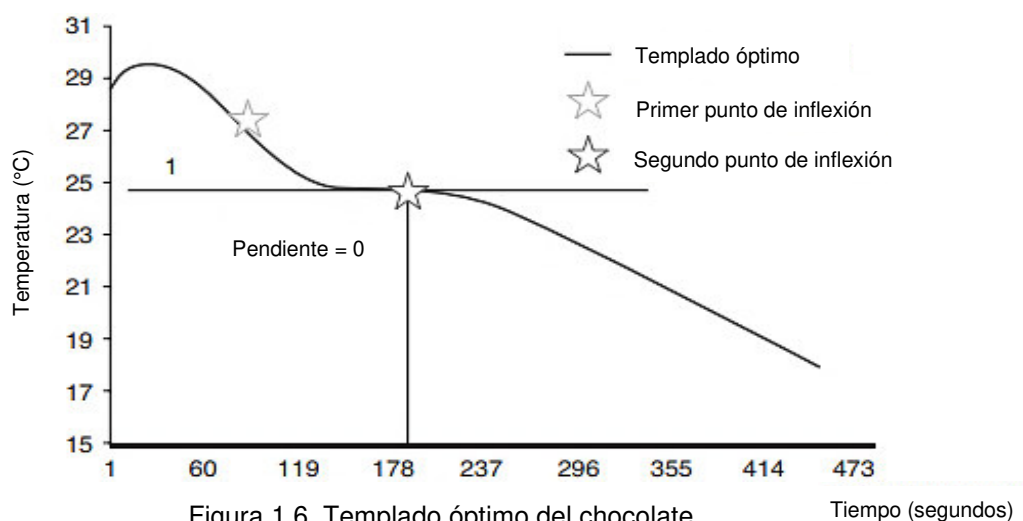


Figura 1.6. Templado óptimo del chocolate.
(Fuente: Afoakwa, 2015)

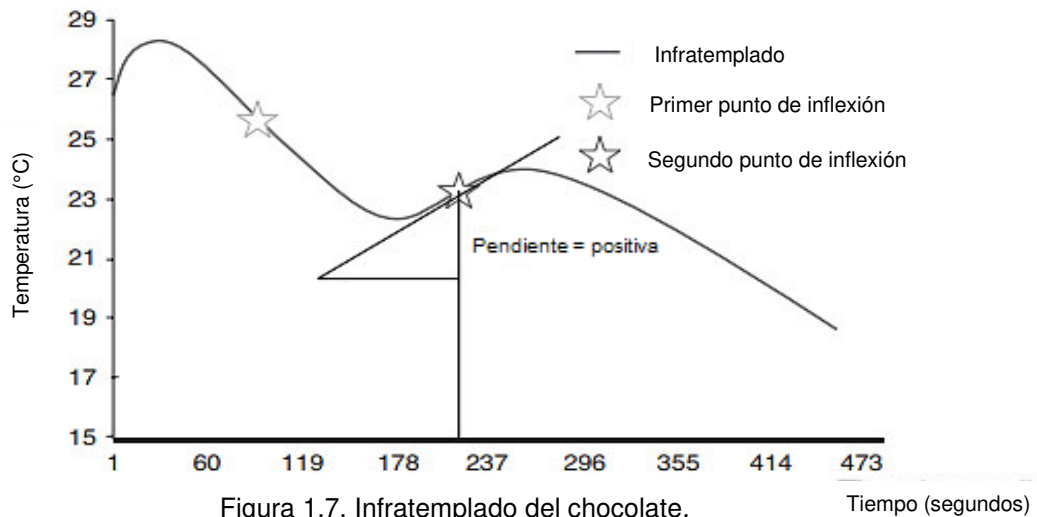


Figura 1.7. Infratemplado del chocolate.
(Fuente: Afoakwa, 2015)

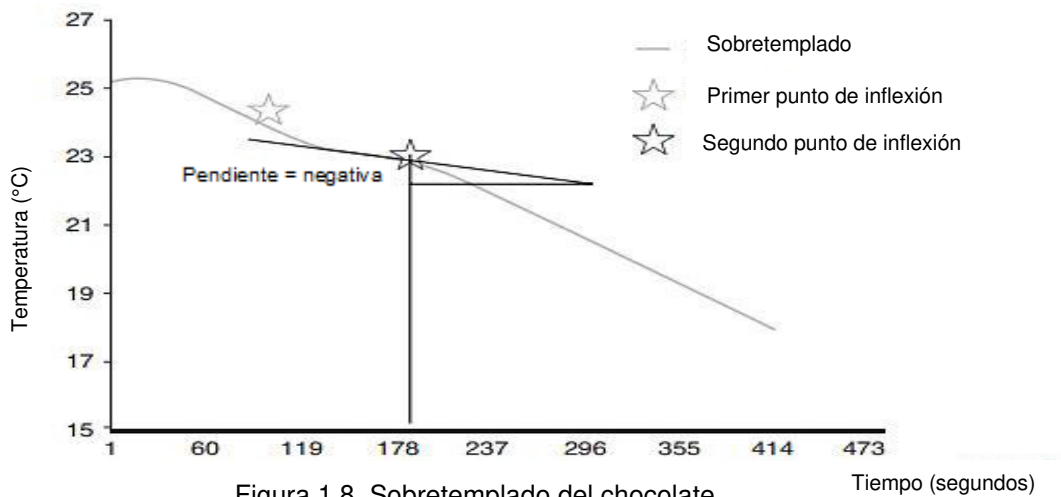


Figura 1.8. Sobretemplado del chocolate.
(Fuente: Afoakwa, 2015)

1.6. Defectos del proceso de templado

Se denomina blanqueo del chocolate a las modificaciones en la estructura cristalina que producen cambios en la apariencia del chocolate, la apariencia del blanqueo se caracteriza por formar irregularidades o marmoladas con una apariencia de color gris-oscuro y blanco como se ve en la figura 1.9. Investigaciones acerca del blanqueo muestran que la materia grasa presente en la zona blanqueada debe representar tan solo una porción pequeña alrededor de 1.5%. El blanqueo se produce por problemas de estabilidad al no obtener la cantidad necesaria de cristales de forma polimórfica V, además se produce por realizar un incorrecto templado por variaciones térmicas durante la distribución y almacenamiento del producto (Rincón y Herrera, 2013).

Los defectos del templado del chocolate aparecen con el pasar del tiempo, ya que hasta que se estabilicen las fases de los componentes tardan hasta 96 horas en aparecer estos defectos. El gráfico 1.9 muestra micrografías que muestran los cambios de apariencia en superficie para chocolate negro preparado, y almacenado a 25 °C durante (a) recién enfriado, (b) pasado 24 horas (c) pasado 48 horas, (d) pasado 72 horas y (e) pasado 96 horas.

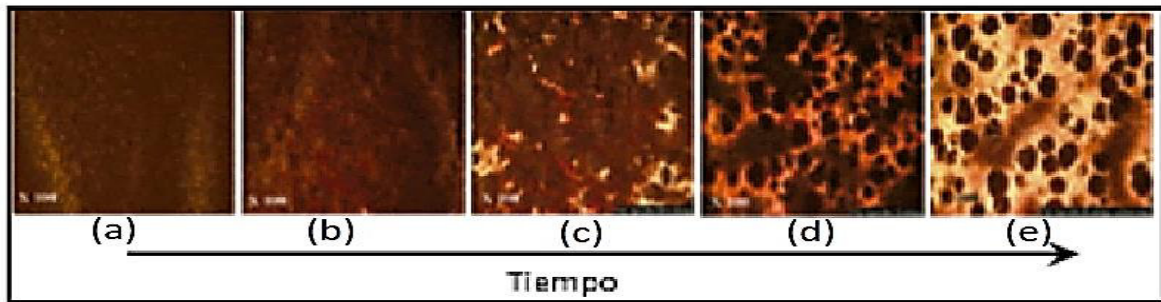


Figura 1.9 Gráficos de las micrografías que muestran los cambios de apariencia en superficie para chocolate negro preparado, y almacenado a 25 °C durante (a) recién enfriado (0 h), (b) 24 h, (c) 48 h, (d) 72 h y (e) 96 h.

(Fuente: Rincón y Herrera, 2013)

1.7. Estudio de mercado de máquinas templadoras existentes.

El benchmarking consiste en estudiar las máquinas existentes en el mercado utilizando un enfoque técnico, aportando con esto diferentes perspectivas del diseño en el cual se aprovechan las ventajas que se tienen de 3 máquinas que van a ser estudiadas, aprovechando así el diseño existente de las máquinas del mercado que se tiene, para formar con esto un diseño robusto propio ahorrando tiempo en investigación de diseño.

La primera templadora a analizar es la JU-MM15 que se observa en la figura 1.10 es ideal para productores pequeños y medianos del chocolate, posee un control de temperatura digital, además posee un módulo para moldear, aprovechando el giro del disco agitador, y posee una plataforma para vibrar los moldes.



Figura 1.10. Templadora JU-MM15.
(Fuente: Juyou CE, 2021)

En la figura 1.11 se observa una templadora AMC SuperNova 50 CTS que cuenta con una capacidad de procesamiento de 50 kg/h, debido a su diseño tipo Aasted posee una bomba de chocolate que recircula este a través de las 3 zonas, permitiendo un proceso rápido y a su vez ocupando un espacio reducido de planta.



Figura 1.11. Templadora AMC SuperNova 50 CTS.
(Fuente: Aasted, 2021)

RM-CJ15 es el modelo que se observa en la figura 1.12, procesa desde 5 hasta 15 kg/h, posee un control de temperatura y de velocidad del agitador independientes, posee una pantalla con botones para establecer la temperatura, 3 perillas: encendido y apagado de la temperatura, encendido y apagado del motor, regulación de velocidad del motor (rpm), y botón de paro en caso de emergencias.



Figura 1.12. Templadora RM-CJ15.
(Fuente: R&M, 2021)

En la tabla 1.3 se comparan las 3 templadoras que se realizaron el benchmarking las que presentan diferentes características y prestaciones.

Tabla 1.3. Comparación de las características técnicas de las templadoras del mercado.

Características	Templadora		
	JU-MM15.	SuperNova 50 CTS.	RM-CJ15.
Peso [Kg]	40	40	28
Energía [Watt]	800	800	800
Capacidad [Kg]	15	15	5-10
Material	Acero inox. 304	Acero inox. 304	Acero inox. 304
Voltaje [V]	220	220	220
Dimensión [mm]	560x600x590	1040x600x1200	440x510x480
Agitador	velocidad variable	velocidad constante	velocidad variable
Precio [\$]	2740.8	7539.8	2476.69

1.7.1. Tipos de máquinas existentes

Hosokawa Kreuter es una de las máquinas que más permanencia ha tenido que cualquier otro tipo de máquina templadora, que utiliza una bomba que recircula el chocolate, usando agua como fluido de trabajo para el calentamiento y enfriamiento del chocolate (Beckett, 2009). Se observa en la figura 1.13 el diagrama de temperatura durante todo el proceso de templado tanto para el chocolate como para el agua (fluido que aporta calor al chocolate).

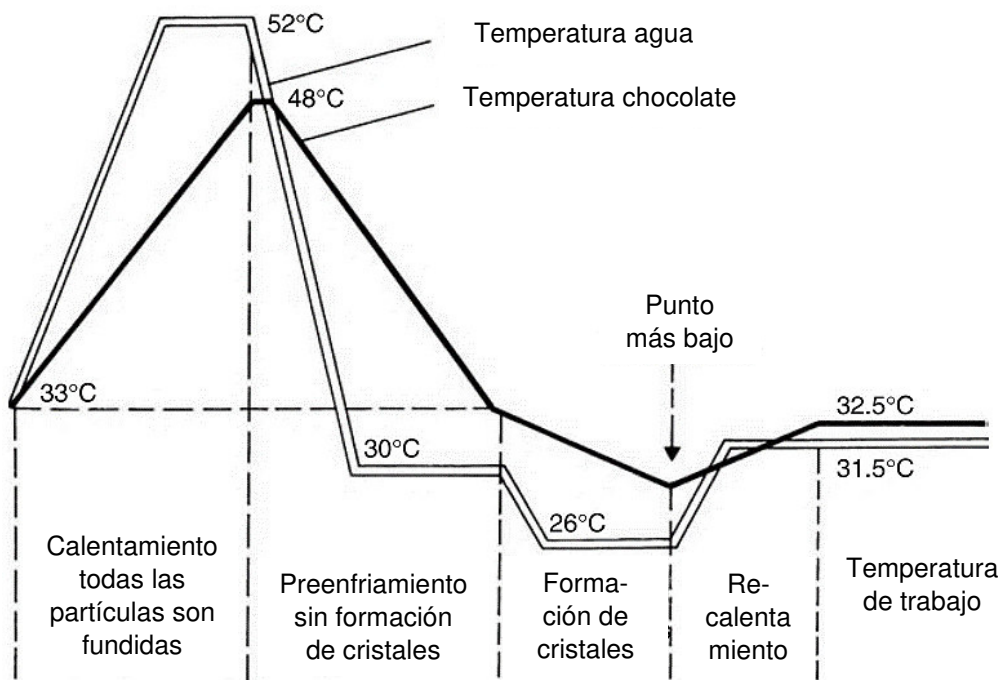


Figura 1.13. Diagrama de Kreuter del procedimiento de intervalos de cristalización.
(Fuente: Beckett, 2009)

Las ventajas que presenta esta máquina son: templado óptimo en cortos periodos de tiempo, facilidad de remoción debido a la baja viscosidad presente al final del proceso, se puede establecer el templado para todos los tipos de chocolate, tiene una alta eficiencia energética debido a su diseño en donde el agua pasa circundante por las paredes por donde fluye el chocolate, además cuenta con un diseño que permite al chocolate ser reprocesado inmediatamente acortando los tiempos de producción (Beckett, 2009). Dentro de las desventajas de esta máquina que presenta principalmente se encuentran: un sistema de control de temperatura inexacto debido a que sus límites no son pequeños, para altos volúmenes de producción se necesitan de otro tipo de máquinas ya que no poseen tanques de alta capacidad (Beckett, 2009).

Aasted es un tipo de máquina vertical se observa en la figura 1.14 que posee intercambiadores de calor continuos de platos, que provee una eficiencia en el enfriado y en el mezclado del chocolate, debido a que se crea una zona de retención entre cada uno de estos, donde el tiempo entre zonas es controlado. Es una de las templadoras más usadas en plantas de moldeo y confiterías de bañado de chocolate debido a su tamaño respecto a otras templadoras. En este tipo de máquina el chocolate es bombeado al pasar por los primeros intercambiadores de calor tipo plato, donde es enfriado, luego debe pasar a ser calentado generando presiones, que pueden generar accidentes si no se controlan con válvulas de alivio (Beckett, 2009).

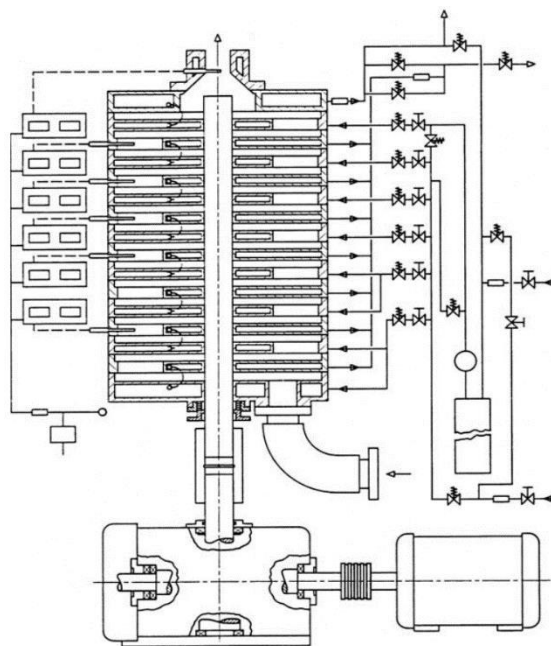


Figura 1.14. Templadora tipo Aasted.
(Fuente: Beckett, 2009)

La compañía Sollich diseñó una templadora con el mismo nombre, la templadora Sollich Solltemper MST-V como se indica en la figura 1.15, posee un intercambiador de calor de tipo placas en el que permanece 5 minutos el chocolate favoreciendo su crecimiento cristalino, para lograr el homogeneizado de la temperatura se usan raspadores especiales, además para transferir el calor efectivamente, la templadora se divide en tres zonas de enfriamiento donde es necesario el uso de agua a 16°C, finalmente pasa por una zona que recalienta el chocolate. (Beckett, 2009).

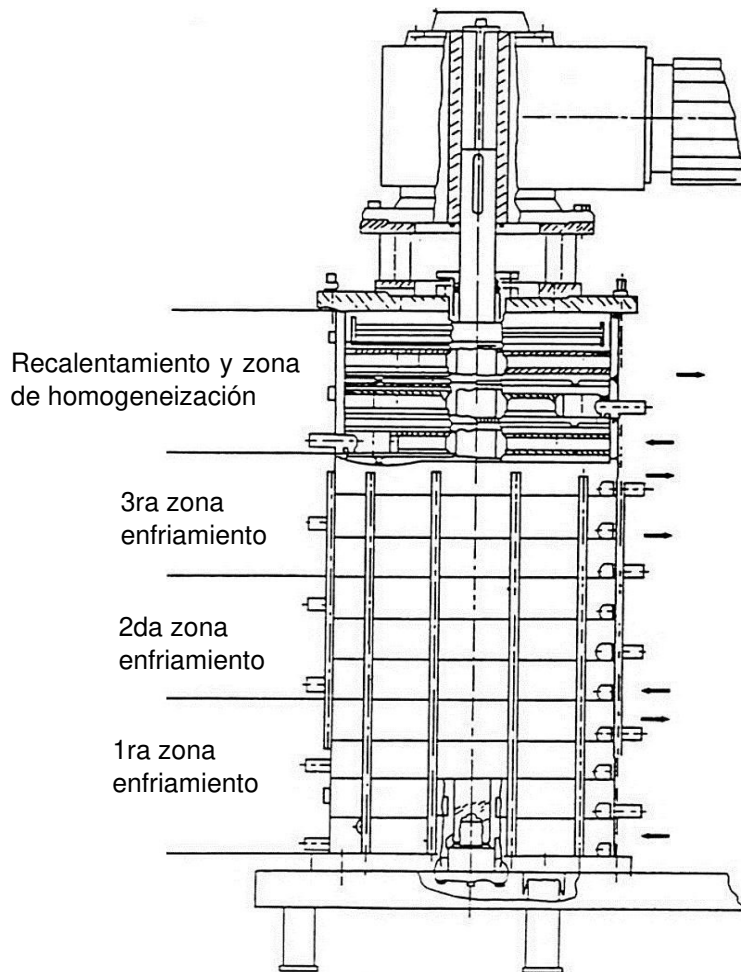


Figura 1.15. Templadora tipo Sollich Solltemper MST-V.
(Fuente: Beckett, 2009)

En la figura 1.16 se observa una templadora Carle and Montari, esta máquina cuenta con un diseño que permite a una compuerta abrirse como una concha de almeja, esto con la intención de facilitar su limpieza, también siguiendo los principios relacionados del templado con fuerzas de cizallamiento que permitan realizar un proceso más eficiente. Esta máquina se caracteriza por poseer dos partes circulares que tienen una superficie corrugada, formando una serie de cámaras redondas concéntricas. Esta disposición de dos cuerpos crea un espacio que permiten el paso del producto, en donde uno de los cuerpos gira (rotor), mientras que el otro es fijo (estator). Cada uno de estos cuerpos poseen paredes huecas que permite la circulación del refrigerante y otros fluidos que permiten obtener una temperatura controlada. Así cada cuerpo representa el 50% de la superficie total de intercambio de calor.

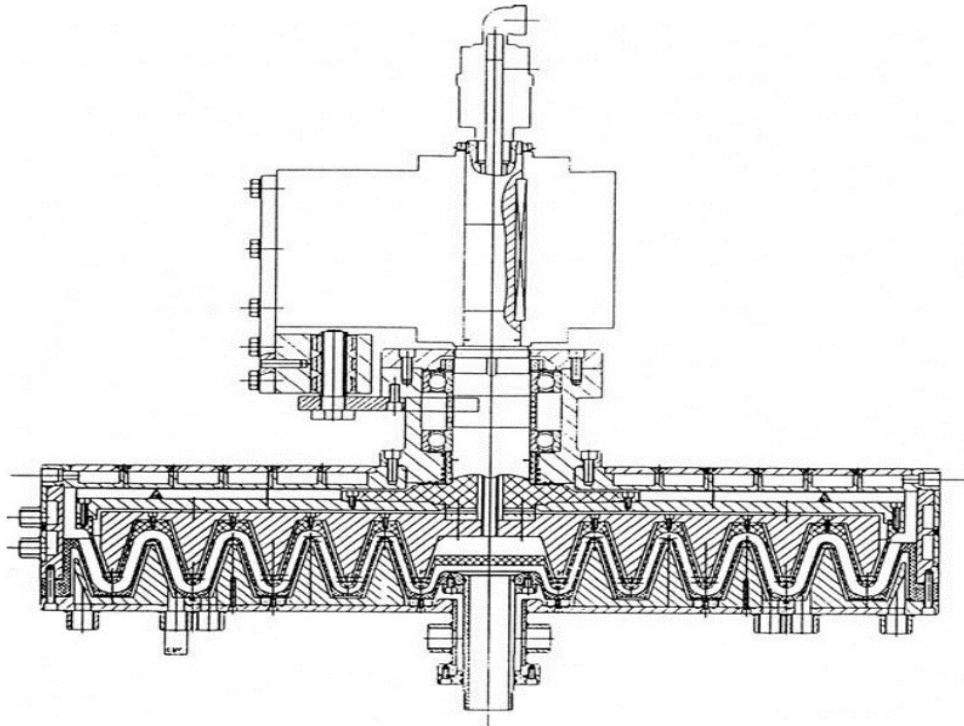


Figura 1.16. Templadora tipo Carle and Montanarier.
(Fuente: Beckett, 2009)

Las principales ventajas de esta máquina son: poseer una alta transferencia de calor debido a las grandes superficies que ocupan un espacio relativamente pequeño, permite realizar una operación continua ya que al pasar el producto por los canales que tienen dimensiones constantes permite un control de temperatura de todos los puntos, facilita la revisión del interior de la máquina desacoplando el estator, se puede variar la velocidad relativa del rotor y el estator según la distancia desde el centro.

El chocolate debido a las fuerzas centrífugas, fluye desde el centro del sistema hacia la periferia, realizando el enfriamiento en las primeras áreas cercanas al centro, generando presiones bajas en estas zonas, además debido a su diseño posee una baja sensibilidad al aumento de viscosidad del producto. El producto fluye desde el centro del sistema hacia la periferia, de modo que a medida que aumenta el área de enfriamiento con la distancia desde el centro, también lo hace el volumen disponible para contener el chocolate (Beckett, 2009).

La templadora APV Baker desarrollada por Baker Perkins a mediados de 1960, tenía un problema en el tiempo de retención del producto para siembra de cristales, desarrollando así un tanque con un tiempo de retención variable entre 15 y 60 minutos, tiempo suficiente para un óptimo templado, presentando dentro de este tanque varios agitadores que permite un homogeneizado de la temperatura eficiente, tal como se indica en la figura 1.17, además las ventajas que se tienen en este modelo son: alta presión de salida del chocolate, seguridad en la puesta en marcha, alta velocidad de enfriamiento debido a la presencia de flujo turbulento del agua en las placas de enfriamiento. Presenta una mejora de la dureza final del chocolate debido a la zona de transición de mezcla y maduración por la residencia temporizada del producto. Posee un control de la temperatura del chocolate por zonas, que mediante instrumentos electrónicos de autoajuste permiten operar válvulas moduladoras de agua helada, manteniendo la temperatura del agua a 0,1 ° C. Se tiene un ahorro de grasa (manteca de cacao) debido a la temperatura más alta del chocolate durante el proceso (Beckett, 2009).

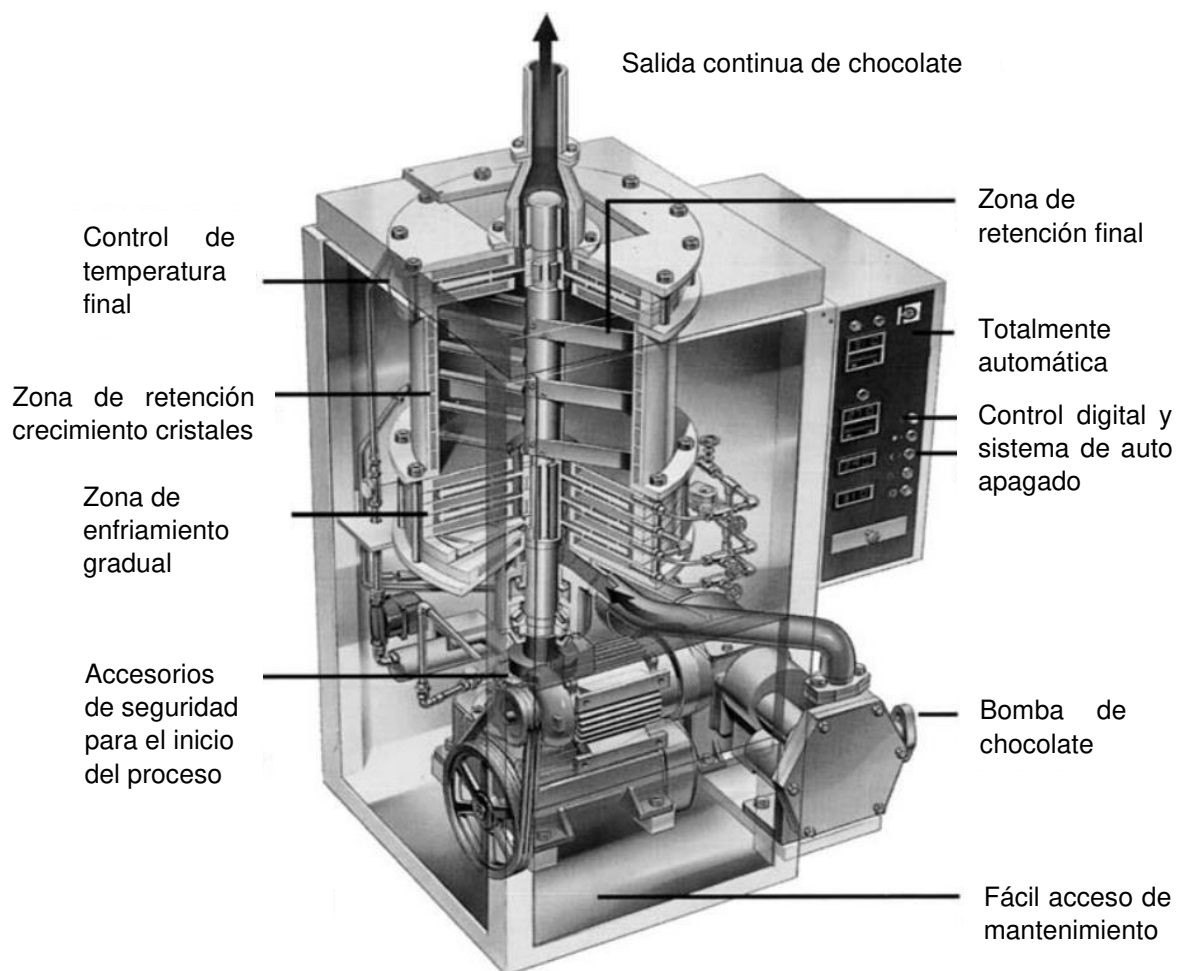


Figura 1.17. Templadora tipo Baker Perkins 105 TU.
(Fuente: Beckett, 2009)

1.8. Fundamentos teóricos utilizados en el diseño.

El diseño que se sigue corresponde al diseño concurrente de Riba, en donde se tiene que empezar definiendo o conceptualizando el producto que es la máquina templadora de chocolate, en el cual se va a procesar un producto alimenticio, por lo tanto, los materiales que van a estar en contacto con el chocolate deben garantizar la inocuidad, así, los materiales seleccionados para la máquina son: acero inoxidable y grilón.

Siguiendo el diseño concurrente, se debe establecer las especificaciones técnicas las cuales se determinan a partir de las necesidades de las empresas PYMES de chocolate, transformando las mismas en requerimientos técnicos que son medibles utilizando el conocimiento por parte del equipo de diseño. A partir de las especificaciones técnicas, se derivan las funciones que debe ejecutar la máquina partiendo desde un nivel 0 el cual es la función principal de la máquina de templar el chocolate, posteriormente se subdividen las tareas en nivel 1 en el cual se observan las tareas principales de la máquina, y finalmente se establece el nivel 2 en donde se detallan cada una de las subfunciones de la máquina las cuales son simples y en combinación ejecutan la función global.

Cada una de las subfunciones se agrupan y forman módulos en donde al trabajar en su totalidad ejecutan la principal función de la máquina templadora, esto con la finalidad de encontrar la solución más aproximada a las especificaciones técnicas previamente establecidas, permitiendo con esto facilitar el diseño de la máquina.

Para el diseño de materialización de la máquina es necesario dimensionar ejes, para esto se utiliza el criterio de falla a la fatiga para materiales dúctiles (acero), uno de los criterios más utilizados es la energía de distorsión máxima, que se trata de un criterio no conservativo que iguala el estado de esfuerzos principales multiaxial con un estado de esfuerzos uniaxial si la energía de distorsión es igual. El criterio de Goodman (EDM) se va a utilizar para dimensionar el eje siguiendo la ec. (1.1).

$$d = \left(\frac{16 \cdot n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\} \right)^{1/3} \quad \text{Ec. 1.1}$$

Para el diseño del eje existen algunos concentradores de esfuerzos tales como: cambio de sección del eje debido al acople entre el eje del reductor de velocidades y el eje hueco, entalles debido al cambio de sección y del concentrador de esfuerzo perteneciente al

agujero en donde se aloja el prisionero, en el cual se determinó que el concentrador de esfuerzo más crítico fue este último.

La viscosidad es la resistencia a deformarse gradualmente que presenta un fluido al ser cortado o aplicado fuerzas cortantes, este concepto se utiliza para determinar la potencia necesaria del motor y que a su vez es comunicado al disco agitador por medio de un reductor de velocidades. Una vez determinado el valor de la viscosidad del chocolate que varía según la temperatura del fluido se puede determinar el número de Reynolds que es un número adimensional que determina el comportamiento de un fluido sea este laminar, turbulento o en transición.

Para realizar el mezclado de la masa del chocolate es necesario un motor que brinde una fuerza, con su potencia correspondiente y sus mecanismos de transmisión de movimiento. Para seleccionar la potencia del motor necesaria para esta tarea, se debe encontrar los siguientes parámetros: número de Reynolds y potencia.

Número de Reynolds:

$$R_e = \frac{D^2 N \rho_m}{\mu_m} \quad \text{Ec 1.2}$$

En donde:

D: diámetro del agitador (m)

N: velocidad del agitador (rpm)

ρ_m : densidad del fluido (kg/m³)

μ_m : viscosidad del fluido (kg/ms)

El arreglo del motorreductor que se utiliza debido a la ubicación dentro de la máquina y a ahorros de espacio fue el de posición vertical, ya que comparte el espacio con los componentes eléctricos. Estos componentes se dimensionan en base al cálculo de la resistencia eléctrica, ya que, al tener una mayor potencia, se hace necesario la utilización de 220 voltios para optimizar los tiempos de procesamiento, para el control eléctrico se necesita la utilización de: relés, luces LCD, sensores de temperatura, tarjeta de control, botones, cableado estandarizado. Para el control de temperatura se necesita de 3 dispositivos que envíen las señales que corresponden a cada cambio de calentamiento-enfriamiento, esto debido también a un tema de costos, y la capacidad de procesamiento de estos controladores de temperatura.

1.9. Funciones de la máquina templadora de chocolate.

Las funciones necesarias para un templado óptimo del chocolate son: almacenamiento, templado y mezclado. Durante el almacenado es necesario el uso de un recipiente de acero inoxidable por tratarse de un producto alimenticio, este recipiente puede estar abierto a la atmosfera tal como se indica en la figura 1.18, sin embargo, se puede contaminar el chocolate antes de templarlo. Cuando está cerrado a la atmosfera cuenta con una tapa que normalmente es fabricada del mismo material del recipiente o por un polímero plástico que no contamina el producto (Woodhead Publishing, 2009).



Figura 1.18. Recipiente de almacenamiento.
(Fuente: Pardo, 2013)

El templado consiste en calentar el chocolate (amargo, blanco, con leche) hasta una temperatura de fusión y posteriormente enfriarlo, al pasar por los estados solido-liquido-solido dentro de temperaturas controladas según sea el tipo de chocolate (Woodhead Publishing, 2009). En la figura 1.19 (a) se observa un templado convencional o artesanal hecho a baño maría, produciendo el punto de fusión del chocolate por el calentamiento en agua dentro de un recipiente, para posteriormente enfriarlo dentro de un frigorífico sin un control preciso sobre las temperaturas (Woodhead Publishing, 2009). Paralelamente se tiene también un templado automatizado, que se observa en la figura 1.19 (b) una templadora con una capacidad de templado mayor que la artesanal a baño maría, además de tener una precisión en el control de temperaturas y tiempo, la eficiencia a la hora de la transmisión de calor al chocolate es mayor a comparación al método tradicional.

a)



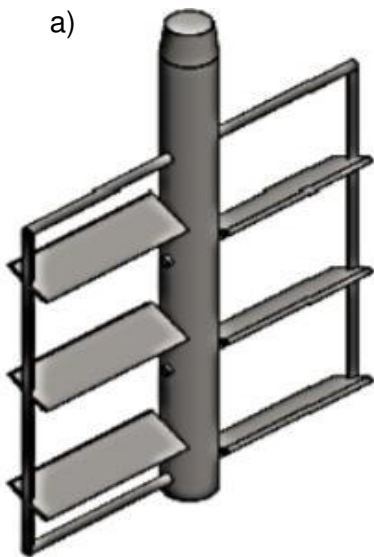
b)



Figura 1.19. (a) Templado manual a baño maría. (b) Templadora automática THERMINATOR II / III.
(Fuente: DELANI, 2021)

Durante el proceso de templado se requiere que toda la masa del chocolate sea homogénea, es decir que los cambios de estado y las estructuras que se forman dentro de la manteca de cacao del chocolate sean las mismas en cada variación de temperatura, con estas consideraciones podemos observar en la figura 1.20 un mezclador que puede ser de: disco, palas, etc; el mezclador asegurará que todo el chocolate tenga las mismas propiedades y características (Pardo, 2013).

a)



b)



Figura 1.20. (a) Mezclador de Palas. (b) Mezclador de Disco.
Fuente: (Prefamac,2021)

1.9.1. Partes de la máquina templadora de chocolate

Las templadoras de chocolate pueden variar en el número de componentes, según sea su diseño y requerimientos de cada empresa o cliente, sin embargo en la mayoría de casos cuentan con elementos principales como: agitador, recipiente, bomba, sensores de temperatura, calentador, enfriador, motor y estructura. El agitador es la parte que homogeneiza la temperatura en toda la masa del chocolate, por lo tanto, debe transmitir un movimiento que facilite la transferencia de calor, este agitador debe ejercer contacto con la masa para facilitar el intercambio de energía calorífica entre las partículas que forman láminas debido al flujo laminar del chocolate. Observamos en la figura 1.21 un agitador de paletas, que permite el mezclado para fluidos no newtonianos, en donde se aumenta la viscosidad del fluido al incrementar su agitación, para esto se requieren fuerzas cortantes que permitan remover del fondo las capas del chocolate (McCabe y Smith, 2003).



Figura 1.21. Agitador de paletas.
(Fuente: Laborbedarf Bochem Lab Supply, 2013)

El recipiente es donde se va a verter o colocar el chocolate para realizar el templado del mismo, para esto se debe definir una forma (geometría), capacidad (dimensiones), material, y características específicas tales como: deflectores, tapa (cubierta), y rugosidad. Se observa en la figura 1.22 un recipiente de acero inoxidable comúnmente usado en el manejo de producto alimenticio además de poseer una rigidez para soportar las cargas del peso cuenta con una alta conductividad térmica que facilita el proceso del templado.



Figura 1.22. Recipiente de acero inoxidable.
(Fuente: Tramontina, 2021)

El uso de deflectores permite generar al fluido una mayor turbulencia, para las operaciones de mezclado, sin embargo, con un eje de agitación desplazado del centro del recipiente, no es necesario la presencia de deflectores (McCabe y Smith, 2003). La tapa del recipiente se usa para evitar una contaminación externa del producto, que puede ser aire o partículas extrañas al chocolate, sin embargo, en ambientes limpios no hace falta su uso. Se debe tener una rugosidad lisa, que permita una fácil circulación del chocolate para facilitar el movimiento de la masa del chocolate en el recipiente, y la rugosidad depende del proceso de manufactura mediante el cual fue fabricado este elemento.

La bomba es el elemento que permite mover o elevar el nivel de un fluido, puede ser usada para diferentes fluidos en este caso puede ser: chocolate u otro fluido de trabajo que facilite la transferencia de calor como el agua. En el diseño de la máquina templadora, se utilizan normalmente bombas eléctricas debido al espacio y a los requerimientos, es así que se suelen usar bombas desplazamiento positivo, desplazamiento negativo y roto dinámicas (Solórzano R, 2016).

Para obtener un templado de calidad es necesario tener un control exacto sobre la temperatura del chocolate, podemos observar en la figura 1.23 termistores y sensores de temperatura (RTD), las termocuplas son los sensores más utilizados en el control de temperaturas en la industria. Los termistores pueden ser de tipo: PTC (al aumentar su temperatura su resistencia eléctrica aumenta), y NTC (al aumentar su temperatura su resistencia eléctrica disminuye). Los termistores a pesar de poseer una alta sensibilidad también tienen un limitado rango de temperaturas que varía de forma no lineal (Tecnomedición, 2010). Los sensores tipo RTD, son exactos, se usan para rangos de temperatura bajos, sin embargo, poseen una baja velocidad ante los cambios de temperatura (Tecnomedición, 2010).



Figura 1.23. (a) Termistor. (b) Sensores RTD.
(Fuente: Sensorde, 2018)

En la figura 1.24 observamos termopares tipo: K, J, T, B, R, E, y S, que frente a cada temperatura brinda una señal distinta de voltaje, cada termopar tiene su propio rango de temperaturas definido por su característica pendiente. Estos sensores además de brindar una rápida respuesta a las variaciones de temperatura, son económicos y existen en amplia variedad según su rango de medición de temperatura (Tecnomedición, 2010).

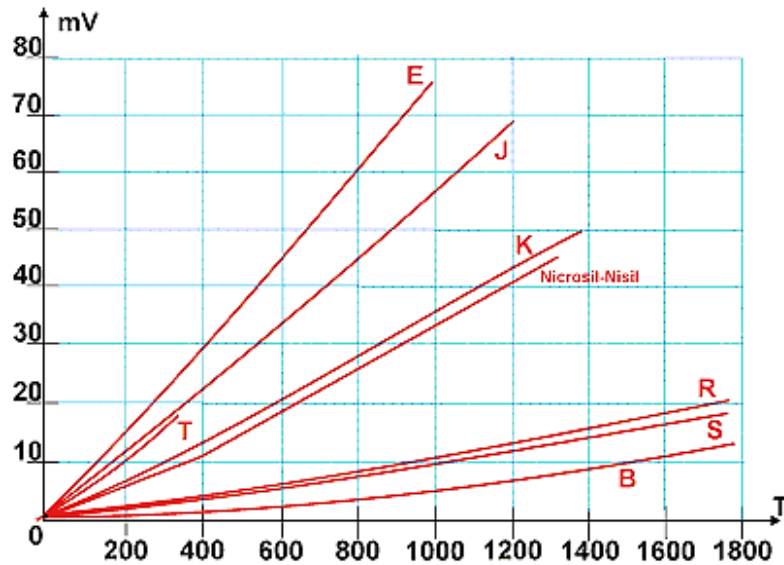


Figura 1.24. Relación entre mV y temperatura de los tipos de termopares.
(Fuente: Sensorde, 2018)

El calentador y enfriador de fluidos, es una parte fundamental de la máquina, ya que permite elevar o descender el nivel energético reflejándose en la variación de la temperatura del fluido, para esto se realiza de manera directa e indirecta. El intercambio de energía de manera directa, significa que el chocolate está en contacto con los mecanismos de generación o extracción de energía térmica, lo que podría generar una contaminación del producto. Por esto se debe realizar la transferencia de calor de manera indirecta, a través de una pared o tuberías, que separen el chocolate del fluido de trabajo (Cengel & Boles, 2012). Para el calentador, existen 2 tipos de calentamiento que puede ser de paso y de acumulación. Se puede utilizar calentadores de GLP o resistencias eléctricas, para dimensionar el calentador se debe considerar la cantidad de energía que debe ser suministrada al chocolate para elevar la temperatura en el proceso de templado del chocolate (Cengel & Boles, 2012). Para el enfriador, se utilizan diversos tipos de mecanismos que pueden ser: refrigeración termoeléctrica (efecto Peltier), disipación de calor (convección), y cambio de fase (ciclo de refrigeración) (Fayerwayer, 2007).

Otro componente fundamental que se requiere es la estructura para que soporte el peso de los componentes, brinde rigidez y absorba todas las vibraciones sin presentar ninguna deformación, que puedan afectar la operación normal de la máquina. La estructura principalmente está sometida a cargas de flexión, debido al peso en el cual se debe considerar todos los elementos de la máquina con un factor de seguridad.

1.9.2. Mecanismos de funcionamiento

El mecanismo de enfriamiento y calentamiento más utilizado en la industria es un intercambiador de calor, existen variedades como observamos en la figura 1.25 tenemos: tubulares, de placas planas, de carcasa y tubos, y de tubo espiral. El principal objetivo es transferir calor de un fluido caliente a un fluido frío de menor temperatura que el anterior, es decir se transfiere energía del sistema más energético al menos energético. La transferencia de calor se produce por conducción (interfaces que contienen los fluidos) y convección (medio ambiente) (Cabanzón, 2018).

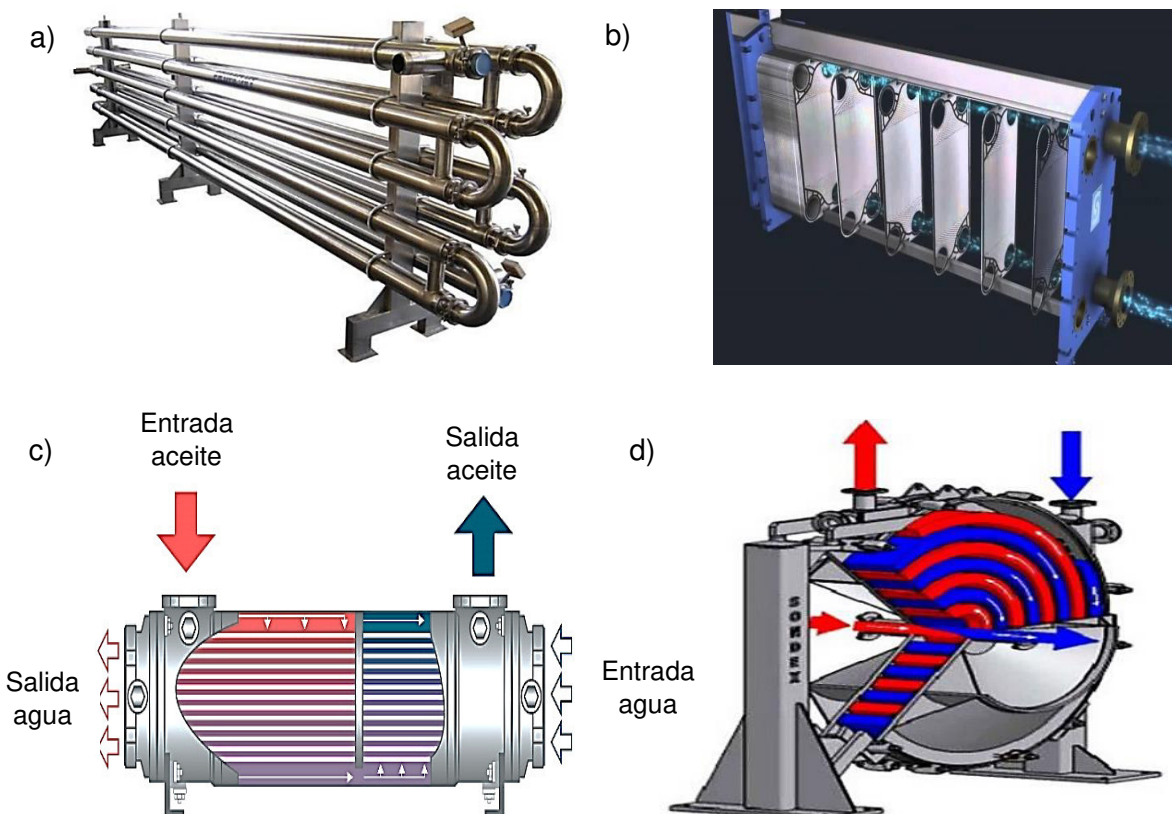


Figura 1.25. (a) Intercambiador tubular. (b) Intercambiador de placas. (c) Intercambiador de carcasa y tubos. (d) Intercambiador de tubo espiral.
(Fuente: Cabanzón, 2018)

Normalmente usado en la mayoría de casas y departamentos, el calentamiento por resistencia eléctrica consiste en pasar corriente eléctrica a través de un espiral o resistor eléctrico como podemos observar en la figura 1.26, el calor que se produce es transferido al ambiente, el cual es aprovechado para calentar un fluido circundante o aledaño con menor energía, al producir este cambio de energía se incrementa la temperatura del otro fluido que puede ser aprovechado para múltiples aplicaciones, esta aplicación se puede ver en las duchas eléctricas.



Figura 1.26. Resistencia eléctrica.
(Fuente: Polimex, 2021)

La figura 1.27 muestra un motor-reductor utilizado principalmente para transmitir grandes potencias entre ejes, su principal aplicación es reducir la velocidad radial (rpm) para aumentar su potencia (torque) en el eje de salida, esto ocurre por las relaciones de transmisión que existen entre los engranajes (rectos, helicoidales, cónicos) que lo componen. Es comúnmente utilizado en industrias que requieren bajas velocidades y altos torques como en el mezclado de ingredientes de alta viscosidad.



Figura 1.27. Motor reductor.
(Fuente: WUMA Reducer, 2021)

2. METODOLOGÍA

En el capítulo 2 se utiliza la metodología planteada en el diseño concurrente de Riba, partiendo desde el diseño conceptual en donde se establecen las especificaciones técnicas a través de la casa de la calidad, previamente a esto es importante conocer el estado de los mecanismos de las máquinas templadoras existentes para conocer el funcionamiento de cada tipo de estas máquinas, y compararlas según sus características técnicas consiguiendo con esto obtener un diseño de la máquina con una relación positiva costo beneficio y que tengan mayores ventajas que las máquinas del mercado.

Posteriormente se realiza un análisis funcional que es el estudio de las funciones que debe cumplir la máquina estudiando los componentes y partes que ejecutan estas operaciones. Para simplificar el diseño se divide las funciones de la máquina en módulos, los cuales al estar interconectados cumplen la tarea principal de la máquina que es templar el chocolate, cada módulo es una parte de la máquina en donde se proponen diferentes formas de realizar la función de cada módulo, logrando con esto tener la mejor solución de diseño de cada módulo implicando con esto un diseño eficiente y eficaz de la totalidad de la máquina.

2.1. Determinación de las especificaciones técnicas

Se propone diseñar una máquina templadora de chocolate para las PYMES con una capacidad de producción promedio de 10 kg/h. Se toman en consideración las templadoras que se comercializan en el mercado internacional, analizando sistemas de funcionamiento, controles en el proceso, sensores, así como otras prestaciones como: costo-beneficio, mantenimiento, repuestos, ergonomía, etc. Todas estas observaciones se consideran para adaptar un diseño robusto y confiable para las necesidades dentro del mercado nacional para las PYMES. Para mayor seguridad respecto al diseño y la construcción de la máquina templadora se han tomado recomendaciones de la empresa chocolates Don Ely que pertenece a las PYMES.

2.1.1. Aplicación de la casa de la calidad

Las especificaciones técnicas de la máquina templadora de chocolate a construir se determinan con la utilización de la herramienta QFD llamada casa de la calidad, en donde se toma en consideración la voz del usuario o cliente, voz del ingeniero o diseñador, con estas consideraciones se obtendrán resultados que permitirán diseñar una máquina que satisfaga todas las necesidades requeridas.

En la voz del usuario se trabajó conjuntamente con la empresa Chocolates Don Ely perteneciente a las PYMES con la finalidad de tener un mayor acercamiento a las necesidades que debe satisfacer la templadora de chocolate. Después de conversaciones con el dueño y empleados de la empresa se toman las características más importantes que debe tener la máquina templadora de chocolate: hacer el proceso más rápido en la producción, debe ser liviana, generar poco ruido, tener un funcionamiento flexible que sea fácil de usar, fácil mantenimiento, bajo costo, ser eficiente, consumir poca energía, debe ser fácil de limpiar, precisa en el templado, tiene que calentar y enfriar. Con este tipo de afirmaciones deseadas por el cliente ahora se espera entregar un producto lo más cercano en la medida posible a estos requerimientos, en esta etapa la herramienta que ayudará a cumplir este propósito es la casa de la calidad. El grupo de diseñadores son responsables de determinar cada demanda como básica, unidireccional y estimulante.

Una vez conocidos los requerimientos puntuales que el usuario desea de la máquina, para el diseño del proceso del templado se tienen los criterios dados por el diseñador o voz del ingeniero, estos serán expresados en términos ingenieriles que satisfagan los requerimientos cliente/ usuario. A cada caso anterior le corresponde una traducción como requerimiento técnico medible, así se tiene los siguientes requerimientos: capacidad de producción, peso, nivel de ruido, sistema de control automático, costo comercial bajo, tiempo de templado corto, eficiencia energética, número de partes desarmables o desmontables, sensores de temperatura, sistemas de transferencia de calor.

Debido a que las empresas chocolateras que pertenecen a las PYMES no poseen el mismo nivel de producción que las grandes empresas, se busca un nivel de competitividad alto alrededor de 10 Kg/h, esta capacidad puede ser mayor si se incrementa el volumen de la máquina.

La construcción de la máquina debe garantizar una fácil movilidad, esto se lo realizará a partir de la utilización de materiales livianos como aceros inoxidable de poco espesor además de la selección de componentes móviles compactos y livianos.

La máquina no debe ser ruidosa, por tanto, un nivel no mayor a 80 dB es aconsejable para cuidar la salud auditiva de los trabajadores de la planta de producción, así mismo con este nivel de ruido se puede detectar fácilmente averías.

Los operadores deben tener la facilidad de ingresar la temperatura a la que desean templar el chocolate, esto debido a la experiencia del operario templando los diferentes tipos de chocolates que existen en el mercado, la temperatura debe tener un seguimiento preciso con sensores de temperatura que posean tolerancias bajas, alrededor de 0,1 °C.

Los accesorios, repuestos y materiales para el mantenimiento de la máquina deben ser de fácil adquisición en el mercado nacional y ser estandarizados, esto conlleva un bajo costo en este aspecto al existir múltiples empresas que facilitan la adquisición de los repuestos por lo que no debe sobrepasar el valor de \$500.

La máquina debe ser de bajo costo de adquirir para las PYMES, debe garantizar el beneficio/costo del mismo, esto se realiza al tener un diseño robusto con una ingeniería fácil de adquirir y al mismo tiempo debe ser rentable en el mercado nacional por lo que se opta por un costo inferior a \$2000.

La máquina debe garantizar que el tiempo de templado sea el menor posible alrededor de 40 minutos, con un calentamiento y enfriamiento rápido en el proceso, sin que exista ningún daño para ningún componente de la máquina y del mismo chocolate templado. El resto de tiempo se debe emplear en el moldeo del chocolate.

La máquina debe ser lo más eficiente posible, consumiendo la energía eléctrica de la red doméstica sin producir pérdidas de calor en ninguno de los elementos, aprovechando toda la energía minimizando las pérdidas.

La máquina debe ser fácilmente transportada de un lugar a otro y garantizar que todos los elementos que tienen contacto con el chocolate se puedan limpiar además que en los mantenimientos planificados los elementos de la máquina sean fácilmente calibrados y encerados.

La máquina debe contar con el máximo nivel de sensores de alta precisión en el templado del chocolate al calentar y enfriar el agua, la misma que transferirá o quitará el calor al templar el chocolate, por lo que las tolerancias de los controladores de temperatura deben ser las más pequeñas posibles ($\leq \pm 0,1^{\circ}\text{C}$).

El funcionamiento debe garantizar que el agua de recirculación solamente se mueva entre dos límites, esto impedirá que los elementos sensibles a la condensación del aire y la evaporización del agua no se dañen. Se ha de considerar que la temperatura máxima y mínima del agua debe ser de 90°C y 20°C respectivamente.

Así se obtiene la casa de la calidad realizada en la figura 2.1, analizando cada atributo principal que pueden ser considerados como de elevada o baja importancia para el cliente o usuario.

2.1.2. Diagrama de la Casa de la Calidad

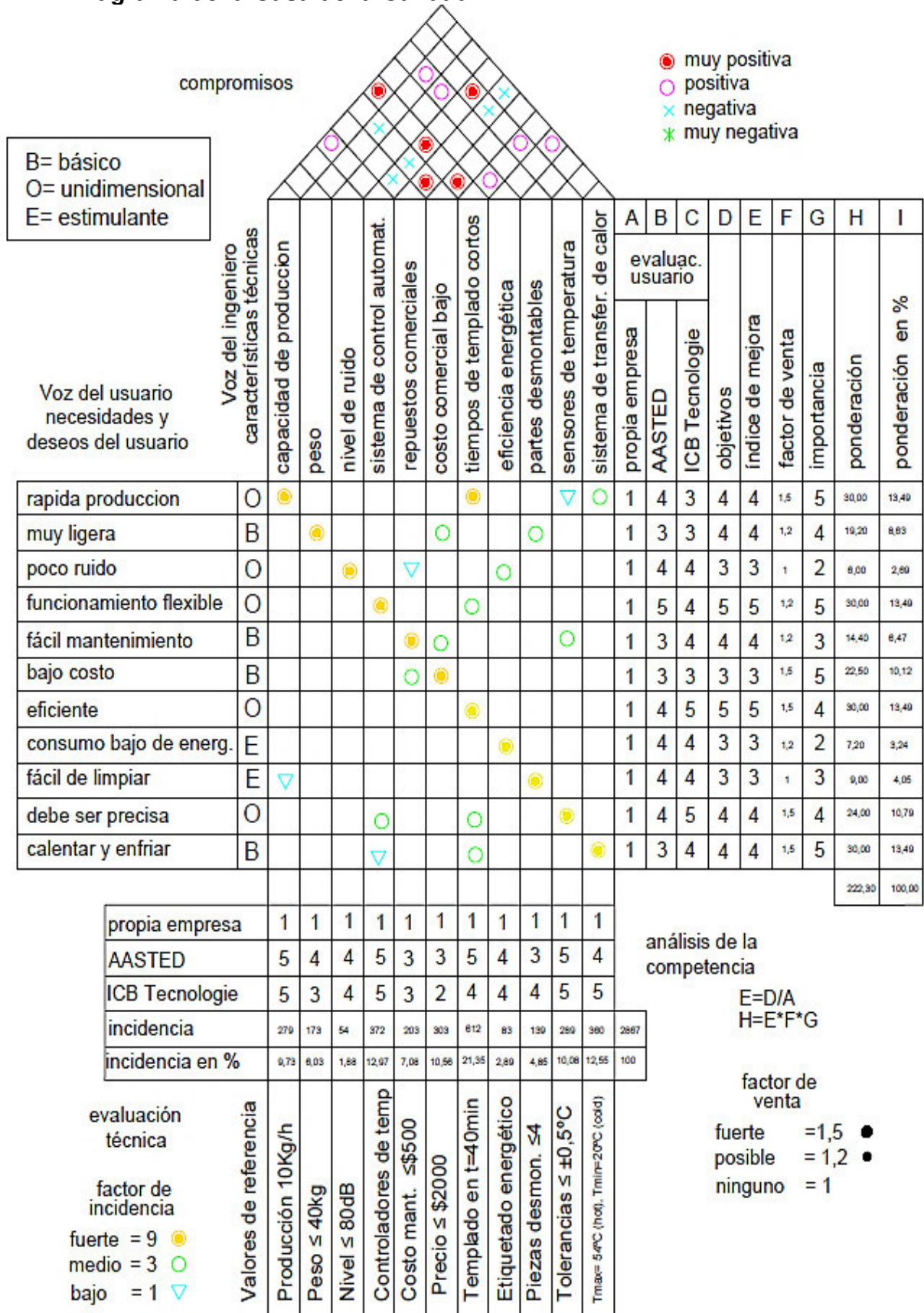


Figura 2.1. Casa de la calidad.

2.1.3. Especificaciones técnicas

Se propone diseñar una máquina templadora de chocolate para las PYMES con una capacidad de producción promedio de 10 kg/h. Con el uso de la Casa de la Calidad se identificaron cada requerimiento del cliente, las especificaciones técnicas que deben observarse y comprobarse dentro del diseño que se ha encomendado al grupo de trabajo.

Tabla 2.1. Especificaciones técnicas.

Empresa Cliente: EPN		Producto: Máquina Templadora de Chocolate	Fecha Inicial: 19/02/2021	
Diseñadores: López Lara Diego Xavier, Oña Guallasamín César Daniel			Última Revisión: 19/02/2021	
Página 1				
Especificaciones				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función		C	R	Máquina templadora de chocolate con una capacidad de procesamiento de 10Kg/h.
Dimensiones		D	D	De no más de 0,6m de largo, 0,6m de ancho, 1,5m de alto.
Movimiento		C	R	Velocidad de las partes móviles rotativas menor a 60 rpm para homogeneización y fluidez del chocolate.
Fuerzas		D	R	Debe superar las fuerzas viscosas del chocolate durante el cambio de estado sólido-líquido. Viscosidad cercana a 2,5 nPa*s.
Materiales		C	R	Aceros comerciales de características comprobables, dureza, resistencia, tenacidad, soldabilidad, maquinabilidades comerciales.
Tiempos		C	R	Tiempo promedio mínimo de templado de 40 minutos.
Automatización		C	R	Controladores de temperatura para accionar electroválvulas, motor y bomba.
Energía		D	R	Eléctrica para un motor, bomba, sistema de enfriamiento-calentamiento y sistema de control automático.
Señales de Control		D	R	Sensores de temperatura de alta precisión para los sistemas de calentamiento y enfriamiento.
Fabricación		C	R	Normativas de construcción con medidas comerciales, roscas, aprietes, ajustes, aplicación de sistemas agujero único y eje único, norma ISO, USAS, normas alimentarias y sanitarias.
Vida útil		C	D	Tiempo de vida media promedio de 10 años con mantenimientos programados en el año calendario, semestral y anual.
Costos		C	R	No mayor a \$2000 (dólares EEUU).
Seguridad		C	R	Operaciones con velocidades y sistemas de calentamiento y enfriamiento dentro de un nivel seguro para el ser humano, con un nivel de ruido menor a 80dB.
Ambiente		C	R	Que no se generen desperdicios en el piso o lugar de trabajo.

C = Cliente

R= Requerimiento

D = Deseo, Diseñador

2.2. Análisis funcional

La máquina templadora, es un tipo de intercambiador de calor que realiza las tareas de calentamiento y enfriamiento del chocolate, homogeneizando la temperatura de la masa del chocolate mediante varios mecanismos que aseguren una agitación de la masa constante en el mismo tiempo. Se debe tener un control estricto de la temperatura mediante un controlador lógico programable, que regule los retrasos en los actuadores que serían las unidades de enfriamiento y calentamiento, siguiendo un diagrama de temperatura-tiempo.

Al desarrollar el análisis funcional de la máquina templadora de chocolate según (Riba, 2002) en su trabajo desarrollado en Ingeniería Concurrente, que implica un método con una retroalimentación de varios aspectos para un diseño robusto. Así se establecen varias herramientas que implican un diseño de máquinas respetando varios enfoques que se tiene desde el enfoque no solamente de la construcción de máquinas, sino otros aspectos importantes como son el mantenimiento, ergonomía, implicaciones medio ambientales, etc. Para realizar el análisis funcional de una máquina se desarrolla una división de la máquina por módulos, en donde se pueden separar los sistemas, mecanismos y partes de la máquina, implicando con esto diferentes funciones que juntas convergen en el funcionamiento de la máquina, logrando en este proceso facilitar soluciones en cuanto al diseño de cada módulo, dando, así como resultado una estructura funcional de la máquina.

Los diagramas funcionales que se indican en las figuras 2.2, 2.3 y 2.4, muestran desde un nivel que va desde 0 hasta el nivel 2, el detalle de las funciones de la máquina que parten desde un nivel primario/principal que tiene por objetivo el templado del chocolate, seguido por las funciones secundarias de la máquina que indican claramente las interrelaciones que se tienen para cumplir con el objetivo principal de la máquina. La función primaria de la figura 2.2 es la razón por la que el cliente adquiere/compra la máquina, es decir obtener un chocolate templado de alta calidad de una forma automatizada donde el chocolate se pueda moldear fácilmente finalizado este proceso, logrando así instantáneamente ejecutar otra operación en la elaboración del chocolate.



Figura 2.2. Diagrama funcional nivel 0.

Las funciones secundarias permiten realizar la función primaria satisfactoriamente, definiendo los diferentes pasos que se debe seguir. En el nivel 1 como se indica en la figura 2.3, se detallan cada una de las entradas y salidas que se tienen en estas funciones. Así se definen las funciones secundarias que consisten en: depositar el chocolate, fundir la masa del chocolate que se va a moldear y templar el chocolate.



Figura 2.3. Diagrama funcional nivel 1.

Para el nivel 2 de detalle, se observa en la figura 2.4 más profundamente la descomposición de las tareas que debe realizar las diferentes partes de la máquina, para esto se debe tener en cuenta las señales eléctricas, energías que en este caso son eléctricas, térmicas y mecánicas. Así mismo las tareas que debe realizar el operario de la máquina que consiste en: verter el chocolate, realizar el inicio de la operación o parada al finalizar el templado del chocolate.

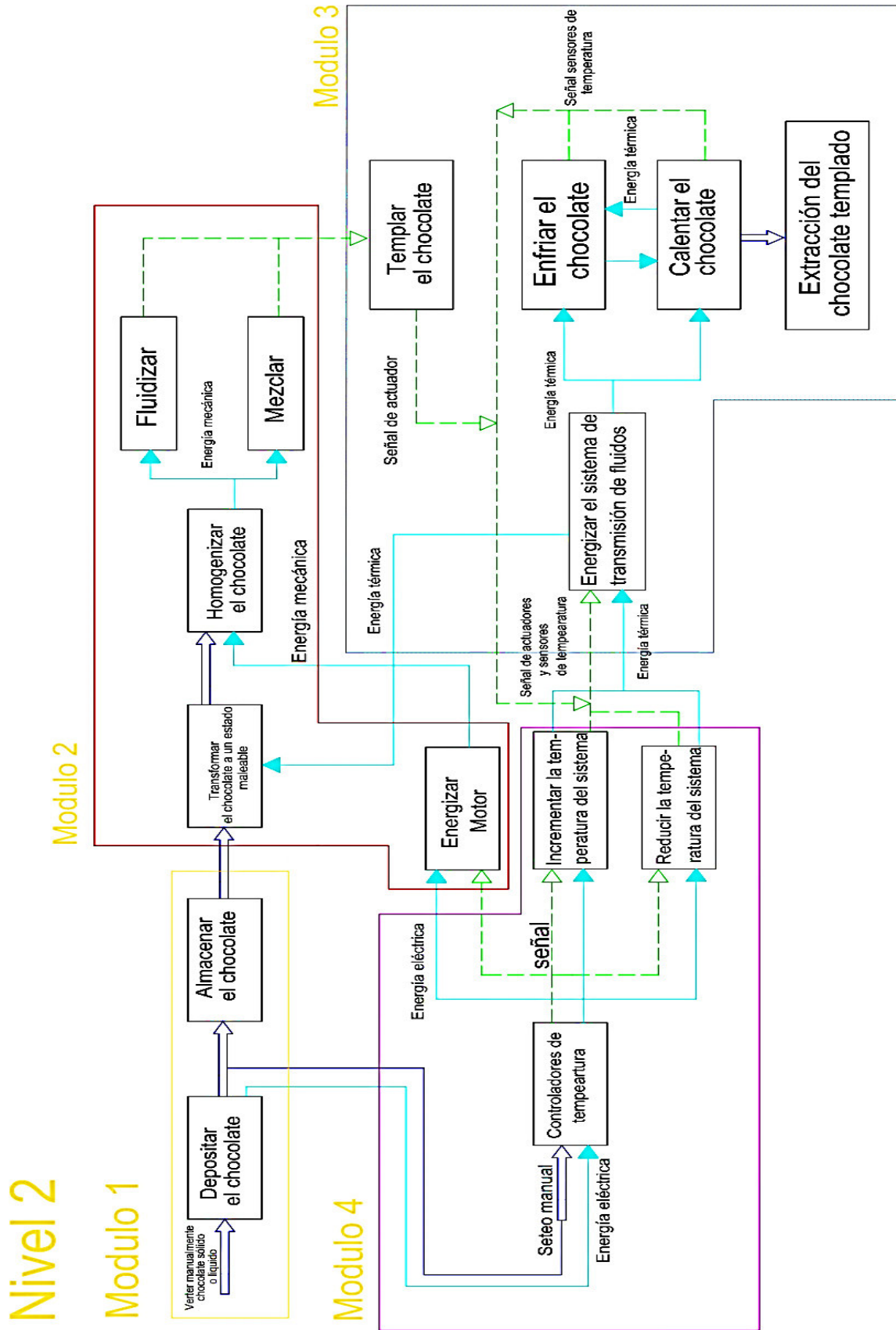


Figura 2.4. Diagrama funcional nivel 2 y estructura modular.

En los diagramas realizados se han definido los 3 niveles, en donde se ha definido cada función que debe cumplir la máquina templadora, como se aprecia en el nivel 2, existen sistemas para el calentamiento y enfriamiento del chocolate, así mismo la agitación del chocolate mediante el uso de un motor, la elevación de fluidos mediante una bomba, así como estructuras y recipientes para realizar el templado del chocolate.

Para el templado del chocolate se ha tomado en cuenta diferentes necesidades del cliente que implica, realizar el templado del producto empezando desde un estado sólido en el que se debe elevar la temperatura del chocolate hasta el punto de fusión como operación inicial. Así como tener inicialmente el chocolate en estado líquido, como generalmente se tiene en las industrias del chocolate, en donde la operación inicial de la máquina consiste en bajar la temperatura de la masa del chocolate.

Para plantear las alternativas de solución de la máquina y generar los módulos se parte del diagrama funcional de nivel 2, en donde se debe tener en cuenta que cada módulo debe estar relacionado entre cada uno de estos, para poder realizar el templado del chocolate, es así como se propone dividir en 4 módulos, que consisten en:

Módulo 1: Estructura de la máquina y almacenamiento del chocolate.

Módulo 2: Sistema de agitado y homogeneizado del chocolate.

Módulo 3: Sistema de calentamiento, enfriamiento, y templado.

Módulo 4: Sistema de control de temperatura.

2.2.1. Estructura de la máquina y almacenamiento del chocolate.

Las funciones de este módulo, que debe cumplir son: soportar las cargas del peso de los componentes de la máquina, almacenar la masa del chocolate. Para la estructura, se proporciona 3 soluciones, en donde se toma en cuenta los siguientes criterios: rigidez, estabilidad y resistencia.

Una estructura vertical de una columna en su mayoría es soldada, en la figura 2.5 se observa que posee una base rígida que conforma una estructura vertical que cuenta con una columna metálica principal de soporte, en donde se sostienen todas las piezas que se necesita para el funcionamiento de la máquina.



Figura 2.5. Estructura vertical de una columna.

Tiene ventajas como: ocupa poco espacio debido a su configuración vertical que puede llevar varias plataformas, facilidad de mantenimiento debido al fácil acceso a las partes de la máquina que se encuentran en diferentes niveles de la estructura, presenta gran rigidez, debido a su base, y columna que soportan el peso de la máquina.

Las desventajas de la estructura vertical son: es pesada, debido a su disposición vertical ya que los componentes necesitan ser montados en un área pequeña, no tiene facilidad de transporte debido a que necesita tener la base contacto con el piso o suelo de planta y en su mayoría no es desarmable debido a las soldaduras que se tiene en gran parte de la estructura.

Una estructura tipo hiperboloide como se observa en la figura 2.6 tiene una forma hiperboloide debido a que en sus extremos se ensancha la estructura y en el medio se tiene una sección transversal estrecha, se observa una configuración en forma de hueso con su una forma característica. Esta estructura en su interior aloja las diferentes partes de la máquina.

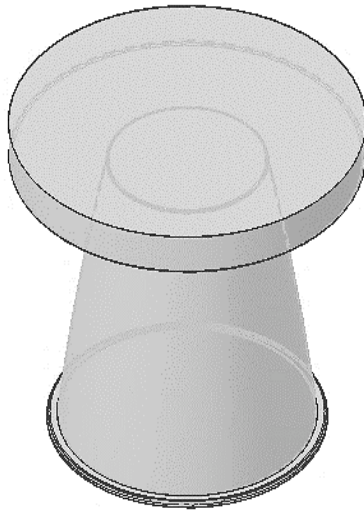


Figura 2.6. Estructura tipo hiperboloide.

Principalmente cuenta con ciertas ventajas como: gran estabilidad, debido a que los equipos se encuentran en la parte inferior de la máquina lo que hace que su centro de masa este más apegado al suelo. Debido a su forma presenta una reducción de material para soportar una misma carga de compresión, además ocupa poco espacio del suelo de la planta, debido a sus dimensiones, y respecto a su capacidad de procesamiento.

Presenta dificultades como: mantenimiento, debido a la ubicación de las partes de la máquina, en caso de daños hacia las piezas se tiene un costo relativamente alto para volver al estado inicial de la estructura y las partes estructurales son complejas de fabricar, lo que aumenta los costos de fabricación.

En la figura 2.7 se observa una estructura tipo malla conformada por tubos cuadrados, los cuales pueden ser acoplados mediante diferentes uniones. La distribución de los tubos cuadrados que están distribuidos para soportar cargas torsionales.

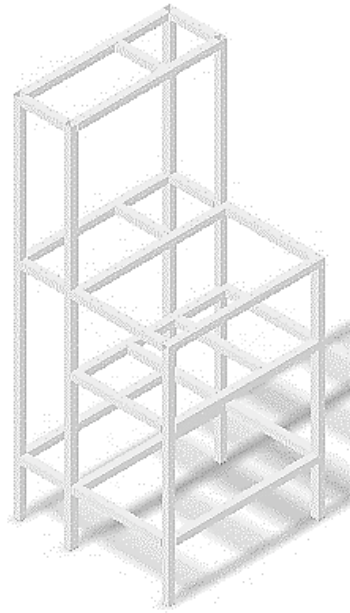


Figura 2.7. Estructura tipo malla.

Las ventajas que presenta son: gran resistencia en relación al peso, ligera y estable debido a que las partes pesadas del equipo se encuentran en la parte inferior, fácil mantenimiento de la máquina debido a la disposición de las partes de la máquina que se encuentran en diferentes niveles de la estructura, facilidad de transporte, debido a que la estructura de la máquina puede desarmarse utilizando uniones empernadas.

Posee desventajas como: ocupa un espacio de planta relativamente alto respecto a su capacidad, se tiene dificultad de acoplar recipientes circulares o curvos, debido a la disposición rectangular de la estructura tipo malla, la estructura puede presentar niveles de vibración.

El almacenamiento de chocolate tipo tanque cilíndrico se observa en la figura 2.8, es un tipo de recipiente que tiene como base una forma circular, y el perfil en el eje vertical se mantiene constante formando una pared circular.

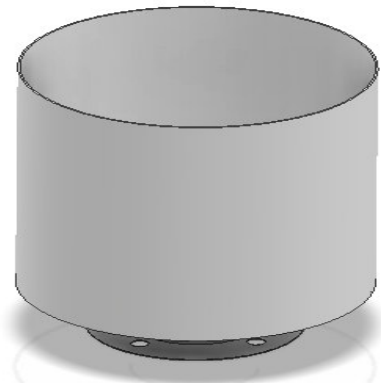


Figura 2.8. Recipiente cilíndrico.

Las ventajas que posee: fácil limpiado, debido a su geometría constante, tienen un bajo costo debido a su proceso de manufactura, puede acoplarse una gran variedad de agitadores o mezcladores de flujos, permite fluir el chocolate debido a la forma del recipiente que no tiene esquinas que frenen el flujo, debido a su forma se evitan accidentes de impactos con aristas del recipiente además se puede tapar mediante rosca debido a forma, lo que puede ayudar cuando se necesita trabajar con ciertas presiones en los fluidos.

Posee una limitación en la extracción del producto del recipiente, ya que se necesitan de otros dispositivos o desmontar el recipiente, además tiene dificultades de acople en la estructura, debido a su forma.

Se observa en la figura 2.9 el almacenamiento tipo copa, este recipiente tiene una sección transversal circular que va aumentando en el sentido vertical formando un recipiente parecido a una copa. En el centro del recipiente tiene un tubo hueco, por donde se puede acoplar diferentes partes de la máquina.

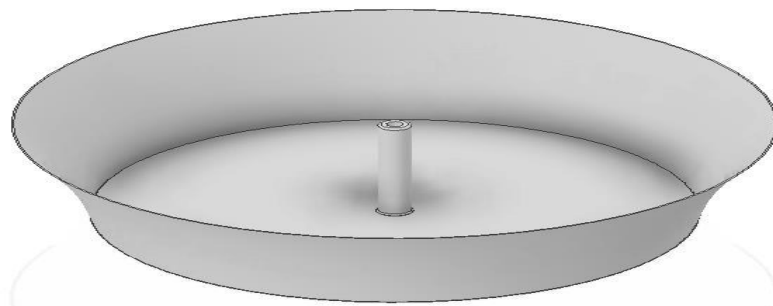


Figura 2.9. Recipiente tipo copa.

Presenta ventajas como: facilidad de limpieza, debido a que no presenta aristas o geometrías regulares que puedan afectar en la asepsia del recipiente, se puede utilizar varios tipos de agitadores, debido a la forma, así mismo se puede girar el recipiente, se puede ventilar el producto del recipiente debido a su forma que permite una mayor área de exposición a mayor altura y facilita la circulación del producto debido a su forma que facilita el movimiento del fluido, ya que no tiene aristas que frenen el flujo.

Cuenta con desventajas como: costo relativamente alto debido a su dificultad de proceso de manufactura además presenta problemas de extracción del producto, debido a que se necesitan acoplar otros dispositivos para desmontar el recipiente, también tiene dificultades para acoplarse a la estructura debido a su forma.

Se observa en figura 2.10 el almacenamiento del chocolate tipo bandeja, este tipo de recipientes son usados en general para contener alimentos, por lo que posee curvas suaves en las 4 esquinas para contener un mayor volumen en su interior. Poseen una base de forma rectangular que en su sección transversal sus dimensiones van aumentando, hasta que en su culminación en donde posee una arista rectangular para el agarre.

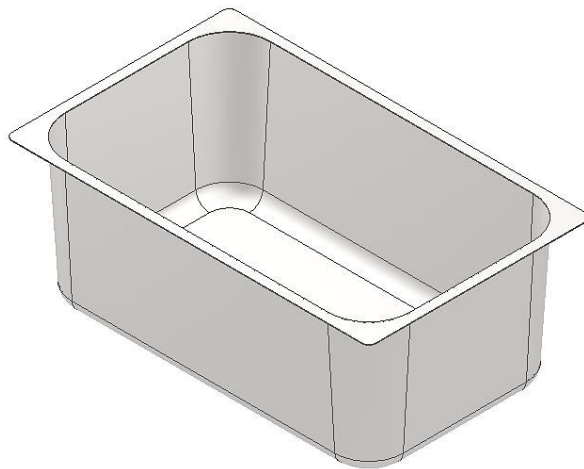


Figura 2.10. Recipiente tipo bandeja.

Las principales ventajas frente a otros recipientes de almacenamiento son: posee una gran capacidad, debido a su forma regular, tiene aristas suaves que facilitan la limpieza, además está diseñada para fácil extracción del producto, debido a su sección rectangular, posee en su parte superior un perfil rectangular que facilitan la manipulación del operario para su remoción o transporte del recipiente, debido a su forma rectangular puede ser acoplado de manera más fácil que otro tipo de recipientes.

Dentro de las limitaciones presentes son que no está diseñada para utilizar algunos tipos de agitadores, además no permite mover el fluido fácilmente debido a su forma rectangular que puede obstruir el flujo y en la parte superior de este recipiente posee aristas que pueden ocasionar accidentes de impactos.

Para la estructura de la máquina y almacenamiento de chocolate y con las soluciones presentadas se define a través de una matriz morfológica que se muestra en la tabla 2.2 la mejor solución, que satisfagan las necesidades y requerimientos establecidos en la casa de la calidad, de esta manera se observa la solución final a este módulo en la figura 2.11.

Tabla 2.2. Matriz morfológica: estructura de la máquina y almacenamiento del chocolate.

Función	Componente		
Soportar las cargas del peso de los componentes de la máquina	Estructura vertical de una columna	Estructura tipo hiperboloide	Estructura tipo malla
Almacenar la masa del chocolate.	<div style="text-align: center;">↓</div> Recipiente cilíndrico	<div style="text-align: center;">↓</div> Recipiente tipo copa	<div style="text-align: center;">↓</div> Recipiente tipo bandeja
Alternativas	<div style="text-align: center;">↓</div> Solución 1	<div style="text-align: center;">↓</div> Solución 2	<div style="text-align: center;">↓</div> Solución 3

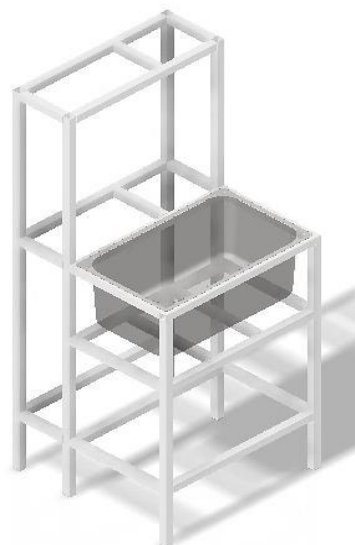


Figura 2.11. Solución final módulo 1.

La evaluación del módulo 1 se analiza mediante el criterio de residuos ponderados, en función de tareas que debe cumplir la máquina que consiste en soportar las cargas del peso mediante la estructura de la máquina y almacenar el chocolate. Estas dos funciones se deben relacionar entre sí, debido a que el recipiente y su forma dependen de la estructura en donde va alojado el recipiente.

Los criterios que se toman en cuenta para evaluar el módulo 1 son: (Peso>Resistencia mecánica>Costo>Transportabilidad = Baja Vibración).

Tabla 2.3. Evaluación de cada criterio del módulo 1.

	Peso	Resistencia mecánica	Costo	Transportabilidad	Baja vibración	$\Sigma+1$	Ponderación
Peso		1	1	1	1	5	0,3333
Resistencia mecánica	0		1	1	1	4	0,2667
Costo	0	0		1	1	3	0,2
Transportabilidad	0	0	0		0,5	1,5	0,1
Baja vibración	0	0	0	0,5		1,5	0,1
Peso>Resistencia mecánica>costo >Transportabilidad=Baja vibración					Suma	15	1

Se evaluará a continuación cada solución con cada criterio:

Tabla 2.4. Evaluación de cada solución debido a peso.

Peso	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Sol. 1		0	0	1	0,1667
Sol. 2	0		1	2	0,3333
Sol. 3	1	1		3	0,5
Sol. 3>Sol. 2>Sol. 1			Suma	6	1

Tabla 2.5. Evaluación de cada solución debido a resistencia mecánica.

Resistencia mecánica	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Sol. 1		0	0	1	0,1667
Sol. 2	1		0,5	2,5	0,4167
Sol. 3	1	0,5		2,5	0,4167
Sol. 3=Sol. 2>Sol. 1			Suma	6	1

Tabla 2.6. Evaluación de cada solución debido a costo.

Costo	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Sol. 1		1	0	2	0,3333
Sol. 2	0		0	1	0,1667
Sol. 3	1	1		3	0,5
Sol. 3>Sol. 1>Sol. 2			Suma	6	1

Tabla 2.7. Evaluación de cada solución debido a transportabilidad.

Transportabilidad	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Sol. 1		0,5	0	1,5	0,25
Sol. 2	0,5		0	1,5	0,25
Sol. 3	1	1		3	0,5
Sol. 3>Sol. 2=Sol. 1			Suma	6	1

Tabla 2.8. Evaluación de cada solución debido a baja vibración.

Baja Vibración	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Sol. 1		0	1	2	0,3333
Sol. 2	1		1	3	0,5
Sol. 3	0	0		1	0,1667
Sol. 2>Sol. 1>Sol. 3			Suma	6	1

Tabla 2.9. Solución para el módulo 1.

Conclusiones	Peso	Resistencia mecánica	Costo	Transportabilidad	Baja vibración	Σ	Prioridad
Sol. 1	0,0555	0,0444	0,0666	0,025	0,0333	0,2248	3
Sol. 2	0,1111	0,1111	0,0333	0,025	0,05	0,3305	2
Sol. 3	0,1667	0,1111	0,1	0,05	0,0166	0,4444	1

2.2.2. Sistema de agitado y homogeneizado de la temperatura del chocolate.

Las funciones por desempeñar en este módulo son las siguientes: transmitir movimiento al chocolate fundido y mezclar el chocolate homogenizándolo y facilitar la transferencia de calor a todo el chocolate. Para cada función, se plantean diferentes soluciones para que cada operación sea cumplida satisfactoriamente.

Para la transmisión de movimiento en el flujo de chocolate en estado líquido se consideran criterios como la facilidad de instalación y mantenimiento, en donde se toma en consideración solo la alternativa de motor-reductor que se observa en la figura 2.12, además de ser un método de transmisión de potencia confiable, es uno de los más conocidos y de fácil acceso a diferencia de un motor de pasos o un variador de frecuencias.

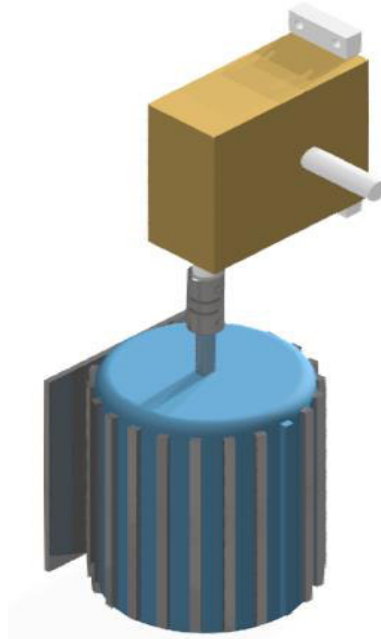


Figura 2.12. Arreglo motorreductor.

Las ventajas que tiene este mecanismo de transmisión son: alta eficiencia en la transmisión de potencia desde el motor, costo de mantenimiento reducido, facilidad en la instalación y alta seguridad al tener protección contra el medio ambiente.

Cuenta con desventajas como: alto ruido en la operación realizada, solo posee una velocidad de salida transmitida a diferencia de un variador de frecuencias que puede dar más de una velocidad a la salida del eje en el reductor, este tipo de transmisión incrementa el volumen y peso de la máquina según sea el tamaño de motorreductor.

Para el homogeneizado y la eficiencia en la transferencia de calor al chocolate se puede usar varios agitadores, dentro del mercado tenemos: agitador de eje vertical, de paleta y hélice (mixto). Este último tipo de agitadores que se observa en la figura 2.13 trabajan a altas velocidades (rpm), y se caracterizan por mezclar dos flujos: axial y radial lo que ayuda al mezclado, debido a su configuración de paleta-hélice.



Figura 2.13. Agitador de paleta y hélice.

El agitador de paletas y hélice tiene las siguientes ventajas: tiene una alta capacidad de mezclado debido a que trabaja a flujo mixto (axial y radial), trabaja a altas velocidades de giro (rpm), favorece el intercambio de calor y son eficaces en recipientes grandes debido a que las paletas cortan el fluido. Las desventajas que posee son: solo trabaja con fluidos de baja viscosidad menor a $8 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, requieren de una limpieza constante y poseen un alto costo de adquisición.

El agitador de eje horizontal que se observa en figura 2.14 al no ser dentado puede generar un flujo suave, trabaja a bajas y altas velocidades (rpm), el propósito de este mezclador es generar un flujo continuo y trabajar con fluidos que son sensibles a los cambios de temperatura y se comportan como fluidos no newtonianos.

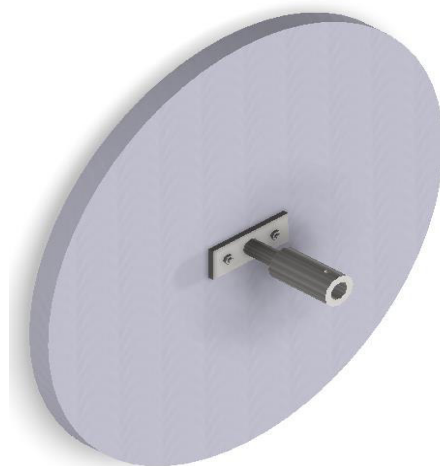


Figura 2.14. Agitador de disco.

Las ventajas que posee este tipo de agitador son: alta eficacia en el mezclado y suspensión de partículas en el fluido, bajo costo de mantenimiento, promueve una alta transferencia de calor, fácil limpieza de los elementos móviles y puede trabajar a altas o bajas velocidades (rpm) ya que genera un flujo suave.

Este agitador cuenta con las siguientes limitaciones: el fluido se adhiere a las paredes del agitador, requiere más espacio o volumen radial para mezclar más volumen de fluido y al no ser un disco dentado su campo de trabajo es de flujo tangencial.

Otra opción es el agitador de pala tipo ancla mostrado en la figura 2.15, este es impulsado mediante una fuerza motriz en un eje vertical, este tipo de agitadores poseen la forma del recipiente en donde se va a realizar la operación de agitación y mezclado.

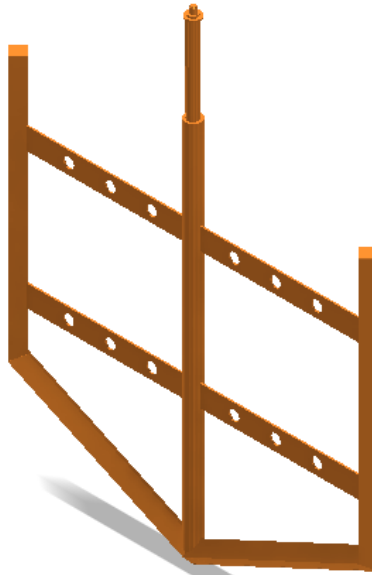


Figura 2.15. Agitador de pala tipo ancla.

Una de las ventajas que tiene este tipo de agitador es que se ajusta a los contornos del recipiente que los contiene con una pequeña holgura, además proveen una alta transferencia de calor con las paredes en donde se genera una reducción entre la capa límite y la pared, por lo que se previene la adhesión de fluidos pegajosos en las paredes.

Las desventajas que tiene este agitador son: posee una capacidad de mezclado baja, trabaja con una viscosidad de hasta 1000 Pa.s y trabaja a velocidades tangenciales bajas de hasta 2 m/s.

Para el sistema de agitado y homogeneizado del chocolate tomando en consideración las soluciones presentadas, así se define a través de una matriz morfológica en tabla 2.10 una solución final a este módulo que satisfagan las necesidades y requerimientos establecidos en la casa de la calidad, formulando con esto una solución final del módulo 2, que se observa en la figura 2.16.

Tabla 2.10. Matriz morfológica: Sistema de agitado y homogeneizado del chocolate.

Función	Componente
Transmitir movimiento al chocolate fundido	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Motorreductor</div>
Mezclar el chocolate homogenizándolo y facilitar la transferencia de calor a todo el chocolate	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 150px;">Agitador de paleta y hélice</div> <div style="color: blue; font-size: 20px; margin: 5px 0;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px;">Solución 1</div> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 150px;">Agitador de disco</div> <div style="color: orange; font-size: 20px; margin: 5px 0;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px;">Solución 2</div> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 150px;">Agitador de pala tipo ancla</div> <div style="color: orange; font-size: 20px; margin: 5px 0;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px;">Solución 3</div> </div> </div>
Alternativas	

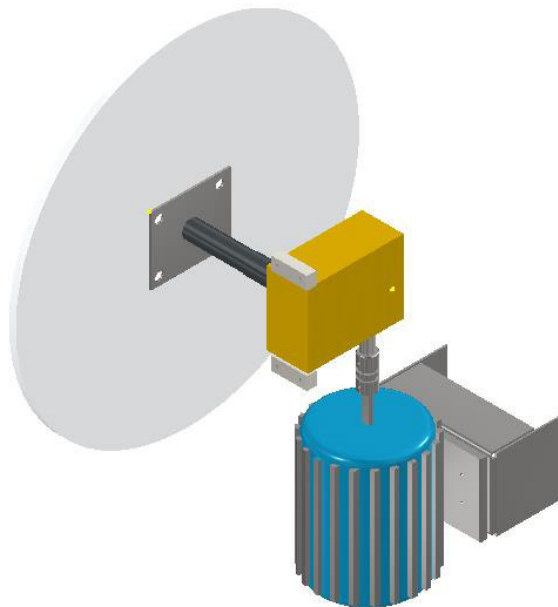


Figura 2.16. Solución final módulo 2.

Se evalúa el sistema de transmisión de movimiento al chocolate fundido mediante el criterio de residuos ponderados. Así se tiene comparan las soluciones, en donde se evalúan los siguientes criterios (Eficiencia>Costo= Mecanismo simple >Tamaño=Fiabilidad).

Tabla 2.11. Evaluación de cada criterio del módulo 2.

	Eficiencia	Costo	Mecanismo Simple	Tamaño	Fiabilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Eficiencia		1	1	1	1	5	0,322581
Costo	0		0,5	1	1	3,5	0,225806
Mecanismo Simple	0	0,5		1	1	3,5	0,225806
Tamaño	0	0	0		1	2	0,129032
Fiabilidad	0	0	0	0,5		1,5	0,096774
Eficiencia>Costo=Mecanismo simple>Tamaño=Fiabilidad					Suma	15,5	1

Se evaluará a continuación cada solución con cada criterio:

Tabla 2.12. Evaluación de cada solución debido a eficiencia.

Eficiencia	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Sol. 1		1	1	3	0,5
Sol. 2	0		1	2	0,3333
Sol. 3	0	0		1	0,1667
Sol. 1>Sol. 3>Sol. 2			Suma	6	1

Tabla 2.13. Evaluación de cada solución debido a costo.

Costo	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Sol. 1		0	0	1	0,16667
Sol. 2	1		1	3	0,5
Sol. 3	1	0		2	0,3333
Sol. 2>Sol. 3>Sol. 1			Suma	6	1

Tabla 2.14. Evaluación de cada solución debido a mecanismo simple.

Mecanismo Simple	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Sol. 1		0	0	1	0,1667
Sol. 2	1		1	3	0,5
Sol. 3	1	0		2	0,3333
Sol. 2>Sol. 3>Sol. 1			Suma	6	1

Tabla 2.15. Evaluación de cada solución debido a tamaño.

Tamaño	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Sol. 1		0	1	2	0,333
Sol. 2	1		1	3	0,5
Sol. 3	0	0		1	0,1667
Sol. 2>Sol. 1>Sol. 3			Suma	6	1

Tabla 2.16. Evaluación de cada solución debido a fiabilidad.

Fiabilidad	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Sol. 1		1	0	2	0,3333
Sol. 2	0		0	1	0,1667
Sol. 3	1	1		3	0,5
Sol. 3>Sol. 1>Sol. 2			Suma	6	1

Tabla 2.17. Solución para el módulo 2.

Conclusiones	Eficiencia	Costo	Mecanismo Simple	Tamaño	Fiabilidad	Σ	Prioridad
Sol. 1	0,16129	0,0376	0,03763	0,043	0,0322	0,311828	2
Sol. 2	0,1075	0,1129	0,11293	0,0645	0,01613	0,413978	1
Sol. 3	0,0537	0,07526	0,07526	0,0215	0,04838	0,274193	3

2.2.3. Sistema de calentamiento, enfriamiento y templado.

Las funciones por desempeñar en este módulo son las siguientes: calentar y enfriar fluidos, desplazar el agua fría y/o caliente y extraer el chocolate templado. Así, se proponen varias soluciones para el cumplimiento de cada una de estas funciones.

Se propone un calentador eléctrico con enfriador de convección forzada mostrado en la figura 2.17. Este tipo de calentador eleva la temperatura de un volumen de agua instantáneamente, dependiendo de la potencia eléctrica de su resistencia, el enfriamiento se da de una manera forzada al suministrar fluido a una temperatura menor.



Figura 2.17. Calentador eléctrico con enfriador de convección forzada.

Las ventajas que posee son: realiza el calentamiento siempre a una temperatura constante, puede tener varias salidas del fluido, ya que, una vez transcurrido el tiempo de calentamiento, este puede ser evacuado sin importar el número de tuberías de salida, ocupa un volumen pequeño, debido a la dimensión de sus componentes, además es fácil de instalar, debido a que solo necesita de tuberías de ingreso y salida hacia el recipiente y puede ocupar otras fuentes de energía a parte de la eléctrica.

Las limitaciones a esta solución son: puede ocasionar demoras en el proceso de calentamiento, si se sobreestima la capacidad volumétrica del calentador, tiene un alto consumo energético, debido a que utiliza resistencias eléctricas para calentar agua, además se tiene un calentamiento del sistema que puede ser peligroso a comparación de otros sistemas, que utilizan otro tipo de energía.

Mediante un intercambiador de tubos y coraza que se muestra en la figura 2.18, se permite el intercambio de calor entre dos fluidos, en donde se tiene una diferencia de temperaturas, este tipo de intercambiador permite el flujo de un fluido por la coraza y el otro por los tubos.

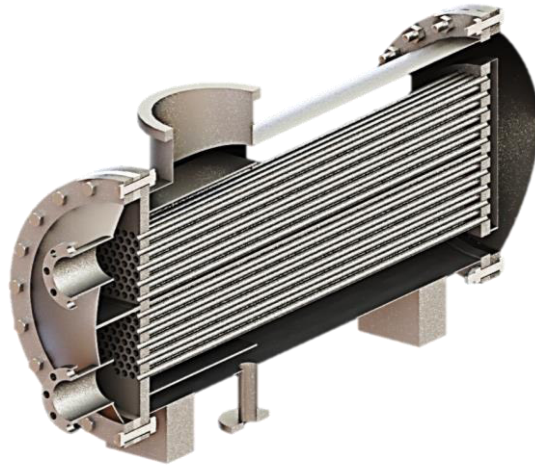


Figura 2.18. Intercambiador de tubos y coraza.

El intercambiador de calor de tubos y coraza cuenta con las siguientes ventajas: tiene un bajo costo debido a los componentes, se puede utilizar con todos los fluidos, es fácil de realizar el mantenimiento debido a la facilidad de desmontaje de sus partes y se puede trabajar a variadas condiciones de temperatura y presión.

Las limitaciones de este intercambiador son: tiene un alto costo, debido a la complejidad de su configuración se requiere de la utilización de aislantes térmicos, tiene altas pérdidas de calor hacia el ambiente, además ocupa demasiado espacio por la dimensión de todos sus componentes.

Para desplazar el agua fría y/o caliente se requiere el uso de una bomba centrífuga mostrada en la figura 2.19, este tipo de bomba posee un rodete en su interior que gira, y hace que el fluido se desplace debido a fuerzas centrífugas, en donde la voluta o carcasa redirige el fluido, el cual puede ser expulsado de forma axial, radial, y mixto.



Figura 2.19. Bomba centrífuga.

Las ventajas de la bomba centrífuga son: puede desplazar tanto líquidos limpios como sucios, no genera vibraciones, es de fácil mantenimiento, presenta bajos costos relacionados al mantenimiento, además presenta varias características en cuanto a las especificaciones de presión, capacidad y dimensiones. Las principales desventajas que posee este tipo de bombas son: tiene un rango de presión de trabajo limitado, además tiene problemas en el bombeo de fluidos viscosos.

Otro tipo de solución al desplazamiento de fluido es mediante una bomba de lóbulos mostrada en la figura 2.20, estas bombas poseen engranes de forma lobular que van desplazando volumétricamente el fluido, debido a la forma de los engranes este tipo de bomba aspira e impulsa los líquidos. Pueden existir bombas de lóbulos internos y externos.



Figura 2.20. Bomba de lóbulos.

Las ventajas de la bomba de lóbulos son: puede trabajar con varios tipos de fluidos que pueden ser viscosos o no viscosos, posee una alta eficiencia para bombear líquidos de altas viscosidades, la capacidad de bombeo no se ve afectada por las presiones de trabajo y puede mantener un caudal constante ya que no depende de la presión de operación.

Las principales limitaciones son: necesita de dispositivos para aliviar la presión del sistema, ya que este tipo de bomba genera presiones sin ninguna clase de restricciones debido a su mecanismo de funcionamiento, puede presentar vibraciones ya que se generan fuerzas de reacción que producen en los engranes, se puede tener desgastes prematuros en las piezas que conforman este tipo de bombas debido la fricción que se genera y solo se puede trabajar para bajos rangos de caudal.

La última solución debido a la carencia de una bomba es la presión de la tubería que se tiene en cualquier lugar con suministro de agua potable, esto se puede ver en la figura 2.21.

En donde el desplazamiento del agua fría se da por la presión suministrada por el servicio de agua potable en la ubicación donde esté situada la operación de la máquina, mientras que el agua caliente se desplaza por gravedad mediante un nivel máximo.



Figura 2.21. Presión de suministro.
(Fuente: Epmaps, 2021)

Las ventajas de la presión de suministro son: posee un fácil montaje al tener solamente que conectar la tubería del agua fría al suministro de agua potable, es un método económico y es de fácil uso debido a que es un fluido de acceso libre y que no requiere mayor capacitación para su utilización, además se puede regular el caudal de entrada y salida fácilmente mediante el uso de válvulas de globo, presión, etc.

Las limitaciones de esta solución son: la temperatura de fluido no es constante debido a que está sometido a los cambios de temperatura en el ambiente y en la tubería de suministro durante el día. Puede haber un aumento o disminución en la presión del fluido debido a mantenimientos en el servicio de agua por lo que es recomendable el uso de válvulas que regulen estos inconvenientes. Si no se regulan el caudal de entrada y salida el nivel de fluido puede desbordar y perjudicar componentes que se encuentren cerca de la máquina. Al no tener un tanque de agua de recirculación se generan desperdicios considerables de fluido lo que repercute en gastos económicos.

La extracción del chocolate templado o raspador que se observa en la figura 2.22 es un mecanismo que tiene por objetivo la extracción del chocolate de la máquina, por lo que posee una ranura por donde gira el agitador de disco, este agitador al pasar por esta ranura de esta pieza, va raspando o desprendiendo capas de chocolate.

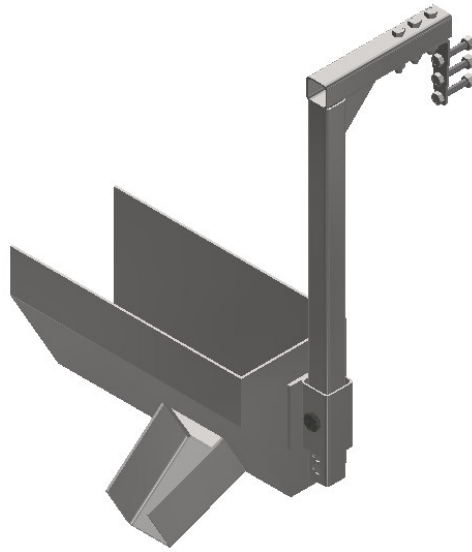


Figura 2.22. Raspador de chocolate.

Las ventajas que posee son: tiene un bajo costo, utiliza la energía potencial gravitatoria del chocolate para extraer del agitador este producto, ahorrando costos en otro tipo de maquinaria para esta tarea, puede ser fácilmente limpiado, debido a su geometría, que esta provista de curvas suaves para facilitar la asepsia.

Las limitaciones son: tiene dificultad en el proceso de manufactura de esta pieza, por lo que se debe tener en cuenta en el dimensionamiento, además se pueden tener problemas de contaminación ambiental ya que al estar descubierto puede ingresar al chocolate cualquier sustancia ajena a este.

Mediante el uso de una matriz morfológica que se observa en la tabla 2.18 se obtiene una solución final al módulo de calentamiento, enfilamiento y templado de la máquina, además podemos observar en la figura 2.23 el esquema de la solución.

Tabla 2.18. Matriz morfológica: sistema de calentamiento, enfriamiento y templado.

Función	Componente
Calentar y enfriar fluidos	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 200px; text-align: center;">Calentador eléctrico</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 200px; text-align: center;">Intercambiador de calor de tubos y coraza</div> </div>
Desplazar el agua fría y/o caliente	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 150px; text-align: center;">Presión de suministro</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 150px; text-align: center;">Bomba de lóbulos</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 150px; text-align: center;">Bomba de centrífuga</div> </div>
Extracción del chocolate templado	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 150px; margin: 0 auto;">Raspador</div>
Alternativas	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 120px; text-align: center;">Solución 1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 120px; text-align: center;">Solución 2</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 120px; text-align: center;">Solución 3</div> </div>

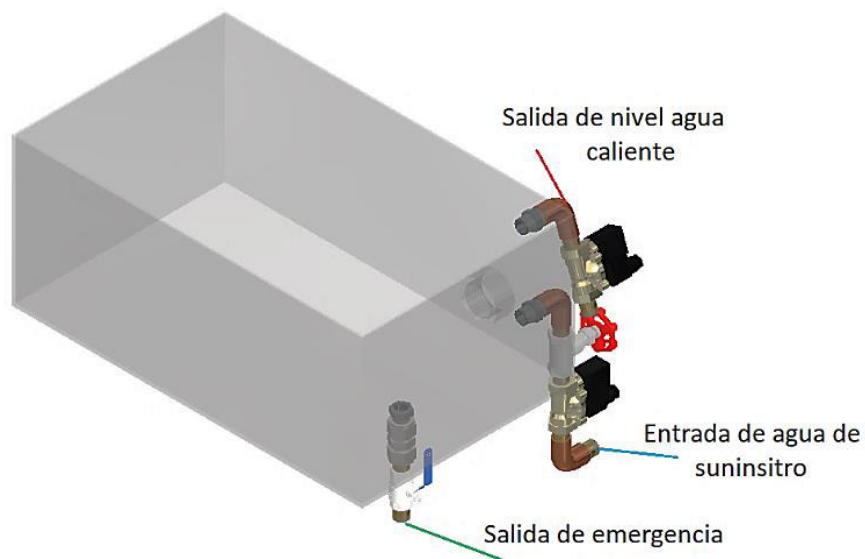


Figura 2.23. Presión de suministro.

Mediante el uso del criterio de residuos ponderados se evalúa el módulo 3 el cual cumple las funciones de calentamiento y enfriamiento de los fluidos, desplazamiento del fluido de trabajo para este proceso y la extracción de la masa del chocolate de la máquina. Los criterios que se toman en cuenta para evaluar el módulo 3 son: (Eficiencia>Costo>Mantenimiento>Consumo energético> Nivel de ruido).

Tabla 2.19. Evaluación de cada criterio del módulo 3.

	Eficiencia	Costo	Mantenimiento	Consumo energético	Nivel de ruido	$\Sigma+1$	Ponderación
Eficiencia		0,5	1	1	1	4,5	0,3
Costo	0,5		1	1	1	4,5	0,3
Mantenimiento	0	0		1	1	3	0,2
Consumo energético	0	0	0		1	2	0,1333
Nivel de ruido	0	0	0	0		1	0,0667
Eficiencia=Costo>Mantenimiento>Consumo energético> Nivel de ruido					Suma	15	1

Se evaluará a continuación cada solución con cada criterio:

Tabla 2.20. Evaluación de cada solución debido a eficiencia.

Eficiencia	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Sol. 1		1	1	3	0,5
Sol. 2	0		0	1	0,1667
Sol. 3	0	1		2	0,333
Sol. 1>Sol. 3>Sol. 2			Suma	6	1

Tabla 2.21. Evaluación de cada solución debido a costo.

Costo	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Sol. 1		1	0,5	2,5	0,4167
Sol. 2	0		0	1	0,1667
Sol. 3	0,5	1		2,5	0,4167
Sol. 1=Sol. 3>Sol. 2			Suma	6	1

Tabla 2.22. Evaluación de cada solución debido a mantenimiento.

Mantenimiento	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Sol. 1		1	0,5	2,5	0,4167
Sol. 2	0		0	1	0,1667
Sol. 3	0,5	1		2,5	0,4167
Sol. 3=Sol. 1>Sol. 2			Suma	6	1

Tabla 2.23. Evaluación de cada solución debido a consumo energético.

Consumo energético	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Sol. 1		0	0	1	0,1667
Sol. 2	1		0,5	2,5	0,4167
Sol. 3	1	0,5		2,5	0,4167
Sol. 3=Sol. 2>Sol. 1			Suma	6	1

Tabla 2.24. Evaluación de cada solución debido a nivel de ruido.

Nivel de ruido	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Sol. 1		1	1	3	0,5
Sol. 2	0		1	2	0,333
Sol. 3	0	0		1	0,1667
Sol. 1>Sol. 2>Sol. 3			Suma	6	1

Tabla 2.25. Solución para el módulo 3.

Conclusiones	Eficiencia	Costo	Mantenimiento	Consumo energético	Nivel de ruido	Σ	Prioridad
Sol. 1	0,15	0,125	0,0833	0,0333	0,033	0,424	1
Sol. 2	0,05	0,05	0,0333	0,0833	0,022	0,238	3
Sol. 3	0,1	0,125	0,0833	0,0833	0,011	0,402	2

2.2.4. Sistema de control de temperatura.

Las funciones por desempeñar en este módulo son las siguientes: recibir las señales de variables físicas como la temperatura, procesar las señales de entrada de los sensores de temperatura, emitir señales de salida hacia los actuadores. Por tanto, se plantean varias soluciones para cumplir cada una de estas funciones.

Se reciben las señales de variables físicas como la temperatura mediante un termopar como se observa en la figura 2.24 que contiene dos metales de similares características que producen variaciones de voltaje según los cambios de temperatura.



Figura 2.24. Sensor de temperatura tipo termopar.

Las ventajas del termopar son: posee un bajo costo, son robustos debido a que tienen una gran resistencia al daño, poseen rangos muy amplios de temperaturas y poseen una respuesta rápida, además tiene un alto uso en las industrias debido a la versatilidad que presenta en diferentes tipos de aplicaciones.

Las desventajas que presenta son: medianas variaciones en las mediciones debido al ruido eléctrico o señales remanentes del ambiente, la conexión de este sensor crea una unión termoeléctrica, en ciertos casos se necesita sensores adicionales para compensar este problema, además las mediciones de temperatura son no lineales, lo que produce una baja sensibilidad y en consecuencia una menor estabilidad de medición.

Otra forma de recibir las señales es mediante un sensor RTD que se observa en la figura 2.25, el cual presenta propiedades semiconductoras, que hace que varíen su resistencia debido al cambio de temperatura, transmitiendo variaciones lineales.

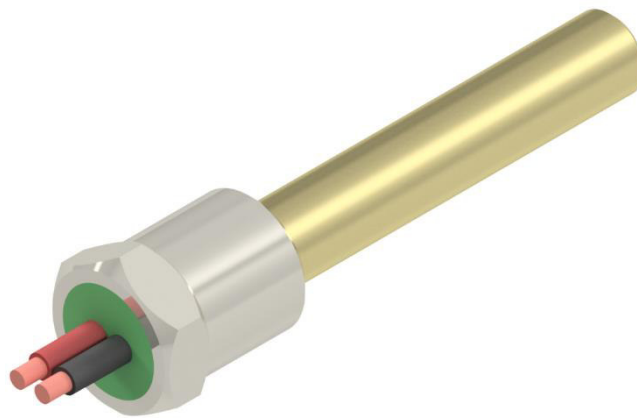


Figura 2.25. Sensor de temperatura RTD

Las principales ventajas del sensor RTD son: posee amplios rangos de medida de la temperatura, tiene altos niveles de precisión, no requiere de componentes adicionales en caso de juntas frías o unión termoeléctrica, en caso de extensión de los cables no se necesita de extensiones especiales, posee una buena linealidad de las mediciones de temperatura, además tiene un nivel alto de repetibilidad de las mediciones de temperatura.

Las principales desventajas son: posee límites de temperatura máximos muy bajos a comparación de otros sensores de temperatura, y dependen del modelo. Sin el termopozo que es la parte del sensor que está en contacto con la sustancia que se va a medir se tienen tiempos de respuesta bajos, además tiene una baja sensibilidad en pequeñas variaciones de temperatura.

Mediante el uso de un sensor tipo NTC mostrado en la figura 2.26 también se puede medir la temperatura. Este sensor es un tipo de resistencias que poseen un semiconductor que varían su resistividad con las variaciones de temperatura, este tipo de sensor funciona reduciendo su valor de resistencia al aumentar la temperatura.



Figura 2.26. Sensor de temperatura NTC.

Las ventajas del sensor NTC son: puede medir con alta precisión debido a que se producen grandes variaciones de resistencia en pequeñas variaciones de temperatura, se pueden usar en una amplia variedad de aplicaciones industriales debido a sus dimensiones reducidas, es económico, posee una sensibilidad alta y una respuesta media a rápida. Las principales desventajas son: posee rangos muy limitados de temperatura, no poseen linealidad en las mediciones de temperatura

Para el procesamiento de las señales se recomienda el uso de un controlador lógico programable (PLC.) el cual se muestra en la figura 2.27, este dispositivo cuenta con una computadora que puede ser programada para procesar amplios rangos de temperatura, el número de entradas y salidas vienen dadas por cada modelo.

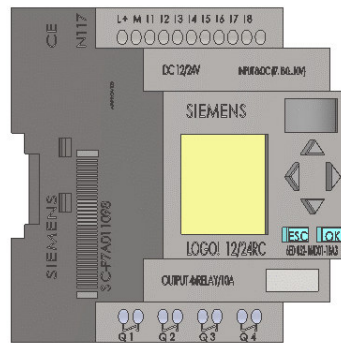


Figura 2.27. PLC Logo std,6ED1 052-1MD00-0BA5 10 E/S.

Las ventajas de un PLC son: posee un control preciso y sofisticado de las señales, presenta un mayor grado de confiabilidad en cuanto a mantenimiento, a comparación de otras opciones en cuanto al control de temperatura, es rápido en el procesamiento de señales, lo que deriva en cortos tiempos de respuesta, además tiene una facilidad en el control de procesos complejos.

Las principales limitaciones son: alto costo económico debido su calidad de procesamiento, se debe programar con un lenguaje que requiere de personal especializado, para el funcionamiento se debe tener en cuenta las condiciones ambientales adecuadas.

Otro método para el procesamiento de señales es mediante un Arduino, el cual se indica en la figura 2.28, este dispositivo posee un hardware que es la placa en donde se tiene un microcontrolador que se programa, que procesa varias señales de sensores, y además posee diferentes números de entradas y salidas.

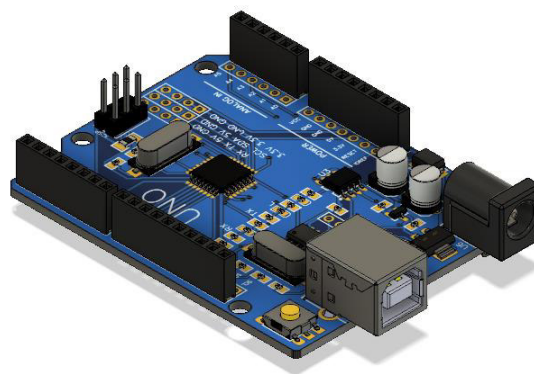


Figura 2.28. Arduino UNO Rev.3 (CH340).

Las ventajas del Arduino son: costo bajo debido a los componentes, tiene un código abierto que es fácil de programar ya que tiene un código abierto, se puede usar fácilmente por su versátil implementación en el control de procesos, presenta un rápido procesamiento de señales lo que deriva en cortos tiempos de respuesta, además se tiene una gran facilidad en el control de procesos complejos. Las desventajas que se tienen son: lento procesamiento de señales, se debe operar en ambientes controlados debido a la sensibilidad de los componentes, una baja confiabilidad debido a su configuración.

Los controladores de temperatura es otra opción para el control y seguimiento de las temperaturas en un proceso industrial, se puede observar un controlador de temperatura en la figura 2.29. Este tipo de control posee una entrada, que corresponde a un sensor de temperatura, y una salida que corresponde a señales analógicas o a relés electromagnéticos. Existen 3 tipos de controladores para procesar las señales que pueden ser: On/off, PID, y proporcionales.

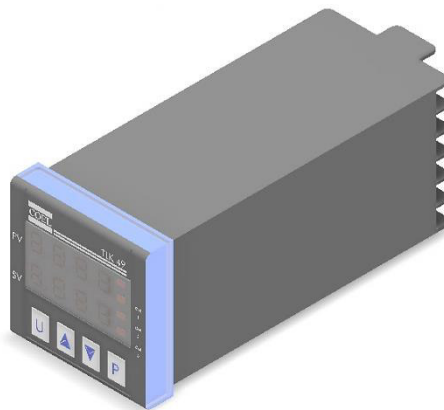


Figura 2.29. Controlador de temperatura COEL TLK 49.

Las ventajas del controlador de temperatura son: posee un bajo costo, debido a la simplicidad de sus componentes, es fácil de utilizar debido a que se puede ajustar los valores de temperatura desde el mismo controlador de temperatura, puede ser utilizado en condiciones de trabajo ambientales relativamente complejas que varían en una humedad relativa desde 20 a 85 % sin condensación, y una temperatura ambiental de trabajo desde los 0°C hasta los 50°C, además posee 3 tipos de control según las características del modelo seleccionado que puede solucionar varias necesidades según el proceso que se desea controlar.

Las principales desventajas son: tiene un número limitado de entradas y salidas, a comparación de otros tipos de control de temperatura solo se puede trabajar con 3 tipos de control de temperatura que vienen programados de acuerdo al modelo que sea seleccionado, lo que puede llegar a limitar la programación en caso de algún tipo de programación de control de temperatura especial.

Un actuador que se utiliza para el control del flujo es la electro-válvula la cual se observa en la figura 2.30. La electro-válvula utiliza señales eléctricas para cerrar o abrir completamente el paso de fluidos que fluyen a través de su conducto, para esto utiliza una bobina solenoide para activar las dos posiciones de la válvula.

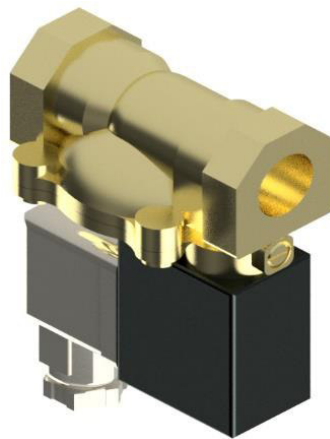
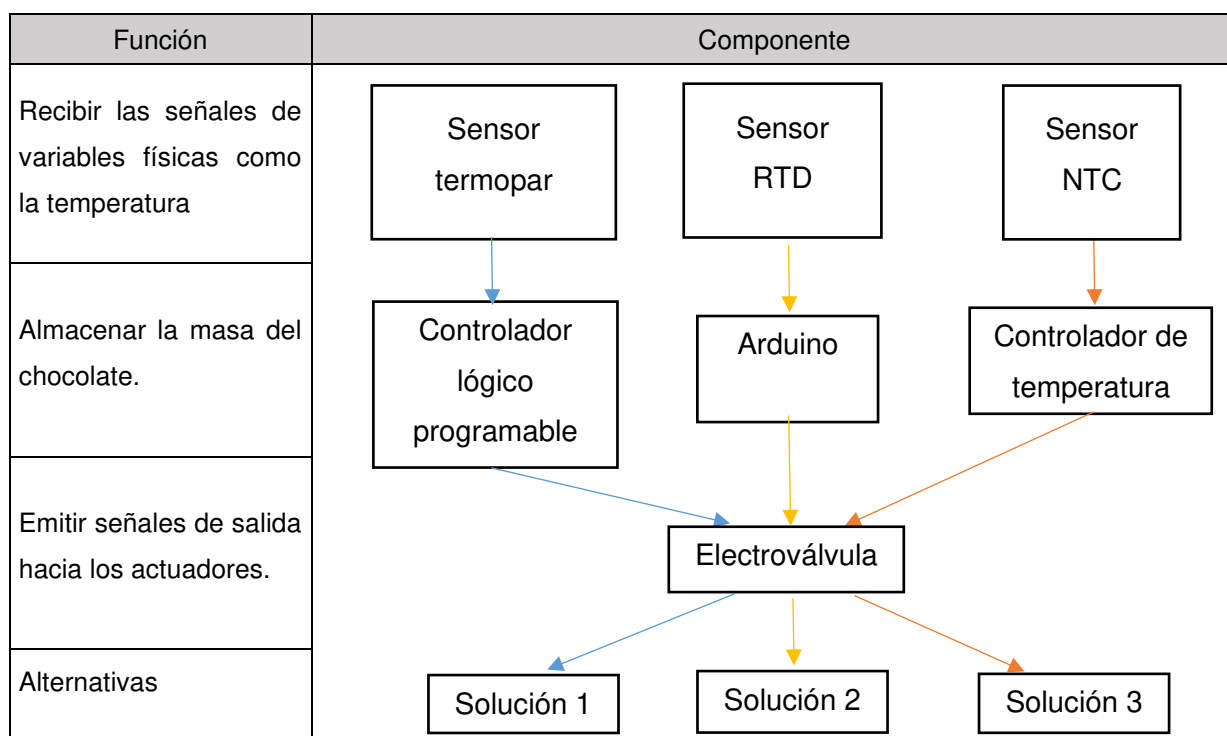


Figura 2.30. Arduino UNO Rev.3 (CH340).

Las ventajas de la electro-válvula son: un elevado grado de confiabilidad, presenta una alta rapidez de respuesta, tiene un bajo costo, además son fáciles de instalar en sistemas de circulación de fluidos, se tiene una alta versatilidad de acoplar tuberías tanto a la entrada como a la salida. Las desventajas que posee son: solo trabaja en ambientes de trabajo secos, posee dificultad de control continuo de flujo.

Mediante una matriz morfológica se busca la solución más óptima para el cumplimiento del control de la temperatura, esta solución se observa en la tabla 2.26 y el esquema de la solución final de la máquina templadora de chocolate con la solución al módulo de control de temperatura se observa en figura 2.31.

Tabla 2.26. Matriz morfológica: sistema de control de temperatura.



Mediante el criterio de residuos ponderados se evalúa el módulo 4 el cual cumple la función de controlar la temperatura de la masa del chocolate para que sea templado. El proceso del templado se realiza siguiendo el diagrama para templar del chocolate, lo que hace que se deba tener un control estricto de la temperatura en el tiempo. Los criterios que se toman en cuenta para evaluar el módulo 4 son: (Precisión=Costo>Velocidad de procesamiento>Confiabilidad = Tolerancia).

Tabla 2.27. Evaluación de cada criterio del módulo 4.

	Precisión	Costo	Velocidad de procesamiento	Confiabilidad	Tolerancia	$\Sigma+1$	Ponderación
Precisión		0,5	1	1	1	4,5	0,3
Costo	0,5		1	1	1	4,5	0,3
Velocidad de procesamiento	0	0		1	1	3	0,2
Confiabilidad	0	0	0		0,5	1,5	0,1
Tolerancia	0	0	0	0,5		1,5	0,1
Precisión=Costo>Velocidad de procesamiento >Confiabilidad=Tolerancia					Suma	15	1

Se evaluará a continuación cada solución con cada criterio:

Tabla 2.28. Evaluación de cada solución debido a precisión.

Precisión	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Sol. 1		1	0,5	2,5	0,4167
Sol. 2	0		0	1	0,1667
Sol. 3	0,5	1		2,5	0,4167
Sol. 1=Sol. 3>Sol. 2			Suma	6	1

Tabla 2.29. Evaluación de cada solución debido a costo.

Costo	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Sol. 1		0	0	1	0,1667
Sol. 2	1		0	2	0,3333
Sol. 3	1	1		3	0,5
Sol. 3>Sol. 2>Sol. 1			Suma	6	1

Tabla 2.30. Evaluación de cada solución debido a velocidad de procesamiento.

Velocidad de procesamiento	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Sol. 1		1	1	3	0,5
Sol. 2	0		0	1	0,1667
Sol. 3	0	1		2	0,3333
Sol. 1>Sol. 3>Sol. 2			Suma	6	1

Tabla 2.31. Evaluación de cada solución debido a confiabilidad.

Confiabilidad	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Sol. 1		1	1	3	0,5
Sol. 2	0		0	1	0,1667
Sol. 3	0	1		2	0,3333
Sol. 1>Sol. 3>Sol. 2			Suma	6	1

Tabla 2.32. Evaluación de cada solución debido a tolerancia.

Tolerancia	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Sol. 1		1	1	3	0,5
Sol. 2	0		0	1	0,1667
Sol. 3	0	1		2	0,333
Sol. 1>Sol. 3>Sol. 2			Suma	6	1

Tabla 2.33. Solución para el módulo 4.

Conclusiones	Precisión	Costo	Velocidad de procesamiento	Confiabilidad	Tolerancia	Σ	Prioridad
Sol. 1	0,125	0,05	0,1	0,05	0,05	0,375	2
Sol. 2	0,05	0,1	0,0333	0,0166	0,0166	0,2165	3
Sol. 3	0,125	0,15	0,0667	0,0333	0,033	0,4083	1



Figura 2.31. Solución final.

2.3. Diseño de materialización de los módulos de la máquina.

Para el diseño de los módulos de la máquina, se tienen en cuenta los siguientes cálculos correspondientes a: estructura, almacenamiento del chocolate, sistema de agitación y remoción del chocolate, el sistema de enfriamiento y calentamiento del sistema, y el sistema de control de temperatura.

Para el almacenamiento del chocolate se debe dimensionar una bandeja adecuada, para que se pueda realizar el templado, para el sistema de agitación se tiene que diseñar el eje, seleccionar el motorreductor necesario, el disco agitador y los pernos de sujeción. En el sistema de calentamiento se calcula la potencia eléctrica necesaria, y el sistema de enfriamiento para que se tenga un templado óptimo del chocolate, finalmente se tiene el diseño del sistema de control de temperatura.

Para dimensionar la bandeja de procesamiento del chocolate, es necesario partir desde la capacidad de producción de 10 [kg/h] que el cliente necesita, con una densidad del chocolate $d=1300$ [Kg/m³]. En la casa de la calidad se tienen las medidas deseadas por el cliente que son: largo 0,6 [m] y un ancho igual a la mitad del largo, con esta información se determina la altura mínima a partir de la ec. (2.1).



Figura 2.32. Dimensionamiento de la bandeja.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.1)$$

Donde:

m: masa [Kg]

v: volumen [m^3]

ρ : densidad [kg/m^3]

De la ec. (2.1) se calcula un volumen mínimo $V=7,69 \times 10^{-3} [m^3]$, necesario para el procesamiento de los 10 Kg de chocolate, utilizando la ec. (2.2) se determina la altura mínima de profundidad h_{min} .

$$v = l * a * h_{min} \quad (2.2)$$

Donde:

l: largo [m]

a: ancho [m]

h_{min} : altura mínima [m]

La altura mínima necesaria es de $h_{min}= 25,54 [mm]$, además se debe tomar en cuenta la facilidad de maniobra y además se debe evitar salpicaduras del producto durante el mezclado del chocolate, por estas razones se recomienda una altura de maniobra $h_{man}= 10 [cm]$, la suma de estas dos alturas resulta en una altura total de la bandeja de dimensiones $h_t=125,64[mm]$. Se selecciona la bandeja GN 1/1-150 la misma que se encuentra en el anexo 1, las dimensiones son: $l=0,530 [m]$, $a=0,325 [m]$ y $h_t=0,15 [m]$.

Se verifica el volumen útil con la ec. (2.3) con las nuevas dimensiones, donde el $V_{\text{útil}}$ obtenido debe mayor o igual al volumen $V_{\text{mín}}=0,0154 \text{ [m}^3\text{]}$, se debe considerar que para este volumen es necesario restar la altura de maniobra $h_{\text{man}}=10 \text{ [cm]}$. De esta manera tenemos como resultado un $V_{\text{útil}}=8,62 \times 10^{-3} \text{ [m}^3\text{]}$ mayor al $V_{\text{mín}}=0,0154 \text{ [m}^3\text{]}$.

Para elegir el motorreductor que se necesita, se considera el disco de grilón de diámetro D sea menor que la longitud de la bandeja seleccionada $L=0,53 \text{ [m]}$, por lo tanto, para este caso se opta por un disco de $D= 0,45 \text{ [m]}$, buscando con este diámetro tener el mayor contacto posible durante el mezclado considerando que no debe existir salpicaduras del chocolate hacia afuera de la bandeja de la máquina.

Dado que el chocolate es un fluido no newtoniano con un comportamiento pseudoplástico, se recomienda un mezclado a bajas velocidades en un rango de 30-40 [rpm], con esta premisa se determina a partir de la ec. (2.3), la velocidad tangencial del disco.

$$V = \omega * r_d \quad (2.3)$$

Donde:

V : velocidad tangencial [m/s]

ω : velocidad angular [rpm] o [rad/s]

r_d : radio del disco reductor [m]

Por las bajas velocidades angulares con las que se debe trabajar el chocolate se selecciona una $\omega =40 \text{ RPM (4,2 rad/s)}$, se sabe que el radio del disco reductor es igual a la mitad del diámetro del disco mezclador que corresponde a $0,225 \text{ [m]}$.

El resultado de la ec. (2.3) muestra una velocidad tangencial $V=0,945 \text{ [m/s]}$, posteriormente se determina el número de Reynolds para el chocolate, en donde la viscosidad aparente del fluido para la menor temperatura en el proceso de templado $T_{\text{mín}}= 27,5 \text{ [}^\circ\text{C]}$, de la figura 1.2, se obtiene el valor de la viscosidad aparente del chocolate $\mu= 0,6 \text{ [Pa}\cdot\text{s]}$ y con la ec. (2.4) (Mott, P.230, 2006). Se determina el número de Reynolds para el chocolate.

$$Re = \frac{d * V * r_d}{\mu} \quad (2.4)$$

Donde:

Re : Numero de Reynolds adimensional

ρ : densidad del chocolate [Kg/m^3]

r_d : radio del disco mezclador [m]

μ : viscosidad aparente [$\text{Pa}\cdot\text{s}$]

El resultado del número de Reynolds $Re = 511,875$ muestra que el chocolate se comportaría como un flujo laminar a una velocidad de $V = 0,945$ [m/s], a una temperatura promedio de 27.5 [$^{\circ}\text{C}$], con esto se puede seleccionar el coeficiente de arrastre mostrado en la figura 2.33, donde se tiene un flujo perpendicular a un disco. El objetivo de determinar el coeficiente de arrastre C_d es calcular la fuerza de arrastre mínima que se necesitaría para empujar el flujo en forma tangencial. Para determinar el área en contacto con el fluido se utilizan únicamente las caras laterales del disco mezclador, esto se puede observar en la figura 2.33 y mediante la ec. (2.5), se determina el área de contacto $A = 0,4$ [m^2], para posteriormente determinar la fuerza de arrastre con la ec. (2.6) (Mott, P. 525, 1996).

DISCO CIRCULAR

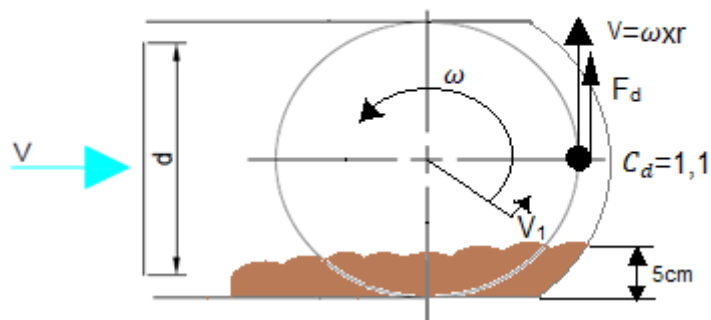


Figura 2.33. Coeficiente de arrastre de un disco.

$$A = 2 (\pi * r_d^2) [\text{m}^2] \quad (2.5)$$

$$F_d = 0,5 * C_d * d * V * A [\text{N}] \quad (2.6)$$

Donde:

F_d : fuerza de arrastre [N]

C_d : coeficiente de arrastre adimensional

ρ : densidad del chocolate [Kg/m³]

V : velocidad tangencial [m/s]

A : área de contacto [m²]

La fuerza de arrastre calculada es $F_d=255.41$ [N], a partir de la fuerza de arrastre se determina la potencia efectiva y el torque total necesario a partir de las ec. (2.7) y (2.8).

$$P = V * F_d \quad [Watt] \quad (2.7)$$

$$T = \frac{P}{\omega} \quad [N.m] \quad (2.8)$$

Con una potencia calculada $P=241,35$ [Watt] y un torque $T=57,46$ [N.m] se selecciona el motor y reductor, pero antes se tienen que tomar en consideración el factor de servicio FS, donde tomamos en consideración un carga con choques moderada por las condiciones de trabajo de la máquina: 8 horas diarias con 8 lotes de producción en toto el día, de esta manera tomamos del catálogo del fabricante en el anexo 2 un factor de servicio FS=1,3, con este factor de servicio se determina la nueva potencia efectiva nominal y el torque total nominal a partir de las ec. (2.9) y (2.10).

$$P_o = FS * P \quad [Watt] \quad (2.9)$$

$$T_o = FS * T \quad [N.m] \quad (2.10)$$

Calculadas la potencia y el torque nominal respectivamente: $P_o=313,75$ [Watt] y $T_o=74,7$ [N.m], con esta potencia se selecciona del catálogo del fabricante un reductor CMIS063 y un motor CM063-71A4-63-BS que tiene una velocidad angular $\omega_1=1750$ RPM del anexo 2 con los siguientes requerimientos funcionales:

Tabla 2.34. Especificaciones del Motor-reductor.

Símbolo	Significado	Valor
ω_1	Velocidad angular de entrada	1750 [RPM]
ω_2	Velocidad angular de salida	44 [RPM]
T_{n2}	Torque nominal de salida	142 [N.m]
P_{n1}	Potencia nominal de entrada	0,93 [KWatt]
FS	Factor de seguridad de	2.5
I	Relación de conversión	40
$\% \eta$	Rendimiento	70%

Para el diseño del eje se determina la carga nominal con un factor de servicio $FS=1,3$ de acuerdo a las recomendaciones del fabricante de motores que corresponde a una carga con choques moderados con la ec. (2.11), y el torque nominal calculado anteriormente $T_o=74,698$ [N.m], esto ayudará a determinar los cortantes, momento y torques que se aplican en toda la longitud del eje.

$$F_z = FS * F_d \text{ [N]} \quad (2.11)$$

Diagrama de cuerpo libre (eje)

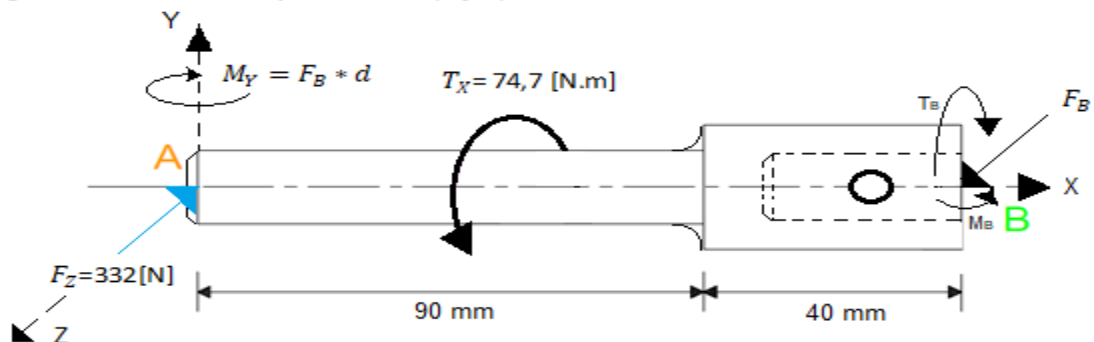


Figura 2.34. Diagrama de cuerpo libre del eje en voladizo apoyado en B.

La fuerza aplicada en el punto A es $F_z=332$ [N] a partir de esto se determina la reacción en el punto B con una sumatoria de fuerzas en el eje Z, dando como resultado $F_B=F_z=332$ [N]. Cabe señalar que en el punto B el eje va a estar soldado y el punto B el eje va a estar acoplado al reductor, con una sumatoria de momentos con respecto al plano XY se obtiene el momento máximo aplicado al punto B siendo $M_B=43,16$ [N.m], estas premisas nos permiten determinar los diagramas de cortante, momento y torque mostrados en la figura 2.35, 2.36 y 2.37.

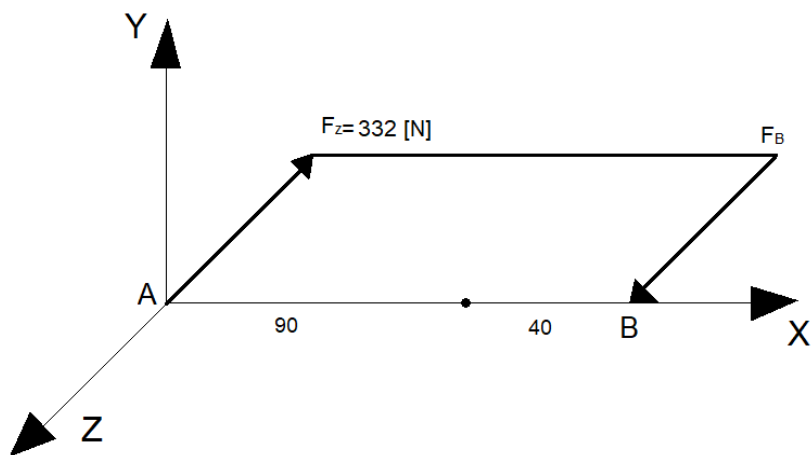


Figura 2.35. Diagrama cortante del eje.

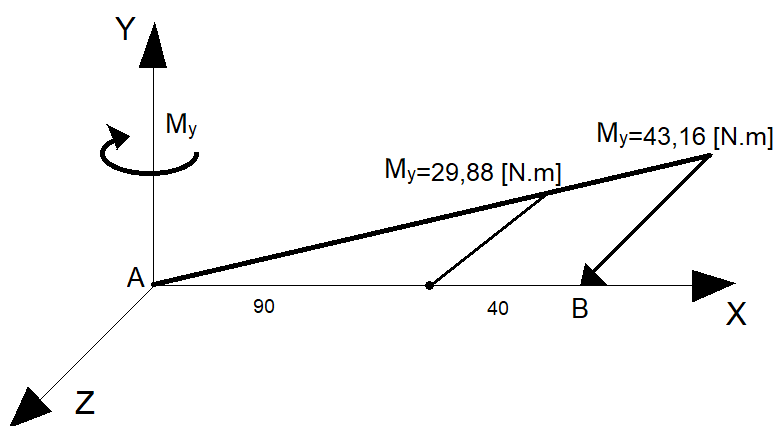


Figura 2.36. Diagrama de momento en el eje.

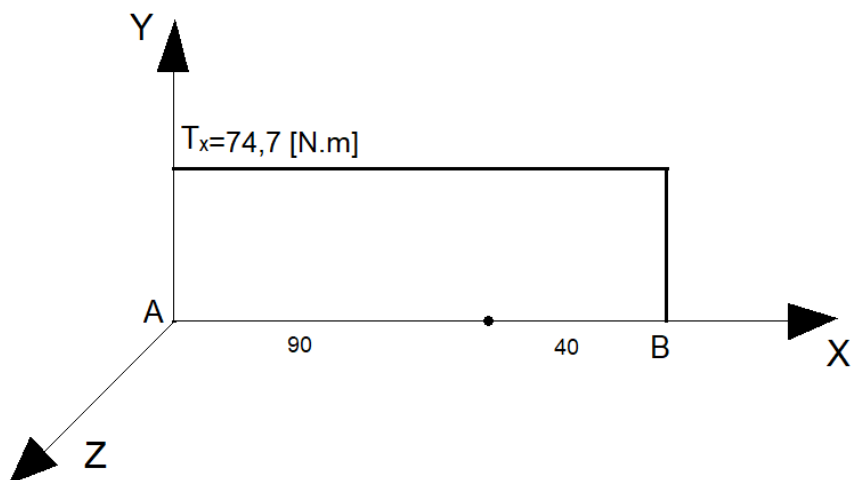


Figura 2.37. Diagrama de torque en el eje.

Analizando los diagramas se tiene que en el punto B es el más crítico, el cual debe ser diseñado a fatiga con las siguientes consideraciones para un material de acero estructural.

Tabla 2.35. Cargas y momentos presentes en el eje.

Símbolo	Cargas y momentos	Valor Referencial
T_a	Torque amplitud	0 [N.m]
T_m	Torque medio	74,698 [N.m]
M_a	Momento amplitud	43,16 [N.m]
M_m	Momento medio	0 [N.m]

Para el diseño de un eje a fatiga, se determina el factor S_e que corresponde a la resistencia de prueba a la fatiga con la ec. (2.12), utilizando la resistencia última del acero inoxidable 304 $S_{ut}=568$ [MPa] obtenido del Anexo 3 Shigley, 2012.

$$S_e = 0,5 S_{ut} \text{ [MPa]} \quad (2.12)$$

Se obtiene una resistencia de prueba a la fatiga $S_e = 284$ [MPa]. Para el cálculo de la resistencia a la fatiga del eje, se toma en consideración la ec. (2.13), con sus respectivos factores de Marín k_a , k_b , k_c , k_d , k_e y k_f .

$$S_e = S_e \cdot k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \quad (2.13)$$

Se determina el factor k_a , que corresponde al acabado superficial del eje con la ec. (2.14), y los factores $a=1,58$ y $b= -0,085$ del anexo 3 que corresponden a un material de acabado superficial esmerilado.

$$k_a = a \cdot S_{ut}^b \quad (2.14)$$

Como resultado se tiene un factor de acabado superficial $k_a=0,94$. El factor k_b determina la modificación de tamaño que toma en cuenta las cargas de flexión y torsión al cual está sometido el eje, la ec. (2.15) de Shigley, 2012, muestra el cálculo del factor k_b , pero como se desconoce el diámetro, que es lo que se va a calcular de manera conservadora se usa un $k_b=0,9$.

$$k_b = 1,24 d^{-0,107} \quad 2,79 \leq d \leq 51 [mm] \quad (2.15)$$

Se selecciona un factor de carga $k_c=0,59$ del anexo 4 ya que el efecto de torsión es mayor que el de flexión en el eje giratorio. El factor de temperatura k_d se determina a partir de la ec. (2.16), donde se considera una temperatura promedio de $40,75 [^{\circ}C]$ o $105,35 [^{\circ}F]$.

$$k_d = 0,975 + 0,432 * 10^{-3} T_f - 0,115 * 10^{-5} T_f^2 + 0,104 * 10^{-8} T_f^3 - 0,595 * 10^{-12} T_f^4 \quad (2.16)$$

El resultado da un factor $k_d=1$ de forma conservadora. El factor k_e de confiabilidad se lo toma considerando una confiabilidad del 99,99% debido a que se necesita que tenga una cantidad mínima de fallos de alrededor de 1 de cada 10 000 máquinas fabricadas, y z_a se selecciona del anexo 4, mediante la ec. (2.17) se determina $k_e= 0,7025$ y se toma factor de efectos varios $k_f=1$, con el uso de la ec. (2.13), se determina una resistencia a la fatiga $S_e=97,46 [MPa]$

$$k_e = 1 - 0,08 * z_a \quad (2.17)$$

Para el cálculo del diámetro del eje se usa la ec. (2.18), considerando como criterio de falla de los materiales la energía de distorsión máxima de Von Mises (EDM) conjuntamente con el criterio de falla a la fatiga de Goodman, por ser uno de los criterios no conservativos más utilizados que se acerca más a la realidad del fallo por fatiga, y puede resultar en mayores beneficios económicos, para el cálculo se elige un factor de seguridad $n=2$ para asegurarse que se tenga un menor fallo en el diseño del eje. Existen concentradores de esfuerzos tales como el cambio de sección y un agujero que corresponde al prisionero, así se selecciona un factor de concentración de esfuerzo $K_f=2,225$ (flexión), $K_{ts}=1,675$ (torsión) del anexo 3, así también se estima que los factores de concentradores de esfuerzos reducidos para un cálculo conservador $K_f= K_t$ y $K_{fs} = K_{ts}$.

$$d = \left[\frac{16n}{\pi} * \left(\frac{2(K_f * M_a)}{S_e} + \frac{[3(K_{fs} * T_m)^2]^{(\frac{1}{2})}}{S_{ut}} \right) \right]^{(\frac{1}{3})} \quad (2.18)$$

Con el diámetro mínimo calculado $d= 29,45$ [mm], se debe seleccionar un eje que se encuentra en el mercado de 1,25 [in]. Se procede a verificar con el diámetro $d= 31,75$ [mm] el nuevo factor de seguridad según Goodman con la ec. (2.19) de Shigley, 2012, tomando en consideración el nuevo factor $k_b=0,856$ con el uso la ec. (2.15), además de la nueva resistencia a la fatiga $S_e= 92,7$ [MPa] con la ec. (2.13).

$$n_f = \frac{\pi d^3}{16 * \left[\frac{[4(K_f * M_a)^2]^{(\frac{1}{2})}}{S_e} + \frac{[3(K_{fs} * T_m)^2]^{(\frac{1}{2})}}{S_{ut}} \right]} \quad (2.19)$$

Por lo tanto, se tiene un nuevo factor de seguridad $n_f=2,48$ como el resultado obtenido es mayor al factor anterior n por lo que se concluye que el eje está sobredimensionado.

Para seleccionar los pernos que corresponden al disco agitador, se tiene como premisa que el disco agitador va a estar sujeto con 4 pernos, los cuales deben garantizar un buen agarre entre el disco y la placa sujetadora, estos pernos deben soportar la fuerza de arrastre, como se muestra en la figura 2.38.

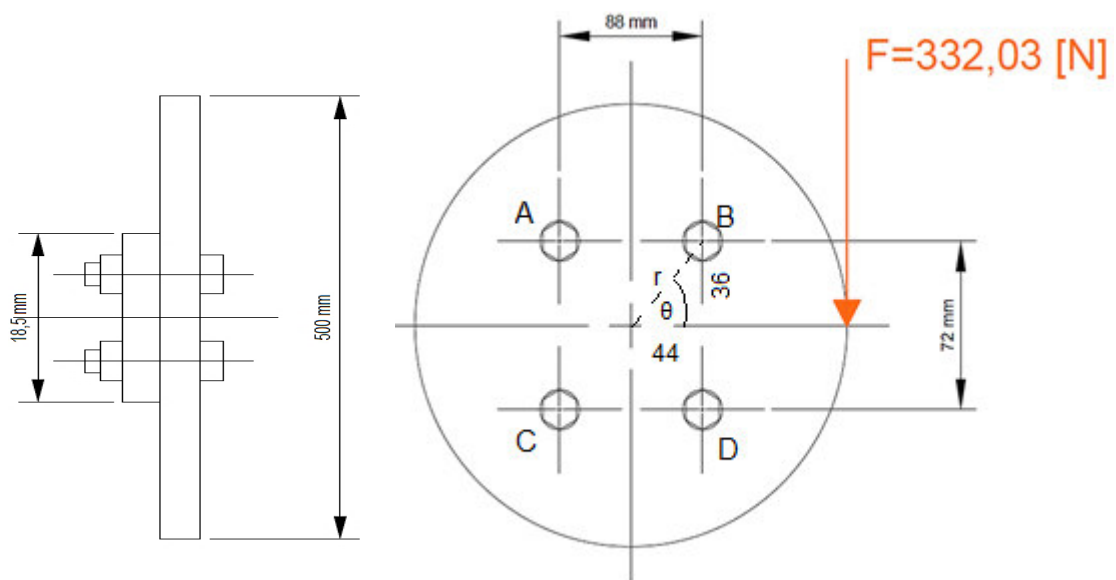


Figura 2.38. Esquema de los pernos en el disco.

Se tiene un centro de gravedad que corresponde al centro de la circunferencia, donde la variable V es la carga que se soporta en el centro, de esta manera se puede determinar la carga en cada perno F_n , con esta variable y el momento en la junta empernada se

determina la carga debido al momento F_n'' , estas fuerzas y momento se pueden representar tal como se indica en la figura 2.39, obteniendo así un diagrama de fuerzas en cada perno.

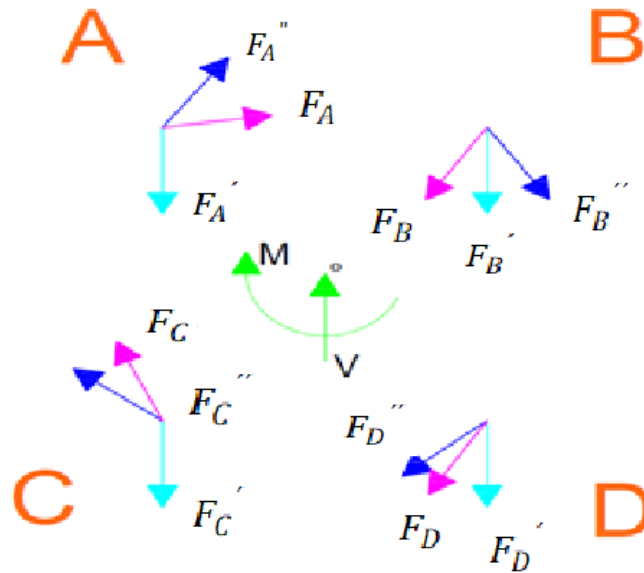


Figura 2.39. Fuerzas en los pernos.

Las fuerzas que se soporta en el punto O de la figura 2.39 es la misma fuerza de arrastre $F_d=V=332,03$ [N], con el uso de la ec. (2.20), se obtiene un momento neto $M= 74,31$ [N.m].

$$M = F * d \text{ [N.m]} \quad (2.20)$$

Donde:

M: Momento en el centro de gravedad [N.m]

d: distancia al centro de gravedad [m]

Se determina consecuentemente la fuerza F_n' y F_n'' que va a soportar cada perno a partir de las ec. (2.21) y (2.22) de Shigley, 2012, tomando en consideración que r es la distancia de la carga aplicada al centro O, con esto y a partir de una relación pitagórica se determina la hipotenusa $r=56,85$ [mm] dado los catetos $a=36$ [mm] y $b=44$ [mm] mostrados en la figura 2.40. Para este caso las fuerzas $F_A'=F_B'=F_C'=F_D'$ son iguales debido a la distribución de V en cada perno en la figura 2.39, de la misma manera los radios $r=r_a=r_b=r_c=r_d$.

$$F_n' = \frac{V}{n} [N] \quad (2.21)$$

$$F_n'' = \frac{(M * r_n)}{r_A^2 + r_B^2 + r_C^2 + \dots + r_n^2} [N] \quad (2.22)$$

Donde:

V: Carga aplicada a soportar por la junta emperrada [N]

n= Número de pernos

r: Distancia del centro de gravedad a cada perno [m]

Se determina que $F_n' = 83 [N]$ y $F_n'' = 328,54 [N]$, para con esto determinar los pernos más críticos tomando en consideración las direcciones de las cargas secundarias F_n'' mostradas en la figura 2.39, se determinó que $F_A'' = F_C''$ y $F_B'' = F_D''$ por las direcciones de cada fuerza.

Una vez conocida la carga F_n'' , se puede descomponer en componentes verticales y horizontales con el ángulo formado entre centros del centro de gravedad y cada perno, para posteriormente realizar una sumatoria vectorial y determinar el módulo de fuerza F_n en cada perno, tal como se indica en la figura 2.40, y con una relación pitagórica se determina un ángulo $\theta = 39,29^\circ$, finalmente se usan las ec. (2.23), (2.24), (2.25) y (2.26) obtenidas a partir de relaciones pitagóricas de las figuras 2.39 y 2.40 para determinar las fuerzas netas en cada perno F_A, F_B, F_C Y F_D .

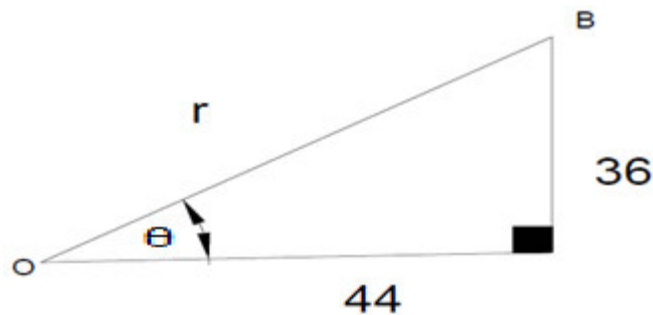


Figura 2.40. Ángulo formado por las fuerzas en los pernos.

$$F_{ny}'' = F_n'' * \text{sen } \theta [N] \quad (2.23)$$

$$F_{nx}'' = F_n'' * \cos \theta \quad (2.24)$$

$$F_A = F_C = \sqrt{(F' - F_{ny}'')^2 + F_{ny}''^2} \quad (2.25)$$

$$F_B = F_D = \sqrt{(F' + F_{ny}'')^2 + F_{ny}''^2} \quad (2.26)$$

De esta manera se obtuvieron los siguientes resultados: $F_{ny}''=208$ [N] y $F_{nx}''=254,31$ [N], con las fuerzas en cada perno iguales a: $F_A=F_C=283,36$ [N] y $F_B=F_D=386,47$ [N], de esta manera se puede observar que los pernos más críticos son los B y D para lo cual se selecciona pernos M12 de rosca fina debido a una primera estimación dimensional que se realiza y las correspondientes dimensiones de este perno se encuentran en el anexo 5.

Tabla 2.36. Detalles de las dimensiones de los pernos M12

Símbolo	Significado	Valor
Ø	Diámetro nominal del perno	12 [mm]
p	Paso de la rosca	1,75 [mm]
A _t	Área trasversal sin roscar	84,3 [mm ²]
A _r	Área trasversal roscada	76,3 [mm ²]
S _p	Resistencia de prueba (Anexo 6).	225 [Mpa]
S _{ut}	Resistencia ultima (Anexo 6).	400 [Mpa]
S _y	Resistencia a la fluencia (Anexo 6).	240 [Mpa]

Se busca determinar la longitud total roscada L_T , para lo cual es necesario utilizar la ec. (2.27). La junta empernada une a un material polimérico (grilón) de 10 [mm] y una placa de acero inoxidable de 3 [mm], que sumadas resultan en la variable t (longitud de la junta), además se tiene arandelas 12N, que según el anexo 8 tiene un espesor $e=2,80$ [mm], y tuercas que según el anexo 7 poseen una altura $H=10,8$ [mm], y además se deja dos roscas extras de 2 [mm], con esto se calcula la longitud del perno L a partir de la ec. (2.28).

$$L_T = 2d + 6 \quad L \leq 125 [mm] \quad (2.27)$$

$$L = t + H + e + 2 [mm] \quad (2.28)$$

Se obtiene una longitud de rosca $L_T=30$ [mm] y una longitud total $L= 28,6$ [mm], a partir de esta primera consideración se toma un tamaño de perno mayor $L=35$ [mm], debido a que la longitud roscada es mayor a la longitud total del perno, con esta estimación se determina que la parte roscada soportará toda la carga (cortante puro τ).

Se determinan los factores de seguridad para garantizar la calidad y efectividad de la junta empernada, primeramente, se determina el factor de seguridad contra cortante puro para lo cual es necesario primero calcular el cortante utilizando la ec. (2.29), tomando en consideración que la fuerza F_n es la fuerza neta en el perno más crítico, para este caso $F_n=F_B=F_D=346,47$ [N] y además se toma el área transversal roscada $A_r=76,3$ [mm²].

$$\tau = \frac{F_n}{2A_r} \quad (2.29)$$

Se tiene como resultado un cortante puro $\tau=2,53$ [Mpa] con este valor se determina el esfuerzo equivalente σ_{eq} , finalmente con la resistencia a la fluencia S_y y la resistencia a la fluencia a cortante S_{sy} con el uso de las ec. (2.30) y (2.31).

$$\sigma_{eq} = \sqrt{3} * \tau \quad (2.30)$$

$$S_{sy} = 0,577 * S_y \quad (2.31)$$

Los resultados obtenidos son $\sigma_{eq}=4,38$ [Mpa] y $S_{sy}=129,82$ [Mpa], además utilizando la ec. (2.32) se comprueba el factor de seguridad $n=29,6$ que garantiza que los pernos van a soportar las cargas a cortante puro.

$$n = \frac{S_{sy}}{\sigma_{eq}} \quad (2.32)$$

Para el esfuerzo por aplastamiento en los pernos, se determina el esfuerzo equivalente σ_{eq} y un área proyectada en donde ocurre este esfuerzo, considerando un espesor $t=3$ [mm] de la placa de acero inoxidable y $b=\emptyset$, se calcula el esfuerzo por aplastamiento usando las ec. (2.33) y (2.34) de Shigley, 2012.

$$\sigma = \sigma_{eq} = -\frac{F}{A_b} = -\frac{V}{A_b} \text{ [MPa]} \quad (2.33)$$

$$A_b = t * b \quad (2.34)$$

Los resultados calculados $\sigma=10,73$ [Mpa] y $A_b=3,6x10^{-5}$ [m²], además utilizando la ec. (2.35), muestran un factor de seguridad $n=22,35$ que garantiza que los pernos van a soportar las cargas por aplastamiento.

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{eq}} \quad (2.35)$$

Para obtener el esfuerzo debido al aplastamiento del disco de grilón, se considera que está sometido al mismo esfuerzo con un área proyecta A_b igual, pero considerando para el cálculo del factor de seguridad la respectiva resistencia a la fluencia del grilón $S_y=44,13$ [Mpa]. Con la ec. (2.35) se obtuvo $n=4.11$ que garantiza el no aplastamiento en el disco de grilón. Así mismo para determinar la resistencia a la fluencia de la placa de acero inoxidable, para un $S_y=250$ [Mpa] se tiene un $n=23,29$.

Para el cálculo de esfuerzo por flexión de los pernos, se toma el momento generado en los pernos críticos B y D que son paralelos al eje Y, con un momento $M=60,1$ [N.m] determinando así el esfuerzo equivalente a flexión con la ec. (2.36).

$$\sigma_{eq} = \sigma = \frac{Mc}{I} \quad (2.36)$$

Previamente se necesita calcular la inercia en la línea A paralela al eje Y del disco que se observa en la figura 2.41 con la ec. (2.37), posteriormente se determina la distancia de separación entre los pernos h que se necesita para poder encontrar la inercia en el eje, por lo tanto, $a=0,044$ [m] y h se determina mediante una relación pitagórica siguiendo la figura 2.41 siendo $h=0,22$ [m], $b=2h=0,44$ [m] y $c=h$.

$$I = \frac{bh^3}{12} - 2 * [I_{agujero} + d^2 A] \quad (2.37)$$

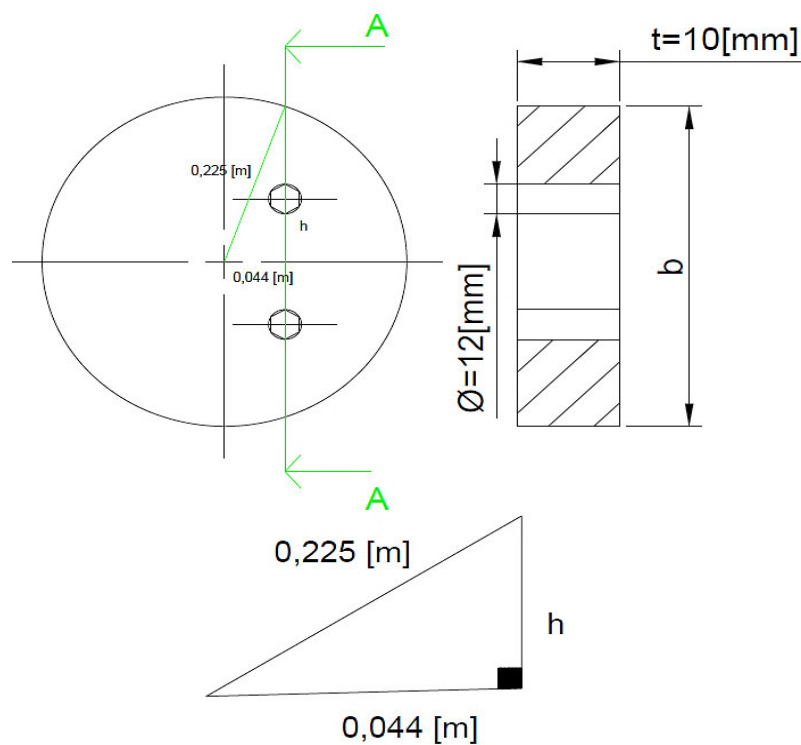


Figura 2.41. Inercia en un eje paralelo al centro de gravedad.

$$\sigma_{eq} = \sigma = \frac{M * h}{I} \quad (2.38)$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{eq}} \quad (2.39)$$

Se determinó que $I = 8 \times 10^{-5} [m^4]$ y con la ec. (2.38) se obtuvo que $\sigma_{eq} = 0,187$ [MPa], de esta manera se verifica que con la ec. (2.39) existe un factor de seguridad por flexión $n=235,9$, así se observa que el mayor efecto que se tiene es por aplastamiento y se encuentra en el grilón, sin embargo, se tiene un alto factor de seguridad, el cual no representa riesgo por falla.

Siguiendo con otro cálculo de diseño, se determina el sistema de calentamiento del chocolate, definiendo al agua como fluido de trabajo, la cual va a ser calentada mediante una resistencia eléctrica. Así determina la energía necesaria calentar al sistema correspondiente al calentamiento: del agua, chocolate y además considerando las pérdidas por conducción y convección.

Para calcular el calor que necesita el chocolate se tiene que la temperatura máxima de templado es de $58^\circ C$, la temperatura inicial del chocolate es $14^\circ C$, conociendo además la capacidad de procesamiento de la máquina de 10 [kg] que el cliente necesita, así como la densidad del chocolate $\rho=1300$ [Kg/m³] y capacidad calórica $C_p=0,56$ [kcal// $^\circ C$ *kg].

$$Q_{choc} = mC_p(\Delta T) \quad (2.40)$$

Con la masa, el calor específico y la diferencia de temperaturas a partir de la ec. (2.40), se obtiene el calor que se necesita para calentar el chocolate $Q_{choc}=246,4$ kcal que equivale a $1030,94$ kW s. Con esto se determina la potencia correspondiente al calentamiento del chocolate en un tiempo estimado de $t=15$ min, debido a los requerimientos del cliente, siguiendo la ec. (2.41) se tiene una potencia de $\dot{Q}_{choc} = 1145,48$ W.

$$\dot{Q}_{choc} = \frac{Q_{choc}}{t} \quad (2.41)$$

Para determinar la pérdida por conducción que se tiene en la bandeja en donde va a estar el chocolate que transmite calor desde el agua de calentamiento hacia el chocolate como se indica en la figura 2.42, en donde se forma una resistencia térmica según la ec. (2.42) (Incropera, 1999), siguiendo el anexo 9 de conductividades térmicas del acero inoxidable AISI 304@300K, $k_1 = 14,9$ [W/m K].

$$R_{t,choc} = \frac{L}{k_1 A} \quad (2.42)$$

Con un espesor de la bandeja del chocolate $L= 2 \times 10^{-3}$ [m], y mediante la ayuda de un software de diseño asistido se tiene un área de $A= 0,4$ [m²], como se indica en la figura 2.42, que resulta en una resistencia térmica del chocolate $R_{tchoc}=3,42 \times 10^{-4}$ [K/W].

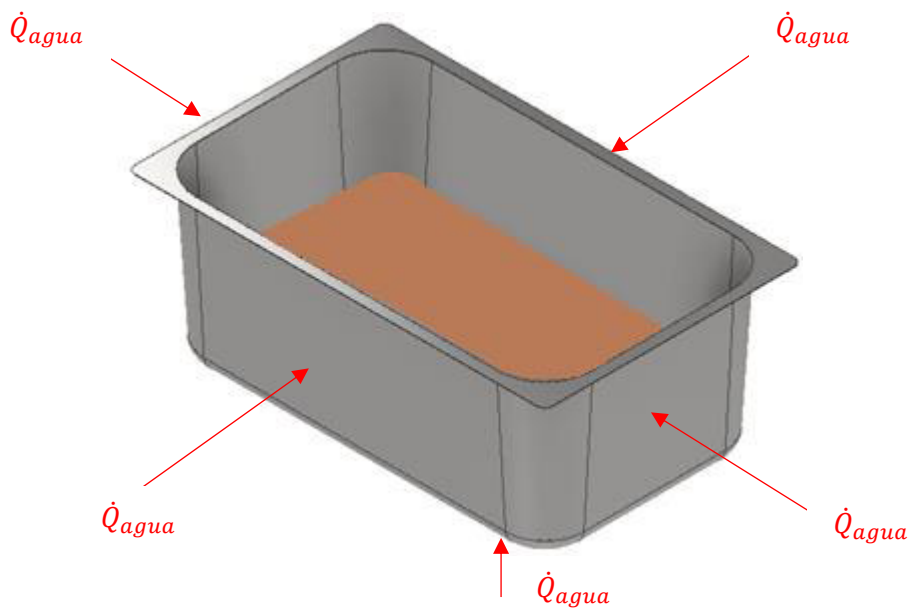


Figura 2.42. Transferencia de calor en la bandeja.

Para calcular las pérdidas de calor por convección, se considera que la bandeja que contiene el chocolate, va a estar abierta al medio ambiente en su parte superior y al no tener tapa, transfiere un calor por convección libre al aire circundante, según el anexo 10, se tiene un coeficiente de convección libre de gases promedio $h_3=13,5$ [W/m² K], se considera que las pérdidas por radiación son despreciables.

$$R_{1,choc} = \frac{(T_{s,1} - T_{s,2})}{q_x} = \frac{1}{h_3 A_2} \quad (2.43)$$

Con el software de diseño asistido se obtiene el valor del área de la cara superior de la bandeja que está en contacto con el aire $A_2= 0,15$ [m²], y utilizando la ec. (2.43) (Incropera, 1999), se determina una resistencia térmica por convección $R_{1,choc} = 0,494$ [K/W]. Finalmente se conoce la temperatura $T_{s,1}=58^\circ\text{C}$ que corresponde a la temperatura máxima

del chocolate y $T_{s,2}=14^{\circ}\text{C}$ que es la temperatura del aire promedio, se determina la pérdida de calor $q_x=89,07\text{ W}$ siguiendo la ec. (2.43).

$$Q_{perdidas} = q_x * t \quad (2.44)$$

Conocido el calor perdido por convección $q_x = 89\text{ W}$, se determina la potencia de calor que se pierde en 15 minutos de funcionamiento siguiendo la ec. (2.44) (Incropera, 1999), se determina $Q_{perdidas} = 80,163\text{ kJ}$.

Para determinar la temperatura máxima inicial del agua que se necesita T_{s3} , se obtiene en base a la transferencia de calor perdido por la consideración de pared plana por conducción en base a la ec. (2.45) (Incropera, 1999), en donde $T_{s1}=58^{\circ}\text{C}$ corresponde a la temperatura máxima del chocolate, despejando la ec. (2.45), se obtiene $T_{s,3} = 331,54\text{ K} = 58,39^{\circ}\text{C}$.

$$R_{2,choc} = \frac{(T_{s,1} - T_{s,3})}{Q_{choc}} \quad (2.453)$$

Con este valor se puede determinar el calor del agua, con un volumen de agua correspondiente a la diferencia entre el volumen del tanque de agua y la bandeja del chocolate que corresponde a 16 litros, que se encuentra a una temperatura promedio del agua de 16°C , una temperatura de agua de pared de $58,39^{\circ}\text{C}$ y un $C_p=4,184\text{ [KJ/kg}^{\circ}\text{C]}$.

$$Q_{agua} = mC_p(\Delta T) \quad (2.46)$$

En base a la ec. (2.46), se tiene un calor necesario para elevar la temperatura del agua $Q_{agua} = 2837,75\text{ kW s}$. La potencia que se necesita para el calentamiento del chocolate que se tiene en un tiempo estimado de 15 min, se obtiene en base a la ec. (2.47), es de $\dot{Q}_{agua} = 3153,06\text{ W}$.

$$\dot{Q}_{agua} = \frac{Q_{agua}}{t} \quad (2.474)$$

Para calcular la potencia que debe ser suministrada por la resistencia eléctrica, la cual debe calentar todo el sistema, se hace un balance de energía utilizando la ec. (2.48) (Cengel, 2012), en donde el volumen de control es el tanque de agua.

$$E_{entrada} - E_{salida} = \Delta E_{sistema} \quad (2.48)$$

Se asume que la energía de salida son las pérdidas de calor correspondientes a elevar la temperatura del agua y del chocolate, y la energía de entrada corresponde al calor suministrado por la resistencia, la variación de energía del sistema corresponde a cero.

$$Q_{resistencia} = Q_{agua} + Q_{choc} + (Q_{perdidas}) \quad (2.49)$$

Se determina que el calor que necesita ser suministrado por la resistencia siguiendo la ec. (2.49) es $Q_{resistencia} = 3948,85 \text{ kJ}$, la potencia de la resistencia eléctrica se calcula en base a la ec. (2.50), la potencia que corresponde en calentar el sistema en 15 es de $\dot{Q}_{resistencia} = 4,38 \text{ kW}$.

$$\dot{Q}_{resistencia} = \frac{Q_{resistencia}}{t} \quad (2.50)$$

Conocida la temperatura inicial del agua $T_{s,3} = 58,39^\circ\text{C}$ calculada anteriormente, se sabe que se debe tener un rango de temperatura mayor para que el sistema de calentamiento sea efectivo, así se establece que todo el calor $Q_{resistencia}$, es el que va a elevar la temperatura el agua, y así nuevamente se determina la temperatura máxima del agua, sabiendo la $m = 16 \text{ kg}$, $C_p = 4,184 \text{ [KJ/kg}^\circ\text{C]}$ y la temperatura inicial $T_i = 16^\circ\text{C}$, sabiendo que $Q_{resistencia} = Q_{agua,2}$, se determina usando la ec. (2.51) la temperatura máxima T_h .

$$Q_{agua,2} = m * C_p * (T_h - T_i) \quad (2.51)$$

Resultando en una temperatura del agua máxima $T_h = 74,98^\circ\text{C}$, con este nuevo valor de la temperatura se tiene un umbral o rango de temperatura entre el chocolate y el agua, en un proceso conocido como baño maría. Así la energía de calentamiento del agua corresponde a $Q_{agua,2} = 3948,85 \text{ kJ}$, siguiendo la ec. (2.52) se vuelve a calcular el calor que debe ser suministrado por la resistencia $Q_{resistencia} = 5174,49 \text{ kJ}$.

$$Q_{resistencia} = Q_{agua,2} + Q_{choc} + (Q_{perdidas}) \quad (2.52)$$

El calentamiento del sistema se realiza en 15 minutos de tiempo, que resulta en una potencia siguiendo la ec. (2.53), $\dot{Q}_{resistencia} = 5749,43 \text{ kW}$.

$$\dot{Q}_{resistencia} = \frac{Q_{resistencia}}{t} \quad (2.53)$$

Para calcular las pérdidas de calor del agua que se transmiten por las paredes compuestas que corresponden de derecha a izquierda tal como se observa en la figura 2.43, a la pared del tanque con un espesor $L_1=3 \times 10^{-3} \text{ m}$, luego existe aire estancado que separa la bandeja y la carcasa con un espesor $L_2= 12,7 \times 10^{-3} \text{ m}$, y finalmente la pared que corresponde a la carcasa de la máquina con un espesor $L_3=1 \times 10^{-3} \text{ m}$.

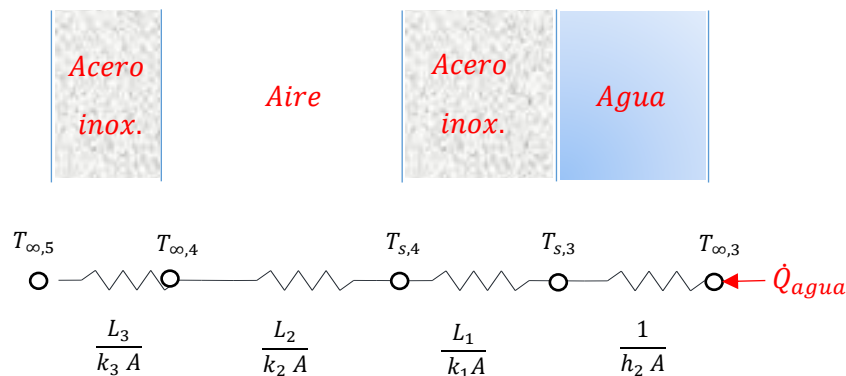


Figura 2.43. Diagrama de resistencias térmicas del proceso.

Las pérdidas de calor del agua se producen por conducción en las paredes del tanque de agua que es un recipiente rectangular se indica en la figura 2.44.

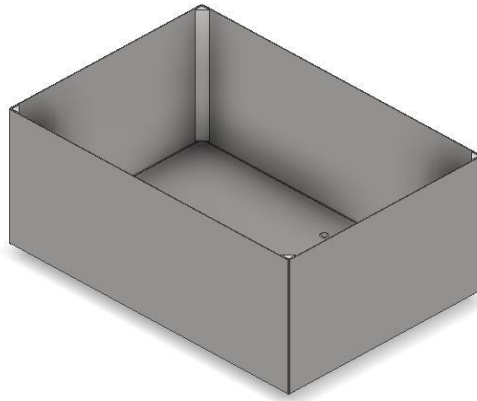


Figura 2.44. Tanque de agua.

Para calcular la pérdida de calor por convección, los coeficientes de transferencia de calor por convección h , se encuentran en el anexo 10, en donde se tiene un coeficiente de convección libre de líquidos promedio $h_2=525$ [W/m² K], se sabe que el tanque está encerrado con una carcasa, que cuenta con aire estancado con un coeficiente de transferencia de calor, según el anexo 11, $k_2=0,026$ [W/m K], con la ayuda de un software de diseño asistido se obtiene el valor de las superficies de contacto $A=0,54$ m², y un k_3 (acero inoxidable AISI 304@300K) =14,9 [W/m K], así se determina una resistencia térmica equivalente siguiendo la ec. (2.54) (Incropera, 1999).

$$R_{t,agua} = \frac{1}{h_3 A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \frac{L_1}{k_1 A} + \frac{1}{h_2 A} \quad (2.54)$$

Conocida la resistencia térmica equivalente $R_{t,agua} = 1,03$ [K/W], además conociendo el calor que se necesita para elevar la temperatura del agua, suponiendo que la temperatura $T_{\infty,3}$ es la temperatura superficial de la pared del tanque de agua $T_{\infty,3} =74,98$ °C, y que la temperatura ambiental de Quito $T_{\infty,5}$ es de 14 °C, se calcula la pérdida de calor debido a la conducción del tanque de agua, siguiendo la ec. (2.55).

$$q_x = \frac{(T_{\infty,3} - T_{\infty,5})}{R_{t,agua}} \quad (2.55)$$

Conocido el calor perdido por conducción del tanque de agua $q_x = 59,22 W$, se determina en 15 minutos, cuanto calor se va a perder en este tiempo despejando de la ec. (2.56), $Q_{perdido} = 53,3 kJ$. Dado que este valor de pérdida solo representa un 1,03 %, se puede despreciar.

$$q_x = \frac{Q_{perdido}}{t} \quad (2.56)$$

Para el cálculo del enfriamiento del chocolate, se tiene un proceso parecido al del calentamiento únicamente, se parte de un proceso que empieza en una temperatura inicial de 58°C y una final de 28°C, así la energía para enfriar el chocolate se calcula siguiendo la ec. (2.57).

$$Q_{choc} = mCp(\Delta T) \quad (2.57)$$

El enfriamiento que necesita el chocolate es $Q_{choc} = 168 kcal = 702,91 kW s$, este enfriamiento según los requerimientos del cliente, se realiza en un tiempo estimado de 15 min, siguiendo la ec. (2.58), $\dot{Q}_{choc} = 781 W$.

$$\dot{Q}_{choc} = \frac{Q_{choc}}{t} \quad (2.58)$$

Así se determina en base a la energía que se debe extraer del chocolate, la potencia de enfriamiento, realizando un balance de energía con la ec. (2.59) (Cengel, 2012), que se realiza tomando como volumen de control al recipiente en donde se encuentra el chocolate.

$$E_{entrada} - E_{salida} = \Delta E_{sistema} \quad (2.59)$$

Así se tiene que el calor perdido por transferencia de calor es la energía de entrada de este sistema y la variación de la energía del sistema corresponde al enfriamiento: del agua y chocolate, según se indica en la ec. (2.60).

$$Q_{enfriamiento} = Q_{perdidas} - Q_{agua} - Q_{choc} \quad (2.60)$$

El enfriamiento del sistema corresponde a un $Q_{enfriamiento} = 4571,6 \text{ kJ}$, que en 15 minutos de enfriamiento necesita una potencia $\dot{Q}_{enfriamiento} = 5,08 \text{ kW}$. Una vez conocida la energía de enfriamiento, se calcula la temperatura mínima del agua T_c , considerando que el agua va a enfriar al chocolate, conocida la $T_h = 74,98 \text{ }^\circ\text{C}$, se determina la T_c siguiendo la ec. (2.61).

$$Q_{agua,enfriamiento} = mC_p(\Delta T) \quad (2.61)$$

La temperatura del tanque de agua debe permanecer en $T_c = 23,28 \text{ }^\circ\text{C}$, en donde el tanque de agua se puede considerar como una cámara de mezclado, que previamente el agua se encuentra en $T_h = 74,98 \text{ }^\circ\text{C}$, y una temperatura de ingreso del agua de $T_i = 16 \text{ }^\circ\text{C}$, así se calcula la cantidad de agua necesaria para enfriar en el tanque, con un balance de masa y energía, siguiendo la ec. (2.62) (Cengel, 2012), en donde se elimina el término de $C_{p,agua}$, y se determina la masa de agua necesaria para el enfriamiento del sistema.

$$m_{agua,tanque}(T_h - T_c) = m_{agua,enfriamiento}(T_c - T_i) \quad (2.62)$$

La cantidad de agua que se necesita es $m_{agua,enfriamiento} = 113,62 \text{ lt}$, que van a ser suministrados por la red de la empresa de agua de Quito, en donde se tiene un caudal promedio del agua de $0,242 \text{ [lt/s]}$, que se tarda $7,82$ minutos en completar esta masa de agua. Sin embargo, como el enfriamiento debe tardar 15 minutos se hace necesario reducir el caudal aproximadamente a la mitad de $0,126 \text{ [lt/s]}$.

Con los cálculos de calentamiento y enfriamiento de chocolate se obtiene una curva de temperatura tiempo, según el diseño realizado que se indica en la figura 2.45.

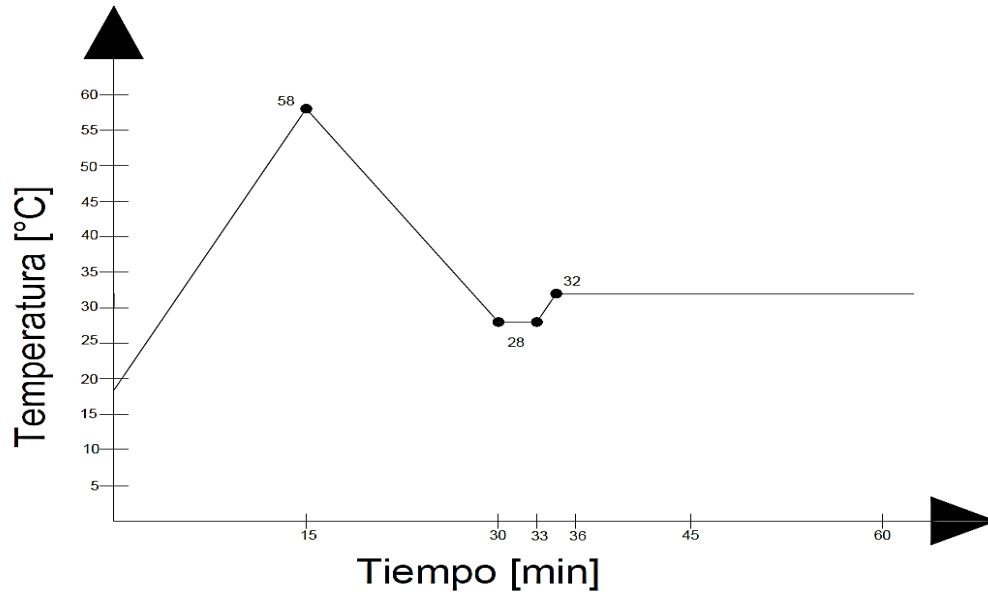


Figura 2.45. Diagrama de temperatura-tiempo deseado.

Para calcular el perfil de la estructura que debe soportar las vibraciones y pesos, se enlista en la tabla 2.37 las cargas a la cual va a estar sometida la estructura:

Tabla 2.37. Cargas de la máquina.

Nro.	Descripción	Carga [kg]
1	Motor ½ Hp	10
2	Reductor de velocidad	5
3	Chocolate	10
4	Fluido de trabajo (agua)	16
5	Peso propio	25
6	Componentes eléctricos	2
7	Carcasa	10
	TOTAL	78

Con esta información se realiza una simulación de las cargas, colocando cada una en donde van a estar distribuidas espacialmente, así mismo se han considerado que los soportes de la máquina son apoyos simples, tal como se puede observar en la figura 2.46.

Figura 2.46. Diagrama de cargas sobre la estructura.

La estructura va a ser de acero inoxidable, debido a las especificaciones técnicas, este material posee una resistencia a la fluencia $S_y=205,93$ MPa según el anexo 12. Así se debe asegurar que la estructura soporte todas las cargas con un factor de seguridad FS.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{MC}{I_{xx}} = \frac{M}{S_{xx}} \quad (2.63)$$

$$\frac{M}{S_{xx}} \leq [\sigma]_{Material} = \frac{S_y}{FS} \quad (2.64)$$

$$S_{xx} \geq \frac{M}{[\sigma]_{Material}} \quad (2.65)$$

Se considera un factor de seguridad de $FS=3$, en la estructura debido a que se puede llegar a tener accidentes humanos en donde la estructura debe soportar el peso de una persona, el cual no fue considerado en las cargas de la estructura, obteniendo así el esfuerzo que debe soportar el material, siguiendo la ec. (2.66) (Hibbeler, 2011).

$$[\sigma]_{Material} = \frac{S_y}{FS} \quad (2.66)$$

Se obtiene un esfuerzo del material $[\sigma]_{Material}=68,64 \text{ Mpa} = 68,64 \text{ [N/mm}^2\text{]}$, con esto se calcula el momento de inercia S_{xx} siguiendo la ec. (2.67), de tubos cuadrados de acero inoxidable, según el anexo 13 se selecciona 2 perfiles cuadrados correspondientes a $\frac{3}{4}$ [in] con un $I_{xx,1}=0,53 \text{ cm}^4$, $c=1\text{cm}$ y otro perfil cuadrado de 1 [in] $I_{xx,2}=0,696 \text{ cm}^4$ y un $c=1,25 \text{ cm}$.

$$S_{xx,n} = \frac{I_{xx}}{C} \quad (2.67)$$

Determinando que el tubo de $\frac{3}{4}$ [in] tiene un $S_{xx,1}=0,53 \text{ cm}^3$ y el tubo de 1 [in] tiene un $S_{xx,2}=0,87 \text{ cm}^3$, así para seleccionar el tubo cuadrado que soporte las cargas se debe considerar el momento máximo que soporta la estructura, el cual se obtuvo mediante el software Robot Structural, en donde se obtiene los resultados que se encuentran en la tabla 2.38 obteniendo un momento máximo en los elementos de $M=0,04 \text{ kNm}$.

Tabla 2.38. Cargas globales máximas de la estructura.

Nro	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
MAX	3,64	0,02	0,54	0,00	0,04	0,01
Member	7	17	32	21	25	26
Node	11	22	30	23	30	31
Case	2	2	2	2	2	2
MIN	-0,23	-0,09	-0,54	-0,00	-0,04	-0,00
Member	36	26	32	36	32	12
Node	40	31	31	42	30	10
Case	2	2	2	2	2	2

Siguiendo con la ec. (2.65) (Hibbeler, 2011), se calcula el valor de la resistencia elástica que la estructura debe soportar $S_{xx} = 582,72 \text{ mm}^3 = 0,58 \text{ cm}^3$.

Figura 2.47. Diagrama reacciones de la estructura.

Así la resistencia elástica $S_{xx,2}=0,87 \text{ cm}^3$ del tubo cuadrado de 25x25 cm, es mayor que la resistencia elástica calculada $S_{xx} = 0,58 \text{ cm}^3$, por tanto, este es el perfil de tubo cuadrado que se selecciona para la estructura.

Para el control de temperaturas se tiene un control eléctrico On/Off conectado a 110 V, en donde las señales de entrada son los 3 sensores de temperatura, que envían señales que corresponden a los 3 picos del proceso en el tiempo que son definidas por: $T_1=58 \text{ °C}$, $T_2=28 \text{ °C}$ y $T_3=32 \text{ °C}$; las mismas que pueden ser definidas por el usuario de acuerdo a cada tipo de chocolate que se va a procesar.

En el circuito la letra C es un contactor que habilita el paso de corriente a la resistencia eléctrica, la letra E da una señal al contactor de la electroválvula para el enfriamiento, y los contactores T_1 , T_2 y T_3 corresponden a contactores de los 3 controladores de temperatura,

y se tiene 2 electroválvulas A1 y A2, las cuales envían las señales para la entrada y salida del agua, tal como se indica en la figura 2.48.

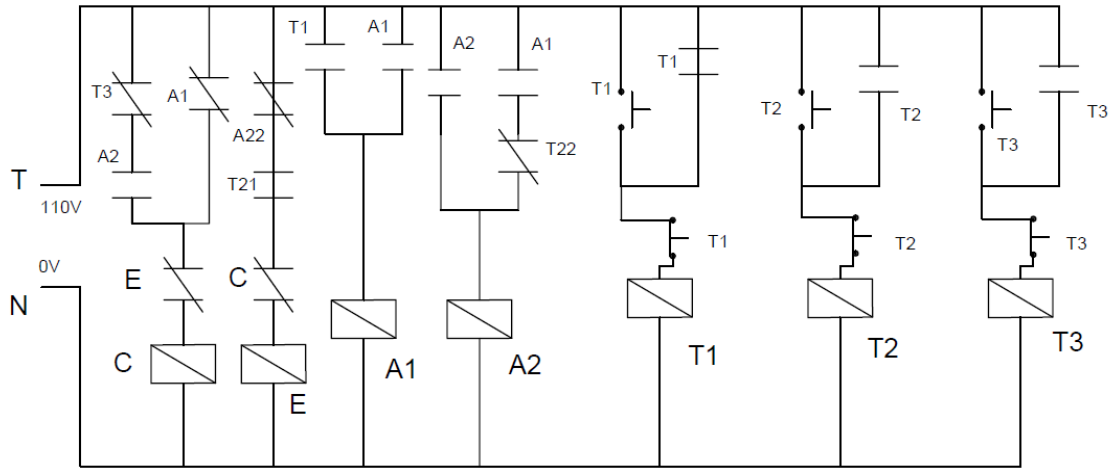


Figura 2.48. Circuito de control de temperatura.

Para la conexión de este circuito de control se cuenta con 6 relés simbolizados por la letra C, E, A1, A11, A2 y A22, los cuales activan y desactivan el proceso del calentamiento o del enfriamiento, tal como se indica en la figura 2.49.

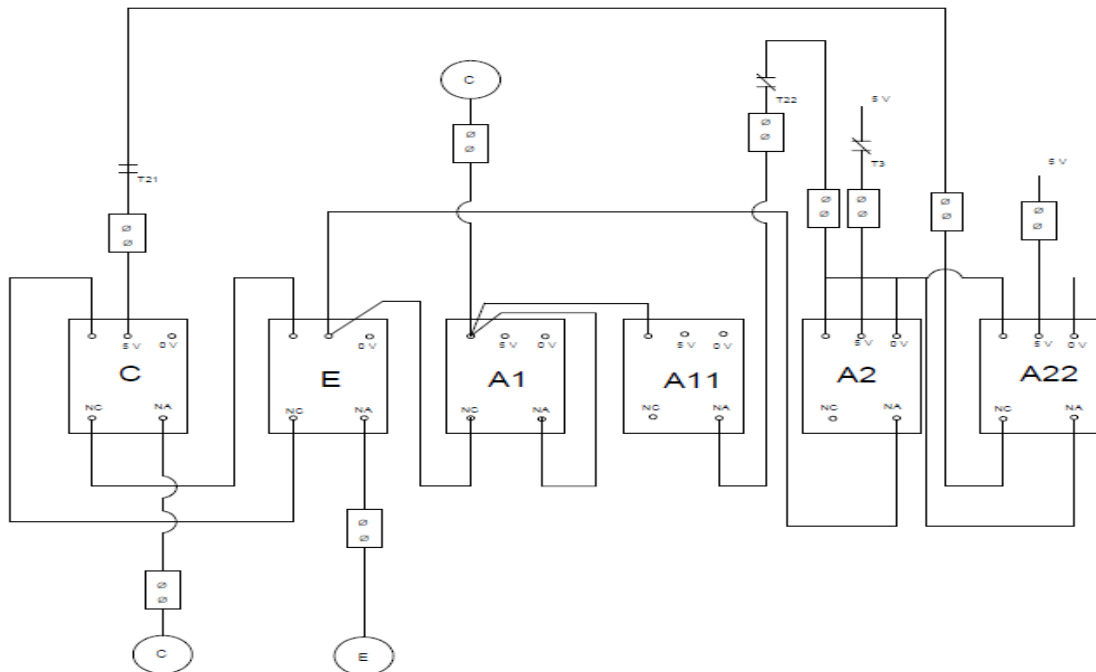


Figura 2.49. Conexiones del circuito de control de temperatura.

2.4. Documentación de fabricación

2.4.1. Construcción y montaje

Como punto de inicio se tuvo que realizar el corte de los tubos cuadrados de acero inoxidable, que corresponden a la estructura como se indica en la figura 2.50:



Figura 2.50. Corte de tubos cuadrados.

Así mismo las placas de soporte del motor y del reductor de velocidades se cortaron y taladraron, como se indica en la figura 2.51:



Figura 2.51. Corte de placas soporte.

Una vez terminado el corte, se realizó la soldadura de los tubos, en donde se asegura que la estructura tenga estabilidad, como se indica en la figura 2.52:



Figura 2.52. Estructura finalizada.

Finalmente se montó el reductor de velocidades y el motor con su respectiva alineación, para reducir al mínimo las vibraciones, como se indica en la figura 2.53.

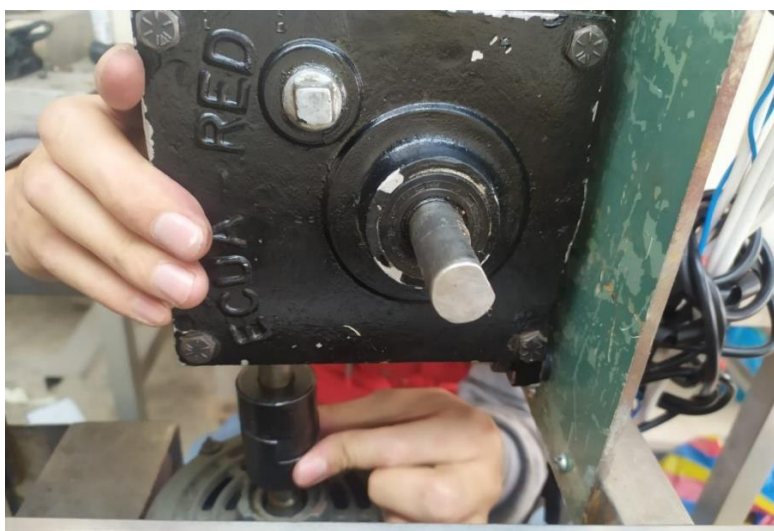


Figura 2.53. Alineación del eje motor-reductor.

2.4.2. Costos

Los costos se dividen en 3 partes: la materia prima en donde están los planchas y tubos; los materiales normalizados que corresponden a las partes que ya están terminadas; la mano de obra que se divide en 2 partes debido al servicio de soldadura y de máquinas especiales como torno y doblado.

Tabla 2.39. Materia prima.

Pieza	Dimensiones [mm]	Cantidad	Kg/m	Descripción		
				Kg total	\$/kg	USD
Perfil cuadrado acero inoxidable AISI 304	254 x 254 x 1,2	20 [m]	0,91	18,2	5,35	97,37
Perfil cuadrado acero inoxidable AISI 304	20 x 20 x 1,2	1 [m]	0,41	1,15	2,5	2,87
Tol acero inoxidable AISI 304 (tanque)	766 x 976 x 3	1		11,74	4,04	47,43
Plancha de acero A36	175 x 523 x 3	1		2,16	3,5	7,56
Plancha de acero inoxidable AISI 304 (Carcasa)	1200 x 0,7	3,6 [m]	6,6	23,74	4,7	111,57
Tol acero inoxidable AISI 304 (Placa base)	504 x 320 x 3	1		3,8	4,04	15,35
Tol acero inoxidable AISI 304 (Placa de raspador)	456x455x2	1		3,26	3,75	12,22
Plancha de acero A-36 (motor)	379 x 276 x 2.5	1		1,64	3,5	5,74
Eje acero 1.25 [in]	31.75	0,13 [m]	5,92	0,77	4,5	3,46
Plancha de Grilón	500 x 500x 10	1		2,85	4,8	13,68
Plancha de acero inoxidable AISI 304 (Agitador)	116 x 99 x3	1		0,27	4,04	1,09
TOTAL						318,34

Tabla 2.40. Materiales normalizados.

Nro	Pieza	Cantidad	Precio unitario	Costo total
1	Pernos M10x 35[mm]	4	0,15	0,6
2	Pernos M12 X35 [mm]	4	0,18	0,72
3	Pernos M5 X 30 [mm]	4	0,09	0,36
4	Pernos M5X 25 [mm]	4	0,07	0,28
5	Pernos M5X 35 [mm]	6	0,08	0,48
6	Sensor de temperatura	3	0,12	0,36
7	Botón control de temperatura	2	0,10	0,2
8	Botón del motor	1	0,04	0,04
9	Caja de control automático	1	0,15	0,15
10	Controlador de temperatura	3	0,07	0,21
11	Tornillo Allen M8 x35	1	0,08	0,08
12	Tornillos DIN 7985	70	0,09	6,3
13	Bandeja Acero Inox. 20 [cm]	1	35	35
14	Acople flexible	1	40	40
15	Manguera flexible 1/2 [in]	4	2,5	10

16	Acople universal 3/4 [in]	3	2,5	7,5
17	Electroválvula D506DVY	4	25	100
18	Codo 90° 1/2 [in]	5	1,25	6,25
19	Tee PVC 1/2 [in]	2	0,7	1,4
20	Niple NPS	3	0,5	1,5
21	Válvula de globo	1	7	7
22	Conectores PVC 1/2 [in]	17	1,75	29,75
23	Resistencia Eléctrica	1	100	100
24	Niple Out	3	2	6
25	Niple RE	1	2	2
26	Niples IN, OUT and Safety	3	2	6
27	Pasador eje-reductor	1	0,75	0,75
28	Pasador motor	1	0,75	0,75
29	Pasador reductor	1	0,75	0,75
30	Reductor CMIS063	1	50	50
31	Motor WEG ½ Hp	1	100	100
			TOTAL	514,43

Tabla 2.41. Uso de máquinas-mano de obra.

Operación	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Torno	Hora	0,5	8	4
Soldadura	Hora	5	8	40
Taladrado	Hora	5	4	20
Corte y amolado	Hora	6	4	24
Esmerilado	Hora	1	3	3
Doblado	Hora	0,5	10	5
			TOTAL	96

Tabla 2.42. Servicio de soldadura TIG y montaje del soporte del motor.

Operación	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Doblado	Hora	1	10	10
Soldadura eléctrica	Hora	5	8	40
Taladrado	Hora	2	4	8
Corte	Hora	4	4	16
Esmerilado y pulido	Hora	3	3	9
Soldadura TIG	Hora	10	10	100
			TOTAL	183

Tabla 2.43. Costo total.

COSTO TOTAL	
Detalle	Costo
Materiales	318,34
Materiales normalizados	514,43
Mano de obra	279
SUB TOTAL	1111,77
Imprevistos 3%	33,35
Montaje 6 %	66,71
Diseño 30 %	333,53
TOTAL	1545,36

2.4.3. Protocolo de pruebas y calibración de la máquina

Para el protocolo de pruebas se inicia con una verificación de las vibraciones producidas por la máquina, ya que cuenta con un sistema de agitación del chocolate mediante un motor, que va a ser la única fuente de energía cinética, que puede transformarse en vibraciones. Por esta razón se debe absorber las vibraciones por la estructura, reduciendo al mínimo el nivel de ruido consecuencia de las vibraciones causadas generalmente por desalineaciones, movimiento de partes móviles debido a un mal ajuste, así mismo se debe balancear las cargas de la máquina.

Para el calentamiento del agua se verifica la conexión de la resistencia eléctrica hacia el suministro de energía de 220 V para un calentamiento que permita el correcto funcionamiento según el diseño de este sistema, y que se encuentre correctamente conectada para evitar que se electrifique la estructura evitando accidentes humanos. De igual manera se debe verificar que la resistencia eléctrica se encuentre sumergida en agua, ya que puede llegar a fundirse debido a sus características de funcionamiento.

Para el enfriamiento se comprueba que se tenga un flujo de ingreso de agua fría disponible hacia el tanque, así mismo se debe revisar que se tenga un nivel del tanque de agua que corresponde a 16 litros, ya que de esto depende el funcionamiento óptimo. Se debe tener en cuenta la regulación de la válvula de paso de ingreso de agua para que sea igual al flujo de salida de agua para que se mantenga un nivel constante de agua en el tanque para un correcto funcionamiento.

Finalmente, según las consideraciones de diseño se debe cargar la bandeja con 10 Kg de chocolate, se debe tener cuidado con las temperaturas de templado que corresponden a cada tipo de chocolate que se va a procesar, la masa del chocolate tiene que estar en estado líquido para garantizar la homogeneidad del mezclado y que se tenga la misma temperatura en todo el volumen, cumpliendo con exactitud el proceso del control de temperatura y tiempo.

Así el protocolo de pruebas que se establece para tener un correcto funcionamiento de la máquina templadora del chocolate se basa en: montaje, puesta a punto, y condiciones iniciales, las cuales se especifican cada una de estas en la tabla 2.44:

Tabla 2.44. Protocolo de pruebas.

PROTOCOLO DE PRUEBAS		
PUESTA A PUNTO		
Empresa: EPN	TEMPLADORA DE CHOCOLATE	Fecha: 14/09/2021
Verificación: López Lara Diego Xavier Oña Guallasamín César Daniel		Página 1
Verificación de vibraciones		
Prueba	Cumple	No cumple
1. Alineación del eje del motor y motorreductor	X	
2. Alineación horizontal del eje del disco agitador	X	
3. Colocación del raspador respecto al disco agitador	X	
Verificación de sistema de calentamiento y enfriamiento de agua		
Prueba	Cumple	No cumple
4. Nivel inicial de agua	X	
5. Nivel constante del agua en el proceso	X	
6. Conexión eléctrica de 220 V	X	
Funcionamiento de la templadora de chocolate		
Prueba	Cumple	No cumple
7. Temperaturas máxima y mínima del chocolate	X	
8. Homogeneidad de la temperatura de la masa	X	
9. Exactitud en la temperatura del chocolate	X	
Templado del chocolate		
Prueba	Cumple	No cumple
1. Brillo y textura	X	
2. Ausencia de defectos	X	
Conclusión		
Prueba	Cumple	No cumple
Prototipo	X	
Observaciones:		

2.4.4. Análisis de resultados

El chocolate que va a ser puesto a prueba corresponde a un chocolate amargo del 100%, que fue suministrado por la empresa chocolates ELI, el cual inicialmente se encontró en un estado sólido a una temperatura de 14 °C, tal como se indica observa en la figura 2.54 que se encuentra con un chocolate con fallas de templado con marcas blancas.



Figura 2.54. Estado inicial del chocolate.

Posteriormente se pone en marcha la máquina, en donde se tiene que derretir el chocolate activando el sistema con un botón que sigue la secuencia programada, hasta que en los 38 °C se derrite el chocolate y con otro botón se activa el agitador, para lograr la uniformidad de la temperatura en el proceso, en la figura 2.55 se observa que el chocolate presenta aún algunos pedazos sólidos, los cuales se van derritiendo mientras sigue el proceso de templado.



Figura 2.55. Proceso de templado del chocolate.

Finalmente, una vez completado el proceso se moldea el chocolate templado en moldes de 50 gramos como se observa en la figura 2.56, para realizar las pruebas necesarias y observar el brillo del chocolate que es lo que se desea como producto final de la máquina.



Figura 2.56. Moldeo del chocolate.

Una vez moldeado el chocolate en la fábrica de chocolates ELI, se enfría el producto y se desmolda, una vez solidificado el chocolate se comprueba el estado final del chocolate, evaluando así la máquina y el templado del chocolate en la tabla 2.45.

Tabla 2.45. Resultados del protocolo de pruebas.

RESULTADOS DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS		
COMPROBACIÓN		
Empresa: Chocolates ELI	TEMPLADORA DE CHOCOLATE	Fecha: 30/09/2021
Verificación: Ing. Jorge López		Página 1
Verificación de vibraciones		
Prueba	Cumple	No cumple
1. Alineación del eje del motor y motorreductor	X	
2. Alineación horizontal del eje del disco agitador	X	
3. Colocación del raspador respecto al disco agitador	X	
Verificación de sistema de calentamiento y enfriamiento de agua		
Prueba	Cumple	No cumple
4. Nivel inicial de agua	X	
5. Nivel constante del agua en el proceso	X	
6. Conexión eléctrica de 220 V	X	
Funcionamiento de la templadora de chocolate		
Prueba	Cumple	No cumple
7. Temperaturas máxima y mínima del chocolate	X	
8. Homogeneidad de la temperatura de la masa	X	
9. Exactitud en la temperatura del chocolate	X	
Templado del chocolate		
Prueba	Cumple	No cumple
1. Brillo y textura	X	
2. Ausencia de defectos	X	
Conclusión		
Prueba	Cumple	No cumple
Prototipo	X	
Observaciones: Se cumplió el templado del chocolate de manera satisfactoria		

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez templado el chocolate, se observa el estado final del producto a partir del desmoldeo en la figura 2.57 después de 6 horas, figura 2.58 después de 24 horas y figura 2.59 después de 48 horas.



Figura 2.57. Chocolate después de 6 horas.



Figura 2.58. Chocolate después de 24 horas.



Figura 2.59. Chocolate después de 48 horas.

Los resultados de la temperatura en el tiempo del chocolate se observan en la figura 2.60.

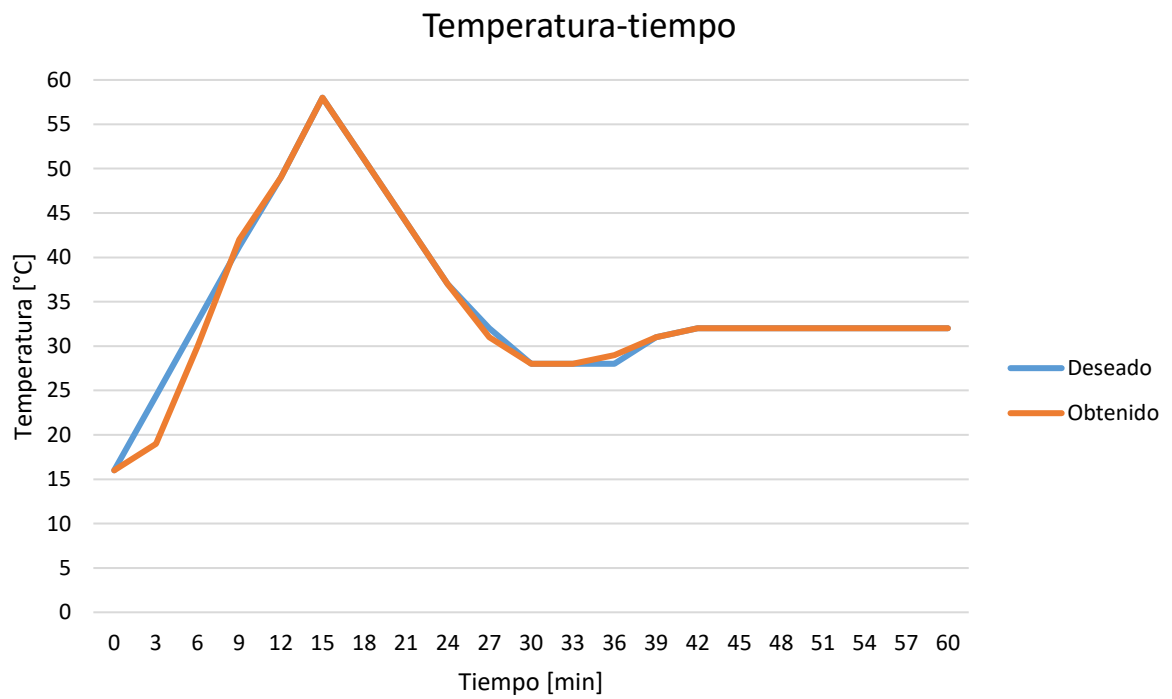


Figura 2.60. Diagrama temperatura-tiempo resultado.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez terminado el trabajo del diseño y construcción de la máquina templadora de chocolate, se toman en consideración factores para el mejoramiento del diseño y otros factores importantes para realizar las conclusiones y recomendaciones de este trabajo.

4.1. Conclusiones

Se cumplió satisfactoriamente con el diseño y construcción de la máquina templadora de chocolate, la cual ha resultado efectiva en cuanto a su relación costo beneficio, por lo cual se vuelve factible la compra de esta máquina dedicada para las pequeñas y medianas empresas dedicadas a la fabricación del chocolate.

La recopilación de la información sobre los equipos existentes para el templado del chocolate, resultó compleja debido a que la literatura técnica resultó escasa ya que las empresas que fabrican el chocolate han desarrollado sus propios modelos de templadoras patentadas, que se vuelve difícil obtener información sobre esta tecnología.

Conjuntamente con la empresa chocolates ELI, se logró establecer las especificaciones técnicas para el diseño de la máquina templadora de chocolate, con esta información se logró satisfacer las necesidades de las pequeñas y medianas empresas dedicadas a la elaboración de chocolates.

Se consiguió seleccionar los elementos de la máquina templadora del chocolate para su fácil mantenimiento y cambio de repuestos, los cuales se encuentran en el mercado nacional. Así mismo se logró satisfactoriamente la construcción de cada módulo que constituye la máquina, en donde se decidió instalar un motor y reductor de velocidades, en vez de motorreductor de un solo cuerpo, debido a un tema de costos, resultando con esto vibraciones no deseadas.

Se logró que el chocolate se temple de acuerdo a lo requerido mediante el cumplimiento del protocolo de pruebas realizadas, en donde se evaluó la calidad del chocolate templado, consiguiendo así la mejora en cuanto a la superficie brillante del chocolate a comparación de la manera artesanal, en donde no se conserva el sabor y el aroma del chocolate.

Para ensamblar y calibrar la máquina de templado de chocolate, se tiene que establecer las temperaturas del templado de acuerdo al tipo de chocolate que se va a procesar dependiendo de cada empresa, además se redujeron los defectos en el templado tales como: grumos, opacidad y blanqueo de chocolate que se presentaban antes de la utilización de la máquina templadora.

Con la adquisición de esta máquina se espera que aumente la capacidad de producción artesanal que se tenía de 48 a 120 Kg/mes, que son los datos compartidos por la empresa chocolate Don Eli.

El uso de botones independientes: uno para el motor, otro para el sistema de calentamiento-enfriamiento del chocolate, fueron de gran utilidad debido a que el operario puede realizar el templado del producto con una mayor facilidad, ya que el chocolate puede estar en estado líquido o sólido evitando con esto quemar el producto o romper alguna parte del sistema de agitación.

4.2. Recomendaciones

Se puede duplicar la capacidad de producción por hora si se aumenta el volumen de la bandeja de almacenamiento, al obtener una bandeja con mayor profundidad, además es necesario incrementar el diámetro del disco mezclador para que este mezcle el chocolate, generando una afectación en los tiempos de procesamiento diseñados.

Si se quiere aumentar la velocidad de procesamiento en el calentamiento del chocolate, se recomienda instalar otra resistencia eléctrica de acuerdo a las dimensiones del tanque de agua, y comprobando en los planos que no existan interferencias con otros componentes de la máquina.

Para una mayor exactitud y precisión en el control de temperatura se recomienda usar un PLC en lugar de los controladores de temperatura, aunque es más costoso se puede mejorar el control del proceso de templado del chocolate de una manera más estricta.

Se recomienda tener un control de las condiciones ambientales durante el proceso de templado, ya que puede generar humedad en el producto afectando así en la calidad del

chocolate, en esos casos se recomienda la instalación de una tapa en la bandeja donde se encuentra el chocolate para no afectar el producto final.

Para mejorar el consumo de agua de la máquina se recomienda a las empresas tener un tanque de almacenamiento en donde haya una recirculación sin desperdicio de agua, en donde es necesario tener una bomba sumergida en el tanque para generar una presión que permita recircular el fluido de trabajo en la máquina, únicamente se debe revisar periódicamente el nivel del agua en el tanque debido a la evaporación que se genera en el calentamiento del proceso.

Se recomienda utilizar una válvula de alivio de presión en la tubería, ya que al manejar altas temperaturas se puede generar peligros por la evaporación de agua, además para tener un mayor control del nivel de agua en el tanque, se recomienda instalar sensores que aseguren que el nivel del agua se mantenga constante durante todo el proceso, de esta manera no habrá afectaciones en el tiempo de templado.

Para mejorar la velocidad de procesamiento de la máquina se debe instalar un sistema en el cual el chocolate sea el fluido que sea empujado hacia zonas calientes y frías para completar el templado, esto implica un mayor costo tanto en diseño como en componentes.

Si se desea tener un menor nivel de ruido y vibraciones, se tiene que reemplazar los dos componentes: motor y reductor de velocidades, por un motorreductor de un solo cuerpo el cual está diseñado para reducir el descentramiento de ejes.

Referencias Bibliográficas

- Afoakwa, E. (2010). *Chocolate Science and Technology*. Wiley & Sons Ltd. Recuperado de: http://ssu.ac.ir/cms/fileadmin/user_upload/ivfen/ensite/lib/075-Chocolate_Science_and_Technology-Emmanuel_Ohene_Afoakwa-1405199067-Wiley_Blackwell-2010-310-.pdf
- Achilleos, C. Friligkos, S. (2016). Melts in your viscometer, not in your hand, teaching viscosity can be sweetened by using chocolate. *Science in School*. Recuperado de: <https://www.scienceinschool.org/content/melts-your-viscometer-not-your-hand>
- Alulema, R. Granda, L. (2012). Producción chocolatera en Ecuador: Propuesta para incrementar el potencial productor y exportador. Recuperado de: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2653/14/UPS-GT000302.pdf>
- Aasted. (2021). Laboratory equipment. Denmark. Recuperado de: <https://brochure.aasted.eu/Aasted/EnglishBrochures/ChocolateBrochures/aasted-laboratory-equipment/?page=4>
- Bayés, L. Cuevas, M. Calvet, T. (2018). Deliciosos Polimorfos. *Tierra y Tecnología* N° 49. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.21028/lbg.2017.01.09>
- Beckett, S. (2009). *Industrial chocolate manufacture and use*. Wiley & Sons Ltd. Fourth Edition. United Kingdom. Formerly Nestlé PTC. Recuperado de: <https://assets.thalia.media/doc/52/7c/527cfc72-cc84-42bc-8b22-57c76d540e91.pdf>
- Cabanzón, J. (2018). Diseño y cálculo de un intercambiador de calor (Design and Analysis of a Heat Exchanger). Recuperado de: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/13702/407960.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carvache, O. Gutiérrez, G. Frías, C. (2018). Incidencia de la innovación y la tecnología en el desarrollo competitivo de las pequeñas y medianas empresas (PYMES) exportadoras de Guayas-Ecuador. *Revista ESPACIOS*. Vol. 39 (N° 47). Recuperado de: <http://www.revistaespacios.com/a18v39n47/18394737.html>
- Cengel, Y., & Boles, M. (2012). *Termodinámica*. (7ma edición). México: McGraw-Hill.
- Cengel, Y., & Cimbala, J. (2006). *Mecánica de Fluidos: Fundamentos y aplicaciones*. (1er edición). México: McGraw-Hill.
- DELANI. (2021). Templadora automática THERMINATOR II / III. Recuperado de: <https://www.delanitrading.com/wp-content/uploads/2020/02/therminator.pdf>
- Incropera, F., & DeWitt, D. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. (4ta edición). México: Pearson Educación.
- Investigación y ciencia. (2015). "Chocolate al canva". *Prensa Científica Barcelona Muntaner* 339, pral 1ª. Recuperado de: <https://www.investigacionyciencia.es/blogs/fisica-y-quimica/24/posts/chocolate-al-cava-13783>
- FayerWayer. (2007). "Distintos tipos de refrigeración". Recuperado de: <https://www.fayerwayer.com/2007/03/distintos-tipos-de-refrigeracion/>
- Gaviria, G. (2015). "Análisis de la gestión actual de marketing de exportaciones realizada por las pymes exportadoras de la industria de chocolate procesado del Ecuador. teoría y evidencia. periodo 2015-2018". Recuperado de:

<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13845/Tesis%20Gustavo%20Gaviria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Hibbeler, R., (2011). *Mecánica de materiales*. (8va edición). México: Pearson Educación.
- Jácome W. (2015). Diseño de una planta de elaboración de chocolate negro y chocolate con leche a partir de licor de cacao. Recuperado de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/12608/1/CD-6670.pdf>
- Juyou CE. (2021). "Approved Machine To Make Chocolate" Recuperado de: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/juyou-ce-approved-machine-to-make-chocolate-small-chocolate-moulding-machine-chocolate-tempering-machine-60813937492.html?spm=a2700.8699010.29.26.6b865421qDBIU>
- Laborbedarf Bochem Lab Supply. (2013). "¿En qué se diferencian los tipos de agitadores?". D-35781 Weilburg. Industriestraße 3 Recuperado de: <http://www.bochem.com/es/Información+útil/Tipos+de+agitadores.html>
- Lozada V. (2014). Temperado de chocolate. *Boletín Científico De Las Ciencias Económico Administrativas Del ICEA*, 2(4). Recuperado de: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icea/article/view/91/4022>
- Martínez H. (2006). Estructura y dinámica en Colombia 1992-2005. Recuperado de: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4678/1/0103-1.pdf>
- McCabe y Smith. (2003). Operaciones Básicas de Ingeniería Química. Barcelona: Reverté Recuperado de: http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/mezclado_fluidos.pdf
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos aplicada* (6ta. edición). México: Pearson Educación.
- Padar, S. Jeelani, S. Windhab, E. (2008). Crystallization Kinetics of Cocoa Fat Systems: Experiments and Modeling. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 85(12):1115-1126. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/225355135_Crystallization_Kinetics_of_Cocoa_Fat_Systems_Experiments_and_Modeling#read
- Palacio E., Hurtado J., Arroyave J., Cardona M., Martínez J. (2018). Edulcorantes naturales utilizados en la elaboración de chocolates. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 142. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v15n2/v15n2a16.pdf>
- Pérez G. (2006). Mejora en el Proceso de Templado de Chocolate en una Industria Chocolatera Ecuatoriana. Recuperado de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/1729>
- Pardo M. (2013). Diseño, Construcción de una Máquina Fundidora y Mezcladora de Chocolate. Recuperado de: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/7580/1/136595.pdf>
- Peña Ramos, R. E., & Parra Sosa, J. H. (2007). Diseño Prototipo de Máquina para fundir chocolate. Pereira-Risaralda: Tesis de Tecnología Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1112/66392P349.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Prefamac. (2021). Temperadora de chocolate 30kg / 80kg. Recuperado de: <http://www.prefamac.com/es/no-industriales-temperadoras-30kg-80kg>

- Rincón, J. Herrera, M. (2013). Chocolate. Revista Ciencia e Investigación, (63), 55-62
Recuperado de: <http://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2018/01/RevistasCel/tomo63-2/Rev-N63-2-2013.pdf>
- Rosero, L. (2016). El Ecuador y la política pública en la inserción del comercio internacional: estudio de caso sobre la cadena de valor del cacao-chocolate, 2007-2014. Recuperado de: <https://repositorio.iaen.edu.ec/bitstream/24000/4599/1/Lucia%20Rosero.pdf>
- Seyfried, C. Granvogl, M. (2019). Characterization of the Key Aroma Compounds in Two Commercial Dark Chocolates with High Cocoa Contents by Means of the Sensomics Approach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 5830-5831. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b06183>
- Sensorde. (2018). “¿Qué sensor necesitas?” Recuperado de: <https://sensorde.net>
- Shigley, J. Mischke, C. Budynas, R. (2012) Shigley's Mechanical Engineering Design México, 9na Edición Mc Graw Hill.
- Solórzano, R. (2016). “Principios Ingenieriles Básicos - Bombas Hidráulicas”, *Hidraulics & Pneumatics* .Recuperado de: <https://www.hydraulicspneumatics.com/hp-en-espanol/article/21886594/principios-ingenieriles-bsicos-bombas-hidraulicas#:~:text=Las%20bombas%20centrífugas%20y%20de,el%20caudal%20baja%20a%20cero.>
- Solórzano, E. Amores, F. Jiménez, J. Nicklin, C. Barzola, S. (2015). Comparación sensorial del cacao (*Theobroma cacao* L.) Nacional fino de aroma cultivado en diferentes zonas del Ecuador. *Ciencia y tecnología*. 8(1): 37-47. <https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/view/142/156>
- Riba C. (2002). Diseño Concurrente. Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36754/9788498800746.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rosero, L. (2016). El Ecuador y la política pública en la inserción del comercio internacional: estudio de caso sobre la cadena de valor del cacao-chocolate, 2007-2014. Recuperado de: <https://repositorio.iaen.edu.ec/bitstream/24000/4599/1/Lucia%20Rosero.pdf>
- R&M (2021). Chocolate Tempering machine small. Recuperado de: https://spanish.alibaba.com/product-detail/mini-tempered-chocolate-tempering-machine-small-mould-molding-melting-machinery-enrobing-maker-coating-chocolate-making-machine-1600182027829.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.1e8f47d8jimgDk
- Logicbus. (2018). “Sensores de temperatura”. Recuperado de: <https://www.logicbus.com.mx/sensores-temperatura.php>
- Tramontina. (2021). “Recipiente para alimentos acero inoxidable”. Recuperado de: <https://assets.tramontina.com.br/upload/tramon/imagens/FAR/61041110PNM001G.png>
- Valenzuela B., A. (2007). El chocolate, un placer saludable. *Revista Chilena de Nutrición*. (34), 3. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46934302>
- Vilgis, T. (2015). Soft matter food physics - The physics of food and cooking. *Reports on Progress in Physics*, 78(12):124602. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/283500188_Soft_matter_food_physics_-_The_physics_of_food_and_cooking#read

- Yi Chang, A. (2017). Importancia del proceso de temperado en la elaboración del chocolate a nivel industrial. Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3026/Q02-Y5-T.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Windhab, E. (2017). Tempering. Beckett's Industrial Chocolate Manufacture and Use, John Wiley & Sons Ltd. Recuperado de: https://mastermilk.com/uploads/biblio/beckett_s_t_ed_industrial_chocolate_manufacture_and_use.pdf
- Zanello, G., Fu, X., Mohnen, P., & Ventresca, M. (2016). The diffusion of innovation in the private sectors in Low-income Countries (LICs): A systematic literature review. ISSN 2045-5119. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/281671814_The_creation_and_diffusion_of_innovation_in_developing_countries_A_systematic_literature_review
- Woodhead Publishing in food science, technology and nutrition (2009). Science and technology of enrobed and filled chocolate, confectionery and bakery products. CRC Press ISBN: 9781439801369. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/book/9781845693909/science-and-technology-of-enrobed-and-filled-chocolate-confectionery-and-bakery-products>

Anexos

Anexo 1: Bandeja. Cubetas Gastronorm modelo GN.11

Cubetas Gastronorm (Grosor: Entre 0,7 y 0,8 mm)

Gastronorm Inox 18/10

	H mm	Litros	€		H mm	Litros	€		
 2/1 650 x 530 mm	GN.1	20	6,5	44,64	 1/1 530 x 325 mm	GN.7	20	3	21,70
	GN.2	40	12	50,34		GN.8	40	5,1	24,77
	GN.3	65	18,8	60,78		GN.72	55	7,3	25,28
	GN.4	100	28,9	70,91		GN.9	65	9,2	27,14
	GN.5	150	43,1	94,72		GN.10	100	14,2	35,81
	GN.6	200	58,4	117,94		GN.11	150	21,3	51,08
				GN.12	200	28,4	60,16		
 2/3 353 x 325 mm	H mm	Litros	€	 1/2 325 x 265 mm	H mm	Litros	€		
	GN.13	20	1,7		19,60	GN.19	20	1,2	14,14
	GN.14	40	3,1		24,77	GN.20	40	2	17,72
	GN.15	65	5,6		30,40	GN.21	65	4,1	20,72
	GN.16	100	9,1		36,64	GN.22	100	6,6	25,74
	GN.17	150	13,2		48,96	GN.23	150	9,7	29,95
GN.18	200	18,3	63,23	GN.24	200	12,7	41,12		
 1/3 325 x 175 mm	H mm	Litros	€	 1/4 265 x 162 mm	H mm	Litros	€		
	GN.46	20	0,9		13,41	GN.48	20	0,5	10,56
	GN.47	40	1,5		14,91	GN.29	65	1,8	15,01
	GN.25	65	2,5		16,86	GN.30	100	2,8	17,63
	GN.26	100	4,1		20,29	GN.31	150	4,1	24,90
	GN.27	150	5,8		34,60	GN.32	200	5,6	35,50
GN.28	200	7,9	38,90						
 1/6 176 x 162 mm	H mm	Litros	€	 1/9 176 x 108 mm	H mm	Litros	€		
	GN.33	65	1		14,11	GN.37	65	0,6	10,66
	GN.34	100	1,6		16,90	GN.38	100	1	15,30
	GN.35	150	2,4		23,81				
GN.36	200	3,5	32,96						

Asas móviles. Añadir ASM a la referencia de la cubeta elegida. **ASM.1 4,95 €**

Asas fijas. Añadir ASF a la referencia de la cubeta elegida. **ASF.1 13,20 €**



Gastronorm Inox 18/10 Perforadas

	H mm	€		H mm	€		
 2/1 650 x 530 mm	GN.66	20*	65,73	 1/1 530 x 325 mm	GN.79	20*	39,76
	GN.74	40*	69,50		GN.50	40*	45,25
	GN.75	65*	88,16		GN.51	55*	46,43
	GN.76	100**	109,18		GN.52	65*	49,79
	GN.77	150**	149,68		GN.53	100**	64,19
	GN.78	200**	183,38		GN.54	150**	97,25
	GN.55	200**	111,90				
 2/3 353 x 325 mm	H mm	€	 1/2 325 x 265 mm	H mm	€		
	GN.80	20*		30,59	HO.180	20*	91,80
	GN.56	40*		33,86	GN.62	65*	36,70
	GN.57	65*		41,63	GN.63	100**	45,12
	GN.58	100**		59,26	GN.64	150**	61,06
	GN.59	150**		79,62	GN.65	200**	86,86
	GN.60	200**		85,57			
			 1/3 325 x 175 mm	H mm	€		
				GN.81	20*	25,54	
				GN.67	40*	29,02	
				GN.68	65*	31,49	
				GN.69	100**	49,15	
			GN.70	150**	54,85		
			GN.71	200**	68,58		

* Fondo perforado

** Fondo y laterales perforados

Anexo 2: Motor y Reductor. TRANSTECNO- The modular gearmotor CM063

Rendimento			Rendimento											Efficiency	
	n ₁ [min ⁻¹]	Rendimento Rendimento Efficiency	Relación de reducción / Relação / Ratio												
			5	7.5	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100	
CM026	2800	Rd	89	87	85	83	80		73	68	64	60			
	1400		87	84	83	78	74		66	61	57	53			
	900		84	83	80	75	71		61	57	52	48			
		Rs	72	71	68	61	56	46	41	36	34				
CM030	2800	Rd	89	88	86	84	81	78	74	70	65	62	57	52	
	1400		86	85	84	79	75	72	67	62	58	55	48	43	
	900		84	83	81	75	71	68	62	58	53	49	43	39	
		Rs	72	67	63	55	50	43	39	35	31	27	23	21	
CM040	2800	Rd	90	89	87	84	83	80	77	73	69	66	60	56	
	1400		88	86	84	81	78	74	70	65	60	58	52	46	
	900		86	84	82	77	74	70	66	60	57	53	46	41	
		Rs	74	71	67	60	55	51	45	40	36	32	28	24	
CM050	2800	Rd	91	90	88	86	84	82	78	74	71	68	62	58	
	1400		89	87	85	82	79	76	72	67	63	60	54	49	
	900		87	85	84	79	75	72	68	62	59	55	48	43	
		Rs	73	70	66	59	55	51	44	39	35	32	27	23	
CM063	2800	Rd	91	90	88	86	84	83	79	76	73	70	65	60	
	1400		90	88	86	84	81	78	75	70	66	63	57	52	
	900		89	86	84	81	78	75	70	65	61	58	52	47	
		Rs	73	71	67	60	55	51	45	40	36	33	28	24	
CM070	2800	Rd	90	89	87	85	84	80	77	74	72	67	62		
	1400		89	87	84	82	80	76	72	68	65	60	53		
	900		87	85	82	79	77	72	67	63	60	54	49		
		Rs	72	69	62	60	55	48	43	38	36	31	26		
CM075	2800	Rd	90	89	87	85	84	81	78	75	72	68	63		
	1400		89	87	84	83	80	77	73	69	66	60	56		
	900		87	85	83	80	77	73	68	64	61	55	50		
		Rs	73	69	62	59	55	48	43	39	36	31	27		
CM090	2800	Rd	91	90	88	86	85	83	80	78	75	71	67		
	1400		90	88	86	84	83	79	76	72	69	64	60		
	900		88	87	84	82	80	76	72	68	65	60	55		
		Rs	74	71	65	61	59	51	46	42	39	34	30		
CM110	2800	Rd	90	89	88	87	86	82	81	79	77	73	70		
	1400		89	88	86	85	84	80	79	76	73	68	64		
	900		88	87	84	83	82	78	75	71	68	63	59		
		Rs	74	71	64	64	60	50	49	46	42	37	33		
CM130	2800	Rd	90	89	88	87	86	82	80	79	77	72	70		
	1400		89	88	86	84	83	79	76	75	73	69	64		
	900		88	87	84	82	81	77	74	73	70	64	59		
		Rs	74	71	64	64	60	50	49	46	42	37	33		
CM150	2800	Rd	92	91	90	89	87	86	83	80	78	73	72		
	1400		91	90	88	86	84	83	78	76	73	68	64		
	900		90	89	87	84	83	81	75	74	71	64	60		
		Rs	73	71	66	60	57	54	45	42	39	33	29		

CM/CMP





Rendimento teórico del reductor después del rodaje
 Rendimento teórico do redutor após a rodagem
 Theoretical efficiency of the gearbox after the first running period



G7



Datos técnicos					Dados técnicos					Technical data				
n_1 1750 [min ⁻¹]														
	n_2 [min ⁻¹]	Mn_2 [Nm]	Pn_1 [kW]	I		n_2 [min ⁻¹]	Mn_2 [Nm]	Pn_1 [kW]	I					
CMIS026					CMIS070									
	350	13	0.55	5		233	200	5.5	7.5					
	233	14	0.41	7.5		175	218	4.6	10					
	175	14	0.31	10		117	221	3.2	15					
	117	14	0.22	15		88	202	2.3	20					
	88	14	0.17	20		70	180	1.6	25					
	58	15	0.14	30		58	241	1.9	30					
	44	14	0.11	40		44	210	1.3	40					
	35	13	0.08	50		35	190	1.0	50					
	29	12	0.07	60		29	181	0.85	60					
						22	159	0.61	80					
						18	154	0.53	100					
CMIS030					CMIS075									
	350	18	0.77	5		233	238	6.5	7.5					
	233	20	0.57	7.5		175	257	5.4	10					
	175	21	0.46	10		117	266	3.9	15					
	117	21	0.32	15		88	242	2.7	20					
	88	19	0.23	20		70	225	2.1	25					
	70	20	0.20	25		58	289	2.3	30					
	58	22	0.20	30		44	251	1.6	40					
	44	20	0.15	40		35	227	1.2	50					
	35	19	0.12	50		29	218	1.0	60					
	29	17	0.09	60		22	193	0.74	80					
	22	15	0.07	80		18	183	0.61	100					
	18	14	0.06	100										
CMIS040					CMIS090									
	350	41	1.7	5		233	342	9.3	7.5					
	233	44	1.3	7.5		175	380	7.8	10					
	175	45	0.98	10		117	433	6.2	15					
	117	45	0.68	15		88	414	4.5	20					
	88	40	0.47	20		70	369	3.3	25					
	70	38	0.38	25		58	493	3.8	30					
	58	48	0.42	30		44	434	2.6	40					
	44	42	0.30	40		35	385	1.9	50					
	35	39	0.24	50		29	352	1.5	60					
	29	36	0.19	60		22	324	1.2	80					
	22	33	0.15	80		18	299	0.91	100					
	18	31	0.12	100										
CMIS050					CMIS110									
	350	75	3.1	5		233	605	16.4	7.5					
	233	79	2.2	7.5		175	669	13.8	10					
	175	82	1.8	10		117	730	10.3	15					
	117	82	1.2	15		88	740	8.0	20					
	88	72	0.84	20		70	670	5.8	25					
	70	70	0.68	25		58	815	6.1	30					
	58	88	0.75	30		44	768	4.5	40					
	44	76	0.52	40		35	699	3.4	50					
	35	72	0.42	50		29	626	2.6	60					
	29	69	0.35	60		22	562	1.9	80					
	22	60	0.25	80		18	523	1.5	100					
	18	56	0.21	100										
CMIS063					CMIS130									
	350	134	5.5	5		233	750	20.6	7.5					
	233	144	4.0	7.5		175	820	17.1	10					
	175	148	3.2	10		117	910	12.9	15					
	117	154	2.2	15		88	910	9.9	20					
	88	136	1.5	20		70	920	8.1	25					
	70	135	1.3	25		58	1050	8.1	30					
	58	166	1.4	30		44	1050	6.3	40					
	44	142	0.93	40		35	970	4.7	50					
	35	136	0.76	50		29	890	3.7	60					
	29	126	0.61	60		22	830	2.8	80					
	22	118	0.47	80		18	735	2.1	100					
	18	116	0.41	100										
CMIS150					CMIS150									
						233	1080	29.0	7.5					
						175	1116	22.7	10					
						117	1125	15.6	15					
						88	1170	12.5	20					
						70	1080	9.4	25					
						58	1080	7.9	30					
						44	1395	8.2	40					
						35	1260	6.1	50					
						29	1134	4.7	60					
						22	1035	3.5	80					
						18	900	2.6	100					

Nota: Pn1 es la potencia mecánica de entrada que será reducida por el factor de calentamiento con el fin de obtener el correspondiente. Para más información, favor de ponerse en contacto con nuestro servicio técnico.

Nota: Pn₁ é a potência mecânica. A potência aplicável é reduzida do fator térmico. Para maiores detalhes, consulte nosso Serviço Técnico.

Note: Pn₁ is an input mechanical power which must be reduced by the heating factor in order to get the relevant one. For more details please contact our Technical Service.









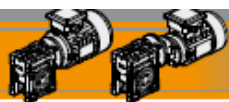
CM/CMP Motorreductores sinfín corona

Motoredutores de rosca sem fim

Wormgearmotors

60 Hz

Datos técnicos							Dados técnicos							Technical data						
P ₁ [kW]	n ₂ [min ⁻¹]	M ₂ [Nm]	sf	i				P ₁ [kW]	n ₂ [min ⁻¹]	M ₂ [Nm]	sf	i								
0.18							0.37													
(0.25 hp)	29	37	3.4	60	CM063			(0.50 hp)	350	9	4.6	5	CM040			B5/B14				
	29	42	4.5	60		CMP063/063	B14		233	13	3.4	7.5	CM040			B5/B14				
63B4	23	51	3.4	75		CMP063/063	B14	71A4	175	17	2.7	10	CM040			B5/B14				
(1750 min ⁻¹)	22	45	2.6	80	CM063			(1750 min ⁻¹)	117	25	1.8	15	CM040			B5/B14				
	19	55	4.2	90		CMP063/063	B14		88	31	1.3	20	CM040			B5/B14				
	18	51	2.3	100	CM063				70	37	1.0	25	CM040			B5/B14				
	15	69	3.0	120		CMP063/063	B14		58	42	1.1	30	CM040			B5/B14				
	12	82	2.3	150		CMP063/063	B14		44	52	0.8	40	CM040			B5/B14				
	10	92	1.9	180		CMP063/063	B14													
	7	109	1.4	240		CMP063/063	B14		117	25	3.3	15	CM050			B5/B14				
	6	121	1.2	300		CMP063/063	B14		88	32	2.3	20	CM050			B5/B14				
									70	38	1.8	25	CM050			B5/B14				
									58	44	2.0	30	CM050			B5/B14				
									44	54	1.4	40	CM050			B5/B14				
									35	64	1.1	50	CM050			B5/B14				
									29	73	0.9	60	CM050			B5/B14				
									29	84	1.2	60		CMP071/050		B14				
									23	99	0.9	75		CMP071/050		B14				
									19	116	1.1	90		CMP071/050		B14				
									70	39	3.4	25	CM063			B5/B14				
									58	45	3.7	30	CM063			B5/B14				
									44	57	2.5	40	CM063			B5/B14				
									35	67	2.0	50	CM063			B5/B14				
									29	76	1.7	60	CM063			B5/B14				
									29	87	2.2	60		CMP071/063		B14				
									23	104	1.7	75		CMP071/063		B14				
									22	92	1.3	80	CM063			B5/B14				
									19	114	2.1	90		CMP071/063		B14				
									18	105	1.1	100	CM063			B5/B14				
									15	142	1.4	120		CMP071/063		B14				
									12	169	1.1	150		CMP071/063		B14				
									10	189	0.9	180		CMP071/063		B14				
									35	69	2.8	50	CM070			B5				
									29	79	2.3	60	CM070			B5				
									29	88	3.2	60		CMP071/070		B14				
									23	105	2.4	75		CMP071/070		B14				
									22	97	1.6	80	CM070			B5				
									19	118	2.9	90		CMP071/070		B14				
									18	107	1.4	100	CM070			B5				
									15	145	2.1	120		CMP071/070		B14				
									12	169	1.6	150		CMP071/070		B14				
									10	189	1.4	180		CMP071/070		B14				
									7	223	1.0	240		CMP071/070		B14				
									22	97	2.0	80	CM075			B5				
									19	119	3.4	90		CMP071/075		B14				
									18	111	1.6	100	CM075			B5				
									15	147	2.5	120		CMP071/075		B14				
									12	172	1.9	150		CMP071/075		B14				
									10	192	1.6	180		CMP071/075		B14				
									7	228	1.2	240		CMP071/075		B14				
									6	255	0.9	300		CMP071/075		B14				



CM/CMP Motorreductores sinfín corona
 Motoreductores de rosca sem fim
 Wormgearmotors

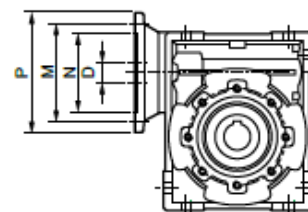
60 Hz

Motores aplicables

Motores aplicáveis

IEC Motor adapters

	IEC	N	M	P	D	i																
						5	7.5	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100					
CM026	56B14	50	65	80	9																	
CM030	63B5	95	115	140	11																	
	63B14	60	75	90																		
	56B5	80	100	120	9	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B							
	56B14	50	65	80																		
CM040	71B5	110	130	160	14																	
	71B14	70	85	105																		
	63B5	95	115	140	11	B	B	B	B	B	B	B	B	B								
	63B14	60	75	90																		
	56B5	80	100	120	9	BS	BS	BS	BS	BS	BS	BS	BS	BS	B	B	B	B	B	B		
	56B14	50	65	80																		
CM050	80B5	130	165	200	19																	
	80B14	80	100	120																		
	71B5	110	130	160	14	B	B	B	B	B	B	B	B									
	71B14	70	85	105																		
	63B5	95	115	140	11	BS	BS	BS	BS	BS	BS	BS	BS	B	B	B	B	B	B			
	63B14	60	75	90																		
CM063	90B5	130	165	200	24																	
	90B14	95	115	140																		
	80B5	130	165	200	19	B	B	B	B	B	B	B										
	80B14	80	100	120																		
	71B5	110	130	160	14	BS	BS	BS	BS	BS	BS	BS	BS	B	B	B						
	71B14	70	85	105																		
CM070	63B5	95	115	140	11									BS	BS	BS	B	B				
	100/112B5	180	215	250	28																	
	100/112B14	110	130	160																		
	90B5	130	165	200	24									B	B	B	B					
	90B14	95	115	140																		
	80B5	130	165	200	19	BS	BS	BS	BS	BS	BS	BS	B	B	B							
CM075	80B14	80	100	120																		
	71B5	110	130	160	14									BS	BS	BS	B	B	B	B		
	100/112B5	180	215	250	28																	
	100/112B14	110	130	160																		
	90B5	130	165	200	24									B	B	B	B					
	90B14	95	115	140																		
CM075	80B5	130	165	200	19	BS	BS	BS	BS	BS	BS	BS	B	B								
	80B14	80	100	120																		
	71B5	110	130	160	14									BS	BS	B	B	B	B			
	71B14	70	85	105																		



N.B. Las áreas grises indican los tamaño de los motores aplicables.

N.B. As áreas cinzas indicam o tamanho dos motores aplicados.

N.B. Grey areas indicate motor inputs available on each size of unit.

B/BS = Casquillo de reducción en acero

B/BS = Bucha de redução em aço

B/BS = Metal shaft sleeve

Note: Brida Nema disponible según la demanda

Nota: flange Nema disponível sob encomenda

Note: Nema flange available on demand

Factor de servicio

Fator de serviço

Service factor

A

Carga uniforme / Carga uniforme / Uniform load

h/d	sf								
	n. arranques/hora / n. arranques/hora / n. start-up/hour								
	2	4	8	16	32	63	125	250	500
4	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2
8	1.0	1.0	1.1	1.1	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
16	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
24	1.5	1.5	1.5	1.5	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8

Como establecer el sf:

Cinta transportadora atribuible a la clase de carga **B (carga con choques moderados)**, previsto para una hora de funcionamiento diaria (h/d) **16** horas y con **8** arranques/hora

De la tabla obtenemos: **sf = 1.5**

Como calcular o sf:

Fita transportadora atribuível à classe de carga **B (carga con choques moderados)** e prevista para uma duração de funcionamento diária (h/d) de **16** horas e com **8** arranques/hora.

Pela tabela indicamos **sf = 1.5**

How to establish sf:

Conveyor belt assigned to load class **B (moderate shock load)**, to be run **16** hours a day (h/d) with **8** start-ups/hour.

The following value is obtained from the table **sf = 1.5**

B

Carga con choques moderados / Carga con choques moderados / Moderate shock load

h/d	sf								
	n. arranques/hora / n. arranques/hora / n. start-up/hour								
	2	4	8	16	32	63	125	250	500
4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
8	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
16	1.5	1.5	1.5	1.5	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
24	1.8	1.8	1.8	1.8	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2

C

Carga con choques fuertes / Carga con choques fortes / Heavy shock load

h/d	sf								
	n. arranques/hora / n. arranques/hora / n. start-up/hour								
	2	4	8	16	32	63	125	250	500
4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
8	1.5	1.5	1.5	1.5	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
16	1.8	1.8	1.8	1.8	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
24	2.2	2.2	2.2	2.2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

Anexo 3: Parámetros en el fator de condición superficial de Marín. Shigley, J. Mischke, C. Budynas, R. (2012).

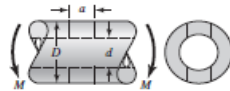
Tabla 6-2

Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín, ecuación (6-19)

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{Urr} kpsi	S_{Urr} 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

Tabla A-16

Factores aproximados de concentración del esfuerzo, K_t , de flexión de una barra redonda o un tubo con un agujero redondo transversal. Fuente: R.E. Peterson, *Stress Concentration Factors*, Wiley, Nueva York, 1974, pp. 146, 235.



El esfuerzo flexionante nominal es $\sigma_0 = M/Z_{neto}$, donde Z_{neto} es un valor reducido del módulo de sección y se define por

$$Z_{neto} = \frac{\pi A}{32D} (D^4 - d^4)$$

Los valores de A se listan en la tabla. En el caso de una barra sólida use $d = 0$.

Tabla A-16 (continuación)

Factores aproximados de concentración en torsión. Fuente: R.E. Peterson, *Stress*



a/D	d/D					
	0.9		0.6		0	
	A	K_{f1}	A	K_{f1}	A	K_{f1}
0.050	0.92	2.63	0.91	2.55	0.88	2.42
0.075	0.89	2.55	0.88	2.43	0.86	2.35
0.10	0.86	2.49	0.85	2.36	0.83	2.27
0.125	0.82	2.41	0.82	2.32	0.80	2.20
0.15	0.79	2.39	0.79	2.29	0.76	2.15
0.175	0.76	2.38	0.75	2.26	0.72	2.10
0.20	0.73	2.39	0.72	2.23	0.68	2.07
0.225	0.69	2.40	0.68	2.21	0.65	2.04
0.25	0.67	2.42	0.64	2.18	0.61	2.00
0.275	0.66	2.48	0.61	2.16	0.58	1.97
0.30	0.64	2.52	0.58	2.14	0.54	1.94

a/D	d/D									
	0.9		0.8		0.6		0.4		0	
	A	K_{f15}	A	K_{f15}	A	K_{f15}	A	K_{f15}	A	K_{f15}
0.05	0.96	1.78							0.95	1.77
0.075	0.95	1.82							0.93	1.71
0.10	0.94	1.76	0.93	1.74	0.92	1.72	0.92	1.70	0.92	1.68
0.125	0.91	1.76	0.91	1.74	0.90	1.70	0.90	1.67	0.89	1.64
0.15	0.90	1.77	0.89	1.75	0.87	1.69	0.87	1.65	0.87	1.62
0.175	0.89	1.81	0.88	1.76	0.87	1.69	0.86	1.64	0.85	1.60
0.20	0.88	1.96	0.86	1.79	0.85	1.70	0.84	1.63	0.83	1.58
0.25	0.87	2.00	0.82	1.86	0.81	1.72	0.80	1.63	0.79	1.54
0.30	0.80	2.18	0.78	1.97	0.77	1.76	0.75	1.63	0.74	1.51
0.35	0.77	2.41	0.75	2.09	0.72	1.81	0.69	1.63	0.68	1.47
0.40	0.72	2.67	0.71	2.25	0.68	1.89	0.64	1.63	0.63	1.44

Tabla A-22

Resultados de ensayos a la tensión de algunos metales* Fuente: J. Datsko, "Solid Materials," capítulo 32, en Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke y Thomas H. Brown, Jr. (editores en jefe). *Standard Handbook of Machine Design*, 3a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, 2004, pp. 32.49-32.52.

Número	Material	Condición	Resistencia (a la tensión)					Resistencia a la deformación, exponente m	Resistencia a la fractura ϵ_f
			Fluencia S_{yr} MPa (kpsi)	Última S_{Ur} MPa (kpsi)	A la fractura, σ_{fr} MPa (kpsi)	Coefficiente σ_0 MPa (kpsi)			
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1) [†]	620 (90.0)	0.25	1.05	
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130) [†]	992 (144)	0.14	0.49	
1212	Acero	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106) [†]	758 (110)	0.24	0.85	
1045	Acero	TyR 600°F	1520 (220)	1580 (230)	2380 (345)	1880 (273) [†]	0.041	0.81	
4142	Acero	TyR 600°F	1720 (250)	1930 (210)	2340 (340)	1760 (255) [†]	0.048	0.43	
303	Acero inoxidable Acero	Recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1520 (221) [†]	1410 (205)	0.51	1.16	
304	Acero inoxidable Acero	Recocido	276 (40.0)	568 (82.4)	1600 (233) [†]	1270 (185)	0.45	1.67	
2011	Aleación de aluminio	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2) [†]	620 (90)	0.28	0.10	
2024	Aleación de aluminio	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3) [†]	689 (100)	0.15	0.18	
7075	Aluminum aluminio	T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102) [†]	882 (128)	0.13	0.18	

* Los valores se tomaron de una o dos coladas y se considera que pueden obtenerse usando especificaciones de compra. La deformación por fractura puede variar hasta en 100%.

[†] Valor derivado.

Anexo 4: Factores de confiabilidad k_e correspondientes a 8 desviaciones estándar porcentuales del límite de resistencia a la fatiga. Shigley, J. Mischke, C. Budynas, R. (2012).

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases}$$

Tabla 6-5

Factores de confiabilidad k_e correspondientes a 8 desviaciones estándar porcentuales del límite de resistencia a la fatiga

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

Anexo 5: Diámetros y áreas de roscas de paso grueso y fino. Shigley, J. Mischke, C. Budynas, R. (2012).

Tabla 8-1








Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino*

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5.5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800
80	6	4 340	4 140	1.5	4 850	4 800
90	6	5 590	5 360	2	6 100	6 020
100	6	6 990	6 740	2	7 560	7 470
110				2	9 180	9 080

Anexo 6: Clase métrica de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero. Shigley, J. Mischke, C. Budynas, R. (2012).

Tabla 8-11

Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero*

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, [†] MPa	Resistencia mínima a la tensión, [†] MPa	Resistencia mínima a la fluencia, [†] MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5-M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.6-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	

* La longitud de la rosca de pernos y tornillos de cabeza es

$$L_T = \begin{cases} 2d + 6 & L \leq 125 \\ 2d + 12 & 125 < L \leq 200 \\ 2d + 25 & L > 200 \end{cases}$$

Anexo 7: Dimensiones de rosca hexagonales. Shigley, J. Mischke, C. Budynas, R. (2012).

Tabla A-31

Dimensiones de roscas hexagonales

Tamaño nominal, pulg	Ancho W	Altura H		
		Hexagonal regular	Gruesa ranurada	Contra-tuerca
$\frac{1}{4}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{7}{32}$	$\frac{9}{32}$	$\frac{5}{32}$
$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{17}{64}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{3}{16}$
$\frac{3}{8}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{13}{32}$	$\frac{7}{32}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{29}{64}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{31}{64}$	$\frac{39}{64}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{5}{8}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{35}{64}$	$\frac{23}{32}$	$\frac{3}{8}$
$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{8}$	$\frac{41}{64}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{27}{64}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{5}{16}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{29}{32}$	$\frac{31}{64}$
1	$1\frac{1}{2}$	$\frac{55}{64}$	1	$\frac{35}{64}$
$1\frac{1}{8}$	$1\frac{11}{16}$	$\frac{31}{32}$	$1\frac{5}{32}$	$\frac{39}{64}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{16}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{23}{32}$
$1\frac{3}{8}$	$2\frac{1}{16}$	$1\frac{11}{64}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{25}{32}$
$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{4}$	$1\frac{9}{32}$	$1\frac{1}{2}$	$\frac{27}{32}$
Tamaño nominal, mm				
M5	8	4.7	5.1	2.7
M6	10	5.2	5.7	3.2
M8	13	6.8	7.5	4.0
M10	16	8.4	9.3	5.0
M12	18	10.8	12.0	6.0
M14	21	12.8	14.1	7.0
M16	24	14.8	16.4	8.0
M20	30	18.0	20.3	10.0
M24	36	21.5	23.9	12.0
M30	46	25.6	28.6	15.0
M36	55	31.0	34.7	18.0

Anexo 8: Dimensiones de arandelas métricas sencillas. Shigley, J. Mischke, C. Budynas, R. (2012).

Tabla A-33

Dimensiones de arandelas métricas sencillas (todas las dimensiones están en milímetros)

Tamaño de la arandela*	DI mínimo	DE máximo	Espesor máximo	Tamaño de la arandela*	DI mínimo	DE máximo	Espesor máximo
1.6 N	1.95	4.00	0.70	10 N	10.85	20.00	2.30
1.6 R	1.95	5.00	0.70	10 R	10.85	28.00	2.80
1.6 W	1.95	6.00	0.90	10 W	10.85	39.00	3.50
2 N	2.50	5.00	0.90	12 N	13.30	25.40	2.80
2 R	2.50	6.00	0.90	12 R	13.30	34.00	3.50
2 W	2.50	8.00	0.90	12 W	13.30	44.00	3.50
2.5 N	3.00	6.00	0.90	14 N	15.25	28.00	2.80
2.5 R	3.00	8.00	0.90	14 R	15.25	39.00	3.50
2.5 W	3.00	10.00	1.20	14 W	15.25	50.00	4.00
3 N	3.50	7.00	0.90	16 N	17.25	32.00	3.50
3 R	3.50	10.00	1.20	16 R	17.25	44.00	4.00
3 W	3.50	12.00	1.40	16 W	17.25	56.00	4.60
3.5 N	4.00	9.00	1.20	20 N	21.80	39.00	4.00
3.5 R	4.00	10.00	1.40	20 R	21.80	50.00	4.60
3.5 W	4.00	15.00	1.75	20 W	21.80	66.00	5.10
4 N	4.70	10.00	1.20	24 N	25.60	44.00	4.60
4 R	4.70	12.00	1.40	24 R	25.60	56.00	5.10
4 W	4.70	16.00	2.30	24 W	25.60	72.00	5.60
5 N	5.50	11.00	1.40	30 N	32.40	56.00	5.10
5 R	5.50	15.00	1.75	30 R	32.40	72.00	5.60
5 W	5.50	20.00	2.30	30 W	32.40	90.00	6.40
6 N	6.65	13.00	1.75	36 N	38.30	66.00	5.60
6 R	6.65	18.80	1.75	36 R	38.30	90.00	6.40
6 W	6.65	25.40	2.30	36 W	38.30	110.00	8.50
8 N	8.90	18.80	2.30				
8 R	8.90	25.40	2.30				
8 W	8.90	32.00	2.80				

N = angosta; R = regular; W = ancha.

* Igual que el tamaño del tornillo o perno.

Anexo 9: Coeficientes de conductividad térmica

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K)														
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	k (W/m · K)/ c_p (J/kg · K)														
						100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500					
Aceros inoxidables																				
AISI 302		8055	480	15.1	3.91				17.3	20.0	22.8	25.4								
AISI 304	1670	7900	477	14.9	3.95	9.2	12.6		512	559	585	606								
AISI 316		8238	468	13.4	3.48	272	402		515	557	582	611	640	682						
AISI 347		7978	480	14.2	3.71				504	550	576	602								
									15.8	18.9	21.9	24.7								
									513	559	585	606								

Anexo 10: Coeficientes de transferencia de calor por convección

TABLA 1.1 Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección

Proceso	h (W/m ² · K)
Convección libre	
Gases	2-25
Líquidos	50-10000
Convección forzada	
Gases	25-250
Líquidos	50-20,000
Convección con cambio de fase	
Ebullición o condensación	2500-100,000

Anexo 11: Conductividad térmica de algunos materiales

TABLA 1-1

Conductividades térmicas de algunos materiales a la temperatura ambiente

Material	k , W/m · °C*
Diamante	2 300
Plata	429
Cobre	401
Oro	317
Aluminio	237
Hierro	80.2
Mercurio (l)	8.54
Vidrio	0.78
Ladrillo	0.72
Agua (l)	0.607
Piel humana	0.37
Madera (roble)	0.17
Helio (g)	0.152
Caucho suave	0.13
Fibra de vidrio	0.043
Aire (g)	0.026
Uretano, espuma rígida	0.026

*Multiplíquese por 0.5778 para convertir a Btu/h · ft · °F.

Anexo 12: Fluencia acero

COMPOSICIÓN QUÍMICA AISI 304L

% C: Carbono	% Cr: Cromo	% Ni: Níquel	% Mn: Manganeso	% Si: Silicio	% P: Fósforo	% S: Azufre
0,18 - 0,23	18,00 - 20,00	8,00 - 11,00	Max: 2,00	Max: 1,00	Max: 0,045	Max: 0,03

PROPIEDADES MECÁNICAS AISI 304L

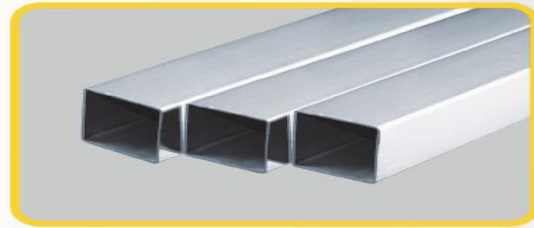
Esfuerzo Fluencia [Kg/mm ²]	Esfuerzo Tracción [Kg/mm ²]	Elongación [%]
21	53	40

Anexo 13: Tubos cuadrados AISI 304.

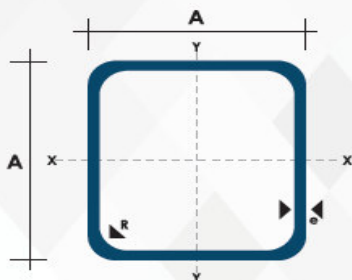
TUBO CUADRADO ACERO INOXIDABLE

Especificaciones Generales:

Calidad:	AISI 304
Largo normal:	6,00 m
Dimensiones:	Desde 3/4 a 2"
Espesor:	Desde 1,2mm y 2mm



NOMENCLATURA	
Área =	Área de la selección transversal del tubo, cm ²
I =	Momento de inercia de la sección, cm ⁴
W =	Módulo resistente de la sección, cm ³
i =	Radio de giro de la sección cm



Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm ³
12	0.8	0.30	0.37	0.09	0.14	0.48
12	1.0	0.37	0.50	0.11	0.18	0.47
15	0.8	0.36	0.45	0.15	0.20	0.58
15	1.0	0.45	0.61	0.20	0.26	0.57
20	0.8	0.49	0.61	0.38	0.38	0.79
20	1.0	0.60	0.83	0.50	0.50	0.77
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
25	0.8	0.61	0.77	0.61	0.61	0.99
25	1.0	0.76	1.05	0.80	0.80	0.98
25	1.2	0.90	1.14	0.87	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	0.97	0.97	0.95
30	0.8	0.74	0.93	0.89	0.89	1.19
30	1.0	0.92	1.27	1.18	1.18	1.18
30	1.2	1.09	1.38	1.28	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	1.47	1.47	1.15
40	0.8	0.99	1.25	1.61	1.61	1.60
40	1.0	1.23	1.71	2.16	2.16	1.59
40	1.2	1.47	1.86	2.34	2.34	1.59
40	1.5	1.82	2.25	2.74	2.74	1.56
50	1.2	1.84	2.34	3.72	3.72	1.99
50	1.5	2.29	2.85	4.42	4.42	1.97

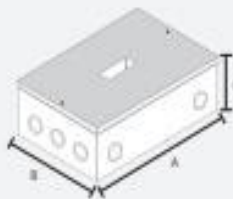
Anexo 14: Conductividad térmica de algunos materiales



Caja metálica para instalación de interruptor industriales con salida conduit en todos sus laterales, poseen el espacio suficiente para realizar la instalación.

Ventajas

- Fabricadas en lámina Cold Rolled.
- Calibres 20 y 18.
- Recubrimiento en pintura electroestática.
- Planta de pintura certificada a 600 horas de cámara salina.
- Con capacidades hasta 600 Amp.
- **NUEVO DISEÑO** ajustable a diferentes marcas de interruptor.



Código	Producto	Medidas en cm			KNOCK-OUT				CL
		A	B	C	F	T	D	I	
P-33-5-18	Caja taco indus. General	30	20	10	2	2	2	2	20
P-33-5-20	Caja taco indus. Goldstar	30	20	10	3	2	3	2	20
P-33-5-21	Caja taco breaker 100amp.	43	20	11	4	2	4	2	20
P-33-5-22	Caja para breaker 225amp.	43	22	13	4	2	4	2	20
P-33-5-23	Caja para breaker 400amp.	69	38	15	4	2	4	2	18
P-33-5-24	Caja para breaker 600amp.	109	42	20	4	3	4	3	18

C.A. S.A. 01-0201

www.proelectricos.com

 **PROELECTRICOS** ⁹

Anexo 15: Botones

Pulsadores y selectores Serie PL Altura: 10mm Ø22mm



Pulsadores de impulso



LPC 0102...



LPC 0202...



LPC 0302...

Código de pedido	Color	Unid. de medida	Peso
		n°	(kg)
Fusibles (sin base de fijación). De impulso.			
LPC 0102	Negro	10	0,023
LPC 0103	Verde	10	0,023
LPC 0104	Rojo	10	0,023
LPC 0105	Amarillo	10	0,023
LPC 0106	Azul	10	0,023
LPC 0108	Bianco	10	0,023
Salientes (sin base de fijación). De impulso.			
LPC 0202	Negro	10	0,027
LPC 0203	Verde	10	0,027
LPC 0204	Rojo	10	0,027
LPC 0205	Amarillo	1	0,027
LPC 0206	Azul	1	0,027
LPC 0208	Bianco	1	0,027
Protector (sin base de fijación). De impulso.			
LPC 0302	Negro	10	0,027
LPC 0303	Verde	10	0,027
LPC 0304	Rojo	10	0,027
LPC 0305	Amarillo	1	0,027
LPC 0306	Azul	1	0,027
LPC 0308	Bianco	1	0,027

Características de empleo

- Se admite cualquier posición de montaje
- Condiciones ambientales:
 - temperatura de empleo: -25...+70°C
 - temperatura de almacenamiento: -40...+85°C
- Grado de protección:
 - según IEC/EN: IP65, IP67 y IP69K
 - según UL: type 1, 2, 3B, 4, 4C, 12, 12B

Materiales

Realizados en materiales de poliamida.

Características mecánicas

- Fuerza de accionamiento: <0,5kg (actuador).
- Vida mecánica:
- pulsadores de impulso: 5.000.000 ciclos
 - pulsadores - interruptores: 500.000 ciclos

Base de fijación

Ver página 7-18.
Tipo: LPC AU120.
Los actuadores se encajan en un agujero Ø22mm mediante brida ranurada (Tmax = 2,3N) también en la tapa de las botaneras LPC.
La fijación de la base al actuador se realiza a presión.

Contactos para actuadores de impulso

Ver página 7-18, T-21 o T-22.

Tipo

Terminales

Montaje a presión en la base de fijación LPC AU120 (se suministra por separado).
Pueden montarse hasta 3 contactos:
1 a la izquierda, 1 en el centro y 1 a la derecha.



Alimentación electrónica resistente al agua IP67
Deslice el interruptor de llave de Automoción de balancín Micro interruptor pulsador de metal con luz LED

[Conseguir Precio Último](#) > [Hablar con el proveedor.](#)

Cantidad Mínima / Precio FOB de Referencia

500 Piezas **US \$ 0,01 / Pieza**


Condiciones de Pago: LC, T/T, D/P, PayPal

Puerto: Yantian, China

Capacidad de Producción: 50,000/Month

[✉ Contacta Ahora](#)

Anexo 16: Controlador de temperatura



DIY MORE

STC-1000

Operation Instruction

Switch the modes between cool and heat; Control temperature by setting the temperature set value and the difference value;
Temperature calibration; Refrigerating control output delay protection; Alarm when temperature exceeds temperature limit or when sensor error.

Specification and size


Front panel size: 75(L)x34.5(W)(mm)
Mounting size: 71(L)x29(W)(mm)
Product size: 75(L)x34.5(W)x85(D)(mm)
Sensor length: 1m(include theprobe)

Technical parameters

Temperature measuring range: 50°C~120°C Resolution: 0.1°C
Accuracy: ±1°C(50°~70°C)
Power supply: DC 12V-72V / AC 110V-220V
Power consumption: <3W
Sensor: NTC sensor(1PC)
Relay contact capacity: Cool(10A/250VAC); Heat(10A/250VAC)
Ambient temperature: 0°C-60°C
Storage temperature: -30°C~75°C
Relative humidity: 20-85%(No condensate)

Panel instruction

Display instruction: Three-digit LED + Minus digit + Status indicator light (Status indicator light(Cool, Heat)+Set indicator light(Set))
Key instruction: "S" Key: the key to set; "▲" key: Up key; "▼" key: Down key; "⏻" key: the key to turn on and off the power



Key operation instruction

- The way to check parameter:
Under normal working status, press "▲" key it displays temperature setting value; press "▼" key it displays the difference value.
- The way to set parameter:
Under controller normal working status, press "S" key for 3s or more to enter parameter modifying mode, and the "Set" indicator light on, screen displays the first menu code "F1".
Press "▲" key or "▼" key to adjust up and down and display the menu item and the code of the menu item. Press "S" key to display the parameter value of the current menu. Press both "S" key and hold "▲" key or "▼" key simultaneously to choose and adjust the parameter value of the current menu value promptly. After finishing the setting, press and release the "⏻" key instantly to save the parameter modified value and return to display the normal temperature value. If no key operation within 10 seconds, system won't save modified parameter, screen back to display normal temperature.
- Restore system data
When electrified, system will check itself, screen will display "Er" if error exit, please press any key at this time, and it restores default value and enter into normal working mode. it is advised to reset the parameter value under such conditions

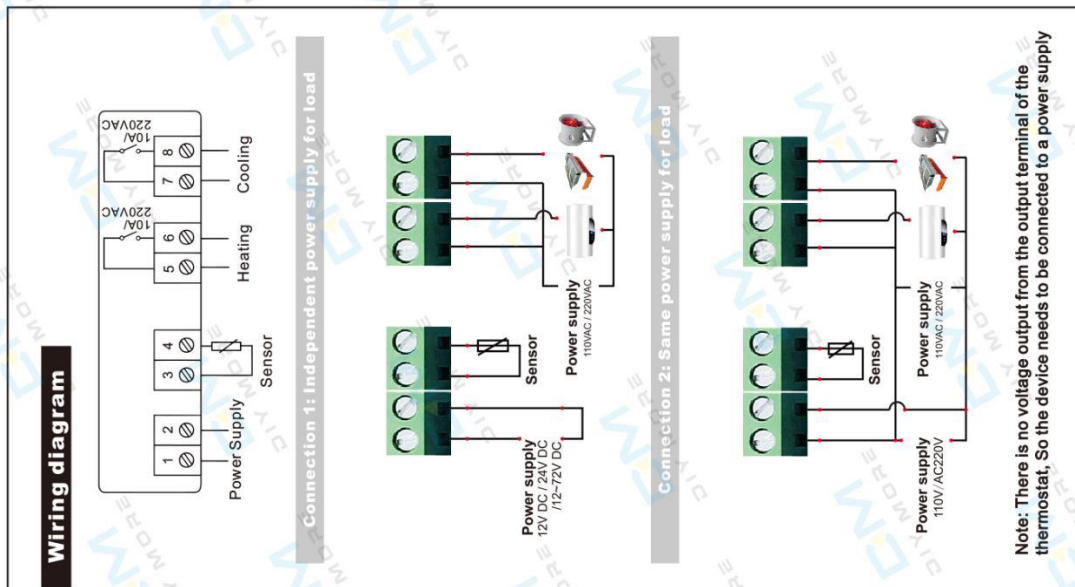
Operation instruction

Under controller normal working status, press and hold "⏻" key for 3s can turn off the controller; Under controller "off" status, press and hold "⏻" key for 1s can turn on the controller.

Under the controller normal working status, screen displays the current measuring temperature value; also the controller can also switch the working mode between heating and cooling.

Controller starts refrigerating with cool indicator light on when the measuring temperature value > temperature set value + difference value, and the refrigerating relay is connected; If the "Cool" indicator light flashes, it indicates the refrigerating equipment is under compressor delay protect status; when the measuring temperature values < temperature set value, the Cool indicator light on, and refrigerating relay disconnects.

System starts heating when the measuring temperature value < the temperature set value - difference value, and the "Heat" indicator light on, the heat relay connects; When the measuring temperature 2 temperature set value the "Heat" indicator light is off, and the heat relay disconnects.



Indicator light status instruction

Indicator light	Function	Note
Cool indicator light	On: Refrigeration starts; Off: Refrigeration stops; Flash: compressor delay	Cool, Heat indicator light can not be "on" status simultaneously
Heat indicator light	On: heating starts; Off: heating stops	
Set indicator light	On: parameter setting status	

Menu instruction

Code	Function	Set range	Default	Note
F1	Temperature set value	-50.0~99.0°C	10.0°C	
F2	Difference set value	0.3~10.0°C	0.5°C	
F3	Compressor delay time	1~10minutes	3minutes	
F4	Temperature calibration value	-10.0°C~10.0°C	0°C	

Error description

Alarm when sensor error: Controller activate the sensor error alarm mode when sensor open circuit or short circuit, all the running status is closed off with the buzzer alarms, and the nixie tube displays "EE", press any key can cancel alarm sound, system back to display the normal temperature when the error and the fault is cleared.

Alarm when the measuring temperature exceeds temperature measuring range: Controller activates the error alarm function when the measuring temperature exceeds the temperature measuring range, all the running status is closed off with the buzzer alarms, and the nixie tube displays "HH". Press any key can cancel alarm sound, system back to display the normal working mode when the temperature restore to normal measuring range.

Safety Regulations

- ★ **Danger:**
 1. Strictly distinguish the sensor down-lead, power wire and output relay interface from one another, and prohibit wrong connections or overloading the relay
 2. Dangers: Prohibit connecting the wire terminals without electricity cut-off
- ★ **Warning:** Prohibit using the machine under the environment of over damp, high temp., strong electromagnetism interference or strong corrosion.
- ★ **Notice:**
 1. The power supply should conform to the voltage value indicated in the instruction.
 2. To avoid the interference, the sensor down-lead and power wire should be kept a proper distance.

Customer Service:

We strive for a high quality product and customer experience. If there are any issues with the product, please feel free to contact our customer service before leaving a review. We will try our best to solve any problem. If you have just 2 minutes to spare and are enjoying your product please follow the steps below:

- 1: log into your account on Amazon. click "your account", and then click "your Orders".
- 2: Click on the product you purchased, and select the "Create your own review" button in the middle of the page.

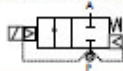
Thank you and have nice day!
Sincerely,
diy more Customer Service Team
<https://www.diy more.cc>
<https://www.amazon.co.uk/diy more>
<https://www.amazon.de/diy more>
Email: sales@diy more.cc

Anexo 17: Electroválvulas 2/2 M&M International modelo D506DVY



ELECTROVÁLVULA SERVOCOMANDADA 2/2 VÍAS, G 3/4" ÷ G 1" - REARME MANUAL

La abertura de este tipo de electroválvulas es exclusivamente manual y se realiza pulsando el botón de rearme. El cierre se realiza mediante un impulso eléctrico. La electroválvula funciona sólo con bobinas de CC estándar. En el caso de que la alimentación primaria sea a 230V CA es necesaria la utilización del conector con rectificador a semionda y polaridad invertida (véase esquema abajo).



normalmente cerrada

TIPO: D506/522

DATOS TÉCNICOS

- Fluidos: agua, aceite, aire
- Temperatura del fluido: -10°C ÷ +80°C
- Temperatura ambiente: -10°C ÷ +50°C
- Material del cuerpo: latón (CW617N EN 12165)
- Material del piloto: acero inoxidable
- Material del cierre piloto: FKM
- Material de la membrana: FKM
- Potencia de la bobina: CC 14w
- Grado de protección: IP 65 (con conector)

CONECTOR - ESQUEMA ELÉCTRICO -

Conector con rectificador a semionda y polaridad invertida código 600 041 00-

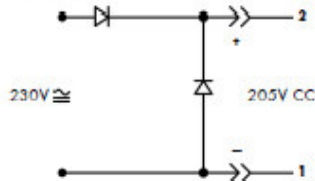
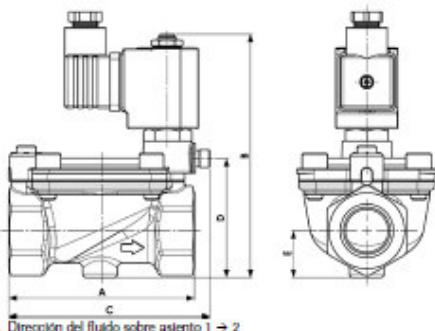


TABLA DE SELECCIÓN

VÁLVULA	Conexiones G	diámetro nominal	coeficiente de caudal Kvs	campo de presión			BOBINA	
				min	máx. CA	máx. CC	código	Volts/Hz
D506DVY	3/4"	25	140	0.3	-	16	7250	24v CC
D522DVY	1"	25	160	0.3	-	16	7S51	205v CC



DIMENSIONES Y PESOS

Conexiones G	A	B	C	D	E	peso
[ISO 228 G]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]
3/4"	96	125	104	61.1	24	1.3
1"	96	125	104	61.1	24	1.5

6

Dirección del fluido sobre asiento 1 → 2

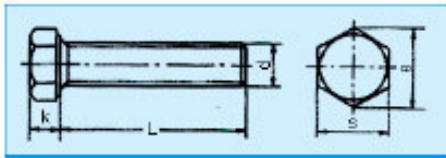
A Spirax-Sarco Engineering plc company

Anexo 18: Pernos y tornillos

TORNILLOS Y PERNOS

TORNILLO HEXAGONAL ROSCA COMPLETA

DIN 933



GRADO DE RESISTENCIA
8.8
10.9
12.9

Rosca	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	
Paso	0.7	0.8	1	1.25	1.5	1.75	2	2	2.5	2.5	2.5	3	3	3.5	
k	2.8	3.5	4	5.3	6.4	7.5	8.8	10	11.5	12.5	14	15	17	18.7	
Grado	A	7.66	8.79	11.05	14.38	18.9	1.1	4.49	26.75	30.14	33.53	35.72	35.98	45.2	50.85
	B	-	8.63	10.89	14.2	18.72	1.88	3.91	26.17	29.56	32.95	35.03	39.55	45.2	50.85
s	7	8	10	13	17	19	22	24	27	30	32	36	41	46	
L	8-40	8-40	8-50	12-60	6-60	7-80	5-80	30-100	30-100	40-100	50-100	50-100	60-100	70-100	

mm

TORNILLO HEXAGONAL ROSCA COMPLETA

DIN 558



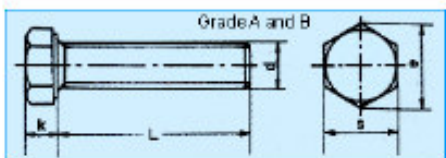
GRADO DE RESISTENCIA
8.8

Rosca	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36
Paso	0.8	1	1.25	1.5	1.75	2	2.5	3	3.5	4
k	3.5	4	5.3	6.4	7.5	10	12.5	15	18.7	22.5
s	8.63	10.89	14.2	18.72	20.88	26.17	32.95	39.55	50.85	60.79
s	8	10	13	17	19	24	30	36	46	55
L	10-40	12-50	16-65	16-80	20-100	25-100	30-100	35-100	40-100	50-100

mm

TORNILLO HEXAGONAL ROSCA COMPLETA

ISO 4017



GRADO DE RESISTENCIA
8.8
10.9
12.9

Rosca	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36
Paso	0.8	1	1.25	1.5	1.75	2	2.5	3	3.5	4
k	3.5	4	5.3	6.4	7.5	10	12.5	15	18.7	22.5
Grado	A	8.79	11.05	14.38	17.77	20.03	26.75	33.53	39.98	-
	B	-	-	-	-	-	26.17	32.95	39.55	50.85
s	8	10	13	16	18	24	30	36	46	55
L	8-40	8-50	12-60	16-60	20-80	30-100	40-100	50-100	70-100	80-100

mm

TORNILLOS ALLEN

DIN 912



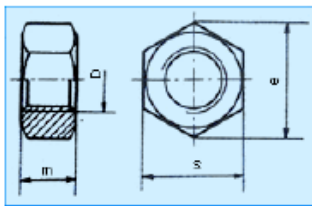
GRADO DE RESISTENCIA
8.8
10.9
12.9

Roscas	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M20	mm
Paso	0.5	0.7	0.8	1	1.25	1.5	1.75	2	2	2.5	
dk	5.32	6.78	8.28	9.78	12.73	15.73	17.73	20.67	23.67	29.67	
de	3	4	5	6	8	10	12	14	16	20	
k	2.86	3.82	4.82	5.7	7.64	9.64	11.57	13.57	15.57	19.48	
e	2.87	3.44	4.58	5.72	6.86	9.15	11.43	13.72	16	19.44	
s	2.5	3	4	5	6	8	10	12	14	17	
L	5-30	6-40	8-50	10-60	12-80	16-100	20-120	25-140	25-160	30-200	

TUERCAS

TUERCAS HEXAGONALES

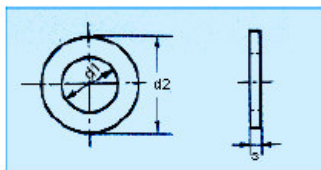
DIN 555



Rosca	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	mm
Paso	0.8	1	1.25	1.5	1.75	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
m	4	5	6.5	8	10	13	16	19	24	29	34	38	45	
e	8.63	10.89	14.2	18.72	20.88	26.17	32.95	39.55	50.85	60.79	71.3	82.6	93.58	
s	8	10	13	17	19	24	30	36	46	55	65	75	85	

ARANDELAS (GRADO C)

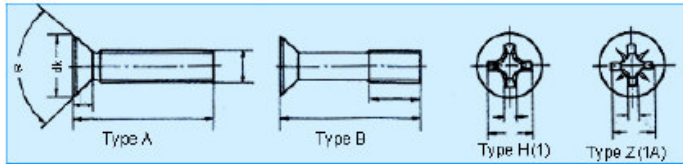
DIN 126



	5.5	6.6	7.6	9	11	13.5	15.5	17.5	20	22	24	mm
d1	5.5	6.6	7.6	9	11	13.5	15.5	17.5	20	22	24	
d2	10	12.5	14	16	20	24	28	30	34	37	39	
s	1	1.6	1.6	1.6	2	2.5	2.5	3	3	3	3	
d1	26	30	33	36	39	42	45	48	52	56		
d2	44	50	56	60	66	72	78	85	92	98		
s	4	4	4	5	5	6	7	7	8	8		

TORNILLO DE CABEZA AVELLANADA PLANA

DIN 965

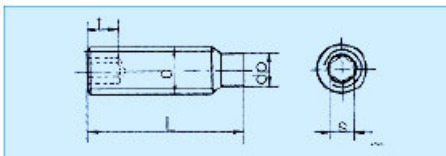


Rosca		M3	M3.5	M4	M5	M6	M8	M10
dk		5.6	6.5	7.5	9.2	11	14.5	18
k		1.65	1.93	2.2	2.5	3	4	5
Cruz	(Tipo H)m	2.9	3.9	4.4	4.6	6.6	8.7	9.6
	(Tipo Z)m	2.8	3.7	4	4.4	6.1	8.5	9.4
		1	2	2	2	3	4	4
L	Tipo A	6-22	6-22	8-25	8-28	10-35	14-40	18-45
	Tipo B	25-30	25-35	28-40	30-50	40-80	45-80	50-100

mm

ESPÁRRAGO ROSCADO HEXAGONAL CON PUNTA DE PIVOTE

DIN 915



Rosca		M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20
dp		2	2.5	3.5	4	5.5	7	8.5	12	15
s		1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10
t		1.2	1.5	2	2	3	4	4.8	6.4	8
Z	Corto	0.75	1	1.25	1.5	2	2.5	3	4	5
	Largo	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10
L		6-16	8-20	10-25	14-30	16-40	20-50	25-60	30-60	35-60

mm

Anexo 19: Accesorios de Tubería TIGRE Ecuador. Tee HH PP ROSCADO DE ½ in. CODO REDUCTOR 90° PP DE ½ in. NEPLO PP ROSCADO DE ½ in. NEPLO 60 mm PP ROSCADO DE 1/” in. LLAVE DE PASO PP FUSION DE ½ in.



TEE HH PP ROSCADO

CÓDIGO	MED. (pulg)	EMB.
37020762	1/2	200
37020765	3/4	100
37020834	1	75



TEE INSERTO METÁLICO HH PP ROSCADO

CÓDIGO	MED. (pulg)	EMB.
37020842	1/2	150



TEE REDUCTORA HH PP ROSCADO

CÓDIGO	MED. (pulg)	EMB.
37020859	3/4 x 1/2	-
37020889	1 x 1/2	-
37020890	1 x 3/4	-



UNIÓN HH PP ROSCADO

CÓDIGO	MED. (pulg)	EMB.
37020838	1/2	500
37020832	3/4	300
37020849	1	150



CODO 90° CACHIMBA PP

CÓDIGO	MED. (pulg)	EMB.
37020844	1/2	300
37020876	3/4	200
37020866	1	100



CODO REDUCTOR 90° PP

CÓDIGO	MED. (pulg)	EMB.
37020888	1 x 1/2	150
37020861	1 x 3/4	125



NEPLO PP ROSCADO

CÓDIGO	MED. (pulg)	EMB.
37020840	1/2	750
37020833	3/4	400
37020772	1	250



NEPLO 60MM PP ROSCADO

CÓDIGO	MED. (pulg/mm)	EMB.
37020856	1/2 x 60mm	500
37020848	3/4 x 60mm	400
37020891	1 x 60mm	250



UNIÓN UNIVERSAL CON ROSCA METÁLICA PP FUSIÓN

CÓDIGO	MED. (mm)	EMB.
22325701	20	10
22325728	25	10
22325736	32	10



TEE MEZCLADORA HH PP FUSIÓN

CÓDIGO	MED. (mm/pulg)	EMB.
22322702	25 x 3/4	10



UNIÓN UNIVERSAL PP FUSIÓN

CÓDIGO	MED. (mm)	EMB.
37671145	20	20
37671146	25	20
37671147	32	20



LLAVE DE PASO PLENO CROMADO PP FUSIÓN

CÓDIGO	MED. (mm)	EMB.
22328956	20	25
22328964	25	25



VÁLVULA ESFÉRICA CROMADA PP FUSIÓN

CÓDIGO	MED. (mm)	EMB.
22328905	20	40
22328913	25	40



LLAVE DE PASO GLOBO PP FUSIÓN

CÓDIGO	MED. (mm)	EMB.
37671143	20	Unidad
37671144	25	Unidad



TERMOFUSORA

CÓDIGO	MED. (WATTS)	EMB.
37448265	1200 W	1
37448257	800 W	1



BOQUILLA PP FUSIÓN

CÓDIGO	MED. (mm)	EMB.
37427020	20	1
37427039	25	1
37427047	32	1
37427055	40	1
37427063	50	1
37427071	63	1
37427080	75	1
37427098	90	1















TIJERA CORTA TUBOS TERMOFUSIÓN

CÓDIGO	MED. (mm)	EMB.
37427110	20 a 40	1
37428280	20 a 63	1



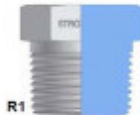
Anexo 20: Manguera flexible trenzado de acero inoxidable con tubo macho giratorio MH de 1/2 in. Productos Fv catálogos Ecuador

 <p>0269.05 Válvula angular de 1/2" MM. 1/2" M-M angle valve.</p>	 <p>0269.06 Válvula angular de 1/2" MH. 1/2" M-F angle valve.</p>	 <p>0260.01.D1 Flexible corrugado de acero inoxidable, con tubo macho giratorio, MH de mayor maleabilidad. Stainless steel corrugated flexible hose, with male rotating tub, male to female with more malleability. 13 - 20 cm 13 - 25 cm 13 - 30 cm 13 - 35 cm 13 - 40 cm</p>	 <p>0260.01-D20 Bolsa de 20 flexibles corrugados de acero inoxidable, con tubo macho giratorio, MH de mayor maleabilidad. Bag of 20 stainless steel corrugated flexible hoses, with male rotating tub, male to female with more malleability. 13 - 20 cm 13 - 25 cm 13 - 30 cm 13 - 35 cm 13 - 40 cm</p>
 <p>0261 Par de flexibles trenzados de acero inoxidable, con roseta y tubo macho giratorio, MH. Pair of stainless steel braided flexible hoses, with escutcheons and male rotating tub, male to female. 19 - 20 cm 19 - 25 cm 19 - 30 cm 19 - 35 cm 19 - 40 cm</p>	 <p>0261-D1 Flexible trenzado de acero inoxidable, con tubo macho giratorio, MH. Stainless steel braided flexible hose, with male rotating tub, male to female. 13 - 20 cm 13 - 25 cm 13 - 30 cm 13 - 35 cm 13 - 40 cm 19 - 20 cm 19 - 25 cm 19 - 30 cm 19 - 35 cm 19 - 40 cm</p>	 <p>0261-D20 Bolsa de 20 unidades de flexibles trenzados de acero inoxidable con tubo macho giratorio. Bag of 20 stainless steel braided flexible hoses, with male rotating tub. 13 - 20 cm 13 - 25 cm 13 - 30 cm 13 - 35 cm 13 - 40 cm</p>	 <p>M150MN.1 Manguera metálica para ducha. Conexiones de 1/2". Metallic hose for shower set. 1/2" connections. Al</p>
 <p>0454 Prolongación. Extension. CR 13,19 mm - 13,25 mm 13,32 mm - 13,38 mm 13,50 mm</p>	 <p>TEFLON-13-20 Cinta de teflón de 13 mm x 20 metros. Alta densidad y gran espesor. 13 mm x 20 meters teflon tape. High density.</p>	 <p>TEFLON-19-20 Cinta de teflón de 19 mm x 20 metros. Alta densidad y gran espesor. 19 mm x 20 meters teflon tape. High density.</p>	 <p>TEFLON-19-40 Cinta de teflón de 19 mm x 40 metros. Alta densidad y gran espesor. 19 mm x 40 meters teflon tape. High density.</p>

Anexo 21: Niples D-MEHITOR. TAPÓN MACHO NPT. NIPLE MACHO NPT. NIPLE HEMBRA GIRATORIA NPS. TAPÓN HEMBRA NPT.



30.10.00 - Tapón Macho NPT - Ref. SAE 140109



	R1			
Código	M. NPT			Pzas
30.10.00.0200	1/8"	1/8" - 27		100
30.10.00.0400	1/4"	1/4" - 18		100
30.10.00.0600	3/8"	3/8" - 18		100
30.10.00.0800	1/2"	1/2" - 14		100
30.10.00.1200	3/4"	3/4" - 14		50
30.10.00.1600	1"	1" - 11 1/2		50
30.10.00.2000	1 1/4"	1 1/4" - 11 1/2		20
30.10.00.2400	1 1/2"	1 1/2" - 11 1/2		10
30.10.00.3200	2"	2" - 11 1/2		10



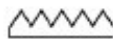

30.10.10 - Niple Macho NPT - Macho NPT - Ref. SAE 140137



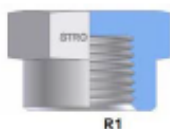
	R1	R2		
Código	M. NPT	M. NPT		Pzas
30.10.10.0202	1/8"	1/8" - 27	1/8" - 1/8" - 27	100
30.10.10.0402	1/4"	1/4" - 18	1/8" - 1/8" - 27	100
30.10.10.0404	1/4"	1/4" - 18	1/4" - 1/4" - 18	100
30.10.10.0802	3/8"	3/8" - 18	1/8" - 1/8" - 27	50
30.10.10.0604	3/8"	3/8" - 18	1/4" - 1/4" - 18	100
30.10.10.0606	3/8"	3/8" - 18	3/8" - 3/8" - 18	100
30.10.10.0802	1/2"	1/2" - 14	1/8" - 1/8" - 27	50
30.10.10.0804	1/2"	1/2" - 14	1/4" - 1/4" - 18	50
30.10.10.0806	1/2"	1/2" - 14	3/8" - 3/8" - 18	100
30.10.10.0808	1/2"	1/2" - 14	1/2" - 1/2" - 14	100
30.10.10.1204	3/4"	3/4" - 14	1/4" - 1/4" - 18	20
30.10.10.1206	3/4"	3/4" - 14	3/8" - 3/8" - 18	20
30.10.10.1208	3/4"	3/4" - 14	1/2" - 1/2" - 14	50
30.10.10.1212	3/4"	3/4" - 14	3/4" - 3/4" - 14	100
30.10.10.1608	1"	1" - 11 1/2	1/2" - 1/2" - 14	20
30.10.10.1612	1"	1" - 11 1/2	3/4" - 3/4" - 14	50
30.10.10.1616	1"	1" - 11 1/2	1" - 1" - 11 1/2	100
30.10.10.2016	1 1/4"	1 1/4" - 11 1/2	1" - 1" - 11 1/2	10
30.10.10.2020	1 1/4"	1 1/4" - 11 1/2	1 1/4" - 1 1/4" - 11 1/2	20
30.10.10.2416	1 1/2"	1 1/2" - 11 1/2	1" - 1" - 11 1/2	10
30.10.10.2420	1 1/2"	1 1/2" - 11 1/2	1 1/4" - 1 1/4" - 11 1/2	10
30.10.10.2424	1 1/2"	1 1/2" - 11 1/2	1 1/2" - 1 1/2" - 11 1/2	20
30.10.10.3224	2"	2" - 11 1/2	1 1/2" - 1 1/2" - 11 1/2	10
30.10.10.3232	2"	2" - 11 1/2	2" - 2" - 11 1/2	10




30.16.10 – Niple Hembra Giratoria NPS – Macho NPT – Ref. SAE 140130



	R1 	R2 	
Código	H. G. NPS	M. NPT	Pzas
30.16.10.0202	1/8"	1/8" - 27	50
30.16.10.0402	1/4"	1/4" - 18	20
30.16.10.0404	1/4"	1/4" - 18	50
30.16.10.0406	1/4"	1/4" - 18	20
30.16.10.0604	3/8"	3/8" - 18	20
30.16.10.0606	3/8"	3/8" - 18	50
30.16.10.0608	3/8"	3/8" - 18	20
30.16.10.0806	1/2"	1/2" - 14	20
30.16.10.0808	1/2"	1/2" - 14	50
30.16.10.0812	1/2"	1/2" - 14	20
30.16.10.1208	3/4"	3/4" - 14	20
30.16.10.1212	3/4"	3/4" - 14	50
30.16.10.1216	3/4"	3/4" - 14	20
30.16.10.1612	1"	1" - 11 1/2	20
30.16.10.1616	1"	1" - 11 1/2	50
30.16.10.1620	1"	1" - 11 1/2	10
30.16.10.2012	1 1/4"	1 1/4" - 11 1/2	10
30.16.10.2016	1 1/4"	1 1/4" - 11 1/2	10
30.16.10.2020	1 1/4"	1 1/4" - 11 1/2	20
30.16.10.2420	1 1/2"	1 1/2" - 11 1/2	5
30.16.10.2424	1 1/2"	1 1/2" - 11 1/2	10
30.16.10.3232	2"	2" - 11 1/2	5

30.17.00 – Tapón Hembra NPT – Ref. SAE 140109



	R1 	
Código	H. NPT	Pzas
30.17.00.0200	1/8"	50
30.17.00.0400	1/4"	50
30.17.00.0600	3/8"	50
30.17.00.0800	1/2"	50
30.17.00.1200	3/4"	50
30.17.00.1600	1"	50
30.17.00.2000	1 1/4"	10
30.17.00.2400	1 1/2"	10

Anexo 22: Resistencia Eléctrica. CRN TECNOPART.



CRN TECNOPART, S.A.

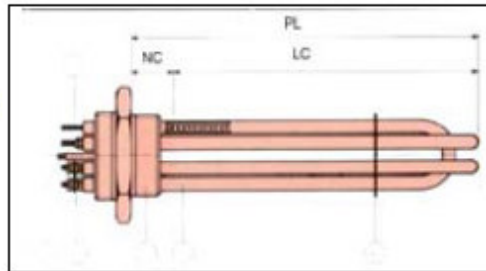
Sant Roc 30
08340 VILASSAR DE MAR (Barcelona)
Tel 902 404 748 - 937 591 484 Fax 937 591 547
e-mail: crn@crntp.com [http:// www.crntecnopart.com](http://www.crntecnopart.com)

CETAL

CT- 030.05

CALENTADORES DE INMERSION ROSCADOS 230 / 400 V

- Formados por 2 o 3 horquillas en cruz soldadas sobre un tapón de latón
 - (Standard), o de acero o inoxidable.(bajo demanda)
 - Circuitos a 230V (se incluyen los puentes de conexión)
 - Funda para termostato, opcional.
 - Accesorios; ver pág. 5 y 11.
 - Presión de trabajo: Máximo 15 bar
- NC (Longitud zona fría) Racor M 45 o 1 1/2" NC = 40 mm
Racor M77 o 2 1/2" NC = 70 mm
LC (PL-NC) (Longitud calentada o útil). Siempre debe estar sumergida.



Carga 2 W/cm² Inox AISI 321									
W	Racor M 77 x 200			Racor M 45 x 200			Racor 1 1/2" G		
	PL mm.	Peso Kg.	Referencia	PL mm.	Peso Kg.	Referencia	PL mm.	Peso Kg.	Referencia
500				250	0,60	45-V8-005*			
750				250	0,75	45-V8-007	250	0,75	49-V8-007
1000				320	0,85	45-V8-010	320	0,85	49-V8-010
1500				470	1,05	45-V8-015	470	1,05	49-V8-015
2000	350	2,25	77-V8-020	600	1,35	45-V8-020	600	1,35	49-V8-020
3000	510	2,45	77-V8-030	920	1,75	45-V8-030	920	1,75	49-V8-030
4000	670	4,50	77-V16-040						
6000	980	6,10	77-V16-060						
8000	1280	7,65	77-V16-080						
10000	1720	10,00	77-V16-100						
12000	1830	10,60	77-V16-120						

DATOS DE UTILIDAD

Carga 2 W/cm², para aire, aceite y fuel pesado.

Carga 4 W/cm², para agua y aceites térmicos.

Carga 8-12 W/cm², para agua.

Para temperaturas superiores a 110 °C, utilizar los modelos con caja de bombes separada.

Carga 4 W/cm² Inox AISI 316 TI									
W	Racor M 77 x 200			Racor M 45 x 200			Racor 1 1/2" G		
	PL mm.	Peso Kg.	Referencia	PL mm.	Peso Kg.	Referencia	PL mm.	Peso Kg.	Referencia
1000				180	0,65	45-C8-010	180	0,65	49-C8-010
1500				250	0,75	45-C8-015	250	0,75	49-C8-015
2000				300	0,85	45-C8-020	300	0,85	49-C8-020
3000	310	3,15	77-C16-030	440	1,00	45-C8-030	440	1,00	49-C8-030
4000				600	1,35	45-C8-040	600	1,35	49-C8-040
4500	435	3,55	77-C16-045	660	1,45	45-C8-045	660	1,45	49-C8-045
6000	540	4,00	77-C16-060	850	1,75	45-C8-060	850	1,75	49-C8-060
9000	810	5,25	77-C16-090						
12000	1055	6,95	77-C16-120						

Los modelos con racor M77 también se pueden suministrar con un racor de 2 1/2". La referencia pasa a ser 76-.....

Carga 8 W/cm² Cobre									
W	Racor M 77 x 200			Racor M 45 x 200			Racor 1 1/2" G		
	PL mm.	Peso Kg.	Referencia	PL mm.	Peso Kg.	Referencia	PL mm.	Peso Kg.	Referencia
1000				160	0,50	45-K8-010**			
1500				160	0,60	45-K8-015	160	0,60	49-K8-015
2000				185	0,65	45-K8-020	185	0,65	49-K8-020
3000	170	2,00	77-K8-030	260	0,80	45-K8-030	260	0,80	49-K8-030
4000				340	0,90	45-K8-040	340	0,90	49-K8-040
4500				380	0,95	45-K8-045	380	0,95	49-K8-045
5000	270	2,55	77-K16-050						
6000	310	2,80	77-K16-060	490	1,25	45-K8-060	490	1,25	49-K8-060
7500				600	1,35	45-K8-075	600	1,35	49-K8-075
8000	390	3,20	77-K16-080						
9000	435	3,40	77-K16-090	710	1,55	45-K8-090	710	1,55	49-K8-090
10000	470	3,65	77-K16-100						
12000	550	4,10	77-K16-120	990	2,00	45-K8-120	990	2,00	49-K8-120
15000	685	4,85	77-K16-150						
18000	810	5,60	77-K16-180						
20000	890	6,00	77-K16-200						
24000	1055	6,95	77-K16-240						
30000	1305	8,40	77-K16-300*						

* Solo 400V

** 230V Monofásica

Los modelos con racor M77 y M45 pueden suministrarse en Cobre níquelado.

Los modelos con racor 1 1/2" solo en cobre níquelado.

Anexo 23: Acoplamiento flexible. ALU-FLEX modelo AFP6508

ACOPLAMIENTOS ALU-FLEX

ACOPLAMIENTOS FLEXIBLES RANURADOS DE ALUMINIO

- Sin juego. No producen variaciones de velocidad en la transmisión
- Elevada rigidez torsional
- Disponibles con prisionero y con abrazadera
- Resistentes a aceites y productos químicos
- Protección mecánica ante pares excesivos



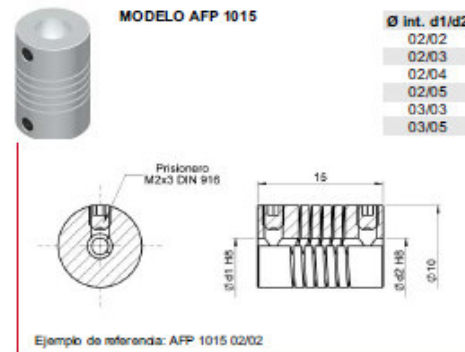
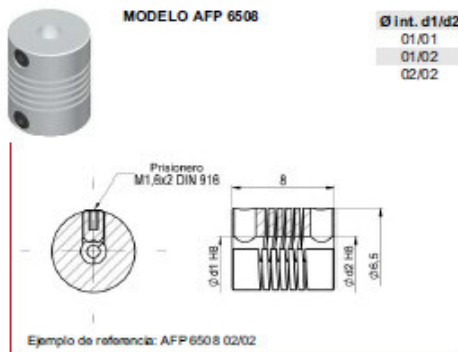
Los ALU-FLEX son acoplamientos flexibles simples, de una sola pieza, mecanizados en aleación de aluminio endurecido.

Son aptos para transmisiones que requieran pares moderados y cuando la desalineación en los ejes no sea muy grande. Actúan de fusible mecánico ante pares excesivos.

Estos acoplamientos resultan apropiados en sistemas de medición y control, así como accionamientos de par reducido. Permiten una transmisión del movimiento de gran precisión cinemática, sin juego y con una baja elasticidad torsional. Se recomiendan para máquinas auxiliares, generadores tacométricos, potenciómetros, encoders, etc. El acoplamiento absorberá los errores de alineación o de montaje de los ejes.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Modelo	Par		Velocidad máxima	Desalineamientos máximos admisibles			Constantes elásticas torsional	Constantes elásticas radial	Masa	Inercia
	Ncm	Par apfete		Angular grad.	Axial mm	Radial mm				
AFP 6508	2	8	8.000	±2	±0,15	±0,1	0,55	24	0,5	0,02
AFP 1015	15	15	8.000	±2	±0,2	±0,15	2,2	22	2,4	0,34
AFP 1218	25	35	8.000	±2,5	±0,25	±0,15	2,8	28	4	0,83
AFP 1622	40	50	8.000	±3	±0,3	±0,2	5	34	9,5	3,2
AFP 1922	60	50	8.000	±3,5	±0,4	±0,25	9	40	13	6,7
AFP 2524	100	120	8.000	±4	±0,5	±0,3	20	60	26	22,2
AFP 3030	150	120	8.000	±4	±0,5	±0,3	21	60	45	57
AFP 3038	150	120	8.000	±4	±0,5	±0,3	21	60	60	76
AFA 1421	50	50	6.000	±3	±0,25	±0,2	4,5	22	6,5	1,9
AFA 1625	60	50	6.000	±3,5	±0,3	±0,2	5,5	30	10	3,8
AFA 1928	80	80	6.000	±4	±0,4	±0,25	8	36	16	8,7
AFA 2532	120	100	6.000	±4	±0,5	±0,35	16	45	34	29
AFA 3038	150	100	6.000	±0,4	±0,5	±0,35	19	60	58	76



hohner
AUTOMÁTICOS S.L.

www.hohner.es - info@hohner.es - Tel.: (00 34) 972 160 017 - Fax (00 34) 972 160 230

Planos